

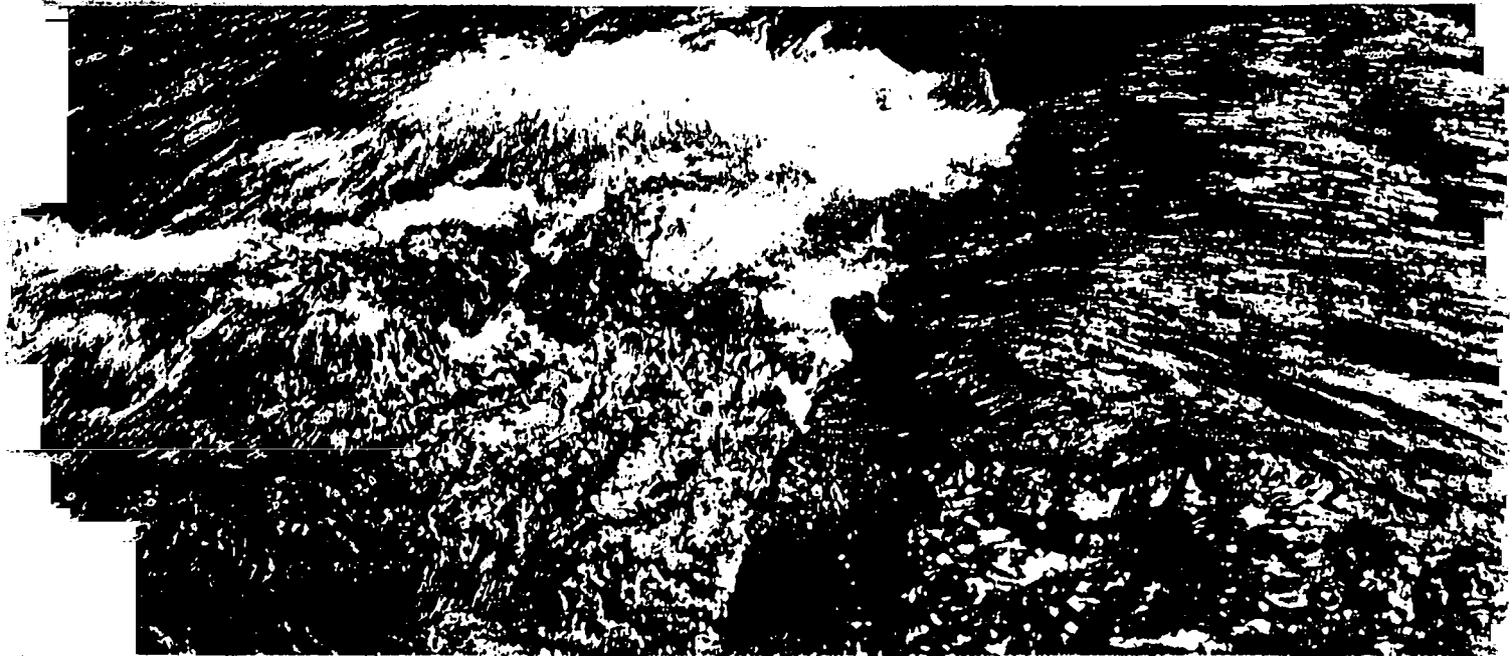
3020/52

MANUAL DE APOIO EM ESTUDOS DE
ENGENHARIA DE ABASTECIMENTO
DE ÀGUA URBANA

260

87 MA

ENG.^o MARTIN J. J. ESKEŠ.



LIBRARY
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

INTRODUCAO AO APROFUNDAMENTO
DE ESTUDOS EM ENGENHARIA DE
ABASTECIMENTO DE ÀGUA URBANA

260-87MA-3020

I N D I C E

	página
1. ESCLARECIMENTO E INTRODUÇÃO	1
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS: "ABASTECIMENTO DE ÁGUA"	2
2.1 O QUE QUER DIZER "PRODUÇÃO " (COMPREENSAO !)	2
2.2 O QUE QUER DIZER "DISTRIBUIÇÃO" (COMPREENSAO !)	3
2.3 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA, PORQUÊ ?	4
2.4 DESIGNAÇÃO DAS CONDUTAS DAS REDES	6
2.4.1 A conduta de transporte (de água bruta ou de água potável).	6
2.4.2 A conduta elevatória e a conduta adutora	6
2.4.3 A conduta de distribuição	6
2.4.4 Rede em "Espinha de Peixe"	7
2.4.5 Rede em "Grelha"	7
2.4.6 Rede Malhada	8a
3. PADRÃO DE CONSUMO I	9
3.1 O COEFICIENTE DE DIA DE MAIOR CONSUMO (K 1)	9
3.2 O COEFICIENTE HORÁRIO MÁXIMO (K 2)	10
3.3 O COEFICIENTE DE REFORÇO (K)	11
3.4 AS VÁRIAÇÕES HORÁRIAS PREVISTAS NUMA CIDADE	12
a) Diversos tipos de consumo	15
4. PADRÃO DE CONSUMO II (A SITUAÇÃO PRÁTICA)	16
4.1 ANÁLISE DESTA SITUAÇÃO PRÁTICA	17
4.1.1 A operação pode ser visível num gráfico	17
4.1.2 Comparação com a situação desejável	18
4.2 CONCLUSÃO	19
TESTE ; Algumas perguntas sobre o abastecimento de água	20
5. CAPACIDADES E DIMENSIONAMENTO: "INSTALAÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA".	21
5.1 DIRECÇÕES GERAIS	21
"Consumo per capita" ou "quota per capita".	22
5.2 DADOS PARA RECUPERAÇÃO, REABILITAÇÃO OU SISTEMAS NOVOS	22
"PLANO QUINQUENAL (EXEMPLO)"	24 a-h
5.3 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PARA UMA CIDADE	25
5.3.1 "DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO ARMAZENAMENTO ATRAVÉS NUM QUADRO TABELAR"	25
5.3.2 "GRAFICO DA DETERMINAÇÃO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA"	27a

	página
6. NOÇÕES FUNDAMENTAIS DE HIDRAULICA	29
6.1 O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	29
6.2 EQUAÇÃO DE CONTINUIDADE - DESCARGAS	33
6.3 PRESSÃO E CORRENTE DE ÁGUA	35
6.3.1 Pressão e Força	35
6.3.2 Altura representativa de Pressão (Piezômetro)	37
6.4 PRESSÃO BAROMÉTRICA	39
6.4.1 Definição	39
6.4.2 Pressão barométrica é igual + 10 m.c.a	39
6.4.3 Estação elevatória (alturas desníveis)	40
6.5 PRESSÃO ABSOLUTA E PRESSÃO RELATIVA	42
Classe de tubagem	43a
Tabela de factores de conversão	43b
6.6 ENERGIA ESTÁTICA	44
6.6.1 Altura de posição	44
6.6.2 Altura piezométrica	45
6.6.3 Distribuição hidrostática	46
" " c/ FILTRO RÁPIDO	47a
TEORIA DA FILTRAÇÃO	47b
6.7 ENERGIA CINÉTICA	48
6.7.1 Teoria e Medida	48
Altura representativa da velocidade	49
6.7.2 TESTE HIDRAULICA 1	50
6.7.3 RESUMO ; HIDRAULICA 1 c/ VALVULA BORBOLETA	51
6.8 O TEOREMA DE BERNOULLI	53
6.8.1a) A TEORIA	53
b) Observações quanto ao termo $\frac{v^2}{2g}$, a carga cinética	55
Líquido perfeito e Escoamento permanente	58
6.8.2 APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA LEI DE BERNOULLI	59
6.8.3 " DA EQUAÇÃO DE BERNOULLI A UMA CONDUTA NUMA SITUAÇÃO PRÁTICA	61
a) Tubagem de sucção duma bomba	62
b) A potência perdida nesta tubagem	63
6.8.4a) RESUMO ; HIDRAULICA 2	64
b) EXEMPLO PARA CALCULAR A POTENCIA A PARTIR DA ALTURA ESPECÍFICA (inclusive a potência eléctrica)	65
6.8.5 RESUMO ; HIDRAULICA 3	68
6.9 EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO OU O TEOREMA DE EULER	69
6.9.1 EXERCÍCIO	71

	página
7. ESCOAMENTO EM PRESSÃO (TUBAGEM)	73
7.1 MOVIMENTO LAMINAR E MOVIMENTO TURBULENTO	73
7.1.1 A noção de viscosidade	74
Tabela de Viscosidade cinemática em função de temperatura	75
7.1.2 O número de Reynolds	76
7.2 PERDAS DE ENERGIA	77
7.2.1a PERDAS CONTÍNUAS ou PERDAS DE CARGA EM ENCANAMENTOS	78
Tabela de Valores da rugosidade média	79
7.2.1b As relações entre, λ, Re, k, D, v !	80
7.2.1c Explicação dos gráficos 1) a base da fórmula de Colebrook	83
7.2.1d " dos gráficos 2) a base da fórmula de Colebrook	85
7.2.1e Exercícios e a relação com a temperatura	86
Os gráficos de resistência por atrito, a base da fórmula de Colebrook	88 a-l
7.2.2 A FÓRMULA DE ALLEN HAZEN E GARDNER WILLIAMS	89
7.2.3 PERDAS LOCALIZADAS; $\Delta h = \psi \frac{v^3}{2g}$	90
Método alternativo	96
7.2.4 TESTE: HIDRÁULICA 4	98
7.2.5 RESUMO; HIDRÁULICA 4	100
7.3 A CARACTERÍSTICA DUMA CONDUTA	101
7.3.1 Perdas de energia estática	102
7.3.2 Sistema de transporte de água com a conduta de fibrocimento.	
a) escoamento por gravidade	103
b) escoamento por gravidade e "booster"	104
8. BOMBAS	105
8.1 INTRODUÇÃO GERAL E DEFINIÇÃO	105
8.1.1 Bombas de deslocamento positivo ou volumógenas	105
8.1.2 Bombas especiais	106
8.1.3 Bombas centrífugas (e turbo bombas)	106
Bombas centrífugas podem ser subdivididas em;	
8.1.3.1 segundo as características do coletor	107
8.1.3.2 de acordo com a posição da bomba centrífuga	108
8.1.4 Bombas "centrífugo-propulsoras" e "propulsoras"	114
8.2 ALTURAS DE ELEVAÇÃO DA BOMBA CENTRÍFUGA, O RENDIMENTO	115
8.2.1 As relações entre os desniveis topográficos e a bomba;	
Alturas totais ou dinâmicas.	
a) Tubagem de sucção	115
b) O sistema de recalque	118
c) A altura manométrica	120
d) Altura útil de elevação	
"Total head" ou "Dynamic head"	122

8.2.2	Teoria do rotor duma bomba centrífuga	
	Rendimentos	124
8.2.3	Potências	127
8.3	CARACTERÍSTICAS DA BOMBA CENTRÍFUGA	132
8.3.1	A variação de altura manométrica (H_{man}) com a vazão (Q_e)	132
8.3.2	Variação da potência (N_m) com a vazão (Q_e)	135
8.3.3	Variações das grandezas Q_e , H_{man} e N com o número de rotações n	139
8.4	Número característico de rotações por minuto e Velocidade específica	141
8.4.1	Número característico de rotações por minuto " n_q "	141
8.4.2	Velocidade específica " n_s "; $n_s = 3,65 n_q$	142
8.4.3	Valores de " n_s " internacional	142
8.4.4	Classificação das turbobombas quanto a valor de " n_q "	143
8.5	NPSH (Net Positive Suction Head);	
	Altura Positiva Líquida de Sucção (APLS)	146
8.5.1	NPSH_{disp.} e NPSH_{req.}	146
8.5.2	Resumo das alturas de níveis e dinâmicas	148
8.5.3	Instalações para escorva da bomba	150
8.6	CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS CENTRIFUGAS RELATIVAMENTE AOS ENCANAMENTOS.	153
8.6.1	Curva característica de um encanamento e o ponto de funcionamento	153
8.6.2	Bombas em paralelo	156
8.6.3	Bombas em série	158
9.	GOLPE DE ARIETE	159
9.1	DESCRIÇÃO DO FENOMENO	160
9.2	DETERMINAÇÃO DO FENOMENO	163
9.2.1	A velocidade da onda de sobrepressão ou depressão	163
9.2.2	Cálculo de golpe de aríete	166
9.3	RECURSOS PARA PREVENIR OS FENOMENOS DO GOLPE DE ARIETE IMPERMISSÍVEL	170
9.3.1	Previsões donde as flutuações de débito podem ser prevenidas	170
9.3.2	" por onde as consequências de flutuações rápidas de débito são limitadas	173
10.	ALGUMAS INSTALAÇÕES DE ABASTECIMENTO DE AGUA BÁSICA	175
10.1	CAPTAÇÃO DE AGUA	175
10.1.1	Águas subterrâneas	175
10.1.2	Águas superficiais	176
10.2	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO	177

10.2.1	Purificação dum tipo de água subterrânea (Filtros) . . .	página 181
10.2.2	Tratamento químico (Mistura rápida, coagulação, floculação e sedimentação)	184
10.3	ESTAÇÃO DE "BOOSTER"	190

HIDRAULICA

Este é o nome dado ao ramo da ciência que trata dos fluídos em repouso ou em movimento.

A primeira parte é conhecida como hidrostática e a segunda como hidrodinâmica.



Boa água é saúde!

INTRODUÇÃO AO APROFUNDAMENTO DE ESTUDOS EM ENGENHARIA SANITÁRIA.

1. ESCLARECIMENTO E INTRODUÇÃO.

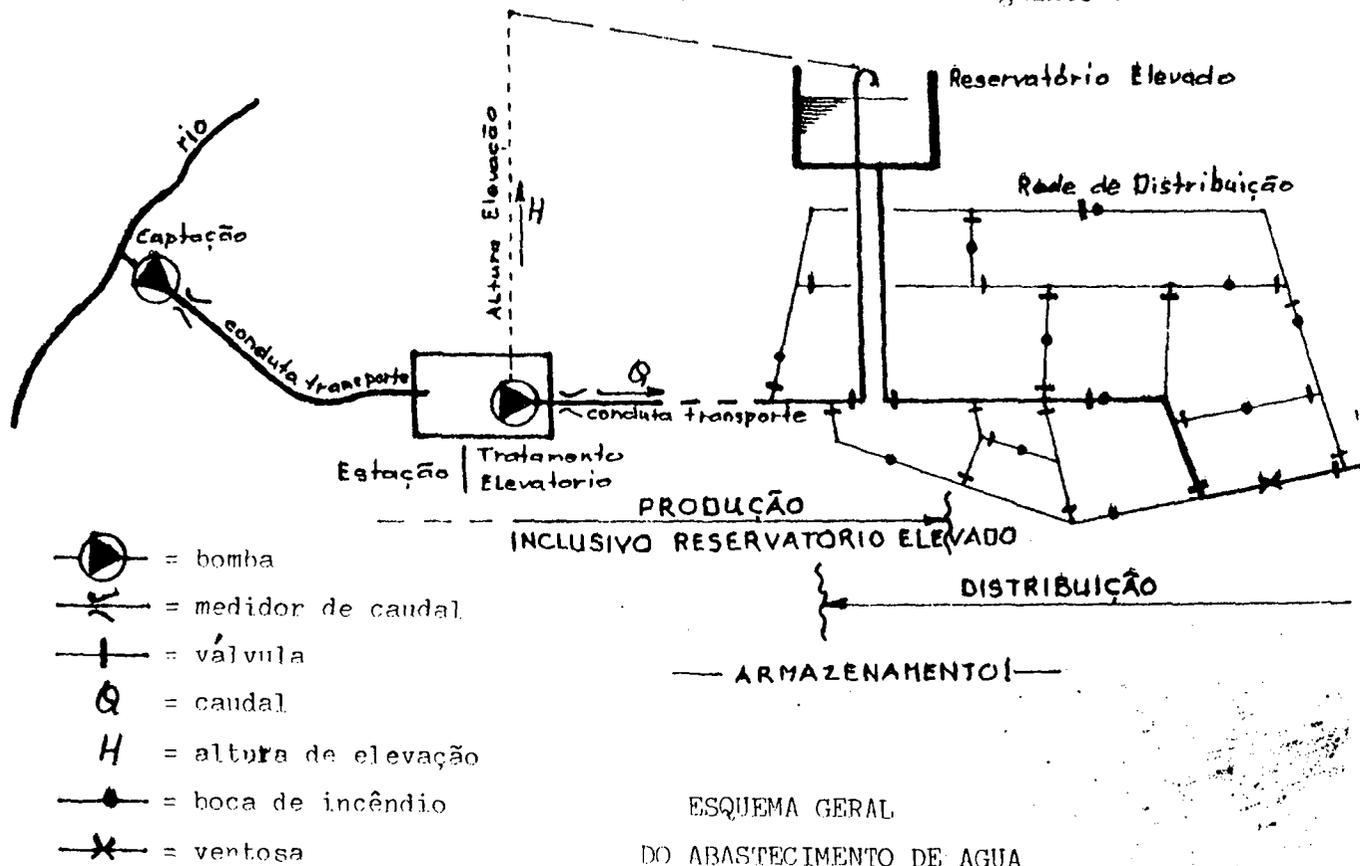
Com esta aproximação elementar de alguns conceitos técnicos (muito usados em sistemas de abastecimento de água) pretende-se obter rapidamente uma ampla noção fundamental nesta matéria. Não quer dizer que esteja completo, o que não foi a intenção, como disse acima. Mas normalmente para o trabalho diário numa Empresa de Abastecimento de Água, isto é suficiente.

A intenção é também que o leitor se qualifique mais, consultando os livros de estudos, se necessário, em que cada assunto é tratado mais profundamente.

O contrário é também verdade: O presente trabalho poderá ser de qualquer dos modos uma ajuda mais fácil durante o estudo de cada um dos assuntos essenciais.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS: "ABASTECIMENTO DE ÁGUA"

Os serviços públicos de abastecimento devem fornecer água sempre segura e de boa qualidade. É uma questão de saúde, da vida de cada um. Por isso é necessário considerar todos os aspectos quanto a esta responsabilidade. O sistema geral é simples e é como o seguinte:



Então!

2.1 O QUE QUER DIZER "PRODUÇÃO" (COMPREENSAO!)

Produção de água potável é o trabalho dos sistemas de abastecimento de água, que compreende:

- * a captação
 - * o tratamento
 - * o transporte
 - * o armazenamento (duma parte)
- de água, de maneira que o consumidor possa dispôr dela 24 horas por dia!

Portanto "Produção" significa também:

- 2.1.1 Destão e procura de terrenos (zona de extracção da água):
por conseguinte alguma compreensão de hidrologia *; os aspectos de extracção da água de poços por exemplo; os problemas da contaminação.**
 - 2.1.2 Preocupação dos prédios e instalações.
 - 2.1.3 Operação e controle; quer dizer, modo de utilização de todas as instalações de águas e os reservatórios de água.
 - 2.1.4 Manutenção; a própria manutenção e a manutenção que é feita o por outros serviços (os fornecedores de materiais por exemplo)
 - 2.1.5 Processo de registo; necessário para que a empresa funcione bem e a sua continuidade seja óptima. O acompanhamento (controle, análise, etc.) do progresso do consumo também é muito importante.
- 2.2 O QUE QUER DIZER "DISTRIBUIÇÃO" (COMPREENSAO!)

A rede de distribuição de água é constituída por um conjunto de condutas assentes nas vias públicas, junto aos edifícios, com a função de conduzir a água para os prédios e os pontos de consumo público.

Essas condutas caracterizam-se pelas numerosas derivações (distribuição em marcha) e uma disposição "em rede", derivando daí o seu nome;

"Rede de distribuição", veja parágrafo 2.4

A rede de distribuição de uma cidade é a parte mais dispendiosa

* Hidrologia é a ciência que trata da água da terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas reacções com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida.

** Brevemente Moçambique também estabelecerá a legislação para protecção de água potável.

do Sistema de Abastecimento de Água. Por essa razão ela merece grande atenção em todas as fases das obras: planeamento, projecto, construção, operação e manutenção. O custo da rede de distribuição é de 50% até 60% de custo total das obras.

2.3 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA, PORQUÊ ?

2.3.1 É necessário armazenar água para compensar as flutuações ou variações do consumo. As ligações de serviço de água canalizada não podem ser dirigidas nunca com base em regras fixas quanto ao consumo de água. Que dizer no caso de fornecimento de água durante 24 horas por dia.... As pessoas seguem as suas necessidades próprias para o consumo da água.

A par do consumo variável verifica-se uma produção de água mais ou menos constante. O ideal é a produção contínua por hora de aprox. 4.2 % ($= 100 / 24$) do consumo diário. Veja a figura do parágrafo 3.4

Isto é uma exigência primária devido à qualidade, especialmente no tratamento químico da água.

Mas o ligar e desligar de furos de captação de água subterrânea para encontrar as variações de consumo é também muito errado porque estes furos entupirão com mais facilidade.

Para resolver o problema das diferenças entre a produção da água e o seu consumo deve haver um meio de acumulação de água entre os dois. Quer dizer um reservatório de tamanho razoável.

2.3.2 Para assegurar uma reserva de água para combate a incêndios. É claro e necessário.

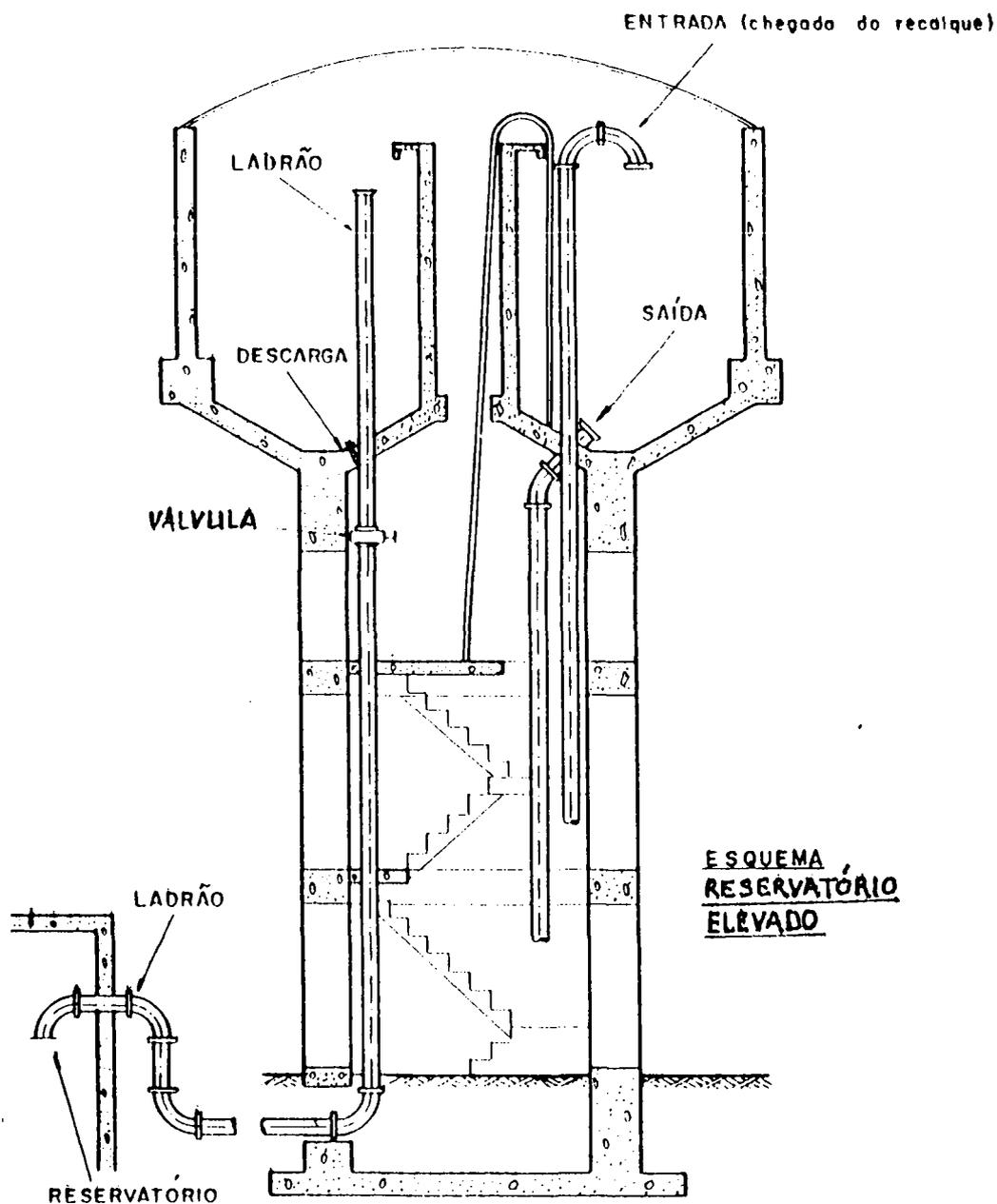
2.3.3 Para fornecer água nos casos de interrupção de adução, causada por algo na conduta de transporte. A quantidade por isso seria proporcional ao tempo gasto na reparação desta conduta, por exemplo.

N.B.1 A água só pode ser disponível regularmente ao consumidor se o espaço para armazenar estiver perto do centro de consumo. Também por isso a capacidade da conduta de transporte pode ser limitada e por consequência o seu diâmetro.

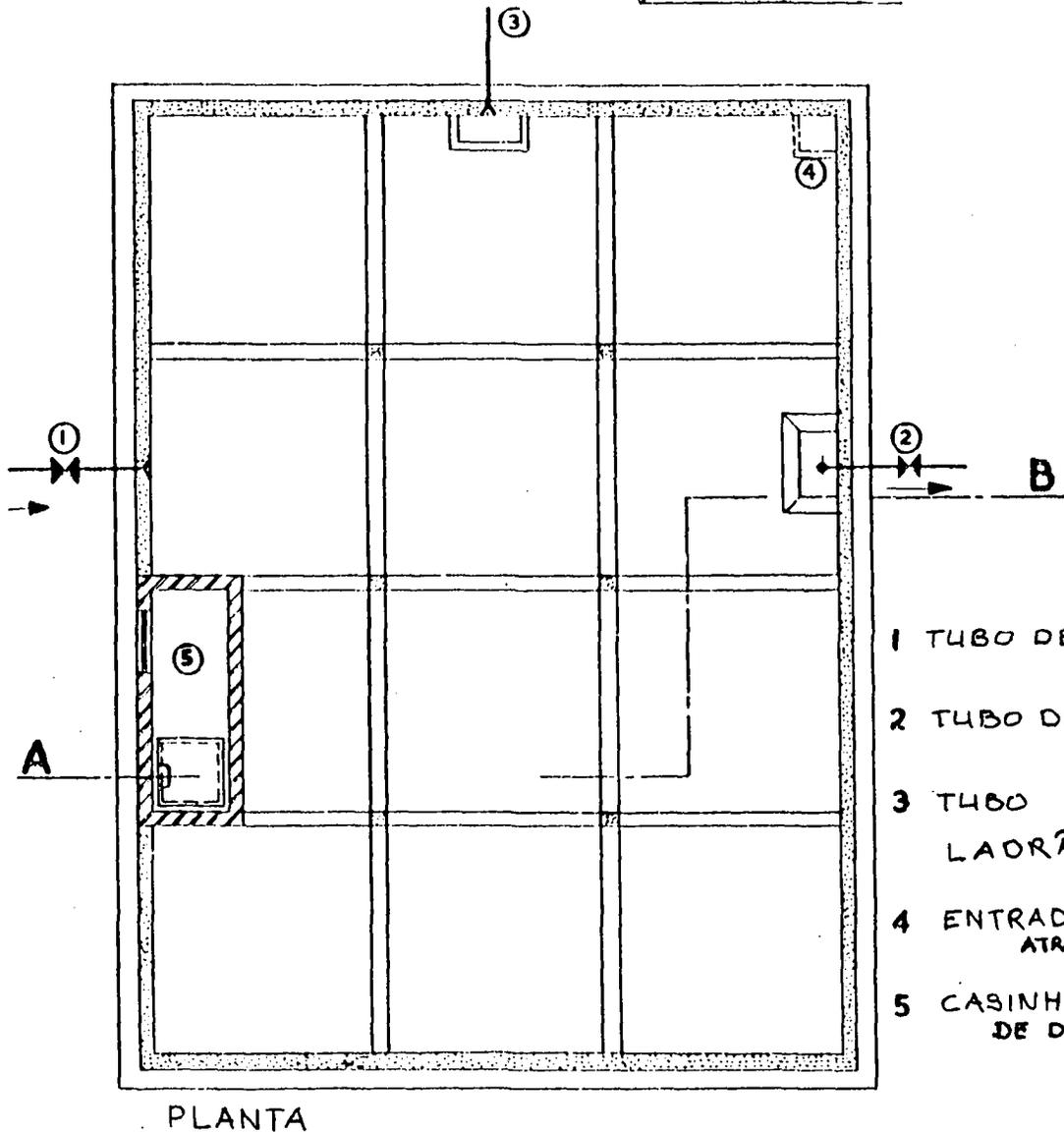
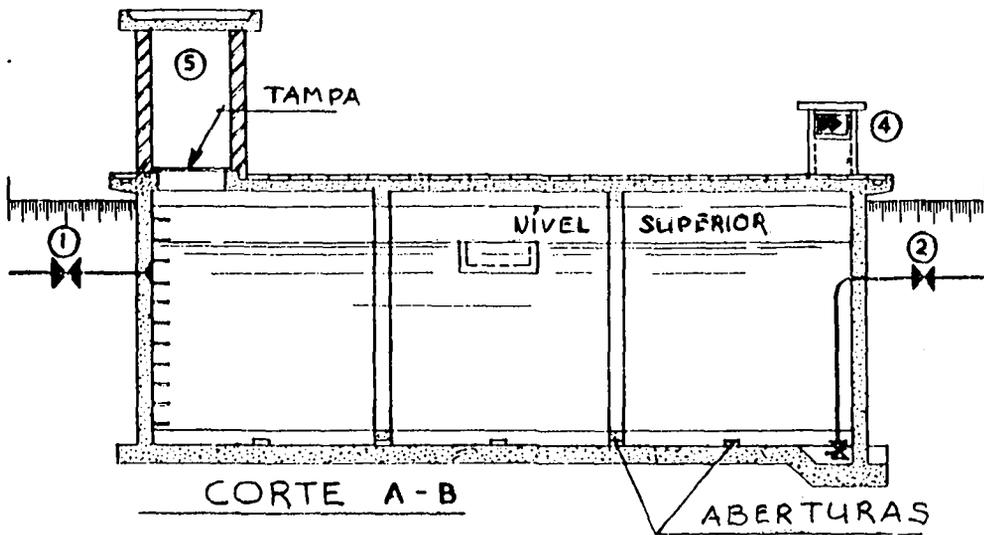
N.B.2 Frequentemente há também um reservatório perto da estação o de tratamento. Isso para garantir que a produção de água seja constante.

N.B.3 Em geral um reservatório elevado é o mais indicado para manter a pressão, por que a água é acumulada sob pressão. (estática), embora na prática não possa ser muito grande.

Para todos estes aspectos é preciso que se tenha bem presente os conceitos da engenharia sanitária!

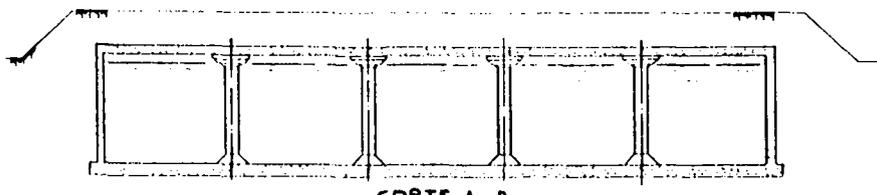


RESERVATÓRIO SEMI-ENTERRADO

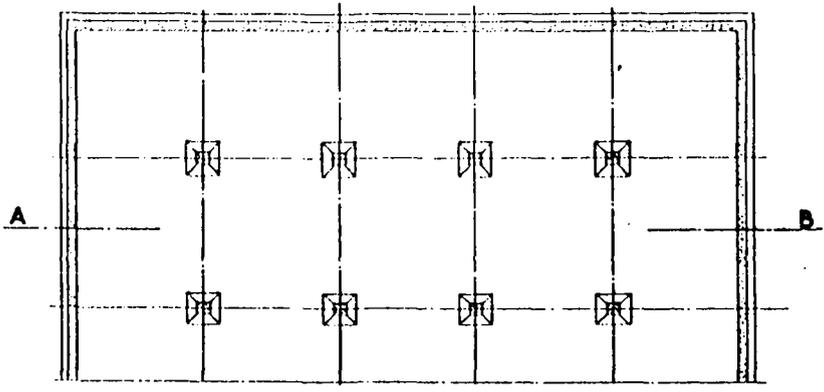


- 1 TUBO DE ENTRADA
- 2 TUBO DE SUÇÃO
- 3 TUBO LAORÃO
- 4 ENTRADA DE AR ATRAVÉS ABRE METALICA
- 5 CASINHA DE ENTRADA DE DEPOSITO

RESERVATÓRIO ENTERRADO

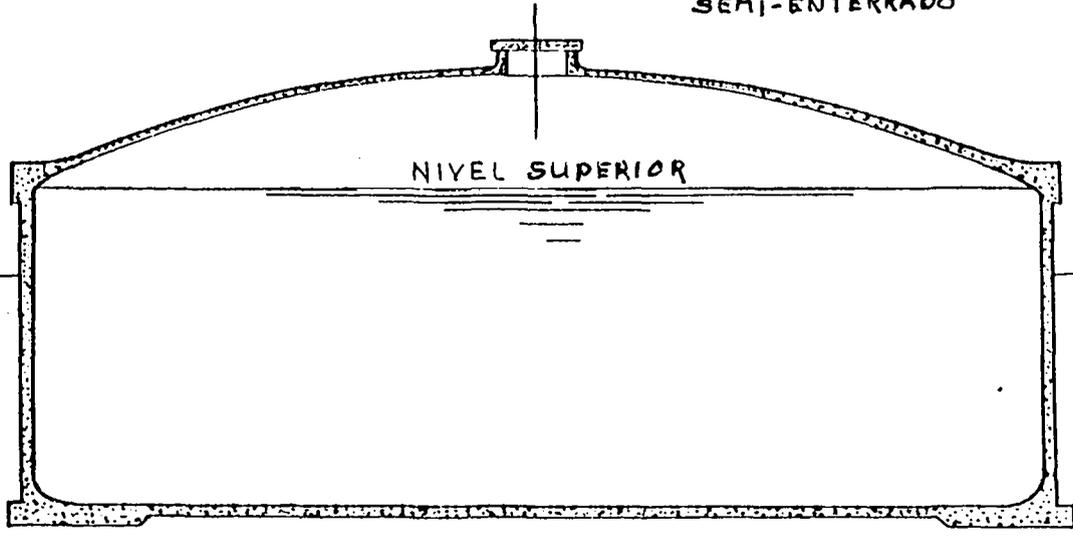


CORTE A - B

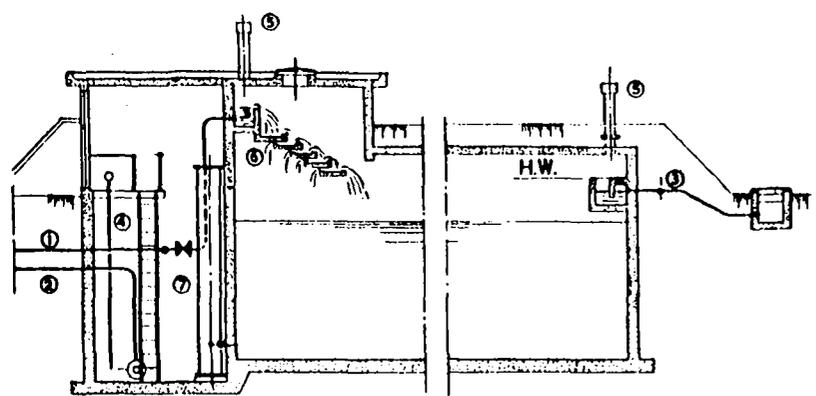


RESERVATÓRIO REDONDO

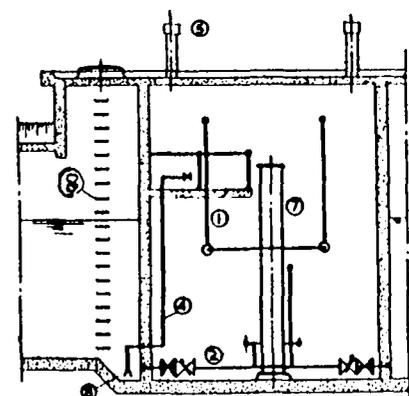
SEMI-ENTERRADO



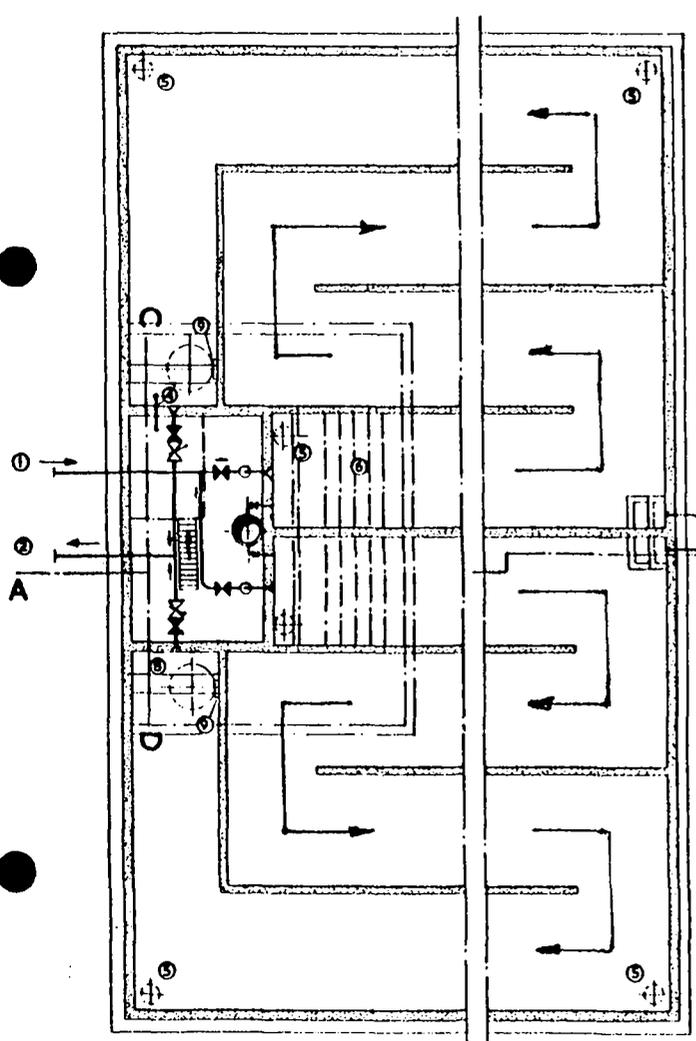
CORTE



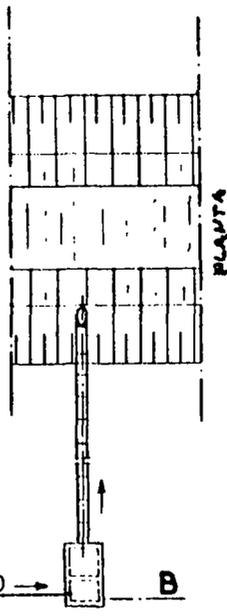
CORTE A-B



CORTE C-D



PLANTA



PLANTA



CANAL

CORTE

- 1 TUBO DE ENTRADA
- 2 TUBO DE SUÇÃO
- 3 TUBO LADRÃO
- 4 DESCARGA DE FUNDO
- 5 ENTRADA DE AR ATRAVÉS DUMA REDE METÁLICA.
- 6 ENTRADA DE ÁGUA EM CASCATA
- 7 TUBO DE SOLO
- 8 ESCADAS
- 9 COMPORTA

RESERVATÓRIO COM PAREDES PARA DIRIGIR A ÁGUA

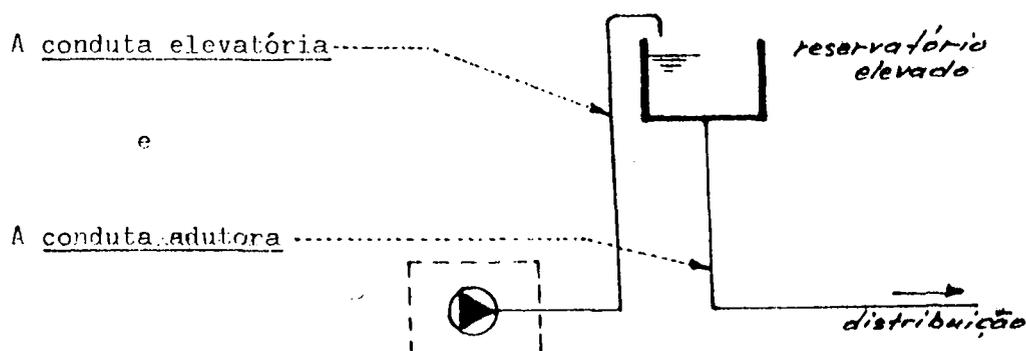
2.4 DESIGNAÇÃO DAS CONDUTAS E DAS REDES

2.4.1 A conduta de transporte (de água bruta ou de água potável)

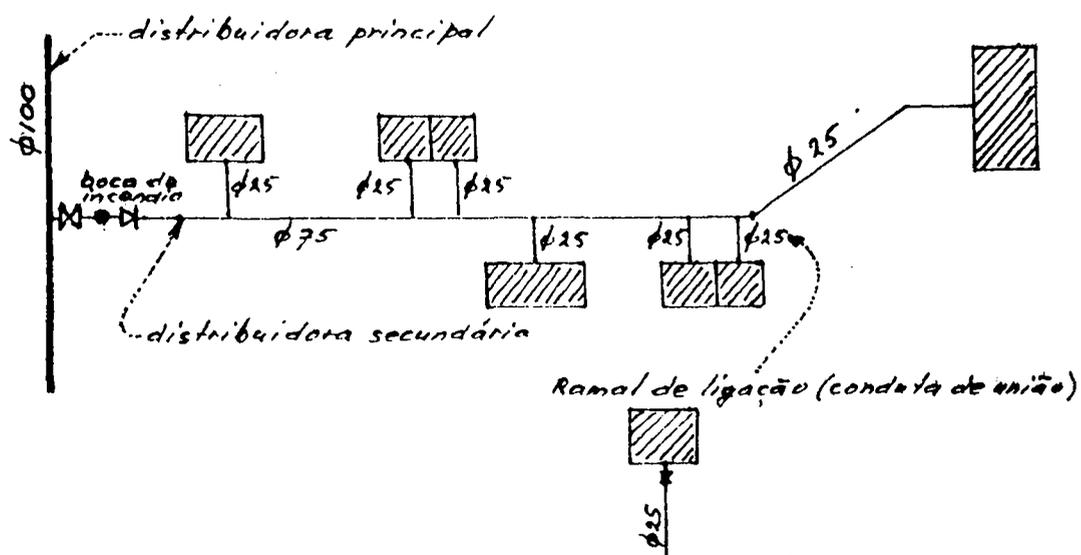


A captação deve situar-se em lugares, de preferência, sem perigo de poluição. Por isso, o talvez por outras razões mais, muitas vezes a área de captação (e também às vezes por consequência a estação de tratamento de água) não se situa perto do centro de consumo. Daí precisarmos uma conduta de transporte (de água bruta e/ou de água potável).

