

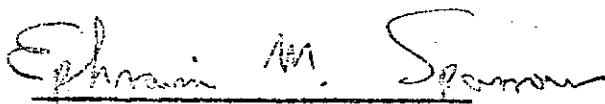
SERVIÇÃO DE ESCORIMENTO A JUZANTE DE UMA

GESTÃO ASSIMÉTRICA EM UM TUBO

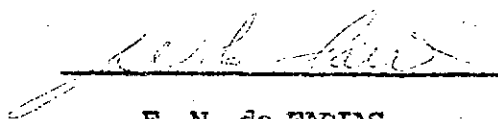
PLÍNIO FLEURY JÚNIOR

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS PÓS-GRADUADOS DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO GRÁU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:



E.M. SPARROW



F. N. de FARIAS



L. de M. F. GUINLE

Setembro de 1957.

## AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho desejamos expressar nossa gratidão àqueles que prestaram o valioso auxílio que tornou possível esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. E. M. Sparrow pela orientação dedicada e proeminente com que nos distinguiu e pelas brilhantes aulas, as quais abriram um novo horizonte nos nos conhecimentos.

À COPPE, na pessoa de seu Coordenador, Prof. Dr. A. L. Coimbra, cujo idealismo e trabalho árduo tornam possível este curso Pós-Graduado.

À CAPES, BNDE e Escola de Engenharia de São Carlos cujo auxílio possibilitou-nos cumprir esta meta.

À minha esposa Mariana, agradeço, especialmente, a compreensão e incentivo durante todo o curso e a execução deste trabalho.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	II
ÍNDICE .....	III
LISTA DE FIGURAS .....	IV
LISTA DE TABELAS .....	V

Capítulos

I	INTRODUÇÃO .....	3
II	APARELHAGEM EXPERIMENTAL E OPERAÇÃO .....	4
	1. DESCRIÇÃO GERAL .....	4
	2. SEÇÃO DE TESTE .....	4
	3. OUTROS ELEMENTOS .....	10
	4. INSTRUMENTOS .....	11
	5. LEVANTAMENTOS DOS DADOS .....	11
III	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	15
	APENDICE A - CÁLCULOS .....	35
	APENDICE B - TABELAS .....	38
	REFERÊNCIAS .....	54
	NOMENCLATURA .....	55

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	1 - PLANTA DO ESQUEMA DE INSTALAÇÃO .....	5
FIGURA	2 - VISTA LATERAL DO ESQUEMA DE INSTALAÇÃO .....	6
FIGURA	3 - DETALHE DO TUBO DE LATÃO E TUBINHOS DE CONEXÃO .....	7
FIGURA	4 - ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DA OBSTRUÇÃO EM RELAÇÃO ÀS TOMADAS .....	8
FIGURA	5 - GRÁFICOS DAS CORRIDAS COM $h/D = 1,00$	
	a - 1ª CORRIDA $REY = 7,75 \times 10^4$ .....	20
	b - 2ª CORRIDA $REY = 5,39 \times 10^4$ .....	21
	c - 3ª CORRIDA $REY = 3,80 \times 10^4$ .....	22
	d - 4ª CORRIDA $REY = 2,41 \times 10^4$ .....	23
	e - 5ª CORRIDA $REY = 1,41 \times 10^4$ .....	24
FIGURA	6 - GRÁFICOS DAS CORRIDAS COM $h/D = 0,75$	
	a - 6ª CORRIDA $REY = 7,26 \times 10^4$ .....	25
	b - 7ª CORRIDA $REY = 5,86 \times 10^4$ .....	26
	c - 8ª CORRIDA $REY = 3,79 \times 10^4$ .....	27
FIGURA	7 - GRÁFICOS DAS CORRIDAS COM $h/D = 0,50$	
	a - 9ª CORRIDA $REY = 5,79 \times 10^4$ .....	28
	b - 10ª CORRIDA $REY = 3,77 \times 10^4$ .....	29
	c - 11ª CORRIDA $REY = 2,44 \times 10^4$ .....	30
	d - 12ª CORRIDA $REY = 1,42 \times 10^4$ .....	31
FIGURA	8 - GRÁFICOS DAS CORRIDAS COM $h/D = 0,25$	
	a - 13ª CORRIDA $REY = 2,44 \times 10^4$ .....	32
	b - 14ª CORRIDA $REY = 1,86 \times 10^4$ .....	33
	c - 15ª CORRIDA $REY = 1,41 \times 10^4$ .....	34

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- LOCALIZAÇÃO DAS TOMADAS DE PRESSÃO .....	4
TABELA 2	- OSCILAÇÕES NAS LEITURAS DAS PRESSÕES EM RELAÇÃO À ATMOSFERA ....	13
TABELA 3	- LOCALIZAÇÃO E VALORES DOS PONTOS DE MÁX. E MÍN; .....	18
TABELA 4	- VALORES DO COEFICIENTE DE PERDA .....	19
TABELA 5	- VALORES PARA A RELAÇÃO $h/D = 1,00$	
	a - 1º CORRIDA $REY = 7,75 \times 10^4$ .....	39
	b - 2º CORRIDA $REY = 5,39 \times 10^4$ .....	40
	c - 3º CORRIDA $REY = 3,80 \times 10^4$ .....	41
	d - 4º CORRIDA $REY = 2,41 \times 10^4$ .....	42
	e - 5º CORRIDA $REY = 1,42 \times 10^4$ .....	43
TABELA 6	- VALORES PARA A RELAÇÃO $h/D = 0,75$	
	a - 6º CORRIDA $REY = 7,26 \times 10^4$ .....	44
	b - 7º CORRIDA $REY = 5,86 \times 10^4$ .....	45
	c - 8º CORRIDA $REY = 3,79 \times 10^4$ .....	46
TABELA 7	- VALORES PARA A RELAÇÃO $h/D = 0,50$	
	a - 9º CORRIDA $REY = 5,79 \times 10^4$ .....	47
	b - 10º CORRIDA $REY = 3,77 \times 10^4$ .....	48
	c - 11º CORRIDA $REY = 2,44 \times 10^4$ .....	49
	d - 12º CORRIDA $REY = 1,42 \times 10^4$ .....	50
TABELA 8	- VALORES PARA A RELAÇÃO $h/D = 0,25$	
	a - 13º CORRIDA $REY = 2,44 \times 10^4$ .....	51
	b - 14º CORRIDA $REY = 1,86 \times 10^4$ .....	52
	c - 15º CORRIDA $REY = 1,41 \times 10^4$ .....	53

Clivio Fleury

S U M Á R I O

Foram feitas experiências para estudar o campo de pressões nas regiões de separação, religação e redesevolvimento, de um escoamento a juzante de uma obstrução em um tubo. A obstrução foi realizada pelo fechamento parcial da seção transversal da entrada do tubo, tal que a área aberta na seção de entrada tinha a forma de segmento circular. As experiências foram realizadas aspirando-se ar através de um tubo de latão de 7/8 de polegadas de diâmetro interno, e com 130 diâmetros de comprimento. Foram conseguidas medidas de pressões estáticas por meio de dois conjuntos de tomadas nas paredes, distribuídas ao longo do tubo e localizados a 180° um conjunto do outro. Um conjunto de tomadas foi localizado no mesmo lado do tubo em que ficou a obstrução, enquanto o outro foi localizado no lado oposto. Foram desenvolvidos para valores de  $h/D = 1,00, 0,75, 0,50$  e  $0,25$ , onde  $h$  é a flexa do segmento circular e  $D$  é o diâmetro interno do tubo. O número de Reynolds cobriu o campo de  $7,75 \times 10^4$  a  $1,40 \times 10^4$ .

A distribuição das pressões, em relação ao ambiente e normalizadas pela pressão dinâmica local foi lançada como uma função da coordenada axial, para todos os casos estudados. Os gráficos mostram claramente os processos de separação, religação e redesevolvimento. A contração do escoamento, devido à separação, causa uma queda de pressão, a qual, em termos de pressão dinâmica, vai de 1,40 a 56,00 dependendo da gradação da separação. A localização da vena contracta move-se para juzante conforme cresce a separação indo, aproximadamente, de 1/2 a 2 diâmetros. O valor percentual da recuperação da pressão diminui e ponto de religação move-se para juzante, conforme a separação se torna maior.

A assimetria no campo de pressões devido à obstrução assimétrica persiste somente, até o ponto de religação, uma distância relativamente curta da en-

trada. Por exemplo, para a maior separação estudada aqui, as pressões resultantes dos dois conjuntos de tomadas são essencialmente idênticas após 7 diâmetros a partir da entrada. É notável o comportamento dessas diferenças até desaparecerem, pois mudam de sentido no espaço entre a entrada e o ponto de religação.

Foram avaliados dos dados experimentais, os coeficientes de atrito, para a região completamente desenvolvida (depois de 30 diâmetros), e estão em excelente concordância com os valores aceitos na literatura. Foram tabelados os coeficientes de perda caracterizando a separação.

## CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

A separação de escoamentos é frequentemente encontrada em todos sistemas de condutos de fluidos, tais como: tubos, dutos, caldeiras, radiadores e transportes pneumáticos. Existem muitos estudos sobre as variações de pressões, nessas regiões de separação, relativas à determinação da perda total de pressão. Estes estudos se destinam a possibilitar a previsão nos cálculos de dutos. As perdas devido a separadores de fluido, comumente encontradas, são tabuladas, como por exemplo: em cotovelos, curvas, mudanças de seção, medidores de diafragma, venturis. Estudos detalhados do campo de pressões, a juzante da separação, são menos comuns. Um desses estudos concernentes à região de separação, a juzante de um orifício situado à entrada de um tubo, é relatado por Langren e Sparrow (1).

Procurando estender o conhecimento em outros tipos de obstruções, planejamos o estudo de uma separação de escoamento, causada por uma obstrução de geometria assimétrica. O fluido usado foi o ar. A separação investigada aqui foi causada obstruindo-se um segmento circular na seção da entrada de um tubo. Foram feitos testes para três graduações de obstrução. O campo de pressões, a juzante da separação, foi determinado por meio de dois grupos de tomadas de pressão localizados longitudinalmente, cada grupo disposto a 180° um do outro. A localização das tomadas de pressão foi selecionada com o propósito de coletar informações sobre as regiões de separação, religação e redensolvimento. Foi calculado, também, o coeficiente de fricção para a região de fluxo completamente redensolidado. As experiências cobriram o campo desde Reynolds igual a  $1,41 \times 10^4$  até Reynolds  $7,75 \times 10^4$ .



## C A P Í T U L O II

### APARELHAGEM EXPERIMENTAL E OPERAÇÃO

#### 1. Descrição Geral

O desenho esquemático da aparelhagem de teste é apresentado nas Figuras 1 e 2. Como mostrado nelas, o ar é aspirado da sala através de um tubo. A entrada é parcialmente bloqueada transversalmente, causando a separação no fluxo de ar. Depois da seção de teste do tubo, o fluxo de ar, é medido por um dos dois rotômetros disponíveis, e, em seguida passa através de um soprador, reentrando novamente no ambiente da sala. A seção de teste foi instrumentada com tomadas de pressão, cujas leituras são lidas em um manômetro de água por um catetômetro. Um termômetro e um barômetro dão a temperatura e pressões ambientes.

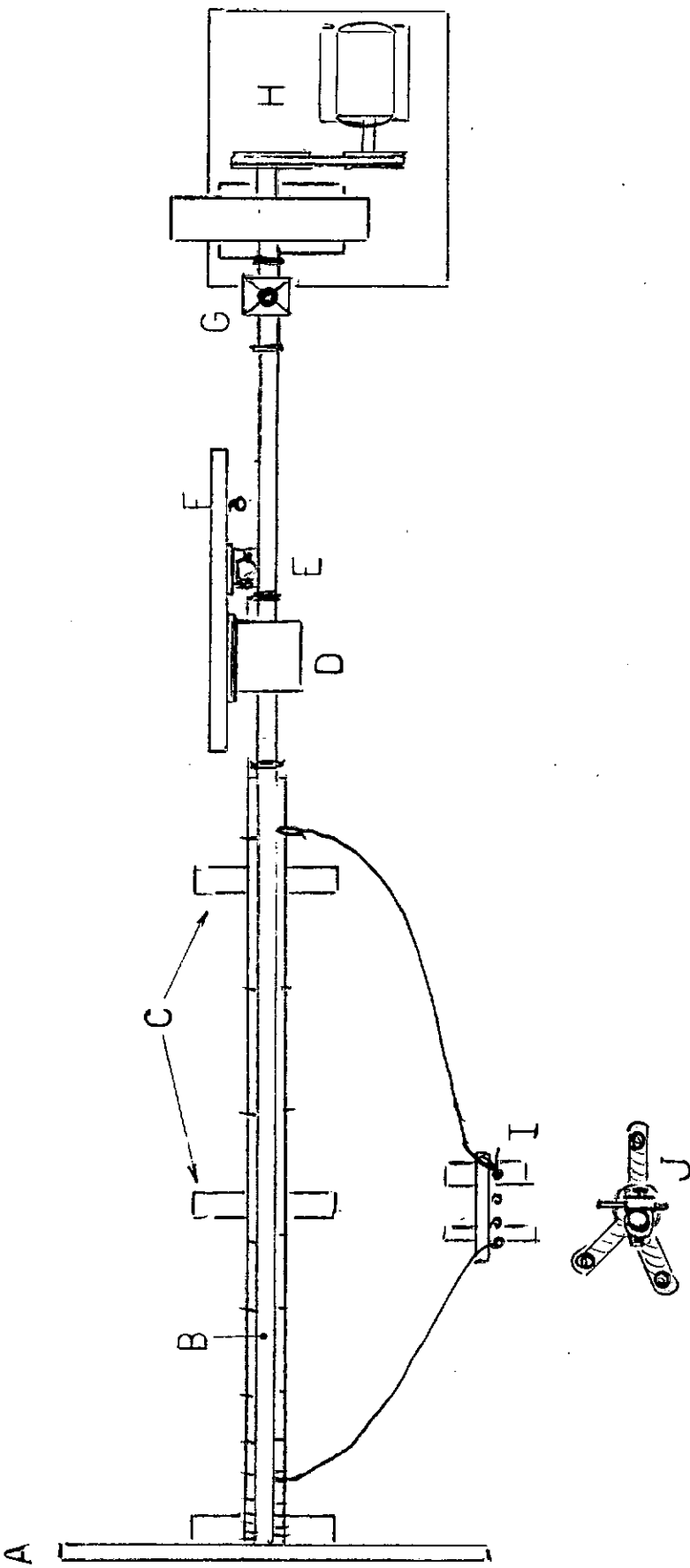
#### 2. Seção de Teste

A seção de teste consiste em um tubo de latão de diâmetro interno  $0,875 \pm 0,002$  pol, externo 1,125 pol e comprimento 118 pol. É um tubo comercial porém fabricado por extrusão, o que garante ser retilíneo e ter a superfície interna espelhada. Um desenho esquemático da seção de teste é apresentado na Figura 3.

Como é mostrado na figura, a seção de teste foi instrumentada com dois grupos de tomadas de pressão, cada grupo disposto a  $180^\circ$  um do outro. Essas tomadas são num total de 20 em cada lado e a localização axial delas, é mostrada na Tabela 1.