2.4.2 A conduta elevatória



2.4.3 Conduta de distribuição



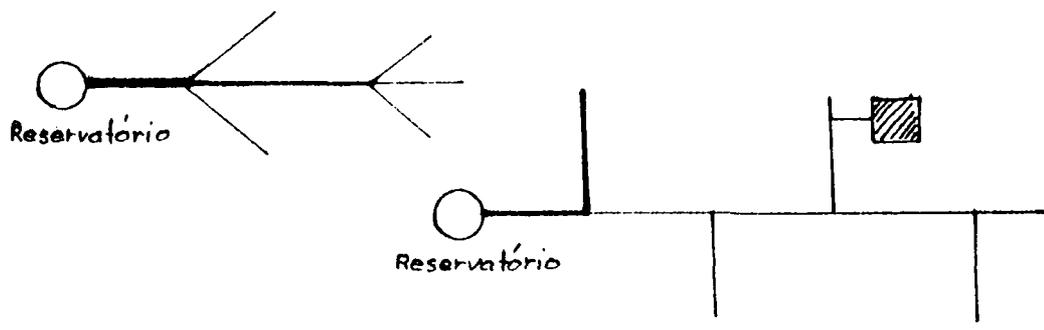
Na rede de distribuição distinguem-se dois tipos de condutas:

- condutas principais
- condutas secundárias

As condutas principais, também chamadas condutas tronco ou condutas mestre, são as canalizações de maior diâmetro, responsáveis pela alimentação das condutas secundárias.

As condutas secundárias, de menor diâmetro, são as que estão imediatamente em contato com os prédios a abastecer e cuja alimentação depende directamente delas.

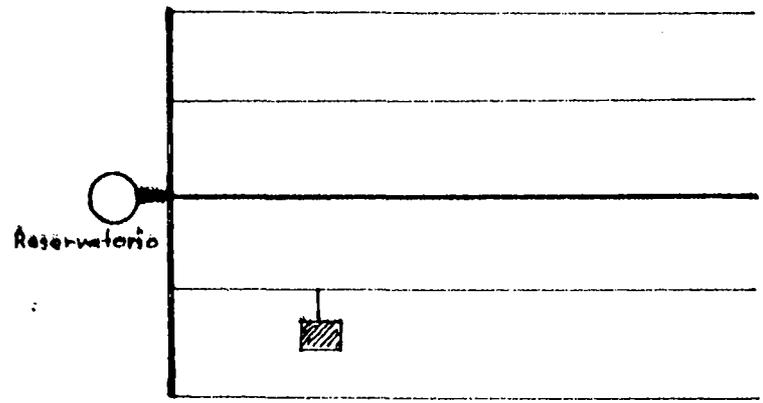
2.4.4 Rede em "Espinha de Peixe"



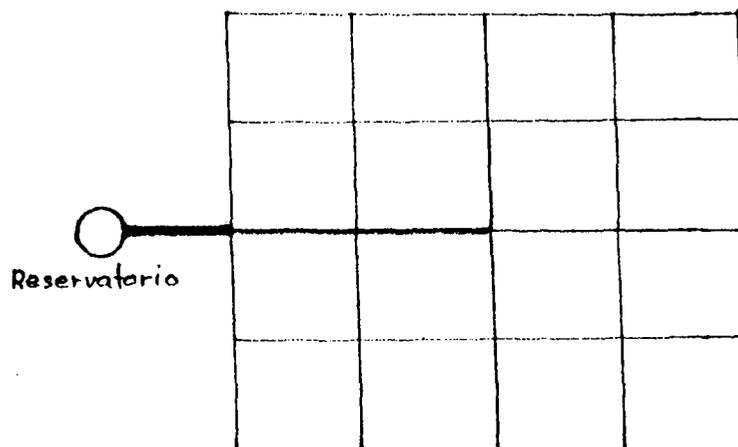
As condutas principais são traçadas a partir duma conduta principal central, com uma disposição ramificada que faz juz áquela denominação.

É um sistema típico de cidades que apresentam desenvolvimento em direcção linear.

2.4.5 Rede em "Grelha"



As condutas principais são sensivelmente paralelas, ligam-se numa extremidade a uma outra conduta principal e os seus diâmetros vão decrescendo para a outra extremidade.

2.4.6 Rede Malhada

As condutas principais formam circuitos ou anéis.

N.B. Nos dois primeiros tipos de redes, rede em "Espinha de Peixe" e rede em "Grelha", a circulação da água nas condutas principais faz-se praticamente num único sentido.

Todos estes tipos de redes caracterizam-se por disposições ramificadas.

Por isso chamam-se também redes ramificadas.

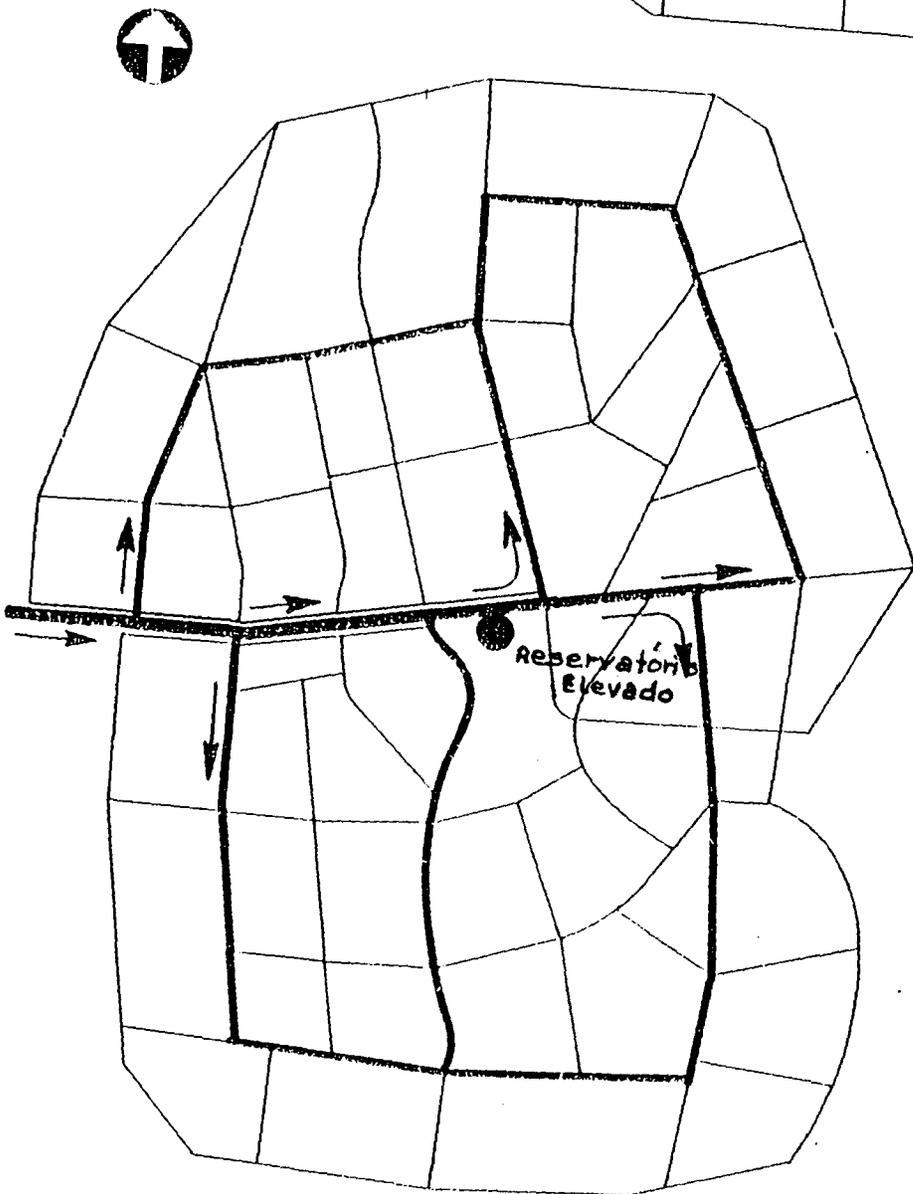
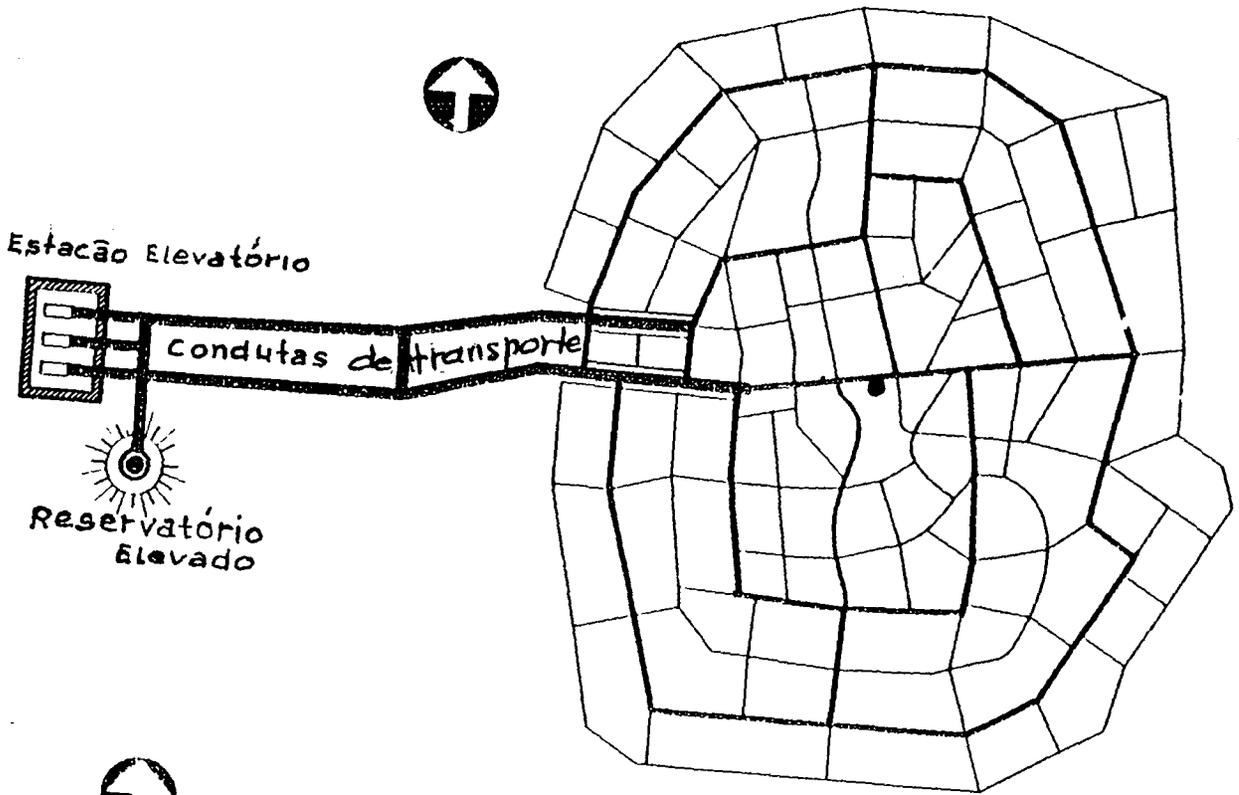
Isto é ao contrário duma rede malhada.

Na prática pode ocorrer combinações destes tipos de rede.

A rede malhada é um tipo de rede que geralmente apresenta uma eficiência superior aos outros.

Também uma interrupção do escoamento num trecho não irá causar tantos problemas como aconteceria numa rede ramificada.

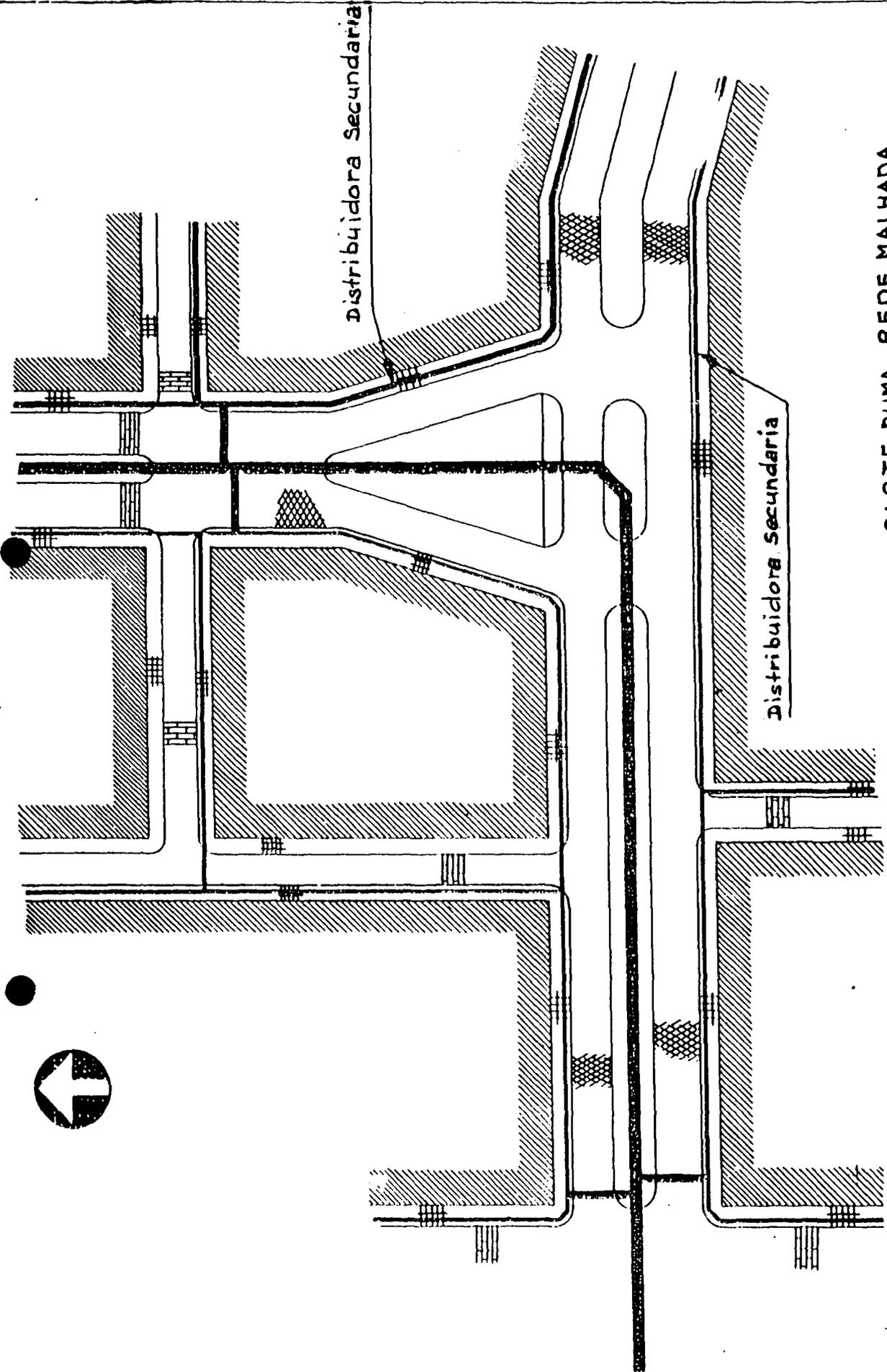
REDE DUMA CIDADE GRANDE



Distribuidora Secundaria

Distribuidora Secundaria

PARTE DUMA REDE MALHADA



3. PADRÃO DE CONSUMO I

Como já foi mencionado a quantidade de água consumida numa rede pública, varia continuamente sob a influência das actividades e dos hábitos da população, condições de clima, etc.

Há meses em que o consumo de água é maior, e dentro de um mesmo mês existem dias em que a demanda de água predomina sobre os demais.

Também durante o dia nas horas diurnas a vazão supera o valor médio, atingindo valores máximos nas horas de refeição. No período nocturno o consumo cai abaixo da média, apresentando valores mínimos nas primeiras horas da madrugada.

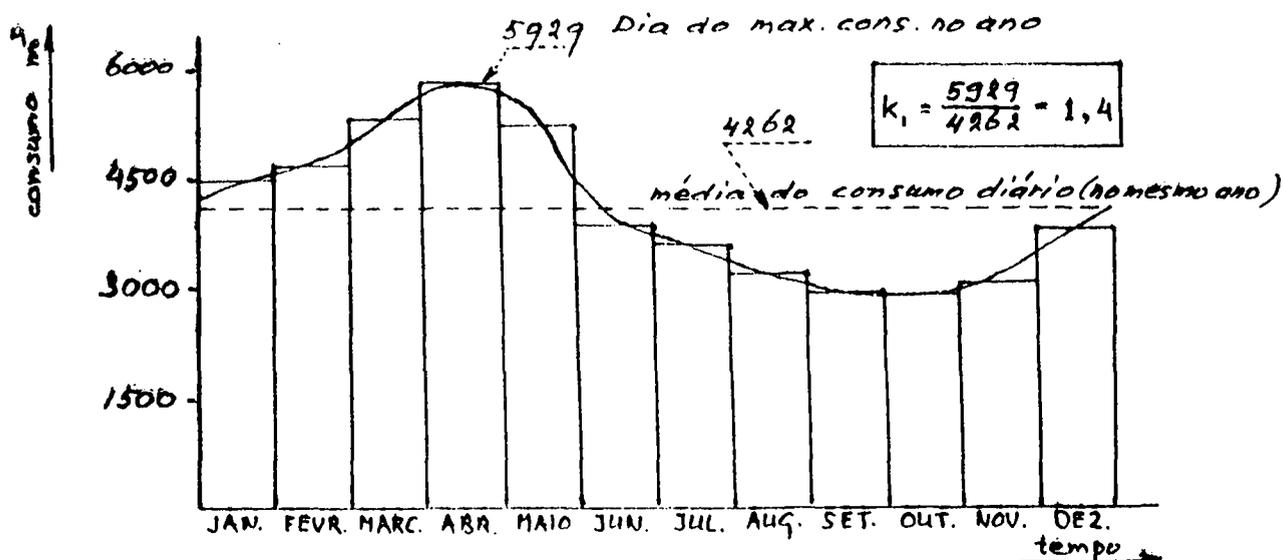
Podem, pois, ser consideradas as seguintes variações de consumo:

- a. Variações mensais
- b. " diárias
- c. " horárias
- d. " instantâneas

3.1 O COEFICIENTE DE DIA DE MAIOR CONSUMO (K 1).

A relação entre o valor de consumo máximo diário ocorrido num ano e o consumo médio diário relativo a esse ano chama-se o coeficiente de dia de maior consumo ou o Factor de Ponta; K 1 .

$$K 1 = \frac{\text{Consumo máximo diário ocorrido num ano}}{\text{Consumo médio diário relativo a esse ano}}$$



Este coeficiente, K_1 , varia entre 1,2 e 2,4 e terá valores mais elevados quando o clima for mais rigoroso e mais variável. As obras de recolha de água, recalque de água bruta, adução, tratamento, reserva e distribuição devem ser projectadas, levando-se em conta o coeficiente K_1 , relativo aos dias de maior consumo.

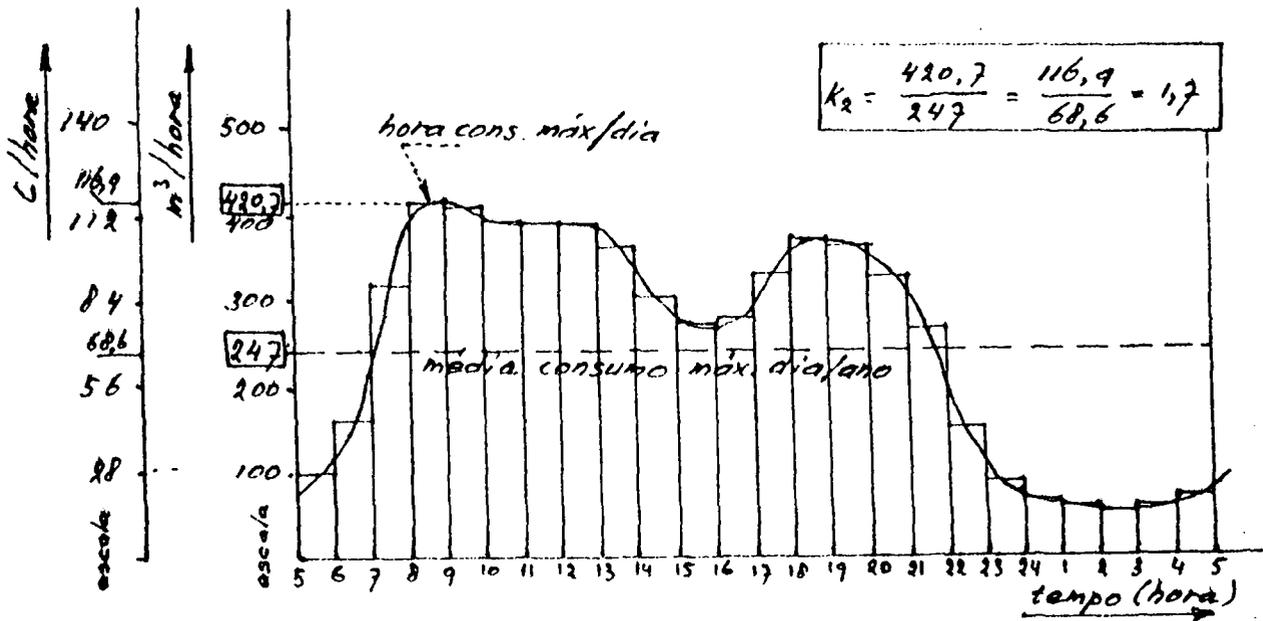
3.2 O COEFICIENTE HORÁRIO MÁXIMO (K_2).

A relação entre o valor de consumo horário máximo ocorrido num dia e o consumo horário médio relativo a esse dia, chama-se: o coeficiente horário máximo;

K_2

$$K_2 = \frac{\text{Valor do consumo horário máximo ocorrido num dia}}{\text{Valor do consumo horário médio relativo a esse dia}}$$

Os valores de K_2 são obtidos através de observações sistemáticas, de medidores instalados a jusante dos reservatórios de distribuição e varia entre 1,5 e 3.



3.3 O COEFICIENTE DE REFORÇO (K)

Os coeficientes (K1 e K2) multiplicados constituem o que se denomina por coeficiente de reforço K:

$$K = K1 \times K2$$

Os valores mais comuns do coeficiente de reforço (K) estão compreendidos entre 1,8 e 2,6

Na Europa encontram-se muitas cidades com os seguintes valores de coeficiente, na ordem;

$$K1 = 1,7$$

$$K2 = \frac{\text{consumo horário máx.} + 8,3\% \text{ do consumo diário máx.}}{\text{consumo horário médio} = 4,16\% \text{ do consumo diário máx.}} = 2$$

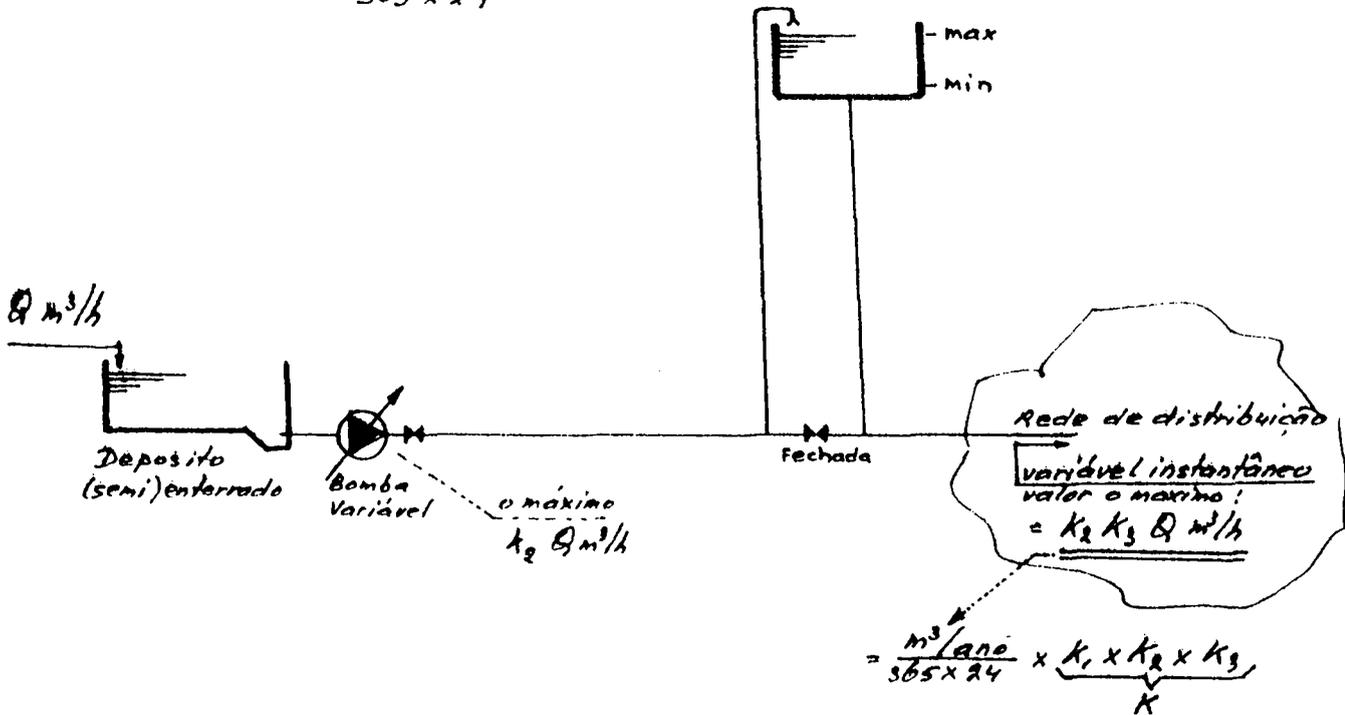
Então: $K = 1,7 \times 2 = 3,4$

N.R. Se forem levadas em conta as variações instantâneas de vazão, deverá ser introduzido um novo coeficiente K3, elevando-se o valor K para cerca de 4,0

*) O valor de hora máx. pode ser expresso como percentagem do consumo diário máximo.

Por exemplo:

$$\frac{\text{m}^3/\text{ano}}{365 \times 24} \times K_3 = Q \text{ - valor máximo}$$



3.4 AS VARIAÇÕES HORÁRIAS PREVISTAS NUMA CIDADE

As variações horárias resultam num padrão de consumo durante o dia, porque a vida das pessoas numa área definida tem muitas semelhanças, pelo que se pode prever um padrão, uma curva, que representará também uma imagem de forma prognóstica.

Por exemplo:

O gráfico dos caudais (consumo total) horários para um dia arbitrário numa rede de distribuição pode ser;

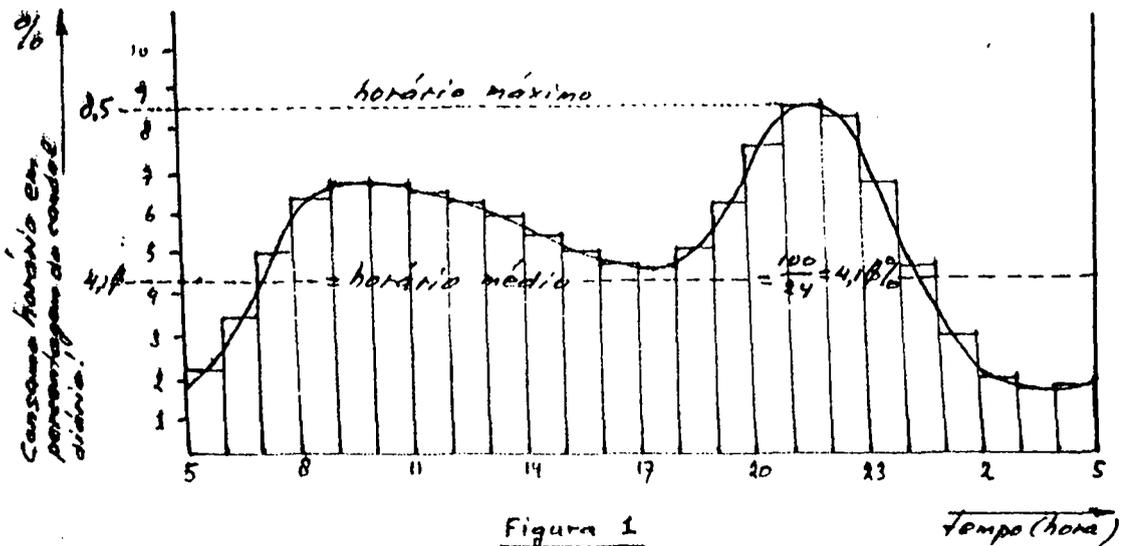


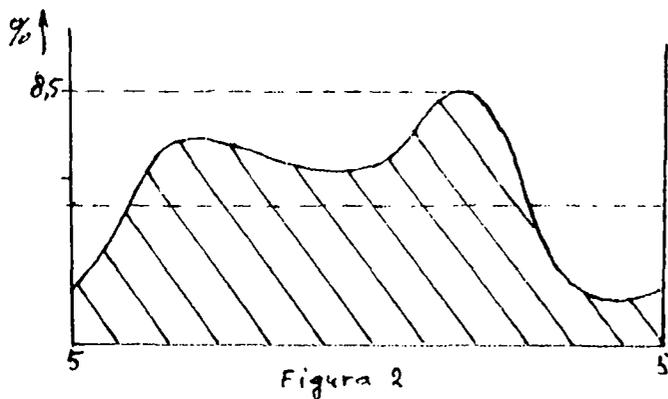
Figura 1

N.B. A escala horizontal aqui foi escolhida das 5 horas até as 5 horas, da manhã seguinte. Muitas vezes encontra-se uma escala das 24 horas até às 24 horas, da noite seguinte.

No eixo horizontal indicase-se as horas dum dia: 24 horas.

No eixo vertical indicam-se consumo horário, mas exprimido em percentagem relativamente ao consumo diário.

Suponha um caudal diário de 3500 m^3 . Então isto é igual 100 % e é igual à superfície tracejada na figura 2, veja também figura 1.



Se num outro dia o caudal fôr de 4000 m^3 , então isto é igual a 100 %. Mas note que a percentagem por hora permanece mais ou menos a mesma.....

Mas agora consideremos um dia de 3500 m^3 ; por consequência $1\% = 35 \text{ m}^3$.

Parece que, normalmente, todos os valores dos consumos horários exprimidos em percentagem de caudal diário, são também mais ou menos os mesmos para uma rede de distribuição.

Isso quer dizer que a curva é também a mesma para todos os dias. Só o valor em m^3/h para 1% do consumo diário pode mudar.

A curva pode mudar-se totalmente quando as perdas de água atingem valores superiores a cerca de 10%, mas sobre isso tornaremos a falar mais tarde.

É claro o caudal horário médio, $100\% : 24 = 4,1\bar{7}\%$ do caudal diário, é igual ao caudal da produção. Por consequência, durante um periodo do dia o caudal de abastecimento de água à cidade é maior que o caudal da produção e a diferença deve ser fornecida pelo reservatório.

Então aproveita-se para armazenar água no reservatório durante as horas em que a produção é superior à procura de água na cidade - veja tracejado //// na figura 3.

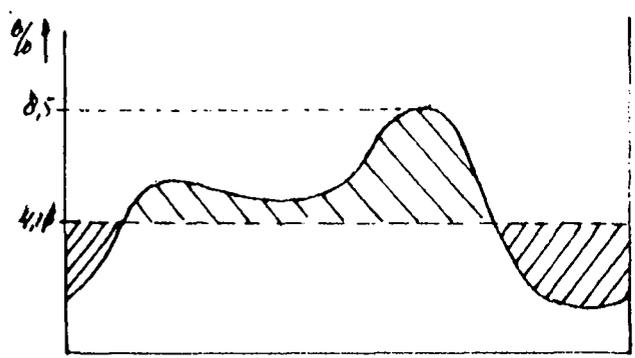


Figura 3

Figura 3.

É claro que neste caso a superfície tracejada com // tem que ser igual à \\\\. E isto é também igual a capacidade do reservatório. Normalmente para as cidades este valor é mais ou menos 19 a 20% do caudal diário.

Os últimos 80 cm. de água no reservatório não deve ser usados, porque a água perto da base do reservatório contém precipitados; também, deve-se reservar acima um espaço para operação e reserva, veja a figura 4, esta percentagem torna-se $\pm 25\%$ (por exemplo).

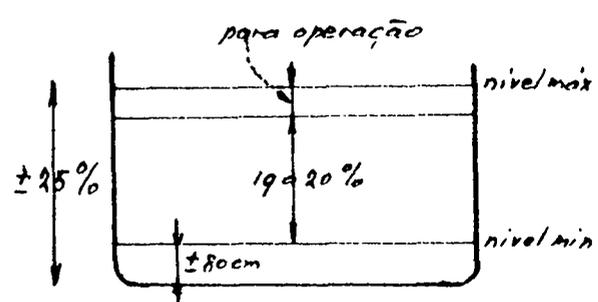


Figura 4

Como já disse, esta percentagem depende da curva, do padrão de consumo, do carácter geral dos grupos de população.

Geralmente, pode se dizer:

Nestes reservatórios, para atender à variação horária de consumo, pode-se demonstrar que a sua capacidade deverá estar compreendida entre:

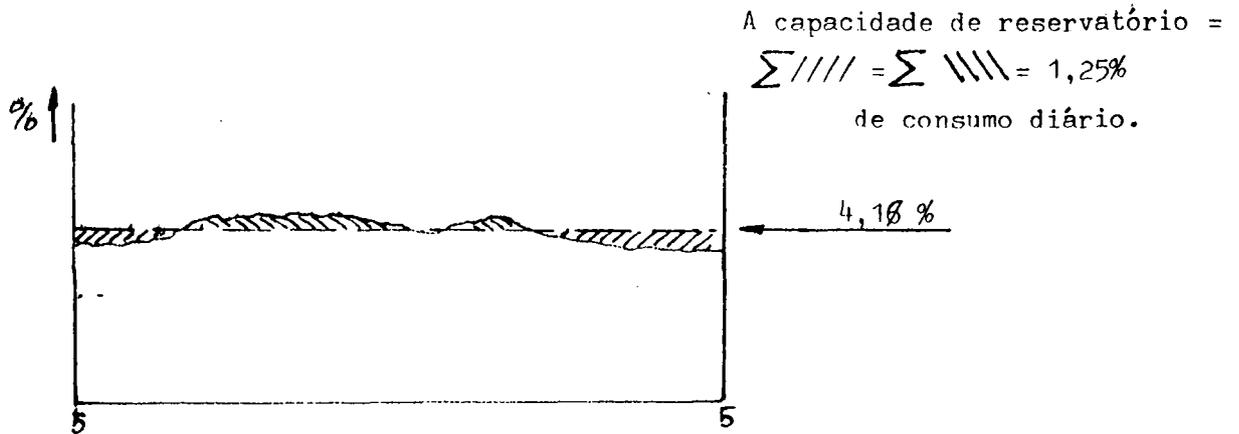
$\pm 1,25\%$ \longrightarrow $\pm 25\%$ \longrightarrow $\pm 60\%$ do volume de água consumido nos dias de maior solicitação.

Este valor depende do tipo de consumo!

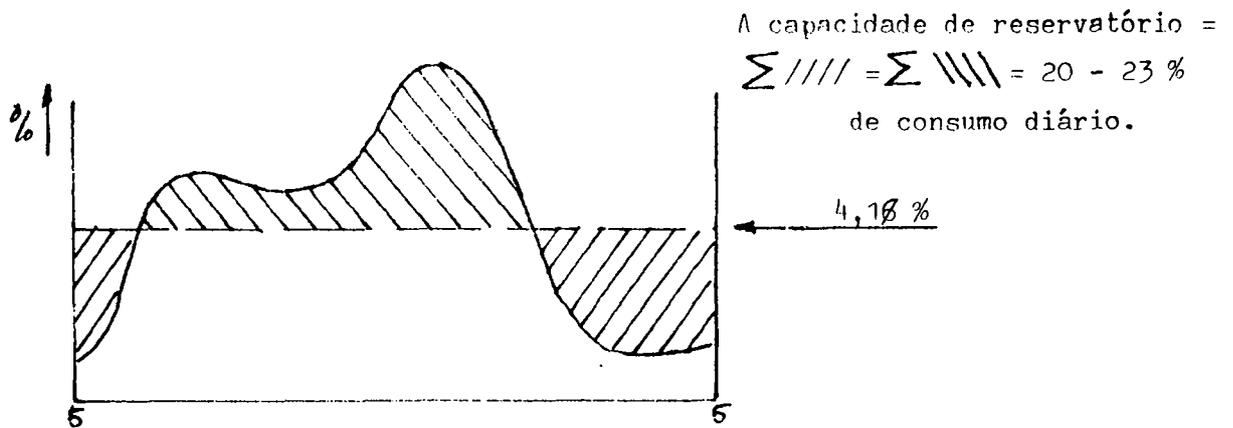
Veja proxima página.

Explicação disto através de diversos tipos de consumo:

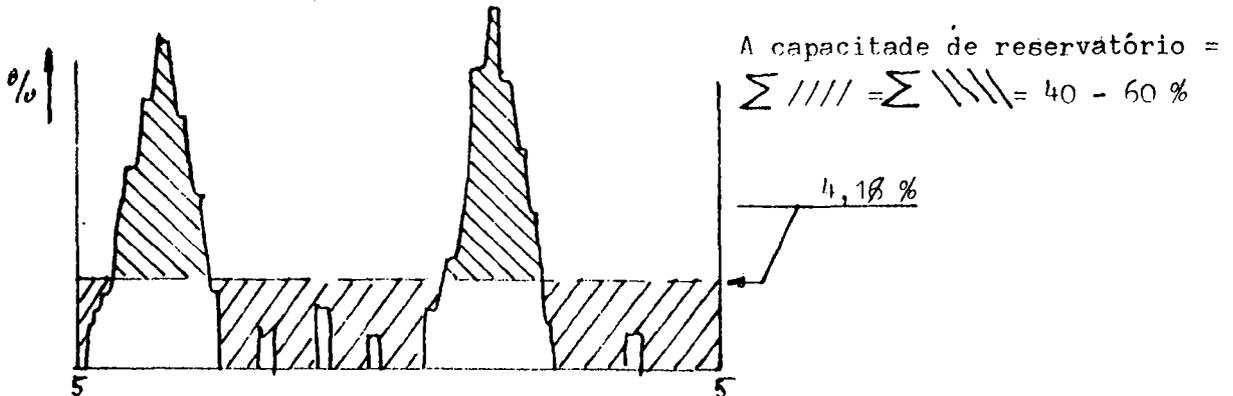
a) Um padrão de consumo para indústria (24 horas serviço) = 1,25%



b) Um padrão de consumo so para a cidade urbana: = 25 %



c) Um padrão de consumo para área rural (com bastantes fontenários:) = 45, 50, 60 %



→ N.B. Todas as curvas só são aplicáveis quando as perdas da água não forem significativas!

4. PADRÃO DE CONSUMO II (A SITUAÇÃO PRÁTICA)

Supõe-se uma rede de distribuição da mesma extensão e com o mesmo número de pessoas como no exemplo do parágrafo 3.4, mas neste caso há também perdas de água no valor de $\approx 40\%$ da produção diária, porque a situação da rede é precária; falta de materiais,....

Agora a Empresa de Água tem problemas de fornecer a água conforme as regras internacionais para a saúde da população. É necessário diariamente o consumo normal de 3500 m^3 e também as perdas de água, atingem mais ou menos 2300 m^3 por dia ($\approx 40\%$!). Isto é produção e distribuição de água por dia (100% do valor para rede de distribuição) total $\pm 5800 \text{ m}^3$. Com outros tipos de consumos, como o fornecimento de água para machambas perto da captação por exemplo, é necessário por dia = 6600 m^3 .

Este valor é felizmente igual à produção máxima por dia, a dizer a verdade, sem reserva....

Mas por outro lado a Empresa de Água não pode fornecer agora o caudal horário máximo que neste momento, deveria ser:

$$\underbrace{8,5 \times 35 \text{ m}^3/\text{h}}_{\text{normal por hora}} + \underbrace{\approx 100 \text{ m}^3/\text{h}}_{\text{são as perdas por hora}} = \pm 400 \text{ m}^3/\text{h},$$

o que é de mais para as bombas instaladas.

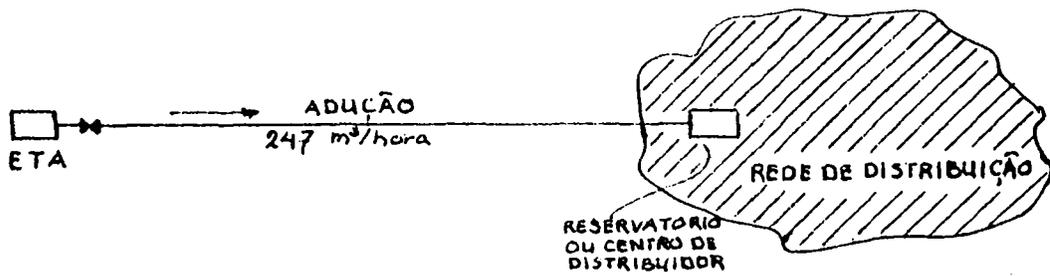
Resultando na situação seguinte:

À Empresa de Água não pode cumprir com a exigência de primeira ordem porque não é possível assegurar o abastecimento de água aos prédios, com vazões suficientes e pressão adequada em qualquer dia, hora, ou instante.

Pelo contrário, a Empresa é obrigada a fornecer água apenas durante alguns períodos por dia. No parágrafo seguinte vamos ver o resultado por meio de análises.

*) Veja a figura 1 : Horário máximo $\pm 8,5\%$

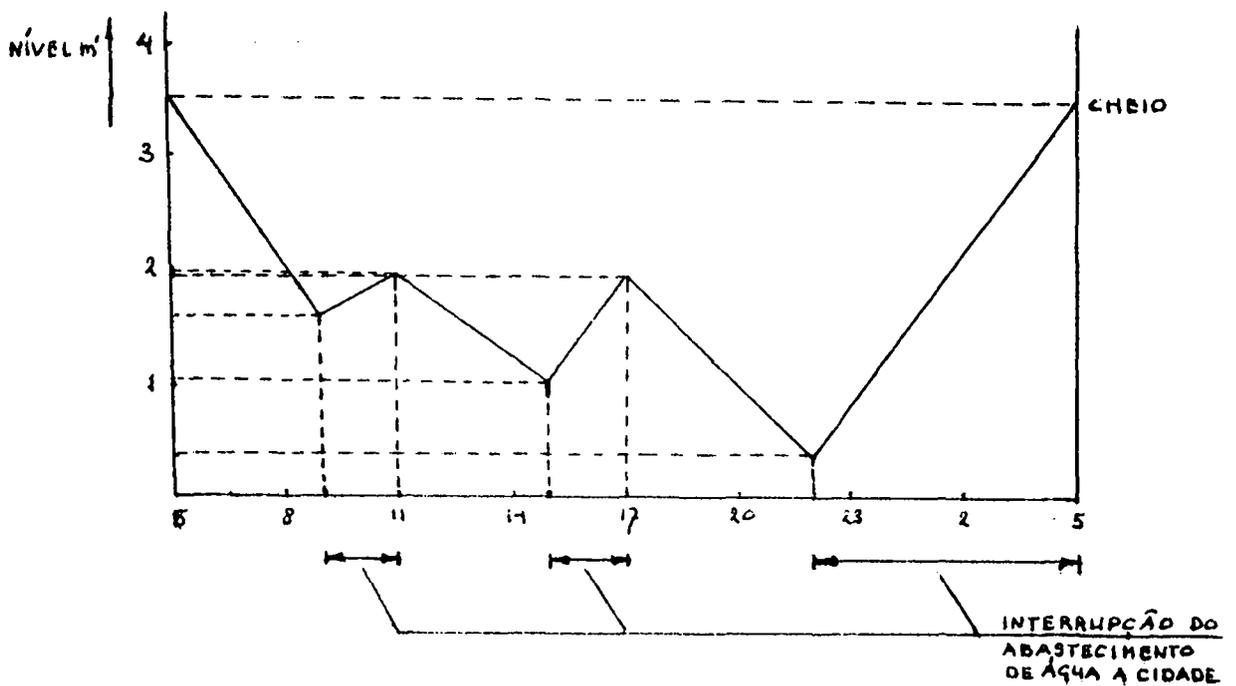
4.1 ANÁLISE DESTA SITUAÇÃO PRÁTICA.



O processo de operação com o depósito será segundo o quadro seguinte:

Tempo horas	Nível de água no depósito m.	Alguns dados dos depósitos
5.00	3,5 (cheio)	4 depósitos em operação, cada um com 500 m ³ no máximo. Superfície total: $4 \times 145,2 \text{ m}^2 = 580,8 \text{ m}^2$.
9.00	1,55	
11.00	1,95	
15.00	1,05	
17.00	1,9	
22.00	0,35	

4.1.1 Esta operação pode ser visível num gráfico:



Consumo total da cidade desde:

$$\begin{array}{r}
 * \quad \underline{5.00 - 9.00 \text{ h}} ; (3,5 - 1,55) 580,8 \text{ m}^3 = 1132,56 \text{ m}^3 \\
 \text{4 horas de fornecimento pela E T A} = + \underline{988,0 \text{ m}^3} \\
 \hline
 2120,56 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Ou $2120,56 \text{ m}^3 / 4 \text{ h} \# 530,14 \text{ m}^3/\text{h}$ (média) $\# 9,2\%$

por hora neste período

$$\begin{array}{r}
 * \quad \underline{11.00 - 15.00 \text{ h}} ; (1,95 - 1,05) 580,8 \text{ m}^3 = 522,72 \text{ m}^3 \\
 \text{4 horas de fornecimento pela E T A} = + \underline{988,0 \text{ m}^3} \\
 \hline
 1510,72 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Ou $1510,72 \text{ m}^3 / 4 \text{ h} \# 377,68 \text{ m}^3/\text{h}$ (média) $\# 6,55\%$

por hora neste período

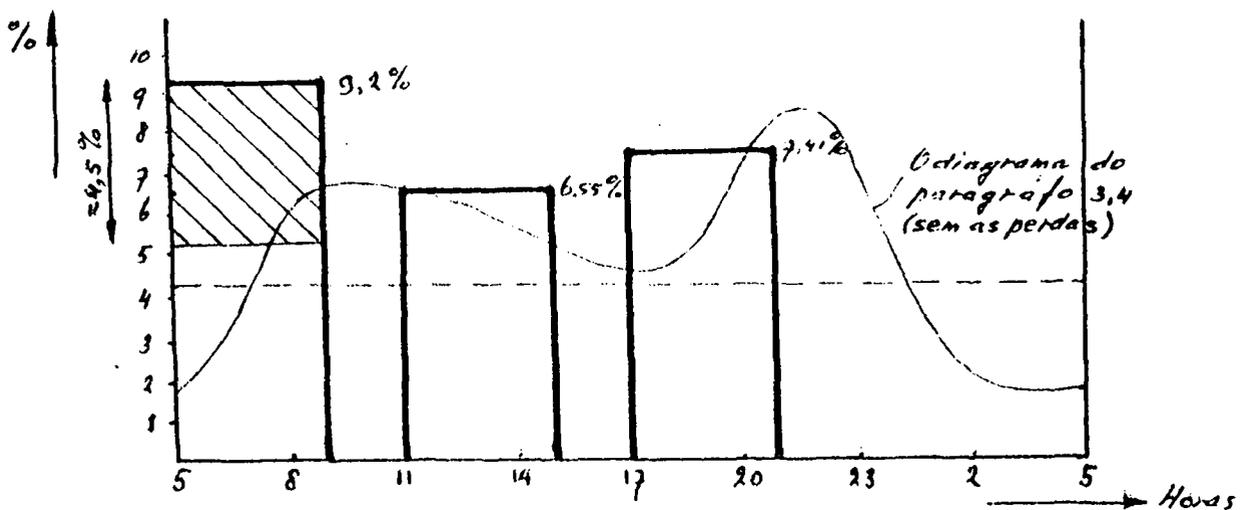
$$\begin{array}{r}
 * \quad \underline{17.00 - 22.00 \text{ h}} ; (1,9 - 0,35) 580,8 \text{ m}^3 = 900,24 \text{ m}^3 \\
 \text{5 horas de fornecimento pela E T A} = + \underline{1235,00 \text{ m}^3} \\
 \hline
 2135,24 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Ou $2135,24 \text{ m}^3 / 5 \text{ h} \# 427 \text{ m}^3/\text{h}$ (média) $\# 7,41\%$

por hora neste período.

$$\text{Consumo, incluindo as perdas, é no total (100 \%)} = \underline{\underline{5766,52 \text{ m}^3}}$$

4.1.2 Como foi calculado em cima podemos representar estes valores, expressos em percentagem de consumo diário neste dia, no diagrama:



Durante a noite todos os sistemas de condutas se esvaziam, e por isso estas devem ser preenchidas primeiro ; daí o valor de vazão ser muito alto de manhã $\rightarrow 9,2\%$!

4.2

CONCLUSÃO:

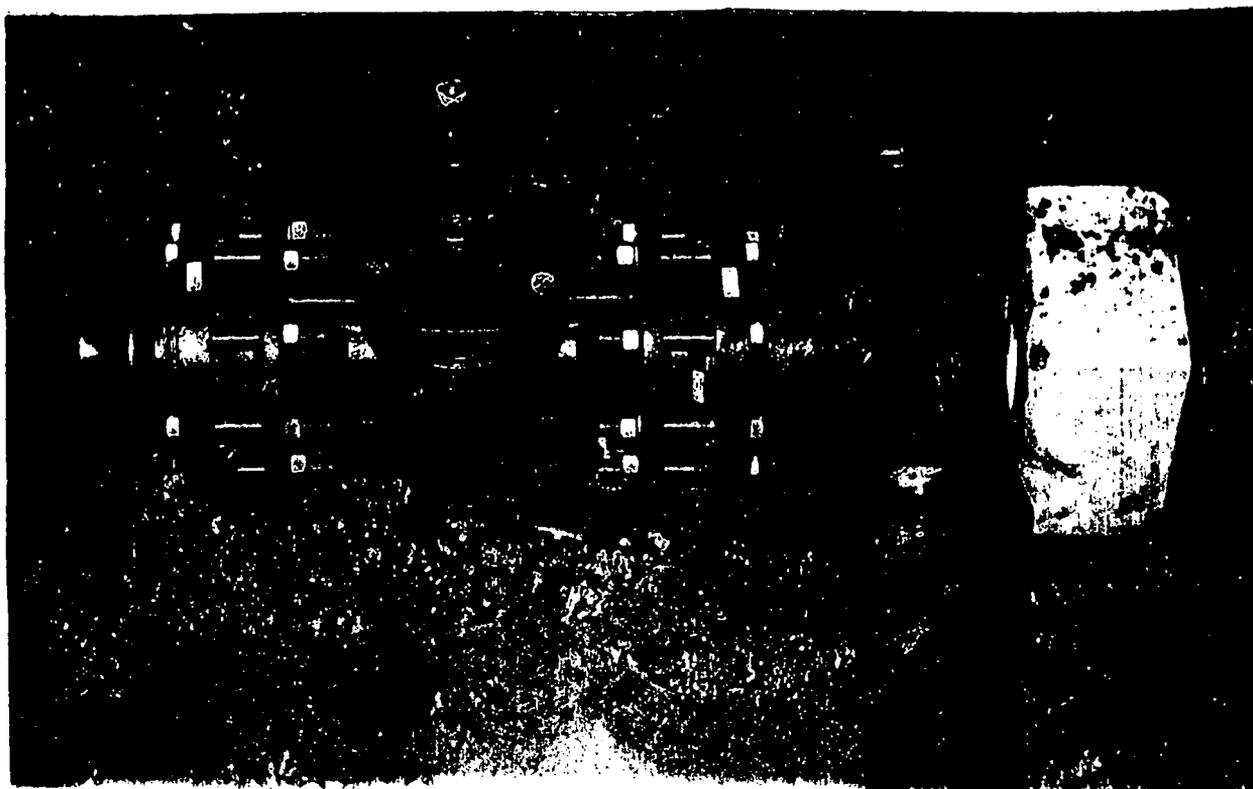
Portanto $\pm 9\%$ em lugar de mais ou menos $4,5\%$, veja o gráfico !
 Quer dizer, $9 - 4,5\%$ durante 4 horas $\approx 18\%$ do consumo diário
 neste período, que é o que se perdeu durante um período de ± 11 horas
 na noite precedente.

Então as perdas devem ser mais ou menos $\frac{18}{11}\% = 1,64\%$ por hora
 ou por dia, mais ou menos $24 \times 1,64\% \approx \underline{\underline{40\%}}$!

Isto é só um exemplo mas como já disse, todos os dados são mais ou
 menos de acordo com a realidade.

Devido às perdas de água podemos notar:

- a) || Apesar da produção de facto ser suficiente (incluindo a
 || quantidade para fornecer as perdas) não se pode fornecer água
 || durante 24 horas por dia !
- b) || É necessário que as bombas tenham uma capacidade superior às
 || actuais que são usadas quando não há perdas.



TESTE.

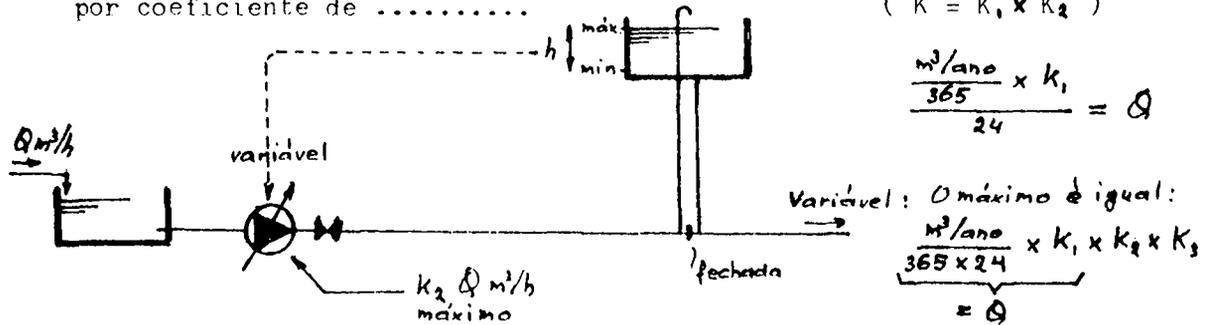
Algumas perguntas sobre o abastecimento de água. a

- 1) O que quer dizer : PRODUÇÃO DE ÁGUA ?
- 2) " " " " : DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA ?
- 3) Enumere a designação das condutas que se usam no sistema de ab. de água.
- 4) " " " das redes que podem ser usadas.

A quantidade de água consumida de uma rede pública, varia continuamente sob a influência das actividades e dos hábitos da população, condições de clima etc.

- 5) Que variações de consumo podem ser consideradas ?
 - a) variações.....
 - b) "
 - c) "
 - d) "

- 6) O que indica " o coeficiente de dia de maior consumo (K_1)" ?
- 7) " " " " " horário máximo (K_2)" ?
- 8) Os coeficientes K_1 e K_2 multiplicados constituem o que se denomina por coeficiente de ($K = K_1 \times K_2$)



Se foram levadas em conta as variações instantâneas de vazão, deverá ser introduzido um novo coeficiente K_3 , elevando-se o valor K para cerca de 4,0.

- 9) O que sabe sobre o padrão de consumo ?
- 10) Qual é a função do depósito ou armazenamento de água; por quê ?
- 11) Designê um padrão de consumo (já conhece um !) e indique por meio de tracejado as áreas, $////$ e $////$ em que o caudal de abastecimento de água à cidade é maior que o caudal da produção e também o contrário quando o caudal à cidade é menor. O caudal da produção é igual ao caudal médio ($= \frac{100\%}{24} = 4,1\% \%$ do caudal diário).
- 12) O que é a influência das perdas de água ao padrão de consumo ?
- 13) Tenta calcular a percentagem total tracejada $////$ e o mesmo para $////$.

5. CAPACIDADES E DIMENSIONAMENTO: INSTALAÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

5.1 DIRECÇÕES GERAIS.

As obras de produção de água (captação, adução e tratamento) podem ser dimensionadas para funcionar com vazão uniforme correspondente aos consumos diários.

Por isso é importante saber :

- a) o valor do consumo horário máximo previsto para um dia. Usam-se os dias de maior solicitação, que teremos no futuro (!), tomando certos períodos de tempo.
- b) a distribuição de água durante o dia, portanto o padrão de consumo. Veja os parágrafos precedentes.

Estes dados são os mais importantes. Porém, mais dados são necessários, como indicado a seguir.

Para determinar o consumo máximo no futuro, é importante conhecer-se também o coeficiente de dia de maior consumo.

Além disso, é preciso saber :

- 5.1.1 O número de ligações a curto prazo e o desenvolvimento futuro dentro de 5 anos, 10 anos, 15 e 20 anos.

Isto tem que ser um cálculo aproximado. Quer dizer, quanto mais anos menos exacto será, o que não constitui um problema, porque sempre é possível corrigir posteriormente, na altura adequada.

Para tal, seria necessário que a empresa fizesse mapas sobre todos os dados da produção e distribuição !

- 5.1.2 O desenvolvimento do tipo do consumo - ou carácter do consumo de água na cidade ou na região.

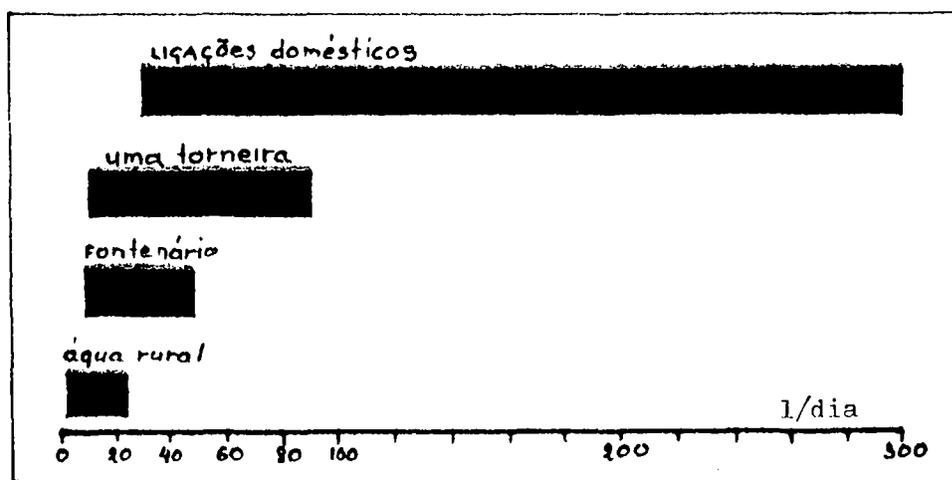
Podemos distinguir :

- | | | |
|---|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> a) consumo doméstico b) comercial c) industrial d) público | } | <p>a literatura, livros de estudo e experiência <u>(mais importante)</u> mostram os dados que precisamos de calcular, veja para. 3.4</p> |
|---|---|--|

A soma de todas as parcelas de consumo leva à média total, geralmente designada por:

"consumo per capita" ou "quota per capita"

Por exemplo, se dividirmos o consumo total duma cidade pelo número de habitantes abastecidos de água, obteremos então um consumo por unidade, o consumo "per capita". Veja na figura abaixo o consumo per capita, tal como se encontra em muitas situações.



consumo per capita relativo ao tipo de abastecimento de água.

5.2 DADOS PARA RECUPERAÇÃO, REABILITAÇÃO OU SISTEMAS NOVOS.

Para actividades de reabilitação ou recuperação e normalmente para sistemas novos também é necessário:

5.2.1 Inventariação dos sistemas existentes.

5.2.2 Previsão do crescimento dos consumos na base seguinte:

A partir dos dados de recenseamento * e o desenvolvimento da "quota per capita" é possível obter uma impressão do consumo diário rapidamente.

Por exemplo!

Dado ou determinado;

a) a capitação de:

- 160 l/d por pessoa c/água em casa
- 40 l/d por pessoa, servida c/água canalizada a partir de torneira no quintal ou fontenário.

* Veja: Informação Pública do 1º recenseamento geral da população 1983.

b) a taxa de crescimento (3 ; 3,5 ; 4 ou 4,5 % p/ano). No caso de dúvida para o futuro use dois valores para investigar.

Calcule o consumo doméstico com base no número das pessoas, como indicado por recenseamento.

Este valor pode ser acrescentado por;

- + 15 % consumo público.
- + 20 % factor de ponta mensal, veja o coeficiente de maior consumo K_1 .
- + 20 % consumo industrial (o qual foi avaliado em função dos conhecimentos existentes).
- + outros consumos

É costume somar a este consumo total, por perdas na rede, 10 % e por perdas por cada 10 km. de adução, 5 %.

5.2.3 Definição dos órgãos limitante em função das necessidades acima identificadas e as capacidades também acima avaliadas.

5.2.4 A partir do último, elabora-se propostas para as obras alternativas a realizar e finalmente quantifica-se as mesmas em termos financeiros e materiais.

N.B. Para compreender bem um exemplo deste processo de identificação, vejamos o seguinte " plano quinquenal ". É muito importante manter-se estes dados actuais, o que quer dizer, deve-se fazer correcções e/ou complementos através do tempo.



EXEMPLO	PLANO QUINQUENAL	ANO 19XX
---------	------------------	----------

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DUMA CIDADE

Consumos

ANOS. CRESC.	19XX		19XX+5		19XX+10	
	PESSOAS	ÁGUA m ³	PESSOAS	ÁGUA m ³	PESSOAS	ÁGUA m ³
Consumos						
Domiciliar	11026	1764	12782	2045	21332	3413
Fontenário	31939	1277	37026	1481	49593	1984
S/Abast.	15850	-	18374	-	24611	-
DOMEST. TOTAL		2041		3526		5397
Cons. Público		456		568		809
Fact. Ponta	1,2	4197		5230		7447
Cons. Indust.						
Porto + CFM		113		120		130
INDUSTRIA		471		600		1000
CONS. TOTAL		4781		6074		8577
PERDAS						
REDS		5259		7355		9435
CONDUTA		6574		8358		11795
ETA		6903		8776		12384
CAP. TOTAL		6903		8777		12385

ANO BASE = 19XX
 POPULAÇÃO TOTAL
 TAXAS DE CRESCIMENTO: 3% e 4,5%

PERDAS
 REDE = 10% Cons. TOTAL
 CONDUTA = 5% em cada 10 Km

CAPITAÇÃO
 Domiciliar = 160 l/hab/dia
 Fontenário = 40 l/hab/dia

ETA = 5%

Consumos
 Público = 15% DOMESTICO TOTAL
 INDUSTRIAL + CONSORTES.....
 Cons. TOTAL +
 Fact. de Ponta = 1,2 : 20% Cons. Público

EXEMPLO	PLANO QUINQUENAL	ANO 19XX
---------	------------------	----------

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DUMA CIDADE
CAPACIDADE DO SISTEMA ACTUAL

1. CAPTAÇÃO

LOCAL	TIPO	BOMBA			MOTOR			ANO
		TIPO	Q = m ³ /h	H = m	R.P.M.	P. KW	TIPO	
RIO - A -	SUPERFI.	1) BL-HOZ 5 PYE	162 m ³ /h	14	2000	24 HP	LISTER RB2-	1970
		2) FRIEDRICH KOSTER-HK L 250-	1x		1800		STUJR 313-S	1982
LAGOA - B -		KSB-ETA VRA - 26	2 x 191 m ³ /h		1450	20 CV 380V 31A F=50HZ	AEG	1961

2. TRATAMENTO

LOCAL	DECANTADOR				FILTROS		PROD. QUÍMICOS
	TIPO	A = m ²	Q = m ³ /h	ANO	TIPO. A = m ²	Q = m ³ /h	
PRÓXIMO DO RIO A -	DECREMONT.	91 m ²	208 m ³ /h 23 m ³ /m ²	1961	45 m ² /m ³ - 5 m ³ /m ² /h 225 m ³ /h FILTROS ABERTOS DE AREIA. 1961		SULFATO ALUMINICAL CLORO CÁSSICO AMONÍAC
					- D APARELHO DE CAL BIF OMEGA - MODELO - UF3 - SERIE SA 11 USA.		

EXEMPLO	PLANO QUINQUENAL	ANO 19XX
---------	------------------	----------

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DUMA CIDADE
 CAPACIDADE DO SISTEMA ACTUAL

3. ELEVACÃO

LOCAL	BOMBA			MOTOR			OBS.	ANO
	TIPO	Q = m ³ /h	H = m	TIPO	R.P.M	P = Kw		
1. PRÓXIMO DO RIO A	KSB-ETA-125-HOZ. 40K	2x191m ³ /h	36m	AEG HOZ. A 308/4R	1430	41CV 30A 380V 50HZ		1961
2. CIDADE	KSB-ETA-150-1445RPA	2x278	30	AEG-HOZ. A/4 R308	1465	380ΔY/50HZ 52CV 30KV 126/73A		

4. ADUÇÃO

LOCAL	MATERIAL	Ø = mm	RUODOS EXIST. Ped.	Q = m ³ /h	ANO
PRÓXIMO DO RIO A 1)	GRAVIDADE VALA ABERTA		VALA SEM PROTECCÃO 800m		1974
PRÓXIMO DO RIO A 2) CIDADE	FIBROCIMENTO Ø 350mm 51KM	Ø 350mm	Ø 14mm colebrook-white	173,9 m ³ /h v = 0,5 m/s	1961

EXEMPLO	PLANO QUINQUENAL	ANO 1961
---------	------------------	----------

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DUMA CIDADE

CAPACIDADE DO SISTEMA ACTUAL

5. RESERVATÓRIOS

LOCAL	TIPO	FORMA	Ø = m	h = m	VOLUME	ANO
1 } PRÓXIMO DO RIO A	ENTERRADO	CIRCULAR	10	3	200 m ³	1961
	ELEVADO	CIRCULAR	-	36,6	500 m ³	1961
3 } CIDADE	APOIADOS	CIRCULARES	-	4	2 x 750 m ³	1961
	ELEVADO	CIRCULAR	9,6 m sapate	32,75	300 m ³	1961

CAPAC. MÁXIMA

- CAPTAÇÃO = 4500 m³ / DIA
- ELVAÇÃO = 4500 m³ / DIA
- ADUÇÃO = 4800 m³ / DIA
- TRATAMENTO = 5000 m³ / DIA
- RESERVAT = 2500 m³

OBSERVAÇÕES :

EXEMPLO	PLANO QUINQUENAL		ANO 19XX	
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA - UMA CIDADE				
RESERVA				
	1980 m ³ /d	1985 m ³ /d	1990 m ³ /d	1990 m ³ /d
CONSUMO TOTAL NECESS.				12,385
REGULARIZAÇÃO				3,716
AVERSIAS E INTERRUPT. ELECTR.				2,477
AVERSIAS NA ADUÇÃO				4,289
RESERVA TOTAL NECESS.				10,482

Regularização: 30% do Cons. Total necessária

Aversias e interrupções eléctricas: 20% Consumo Total nec.

Aversias na adução: 1% por Km

Observação: A reserva total necessária é 10.482 m³
 Já existe a reserva de 2.500 m³
 Logo será necessário acrescentar 7.982 m³

EXEMPLO

PLANO QUINQUENAL

ANO 19XX

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DUMA CIDADE

OBRAS A REALIZAR

CAPTAÇÃO:

1 - Aumentar a capacidade de Bombagem
 • novos grupos $250 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H = 20 \text{ m}$

ELEVÇÃO:

- 1 - Aumentar a capacidade de Bombagem PRÓXIMO DO RIO A
 • novos grupos $250 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H = 36 \text{ m}$
- 2 - Aumentar a capacidade de Bombagem CIDADE
 • novos grupos $250 \text{ m}^3/\text{h}$
 $H = 40 \text{ m}$

TREATAMENTO: Ampliação da Estação de Tratamento em mais $1000 \text{ m}^3/\text{d}$.

TRANSPORTE (Adução)

1 - Aumentar a capacidade de Adução duplicando a conduto num troço de 31 km de $\phi 350$ a 400 mm .

RESERVA

1 - Aumentar a capacidade de reserva para $+ 8000 \text{ m}^3 = 4 \times 2000 \text{ m}^3$

(Pesquisar novas fontes de abastecimento para fornecer $6000 \text{ m}^3/\text{dia}$, do seguinte modo:

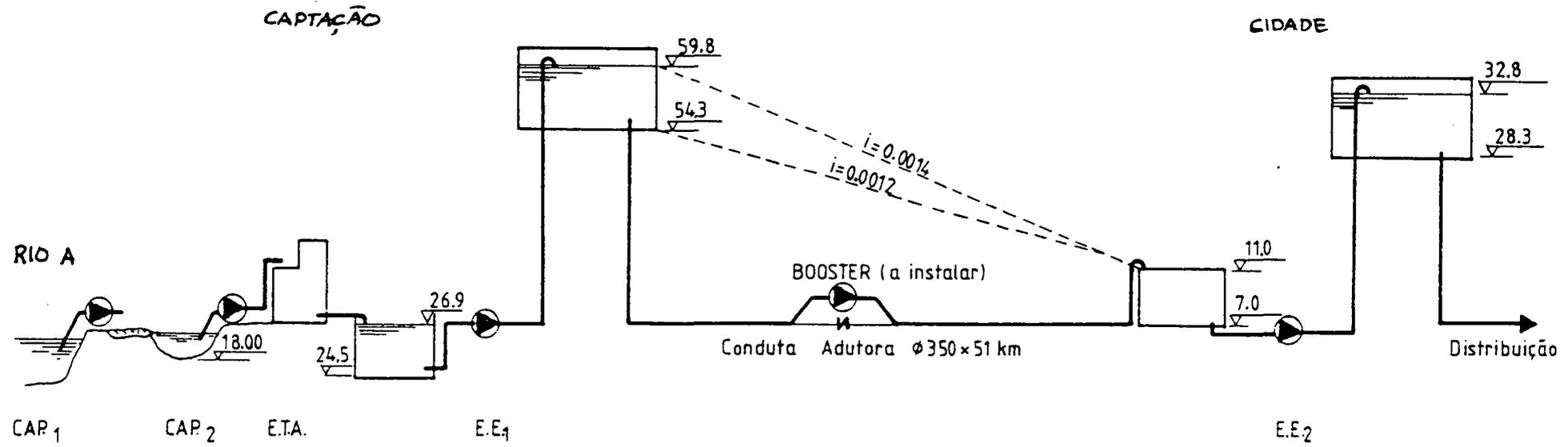
- a) Procura de águas subterrâneas na região Licuani - NiCADALO.
- b) Procura de águas superficiais na região de Licuani NiCADALO.
- c) Incentivação da construção de poços - Baterias de Poços - pouco profundos, para abastecimento às zonas periféricas da cidade de Quelimane e para pequenas indústrias.

DESCRIÇÃO

EXEMPLO	Plano Quinquenal		
INVESTIMENTOS			
<u>Abast. Água duma Cidade.</u>			
		VALOR TOTAL Contos	Componente em divisas
1. Adueção	cm ^{*)}	103 000	62 000
2. Elevação PROX. DO RIO A	cm	4 200	2 520
	eq	1 800	1 620
3. Elevação GTA	cm	4 200	2 520
	eq	1 800	1 620
4. Elevação CIDADE	cm	4 200	2 520
	eq	1 800	1 620
5. Reservatórios	cm	52 000	31 200
6. E.P. Pequeno de 600 m ³ /dia	EP	3 000	1 800
	TOTAL	176 000	107 500
	cm	167 600	100 960
	eq	5 400	4 900
	EP	3 000	1 800
<u>Consumo de:</u>			
	cimento	587 ton	
	ferro	148 ton	
*) cm = construção e montagem			
eq = equipamento			

ESQUEMA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DUMA CIDADE

Esquema Altimétrico



5.3 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PARA UMA CIDADE.

A capacidade dum depósito é calculada na base dos dados de variação horária do consumo (veja para. 3, e o coeficiente horário máximo K_2).

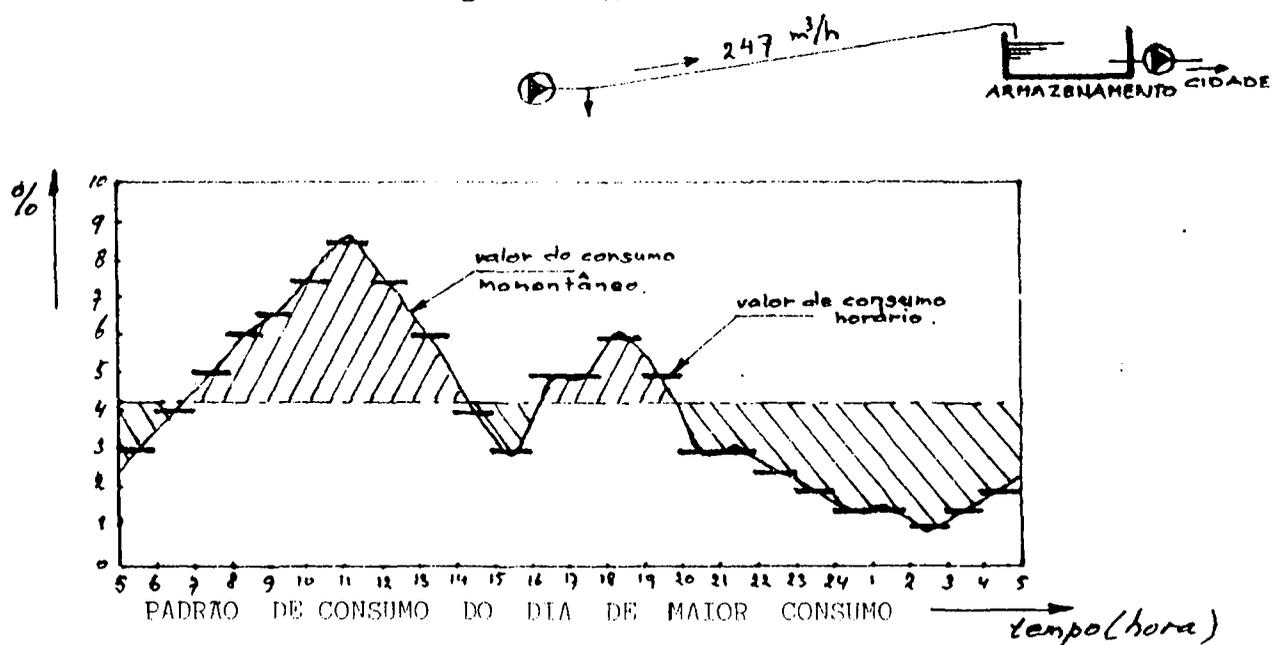
Isto é possível:

- através de um quadro tabelar ou
- por meio de gráficos.

Para explicar ambas as maneiras aproveitam-se os dados do pequeno sistema de abastecimento de água dos parágrafos 3 e 4....

Então a adução é $247 \text{ m}^3/\text{h}$, quer dizer uma produção de $\pm 5929 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Suponha que isto é o consumo do dia de maior consumo num ano com um padrão de consumo como indica a seguinte figura:



No caso dum sistema totalmente novo, é possível avaliar o padrão de consumo, com base numa investigação e na experiência.

5.3 1 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO ARMAZENAMENTO ATRAVÉS DE UM QUADRO TABELAR.

Para o sistema existente é preciso saber o consumo de cada hora como indicado no quadro seguinte para um dia de maior consumo.

QUADRO TABELAR

Sem muito perdas de água ! Adução $247 \times 24 = \pm 5929 \text{ m}^3/\text{dia}$.

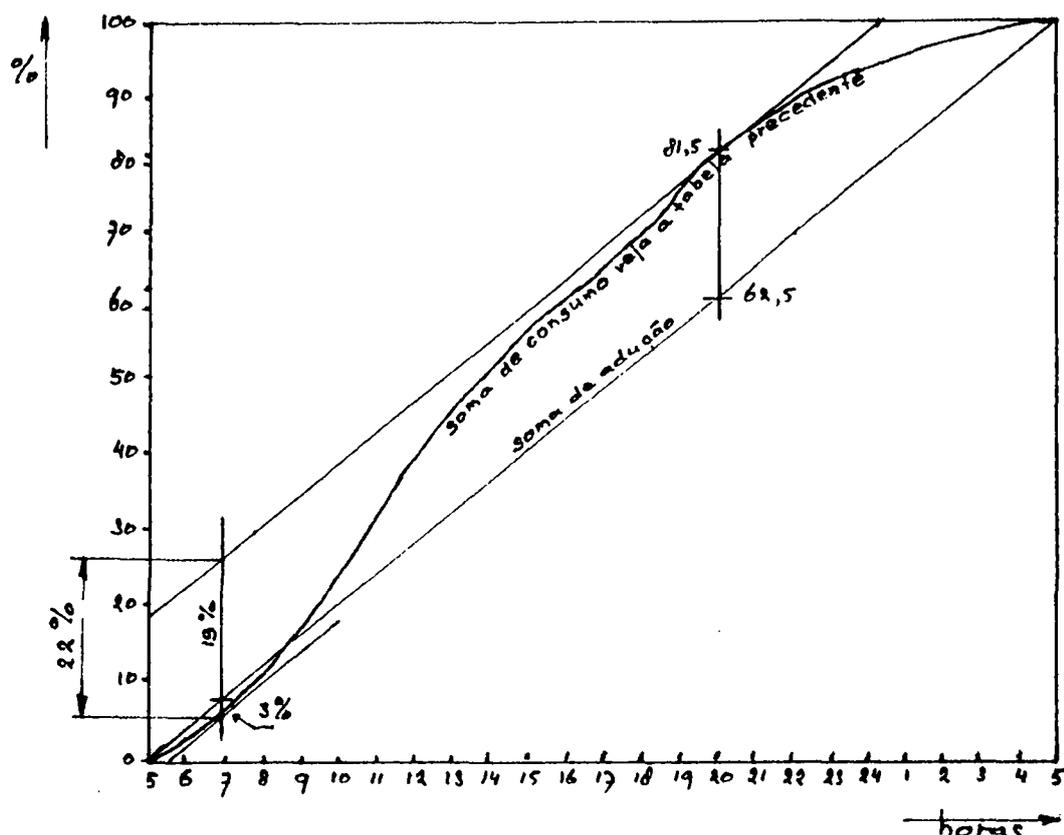
Hora do dia	Consumo na rede		Consumo em percentagem acumulada	Vol. aduzido no depósito! Caudal diário/24 em %	Diferenças [%]		
	m ³ /h	%			+	-	
5-6	178	3	3	4,17	1,17		
6-7	237	4	7	PRODUÇÃO CONSTANTE	0,17		
7-8	296	5	12			0,83	
8-9	356	6	18			1,83	
9-10	385	6,5	24,5			2,33	
10-11	445	7,5	32			3,33	
11-12	504	8,5	40,5			4,33	
12-13	445	7,5	48			3,33	
13-14	356	6	54			1,83	
14-15	237	4	58			0,17	
15-16	178	3	61			1,17	
16-17	296	5	66				0,83
17-18	296	5	71				0,83
18-19	356	6	77				1,83
19-20	296	5	82				0,83
20-21	178	3	85			1,17	
21-22	178	3	88			1,17	
22-23	148	2,5	90,5			1,67	
23-24	119	2	92,5			2,17	
0-1	89	1,5	94			2,67	
1-2	89	1,5	95,5			2,67	
2-3	59	1	96,5		3,17		
3-4	89	1,5	98		2,67		
4-5	119	2	100		2,17		
	5929	-100 %	-	+100 %	22 %	22 %	

Verifica-se, neste caso, a necessidade de uma reserva de + 22 % do consumo diário (veja para. 3.4 o valor correspondente à quantidade de água flutuante).