T A B E L A I  
LOCALIZAÇÃO DAS TOMADAS DE PRESSÃO

$z/D = 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4, 5, 6, 9, 13, 19, 31, 46, 61, 76, 91, 106, 121$



- DISCO DE MADEIRA
  - TUBO DE LATHO
  - CAVALETES
  - ROTÂMETRO
  - BARÔMETRO
  - TERMÔMETRO
  - VÁLVULA
  - SOPRADOR
  - MANÔMETRO
  - CATETÔMETRO
- A - - -  
 B - - -  
 C - - -  
 D - - -  
 E - - -  
 F - - -  
 G - - -  
 H - - -  
 I - - -  
 J - - -

FIGURA 1 - PLANTA DO ESQUEMA DA INSTALAÇÃO

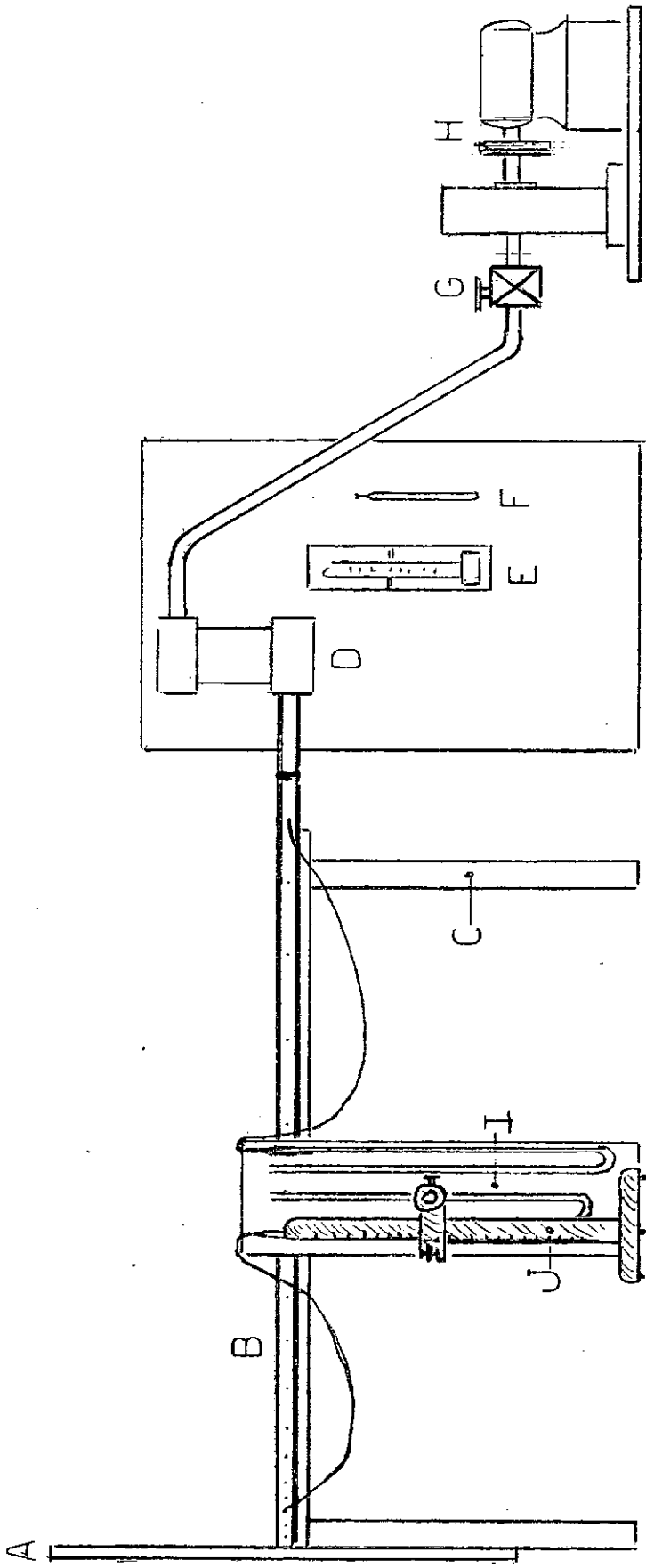


FIGURA 2 - VISTA LATERAL DO ESQUEMA DA INSTALAÇÃO

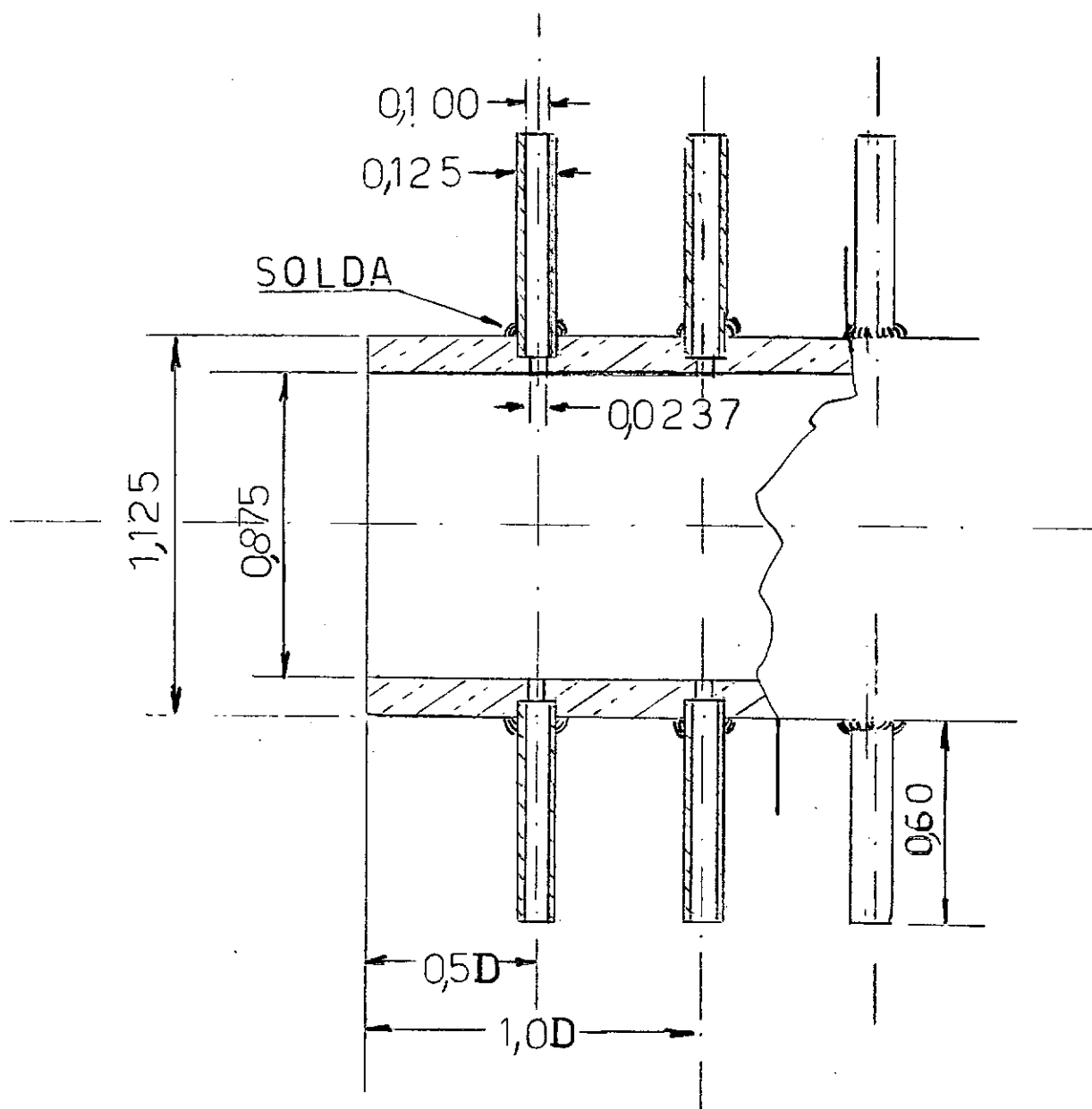


FIGURA 3 - DETALHE DO TUBO DE LATÃO E TUBINHOS DE CONEXÃO

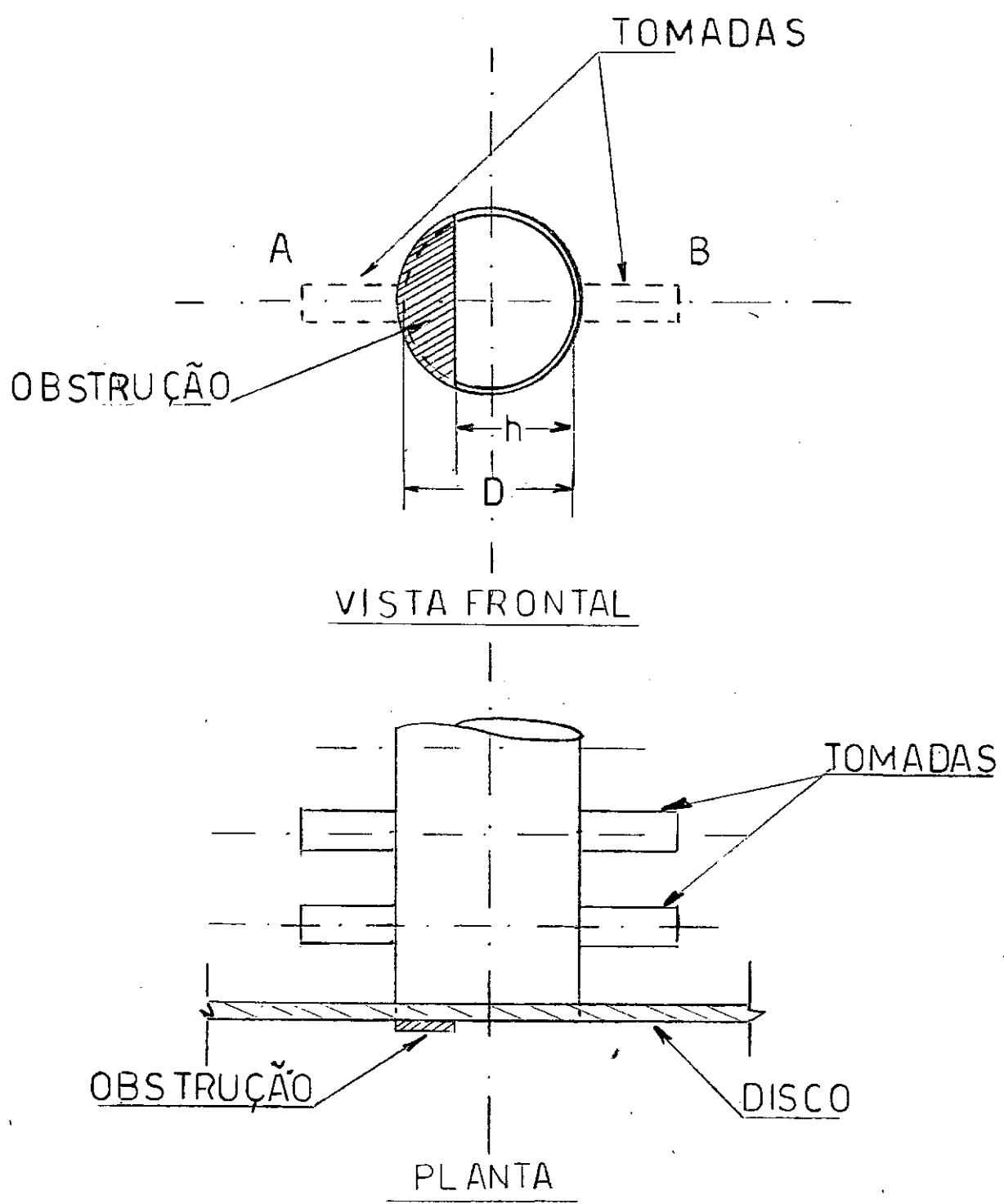


FIGURA 4 - ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DA OBSTRUÇÃO EM RELAÇÃO AS TOMADAS

Na tabela,  $z$  representa a distância da seção transversal da entrada à linha de centro das tomadas de pressão,  $D$  é o diâmetro interno do tubo. A localização foi determinada pelo divisor da própria máquina frezadora que abriu os orifícios para as tomadas de pressão. Esses orifícios foram abertos com dois diâmetros (Figura 3):  $\varnothing 0,125$  pol até a profundidade de  $0,125$  pol e  $\varnothing 0,0237$  pol ( $0,6$  mm), a partir dessa profundidade, até vazar. Isto foi feito para poder soldar um tubinho de  $\varnothing 0,125$  pol no diâmetro maior do orifício, e para ter, no interior da seção de teste, orifícios de tomada os menores possíveis. Foram tomados cuidados para o perfeito alinhamento e centralização dos orifícios.

Depois de abertos os orifícios, o tubo de teste foi limpo internamente com lixa d'água e camurça, para retirar tôdas rebarbas e cavacos, sem estragar os cantos vivos mantendo a superfície interna espelhada. A superfície foi desengraxada com éter sulfúrico. Nos orifícios foram ajustados tubinhos de cobre de diâmetro externo  $\varnothing 0,125$  pol, interno  $\varnothing 0,100$  e  $0,60$  pol de comprimento total. Esses tubinhos foram soldados ao tubo de teste com solda de estanho comum. Esta soldagem tem por fim, além de prender os tubinhos, assegurar a vedação completa dessa ligação. Os tubinhos foram ligados ao manômetro por um tubo de plástico flexível. Quando um tubinho não estava ligado ao manômetro era fechado por uma tampa de plástico.

A obstrução da seção transversal da entrada, foi feita por uma placa de aço inoxidável com  $0,010$  pol de espessura e afiada, formando um ângulo de  $10^\circ$  na borda (Figura 4). Essa placa foi posicionada perpendicular à linha de centro passando por duas tomadas de pressão opostas. A obstrução foi colocada em três relações entre o setor-circular que restou aberto e o diâmetro interno do tubo de teste. Isto possibilitou investigações com quatro valores de  $h/D$  que são:  $1,00$  (completamente aberto),  $0,75$ ,  $0,50$  e  $0,25$ .

Nestas relações  $h$  representa a flexa do segmento circular que restou aberto e  $D$  o diâmetro interno do tubo de teste. A determinação e o perpendicularismo das posições de  $h/D$  foram feitas riscando-se a seção transversal da entrada do tubo nas medidas 0,75 , 0,50 e 0,25 com riscador orientado através de visadas do catetômetro. A fixação da placa nas posições determinadas, foi feita pela própria diferença de pressão que surgia entre as duas faces da placa devido à sucção do ar. Verificou-se ser suficiente este método de fixação, para manter a placa no lugar, durante todo o tempo de levantamento de medidas.

### 3. Outros Elementos

À entrada do tubo de teste foi montado um disco de madeira com 48 pol de diâmetro externo e um furo no centro de  $\varnothing$  1,125 pol para a passagem do tubo. O disco foi fixado de maneira que sua superfície ficasse razante ao mesmo plano da seção transversal da entrada do tubo. Isto foi verificado por meio de uma régua. A superfície do disco foi lixada com lixa para madeira nº 000. Os interstícios entre o furo central do disco e a parede externa do tubo foram preenchidos com cêra para dar vedação completa. Devido a este disco podemos considerar que o ar provenha de um reservatório de dimensões infinitas, localizado à montante da entrada do tubo de teste.

O tubo de teste foi suportado por uma viga de madeira bem retilínea sobre três cavaletes. As ligações entre o tubo, os rotâmetros e o compressor foram feitas com tubo de plástico flexível. As ligações foram presas por meio de braçadeiras e vedadas com vedante para tubulações.

O soprador, cuja finalidade foi a de aspirar o ar, tem as seguintes características : marca IHEM, potência do motor 2 HP, rotação 5.700 rpm, vazão máxima  $51 \text{ ft}^3 / \text{min}$  .

#### 4. Instrumentos

Os dois rotâmetros , usados para medir a vazão, são de marca Fischer & Porter com valores máximos de  $56,7 \text{ ft}^3/\text{min}$  e  $27,0 \text{ ft}^3/\text{min}$ , calibrados para o ar à  $21^\circ\text{C}$  e uma atmosfera. A precisão é de  $1/2$  por cento da leitura da escala total. Os rotâmetros foram prêsos a um painel de madeira e a verticalidade verificada com fio de prumo.

Os dois manômetros, usados, foram construídos com tubos de vidro de  $\varnothing 0,50$  pol de diâmetro interno, ligados em U e cheios com água destilada. Foram prêsos a um painel de madeira vertical. O catetômetro, para as leituras , permitia, através de um nônio e parafuso de ajuste fino, leituras de precisão até  $0,05 \text{ mm}$ , o total da escala permite leituras até  $1000 \text{ mm}$ .

O termômetro usado têm divisões de  $1^\circ\text{C}$ , variando desde  $0^\circ\text{C}$  até  $50^\circ\text{C}$ . O barômetro usado é de mercúrio e permite leitura até  $0,1 \text{ mm Hg}$ .

#### 5. Levantamento dos Dados

Para medir os valores da distribuição das pressões foi seguida a sequência de operações abaixo:

1. Ligar o compressor. Esperar 20 minutos para aquecimento e atingir as condições de estabilidade.
2. Colocar a placa de obstrução na entrada do tubo, com a borda afiada sôbre a marca que dêsse a relação  $h/D$  desejada.
3. Nivelar o catetômetro.
4. Ler e anotar a pressão e temperatura ambientes. Durante as medidas verificar estas leituras periodicamente.
5. Ajustar a válvula para a vazão desejada. Para obter as maiores leituras possíveis para cada relação  $h/D$ , a primeira série de leituras é



feita com a válvula totalmente aberta. Durante os levantamentos, a vazão é verificada frequentemente. Um dos manômetros foi ligado à última tomada e servia para verificação da estabilidade do valor da vazão, quando se estava olhando de frente para o painel dos manômetros.

6. Fazer e anotar as leituras. As leituras foram feitas ligando-se um lado do manômetro à tomada de pressão em verificação. A outra extremidade do manômetro ficou aberta ao ambiente, ou era ligada a outra tomada quando queríamos determinar a diferença de pressão entre essas duas tomadas.

Inicialmente foram feitas leituras com a entrada, do tubo de teste, totalmente aberta até obter-se experiência em utilizar todos aparelhos. Notamos, para estas leituras, diferenças de pressão entre tomadas opostas de  $180^\circ$ . Estas diferenças eram completamente randômicas, variando para corridas diferentes feitas nas mesmas condições e mesma vazão, e variando randômicamente para pares de tomadas sucessivas. Na primeira corrida feita com  $Rey\ 7,64 \times 10^4$  achamos a máxima diferença de  $3,7\text{ mm H}_2\text{O}$  ocorrida nos pares de tomadas primeiras e oitavas, ao mesmo tempo diversos pares de tomadas que não apresentavam pressões diferentes. Julgamos que as causas dessas diferenças eram coisas furtuitas tais como sujeira, má vedação da ligação com o manômetro etc.. Limpando novamente o tubo, verificando cuidadosamente as vedações e a posição do disco de madeira na entrada, fizemos novas corridas para o mesmo número de Reynolds e encontramos a máxima diferença no décimo primeiro par de tomadas com  $2,0\text{ mm H}_2\text{O}$  e maior número de pares tomadas sem diferença. As diferenças diminuem para Reynolds menores, sendo a máxima encontrada, para  $Rey\ 3,8 \times 10^4$ , de  $1,6\text{ mm H}_2\text{O}$  localizada no décimo par de tomadas. Para números de Reynolds menores que  $2,41 \times 10^4$  não haviam mais diferenças. Julgamos impossível eliminar totalmente essas diferenças e portanto valores da ordem de  $2,0\text{ mm H}_2\text{O}$  para  $Rey\ 7,64 \times 10^4$  até  $Rey\ 3,8 \times 10^4$  não são significativos.