N.B. Sempre que fôr desconhecida a variação de consumo (vazões horárias), podem-se utilizar dados de uma curva teórica de variação.

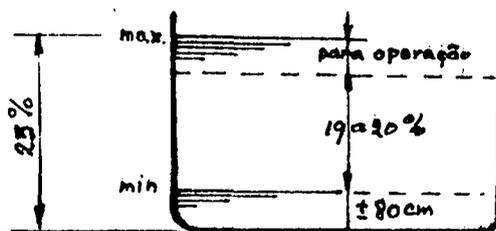
5.3.2 GRÁFICO DA DETERMINAÇÃO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA.

— Se a adução fôr realizada durante 24 horas e as perdas de água forem normais (menos 10 %) é possível determinar o volume de armazenamento, tal como o indicado na seguinte figura:



Traçando uma linha paralela à linha da soma de adução, mas tangente à linha (curva) da soma de consumo, vamos obter também uma necessidade de reserva de $\pm 22\%$ do consumo diário.

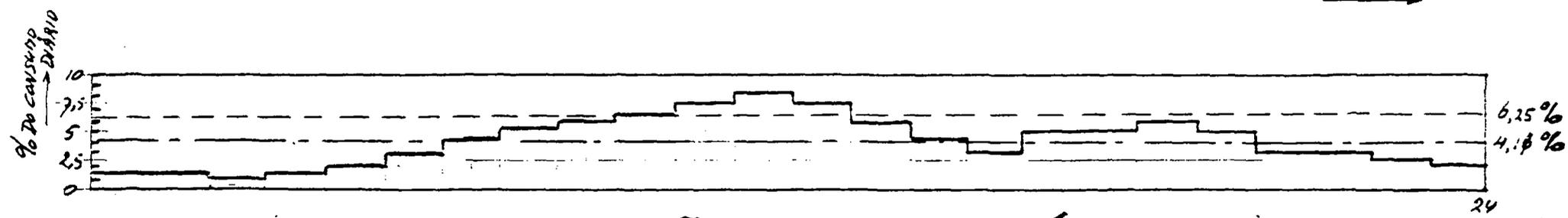
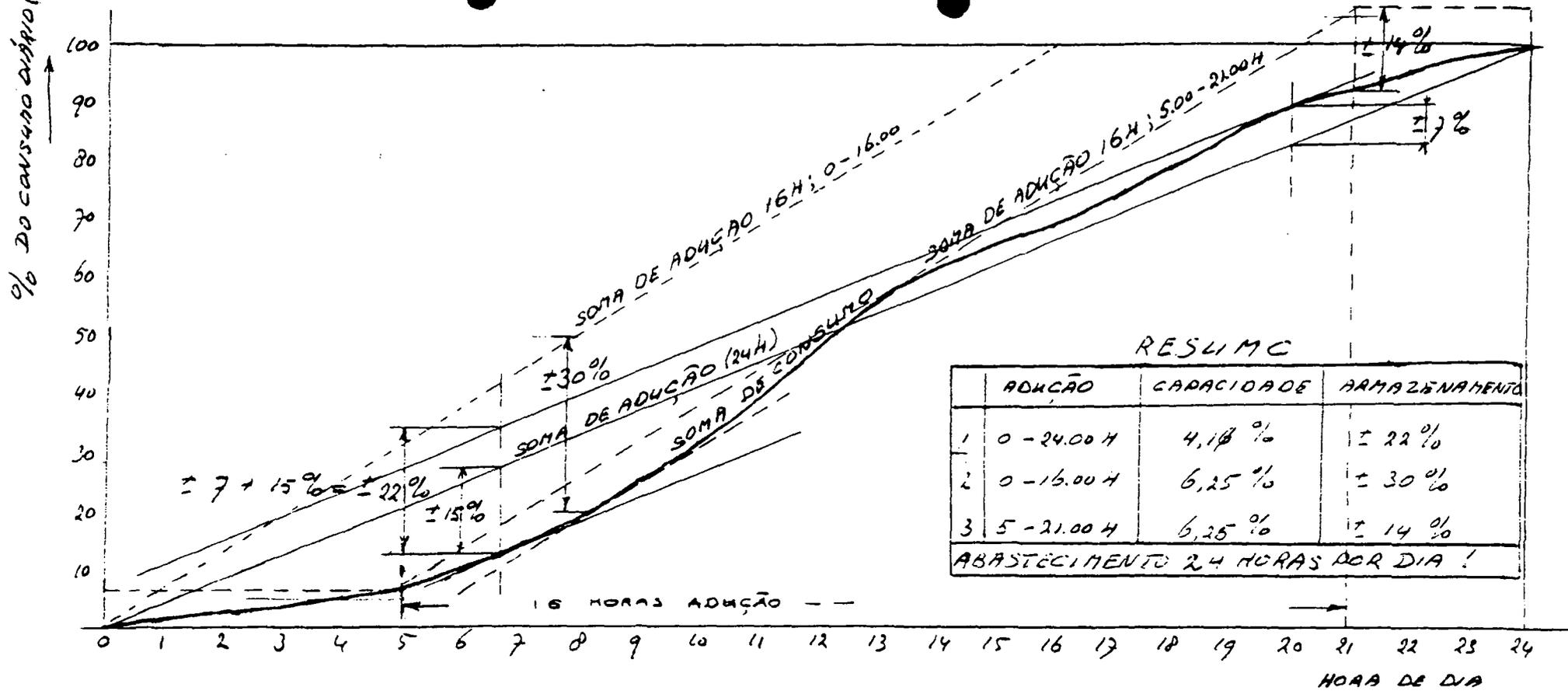
Por não ser possível utilizar toda a água armazenada, é melhor calcular com a percentagem de $\underline{25\%}$.



veja também para.3.4, Figura 4.

Uma outra situação levanta-se quando a adução é proporcionada, mas somente durante 16 horas em vez de 24 horas. A próxima figura mostra como se resolve este problema.

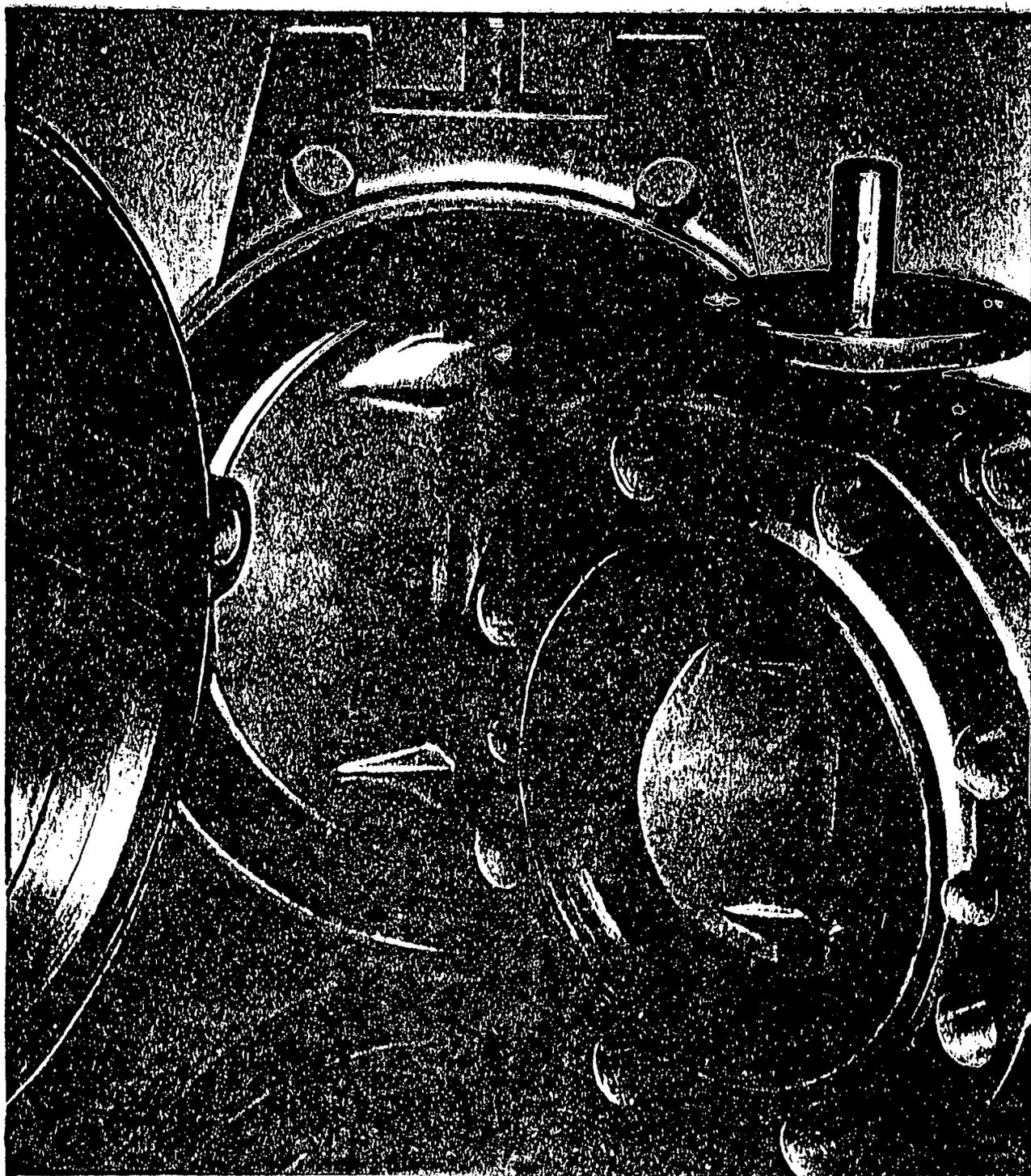
GRÁFICO DA UTILIZAÇÃO DE ...
 24 HORAS (PERDAS DE ÁGUA MENOS QUE 10% DE CONSUMO) É O MESMO DENTRO 16 HORAS



O PADRÃO DE CONSUMO DIÁRIO

Quando a uma adução durante um período de menos de 24 horas, por exemplo 16 horas, verifica-se a diferença no armazenamento de água necessária quando a linha da soma de adução for desenhada a partir do ponto 0 horas, ou paralela a ela pelo ponto de tangência como indicado.

N.B. Também é possível verificar-se quando a vazão (a produção) durante a noite é menor que durante o dia, por exemplo a metade. Verifica-se neste caso que a reserva pode ser menor que 22 % do consumo diário!



VALVULA DE BORBOLETA

6. NOÇÕES FUNDAMENTAIS DE HIDRAULICA.

Recordamos inicialmente algumas noções e considerações da hidrostática e hidrodinâmica, úteis à compreensão do estudo da hidráulica dos sistemas de abastecimento de água. É também preciso saber algumas coisas importantes sobre o sistema internacional de unidades.

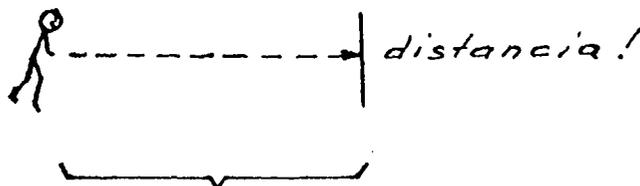
6.1 O "SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)";

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

UNIDADES BASICAS !

metro	(símbolo : m)	----> distância ----
segundo	(" : s)	---- tempo ----
kilograma	(" : kg)	---- massa ----

antigamente "peso"!



tempo !

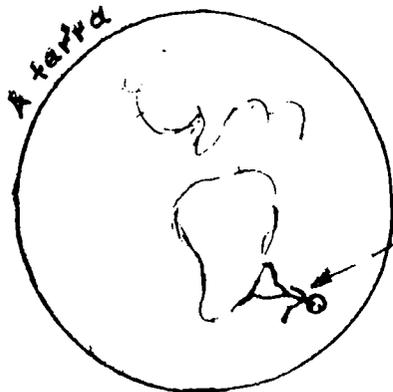
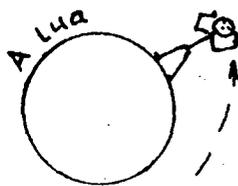


Peso é uma força que é causada por forças de gravidade.

Por isso peso é uma força ! Não é massa ; isto é uma característica duma quantidade de matéria. Veja a figura à esquerda.

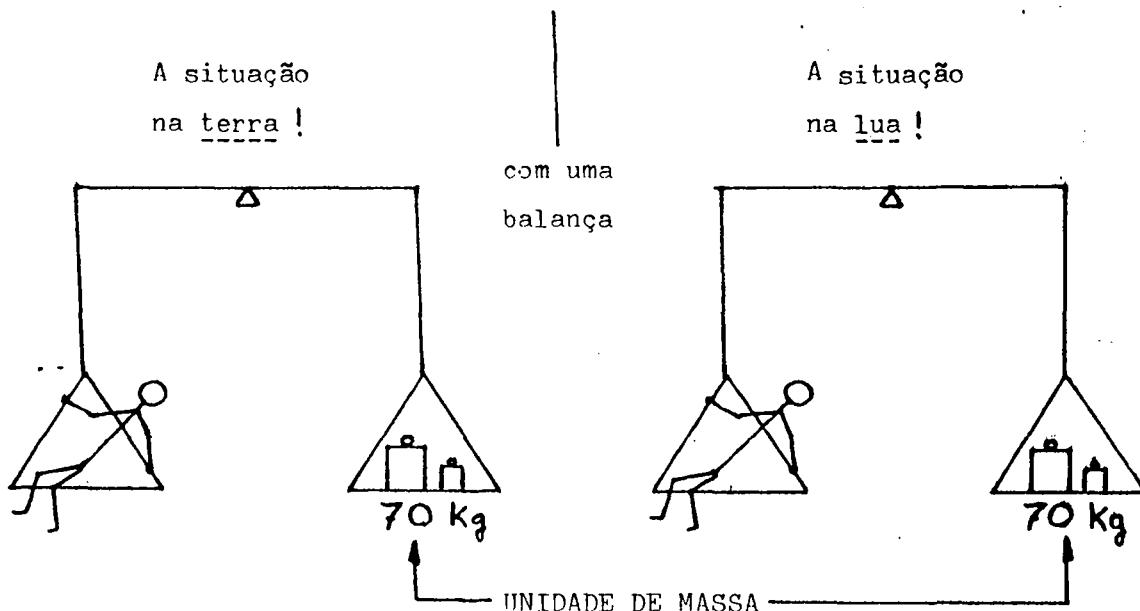


massa ?



A "quantidade de matéria", a massa, é a mesma para uma pessoa que está na terra e depois na lua, mas o seu peso é diferente num local e no outro.

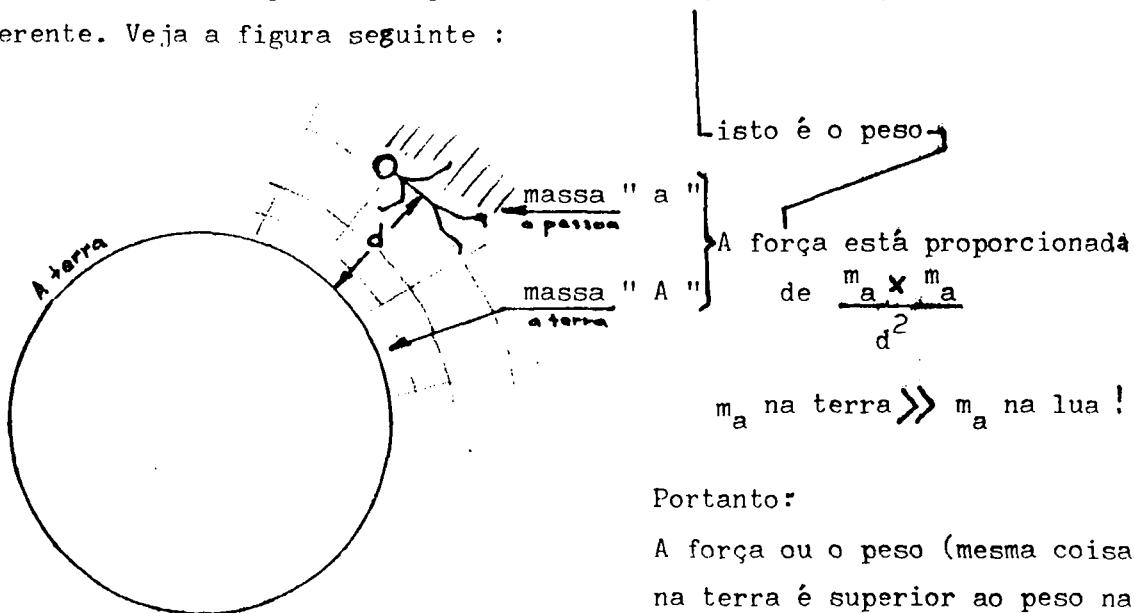
Por exemplo:



A mesma quantidade de matéria !

Uma comparação da massa.

A " massa " é a mesma para esta pessoa, mas a força de atracção é diferente. Veja a figura seguinte :



Portanto:

A força ou o peso (mesma coisa) na terra é superior ao peso na lua. A diferença é dada por um factor 6.

No tempo moderno a ciência tem problemas com estas diferenças e não quer trabalhar com " peso ", mas com " massa ". Por isso, e também para tornar possível trabalhar internacionalmente com as mesmas unidades tinha que ser modificado.

Então adoptou-se o regime SI, o sistema internacional de unidades com as unidades básicos já mencionadas acima.

Isto é um sistema de unidades independente (!) da gravidade ("g", a aceleração da gravidade é uma função da latitude e altitude).

A relação é muito importante de lembrar :

ENERGIA	→	J	=	Nm	=	$\frac{Kg \cdot m^2}{seg.^2}$	=	$W \cdot seg.$	=	$VA \cdot seg.$	=	VC
		joule		newton	metro			watt	segundo	voltagem	volt	coulomb
POTENCIA	→	$Energia \text{ por unidade de tempo} = J/seg. = W$										

Mas para compreender este sistema novo, vamos ver uma outra faceta da massa, que é a qualidade para ser atraído num campo da força de gravidade.....

Esta outra faceta da massa é a sua inércia !

A massa dum corpo é uma característica da quantidade de matéria que esse corpo contém, isto é, da inércia que o corpo oferece ao movimento. E a base de lei de Newton vale:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad \text{ou, com "m" = constante ;}$$

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad \text{ou, com "v" = uniforme ;}$$

Um tal bem conhecido → $F = m \frac{v}{t} = ma$

força [N]	=	massa [Kg]	×	aceleração [m/s ²]
--------------	---	---------------	---	--------------------------------

|| Lembre-se o peso do corpo representa a acção (força) que é exercida pela gravidade.

Entre o peso "P" e a massa "m" dum corpo existe:- a base da lei de Newton, veja acima ;

$$P = mg \quad \textcircled{1}$$

[N]	[Kg]	×	aceleração da gravidade
			$g \rightarrow [N/Kg] = [m/s^2]$

Outrora usava-se também o peso específico (a densidade relativa) ; símbolo γ [Kg/m³]

Isto é o peso por unidade de volume ; portanto $\gamma = \frac{P}{V}$ [Kg/m³] ou

com a equação $\textcircled{1}$;

$$\gamma = \frac{mg}{V} \quad \textcircled{2}$$

Agora tem que se usar a densidade absoluta ;

símbolo ρ (rho)

Isto é a massa por unidade de volume ; portanto

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad \textcircled{3}$$

E

① + ③ dá ;

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g$$

aceleração da gravidade [N/kg ou m/s²]
densidade absoluta [kg/m³]
peso específico ou densidade relativa [kgf/m³]

Portanto :

O peso específico de água γ_w , por exemplo, é obtido pela multiplicação da densidade absoluta e a aceleração devida a gravidade :

$$\begin{aligned} \gamma_w &= \rho_w g \\ &\approx \underline{9810 \text{ kg/m}^3} \text{ em geral!} \end{aligned}$$

Densidade ρ :

A densidade de água está relacionada com a temperatura, veja para. 7.1.1 . a água tem a sua maior densidade, 1000 kg./m³, a 4°C.

As outras temperaturas a água é mais leve.

Além disso a densidade depende da quantidade dos componentes dissolvidos.

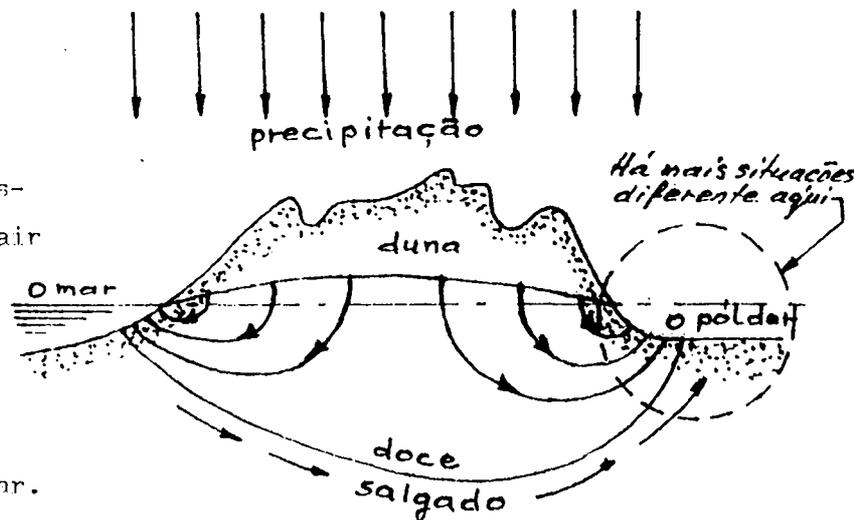
A água salobra, por exemplo, é mais pesada do que a água doce.

Existem situações em que

o lençol de água, veja a figura a direita, flutua em cima da água salgada.

Quando se tem um furo nesta área, não se pode extrair água doce em quantidade elevada. Senão há possibilidade de abstrair água salgado.

Sempre cuidado perto do mar.

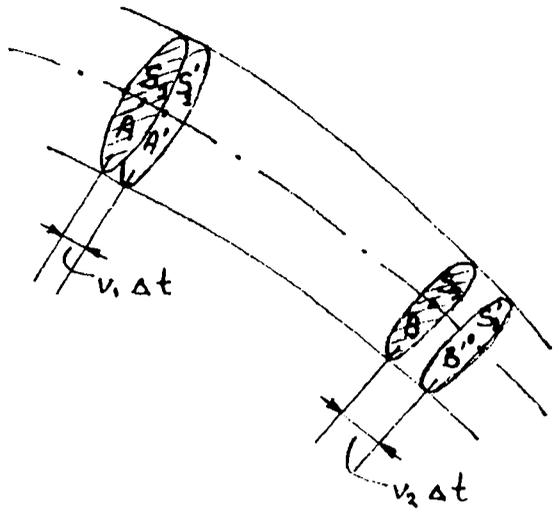


Princípio do lençol de água doce flutua em cima da água salgada
veja também o manual ;

"gestão e operação de poços tubulares profundos com bombas submersíveis"

6.2 EQUAÇÃO DE CONTINUIDADE - DESCARGAS.

Se estendermos o que acabamos de ver para o canal ou veia líquida representada na figura em baixo;



- Chamemos de
- ρ = a densidade absoluta do líquido (constante).
 - v_1 = a velocidade média na secção S_1 no ponto A.
 - v_2 = a velocidade média na secção S_2 no ponto B.

diremos que a massa de líquido que num dado tempo Δt , atravessa a secção S_1 , é a mesma que durante esse tempo atravessa a secção S_2 , porque, sendo o líquido incompressível, não pode haver concentração ou diluição do conjunto das moléculas e nem há acréscimo ou subtração de matéria à corrente (o sistema é conservativo).

Temos $\Delta m' = \rho S_1 v_1 \Delta t = \rho S_2 v_2 \Delta t$ sendo $\Delta m'$ a massa líquida escoada através de cada secção. Como Δt é o mesmo nos dois termos e as secções podem ser quaisquer, desde que normais à direcção da velocidade, podemos escrever !

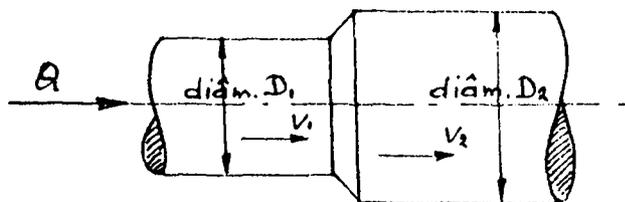
massa escoada na unidade de tempo através de qualquer secção normal do canal; $m = \rho S v = \text{constante}$ | por unidade de tempo

E, com $\rho = \text{constante}$, também ; $\frac{m}{\rho} = V (\text{volume}) = S v = \text{constante}$ | por unidade de tempo.

O volume " V " por unidade de tempo é a vazão ou débito Q.

Então : $Q = S v = \text{constante}$ que é chamada : A equação de continuidade.

Na prática :



$Q = A \text{ vazão.}$

$v = A \text{ velocidade de água.}$

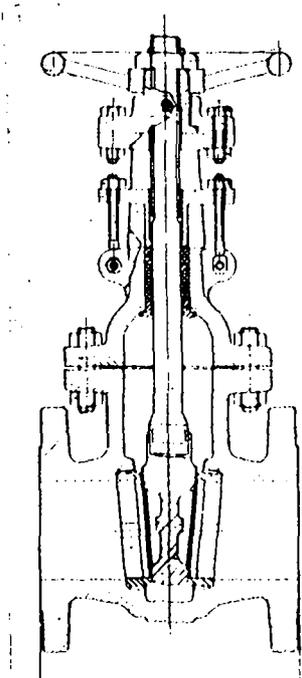
Então:

$$Q = \frac{\pi}{4} D_1^2 \cdot v_1 = \frac{\pi}{4} D_2^2 \cdot v_2$$

$$\text{ou } \underline{D_1^2 \cdot v_1 = D_2^2 \cdot v_2}$$

$$\text{ou } \underline{v_2 = v_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2}$$

**VÁLVULA
CORREDICA OU CUNHA
DE AÇO**



6.3 PRESSÃO E CORRENTE DE ÁGUA.

6.3.1 "Pressão" é uma outra coisa diferente de "Força" [N, newton]...!
 Define-se a pressão como uma força por unidade de superfície;
 isso é ; N/m^2 [Pa, pascal] de acordo com o regime SI.

Outrora, as unidades de pressão usuais eram, como outras unidades também, muitas. Por exemplo !

$$\begin{aligned} & \text{kgf/cm}^2 \\ & \text{psi [lb/sq.in., lbf/m}^2] \approx 6,89476 \times 10^3 \text{ Pa} \quad (= 6,89476 \text{ kPa}) \\ & \text{dyn./cm}^2 \\ & \text{atmosfera normal [atm]} = \text{pressão barométrica [= } P_b] \\ & \boxed{\text{Pa, kPa}} \quad \text{bar, milibar} \quad \frac{1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}}{} \\ & \boxed{\text{m.c.a [metros de coluna de água]}} \quad \frac{1 \text{ m.c.a.} = 9,8 \text{ kPa}}{} \\ & \text{cm Hg, mm Hg} \quad [1 \text{ mm de Hg} = 1 \text{ torr (Torricelli)} \approx 133,322 \text{ Pa}] \\ & \text{m H}_2\text{O, cm H}_2\text{O} \\ & \text{at [atmosfera técnica]}^{**} \end{aligned}$$

Por isso foi necessário para uniformizar, padronizar !

O novo sistema usa para " pressão " a unidade Pa = pascal ;

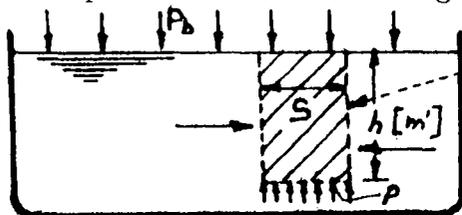
k Pa = 1000 Pa.

Às vezes encontra-se "bar" e "milibar" (1 milibar = 100 Pa).

Muitas vezes usa-se ainda ; mca = metros de coluna de água.

6.3.2

(a) Suponha uma bacia com água em repouso



Vamos ver mais de perto uma coluna de água arbitrária....

Esta coluna está em equilíbrio, não é ?

Senão, estaria em movimento. Mas como

devem comportar-se as forças na direcção horizontal e vertical ?

A pressão à esquerda tem um mesmo valor que a pressão à direita e o mesmo tipo.

Mais interessante é a direcção vertical!

* $1 \text{ lbf} = \text{pound force} \approx 4,4482 \text{ N}$ ($1 \text{ lbf/ft}^2 \approx 47,8803 \text{ Pa}$)

** $1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ m H}_2\text{O} = 9 \cdot 10^{-1} \text{ bar} = 0,981 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $\approx 0,9678 \text{ atm. (veja também o par. 6.41).$

Na direcção vertical há mais forças, a saber;

- a pressão barométrica (P_b)
- a força de gravidade = o peso de coluna.
- a pressão de água para cima, " p ".

Então :

força \downarrow Com a superfície " s ", a força devido à pressão barométrica é igual a; $P_b \cdot s$

força \downarrow O volume deste coluna é igual a; $h \cdot s$. A sua massa é igual a; $\rho h s$. Portanto o peso é igual a; $\rho g h s$

força \uparrow A força devido à pressão de água " p " para cima é igual a; $p \cdot s$

Estas três forças têm que estar em equilíbrio, portanto :

$$P_b s + \rho g h s = p s$$

Ou $\rho g h = p - P_b = P_r$ } veja para 6.5

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{pressão absoluta}} = \underbrace{\hspace{5em}}_{\text{pressão barométrica}} + \underbrace{\hspace{5em}}_{\text{chama-se pressão relativa}}$

Portanto : $h = \frac{P_r}{\rho g}$ [metros) coluna de água = m.c.a.]

Por que nós trabalhamos sempre com a pressão relativa

(relativo a pressão barométrica) muitas vezes chamada simplesmente " pressão ". O que não é problema desde que saibamos realmente que quer dizer pressão relativa.

Então !

$$h = \frac{P}{\rho g} \quad [m.c.a.]$$

Se escrevermos esta fórmula em dimensões de regime S.I. virá:

$$h = \left[\frac{N/m^2}{kg/m^3 \cdot N/kg} \right] = [m']$$

unidade de comprimento!

Para compreender bem !

Portanto uma pressão é equivalente a um comprimento e pode ser exprimida assim !

Este comprimento é denominado :

Altura representativa de pressão, ou
Altura de pressão estática.

Definição :

Altura representativa de pressão representa a altura de uma coluna líquida, de peso específico ρg , suposta em repouso e que exerce sobre sua base uma pressão unitária " p " não estando sua extremidade superior submetida a pressão alguma.

(b) Em outras palavras podemos dizer :

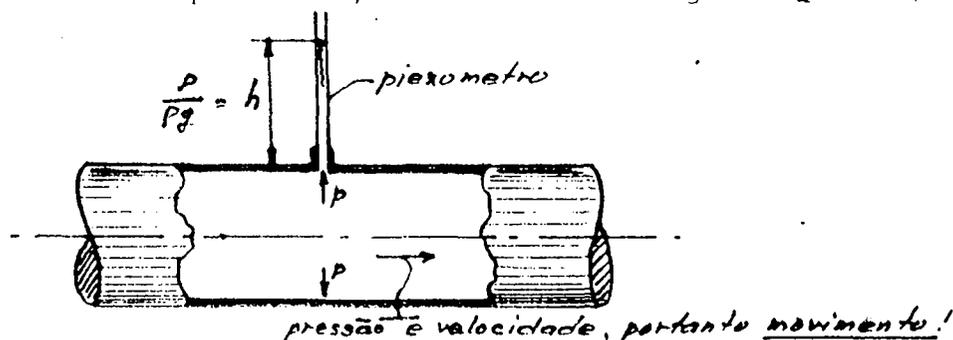
Um elemento de líquido, de peso específico ρg , quando submetido à pressão p , pode elevar-se a um cota $\frac{p}{\rho g}$ sob a acção dessa pressão relativa.

Quando submetido..., o que quer dizer a pressão representa também uma energia estática. Isto, pelo facto de que não há movimento na direcção de pressão relativa como foi considerado.

Por isso esta altura representativa de pressão chama-se também :

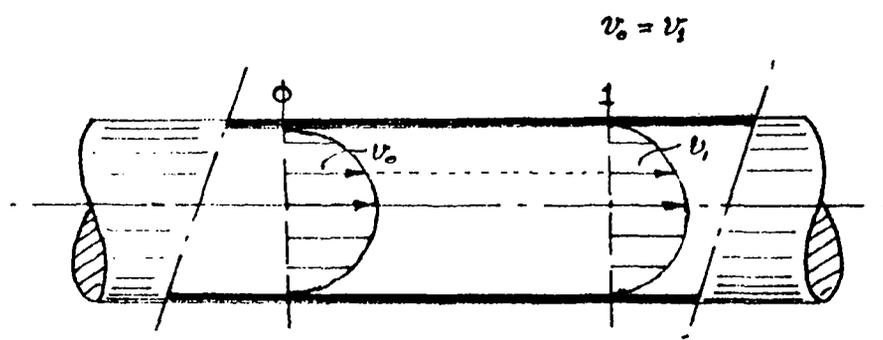
Energia específica¹⁾ de pressão, ou
Potencial de pressão.

Por exemplo, quando medimos a pressão dentro dum regime uniforme²⁾ (uma conduta) com um piezometro, como indicado na figura seguinte ;

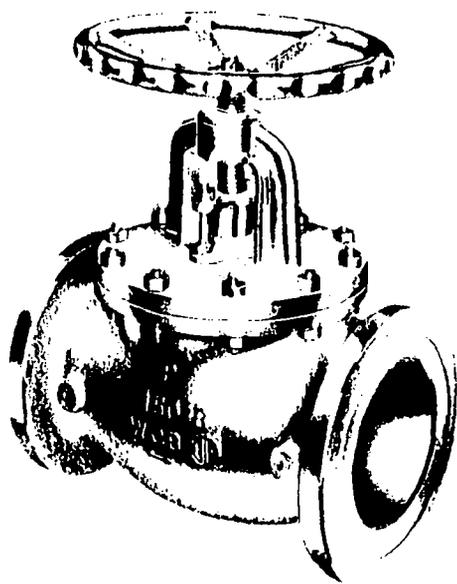


É claro, que a coluna de líquido dentro do piezometro está em repouso e representa a pressão p , enquanto o líquido dentro da conduta está em movimento (mas na outra direcção!)

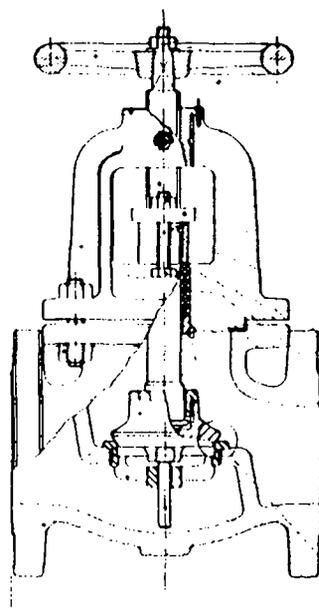
- 1) A energia ou trabalho, W , define-se em mecânica como o produto de uma força por deslocamento $[J = Nm]$. Nos problemas de hidráulica a energia refere-se, em geral, à unidade de peso (força) escoado, chamando-se por isso energia específica, a qual tem, conseqüentemente, as dimensões de um comprimento.
- 2) O regime uniforme é um regime em que as velocidades são iguais em todos os pontos de uma mesma trajetória, como o transporte de líquido através duma conduta de mesmo corte.



Escoamento em regime; "permanente e uniforme!"



VÁLVULA GLOBO



6.4 PRESSÃO BAROMÉTRICA.

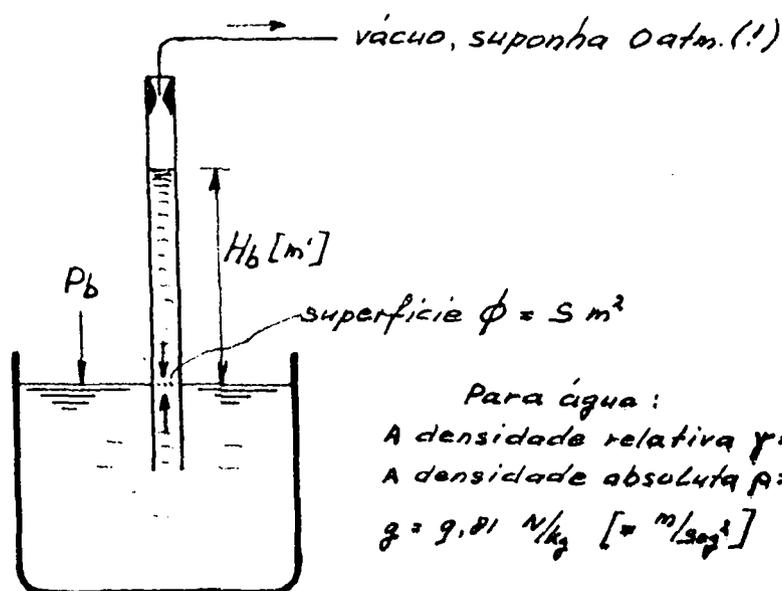
6.4.1 Definição.

A superfície de um líquido a uma temperatura de 15°C , sujeita à pressão atmosférica, diz-se submetida a 1 atmosfera (normal).

Se consideramos a pressão atmosférica ao nível médio do mar, essa pressão é :

- no novo sistema $10,325 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
- antigamente $1,033 \text{ kg/cm}^2$

6.4.2 Veja a figura :



A força devido a gravidade (peso) :

$$\underbrace{S \times H_b}_{\text{volume}} \times \underbrace{\rho \times g}_{\text{massa}} \approx S H_b 9810 \text{ newton} \quad (1)$$

força (peso) [newton]

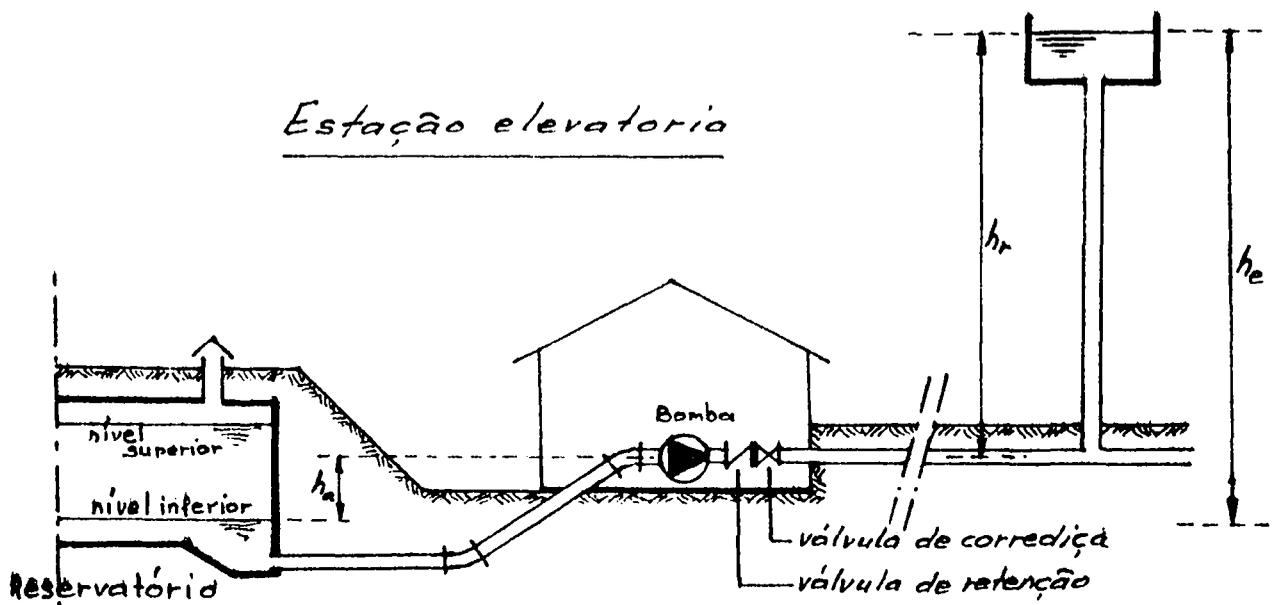
A força devido a pressão barométrica :

$$\underbrace{10,325 \cdot 10^3}_{\text{Pa} = \text{N/m}^2} \times S \text{ m}^2 = 10,325 \cdot 10^3 S \text{ newton} \quad (2)$$

Equilíbrio : $(1) = (2)$; $S H_b 9810 \text{ newton} = 10,325 \cdot 10^3 S \text{ newton}$
 $\therefore \underline{\underline{H_b \approx 10,328 \text{ m}}}$

Por isso : a pressão barométrica é igual
à pressão de mais ou menos 10 m.c.a.(= Hb)
Isto é importante saber!

5.4.3 Por exemplo quando instalamos uma bomba deve-se levar em conta
estes 10 m.c.a. Veja a figura :



A altura estática de recalque, representado por " h_r " é a diferença de cotas entre os níveis onde o líquido é abandonado ao sair pelo tubo de recalque no meio ambiente (ou outro) ou neste caso o nível de água no depósito superior (depósito elevatório) e o nível do centro da bomba.

A altura estática de aspiração, representada por " h_a ", é a diferença de cotas entre o nível do centro da bomba e o da superfície livre (nível inferior!) do depósito de captação.

A altura estática de elevação é claro, representado por " h_e ", é a diferença de cotas entre os níveis em que o líquido é abandonado no meio ambiente (ou outro), ao sair pelo tubo de recalque ou neste caso o nível máximo de água no depósito elevado e o nível inferior no depósito de captação. Esta grandeza, também denominada altura topográfica ou altura geométrica, tem por valor:

$$h_e = h_a + h_r$$

Estas grandezas são todas alturas de níveis. Para as alturas dinâmicas, as quais indicam as alturas de níveis + as perdas por atrito etc., veja o para. 8.2

Para atingir a pressão total, que quer dizer a altura de elevação aumentada com todas as perdas de energia, precisamos muitas vezes de mais um estágio ---- o que não é um problemá; pelo menos quando fôr bem escolhido.

Mas a altura estática de aspiração não pode ser nunca superior a 10 m.c.a. (= H_b). Isto por que a força que leva a água à bomba é a pressão barométrica (P_b).

Na prática, devido às perdas de carga nos tubos, curvas e outras apêndices, e à energia cinética (= a velocidade à entrada da bomba), este valor tem que ser limitado até 5.87 mca. Aliás a bomba tem que ser apropriada para tal. Nem todas as bombas são apropriadas para a sucção da água.

Importante !

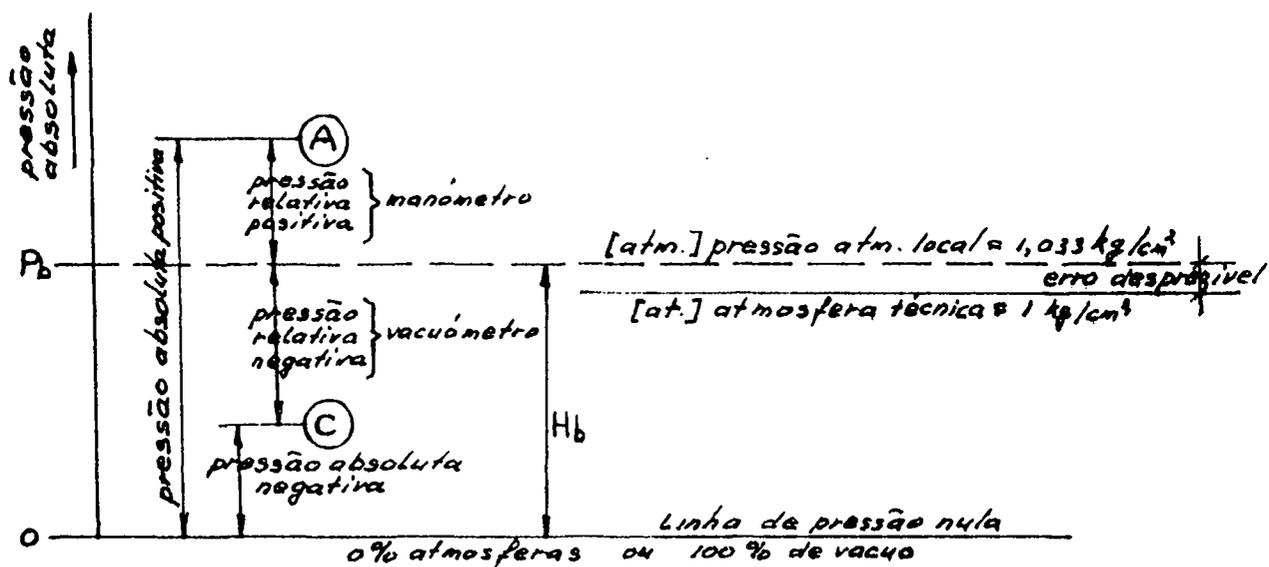
Quando h_a e todas as perdas de carga são superiores a 10 m.c.a. ten-se-ia o problema de cavitação.

Isto quer dizer, se a pressão absoluta baixar até atingir a pressão de vapor (ou "tensão de vapor") do líquido na temperatura em que este se encontra, inícia-se um processo de vaporização do mesmo. Inicialmente, nas regiões mais rarefeitas, formam-se pequenas bolsas, bolhas ou cavidades (daí o nome de cavitação), no interior das quais o líquido se vaporiza.

As superfícies metálicas onde se chocam as diminutas partículas resultantes da condensação são submetidas a uma actuação de forças complexas oriundas da energia dessas partículas, que produzem percussões, desagregando elementos de material de menor coesão, e formam pequenos orifícios que, com o prosseguimento do fenómeno, dão à superfície um aspecto esponjoso, rendilhado, corroído. É a erosão por cavitação e corta tremendamente a vida da bomba.

Veja também o para. 8.2.1a, "N.B."

6.5 PRESSÃO ABSOLUTA E PRESSÃO RELATIVA CLASSE DE TUBAGEM.



A ausência total de pressão representa o vácuo absoluto.

Na prática não é possível; sempre há um pouco de ar ou um outro gás, então mesmo que a pressão baixe muito o vácuo absoluto (zero) não é possível por definição.

Mas pressões inferiores à atmosférica são vácuos parciais, rarefações ou depressões, veja o ponto **C** na figura acima.

Então a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão mais baixa, por exemplo no ponto considerado, neste caso o ponto **C** se denomina por:

pressão relativa negativa ou vácuo relativo

Este valor é medido com os vacuômetros !

A diferença entre a pressão atmosférica e a pressão mais alta, por exemplo no ponto considerado, neste caso o ponto **A** se denomina por:

pressão relativa positiva

Este valor é medido com os manômetros !

Portanto pressões relativas são dados com respeito a pressão barométrica. Embora, para os mesmos pontos por exemplo é possível expressar um valor de pressão absoluta, como indica na figura em cima. O que quer dizer um valor com respeito ao vácuo absoluto (zero).

Em fórmula :

$$\left(\frac{P_A}{\rho g} \right)_{abs.} = H_b + \left(\frac{P_A}{\rho g} \right)_{pos.} \quad e \quad \left(\frac{P_C}{\rho g} \right)_{abs.} = H_b - \left(\frac{P_C}{\rho g} \right)_{neg.}$$

por manômetro
o valor medido
por vacuômetro

N.B. Em condutas e aparelhos que regularmente usam pressão relativa positiva pode distinguir-se

- a pressão de serviço
 - a " " ensaio
- } pressões relativas

De acordo com esta pressão de ensaio uma conduta sera integrada numa "classe". Um sistema aceite internacionalmente, que indica a pressão de serviço máximo permitido.

Por exemplo: 4 - 6 - 8 ou 10 kgf/cm².

A Luselite de Moçambique fabrica tubagem de várias classes como se indicou já no Documento Técnico DT-1/T. As classes são indicadas pelo número correspondente à pressão de ensaio e que cada tubo é ensaiado na fábrica, antes de seguir para o armazém ou para a obra a que se destina.

A tubagem deverá ser escolhida pelo próprio projectista de modo que a pressão de serviço a que irá estar submetida não seja superior a metade do valor da pressão que define a classe.

A pressão de ensaio na vala deverá ser igual a uma vez e meia *) a pressão de serviço, como aliás prescreve o Regulamento Geral de Abastecimentos de Água.

A tabela seguinte permite esquematizar o que se acaba de dizer para todas as classes de tubagem de pressão.

Classes	6	12	18	24	30	
pressão de ensaio na fábrica em kg/cm ²	6	12	18	24	30	Para outros fabricados veja os dados dados por esta fábrica
pressão de serviço em kg/cm ²	3	6	9	12	15	
pressão de ensaio na vala em kg/cm ²	4,5	9	13,5	18	22,5	
Diâmetros fabricados em mm.	150 a 500	100 a 500	70 a 500	50 a 500	50 a 500	

*) Actualmente em muitas paises duas vezes a pressão de serviço.

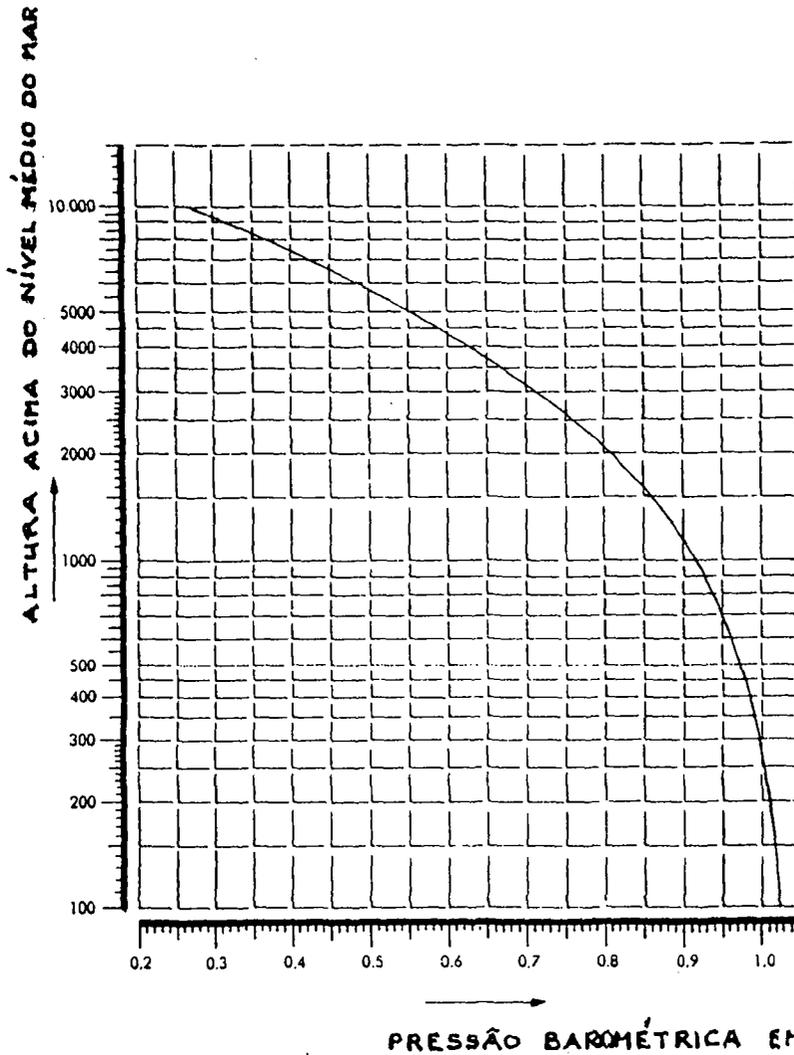


TABELA DE FACTORES DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO.

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 10^4 \text{ kgf/m}^2 = 1 \text{ atmosfera técnica (at)} = 735,6 \text{ torr}$$

$$1 \text{ Pa (pascal)} = 10^{-5} \text{ bar} = 32,85 \text{ pés de coluna de água}$$

$$1,01972 \times 10^{-5} \text{ kgf/cm}^2 (= \text{at}) = 14,22 \text{ psi (Lb/in}^2 = \text{Lb/sq.in.)}$$

$$= 0,9678 \text{ atm} = 98,0665 \times 10^3 \text{ Pa} = 98,1 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atmosfera normal (atm)} = 10,332 \text{ m.c.a.} = \text{Hb}$$

$$1 \text{ Pa (pascal)} = 760 \text{ mm de Hg (mercúrio)} = 14,696 \text{ psi}$$

$$0,986923 \times 10^{-5} \text{ atm.} = 1,013 \text{ bar}$$

$$= 1,0332 \text{ kgf/cm}^2 = 101,325 \times 10^3 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa.}$$

Atmosfera local ou pressão barométrica local é a atmosfera normal referida ao local.

$$1 \text{ Lb/pol}^2 = 1 \text{ psi} = 0,7 \text{ m.c.a.} = 7 \times 10^{-2} \text{ kgf.cm}^{-2} = 2,31 \text{ pés c.a.}$$

$$= 144 \text{ Lb/pé}^2$$

$$= 51,71 \text{ mm de Hg}$$

$$= 0,068 \text{ atm.}$$

$$1 \text{ torr (Torricelli)} = 1 \text{ mm de Hg} = 0,001359 \text{ kgf/cm}^2 = 0,01934 \text{ psi}$$

$$1 \text{ bar} = \text{kgf/cm}^2 \times 0,98 = \text{psi} \times 0,689$$

$$1 \text{ m.c.a.} = 1.000 \text{ mm.c.a.} = 1.000 \text{ kgf/m}^2 = 0,10 \text{ kgf/cm}^2 = 1,422 \text{ psi}$$

PSIA = Pressão absoluta em libras por polegada quadrada.

$$h(\text{m.c. líquida}) = \frac{P [N.m^{-2}]}{\rho [Kg.m^{-3}] \times g [N.Kg^{-1}]} = \frac{P [kgf.m^{-2}]}{\rho [kgf.m^{-3}]}$$

→ unidades de

GRANDEZA = NÚMERO x UNIDADE

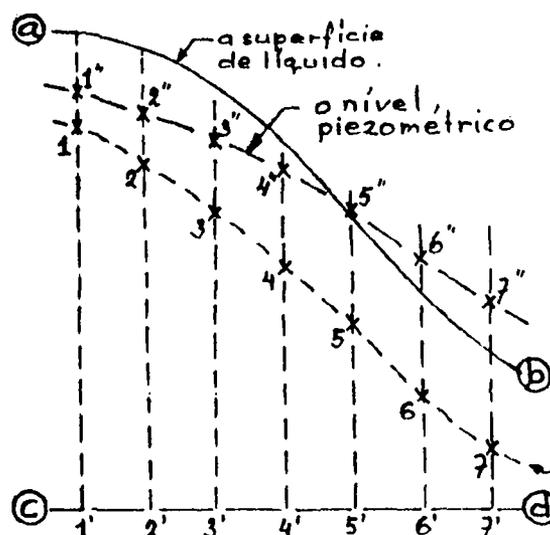
5.6 ENERGIA ESTÁTICA.

Já aprendemos que uma pressão é equivalente a um comprimento e pode ser exprimido em termos daquele. Isto quer dizer que:

Num sistema todas as pressões podem ser representadas pela altura de uma coluna de água (ou outro líquido) em repouso. Esta coluna de água ^v imaginária exerce sobre a sua base (ponto) uma pressão unitária "p", não estando a sua extremidade superior submetida a pressão alguma.

* No caso dum outro líquido, leva em conta a densidade absoluta ρ . Isso é para água = 1000 Kgf/m^3

6.6.1 Por exemplo:



Suponha um corrente, uma quantidade de água como é indicada na figura seguinte. A superfície é representada pela curva a-b.

Isto é um regime não-uniforme ou regime variado, em que as velocidades variam em cada secção transversal ao longo do escoamento.

Uma linha c-d horizontal é escolhida como plano de referência.

os pontos considerados. plano de referência.

Consideremos agora os pontos 1, 2, ---- 6, 7. Então, em cima de cada um destes pontos podemos imaginar uma altura dum coluna de líquido em repouso (!), que represente a pressão naquele ponto; veja as distâncias 1-1'', 2-2'', etc. na figura. Como já sabe, estas distâncias são as alturas representativas de pressão ($\frac{P_1}{\rho g}$, $\frac{P_2}{\rho g}$, $\frac{P_3}{\rho g}$, $\frac{P_4}{\rho g}$, etc.) e representam também uma energia estática. (veja para. 6.3.2).

As distâncias 1-1', 2-2', 3-3', etc. chamam-se :

As alturas de posição (z) das partículas de líquido, ou também:
 As alturas representativas da posição (z) ou
Altura geométrica (z)

Quanto às alturas de posição das partículas de líquido, podemos notar que estas partículas, situadas a uma cota 1-1', 2-2', 3-3', etc. --- acima do plano de referência, podem realizar, se abandonado à acção da gravidade, um trabalho.

Este trabalho seria igual:

O peso destas partículas X a altura geométrica.

Então a essa capacidade de realizar trabalho, que o peso possui, denomina-se energia de posição, energia potencial de altitude, ou energia topográfica total.

Consequentemente chama-se as alturas 1-1', 2-2', 3-3', etc. --- também:

Energia potencial específica.

Específica por que esta grandeza tem um valor por unidade de peso (força).

Por certo : Energia potencial = Peso X Altura.

Por tanto : Altura = Energia potencial / Peso.

Em palavras !

A altura geométrica (z) representa a energia potencial de posição em relação ao campo da gravidade.

6.6.2 Se for posto por cima de todos os pontos 1,2,3, --- etc. na figura da parágrafo precedente, as alturas representativas de pressão (relativa), medida em cada ponto, isto é 1-1", 2-2", 3-3", etc., obtemos a linha — — — — que se chamam:

Linha piezométrica, ou

Altura piezométrica, ou

Cota piezométrica, ou

Piezocarga.

Note-se que a palavra "piezo" em latim significa "pressão".

Importante !

A altura piezométrica ou cota (nível) piezométrica acima do plano de referência é a soma da altura representativa de pressão e da altura representativa da posição.

Em fórmula :

$$\text{A cota piezométrica} = z + \frac{p}{\rho g}$$

└── energia de pressão específica
 └── energia de posição específica

Esta soma representa a energia estática específica, quer dizer a energia potencial específica total por unidade de peso (veja para. 6.3.2.b).

Mas é claro o escoamento da figura do parágrafo 6.6.1 possui também energia cinética ----- movimento ! Por isso veja o parágrafo 6.7.

Note também nesta figura que a altura de pressão do ponto 6 é maior que do ponto 1, porém a altura de posição do ponto 6 é mais pequena que do ponto 1.

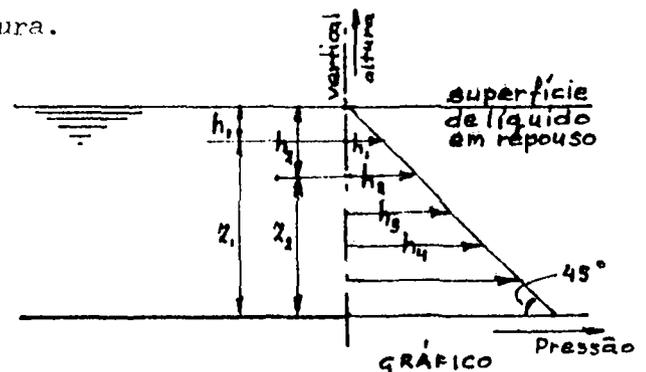
Então é possível para um ponto que a cota piezométrica é mais alta do que a altura de pressão, portanto a pressão também é mais baixa.

6.6.3 No caso do líquido estar em repouso a carga piezométrica é constante numa direcção vertical, veja a figura.

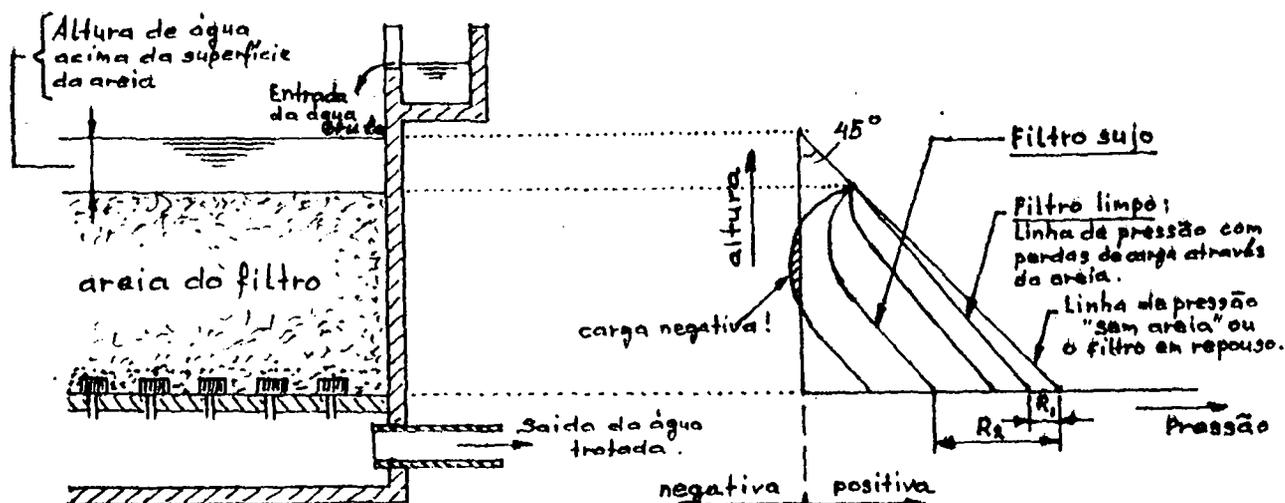
A saber :

$$z_1 + h_1 = z_2 + h_2 = z_3 + h_3 = \text{etc.}$$

Portanto ao pômos as pressões no plano horizontal em cada ponto desta vertical, obteremos uma linha sob o ângulo de 45° , como indica na figura. Diz-se que há neste caso uma distribuição hidrostática de pressão.



A base desta forma de representação é descrita no diagrama das variações da carga piezométrica em função da profundidade num filtro rápido de areia. Veja a figura seguinte:



FILTRO RÁPIDO

GRÁFICO DE CARGA PIEZOMÉTRICA NUM VERTICAL DENTRO O FILTER.

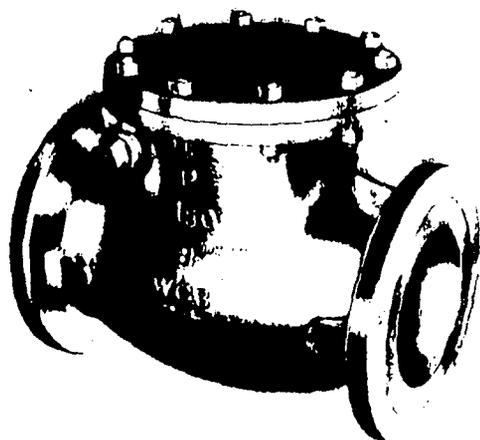
Perda de carga: Filtro limpo = R_1

Perda de carga: Filtro sujo = R_2 → O filtro precisa lavagem!

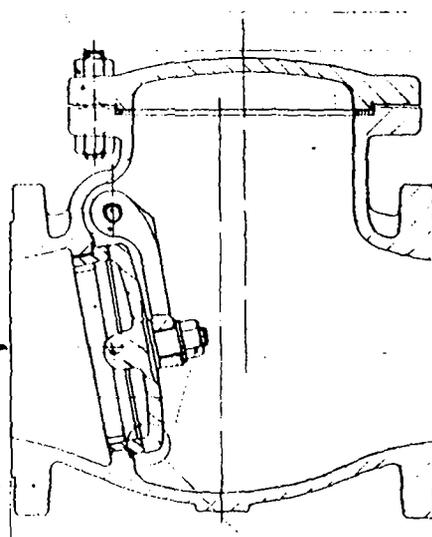
Note-se que quando a perda de carga aumenta através do leito, a parte inferior do filtro pode ficar sob um vácuo parcial e a carga negativa, então existente, permite o desprendimento de gases dissolvidos na água que, tendendo a ocupar os poros do leito, produzem borbulhamentos de ar que reduzem a taxa de filtração. Evite isto!

N.B. Uma distribuição hidrostática de pressão também existe no caso dum escoamento, com a condição de que as linhas de corrente tenham uma curvatura muito pequena, de modo que possam ser consideradas sensivelmente rectilíneas e para-lelas.

VÁLVULA RETENÇÃO



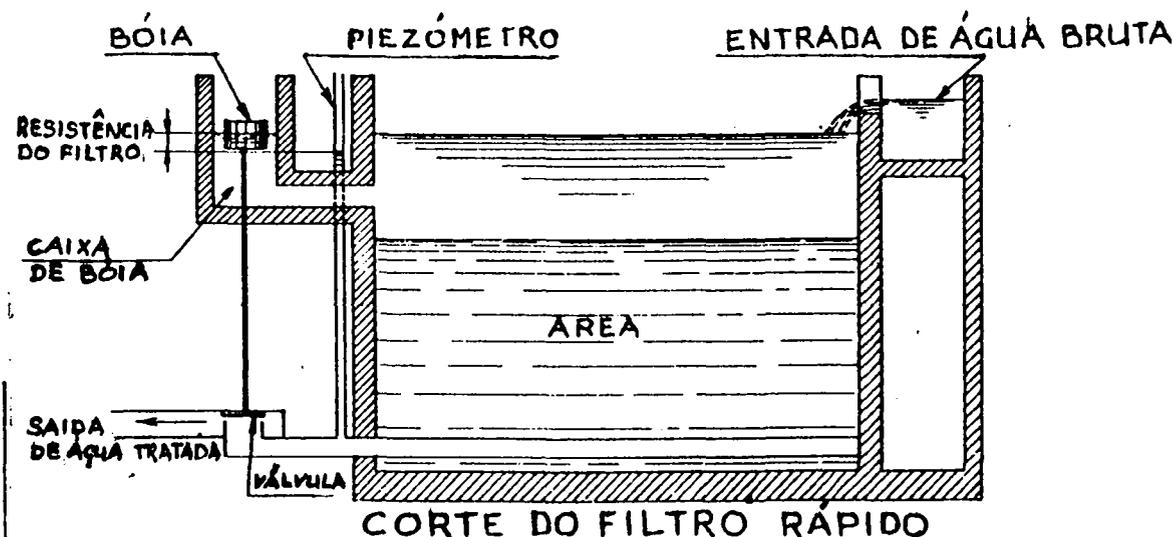
Água num só sentido



TEORÍA DA FILTRAÇÃO :

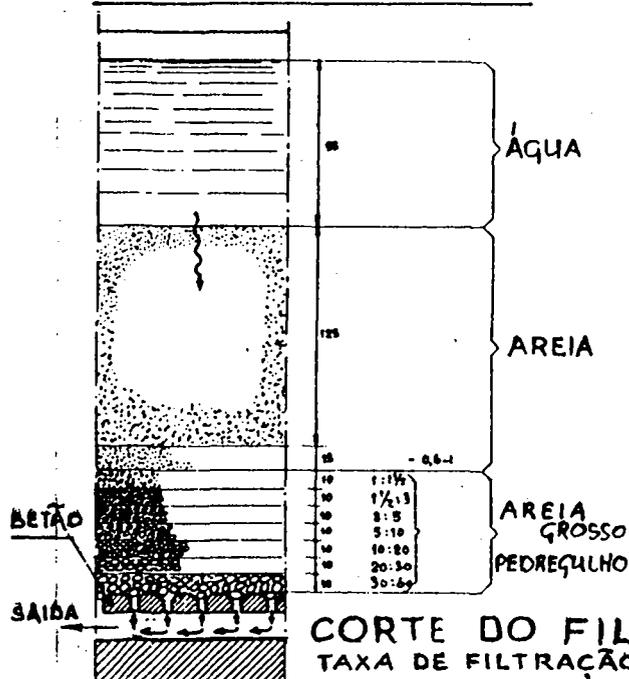
Como ocorre à primeira vista, não é apenas a acção mecânica de coar que actua sobre a água que passa através dos leitos filtrantes de areia. Isto é apenas uma das partes do processo da filtração e o resultado final é consequência de uma série de fenómenos simultâneos que poderiam ser classificados como :

- Acções físicas (mecânica de coar, sedimentação, adsorção, absorção)
 - Acções químicas (oxidação da matéria orgânica, ionização dos grãos de areia)
 - Acções biológicas
 - Acções biog químicas
- } Especialmente para eliminar ferro e manganéz dentro um filtro rápido.
- } Especialmente para eliminar: bactérias, turbidez, mas também ferro e manganéz, dentro um filtro lento.



Taxa de filtração 1-10 m/hora; com esta taxa considera-se a acção biológica não é possível!

Note: A bóia sobre o nível de água (altura de água sobre a superfície da área) controle a saída de água tratada de maneira que esta seja igual a água bruta que entra. Por este sistema, uma condição é que a entrada de água bruta é controlada de qualquer maneira.



CONTROLE DOS FILTROS.

Para o funcionamento adequado dos filtros são exigidos três variáveis para controlar:

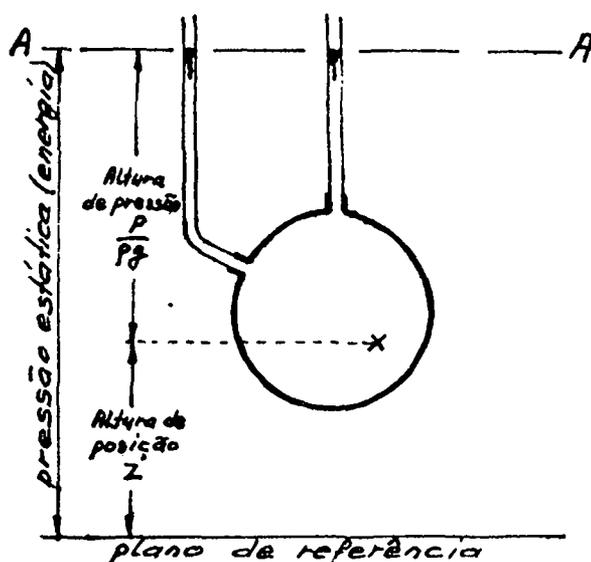
- a) Controle de nível de água
- b) Controle de capacidade (Caudal)
- c) Controle de taxa de filtração (Resistência).

A fim de simplificar a operação umados variáveis vai ser fixada e ás outras duas só para regularização.

6.7 ENERGIA CINÉTICA.

6.7.1 Teoria e Medida.

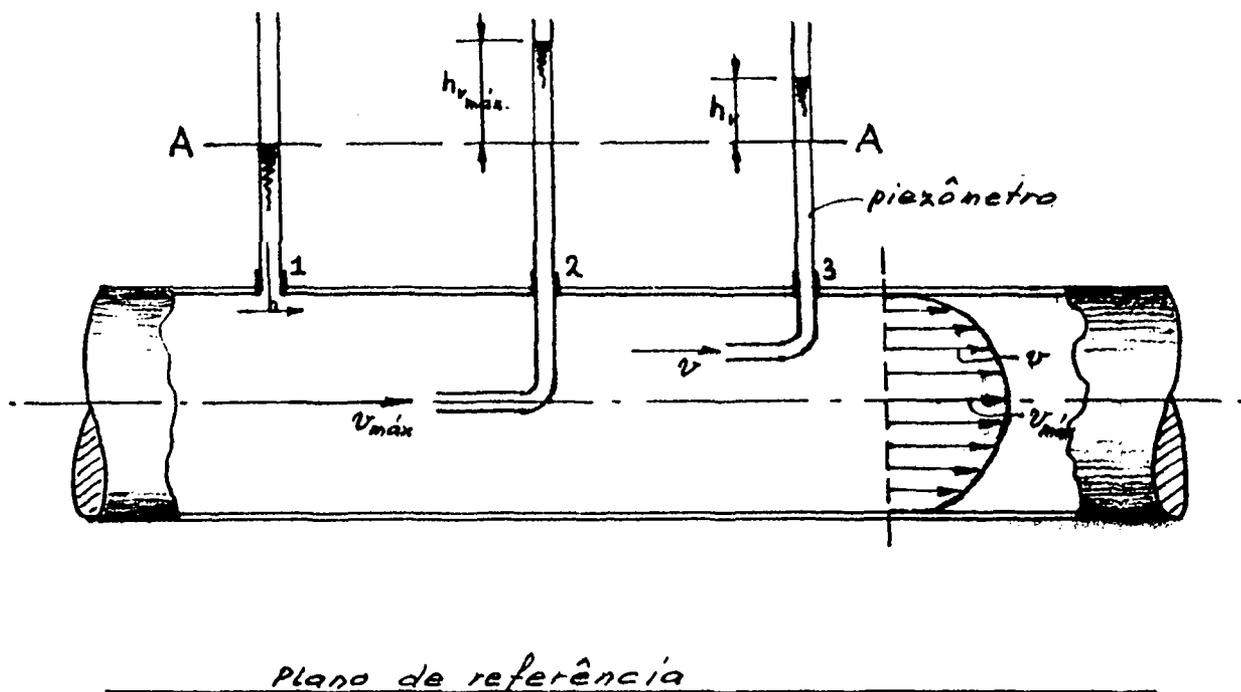
A cota piezométrica representa a energia estática como supra mencionado e como se encontra na figura à esquerda.



A linha "AA" indica esta cota. Também podemos ver que esta cota piezométrica é independente do sítio de derivação, contanto que esta derivação seja perpendicular às linhas de corrente.

A pressão de líquido "p" num ponto "x" dentro do tubo é homogéneo ao comprimento representado pela altura de pressão ($= \frac{P}{\rho g}$) e adicionada à altura de posição "z", dá a linha piezométrica.

A determinação deste pode ser realizada por um piezómetro medindo como indicado na figura seguinte :



O primeiro piezómetro representa a cota piezométrica porque este piezómetro está colocado de tal maneira que esteja perpendicular às linhas de corrente.

Porém não os piezómetros 2 e 3 ! Estes são colocados na direcção

* Veja também o piezómetro do filtro rápido pagina 47B

das linhas de corrente, que quer dizer agora medindo-se também a energia devido à velocidade do movimento. Por isso o nível do líquido nestes piezômetros é mais alto e esta diferença depende da grandeza da velocidade medida.

O que é este valor ?

Suponha uma quantidade do líquido com massa "m" e velocidade "v", Então esta quantidade tem uma energia cinética igual : $\frac{1}{2} m v^2$
 Por unidade de volume "v" esta energia cinética é igual a $\frac{1}{2} \frac{m}{V_0} v^2 \dots \dots$, em que $\frac{m}{V_0} = \rho$ (= densidade absoluta de líquido).

Então esta energia cinética por unidade de volume = $\rho \frac{v^2}{2}$ ou por unidade de peso $\frac{\rho \frac{v^2}{2}}{\rho g} = \frac{v^2}{2g}$ e isto é igual a altura h_v a pressão duma coluna de água por unidade de peso, veja o para. 6.3.2.b

Portanto :

$$\boxed{h_v = \frac{v^2}{2g}} \quad \left[\frac{(m/s)^2}{m/s^2} \right] = [m']$$

O termo $\frac{v^2}{2g}$, homogêneo de um comprimento, é denominado por :

altura representativa da velocidade,

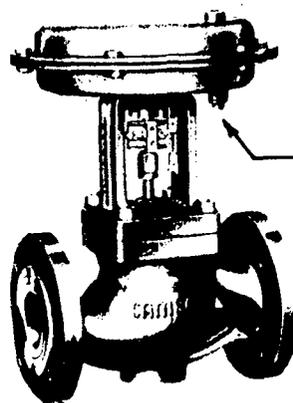
altura de pressão dinâmica,

energia atual ou taquicarga.

Ele representa também a altura a que se elevaria, no vácuo, um corpo pesado que fosse lançado verticalmente com velocidade inicial v .

Como foi indicado acima, isto é também uma energia cinética por unidade de peso.

VÁLVULA
PNEUMÁTICO



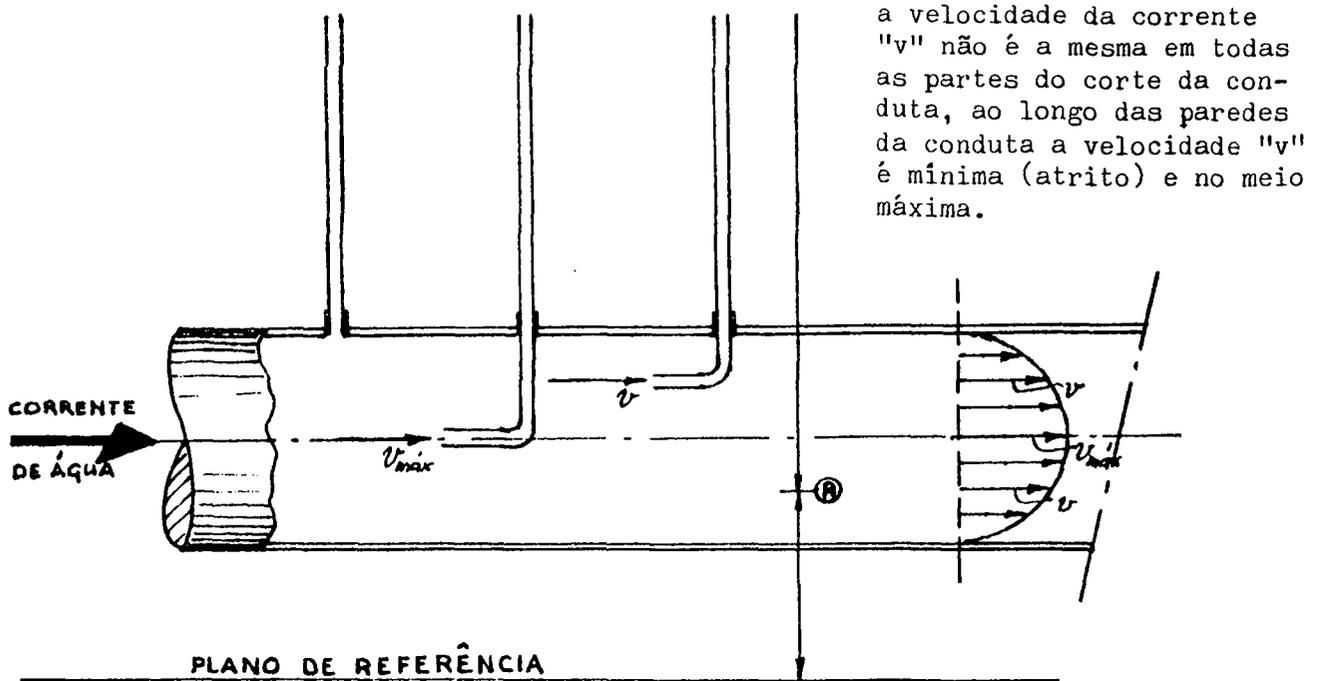
OPERAÇÃO COM
AR COMPRIMIDO

símbolo



6.7.2 TESTE HIDRÁULICA 1

Tente preencher o teste seguinte e depois compare o resultado com o texto no manual.



A Indique na figura que nível cada piezómetro poderia indicar !

B O primeiro piezómetro representa o quê ?

Porque só este e não os piezómetros 2 e 3 ?

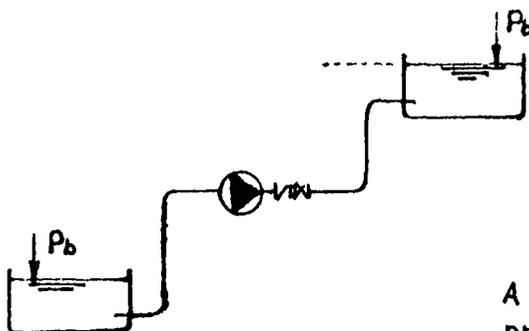
C Preencha como se chamavam as alturas (hidráulicas)

por exemplo no ponto " A " (velocidade " v ") na figura :

- | | |
|----------------------------|---|
| a) altura de () | } representa o tipo de energia (específica) |
| b) " " () | |
| c) " " () | } representa o tipo de energia (específica) |

Indique estas alturas na figura acima designada !