Como já dissemos as leituras diferenciais de pressão, para cada tomada, foram feitas em relação à atmosfera, em relação à primeira e a última tomada e em relação à tomada oposta de 180°. Para vazões elevadas aparecem oscilações periódicas, nas leituras das pressões tomadas em relação a atmosfera, e que diminuem conforme mostra a Tabela 2, conforme diminua o número de Reynolds, aumenta a relação  $h/D$  e ao longo do tubo de teste.

TABELA 2

## OSCILAÇÕES NAS LEITURAS DAS PRESSÕES EM RELAÇÃO À ATMOSFERA

Reynolds aproximadamente	$h/d$	$z/d$	Oscilação em percentagem da leitura média
$7,4 \times 10^4$	1,00	1	0,8
		4	0,0
$5,4 \times 10^4$	1,00	1	0,5
		4	0,0
	0,75	1	0,5
		4	0,0
	0,50	1	1,4
		9	1,1
120	0,5		
$3,8 \times 10^4$	1,00	1	0,2
		4	0,0
	0,75	1	0,2
		4	0,0
	0,50	1	0,7
		9	0,2
120	0,0		

Para as leituras oscilantes tomadas em relação à atmosfera, fizemos uma leitura da máxima diferença manométrica, outra leitura da mínima e tomamos o valor médio. Usamos também os valores médios, medidos em relação à tomada consecutiva, para ajustar os valores médios encontrados em relação à atmosfera. Os valores finais assim calculados são apresentados no Apêndice B em tabelas.

Um modelo dos cálculos, para determinação dos valores necessários para construção dos gráficos, é apresentado no Apêndice A. Os resultados dos cálculos para cada caso é apresentado nas tabelas do Apêndice B.

## C A P Í T U L O III

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distribuições de pressões medidas são apresentadas nas Figuras 5 a 8, respectivamente para relações de separação  $h/D = 1,00$  (tubo completamente aberto), 0,75, 0,50 e 0,25. Cada conjunto inclui gráficos a, b, ..., correspondentes a números de Reynolds específicos. A ordenada de cada gráfico é a quantidade adimensional  $(P_a - P) / (\rho V^2/2g)$ , na qual  $P$  é a pressão estática na tomada  $z$  e  $\rho V^2/2g$  é a pressão dinâmica correspondente, calculados de acôrdo com o explicado no Apêndice A.  $P_a$  é a pressão atmosférica ambiente. As ordenadas também representam a mudança adimensional da pressão estática experimentada pelo fluido acelerado, perdas devido à separação, e atrito nas paredes.

A abcissa é a distância adimensional  $z/D$  desde a entrada do tubo. Cada gráfico tem duas escalas para abcissa correspondendo às duas curvas mostradas. A escala inferior cobre o campo  $0 < z/D < 20$ , enquanto a superior cobre o campo  $20 < z/D < 120$ .

Nos gráficos 6, 7 e 8, os quais correspondem ao caso em que a entrada do tubo está parcialmente obstruída, mostramos curvas separadas, quando apropriado, para as medidas dos dois conjuntos opostos de tomadas de pressão. O conjunto de tomadas localizado do mesmo lado do tubo em que está a obstrução é designado pela letra A, enquanto o conjunto localizado do lado aberto é designado por B. Essas designações são ilustradas na Figura 4.

Da inspeção global dos gráficos tornam-se evidentes certas tendências gerais. O fluido entrando no tubo separa-se das paredes e acelera-se devido à diminuição da área da seção transversal através da qual flui. Isto causa uma queda

de pressão (isto é, um aumento de  $(P_a - P)$ ). Depois de passar através de uma área mínima (máximo de  $(P_a - P)$ ) o núcleo do escoamento se expande, dando razão a uma recuperação da pressão (diminuição de  $(P_a - P)$ ). Uma vez que o fluido "encher o tubo", ocorre um redesenvolvimento do campo de distribuição de velocidades resultando na aceleração das perdas por atrito na parede. Mais adiante, na direção do escoamento, a perda se torna uma linha reta em função de  $z/D$ .

Há muitas variações em detalhes interessantes que dependem da relação de separação. Discutindo-se estes pontos, é conveniente verificar-se a Tabela 3 bem como os gráficos. Para as curvas em que a entrada do tubo está desobstruída a pressão mínima ocorre tão junto da entrada ( $z/D < 1/2$ ), que não pode ser detectada pela instalação atual. Assim que a obstrução se torna maior, a pressão mínima move-se a jusante até que, quando  $h/D = 0,25$ , a pressão mínima (máximo de  $(P_a - P)$ ) se localiza em volta de  $z/D = 1,5$ . Também, com o aumento da relação de separação, a pressão mínima é fortemente acentuada, isto é, o máximo valor de  $(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g)$  cresce notadamente. Por exemplo, para  $h/D = 0,25$ , o máximo anteriormente mencionado, é de aproximadamente 50, comparado com o valor aproximado 2,5 para a abertura desobstruída.

Em seguida, em relação à recuperação de pressão é evidente um efeito forte do parâmetro  $h/D$ . Se a diferença entre o máximo e o mínimo valor de  $(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g)$  é considerada como a recuperação de pressão e se  $[(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g) - 1]$  é a recuperação máxima possível então vê-se que a porcentagem recuperada no caso mais obstruído é  $1/3$  a  $1/4$  da do caso desobstruído. Também o ponto de máxima pressão (mínimo  $(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g)$ ) move-se a jusante com o aumento da relação de separação.

É interessante observar o efeito da separação assimétrica. Nos casos em que pode-se pôr em evidência as diferenças de resultados, a pressão mínima (máximo de  $(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g)$ ) é sempre maior no lado A (mesmo lado que o da obs-

trução) e a pressão máxima (mínimo de  $(P_a - P) / (\rho V^2/2g)$ ) é sempre menor do lado B (oposto à obstrução). Vale uma notação particular para o fato as diferenças entre os lados A e B não se prolongam a jusante. Para o caso extremo em que  $h/D = 0,25$  as diferenças se tornam indistintas em volta de  $z/D = 7$  e desaparecem em seguida.

O número de Reynolds tem um papel pequeno quando os resultados são apresentados de maneira adimensional.

O coeficiente de atrito, para a região completamente redesenvlvida, foi calculado como discutido no Apêndice A. Esses valores apresentados na Tabela 3 e são comparados com os do gráfico de Moody. Os resultados ficam a menos de 3 por cento de diferença, dos de Moody. (2)

As perdas de pressão irrecuperáveis, na região de separação e religação são dissipadas em forma de calor. Estas perdas são devido aos elevados gradientes de velocidade e às turbulências periódicas as quais já aludimos. No caso do tubo aberto a perda foi tabelada, há muito tempo, por Weisbach (3). O coeficiente de perda  $K_L$  é definido por  $K_L = h_L / (\rho V^2/2g)$  sendo  $h_L$  a perda de pressão total,  $\rho$  a densidade do fluido,  $V$  a velocidade média do fluido a jusante. No nosso caso para  $(h/D = 1,00)$ ,

$$K_L = (P_a - P) / (\rho V^2/2g) - 1$$

A perda de pressão irrecuperável pode ser medida no ponto em que se tem a máxima recuperação. Nesse ponto  $(P_a - P) / (\rho V^2/2g) \approx 1,5$ . Então:

$$K_L = 1,5 - 1 = 0,5$$

que é igual ao valor tabelado por Weisbach. Apresentamos a Tabela 4 com os valores médios de  $K_L$ , para cada relação  $h/D$  independentemente do número de Reynolds, cuja influência é muito pequena, fazendo-se a média entre os valores para cada número de Reynolds e cada conjunto de tomadas.

TABELA 3

LOCALIZAÇÃO E VALORES DOS PONTOS DE MÁX. E MÍN.

h/D	Rey x 10 <sup>-4</sup>	(P <sub>a</sub> - P) / (ρv <sup>2</sup> /2g)		z/D		na zona reiligada	F gráfico de Moody	
		B	A	B	A			
1,00	7,75	Máx.	2,40		1/2		0,0184	0,0187
		Mín.	1,49		3			
	5,39	Máx.	2,39		1/2		0,0200	0,0200
		Mín.	1,49		3			
	3,80	Máx.	2,39		1/2		0,0220	0,0216
		Mín.	1,54		2 1/2			
	2,41	Máx.	2,27		1/2		0,0247	0,0240
		Mín.	1,52		3			
	1,42	Máx.	2,35		1/2		0,0294	0,0275
		Mín.	1,40		2			
0,75	7,26	Máx.	3,24	3,21	1/2		0,0185	0,0188
		Mín.	1,90	1,88	3 1/2			
	5,86	Máx.	3,50	3,50	1/2		0,0196	0,0196
		Mín.	2,09	2,05	3 1/2			
	3,79	Máx.	3,36	3,31	1/2		0,0213	0,0216
		Mín.	2,12	2,07	3 1/2			
0,50	5,79	Máx.	7,55	7,82	1	1	0,0201	0,0197
		Mín.	5,10	5,02	6	6		
	3,77	Máx.	7,98	8,40	1 1/2	1	0,0236	0,0216
		Mín.	5,08	5,04	6	6		
	2,44	Máx.	7,46	7,91	1	1	0,245	0,0239
		Mín.	4,81	4,81	5	5		
	1,42	Máx.	6,90	7,61	1	1	0,0298	0,0292
		Mín.	4,68	4,64	5	5		
0,25	2,44	Máx.	53,20	54,49	2	1 1/2	0,0231	0,0239
		Mín.	44,35	44,32	7	5		
	1,86	Máx.	55,58	57,07	1 1/2	1 1/2	0,0250	0,0255
		Mín.	45,77	45,77	7	6		
	1,41	Máx.	51,93	53,15	1	1	0,0265	0,0272
		Mín.	42,51	42,29	5	5		

## T A B E L A 4

## VALÔRES DO COEFICIENTE DE PERDA

h/D	1,00	0,75	0,50	0,25
$K_L$	0,50	1,00	3,87	43,80

Comparando nossos resultados com os obtidos por Langren & Sparrow verificamos que a localização da "vena contracta", e da religação não se modificou de maneira determinável. Outras comparações, tais como coeficiente de perda e grandeza dos valores de queda de pressão, ficam na dependência da conversão dos valores para um mesmo adimensional e do cálculo das relações de áreas para os dois casos, que é um parâmetro mais indicado para comparação.

A localização exata dos pontos de máximo, religação e redensolvimento completo, através de uma definição como no trabalho referido acima, dependem da ajustagem das curvas. O cálculo do coeficiente de atrito local, através da equação de definição, também depende da ajustagem das curvas. A ajustagem das curvas deve ser feita pelo método dos mínimos quadrados usando-se um computador para tornar o cálculo viável.

Quanto às melhorias necessárias, apontamos a conveniência em aumentar o número de tomadas nas regiões de maior interesse, como na região da vena contracta (0 a 2 diâmetros), da religação (2 a 7 diâmetros) e redensolvimento (7 a 30 diâmetros). Para a região de redensolvimento em que as variações entre tomadas consecutivas se tornam muito pequenas pode-se usar um manômetro com líquido menos denso, como óleo por exemplo. Para melhor controle das oscilações pode-se instalar um banco de manômetros que fornece uma visualização do perfil de distribuição das pressões. Por meio de fotografias desse banco talvez se obtenha valores mais precisos que pela leitura individual que fizemos.

Como futura utilização do equipamento sugerimos a pesquisa do campo de pressões dos pontos localizados entre, os opostos, e os ao lado das obstruções, bastando para isso mudar somente a localização da obstrução. Também o campo para outros tipos de obstrução, pode ser determinado da mesma maneira.



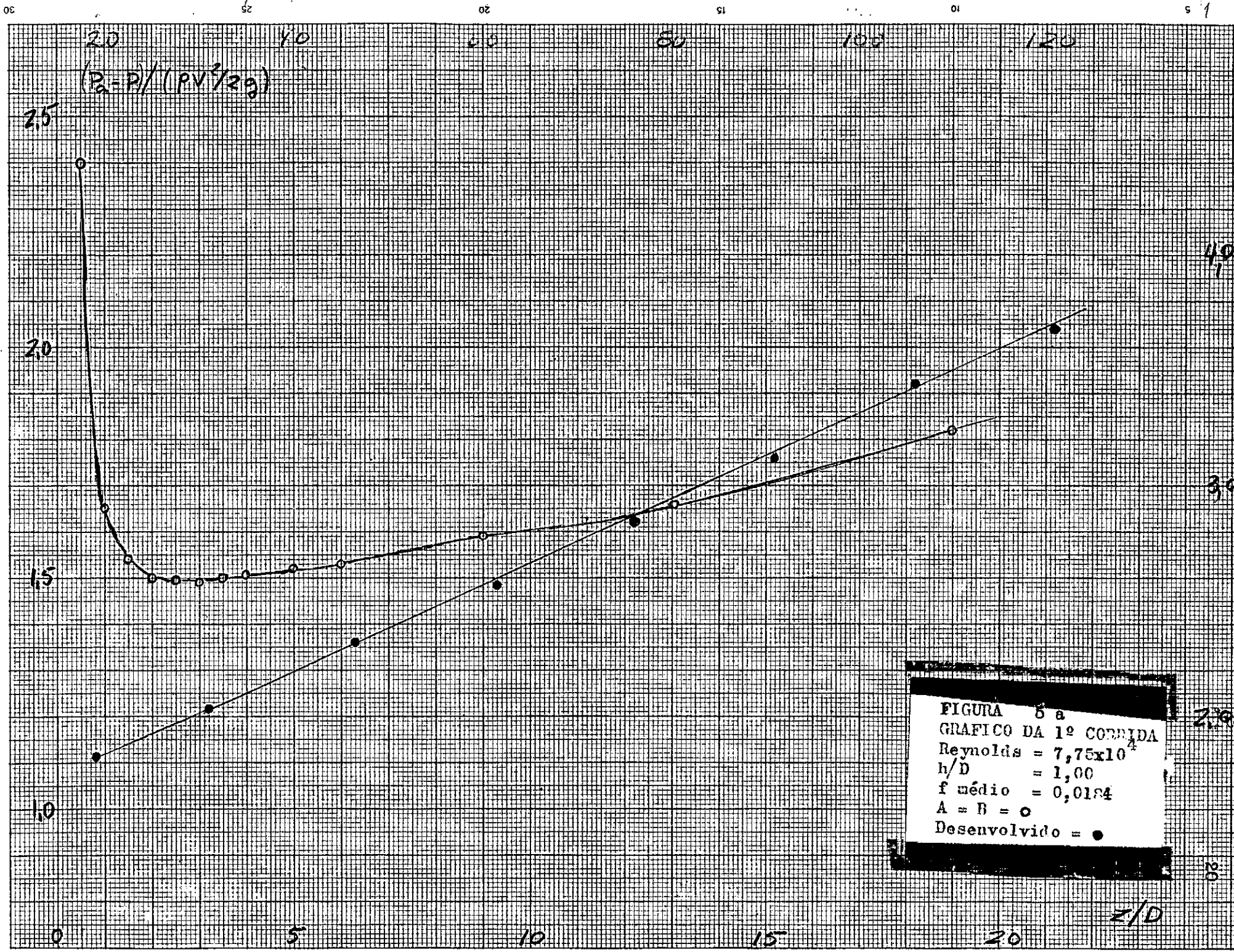


FIGURA 8 a  
 GRAFICO DA 1ª CORRIDA  
 Reynolds =  $7,75 \times 10^4$   
 $h/D = 1,00$   
 $f$  médio = 0,0184  
 $A = B = \circ$   
 Desenvolvido =  $\bullet$

4,9  
 3,0  
 2,9  
 2,8

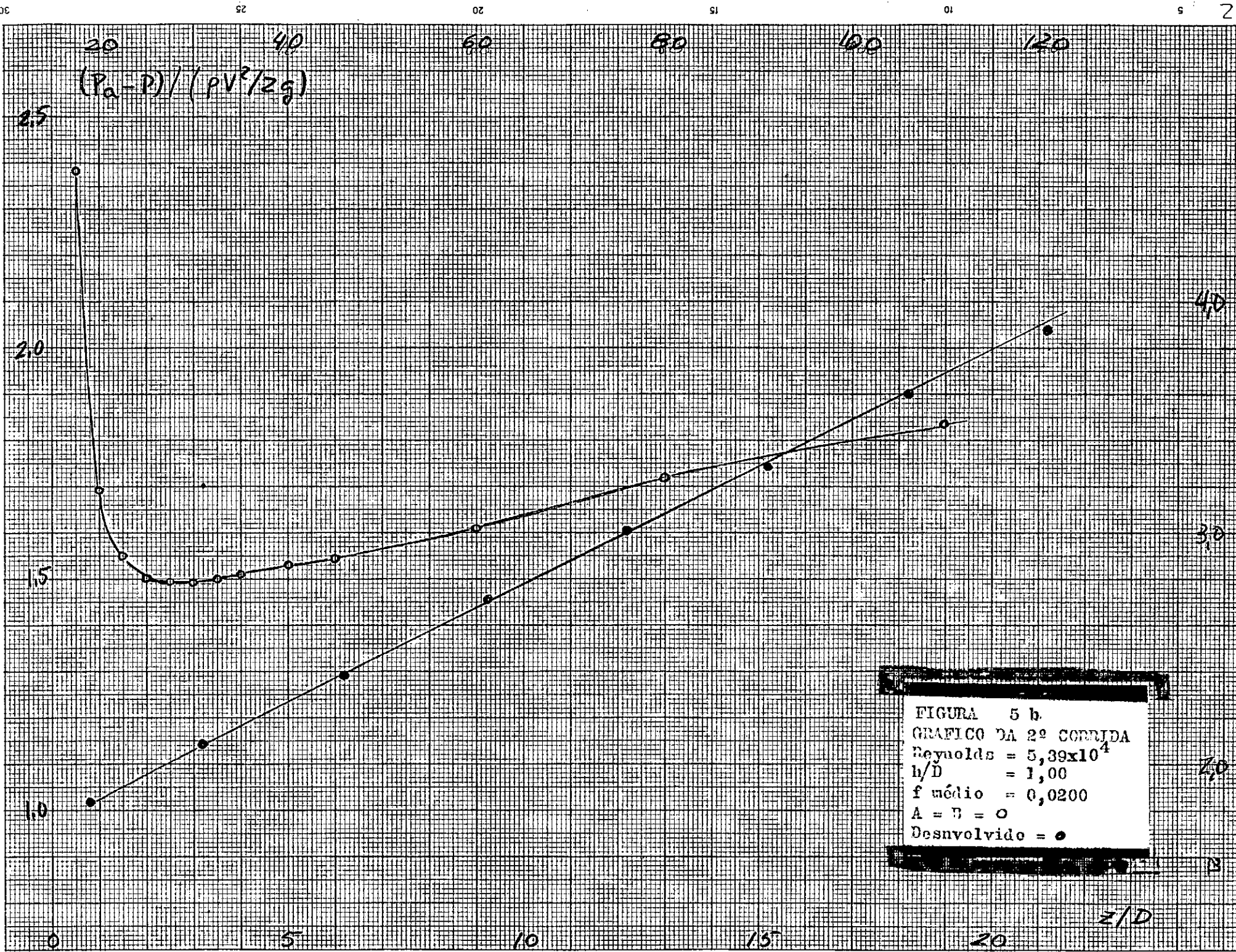


FIGURA 5 b.  
 GRAFICO DA 2ª CORRIDA  
 Reynolds =  $5,39 \times 10^4$   
 $h/D = 1,00$   
 $f \text{ médio} = 0,0200$   
 $A = B = 0$   
 Desenvolvido =  $\bullet$