D



Indique na figura à esquerda ;

- a) a altura estática de aspiração
- b) " " " " recalque
- c) " " " " elevação

A pressão barométrica "Pb" é igual à pressão de mais ou menosm.c.a. (=Hb)

$$\begin{aligned} \text{A COTA PIEZOMÉTRICA} &= z + \frac{P}{\rho g} \\ &= \text{energia estática específica} \end{aligned}$$

A ENERGIA CINÉTICA :

A altura representativa da velocidade ou taqui carga

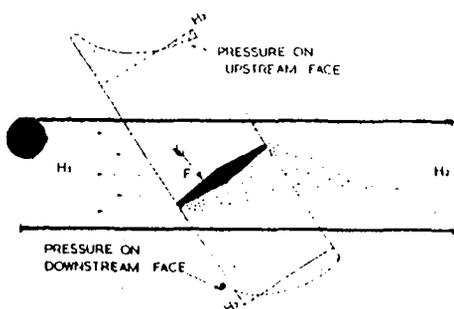
$$h_v = \frac{v^2}{2g} = \text{energia cinética específica}$$

ENERGIA TOTAL ou CARGA DINÂMICA = a soma de

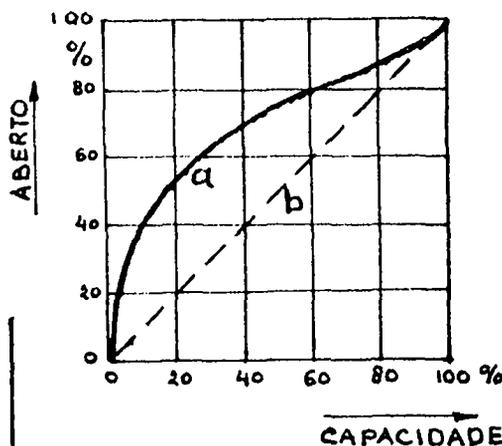
$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \longrightarrow \text{específica} \longrightarrow \text{indica : por unidade de peso.}$$



PADRÃO DE CORRENTE AO LONGO DO DISCO DE VÁLVULA BORBOLETA



DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO SOBRE O DISCO DE VÁLVULA BORBOLETA



CURVA CARACTERÍSTICA (a) DO PROCEDIMENTO DE CONTROLE DUMA VÁLVULA BORBOLETA.

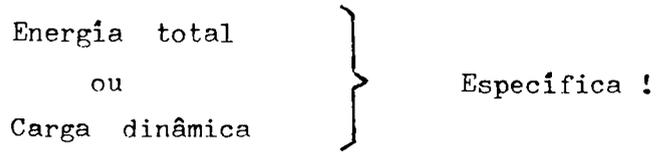
IMPORTANTE:

NOTE QUE UMA VÁLVULA DE CONTROLE DE BOA QUALIDADE TEM UMA CURVA CARACTERÍSTICA APROXIMADA DA LINHA RECTA (b) ISTO NÃO É PRECISO PARA UM SISTEMA DE CONTROLE SÓ "ABERTO-FECHADO"

6.8 O TEOREMA DE BERNOULLI.

6.8.1a) A teoria.

A soma da altura piezométrica e a altura representativa da velocidade, quer dizer a soma da energia estática (específica) e a energia cinética (específica) chamam-se :



Só específica, quando este valor é exprimido pelas alturas de água; isso quer dizer "pressões por unidade de peso", veja ao fim do parágrafo 6.7.1

Em muitos casos esta energia total é representada por "H", ou no ponto "p", por exemplo dentro do tubo do parágrafo 6.7.2, pela fórmula :

$$H_p = \underbrace{z_p + \frac{p_p}{\rho g}}_{\text{energia estática}} + \underbrace{\frac{v_p^2}{2g}}_{\text{energia cinética}} \quad (\text{veja para. 6.7.3})$$

" total

Note, a mesma coisa vale para qualquer ponto dentro deste tubo, mas então os valores são diferentes. É claro !

Agora consideremos uma veia dum líquido perfeito *) em escoamento permanente *) (quer dizer este sistema não sofre trocas de energia com o exterior de qualquer forma) podemos considerar uma linha de corrente neste regime permanente. Em cada ponto dessa linha de corrente, situado a uma cota "z", acima de um plano de referência, as diferentes particulas que sucessivamente ocupam esse ponto estão sujeitas a uma pressão "p", e estão animadas de uma velocidade "v", a que correspondem as condições energéticas atrás definidas.

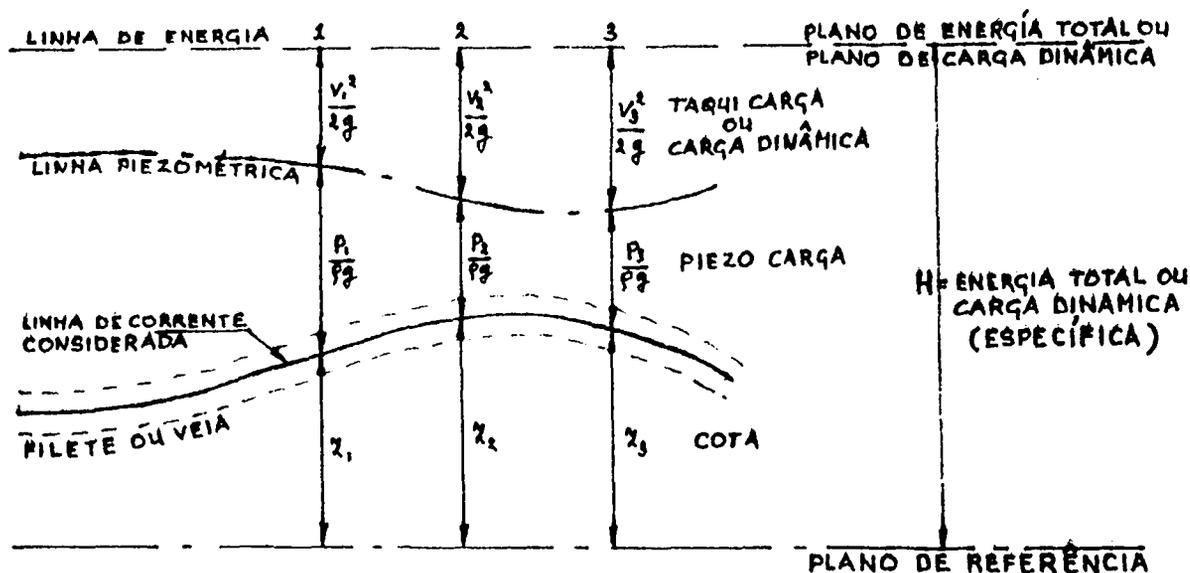
*) Veja NB1 depois deste parágrafo.

É possível assim definir as condições energéticas em cada ponto duma linha de corrente, independentemente das partículas que ocupam esse ponto. Definem-se, em relação a cada ponto de uma linha de corrente, as seguintes cargas ou energias específicas :

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

Se, ao longo de uma linha de corrente, se marcarmos na vertical, a partir do plano horizontal de referência, comprimentos representativos da carga estática ou piezométrica, obtém-se a linha piezométrica relativa à linha de corrente considerada como já indicado, no para. 6.6.1).

Se, de igual modo, se marcar a carga total, obtém-se a linha de carga total ou simplesmente linha de energia, veja a seguinte figura :



A linha de energia dista da linha piezométrica um comprimento, medido na vertical, igual à carga cinético ou taqui carga; levando em conta que não consideramos perdas de carga de qualquer forma.

Neste caso a linha de energia tem que ser horizontal como o plano de referência. Isto por que :

" Energia não se cria, nem se destrói, só se transforma "

É a lei da conservação de energia, uma lei bem conhecido.

Então, neste caso pode-se considerar só variações nos seguintes alturas; a altura geométrica (z), a altura representativa de pressão ($\frac{p}{\rho g}$) e/ou altura representativa da velocidade ($\frac{v^2}{2g}$). Mas note, a soma destas tem que ser constante por causa da lei da conservação de energia, o que vale para cada linha de corrente considerado.

Em fórmula :

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{CONSTANTE}$$

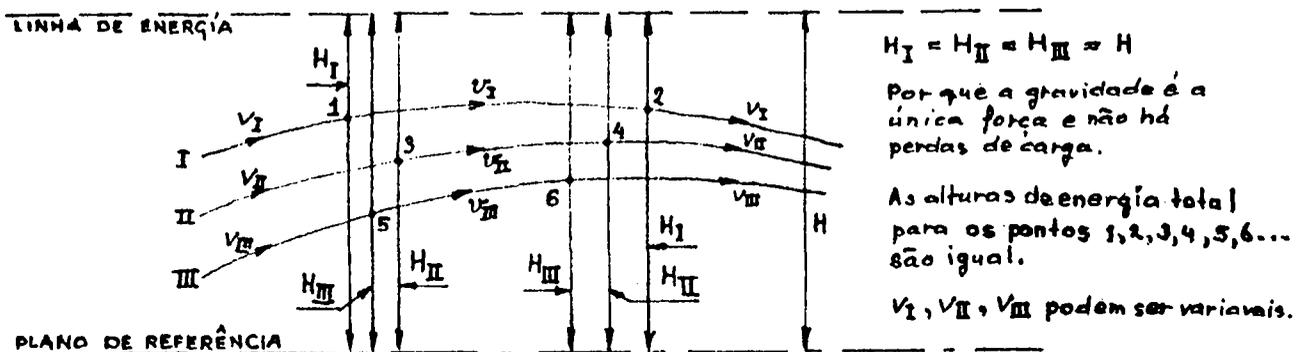
Isto é a equação de Daniel Bernoulli que exprime o teorema :

"Em qualquer ponto que se considere, de uma veia de um líquido perfeito em escoamento permanente, sem fornecer ou receber energia ou efetuar trabalho, a soma da cota, com a altura representativa da pressão e com a altura representativa da velocidade é constante."

Porque neste caso não há perdas de carga, a equação mencionada acima chama-se também a equação da conservação de energia. Só se aplica quando as perdas de atrito ou inércia possam ser desprezadas. Por exemplo um rio com água corrente e lenta, mas não no caso em que a água corre muito rápido.

b) Observações quanto ao termo $\frac{v^2}{2g}$, a carga cinética.

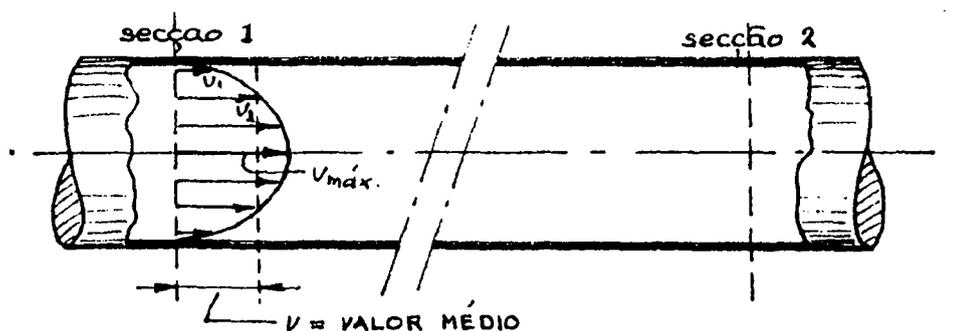
Pode definir-se carga total, não só num ponto de uma linha de corrente, mas também para cada linha de corrente numa secção recta dum escoamento, com a condição de que as linhas de corrente tenham uma curvatura muito pequena, de modo que possam ser consideradas sensivelmente rectilíneas e paralelas.



* quer dizer só a força da gravidade está a trabalhar.

A carga estática $\left(\alpha + \frac{P}{\rho g} \right)$ tem, neste caso, o mesmo valor toda a secção. Diz-se que há neste caso uma distribuição hidrostática de pressão (veja também o para. 6.6.3), enquanto que a velocidade "v" pode variar de um ponto para outro da secção recta. Por exemplo como se encontra num escoamento dentro dum tubo.

A seguinte figura indica a distribuição de velocidade dum escoamento dentro dum tubo.



DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DENTRO DUM TUBO.

Agora fazendo intervir a velocidade média $= v = \frac{\text{O CAUDAL}}{\text{O SUPERFÍCIE}}$ na secção recta e devido do fato:

$$\left(\frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} = v \right) < \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n},$$

a expressão da carga cinética escreve-se como

$$\alpha \frac{v^2}{2g}; \text{ em que } \alpha$$

é o factor de correcção da energia cinética, designado por coeficiente de Coriolis, que depende da distribuição das velocidades na secção recta.

O factor " α " representa a relação entre a energia cinética real do escoamento, e a energia cinética dum escoamento fictício em que todas as partículas se movessem com a velocidade média v.

A carga total numa secção recta dum tubo será, então :

$$H = \alpha + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{v^2}{2g} = \text{CONSTANTE}$$

Isto pode ser considerado como uma extensão da equação de Daniel Bernoulli.

Quando se considere duas secções rectas :

$$\underbrace{\alpha_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}}_{\text{PARA SECCAO "1"}} = \underbrace{\alpha_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g}}_{\text{PARA SECCAO "2"}} = \text{CONSTANTE}^* (H)$$

Aqui v_1 e v_2 são velocidades médias nas secções "1" e "2"

O valor de " α " varia de 1 a 2, será 1 quando a velocidade for uma só para todos os pontos da secção, e igual a 2 quando variar parabólicamente a partir de zero junto às paredes, a um valor máximo no eixo da veia.

Veja a distribuição da velocidade na figura precedente.

Na maioria das aplicações práticas, nas quais o termo $\frac{v^2}{2g}$ é reduzido quando comparado com os demais, o escoamento é turbulento e a velocidade tem uma distribuição que permite sem erro sensível adotar $\alpha = 1^{**}$ e a equação de Daniel Bernoulli reduz-se à forma convencional.

segundo Karman, para tubos de secção circular, $\alpha = 1,0449$

* Nota : Só no caso do teorema de Bernoulli vale !

** Ao contrário, em regime laminar (veja para. 7.1) $\alpha = 2$

N.B. 1Líquido perfeito.

No estudo das bombas e das instalações de bombeamento considera-se, quase sempre, o líquido como um líquido perfeito, isto é, um fluido ideal, incompressível, perfeitamente móvel, em cujas moléculas não se verificam forças tangenciais de atrito, isto é, que não possui viscosidade.

Não havendo forças resistentes de atrito interno, as forças exteriores a que o líquido é submetido são equilibradas apenas pelas forças de inércia.

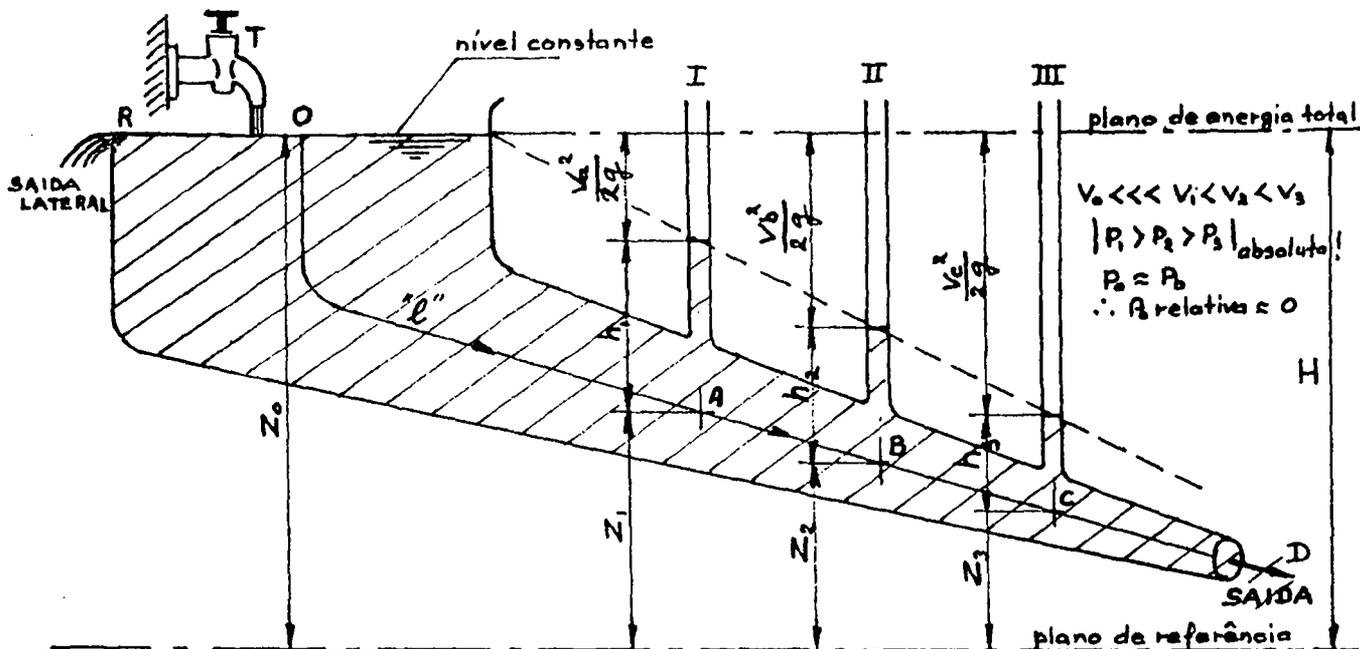
Admite-se também que o líquido possua isotropia perfeita, isto é, que as suas propriedades características ocorram do mesmo modo, independentemente da direcção segundo a qual foram consideradas.

Ecoamento permanente.

O líquido escoá-se em regime permanente ou com movimento permanente, quando, para qualquer ponto fixo do espaço tomado no seu interior, as grandezas características das partículas que por ele passam (densidade absoluta, temperatura) e suas condições de escoamento (velocidade, aceleração e pressão) são constantes no tempo.

6.8.2 APLICAÇÃO EXPERIMENTAL DA LEI DE BERNOULLI.

Para este assunto toma-se um tonel da forma como se vê na figura seguinte :



Nos lugares **A**, **B**, e **C** são colocados pequenos tubinhos de vidro. A água corre da torneira dentro do tonel e saiu em "D". Devido à saída lateral em **R**, o nível de água mantém-se constante, de modo que se cria um escoamento permanente.

Vê-se agora que o líquido dentro dos tubinhos **I**, **II** e **III** atinge uma altura respectivamente de h_1 , h_2 e h_3 .

Então, a única força que faz correr a água é a gravidade. Porque o movimento de água através desta instalação percorre dentro um distância muito curta e a parede dentro do funil é muito lisa também, podem-se desprezar as forças de atrito e a carga total é constante.

Portanto a Lei de Bernoulli pode ser aplicada a este escoamento.

Uma vez que o diâmetro do tubo, com a forma dum funil, vai diminuindo, a velocidade de água vai aumentando.

É uma consequência da condição de continuidade. Veja para. 6.2 .

Portanto a altura de velocidade $\frac{v^2}{2g}$ aumentará também ao longo deste tubo.

Ligando-se os níveis dentro dos piezômetros **I**, **II** e **III** por meio duma linha encontra-se o nível piezométrica ou piezo carga.

Quando o tonel é fechado em "D" não há movimento de água. Então o nível em cada piezômetro será igual e aumentará até ao nível de energia. Todas as alturas piezométricas são iguais à altura de pressão hidrostática.

A secção recta na entrada da água (por baixo de T) é relativamente grande resultando que a velocidade da água seja tão pequena que se possa desprezar em relação às velocidades nos pontos A, B e C.

Portanto no começo da linha de corrente "e" como no desenho, vale :

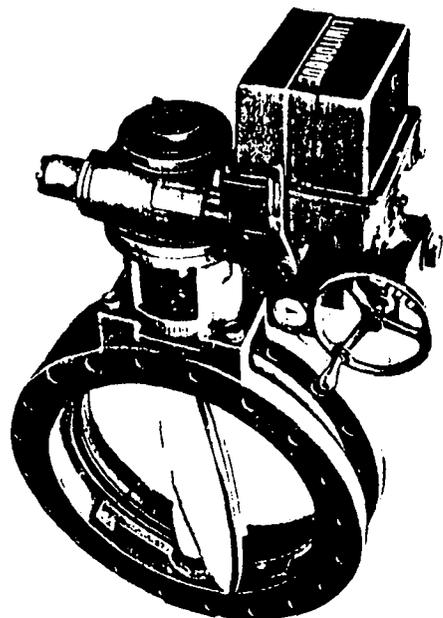
$$\left(Z_0 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{V_0^2}{2g} \right)_R = H$$

A pressão "P₀" duma partícula na superfície do líquido é igual à pressão barométrica. Portanto a pressão relativa é nula. Então a altura de energia total aqui é igual à altura de posição "Z₀". Portanto H = Z₀, é claro quando se observa a figura. Este Z₀ indica a altura do plano de energia acima do plano de referência.

Supondo-se agora esta partícula de água ao longo da linha de corrente "e", vê-se que a sua velocidade aumenta sempre. Portanto a pressão tem que diminuir, por que a energia total deve permanecer constante de acordo com a Lei de Bernoulli. Não se junta energia nova, não se perde energia e o atrito pode ser desprezado sobre esta distância curta.

A partícula de água é acelerada ao longo do seu caminho. Portanto o movimento não é constante.

VÁLVULA BORBOLETA
COM OPERAÇÃO DE MOTOR
E MANUAL



Ao estudarmos as parcelas de energia numa instalação de bombagem, vimos que a equação da energia aplicada entre a superfície livre do líquido na captação e na entrada da bomba (suposta na altura do centro da bomba) nos fornecia a base da equação (1), mas em termos de pressões absolutas :

$$h_{ra} = \left(\underset{\substack{| \\ \text{as perdas}}}{0} + \underset{\substack{| \\ \alpha_1 = 0}}{H_b} + \underset{\substack{| \\ v_1 = 0}}{0} \right) - \left(\underset{\substack{| \\ \alpha_2 = h_a}}{h_a} + \underset{\substack{| \\ P_a = \text{a pressão} \\ \text{a entrada} \\ \text{da bomba}}}{\frac{P_a}{\rho g}} + \underset{\substack{| \\ \alpha_2 \approx 1}}{\frac{V_a^2}{2g}} \right)$$

altura barométrica específica

V_a = a velocidade a entrada da bomba

Então o termo $\frac{P_a}{\rho g} = H_b - h_a - h_{ra} - \frac{V_a^2}{2g}$ é a pressão estática absoluta à entrada da bomba.

Esta pressão absoluta $\left(\frac{P_a}{\rho g}\right)$ deve-se baixar até atingir a pressão de vapor (h_v) do líquido. Veja o para. 6.4.3 também.

Segundo o para. 6.5 a pressão relativa é :

$$\underline{H_b - \frac{P_a}{\rho g} = h_a + \frac{V_a^2}{2g} + h_{ra}} \quad (2)$$

a qual é fornecida pela leitura no vacuómetro a entrada da bomba.

A energia total absoluta à entrada da bomba é a soma da energia da pressão $\frac{P_a}{\rho g}$ com a energia cinética $\frac{V_a^2}{2g}$, de modo que podemos escrever :

$$\underline{\frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} = H_b - h_a - h_{ra}} \quad (3)$$

A altura de aspiração máxima pode ser :

$$h_a = H_b - \frac{p_a}{\rho g} - \frac{V_a^2}{2g} - h_{ra} \quad (4)$$

H_b : leitura no vacuómetro
 10,332m.

$\frac{p_a}{\rho g}$: ≤ pressão de vapor h_v , senão cavitação!

$\frac{V_a^2}{2g}$: Energia cinética dentro da água à entrada da bomba, devido à velocidade.

h_{ra} : Las perdas de carga por atrito etc.

5 a 6m. Em geral na prática: 4 a 5m.

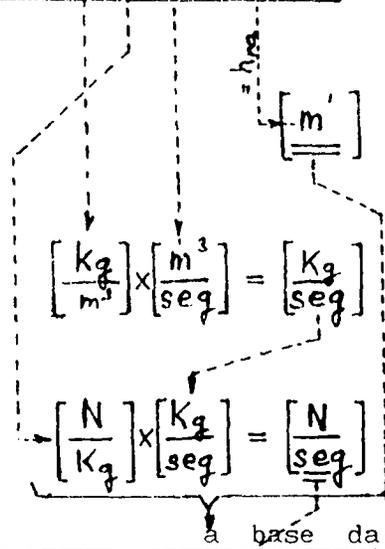
7m. às vezes é possível, mas pode encontrar problemas com o funcionamento próprio da bomba centrífuga.

*J) Evite um valor alto demais, por isso escolha na prática o diâmetro da tubagem de aspiração igual ou maior que o diâmetro da boca de entrada da bomba ; evite acessórios se não necessários.

b) A potência perdida pelo escoamento entre estas secções "1" e "2" é :

$$P_{12} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H_{12}$$

veja também para. 8.2.3



como a = distância para levar o líquido.

= massa do líquido para levar por unidade do tempo.

= a força para levar o líquido por unidade do tempo.

a base da lei de Newton !

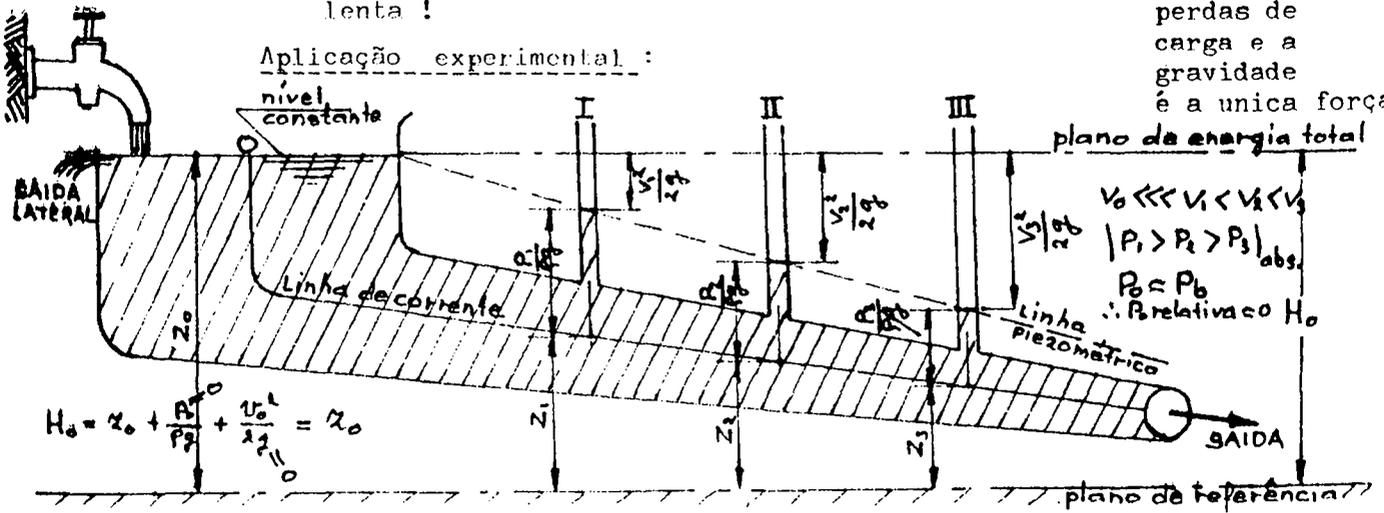
Potência	=	$\frac{\text{Energia}}{\text{seg}}$	=	$\frac{\text{Força} \times \text{Espaço}}{\text{seg}}$
watt(w)	=	$\frac{J}{seg}$	=	$\left[\frac{N}{seg} \right] \times \left[m' \right]$

veja para. 6.1

N.B. Tudo isto conforme o novo sistema de unidade, mas note que; $\rho g = \gamma =$ peso específico $\left[\frac{kgf}{m^3} \right]$, então: $\frac{kgf}{m^3} \times \frac{m^3}{seg} \times m' = \frac{kgf \cdot m}{seg}$ = potência de acordo com o sistema de unidade antigamente.

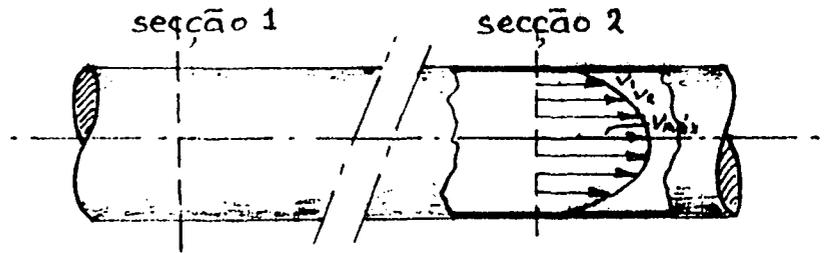
Ó TEOREMA DE BERNOULLI:

Energia total }
 ou } ---Específica--- $H = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{constante}$, só no
 Carga dinâmica } Por exemplo um rio com água corrente e lento ! caso de que não há perdas de carga e a gravidade é a única força.



Pode definir-se carga total, não só num ponto de uma linha de corrente, mas também numa secção recta dum escoamento, com a condição de que as linhas de corrente tenham uma curvatura muito pequena, de modo que possam ser consideradas sensivelmente rectilíneas e paralelas.

A carga estática " $z + \frac{P}{\rho g}$ " tem, neste caso, o mesmo valor para toda a secção, enquanto que a velocidade v pode variar de um ponto para outro da secção recta como indicam a figura à direita para um tubo.



DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DENTRO UM TUBO

Fazendo intervir a velocidade média ($= v = \frac{\text{caudal}}{\text{superfície}}$) na secção recta e devido do fato ;

$(\frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} = v) \cdot \frac{\rho}{2g} < \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}$, a expressão da carga cinética escreve-se como " $\alpha \frac{v^2}{2g}$ " em que " α " é o factor de correcção da energia cinética, designado por coeficiente de "Corioles", que depende da distribuição das velocidades na secção recta.

Segundo Karman, para tubos de secção circular $\alpha = 1,044g$

No caso geral, a perda de carga entre as secções "1" e "2", será : $H_1 - H_2 = \Delta H_{12} = (z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}) - (z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g})$

A potência perdida pelo escoamento entre as secções

$$P_{12} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H_{12}$$

a base da lei de Newton !

$\left[\frac{kg}{m^3} \right] \times \left[\frac{m^3}{seg} \right] = \left[\frac{kg}{seg} \right]$ = como a distância para, levar o líquido → espaço

$\left[\frac{N}{kg} \right] \times \left[\frac{kg}{seg} \right] = \left[\frac{N}{seg} \right]$ = massa do líquido para levar por unidade do tempo

$\left[\frac{N}{seg} \right] \times [m] = \left[\frac{N \cdot m}{seg} \right]$ = a força para levar o líquido por unidade do tempo.

POTÊNCIA = $\frac{\text{ENERGIA}}{\text{SEGUNDO}} \left[\frac{W \cdot seg}{seg} \right] = \frac{\text{FORÇA} \times \text{ESPACO}}{\text{SEGUNDO}} \left[\text{WATT} \right]$

TRANSPORTE DE ÁGUA NUM TUBO

6.8.4b EXEMPLO PARA CALCULAR A POTÊNCIA A PARTIR DA ALTURA ESPECÍFICA.

Uma turbina hidráulica é alimentada com o caudal $Q = 424 \text{ l/s}$ por uma conduta forçada horizontal, de diâmetro interior $D_1 = 300 \text{ m/m}$. Escolha-se uma secção "1" desta conduta, imediatamente a montante da turbina. A pressão manométrica lá é ; $P_1 = 0,690 \text{ kg/cm}^2$. Este valor é dado por um manómetro de antigamente, uma vez que o novo manómetro teria uma escala de Pa (pascal), mPa ou às vezes em " bar ". Mas isto não é problema (veja o parágrafo 6.5), por ser possível a conversão de unidades.

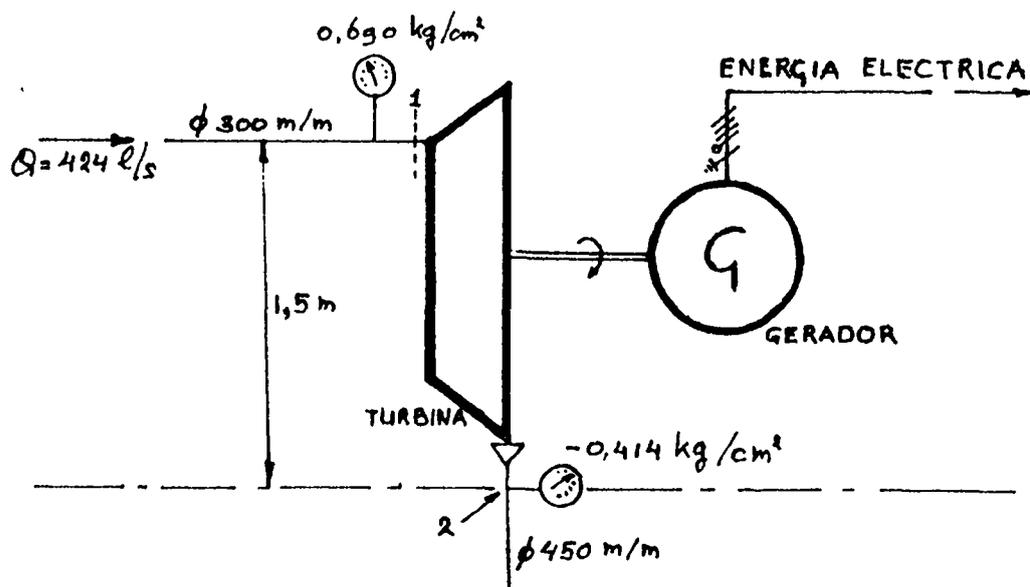
A saída da turbina faz-se por uma conduta tronco-cónica.

Numa secção "2" desta conduta, com diâmetro $D_2 = 450 \text{ m/m}$, situada $1,5 \text{ m}$ abaixo da secção "1", mediu-se uma pressão negativa; $P_2 = -0,414 \text{ kg/cm}^2$.

Calcular a potência que pode ser fornecida pela turbina quando o seu rendimento for de 0,85

A energia convertida em energia mecânica por meio da turbina é energia degradada em calor por atrito.

Para ser mais fácil, toma-se para referência o plano horizontal que passa pela secção "2"



Primeiramente considera-se a perda (!) de energia entre as secções "1" e "2", seja ΔH_{12} , então :

$$\Delta H_{12} = \left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \right) m'$$

Quer dizer, exprimem-se todos os valores em $m' H_2O$ (lembre-se que estas formas de energia específica podem ser vistas como equivalentes aos comprimentos de água), o que é mais fácil.

Os valores dos termos são :

$$z_1 = \underline{1,5 m} \quad e \quad z_2 = \underline{0}$$

O termo $\frac{P}{\rho g}$ tem uma dimensão de m' , então com a conversão $1 kg/cm^2 = 10 m H_2O$:

$$\frac{P_1}{\rho g} \text{ é igual } 0,690 \times 10 m = \underline{6,9 m}$$

$$\frac{P_2}{\rho g} \text{ é igual } -0,414 \times 10 m = \underline{-4,14 m}$$

$$v_1 = \frac{Q}{S_1} \quad Q = 424 \text{ l/s} = 0,425 m^3/s$$

$$S_1 = \frac{\pi}{4} 0,3^2 m^2 = 0,07 m^2$$

$$= 6,1 m/s \quad \text{ou} \quad \frac{v_1^2}{2g} = \underline{1,9 m'}$$

$$v_2 = \frac{Q}{S_2} \quad S_2 = \frac{\pi}{4} 0,45^2 m^2 = 0,159 m^2$$

$$= 2,67 m/s \quad \text{ou} \quad \frac{v_2^2}{2g} = \underline{0,36 m'}$$

Substituindo na fórmula :

$$\begin{aligned} \Delta H_{12} &= (1,5 + 6,9 + 1,9) - (0 - 4,14 + 0,36) m' \\ &= 10,3 + 3,78 m' = 14,08 m' \end{aligned}$$

Realmente esta perda de energia específica é energia absorvida pela turbina, então :

A potência absorvida pela turbina :

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H_{12}$$

$$1000 \times 9,81 \times 0,424 \times 14,08 = 58564,92$$

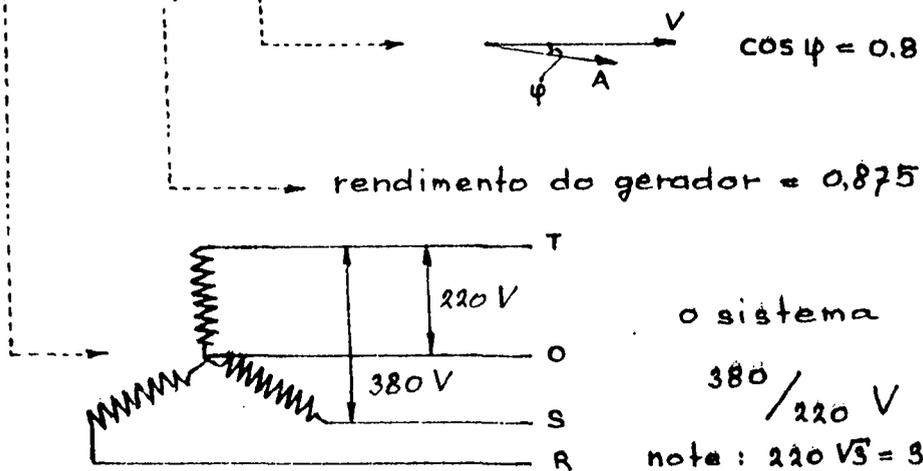
$\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ $\frac{\text{N}}{\text{Kg}}$ $\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$ m $\frac{\text{Nm}}{\text{seg}}$

$$= \underline{\underline{58,565 \text{ kW}}}$$

A potência fornecida pela turbina :

$$P_f = 0,85 \times 58,565 \text{ kW} = \underline{\underline{49,78 \text{ kW}}}$$

Quando a carga é máxima, a corrente de electricidade "I" é, no caso do sistema trifásico :

$$P_f = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \eta \cdot \cos \varphi$$


$\cos \varphi = 0,8$

rendimento do gerador = 0,875

o sistema
380 / 220 V
note : $220 \sqrt{3} = 380$

$$49780 = 380 \times I \times 1,73 \times 0,875 \times 0,8 \quad \text{ou}$$

o que é o mesmo que

$$49780 = 3 \times 220 \times I \times 0,875 \times 0,8$$

$$I = \underline{\underline{108 \text{ amp. máxima}}}$$

No clima tropical é melhor diminuir este máximo até $\pm 90\%$;

isto é 90 amp.

ENERGIA ESPECÍFICA (grandeza por unidade de peso) Exprimido nas Alturas de Água \Leftrightarrow POTÊNCIA

Devido ao atrito, a energia total, exprimido em altura de água, não é a mesma entre os secções "1" e "2" dum tubo.

Num gráfico pode indicar a diferença entre as alturas de água (piezómetro !) mas também a diferença entre a potência calculada para a secção "1" e para a secção "2".

A potência perdida pelo escoamento entre as secções "1" e "2" é :

$$P_{12} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H_{12} \text{ watt}$$

A base da lei de Newton $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{N}}{\text{kg}} \times \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times \text{m} \right] = \left[\frac{\text{N}}{\text{seg}} \times \text{m} \right] = \frac{\text{J}}{\text{seg}} = \underline{\underline{\text{watt}}}$

A mesma coisa se encontra numa bomba ! Mas agora ao contrário

Bombas são máquinas cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia estática e cinética.

Isto para vencer a resistência (atrito etc.) e levar o líquido a um nível de energia mais alto, como é indicado num gráfico à direita.

A potência que seja transmitido pela bomba ao líquido, neste caso é :

$$P_{12} = \rho \cdot g \cdot Q_e \cdot H_{man} \text{ watt}$$

Então a potência fornecido pelo motor ao eixo da bomba representado por N_m é :

$$N_m = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_e \cdot H_{man}}{\eta_b} \text{ watt}$$

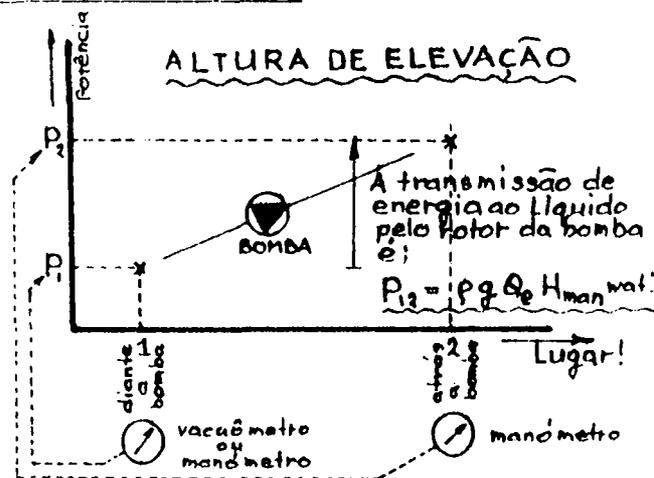
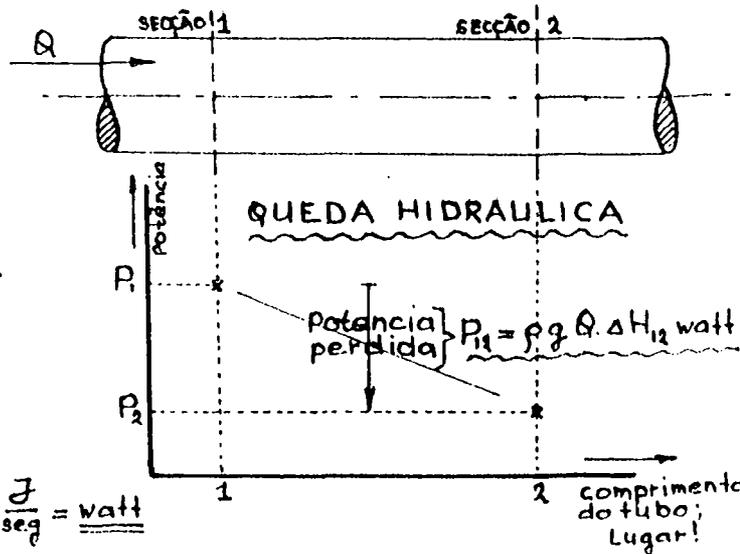
para dimensões vein $\rightarrow \eta_b = \text{o rendimento da bomba}$

ou no caso de água ($\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$) e com o caudal em m^3/h :

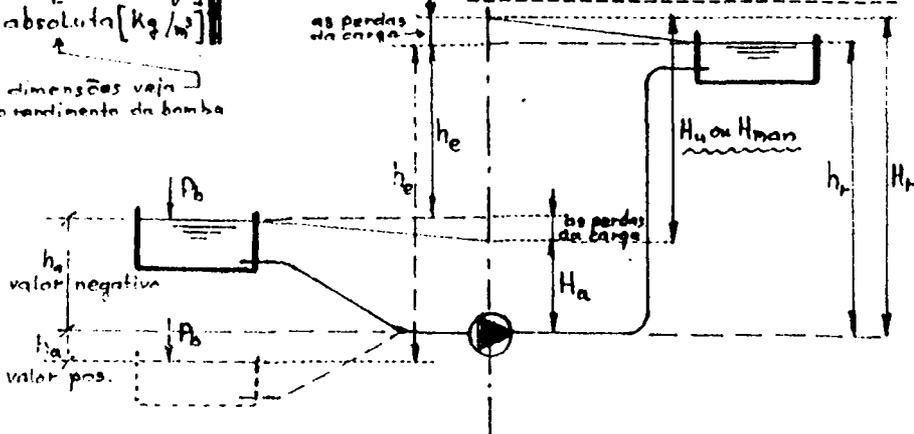
$$N_m = \frac{Q_e \cdot H_{man}}{\eta_b} \cdot 2,73 \text{ watt}$$

ou com i.c.v. = 736 watt

$$N_m = \frac{Q_e \cdot H_{man}}{270 \cdot \eta_b} \text{ C.V.}$$



os metros indicam os valores de alturas específicas do líquido (valores dinâmicos) diante e atrás da bomba. A diferença destas leituras chama-se a altura manométrica de elevação ou altura manométrica (H_{man}).



ALTURAS DE NÍVEIS

h_a = Altura estática de aspiração
 h_r = " " " recalque
 h_e = " " " elevação

ALTURAS DINAMICAS

H_a = Altura manométrica de aspiração
 H_r = " " " recalque
 H_{man} = Altura manométrica (de elevação).

$$h_e = h_r \pm h_a$$

P_b = pressão barométrica $\approx 10 \text{ m.c.a.} (= H_b)$

$$H_{man} = H_r \pm H_a$$

Isto é a energia dinâmica (específica) total.

6.9 EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO OU O TEOREMA DE EULER.

Como já foi dito, o teorema de Bernoulli pode ser aplicado ao longo duma trajectória, no caso dum fluido incompressível em regime permanente (temperatura constante) em que se possam desprezar as forças de atrito e consequentemente, as perdas de energia. Neste caso a carga total é constante. Nós consideramos a água incompressível e em muitas situações de abastecimento de água em regime permanente também. Mas nem sempre é este o facto real. Por exemplo no caso dum rio ou canal em que o escoamento é muito rápido não devem ser desprezadas as forças de atrito. Também, a lei de Bernoulli não é válida quando a corrente de água for retardada por meio dum alargamento muito acentuado. A mesma coisa no caso contrário quando uma grande aceleração de água é causada por um estrangulamento; aquela lei continua não sendo válida.

No parágrafo anterior iludí dum certo modo o problema que muitas vezes é possível encontrar dentro dos sistemas de abastecimento de água. Mais ou menos a mesma coisa é o facto de calcular o diâmetro das condutas na rede de distribuição de água ou da conduta de transporte. Nestes casos é possível utilizar métodos particulares, os quais são desenvolvidos por meio duma combinação de teorias e experiências práticas, veja para. 7.

Em outros casos, em que não é possível desprezar as forças de atrito ou iludir este problema, como os indicados atrás, tem que se utilizar o teorema de Euler ou também denominado por " Equação da Quantidade de Movimento ".

Aqui este teorema não é tratado profundamente mas um curso de hidráulica não seria completo se não se referisse minimamente a este teorema.

A "Equação da Quantidade de Movimento " é o teor das palavras :

Impulso gerado = Variação da quantidade de movimento

Em fórmula : $\int_{t=t_1}^{t=t_2} \bar{F}.dt = m v_2 - m v_1$ ou na

prática : $F. \Delta t = m v_2 - m v_1$

Em que : $F = \text{força [N]}$
 $\Delta t = \text{pequeno periodo de } t, \rightarrow t_2 \text{ [seg.]}$
 $m = \text{massa [Kg]}$
 $v_1, v_2 = \text{velocidade [m/seg.]}$

Esta equação tem que ser aplicado só a uma determinada massa numa determinada direcção (a direcção da força que actua sobre a massa). O produto " mv " chama-se quantidade de movimento duma partícula de massa " m " que se move com a velocidade " v ". Este produto tem as dimensões :

$$[m \times v] = [ma \times t] \quad \left. \begin{array}{l} \text{força} \times \text{tempo} \\ \text{"tempo" [seg]} \\ \text{de acordo com Newton: "força" [N]} \end{array} \right\}$$

A quantidade de movimento de uma massa líquida será a soma das quantidades de movimento das partículas.

O produto " $F \cdot \Delta t$ " chama-se impulso das forças que actuam sobre o movimento duma partícula de massa " m " durante o pequeno intervalo de tempo " Δt ". Este produto tem as dimensões :

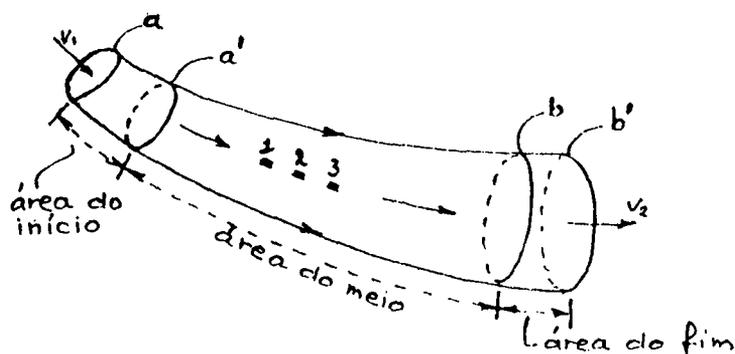
$$[N \times \text{seg.}] \longrightarrow \text{força} \times \text{tempo} !$$

O impulso total das forças que actuam na direcção do movimento duma massa líquida será dado pela multiplicação da resultante ou soma de todas as forças que actuam nas partículas na direcção do movimento, pelo tempo. Então:

$$\underline{\underline{\sum F \cdot \Delta t = mv_2 - mv_1 = m(v_2 - v_1)}}$$

Considere-se um tubo de corrente com um massa de líquido " m " entre as secções rectas " a " e " b " e o líquido corre da esquerda para a

direita, como se indica na figura.



Depois dum certo intervalo de tempo " Δt " a massa " m " será deslocada pouco para a direita e encontrar-se-á entre as secções " a' " e " b' ".

Durante o mesmo intervalo de tempo a partícula "1" irá ocupar o lugar duma outra partícula "2", que também se deslocou para a direita e foi ocupar o lugar duma partícula "3", etc.

Portanto no interior de toda a "área do meio" nada se altera !

No início do pequeno intervalo de tempo " Δt " vale :

$$(\text{Quantidade de movimento})_i = (mv)_{\text{área do início}} + (mv)_{\text{área do meio}} \quad (1)$$

No fim do intervalo " Δt " vale :

$$(Quantidade\ de\ movimento)_{t_2} = (mv)_{\text{área do meio}} + (mv)_{\text{área do fim}} \quad (2)$$

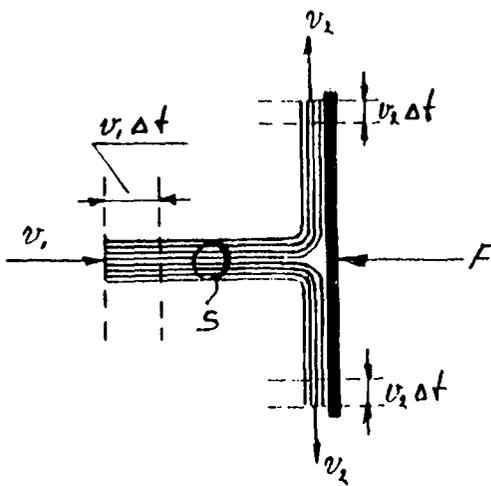
Portanto : durante o pequeno intervalo de tempo $t_2 - t_1 = \Delta t$ encontra-se um aumento da quantidade de movimento igual a :

$$(2) - (1) = (mv)_{\text{área do fim}} - (mv)_{\text{área do início}} = F \cdot \Delta t$$

Por palavras :

O aumento da quantidade de movimento é igual à quantidade de movimento na área do fim diminuído da quantidade de movimento na área do início.

6.9.1 Exemplo.



Um esguicho de água com secção " S " encontra uma chapa de material rígido com velocidade constante, veja a figura.

Durante o intervalo de tempo " Δt " flui uma quantidade do líquido igual a

$$v_1 \Delta t \cdot S \quad \text{m}^3/\text{seg.}$$

contra a chapa. A massa deste é

$$\rho v_1 \Delta t S \quad \text{kg.}$$

Aplica-se a "Equação da quantidade de movimento" na direcção deste esguicho.

Nesta direcção só actua a força " F " oposta à massa de água. Esta força " F " é fornecida pela chapa.

A gravidade também actua sobre esta massa de água, mas é perpendicular à direcção considerada, portanto não tem que ser incluída na equação.

Então a equação é :

$$F \cdot \Delta t = (mv_2)_{\text{fim}} - (mv_1)_{\text{início}}$$

Devido ao facto da velocidade no fim da massa de água considerada ser também perpendicular à direcção considerada, terá que ser $(mv)_{\text{fim}} = 0$

Quer dizer neste caso :

$$F \cdot \Delta t = 0 - \rho \cdot v_i \cdot \Delta t \cdot S \cdot v_i ;$$

ou

$$F = S \rho v_i^2$$

$$\left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2} \right] \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \left[\frac{\text{m}^2}{\text{seg}^2} \right] \rightarrow \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}^2} = \text{newton},$$

veja para 6.1

O sinal negativo indica que a força é oposta a direcção considerada..

Suponha que este esquicho saiu duma mangueira, cujo diâmetro interno é igual a 5cm e a quantidade de água é 20 m³/h

Então a força

$$F = S \rho v^2, \text{ em que } S = \frac{\pi}{4} 0,05^2 \text{ m}^2 = \frac{25 \pi}{4 \cdot 10^4} \text{ m}^2$$

$$Q = \frac{20}{3600} \text{ m}^3/\text{seg}.$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{20 \cdot 4 \cdot 10^4}{3600 \cdot 25 \cdot \pi}$$

$$= 2,82 \text{ m/seg}.$$

$$F = \frac{25 \pi}{4 \cdot 10^4} \cdot 1000 \cdot \left(\frac{20 \cdot 4 \cdot 10^4}{3600 \cdot 25 \cdot \pi} \right)^2 \text{ newton}$$

$$= \underline{\underline{15,7 \text{ N}}}$$

7. ESCOAMENTOS EM PRESSÃO (TUBAGEM).

7.1 MOVIMENTO LAMINAR E MOVIMENTO TURBULENTO.

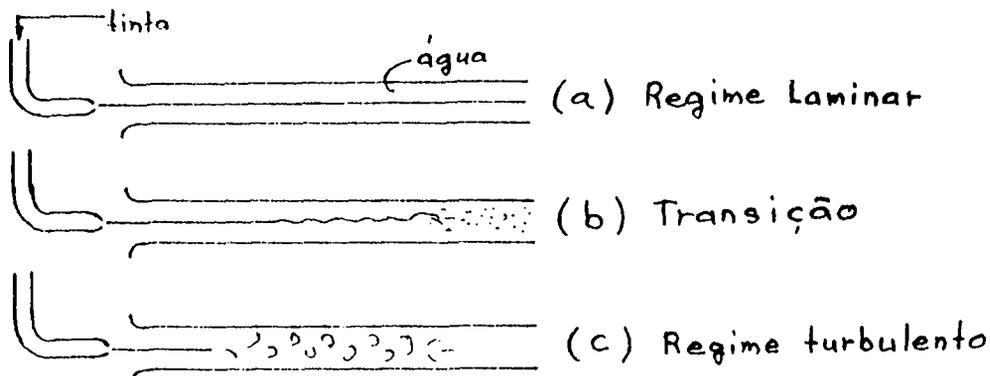
Existem dois tipos de movimento dos fluidos ;

movimento laminar ou viscoso, em que cada partícula descreve uma trajectória bem definida, com velocidade unicamente no sentido do escoamento ;

movimento turbulento ou hidráulico (por ser o mais habitual nos fenómenos hidráulicos), em que cada partícula, além da velocidade no sentido do escoamento, está animada de movimento de agitação, com velocidades transversais ao escoamento.

A turbulência é provocada fundamentalmente pela viscosidade: o número de Reynolds, Re , é pois o parâmetro característico: para valores baixos de Re , o escoamento é laminar; para valores mais elevados o escoamento é turbulento. Veja N.B.1 e N.B.2 deste parágrafo.

Para melhor percepção destas, descreve-se, sumariamente, a experiência clássica de Reynolds, veja a figura abaixo.



Faz-se passar água limpa num tubo de vidro transparente, no início do qual se introduz um pequeno filamento, fortemente colorido, com direcção coincidente ao eixo do tubo. Se a velocidade da água no tubo é relativamente pequena, o filamento colorido mantém-se rectilíneo e coincidente ao eixo do tubo; ao aumentar a velocidade da água no tubo, o filamento colorido mistura-se com toda a massa de água, a qual confere uma ligeira coloração uniforme.

O movimento turbulento assemelha-se a um conjunto de movimentos turbilhonares, constituídos por vórtices de várias dimensões e várias frequências, sobrepondo-se dum modo aleatório no meio do escoamento.

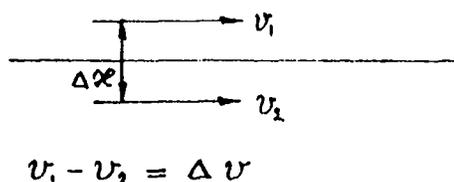
7.1.1 A noção de viscosidade.

Para facilitar os cálculos de hidráulica muitas vezes considera-se o líquido, neste caso a água, sendo ideal, veja N.B.1 de para 6.8.1 . Quer dizer não incompressível e em cujas moléculas não se verificam forças tangenciais de atrito, de modo que não haja perdas de energia. Porém este líquido perfeito não existe e oposto a este temos o líquido viscoso.

A água tem uma certa viscosidade. A viscosidade é um parâmetro que indica a facilidade dum gaz ou dum líquido para fluir. Uma viscosidade mais alta indica que o fluido tem menos capacidade de fluir. Por exemplo a viscosidade da água é menor do que óleo. A facilidade do escoamento subterrâneo através dos poros do subsolo (permeabilidade) depende da viscosidade.

Para compreender este fenômeno podemos pensar em duas placas de superfície S , que se movem à distância Δx , e à velocidade relativa Δv . É claro que há uma resistência. Uma resistência de uma

contra a outra.



Esta resistência contra o deslocamento, portanto contra a corrente, é causada pelas forças (ΔF) tangenciais, mencionadas acima, entre as moléculas do líquido.

Então quanto maior fôr esta resistência interna dum líquido, tanto mais dificilmente o líquido correrá; quer dizer a viscosidade será alta (por exemplo: óleo ou ainda mais o xarope).

Ao contrário, por exemplo a água, cuja viscosidade é baixa.

A viscosidade depende do tipo de líquido e da temperatura. Quando a temperatura aumenta a viscosidade baixa (por exemplo: o aquecimento do óleo).

O parâmetro que traduz a existência de forças tangenciais nos líquidos em movimento é o coeficiente de viscosidade dinâmica " μ "

Na fórmula :

$$\tau = \mu \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

Em que :

τ (tau) = a tensão unitária $\left(= \frac{\Delta F}{S} \right)$, necessária para deslocamento como já foi mencionado acima.

Os outros factores já foram explicados no texto.

A viscosidade dinâmica μ é somente um factor de proporção.

As dimensões são : $\left[\frac{N}{m^2} = \mu \frac{m/seg.}{m} \right]$ ou

$$\mu = \frac{Ns}{m^2} = Pl (= \text{poiseuille})$$

Ao lado disso introduzem-se o coeficiente de viscosidade cinemática "v". Isto é, o quociente entre o coeficiente de viscosidade dinâmica pela massa específica (densidade absoluta) :

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

No Sistema Internacional exprime-se em $m^2/seg.$

Como μ , conseqüentemente v depende também da temperatura, veja a tabela em baixo para água.

Temperatura T: °C	Massa específica ρ : kg/m ³	Viscosidade cinemática v: m ² /s
0	999,9	1,78 x 10
4	1000,0	1,57 x 10
10	999,7	1,31 x 10
20	998,2	1,01 x 10
30	995,7	0,83 x 10
40	992,2	0,66 x 10
50	988,1	0,56 x 10
60	983,2	0,47 x 10
80	971,8	0,37 x 10
100	958,4	0,29 x 10

7.1.2 O número de Reynolds.

Segundo o que ficou demonstrado por Reynolds (veja também o começo deste capítulo), o aparecimento e permanência de um ou outro tipo de movimento está na dependência dos valores assumidos por um fator adimensional, denominado:

Número de Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

sendo " v " a velocidade de translação da massa líquida.

" D " o diâmetro da conduta.

" ν " o coeficiente da viscosidade cinemática do líquido.

Para os valores de Re entre 1500 e 3000 o escoamento pode ser tanto laminar como turbulento.

Para : Re < 1500 o movimento é sempre laminar.

Re > 12000 " " " " turbulento.

2000 < Re < 12000 é possível existência de um ou outro tipo de movimento.

Por exemplo:

Numa conduta de 100 mm corre água a 10 °C com a velocidade de 0,5 m/s.

Então:

Re = $\frac{0,5 \times 0,100}{1,31 \times 10^{-6}}$ = 38000 , portanto o escoamento é turbulento.

Importante !

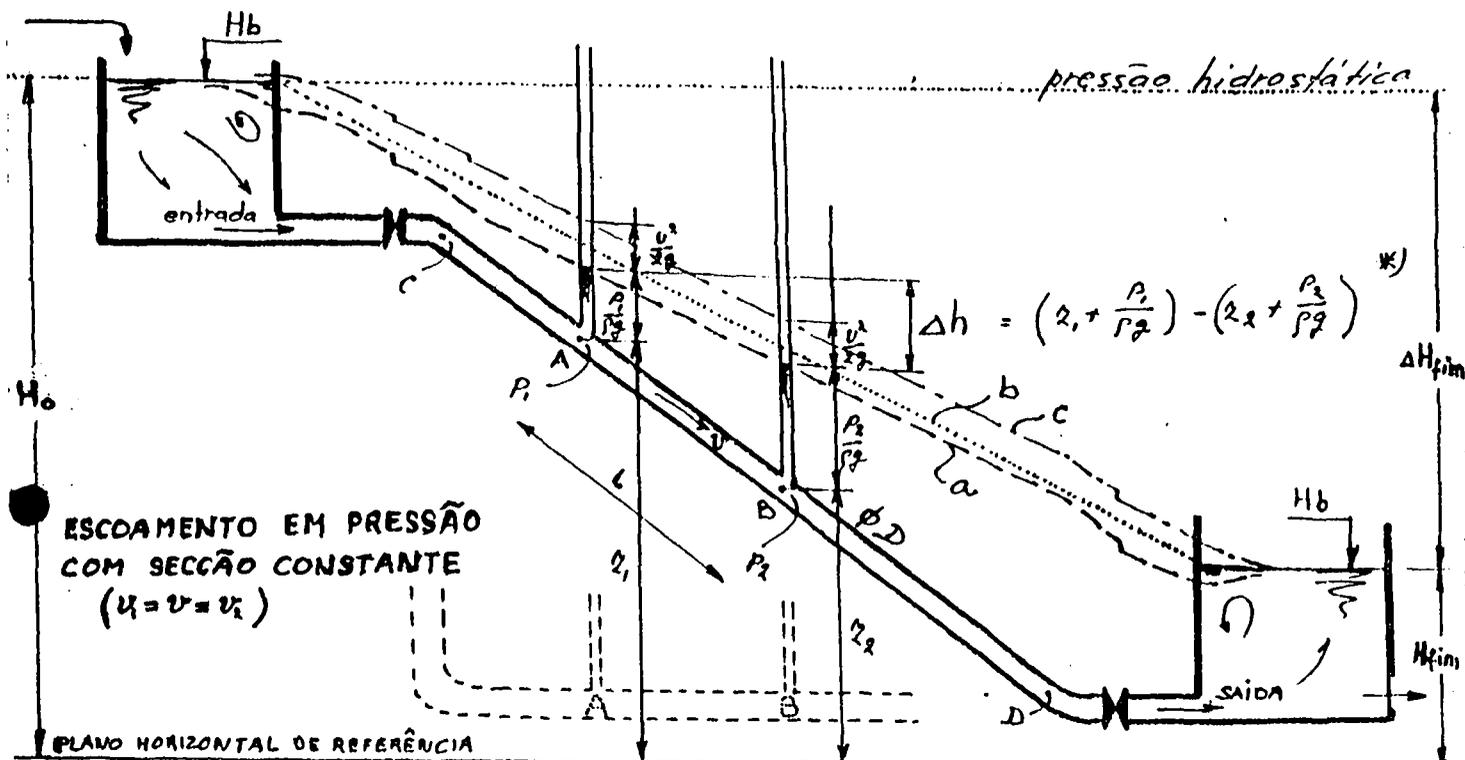
No abastecimento de água a maioria dos escoamentos dos líquidos através das condutas são do regime turbulento.

Calcule este "número de Reynolds", quando a velocidade de água na conduta é 1 m/s e no máximo 1,5 m/s .

Estes valores são óptimos, nos sistemas de abastecimento de água.

7.2 PERDAS DE ENERGIA (COM ANEXO PARA O CALCULO DE CONDUTAS EM REGIME PERMANENTE UNIFORME.).

Considere-se um tubo em pressão, de secção constante que liga entre si dois reservatórios de nível constante como indica a figura a baixo.



a = Linha piezométrica.

b = Tomam-se na prática esta linha para o nível piezométrica, porque muitas vezes as perdas de pressão devido às singularidades, como curvas, entrada, saída, alargamentos, estreitamentos, etc., podem ser desprezadas quanto à diferença de pressão necessária para o transporte de água através duma conduta. Quer dizer no caso do comprimento "L" ser relativamente muito grande.

c = Linha de energia específica.

Δh = A pressão, necessária para o transporte de água através da conduta, limitando a parte ao comprimento "L" (a distância entre A e B):

H_b = Pressão atmosférica.

Neste caso:

A diferença na energia total (ΔH) entre os pontos A e B é igual à diferença na pressão (Δh) destes pontos!

$$H_A = z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

$$- H_B = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H = \Delta h = \left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right)$$

Esta energia cinética fica dentro o movimento durante o transporte.

Há dois tipos de perdas de energia a considerar :

- PERDAS CONTINUAS, ao longo do tubo, por atrito entre o fluido e a secção do tubo.
- PERDAS LOCALIZADAS, na entrada, na saída ou noutras singularidades, tais como estreitamentos, alargamentos, curvas, válvulas, etc.

No caso do tubo horizontal com um trajecto "L", vale $z_1 = z_2 = z$ e Δh é igual $\frac{P_1 - P_2}{\rho g}$, mas o nível piezométrica fica o mesmo e a pressão dentro o tubo é mais alto.

Sendo as perdas de energia provocadas por atrito entre o fluido e as paredes, e dentro do próprio fluido, e sendo as forças de atrito ocasionadas pela viscosidade; as perdas de energia são função do número de Reynolds, já atrás definido, da rugosidade da parede, e da forma da transição, veja N.B.1 e N.B.2 na para. 7.1 .

7.2.1 PERDAS CONTÍNUAS ou PERDAS DE CARGA EM ENCANAMENTOS.

- a) Representar-se-á por "i" a perda de energia por unidade de peso (força) escoado e por unidade de comprimento percorrido.

Entre dois pontos afastados de distância "L", a perda contínua de energia será então ;

$$\Delta h^{**} = h_1 - h_2 = iL \quad \text{ou} \quad i = \frac{\Delta h}{L} \quad \left[\frac{m'}{m'} \right]$$

Em que $h_1 = z_1 + \frac{P_1}{\rho g}$

$h_2 = z_2 + \frac{P_2}{\rho g}$

"i" chama-se também a declividade piezométrica ou perda de carga unitária

As perdas contínuas Δh numa conduta dependem ;

- do comprimento "L",
- das características do líquido (viscosidade " μ " e densidade absoluta " ρ "),
- das características da conduta (diâmetro "D" e rugosidade "k"),
- da característica do movimento "v".

É claro, quando se reflecte nisso !

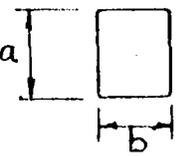
Porém com a equação de quantidade de movimento pode-se calcular a expressão geral da perda de carga. Sendo para ;

um tubo redondo :



$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^5}{2g}$$

um tubo quadrado :



$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{L(a+b)}{2ab} \cdot \frac{v^5}{2g}$$

Em que ; " λ " é um coeficiente adimensional, denominada :

COEFICIENTE DE ATRITO.

IMPORTANTE !

PARA UMA CONDUTA REDONDA COM O DIÂMETRO "D" OU CONDUTA QUADRADO COM AS PAREDES "a" E "b", O COEFICIENTE DE ATRITO " λ " É EXPRESSO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE REYNOLDS " Re " E / OU DA RUGOSIDADE "k".
ISSO DEPENDE DO TIPO DE MOVIMENTO, COMO INDICA NO PARÁGRAFO 7.2.1 b !

Para o número de Reynolds ($Re = \frac{vD}{\nu}$) veja N.B.2 do para. 7.1.2 .

*) No caso de desprezo (relativamente) das perdas localizadas vale também :

$$\Delta H = H_1 - H_2 = i \times \text{distancia C-D}$$

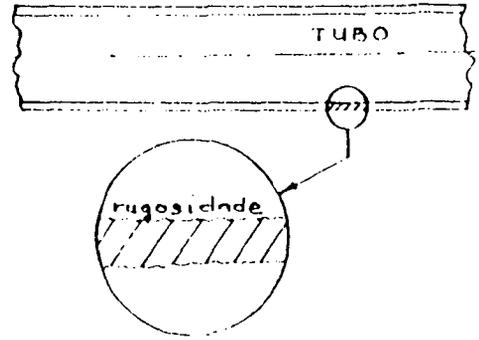
***) Darcy e Weisbach chegam a esta expressão geral da perda de carga válida para qualquer líquido.

O factor "k" indica a grandeza da aspereza das paredes, da desigualdade da parede, com dimensão [m' ou mm']

Os valores do coeficiente de rugosidade

"k" são determinados experimentalmente para diversos materiais de tubagem, usado no abastecimento de água.

Veja a tabela a baixo.



VALORES DE RUGOSIDADE.

(valores média)

DESCRIÇÃO	k [m']	k [mm']
Tubos de vidro	1 x 10 ⁻⁵	0,01
" " abastocimentos, revestidos (de epoxy)	1 x 10 ⁻⁵	0,01
" " plásticos de pequeno diam.	1 x 10 ⁻⁵	0,01
" " plásticos	2 x 10 ⁻⁵	0,02
" " abastocimentos (liso)	2,5 x 10 ⁻⁵	0,025
" " ferro forjado, aço	5 x 10 ⁻⁵	0,05
" " " fundido, revestidos (de asfalto)	12 x 10 ⁻⁵	0,12
" " " "	25 x 10 ⁻⁵	0,25
Cimento liso, concreto	1 x 10 ⁻⁴	0,1
Tubos de abastocimentos	1 x 10 ⁻⁴	0,1
" " aço zincados (novos)	1 x 10 ⁻⁴	0,1
Cimento mais ou menos rugoso	2 x 10 ⁻⁴	0,2
Tubo de betão (aço sob tensão)	2 x 10 ⁻⁴	0,2
Condutas de madeira	5 x 10 ⁻⁴	0,5
" " concreto centrifugado	5 x 10 ⁻⁴	0,5
Tubos de betão	1 x 10 ⁻³	1
" " inteiros de aço fortemente (enferrujados)	1 x 10 ⁻³	1
Condutas de aço rebitado	5 x 10 ⁻³	5
Tubos de ferro velho	5 x 10 ⁻³	5

7.2.1 AS RELAÇÕES ENTRE λ , Re , k , D , ν !

- b) Estas relações podem ser imaginadas através de gráficos como indicado pela figura 1 anexo.

Nestes gráficos pode-se notar o seguinte :

O trecho **(a)** corresponde ao regime laminar, no qual o coeficiente de atrito λ é dado por ;

$$\lambda = \frac{64}{Re} \leftarrow \text{Linha "a"}$$

No regime turbulento podem ocorrer vários casos. Veja-se a zona **(c)**, a zona intermediária corresponde aos casos em que o escoamento depende simultaneamente de " Re " e de $\frac{k}{D}$.

É claro que a influência da rugosidade é determinada também pelo diâmetro da conduta, daí a grandeza $\frac{k}{D}$.

Neste caso vale a equação de Colebrook !

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{0,4 Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 D} \right) \right]^2}$$

É o termo de " $\frac{k}{D}$ " !
 é o termo de " Re " !

A zona **(b)** corresponde aos tubos chamados hidráulicamente lisos, ou seja condutas nas quais a influência da rugosidade relativa é tão pequena, que o escoamento pode ser considerado função unicamente do número de Reynolds.

Então na equação de Colebrook deve-se desprezar o termo " $\frac{k}{D}$ ", sendo muito pequeno em relação ao número de Reynolds.

Vale conseqüentemente a equação reduzida até :

$$\lambda = \frac{0,25}{(\log 0,4 \cdot Re \cdot \sqrt{\lambda})^2}$$

No gráfico a zona (c) passa na zona (b) :

Finalmente a zona (d) corresponde aos tubos nos quais o movimento depende fundamentalmente só da rugosidade relativa " $\frac{k}{D}$ ". Agora devem-se desprezar o termo de " Re " na equação de Colebrook e vale a equação reduzida até

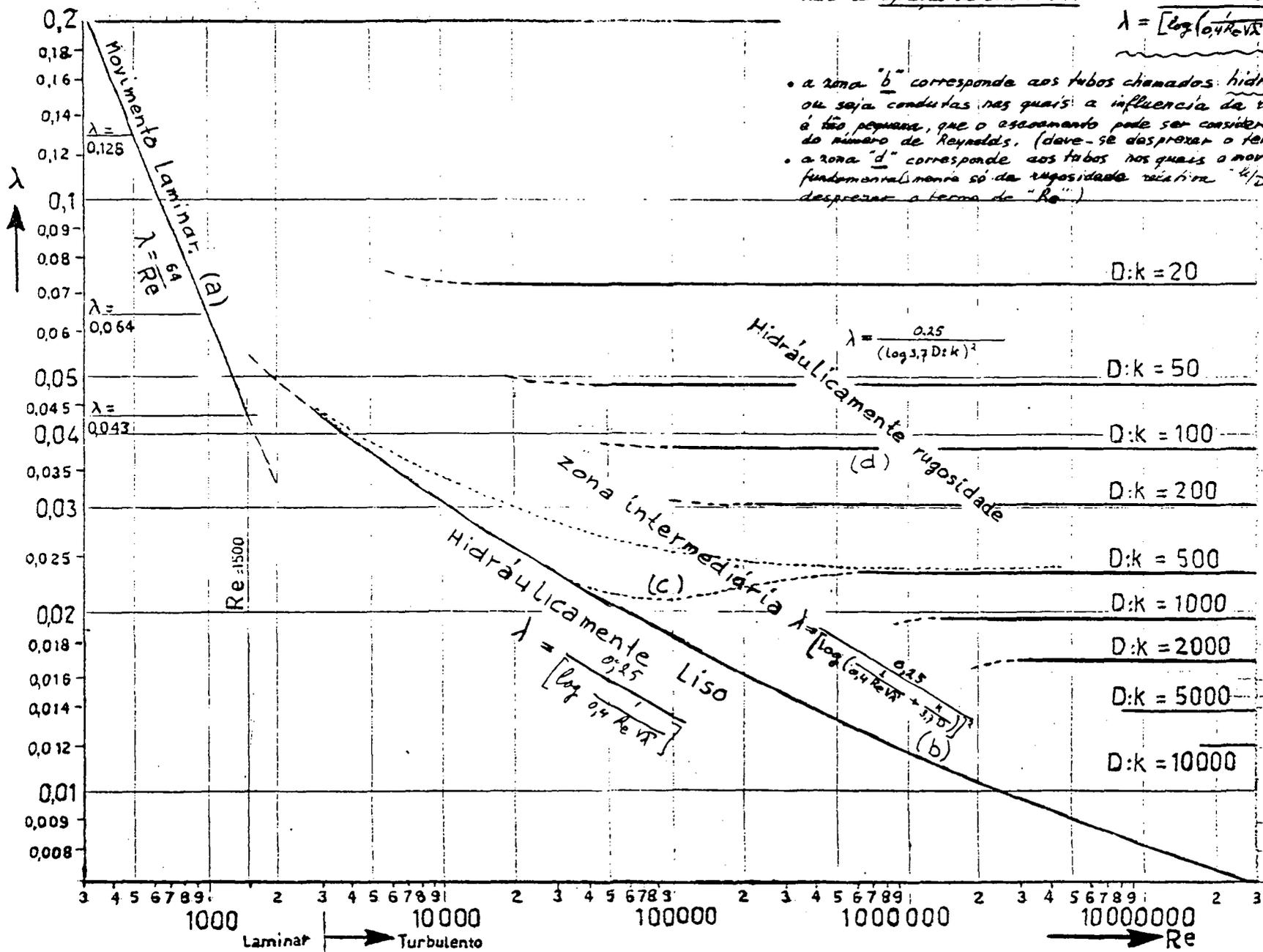
$$\lambda = \frac{0,25}{(\log 3,7 \frac{D}{k})^2}$$

No gráfico a zona (c) tinha passado na zona (d), sendo esta limitada pelas linhas horizontais.

Quando λ já está determinado podem-se calcular Δh ou $\frac{\Delta h}{L} = i$ por meio da fórmula básica :

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^3}{2g}$$

FIGURA 1



No regime turbulento podem ocorrer vários casos...
 • a zona "b" = a zona intermediária corresponde aos casos em que o escoamento depende simultaneamente de "Re" e de "D/k".
 Vale a equação de Colebrook: $\lambda = \frac{0.25}{[\log(\frac{0.4 Re \sqrt{\lambda}}{3.7 D})]^2}$

- a zona "b" corresponde aos tubos chamados hidráulicamente lisos, ou seja condutas nas quais a influência da rugosidade relativa é tão pequena, que o escoamento pode ser considerado fundado unicamente do número de Reynolds. (deve-se desprezar o termo $\frac{k}{D}$)
- a zona "d" corresponde aos tubos nos quais o movimento depende fundamentalmente só da rugosidade relativa $\frac{k}{D}$ (deve-se desprezar o termo de "Re")

7.2.1

- c) Realmente a fórmula de Colebrook pode ser usada sobre todas as zonas do regime turbulento, portanto tanto no regime : "hidráulicamente liso" como no regime : "hidráulicamente rugoso."

Por isso envolvem-se outros gráficos como mostrado na figura 2 anexo.

As curvas neste gráfico são proporcionadas como as zonas (c) e (d) da figura 1.

Por exemplo.

Através dum tubo de betão (aço sob tensão) com $\phi 400 \text{ mm}$ escoia um caudal de água de $300 \text{ m}^3/\text{h}$.

Qual é a perda de pressão por km ?

$$\begin{aligned} \text{A velocidade de água } v &= \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi D^2} = \frac{300/3600}{\frac{1}{4} \pi \cdot 0,4^2} = \\ &= 0,67 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Segundo a tabela para 7.1 (N.B.1) ; $\gamma_{30} = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\text{Então } Re = \frac{v D}{\gamma} = \frac{0,67 \cdot 0,4}{1,01 \cdot 10^{-6}} = 265000$$

O valor de rugosidade " k " = $2 \cdot 10^{-4}$ (veja para 7.2.1)

$$\text{e conseqüentemente } \frac{D}{k} = \frac{0,4}{0,002} = 2000$$

Na figura 2 deste parágrafo podem-se ver :

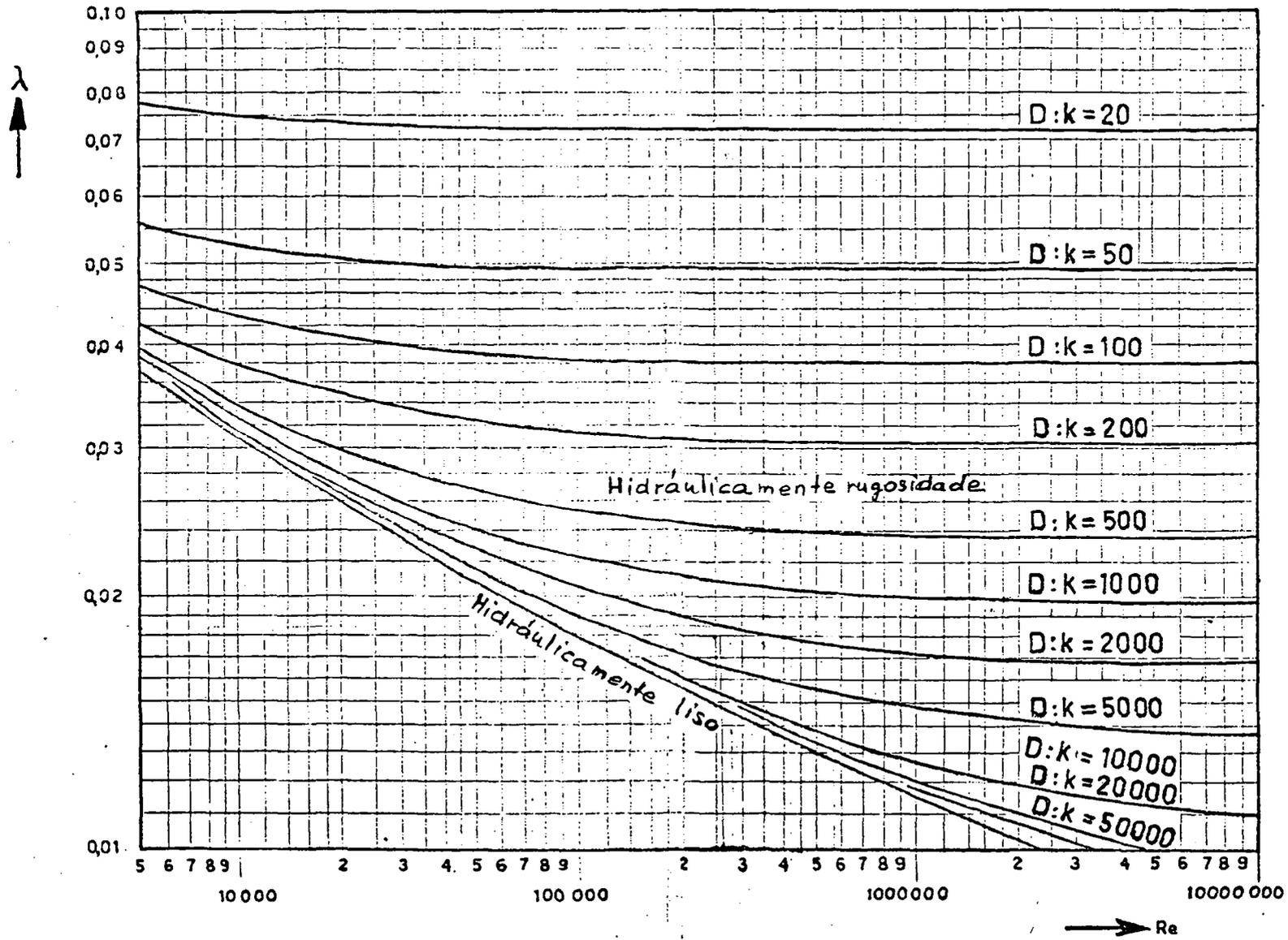
$$\lambda = 0,0184$$

Portanto :

$$\begin{aligned} i &= \frac{\Delta h}{L} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{0,0184}{0,4} \cdot \frac{0,67^2}{2 \cdot 9,81} = \\ &= \underline{0,00105 \text{ m' por m'}} \quad \text{ou} \\ &= \underline{1,05 \text{ m' por km.}} \end{aligned}$$

FIGURA

2



7.2.1

- d) O gráfico da figura 2 não é fácil para calcular o diâmetro duma conduta, dado o caudal e as perdas contínuas i ($= \frac{\Delta h}{\text{comprimento}}$)
Tenta-se !