4,0  
 3,0  
 2,0  
 1,0

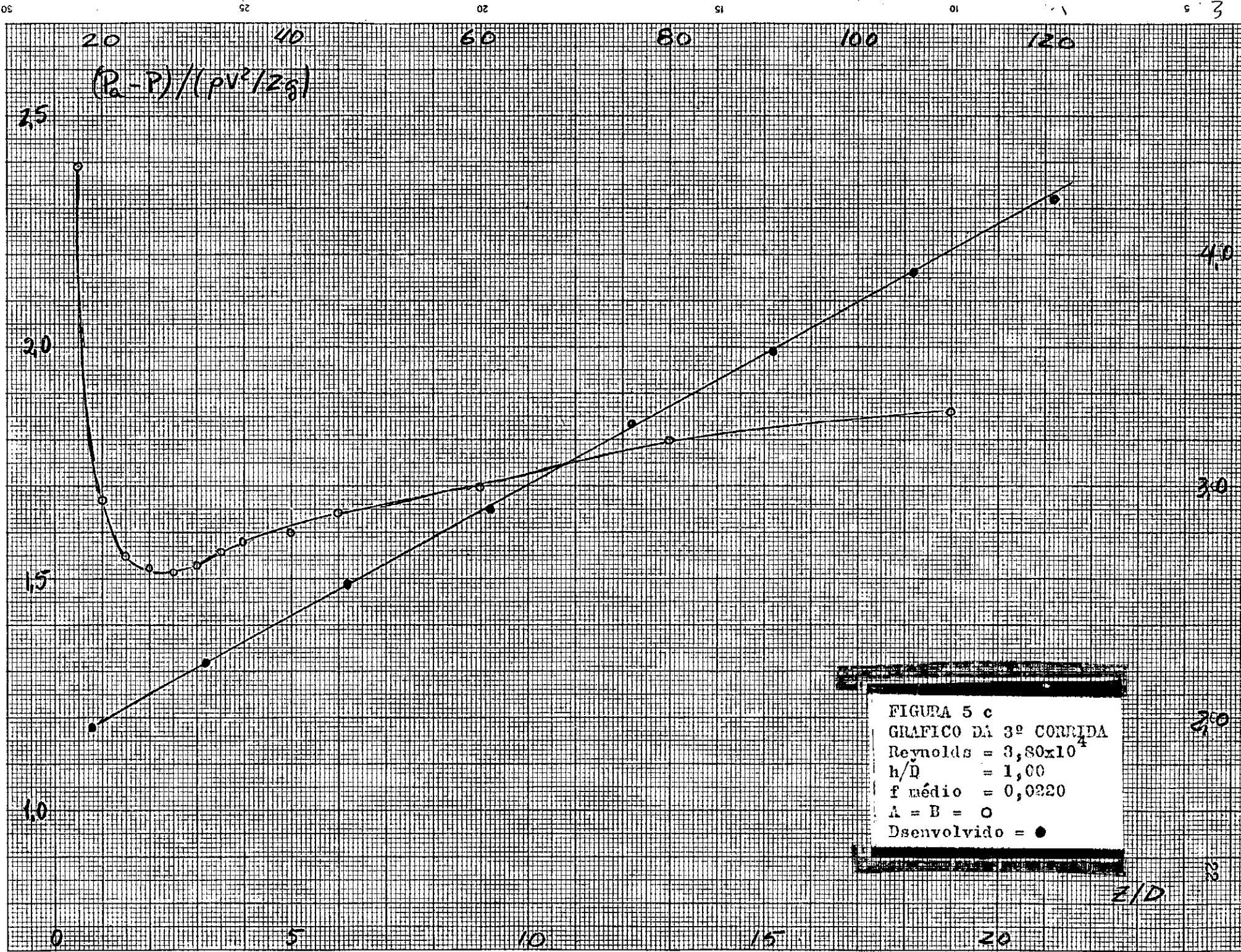
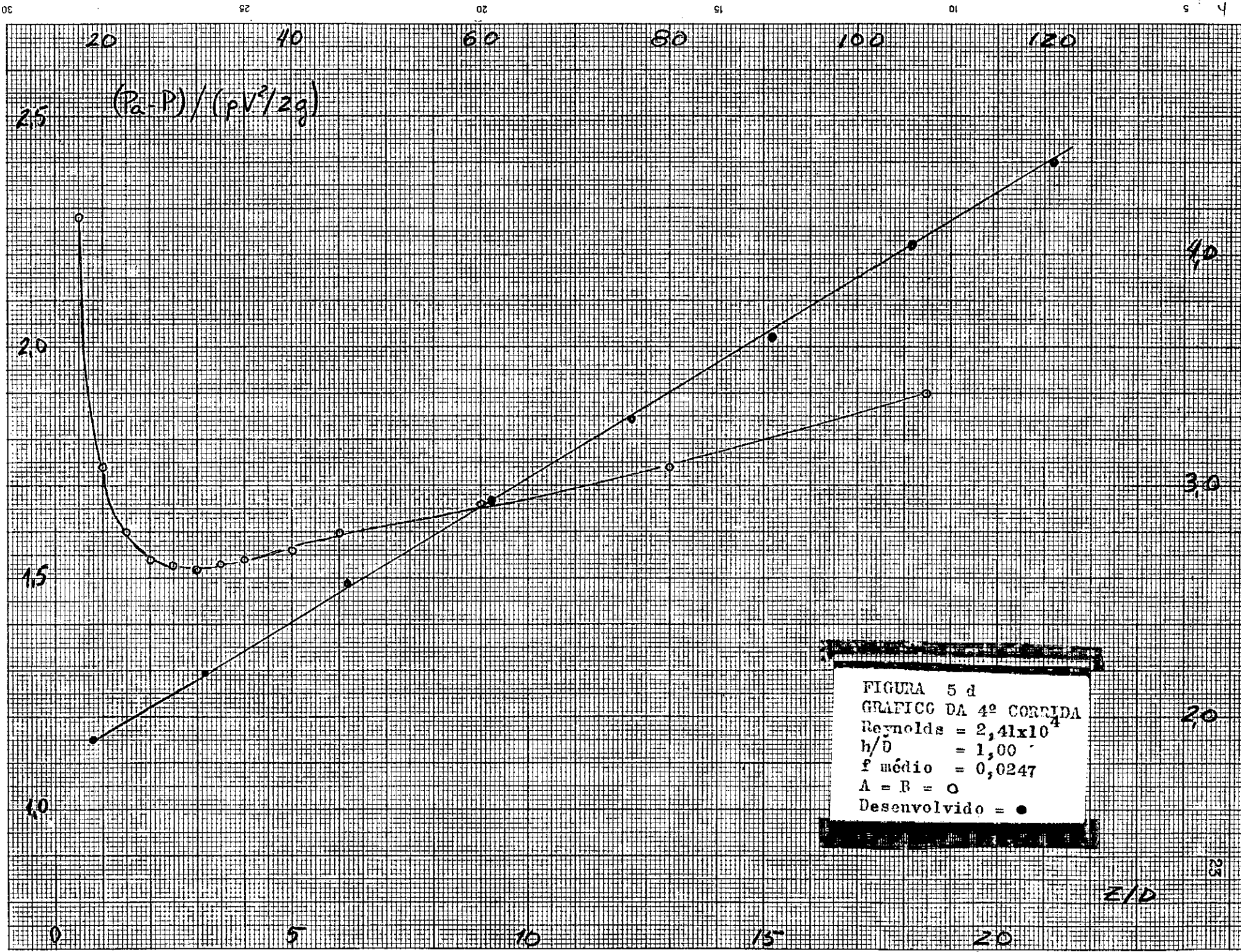


FIGURA 5 c  
 GRAFICO DA 3ª CORRIDA  
 Reynolds =  $3,80 \times 10^4$   
 $h/D = 1,00$   
 $f \text{ médio} = 0,0220$   
 $A = B = O$   
 $D_{\text{desenvolvido}} = \bullet$





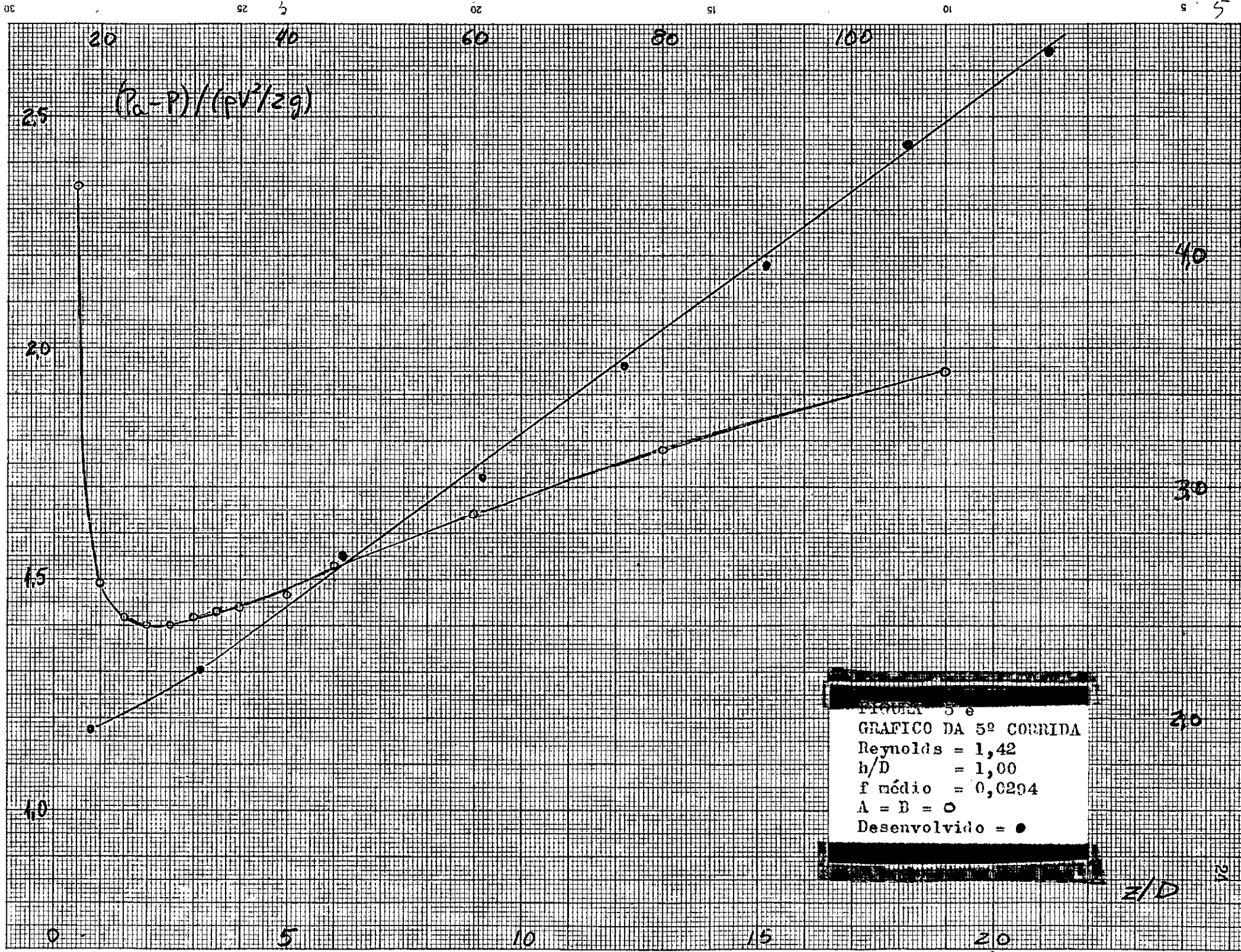
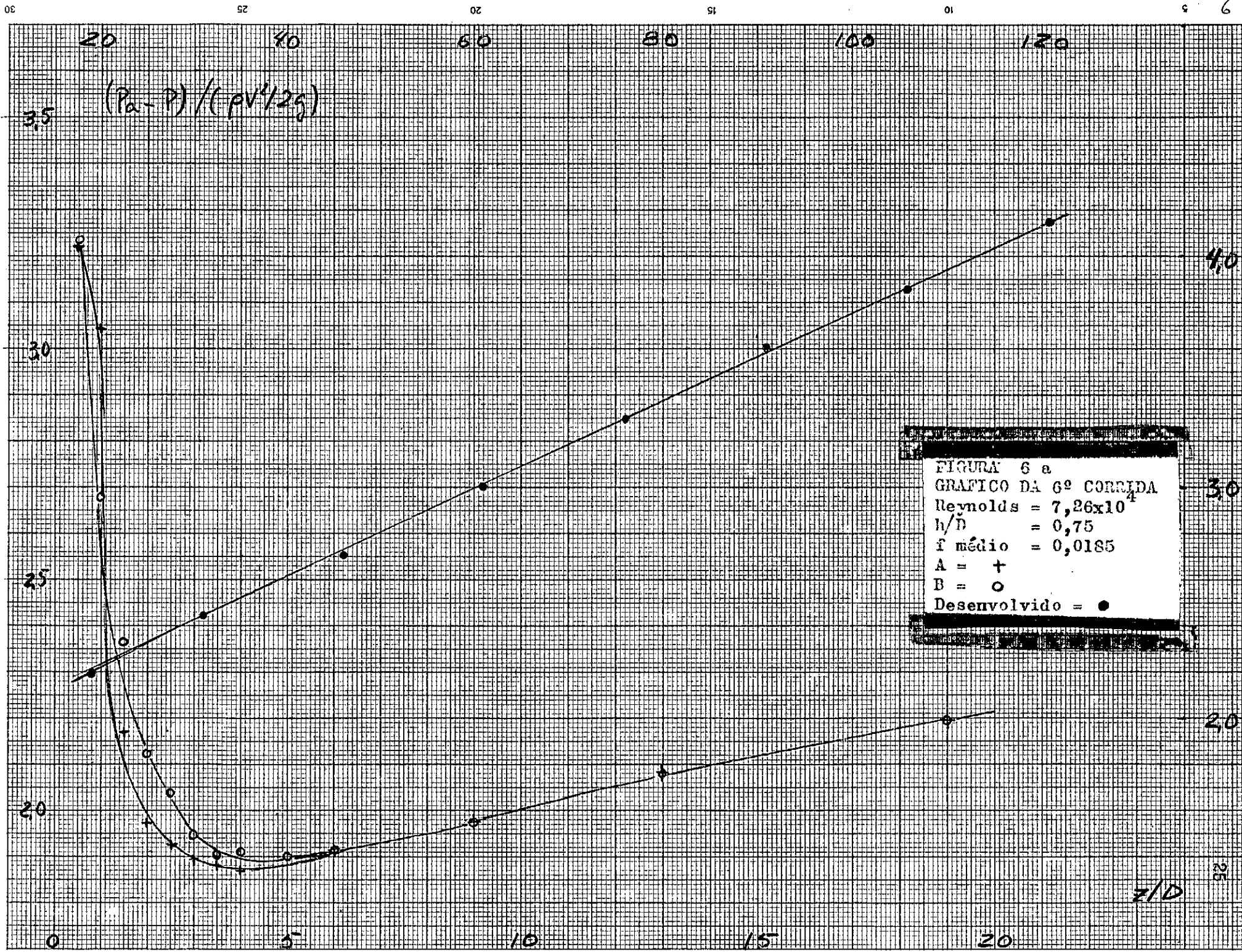


FIGURA 5ª  
 GRAFICO DA 5ª CORRIDA  
 Reynolds = 1,42  
 h/D = 1,00  
 f médio = 0,0294  
 A = B = ○  
 Desenvolvido = ●





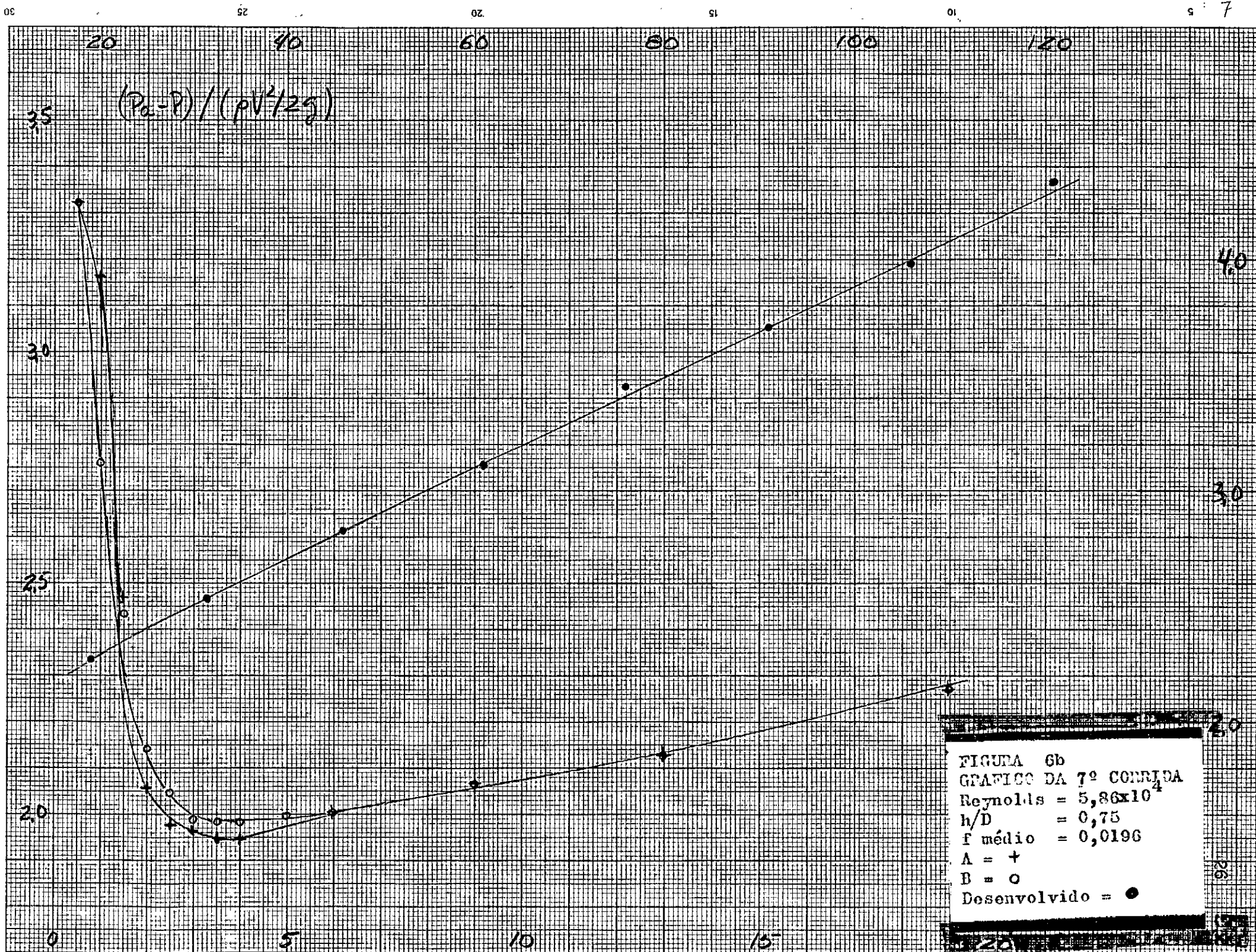


FIGURA 6b  
 GRAFICO DA 7ª CONDIÇÃO  
 Reynolds =  $5,86 \times 10^4$   
 h/D = 0,75  
 f médio = 0,0196  
 A = +  
 B = o  
 Desenvolvido = •

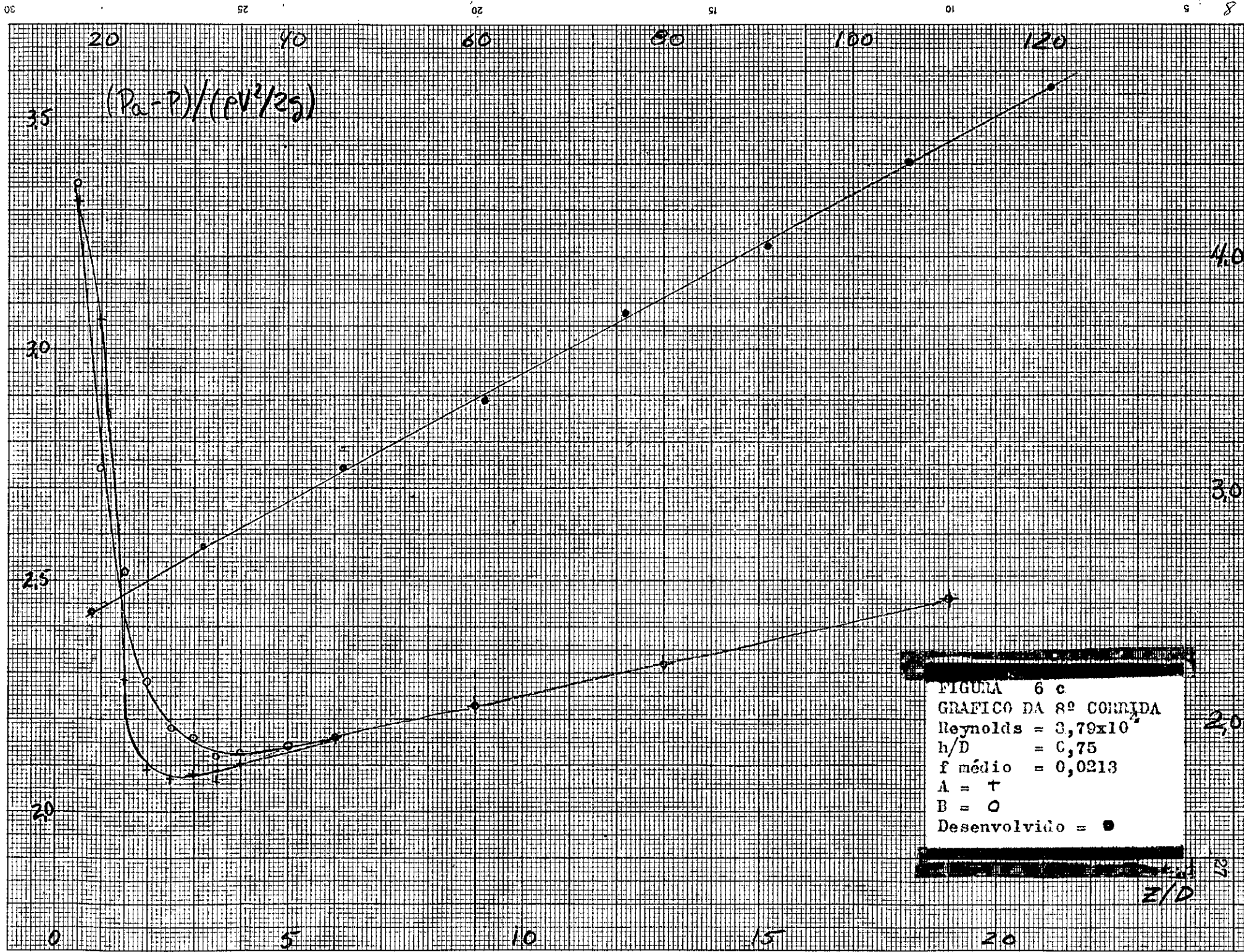


FIGURA 6 c  
 GRAFICO DA 8ª CORRIDA  
 Reynolds =  $3,79 \times 10^4$   
 $h/D = 0,75$   
 $f \text{ médio} = 0,0213$   
 A = +  
 B = O  
 Desenvolvido = ●

Z/D



$$\frac{(P_a - P)}{\rho V^2 / 2g}$$

8

7

6

5

20

40

60

80

100

120

FIGURA 7a  
GRAFICO DA 9ª CURVA  
Reynolds =  $5,79 \times 10^4$   
h/D = 0,50  
f médio = 0,0201  
A = +  
B = o  
Desenvolvido = •

D/D

0

5

10

15

20

$$\frac{(P_a - P)}{\rho V^2 / 2g}$$

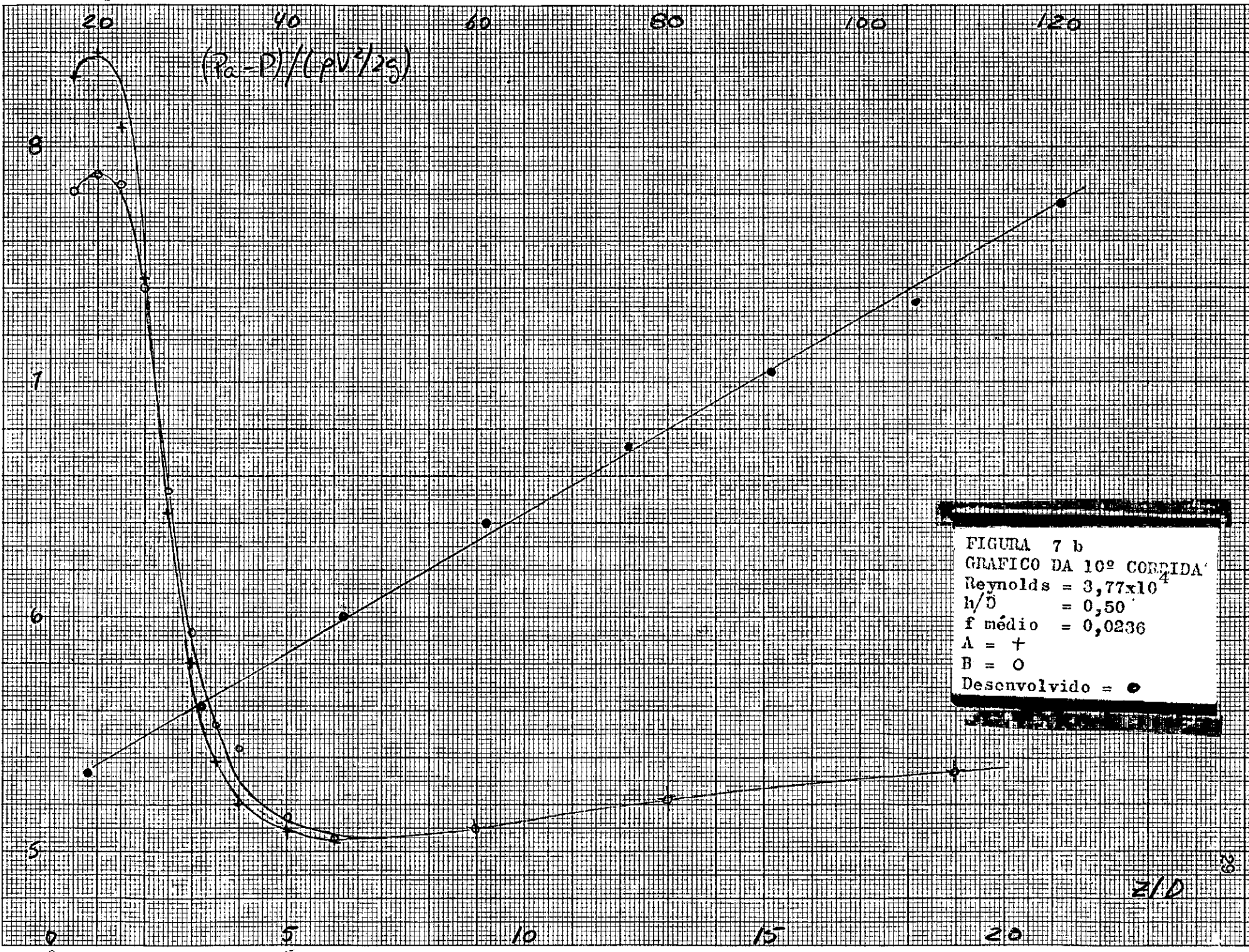


FIGURA 7 b  
 GRAFICO DA 10ª CORNIDA  
 Reynolds =  $3,77 \times 10^4$   
 $h/D = 0,50$   
 $f \text{ médio} = 0,0236$   
 A = +  
 B = O  
 Desenvolvido = ●

z/D

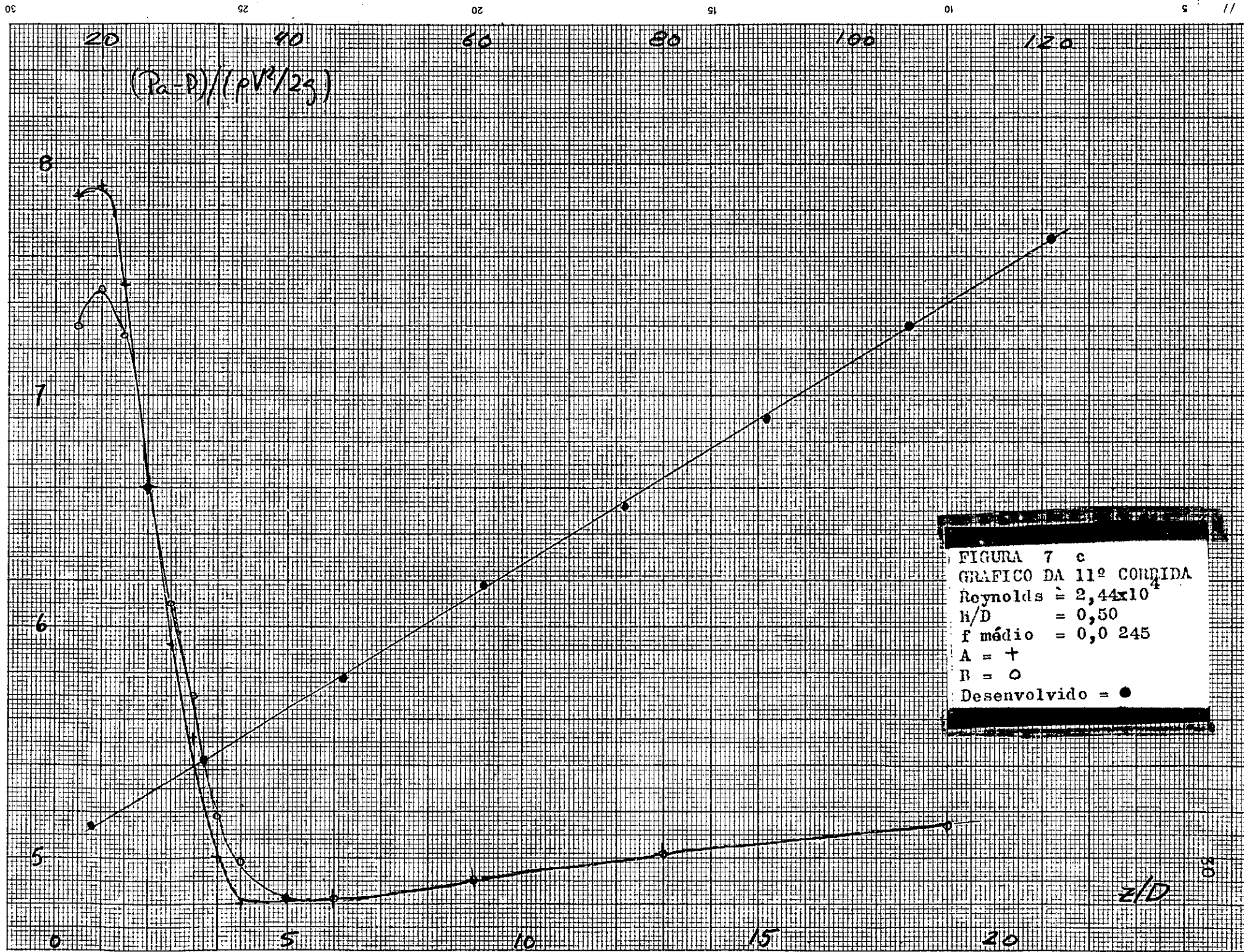


FIGURA 7 c  
 GRAFICO DA 11ª CONDIÇÃO  
 Reynolds  $\approx 2,44 \times 10^4$   
 $h/D = 0,50$   
 $f \text{ médio} = 0,0245$   
 A = +  
 B = o  
 Desenvolvido = •



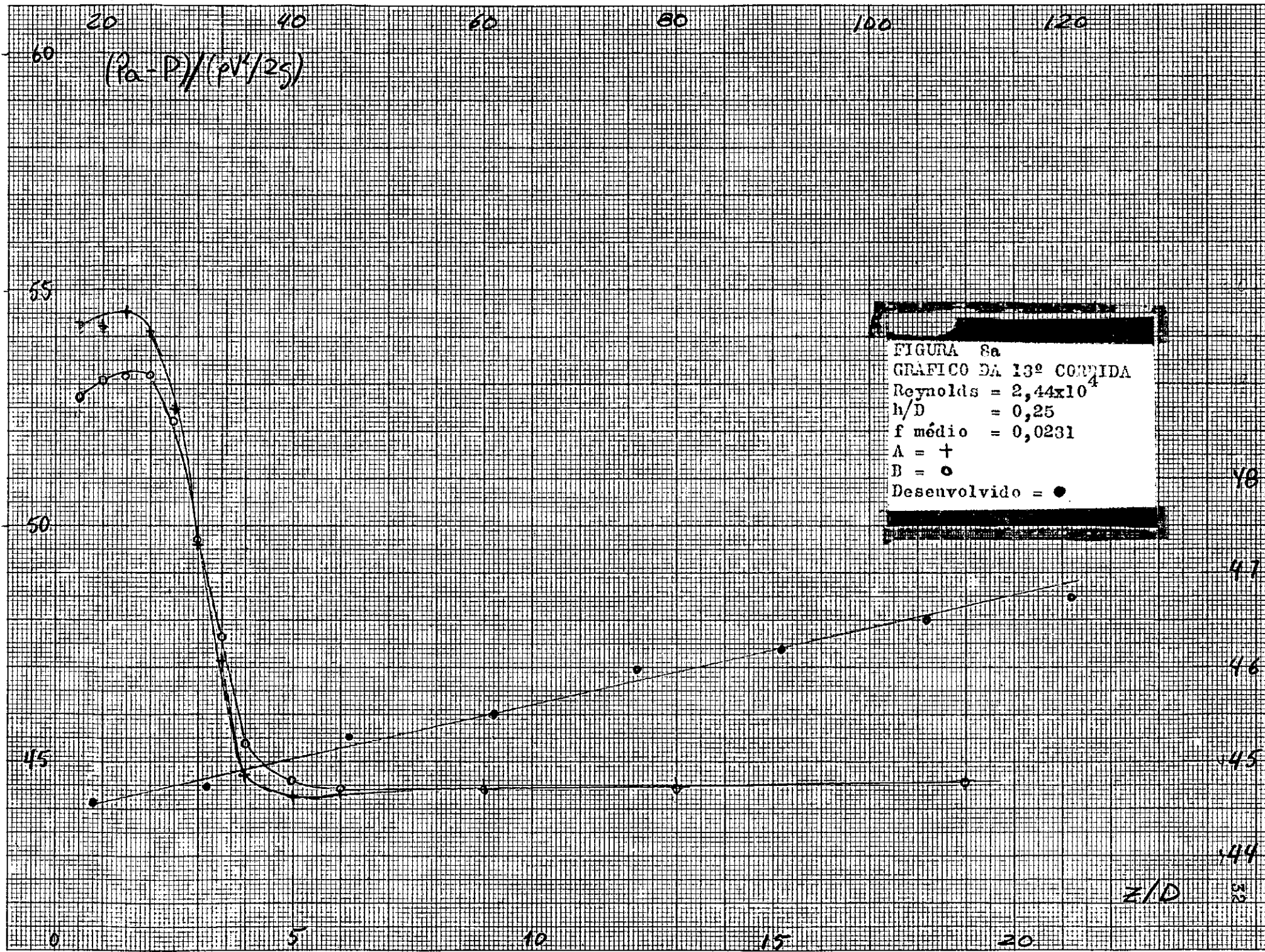


FIGURA 8a  
 GRAFICO DA 13ª CORNIDA  
 Reynolds =  $2,44 \times 10^4$   
 h/D = 0,25  
 f médio = 0,0231  
 A = +  
 B = o  
 Desenvolvido = •

48  
47  
46  
45  
44

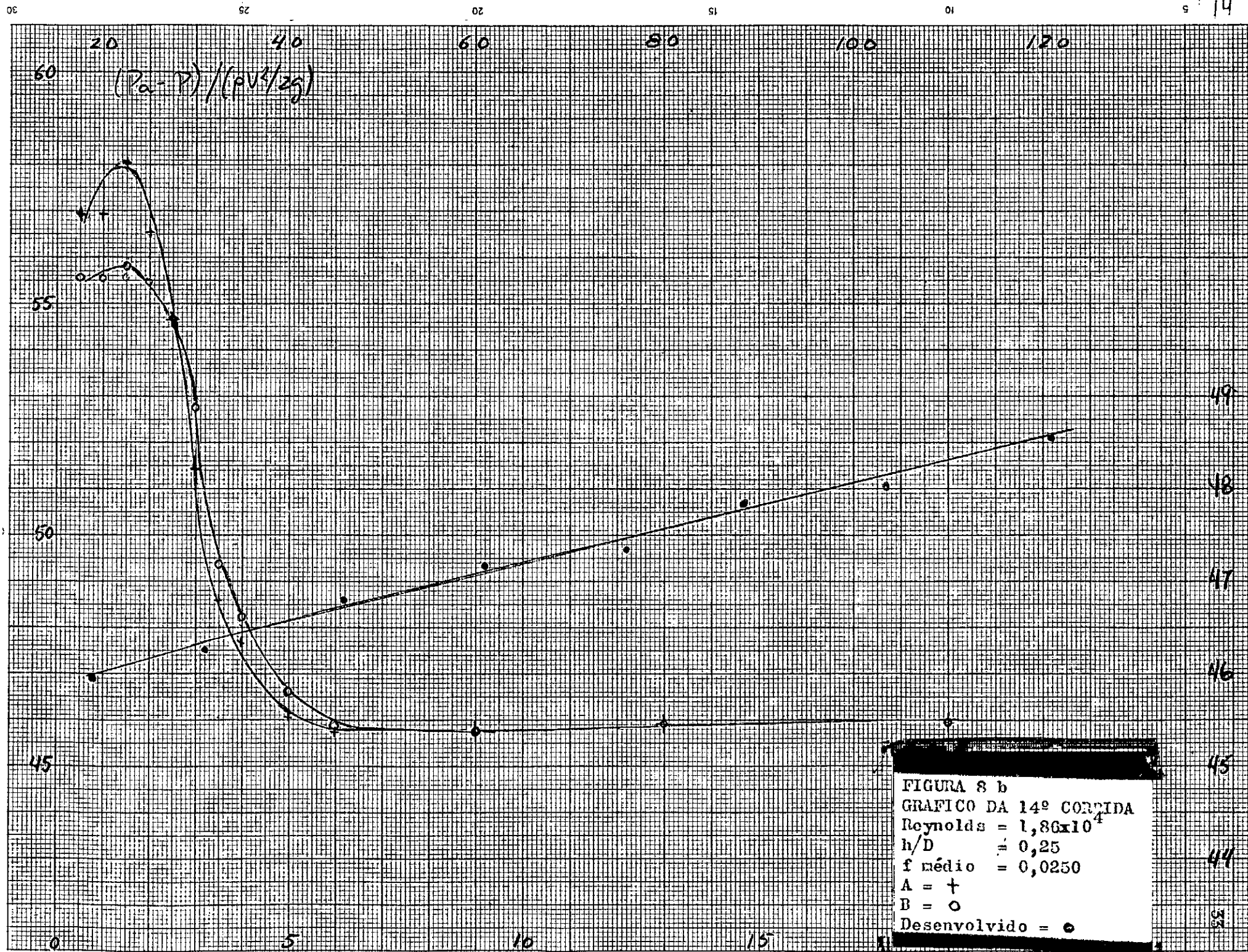


FIGURA 8 b  
 GRAFICO DA 14ª CORRIDA  
 Reynolds =  $1,86 \times 10^4$   
 $h/D = 0,25$   
 $f \text{ médio} = 0,0250$   
 A = +  
 B = o  
 Desenvolvido = •

20 40 60 80 100 120

$(P_2 - P_1) / (\rho V^2 / 2 \gamma)$

8

7

6

5

0

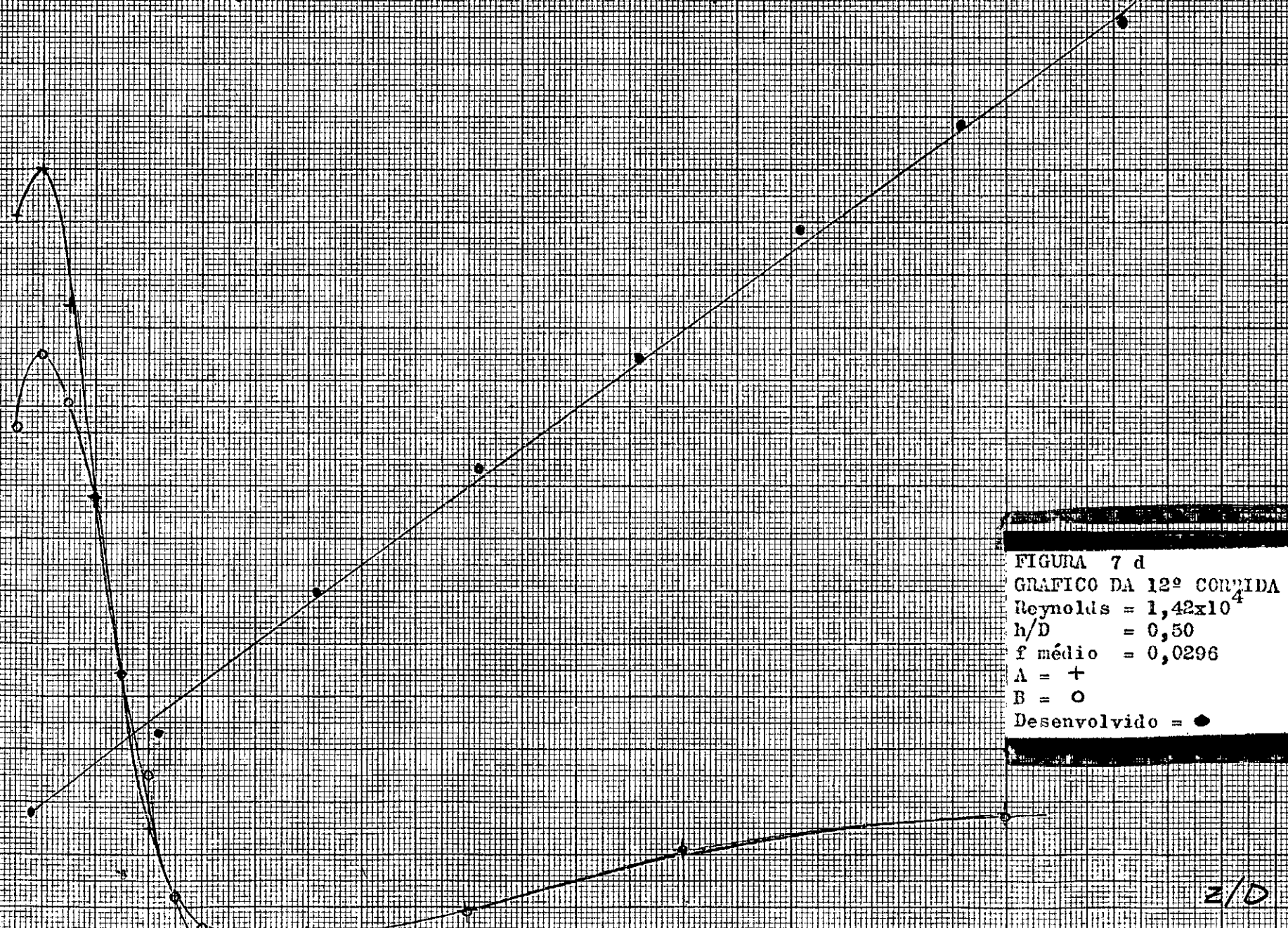


FIGURA 7 d  
 GRAFICO DA 12ª CORNIDA  
 Reynolds =  $1,42 \times 10^4$   
 h/D = 0,50  
 f médio = 0,0296  
 A = +  
 B = O  
 Desenvolvido = ●

z/D

10

15

20

11



20 40 60 80 100 120

$(P_a - P) / (\rho v^2 / 2g)$

55

50

45

0

5

10

15

20

z/D

47

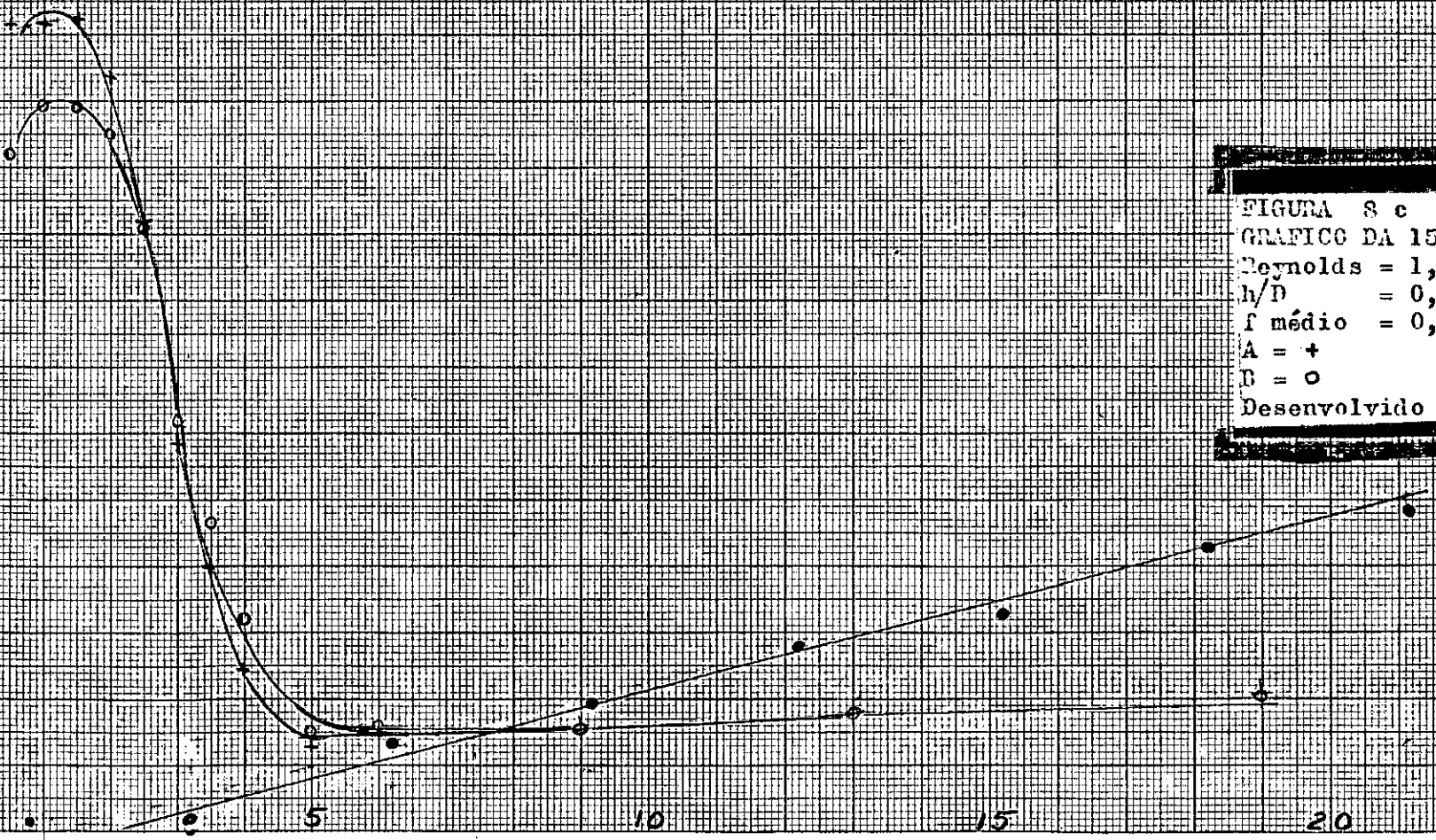
46

45

44

43

FIGURA 8 c  
 GRAFICO DA 15ª CORRIDA  
 Reynolds =  $1,41 \times 10^4$   
 h/D = 0,25  
 f médio = 0,0265  
 A = +  
 B = o  
 Desenvolvido = ●



## A P Ê N D I C E A

Apresentamos os cálculos necessários para determinar os valores adimensionais  $(P_a - P) / (\rho v^2 / 2g)$ , feitos como exemplo para o primeiro caso.

Para as outras situações, os cálculos são semelhantes e não são apresentados.

Dados medidos:

$$h/D = 1 \text{ (tubo completamente aberto)}$$

$$Q_L = 0,805 \times 56,7 \text{ ft}^3/\text{min}, \text{ vazão lida no rotâmetro}$$

$$P_a = 0,760 \text{ m Hg}, \text{ pressão atmosférica}$$

$$T = 27^\circ\text{C}, \text{ temperatura ambiente}$$

$$P_a - P = \text{Tabela 5}, \text{ pressão relativa na tomada de ordem } n$$

Cálculos: seja  $\rho$  e  $Q$  a densidade e vazão volumétrica na localização correspondente à tomada de ordem  $n$ . Disto, em termos de  $\rho$  e  $Q$  na tomada número 20 segue que  $\rho Q = \rho_{20} Q_{20}$ . Em seguida definimos a velocidade média como  $V = Q / A$ , em que  $A$  é a área interna do tubo. Teremos:

$$\rho V = \rho_{20} V_{20} \quad (1)$$

$$\text{Então, } \frac{P_a - P}{\frac{\rho v^2}{2g}} = \frac{P_a - P}{\frac{\rho_{20} v_{20}^2}{2g}} \times \frac{\rho}{\rho_{20}} = \frac{P_a - P}{\frac{\rho_{20} v_{20}^2}{2g}} \times \frac{P}{P_{20}} \quad (2)$$

supondo condições isotérmicas.

A quantidade  $(P_a - P) / (\rho_{20} v_{20}^2 / 2g)$  será agora calculada.

O primeiro passo será determinar  $\rho_{20}$  de acordo com o esquema seguinte:

$$P_a - P_{20} = 0,7024 \text{ m H}_2\text{O (da Tabela)}$$

$$P_a = 0,760 \text{ m Hg} \times 13,53 = 10,2828 \text{ m H}_2\text{O}$$



$$P_{20} = 10,2828 - 0,7024 = 9,5804 \text{ m H}_2\text{O}$$

$$P_{20} = \frac{9,5804}{10,33} = 0,932 \text{ atm}$$

$$\rho = P / ZRT \quad (3)$$

Para  $P$  em atm,  $Z=1$ ,  $R = 0,0453 \text{ ft} / ^\circ\text{K}$ ,  $T$  em  $^\circ\text{K}$

$$T_{20} = 273 + 27 = 300 \text{ }^\circ\text{K vem}$$

$$\rho_{20} = 0,932/1 \times 0,045 \times 300 = 0,0690 \text{ lb/ft}^3$$

Para calcular  $V_{20}$  é preciso corrigir o valor lido da vazão, pois o rotâmetro foi calibrado para ar a  $21^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ atm}$ . Essa correção é feita pela fórmula  $Q_c = Q_L \times \sqrt{\rho_c / \rho}$ , sendo  $Q_c$  a vazão corrigida,  $\rho_c$  a densidade de calibração do rotâmetro e  $\rho$  a densidade real dentro do rotâmetro. Nos nossos cálculos usamos a pressão dentro do rotâmetro como igual à pressão na última tomada, pois calculando a queda de pressão entre estes dois pontos verificamos que a densidade na última tomada é  $\rho_{20} = 0,0687 \text{ lb/ft}^3$  e dentro do rotâmetro é  $\rho = 0,0682 \text{ lb/ft}^3$ . Então tomamos sempre  $\rho = \rho_{20}$ . Usando (3)

$$\rho = 1/1 \times 0,0453 \times 294 = 0,07556 \text{ lb/ft}^3$$

$$Q_L = 0,805 \times 56,7 = 45,64 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\text{Então, } Q_c = 45,64 \times 0,0756/0,0690 = 47,8 \text{ ft}^3/\text{min} = Q_{20}$$

$$V_{20} = \frac{Q_{20}}{A} = 191 \text{ ft/seg}$$

As leituras de  $P_a - P_i$  foram feitas em metros de água, multiplicando pelo fator de conversão  $204,86 \text{ (lb/ft}^2 \text{ m H}_2\text{O)}$ , esses valores ficam com a mesma dimensão de  $\rho V^2 / 2g$  para  $\rho$  em  $\text{lb/ft}^3$ ,  $V$  em  $\text{ft/seg}$ ,  $g = 32,17 \text{ ft/seg}^2$ .

Para este caso então

$$\frac{P_a - P}{\rho_{20} V_{20}^2} = (P_a - P_i) \frac{204,86}{0,69 (191)^2} = (P_a - P_i) \times 5,24 \quad (4)$$

$$\frac{P_a - P}{2g} = \frac{204,86}{2 \times 32,17}$$

Multiplicando os valores  $P_a - P$ , lidos em metros de água, pelo fator de conversão 5,24 teremos os valores dos adimensionais  $(P_a - P) / (\rho_{20} v_{20}^2 / 2g)$ . Multiplicando estes últimos valores pelas razões  $P / P_{20}$  teremos os valores adimensionais  $(P_a - P) / (\rho v^2 / 2g)$  para cada tomada. Estes valores são apresentados na Tabela 5.

O número de Reynolds foi calculado pela equação  $Rey = \rho v D / \mu$ .

Para o caso em consideração a viscosidade estática  $\mu = 1.24 \times 10^{-5}$  lb/seg ft. Desta maneira  $Rey = 7,75 \times 10^4$ .

O coeficiente de atrito é definido por  $f = \phi(M) D (-dp/dz) / (\rho v^2 / 2g)$  em que  $\phi(M)$  é um fator de compressibilidade dinâmica dependente do número de Mach.

Para os números de Mach baixos encontrados na nossa pesquisa

$$\phi(M) = 1 - kM^2 \quad (5)$$

em que  $k = 1,4$  para o ar e o número de Mach

$$M = v / \sqrt{kRT} = v / 49(\sqrt{T}) \quad (6)$$

sendo  $v$  em ft/seg,  $T$  em graus Rankine,  $k$  e  $R$  constantes. No nosso estudo, para a última tomada  $v = 191$  ft/seg e  $T = 27 \times 9/5 + 32 + 460 = 540$ , então usando (5) e (6).

$$M_{20} = 191 / 49 \sqrt{540} = 0,167$$

$$\phi(M) = 1 - (1,4) (0,167)^2 = 0,961$$

Para a região completamente redesevolvida  $dp/dz$  é constante e é igual a  $\Delta P/\Delta z$ . Da Figura 5, feita com os valores  $(P_a - P) / (\rho v^2 / 2g)$  como ordenada e  $z/D$  como abcissa podemos tirar o valor médio de  $f / \phi(M)$  entre as tomadas de 31 diâmetros e 121 diâmetros que são as tomadas de ordem 14 e 20, em que temos certeza do escoamento completamente redesevolvido, isto é,  $f / \phi(M)$  médio = 0,0187. Para este trecho do tubo de teste o valor do coeficiente  $\phi(M)$  é quase constante e podemos usar  $\phi(M)$  na tomada 20. Com isto, temos  $f_m = 0,0184$  como o coeficiente de atrito para a região completamente redesevolvida.

A P Ê N D I C E    B

TABELAS DOS VALORES DAS PRESSÕES MÉDIAS , E DOS ADMENSSIONAIS .

TABELA 5 a

VALORES PARA A 1ª CORRIDA

Leituras - Tubo aberto  $h/D = 1,00$  Vazão lida 80% de  $57,6 \text{ ft}^3/\text{min}$ Temperatura  $27^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,7024 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $P_{20} = 0,0690 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 191 \text{ ft/seg}$  $Rey = 7,75 \times 10^4$ ,  $\rho(M) = 0,961$   $f \text{ médio} = 0,0184$ 

ORDEM	LOC.	$P_a - P$	$(P_a - P)/(P_{20} V_{20}^2/2g)$	$P/P_{20}$	$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$
n	z/D	m H <sub>2</sub> O	A = B		A = B
1	1/2	0,4460	2,338	1,026	2,400
2	1	0,3015	1,580	1,041	1,650
3	1 1/2	0,2810	1,472	1,044	1,540
4	2	0,2740	1,436	1,043	1,500
5	2 1/2	0,2740	1,436	1,043	1,498
6	3	0,2730	1,430	1,043	1,490
7	3 1/2	0,2745	1,438	1,043	1,500
8	4	0,2768	1,450	1,044	1,510
9	5	0,2770	1,452	1,044	1,520
10	6	0,2795	1,465	1,044	1,530
11	9	0,2915	1,527	1,042	1,590
12	13	0,3065	1,606	1,040	1,670
13	19	0,3335	1,748	1,039	1,820
14	31	0,3750	1,964	1,034	2,030
15	46	0,4300	2,254	1,028	2,320
16	61	0,4790	2,510	1,024	2,570
17	76	0,5325	2,790	1,018	2,840
18	91	0,5860	3,090	1,009	3,120
19	106	0,6490	3,400	1,005	3,420
20	121	0,7025	3,682	1,000	3,680

T A B E L A 5 b

VALORES PARA A 2ª CORRIDA

Leituras - Tubo aberto  $h/D = 1,00$  Vazão lida 55% de  $56,7 \text{ ft}^3/\text{min}$ Temperatura  $27^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica  $760 \text{ mm H}_2\text{O}$ ,  $P_a - P_{20} = 0,3451 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0716 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 128 \text{ ft/seg}$  $Rey = 5,39 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0200$   $\beta(M) = 0,982$ 

ORDEM	LOC.	$P_a - P$	$(P_a - P)/(\rho V_{20}^2/2g)$	$F/P_{20}$	$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$
n	$z/D$	m $\text{H}_2\text{O}$	A = B		A = B
1	1/2	0,2092	2,352	1,014	2,385
2	1	0,1472	1,656	1,018	1,690
3	1 1/2	0,1348	1,516	1,020	1,550
4	2	0,1307	1,468	1,022	1,500
5	2 1/2	0,1305	1,466	1,022	1,495
6	3	0,1298	1,460	1,021	1,490
7	3 1/2	0,1318	1,478	1,021	1,500
8	4	0,1324	1,580	1,021	1,510
9	5	0,1334	1,500	1,021	1,530
10	6	0,1346	1,512	1,021	1,545
11	9	0,1404	1,578	1,020	1,610
12	13	0,1500	1,686	1,019	1,720
13	19	0,1602	1,800	1,019	2,835
14	31	0,1830	2,058	1,016	2,090
15	46	0,2094	2,354	1,014	2,390
16	61	0,2382	2,678	1,011	2,710
17	76	0,2658	2,986	1,007	3,010
18	91	0,2904	3,264	1,005	3,280
19	106	0,3196	3,592	1,002	3,600
20	121	0,3450	3,880	1,000	3,880

T A B E L A 5 c

VALORES PARA A 3ª CORRIDA

Leituras- Tubo aberto  $h/D = 1,00$  , Vazão lida 79,5% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$  ,Temperatura  $29^\circ\text{C}$  , Pressão barométrica  $764,8 \text{ mm Hg}$  ,  $P_a - P_{20} = 0,1784 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados ,  $\rho_{20} = 0,0723 \text{ lb/ft}^3$  ,  $V_{20} = 87,6 \text{ ft/seg}$  , $Rey = 3,72 \times 10^4$  ,  $f \text{ médio} = 0,220$  ,  $\phi(M) = 0,992$ 

ORDEM	LOC.	$P_a - P$	$(P_a - P)/(\rho_{20} V_{20}^2/2g)$	$P/P_{20}$	$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$
n	z D	m H <sub>2</sub> O	A = B		A = B
1	1/2	0,0998	2,370	1,008	2,390
2	1	0,0694	1,646	1,015	1,670
3	1 1/2	0,0644	1,528	1,014	1,550
4	2	0,0630	1,500	1,015	1,525
5	2 1/2	0,0628	1,492	1,015	1,515
6	3	0,0635	1,510	1,013	1,530
7	3 1/2	0,0648	1,540	1,013	1,560
8	4	0,0658	1,564	1,011	1,580
9	5	0,0666	1,582	1,011	1,600
10	6	0,0684	1,626	1,011	1,645
11	9	0,0708	1,682	1,010	1,700
12	13	0,0750	1,784	1,010	1,800
13	19	0,0818	1,944	1,008	1,960
14	31	0,0936	2,224	1,007	2,240
15	46	0,1080	2,564	1,006	2,580
16	61	0,1218	2,894	1,002	2,900
17	76	0,1370	3,268	1,001	3,270
18	91	0,1502	3,578	1,001	3,580
19	106	0,1644	3,904	1,000	3,910
20	121	0,1784	4,238	1,000	4,240

## T A B E L A 5 d

## VALORES PARA A 4ª CORRIDA

Leituras - Tubo aberto  $h/D = 1,00$  Vazão lida 51% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$  ,

Temperatura  $29^\circ\text{C}$  , Pressão barométrica  $765,1 \text{ mm Hg}$  ,  $P_a - P_{20} = 0,0748 \text{ m H}_2\text{O}$

Valores calculados ,  $\rho_{20} = 0,0731 \text{ lb/ft}^3$  ,  $V_{20} = 56,0 \text{ ft/seg}$  ,

$Rey = 2,41 \times 10^4$  ,  $f \text{ médio} = 0,0347$   $\phi(M) = 0,996$

ORDEM	LOC.	$P_a - P$	$(P_a - P) / (\rho_{20} V_{20}^2 / 2g)$	$P/P_{20}$	$(P_a - P) / (fV^2/2g)$
n	z/D	m $\text{H}_2\text{O}$	A = B		A = B
1	1/2	0,0394	2,26	1,008	2,28
2	1	0,0300	1,72	1,011	1,74
3	1 1/2	0,0274	1,58	1,013	1,60
4	2	0,0266	1,53	1,001	1,54
5	2 1/2	0,0264	1,52	1,007	1,53
6	3	0,0262	1,51	1,007	1,52
7	3 1/2	0,0264	1,52	1,007	1,53
8	4	0,0266	1,53	1,007	1,54
9	5	0,0270	1,55	1,006	1,56
10	6	0,0276	1,59	1,006	1,60
11	9	0,0286	1,65	1,006	1,66
12	13	0,0300	1,73	1,006	1,74
13	19	0,0328	1,89	1,005	1,90
14	31	0,0380	2,18	1,005	2,19
15	46	0,0446	2,57	1,004	2,58
16	61	0,0508	2,92	1,003	2,93
17	76	0,0572	3,29	1,000	3,29
18	91	0,0634	3,64	1,000	3,64
19	106	0,0702	4,04	1,000	4,04
20	121	0,0764	4,40	1,000	4,40

TABELA 5 e

VALORES PARA A 5ª CORRIDA

Leituras - Tubo aberto  $h/D = 1,00$ , Vazão lida 30% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $28^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica  $764,9 \text{ mm Hg}$ ,  $P_a - P_{20} = 0,0302 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\beta_{20} = 0,0736$ ,  $V_{20} = 32,80 \text{ ft/seg}$ , $Re_y = 1,42 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0284$ ,  $\beta(M) = 0,999$ 

ORDEM	LOC.	$P_a - P$	$(P_a - P) / (\beta_{20} V_{20}^2 / 2g)$	$P/P_{20}$	$(P_a - P) / (PV^2 / 2g)$
n	z/D	m $\text{H}_2\text{O}$	A = B		A = B
1	1/2	0,0141	2,35	1,000	2,35
2	1	0,0089	1,49	1,000	1,49
3	1 1/2	0,0085	1,42	1,000	1,42
4	2	0,0084	1,40	1,000	1,40
5	2 1/2	0,0084	1,40	1,000	1,40
6	3	0,0085	1,42	1,000	1,42
7	3 1/2	0,0085	1,42	1,000	1,42
8	4	0,0086	1,44	1,000	1,44
9	5	0,0088	1,45	1,000	1,47
10	6	0,0092	1,53	1,000	1,53
11	9	0,0099	1,64	1,000	1,64
12	13	0,0107	1,78	1,000	1,78
13	19	0,0117	1,95	1,000	1,95
14	31	0,0133	2,21	1,000	2,21
15	46	0,0162	2,76	1,000	2,70
16	61	0,0182	2,97	1,000	3,04
17	76	0,0212	3,52	1,000	3,52
18	91	0,0237	3,92	1,000	3,96
19	106	0,0268	4,55	1,000	4,48
20	121	0,0292	5,03	1,000	4,88



T A B E L A 6 a  
VALORES PARA A 6ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,75$  Vazão lida 75% de  $56,7 \text{ ft}^3/\text{min}$

Temperatura  $24^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,688 \text{ m H}_2\text{O}$

Valores calculados -  $\rho_{20} = 0,0698 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 177 \text{ ft/seg}$

$Re_y = 7,26 \times 10^4$   $f \text{ médio} = 0,0185$   $\phi(M) = 0,966$

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} V_{20}^2/2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P)/(P V^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
1	1/2	0,5280	0,5236	3,184	3,158	1,016	1,017	3,236	3,212
2	1	0,4332	0,4954	2,612	2,988	1,027	1,020	2,682	3,028
3	1 1/2	0,3804	0,3474	2,294	2,096	1,032	1,034	2,368	2,168
4	2	0,3398	0,3140	2,048	1,840	1,036	1,040	2,122	1,967
5	2 1/2	0,3260	0,3070	1,966	1,850	1,037	1,041	2,038	1,926
6	3	0,3106	0,3016	1,874	1,820	1,039	1,040	1,948	1,892
7	3 1/2	0,3032	0,2994	1,828	1,806	1,040	1,040	1,902	1,878
8	4	0,3046	0,2974	1,836	1,794	1,040	1,040	1,910	1,866
9	5	0,3028	-	1,826	-	1,040		1,900	-
10	6	0,3052		1,840		1,040		1,914	
11	9	0,3156		1,904		1,038		1,976	
12	13	0,3326		2,006		1,037		2,080	
13	19	0,3520		2,122		1,035		2,196	
14	31	0,3936		2,374		1,030		2,446	
15	46	0,4382		2,642		1,026		2,712	
16	61	0,4876		2,940		1,022		3,004	
17	76	0,5380		3,244		1,000		3,308	
18	91	0,5360		3,534		1,018		3,600	
19	106	0,6372		3,844		1,004		3,863	
20	121	0,6880		4,150		1,000		4,150	

T A B E L A 6 b

VALORES PARA A 7ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,75$  Vazão lida 60% de  $56,7 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $24^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,4576 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0715 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 139 \text{ ft/seg}$ , $Rey = 5,86 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0496$ ,  $\phi(M) = 0,989$ .

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} V_{20}^2/2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
n	z/D								
1	1/2	0,3468	0,3468	3,290	3,290	1,010	1,010	3,324	3,324
2	1	0,2860	0,3292	2,714	3,126	1,017	1,013	2,760	3,166
3	1 1/2	0,2516	0,2546	2,388	2,416	1,019	1,020	2,434	2,464
4	2	0,2200	0,2120	2,088	2,012	1,024	1,024	2,133	2,060
5	2 1/2	0,2104	0,2036	1,996	1,932	1,025	1,025	2,046	1,980
6	3	0,2044	0,2020	1,940	1,917	1,025	1,025	2,988	1,966
7	3 1/2	0,2040	0,2000	1,936	1,898	1,025	1,025	1,984	1,946
8	4	0,2040	0,1990	1,936	1,890	1,025	1,025	1,988	1,938
9	5	0,2050	-	1,946	-	1,025	-	1,994	-
10	6	0,2060		1,956		1,025		2,006	
11	9	0,2126		2,018		1,024		2,066	
12	13	0,2192		2,080		1,024		2,130	
13	19	0,2388		2,218		1,022		2,270	
14	31	0,2622		2,488		1,020		2,538	
15	46	0,2930		2,780		1,017		2,828	
16	61	0,3230		3,066		1,014		3,110	
17	76	0,3600		3,418		1,009		3,450	
18	91	0,3890		3,692		1,006		3,714	
19	106	0,4186		3,922		1,003		3,984	
20	121	0,4576		4,342		1,000		4,342	

T A B E L A 6 c

VALORES PARA A 8ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,75$ , Vazão lida 80% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $26^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,2012 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0729 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 87,8 \text{ ft/seg}$ , $Rey = 3,79 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0213$ ,  $\phi(M) = 0,9916$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P) / (\rho_{20} V_{20}^2 / 2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
n	z/D								
1	1/2	0,1424	0,1406	3,340	3,298	1,006	1,006	3,360	3,318
2	1	0,1158	0,1298	2,716	3,044	1,009	1,007	2,740	3,066
3	1 1/2	0,1064	0,0966	2,496	2,260	1,010	1,001	2,520	2,286
4	2	0,0960	0,0870	2,252	2,056	1,011	1,016	2,278	2,090
5	2 1/2	0,0918	0,0872	2,156	2,047	1,011	1,012	2,180	2,072
6	3	0,0910	0,0878	2,136	2,068	1,011	1,010	2,160	2,078
7	3 1/2	0,0892	0,0868	2,094	2,049	1,011	1,010	2,118	2,062
8	4	0,0898	0,0886	2,105	2,080	1,010	1,010	2,128	2,102
9	5	0,0904	-	2,120	-	1,010	-	2,142	-
10	6	0,0910		2,138		1,010		2,161	
11	9	0,0940		2,206		1,010		2,230	
12	13	0,0918		2,296		1,010		2,318	
13	19	0,1040		2,438		1,010		2,462	
14	31	0,1160		2,722		1,009		2,746	
15	46	0,1306		3,066		1,007		3,086	
16	61	0,1430		3,360		1,006		3,380	
17	76	0,1594		3,740		1,005		3,760	
18	91	0,1718		4,032		1,003		4,044	
19	106	0,1878		4,408		1,002		4,416	
20	121	0,2014		4,724		1,000		4,724	

TABELA 7a

VALORES PARA A 9ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,50$  Vazão lida 60% de  $56,7 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $24^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica  $764,30 \text{ mm Hg}$ ,  $P_a - P_{20} = 0,7708 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0693 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 142 \text{ ft/seg}$ , $Rey = 5,79 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0201$ ,  $\phi(M) = 0,978$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P) / (\rho_{20} V_{20}^2 / 2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P) / (\rho V^2 / 2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
n	z/D								
1	1/2	0,8070	0,8344	7,58	7,84	0,997	0,995	7,56	7,80
2	1	0,7726	0,8376	7,26	7,87	1,000	0,994	7,26	7,82
3	1 1/2	0,7637	0,7986	7,18	7,50	1,000	1,000	7,18	7,50
4	2	0,7326	0,7336	6,88	6,90	1,003	1,003	6,90	6,92
5	2 1/2	0,6490	0,6382	6,10	6,00	1,013	1,013	6,18	6,08
6	3	0,5892	0,5744	5,54	5,40	1,018	1,018	5,64	5,50
7	3 1/2	0,5588	0,5398	5,24	5,08	1,027	1,020	5,38	5,18
8	4	0,5486	0,5256	5,16	4,94	1,023	1,028	5,28	5,08
9	5	0,5286	0,5210	4,98	4,90	1,024	1,024	5,10	5,02
10	6	0,5146	0,5116	4,84	4,80	1,024	1,024	4,96	4,94
11	9	0,5224	-	4,92	-	1,024	-	5,04	-
12	13	0,5280		4,98		1,024		5,10	
13	19	0,5442		5,12		1,023		5,24	
14	31	0,5710		5,38		1,018		5,48	
15	46	0,6086		5,72		1,014		5,80	
16	61	0,6430		6,04		1,010		6,08	
17	76	0,6774		6,38		1,006		6,42	
18	91	0,7902		6,64		1,006		6,68	
19	106	0,7340		6,96		1,003		6,98	
20	121	0,7768		7,30		1,000		7,30	

TABELA 7 b

VALORES PARA A 10ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,50$ , Vazão lida 80% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $23^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,3310 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0729 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 87,9 \text{ ft/seg}$ , $Rey = 3,77 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0236$ ,  $\phi(M) = 0,9914$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} V_{20}^2/2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P)/(P V^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
n	z/D								
1	1/2	0,3340	0,3560	7,82	8,34	0,999	0,995	7,81	8,30
2	1	0,3370	0,3600	7,90	8,42	0,997	0,997	7,88	8,40
3	1 1/2	0,3350	0,3460	7,84	8,10	1,000	0,997	7,84	8,08
4	2	0,3158	0,3174	7,40	7,42	1,000	1,003	7,40	7,44
5	2 1/2	0,2778	0,2740	6,50	6,40	1,006	1,006	6,54	6,44
6	3	0,2516	0,2452	5,90	5,74	1,007	1,010	5,94	5,80
7	3 1/2	0,2344	0,2270	5,50	5,32	1,007	1,011	5,54	5,38
8	4	0,2290	0,2200	5,36	5,16	1,011	1,011	5,42	5,20
9	5	0,2176	0,2152	5,10	5,04	1,007	1,011	5,14	5,10
10	6	0,2144	0,2130	5,02	4,98	1,007	1,011	5,06	5,04
11	9	0,2180	-	5,06	-	1,007	-	5,10	-
12	13	0,2202		5,18		1,007		5,22	
13	19	0,2266		5,30		1,007		5,34	
14	31	0,2380		5,58		1,007		5,62	
15	46	0,2500		5,98		1,006		6,00	
16	61	0,2714		6,36		1,006		6,40	
17	76	0,2860		6,70		1,003		6,72	
18	91	0,3000		7,02		1,002		7,04	
19	106	0,3128		7,32		1,001		7,34	
20	121	0,3310		7,76		1,000		7,76	

TABELA 7c

VALORES PARA A 11ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,50$ , Vazão lida 51% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ Temperatura  $23^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 763 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,1336 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0741 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 56 \text{ ft/seg}$  $Rey = 2,44 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0245$ ,  $\phi(M) = 0,998$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} V_{20}^2/2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
1	1/2	0,1266	0,1366	7,28	7,86	1,002	1,000	7,30	7,86
2	1	0,1296	0,1376	7,46	7,90	1,000	1,000	7,46	7,90
3	1 1/2	0,1262	0,1300	7,26	7,48	1,000	1,000	7,26	7,48
4	2	0,1148	0,1148	6,60	6,60	1,000	1,000	6,60	6,60
5	2 1/2	0,1060	0,1026	6,09	5,90	1,001	1,004	6,10	5,92
6	3	0,0986	0,0956	5,68	5,50	1,004	1,004	5,70	5,52
7	3 1/2	0,0896	0,0866	5,16	4,98	1,004	1,004	5,18	5,00
8	4	0,0860	0,0830	4,96	4,78	1,004	1,004	4,98	4,80
9	5	0,0834	0,0832	4,80	4,80	1,004	1,004	4,82	4,82
10	6	0,0836	-	4,80	-	1,004	-	4,82	-
11	9	0,0848	-	4,86		1,008		4,90	
12	13	0,0870		5,00		1,004		5,02	
13	19	0,0890		5,12		1,004		5,14	
14	31	0,0940		5,40		1,004		5,42	
15	46	0,1000		5,76		1,004		5,78	
16	61	0,1070		6,16		1,004		6,18	
17	78	0,1130		6,50		1,003		6,52	
18	91	0,1198		6,88		1,003		6,90	
19	106	0,1270		7,30		1,000		7,30	
20	121	0,1336		7,68		1,000		7,68	

T A B E L A 7 d  
VALORES PARA A 12ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,50$ , Vazão lida 30% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,

Temperatura  $27^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,0490 \text{ m H}_2\text{O}$ .

Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0737 \text{ lb/ft}^3$ ,  $v_{20} = 32,7 \text{ ft/seg}$ ,

$Rey = 1,42 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0296$ ,  $\phi(M) = 0,999$ .

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} v_{20}^2/2g)$		P/P <sub>20</sub>		$(P_a - P)/(\rho v^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
1	1/2	0,0398	0,0446	6,62	7,42	1,000	1,000	6,62	7,42
2	1	0,0412	0,0456	6,90	7,60	1,000	1,000	6,90	7,60
3	1 1/2	0,0402	0,0430	6,72	7,18	1,000	1,000	6,72	7,18
4	2	0,0380	0,0380	6,36	6,36	1,000	1,000	6,36	6,36
5	2 1/2	0,0340	0,0340	5,68	5,68	1,000	1,000	5,68	5,68
6	3	0,0318	0,0305	5,30	5,10	1,000	1,000	5,30	5,10
7	3 1/2	0,0290	0,0290	4,84	4,84	1,000	1,000	4,84	4,84
8	4	0,0284	0,0278	4,72	4,64	1,000	1,000	4,72	4,64
9	5	0,0280	0,0278	4,68	4,64	1,000	1,000	4,68	4,64
10	6	0,0280	-	4,68	-	1,000	-	4,68	-
11	9	0,0286		4,78		1,000		4,78	
12	13	0,0300		5,02		1,000		5,02	
13	19	0,0308		5,16		1,000		5,16	
14	31	0,0328		5,46		1,000		5,46	
15	46	0,0360		6,00		1,000		6,00	
16	61	0,0386		6,46		1,000		6,46	
17	76	0,0412		6,88		1,000		6,88	
18	91	0,0442		7,38		1,000		7,38	
19	106	0,0466		7,78		1,000		7,78	
20	121	0,0490		8,18		1,000		8,16	

T A B E L A 8 a

VALORES PARA A 13ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,25$ , Vazão lida 54% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $26^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica 760 mm Hg,  $P_a - P_{20} = 0,900 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,0679 \text{ lb/ft}^3$ ,  $v_{20} = 61,5 \text{ ft/seg}$ ; $Rey = 2,42 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0231$ ,  $\phi(M) = 0,996$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} v_{20}^2/2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P)/(\rho v^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
1	1/2	1,0290	1,0630	53,42	53,20	0,987	0,984	52,72	54,30
2	1	1,0360	1,0620	53,80	55,16	0,987	0,984	53,08	54,26
3	1 1/2	1,0310	1,0670	53,84	55,40	0,987	0,984	53,14	54,50
4	2	1,0380	1,0600	53,90	55,02	0,981	0,984	53,20	54,12
5	2 1/2	1,0160	1,0230	52,78	53,46	0,989	0,984	52,20	52,38
6	3	0,9620	0,9600	50,00	49,86	0,994	0,994	49,70	49,58
7	3 1/2	0,9190	0,9070	47,72	47,12	0,999	1,000	47,68	47,14
8	4	0,8700	0,8550	45,18	44,44	1,004	1,005	45,38	44,68
9	5	0,8550	0,8480	44,40	44,04	1,005	1,006	44,64	44,32
10	6	0,8500	0,8480	44,16	44,08	1,007	1,006	44,46	44,36
11	9	0,8480	-	44,08	-	1,006	-	44,36	-
12	13	0,8500		44,10		1,006		44,40	
13	19	0,8530		44,32		1,005		44,56	
14	31	0,8560		44,48		1,005		44,72	
15	46	0,8680		45,08		1,004		45,26	
16	61	0,8730		45,32		1,004		45,50	
17	76	0,8820		45,82		1,003		45,98	
18	91	0,8870		46,09		1,002		46,20	
19	106	0,8940		46,42		1,001		46,50	
20	121	0,9000		46,42		1,000		46,72	



T A B E L A 8 b

VALORES PARA A 14ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,25$  Vazão lida 40% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ Temperatura  $25^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica  $760 \text{ mm Hg}$ ,  $P_a - P_{20} = 0,5410 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,07066 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 44,7 \text{ ft/seg}$  $Rey = 1,86 \times 10^4$   $f \text{ médio} = 0,0250$   $\phi(M) = 0,999$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20} V_{20}^2/2g)$		$P/P_{20}$		$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
1	1/2	0,5978	0,6168	55,84	57,60	0,992	0,989	55,54	56,96
2	1	0,5978	0,6168	55,84	57,60	0,992	0,989	55,54	56,96
3	1 1/2	0,5600	0,6178	56,20	57,70	0,992	0,989	55,88	57,06
4	2	0,5986	0,6108	55,90	57,04	0,992	0,991	55,46	56,54
5	2 1/2	0,5892	0,5894	55,04	55,04	0,993	0,993	54,66	54,66
6	3	0,5672	0,5528	52,98	51,64	0,996	0,996	52,76	51,44
7	3 1/2	0,5282	0,5208	49,34	48,64	0,999	0,999	49,34	48,60
8	4	0,5164	0,5108	48,24	47,70	1,000	1,001	48,24	47,70
9	5	0,4990	0,4916	46,62	45,92	1,002	1,002	46,62	46,02
10	6	0,4898	0,4896	45,74	45,64	1,003	1,003	45,88	45,78
11	9	0,4886	-	45,64	-	1,003	-	45,78	-
12	13	0,4900		45,76		1,003		45,90	
13	19	0,4906		45,82		1,002		45,92	
14	31	0,4968		46,40		1,002		46,48	
15	46	0,5010		46,80		1,001		46,80	
16	61	0,5052		47,18		1,001		47,18	
17	76	0,5066		47,32		1,000		47,32	
18	91	0,5122		47,85		1,000		47,85	
19	106	0,5142		48,02		1,000		48,02	
20	121	0,5198		48,54		1,000		48,54	

T A B E L A 8 c

VALORES PARA A 15ª CORRIDA

Leituras - Razão livre  $h/D = 0,25$  Vazão lida 30% de  $27 \text{ ft}^3/\text{min}$ ,Temperatura  $26^\circ\text{C}$ , Pressão barométrica  $760 \text{ mm Hg}$ ,  $P_a - P_{20} = 0,2754 \text{ m H}_2\text{O}$ Valores calculados,  $\rho_{20} = 0,07234 \text{ lb/ft}^3$ ,  $V_{20} = 33,1 \text{ ft/seg}$ , $Rey = 1,4 \times 10^4$ ,  $f \text{ médio} = 0,0265$ ,  $\beta(M) = 0,999$ 

ORDEM	LOC.	$(P_a - P) \text{ m H}_2\text{O}$		$(P_a - P)/(\rho_{20}^2 V_{20}^2/2g)$		P/P <sub>20</sub>		$(P_a - P)/(\rho V^2/2g)$	
		B	A	B	A	B	A	B	A
1	1/2	0,3112	0,3236	51,36	53,38	0,997	0,996	51,20	53,16
2	1	0,3160	0,3236	52,14	53,38	0,996	0,996	51,92	53,16
3	1 1/2	0,3158	0,3240	52,12	53,48	0,996	0,996	51,90	53,26
4	2	0,3134	0,3188	51,70	52,60	0,997	0,996	51,52	52,38
5	2 1/2	0,3048	0,3050	50,30	50,33	0,997	0,997	50,12	50,18
6	3	0,2862	0,2838	47,22	46,83	1,000	1,000	47,22	46,84
7	3 1/2	0,2770	0,2726	45,72	44,96	1,001	1,001	45,76	45,00
8	4	0,2676	0,2630	44,14	43,38	1,001	1,001	44,18	43,46
9	5	0,2570	0,2558	42,42	42,20	1,002	1,002	42,50	42,30
10	6	0,2570	0,2571	42,50	42,42	1,002	1,002	42,60	42,50
11	9	0,2568	-	42,42	-	1,002	-	42,52	-
12	13	0,2588		42,70		1,002		42,78	
13	19	0,2606		43,00		1,002		43,08	
14	31	0,2606		43,00		1,002		43,08	
15	46	0,2646		43,66		1,002		43,70	
16	61	0,2662		43,92		1,001		43,98	
17	76	0,2686		44,32		1,001		44,38	
18	91	0,2704		44,60		1,001		44,66	
19	106	0,2734		45,10		1,001		45,14	
20	121	0,2754		45,42		1,000		45,42	

REFERÊNCIAS

1. D. D. Langren e E. M. Sparrow, Flow Separation and Redevelopment Downstream of an End-Cap Orifice in a Tube , Journal of Basic Engineering, March 1967.
2. George F. Wislicenus, Fluid Mechanics of Turbomachinery, 2<sup>a</sup> ed., Dover Publications, New York, 1965, p.63 vol. 1.
3. J. K. Vennard, Elementary Fluid Mechanics, 4<sup>a</sup> ed., Toppan Printing Company, Japão, 1961, p.313.

NOMENCLATURA

- A - área interna do tubo de teste  
 D - diâmetro interno do tubo de teste  
 f - coeficiente de atrito encontrado no gráfico de Moody  
 $f_m$  - coeficiente de atrito médio calculado  
 g - aceleração da gravidade  
 h - flexa do segmento circular aberto  
 $h_L$  - perda de pressão na mudança de secção  
 $H_2O$  - água destilada  
 Hg - mercúrio  
 $k = \frac{C}{p}$   
 $K_L = \frac{C_v}{C_v}$  - coeficiente de perda  
 M - número de Mach  
 n - ordem de uma determinada tomada de pressão  
 P - pressão estática local  
 $P_a$  - pressão atmosférica  
 $P_{20}$  - pressão estática na tomada de ordem 20  
 Q - vazão local  
 $Q_c$  - vazão corrigida  
 $Q_L$  - vazão lida no rotâmetro  
 R - constante dos gases  
 Rey - número de Reynolds  
 T - temperatura ambiente  
 V - velocidade média local  
 $V_{20}$  - velocidade média junto à tomada de ordem 20  
 z - distância da entrada à uma determinada tomada

LETRAS GREGAS

- $\rho$  - densidade local do ar  
 $\rho_{20}$  - densidade do ar junto à tomada de ordem 20  
 $\rho_0$  - densidade do ar na calibração do rotâmetro  
 $\mu$  - viscosidade estática do ar