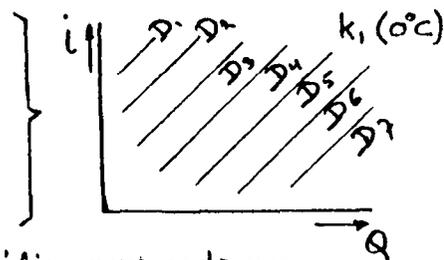
Por esta razão outros gráficos são estabelecidos por meio da combinação da fórmula Colebrook com a fórmula básica, da maneira seguinte :

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v^5}{2g} \quad \text{ou com } v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2} \text{ vale :}$$

$$i = \frac{16}{\pi^2 2g} \cdot \lambda \frac{Q^5}{D^5}, \text{ em que } \lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{0,4 Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 D} \right) \right]^2}$$

Então, nestas fórmulas encontram-se as variáveis :

$$\left. \begin{array}{l} i \quad [m'/m'] \\ Q \quad [m^3/h] \\ D \quad [m'] \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \left[\begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right] \\ i = f(Q), \text{ para cada } D \end{array} \right\}$$

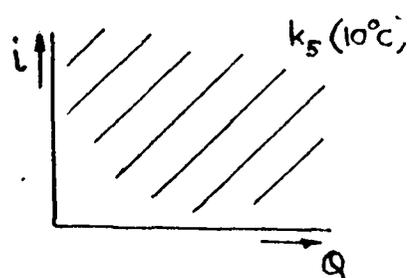


$k \quad [m'] \rightarrow$ Agora estabelece-se o mesmo gráfico para cada um dos valores de k , k_1, k_2, k_3, k_4 , etc.

$\lambda \quad [-] \rightarrow$ é substituído !

$\nu \quad [m^2/seg] \rightarrow$ pode ser considerado constante, que quer dizer escolhe $0^\circ C, 10^\circ C$, etc.

Note : $Re = f(\nu, v, D)$, em que $v = f(D, Q)$
indica função de



Como foi indicado nas figuras acima, é possível estabelecer um gráfico $i = f(Q)$, para cada valor de D e depois o mesmo para os valores de " k ". Só para valores encontrados normalmente no abastecimento de água. Esta maneira resulta em um série de gráficos, o que quer dizer um gráfico de resistência por cada valor de " k ".

Uma série destes gráficos pode-se encontrar junto ao fim deste parágrafo, mas a base de $10^\circ C$.

Estes gráficos de resistência por atrito na tubagem são estabelecidos por uma temperatura de 10°C e o valor do coeficiente de viscosidade cinemática " ν " está fixado a $1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$, veja a tabela do parágrafo 7.1.1.

O valor de " ν " não é muito variável entre 5°C e 12°C .

Por causa disto pode usar-se estes gráficos até $15^{\circ} - 16^{\circ}\text{C}$ sem considerar muito errado.

Se a média da temperatura da água se desviar muito dos valores indicados acima, é preciso ajustar os valores de resistência por atrito como foi obtido a partir destes gráficos mesmo, à base da água a 10°C .

Isto é possível por meio dum outro gráfico na página 88L o qual indica o decréscimo de resistência por atrito em percentagem, verificando-se o aumento de temperatura de água desde 10°C até 20°C .

Geralmente a partir dos gráficos de resistência por atrito à base da água a 10°C não é preciso corrigir quanto à temperatura, para a água fornecida pelas Empresas de Abastecimento de Água em Moçambique. Isto por que como já disse, a resistência por atrito diminui à medida que a temperatura aumenta. Então uma diferença de temperatura servirá de margem de segurança.

EXERCÍCIO 1.

Por uma conduta PVC com um diâmetro $D = 200 \text{ mm}$ e um comprimento de 800 m corre uma quantidade de água $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Qual devera ser a resistência por atrito exercida na tubagem?

Uma conduta PVC de 200 mm tem uma rugosidade de parede, $k = 0,01$, veja a tabela parágrafo 7.2.1a. Segundo o gráfico de página 88a encontra-se um valor de perda de carga unitária de $0,00107 \text{ m}'$ por m' exactamente.

Quer dizer para 800 m a perda de carga sobre este trajecto

$$\Delta H = 800 \times 0,00107 = \underline{\underline{0,856 \text{ m.c.a.}}}$$

EXERCÍCIO 2.

Uma tubulação de recalque de aço velho tem 1000 m de comprimento e o diâmetro é 250 mm .

A capacidade de água por hora a uma temperatura de 15° C é 264 m³/h. Deseja-se a perda de carga no recalque.

- Descarga Q = 264 / 3600 = 0,0733 m³/s

- Area da secção de escoamento do tubo S:

$S = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14 \times 0,25^2}{4} = 0,049 \text{ m}^2$

- Velocidade média "v":

$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0733}{0,049} = 1,5 \text{ m/s}$

- Segundo a tabela do parágrafo 7.2.1 A, a rugosidade do tubo de aço forjado, k = 0,05

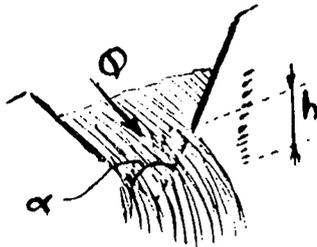
Então veja o gráfico de página 834 (10° C) indica para as perdas contínuas i = 0,008 m / m [= metro por metro]

- A perda de carga sobre este trajecto é igual

$0,008 \times 1000 \text{ m} = \underline{\underline{8 \text{ m.c.a.}}}$

- Ao fim do tubo está um torre. Cota de entrada de água +35 m acima do centro da bomba. Então a pressão manométrica da bomba,

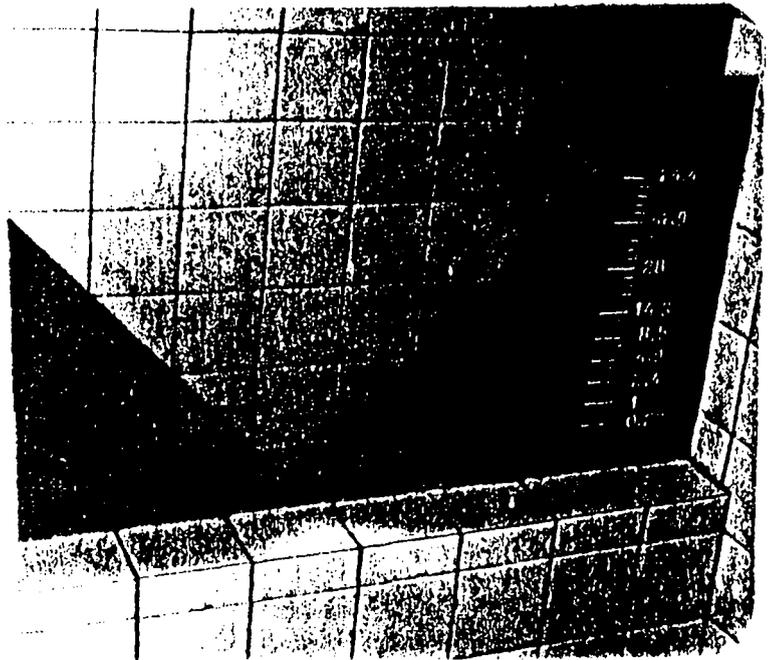
$H_{man} = 8 + 35 \text{ m} = \underline{\underline{43 \text{ m.c.a.}}}$



$Q = 1,39 \text{ tg. } \frac{1}{2} \alpha \cdot h^{5/2} \text{ m}^3/\text{s}$

se $\alpha = 90^\circ$

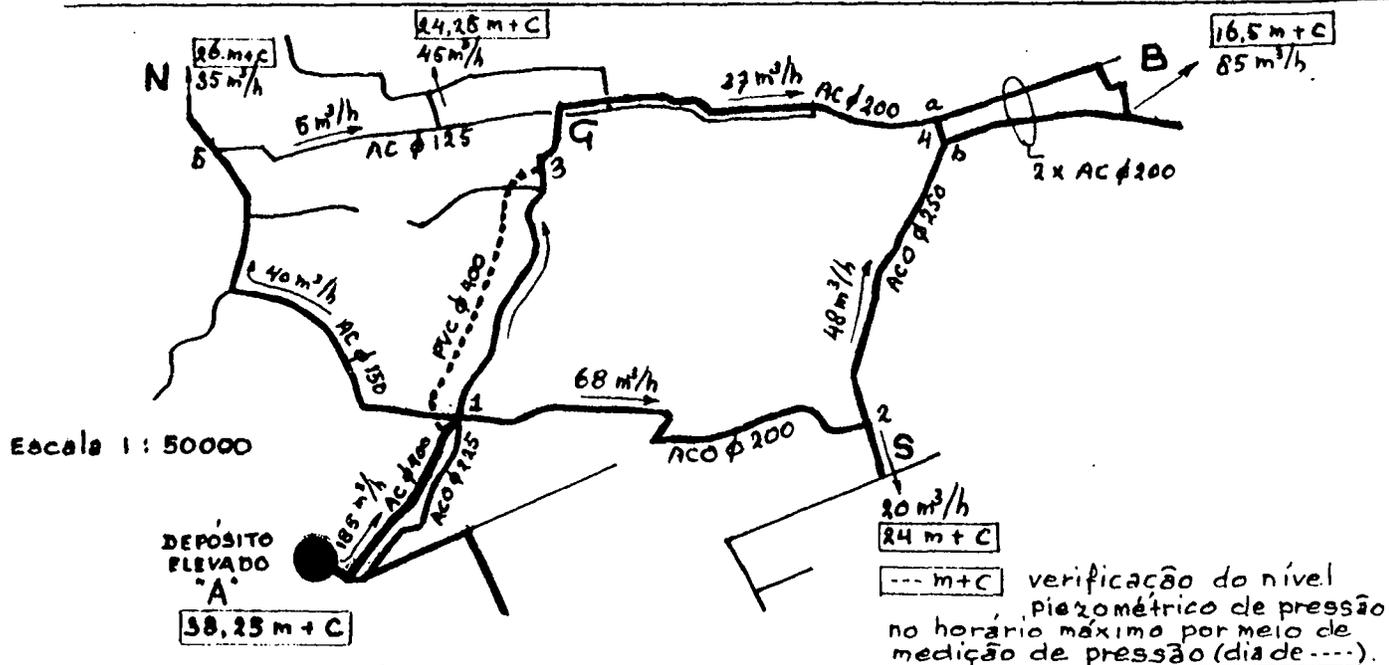
$Q = 1,39 h^{5/2} \text{ m}^3/\text{s}$



Vertedor triangular da Tompson para a medição do caudal.

EXERCÍCIO 3.

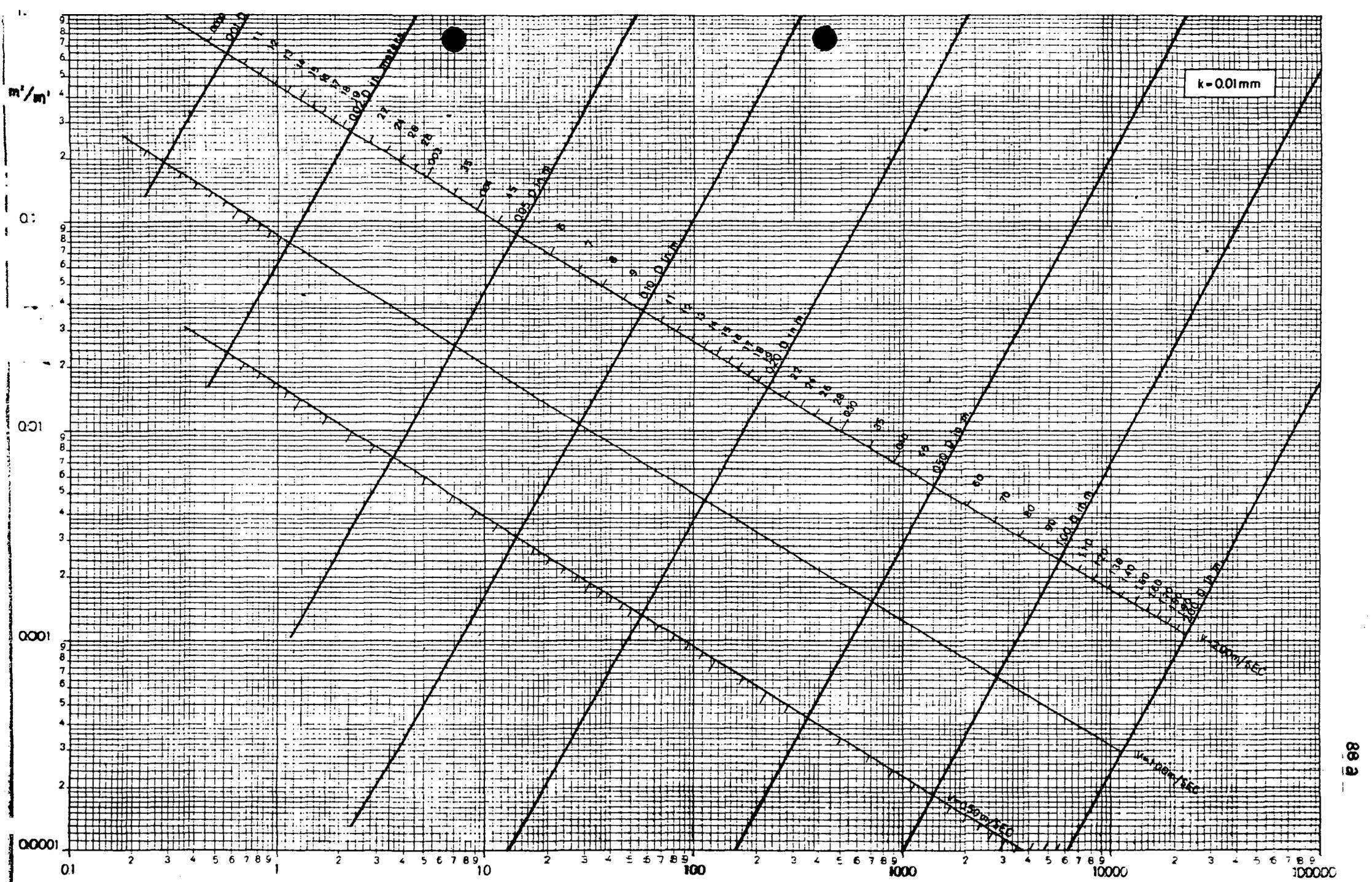
CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA NAS CONDUTAS DE TRANSPORTE DESDE O DEPÓSITO ELEVADO "A" PARA AS CIDADES "G", "N", "S", E "B", ÁREA DE PLANÍCIE.



ITEM	TRAJECTO	comprimento em m'	diâmetro em mm'	caudal em m ³ /h	perdas de carga		pressão em m' quanto à cota "C".	
					por km'	por conduta		
1	-	-	NÍVEL DE ÁGUA NO DEPÓSITO ELEVADO "A"				38,25	
2	A - 1	2350	∅ 225 ACO velho	2 } 28 185	0,32	0,75	37,50	
3	1 - 5	4000	∅ 400 AC	0,025 } 157				
4	5 - N	250	∅ 150 AC	0,025 } 40	2,8	11,2	26,30	
			∅ 125 AC	0,025 } 35	5,1	1,275	≈ 25 m.c.a.	
5	5 - 3	2500	∅ 125 AC	0,025	5	0,15	0,375	25,925
6	1 - 3	3500	∅ 200 ACO ferrujado	1 } 77	3,80	13,3	24,20	
7	3 - 4a	6750	∅ 200 AC	0,025 } 37	0,6	4,05	20,15	
8	1 - 2	3750	∅ 200 ACO velho	2	68	3,60	13,5	24
9	2 - S	200	∅ 200 ACO velho	2	20	-	-	≈ 24 m.c.a.
10	2 - 4b	3100	∅ 200 ACO ferrujado	1	48	1,50	4,65	19,35
11	4 - B	1500	2x ∅ 200 AC	0,025	85	0,7	1,12	≈ 18 m.c.a.

CONCLUSÃO :

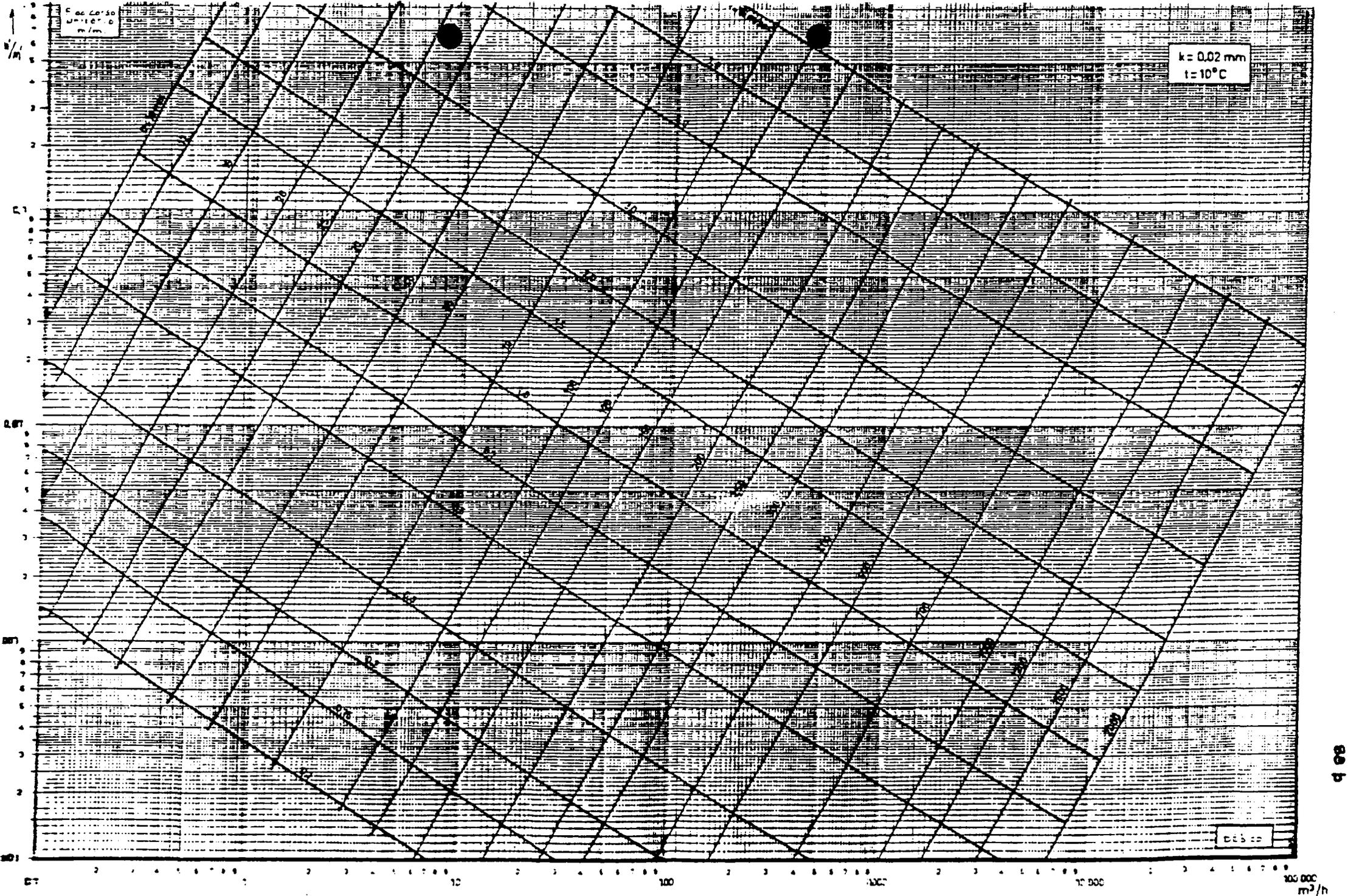
A altura do terreno a jusante B é : 3,45 m + C. Então a altura de pressão disponível a jusante B é de 18 - 3,45 m = 14,55 m + a cota do terreno. Isto não é suficiente tendo em conta uma pressão mínima de 22 m.c.a. Propor a construção de uma nova conduta de PVC (plástico) ∅ 400 mm entre nó 1 e nó 3. (= 3,5 km).



$k = 0.01 \text{ mm}$

OVERGENOMEN UIT MEDEDELING No 14 VAN HET R.I.W.A.: STROMINGSWEEBANDEN IN BUISLEIDINGEN door Dr. J. H. L. H. VAN DER WOUDE

DÉBITO EM m^3/HORA



$k = 0,025$

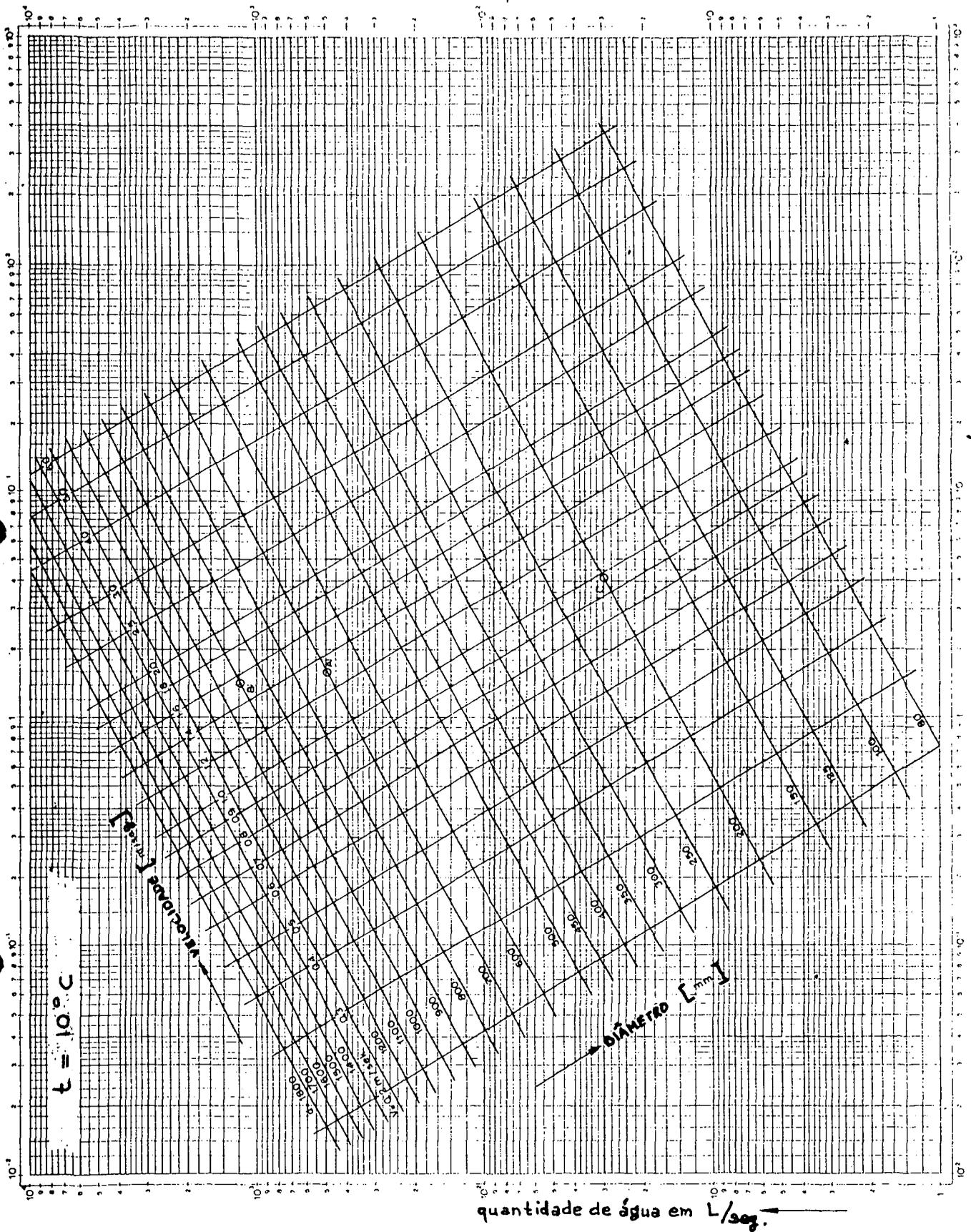
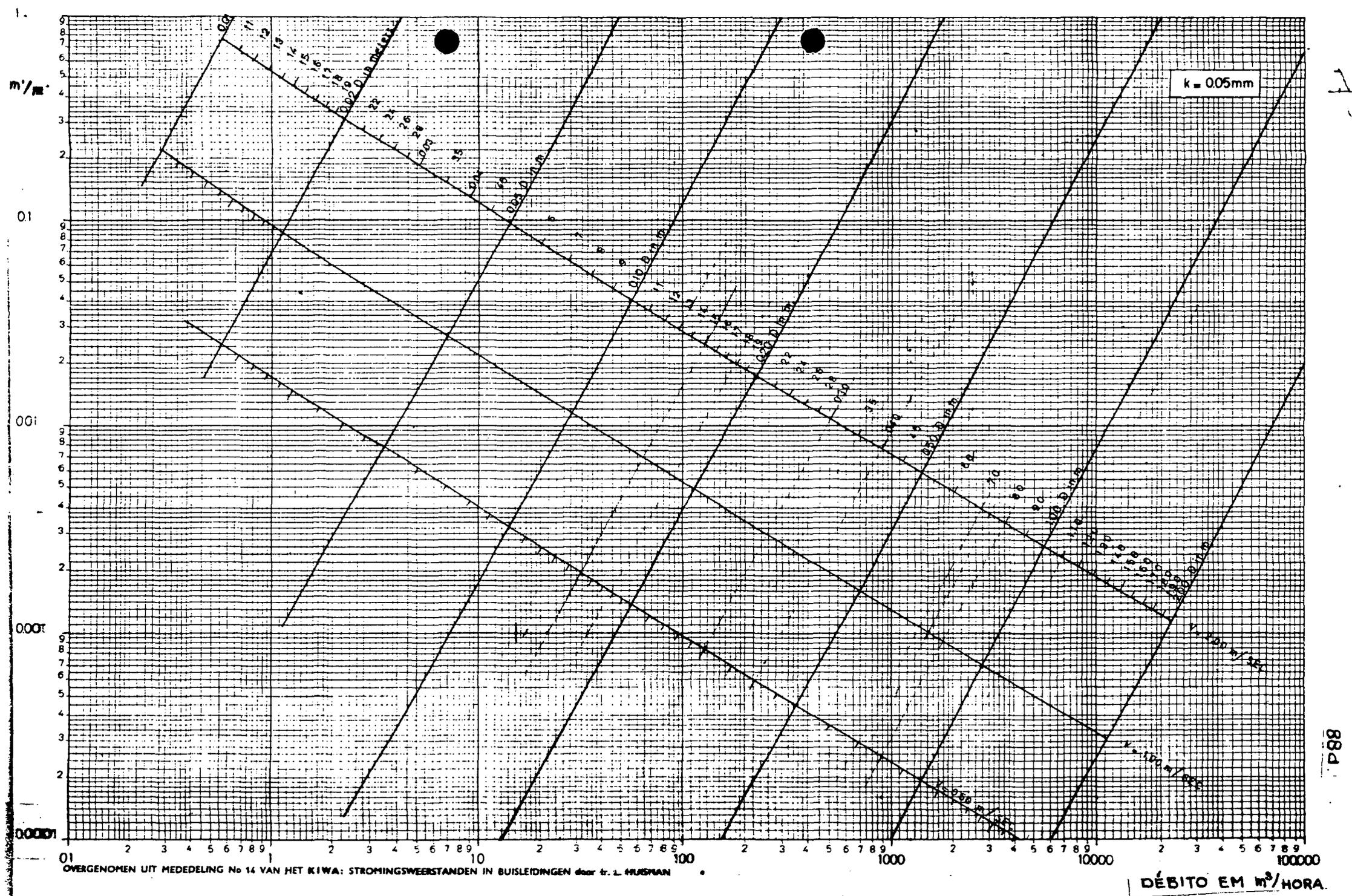
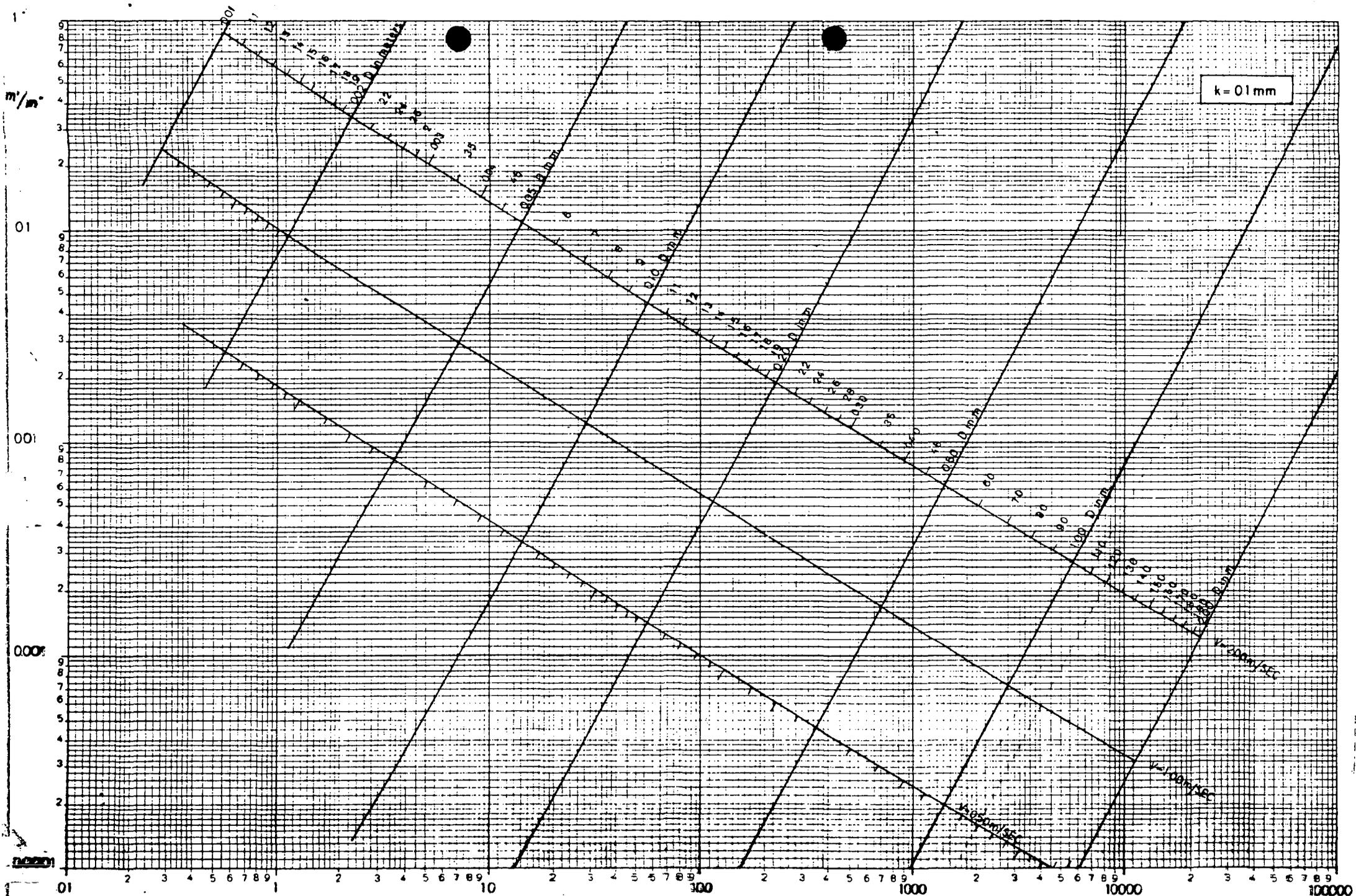


GRÁFICO PARA CALCULAR AS PERDAS DE CARGA UNITÁRIA PARA CONDUTAS ASBESTOS CIMENTO E DO PLÁSTICO (PVC) DE GRANDE DIÂMETRO.

$L/seg. \quad 3,6 = m^3/h$

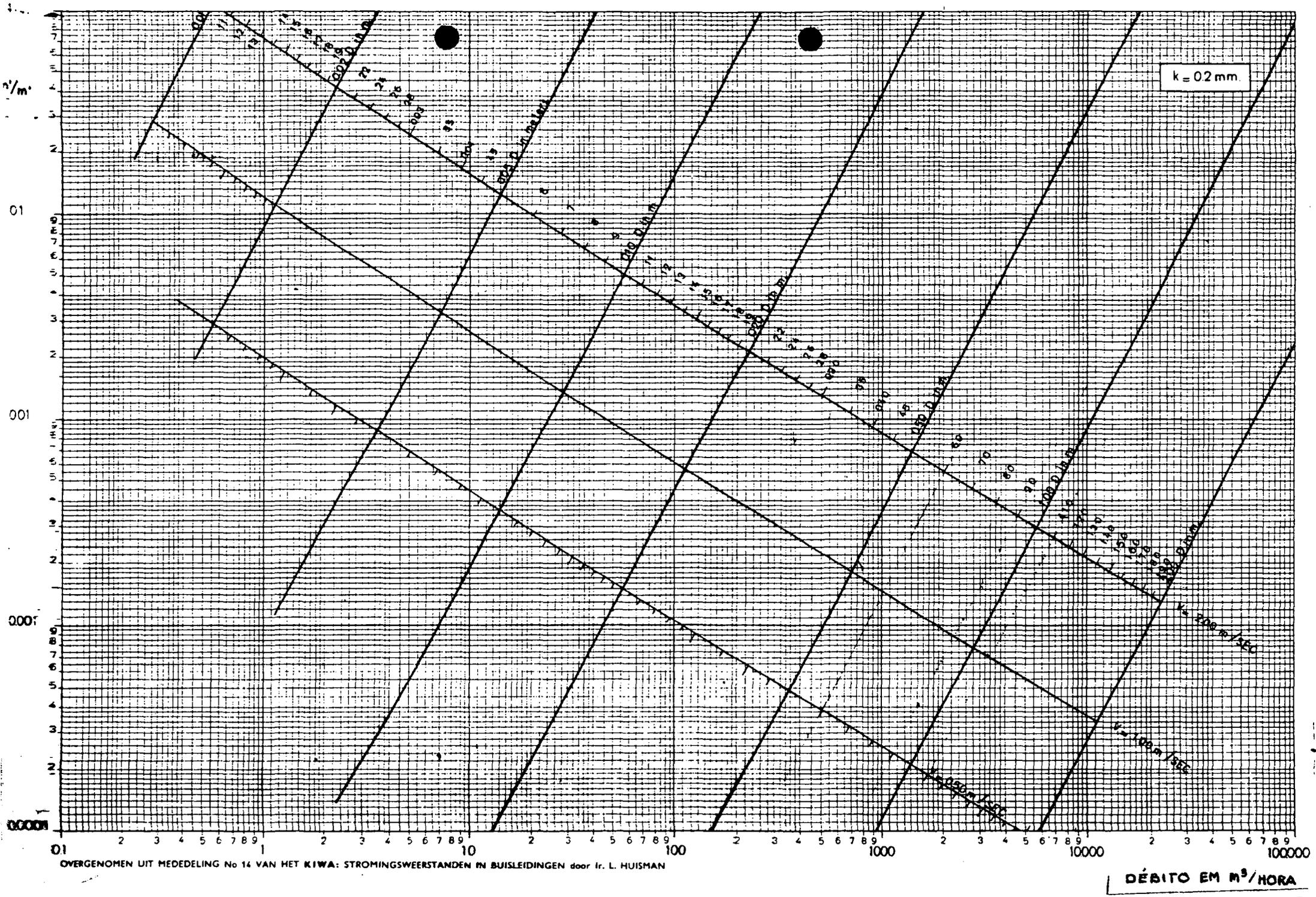


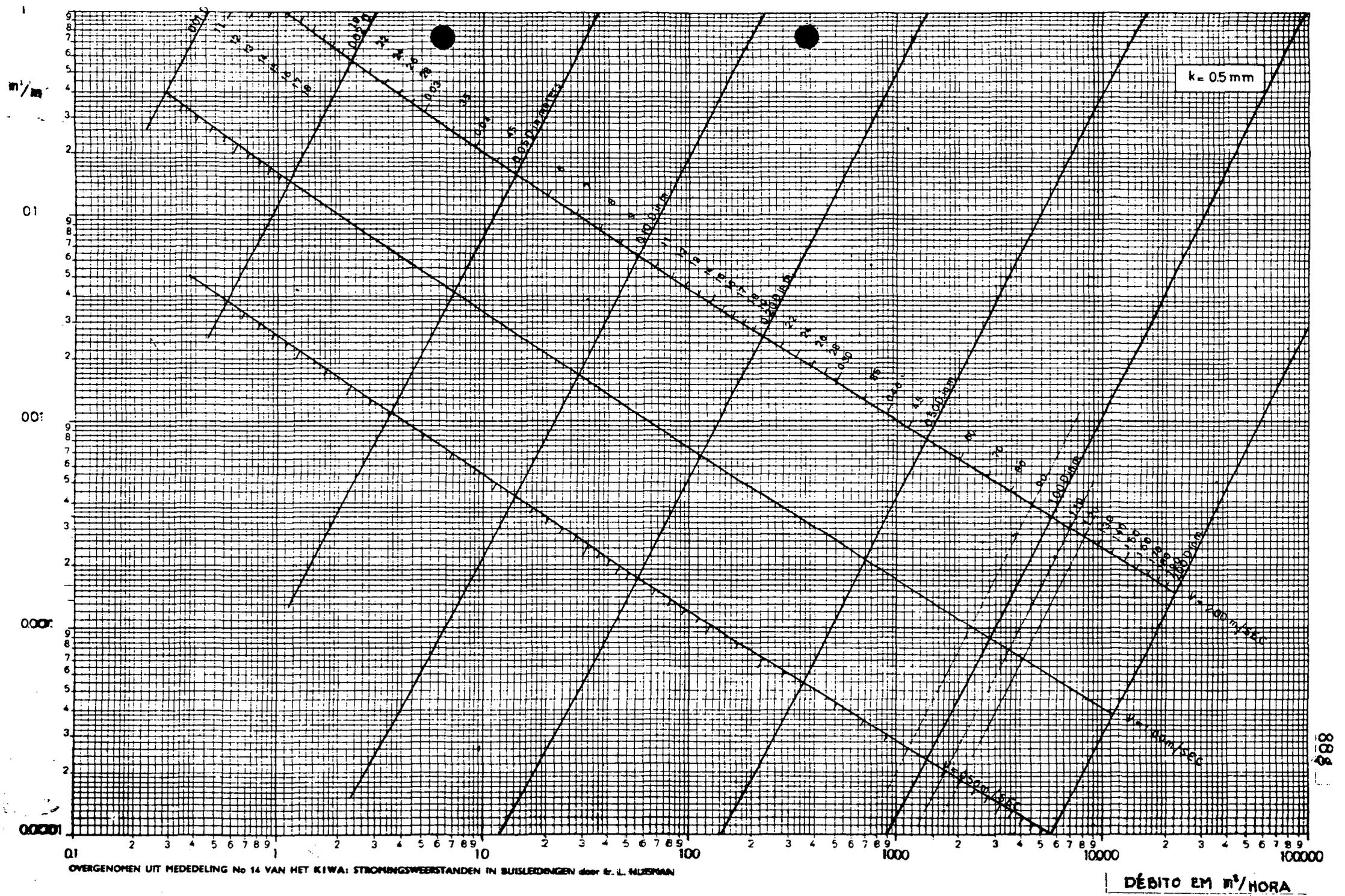
OVERGENOMEN UIT MEDELING No 14 VAN HET K1WA: STROMINGSWEERSTANDEN IN BUISLEIDINGEN door dr. L. HUSMAN



OVERGENOMEN UIT MEDEDELING No 14 VAN HET KIWA: STROMINGSWEERSTANDEN IN BUISLEIDINGEN door Ir. C. HILSERMAN

DÉBITO EM M³/HORA



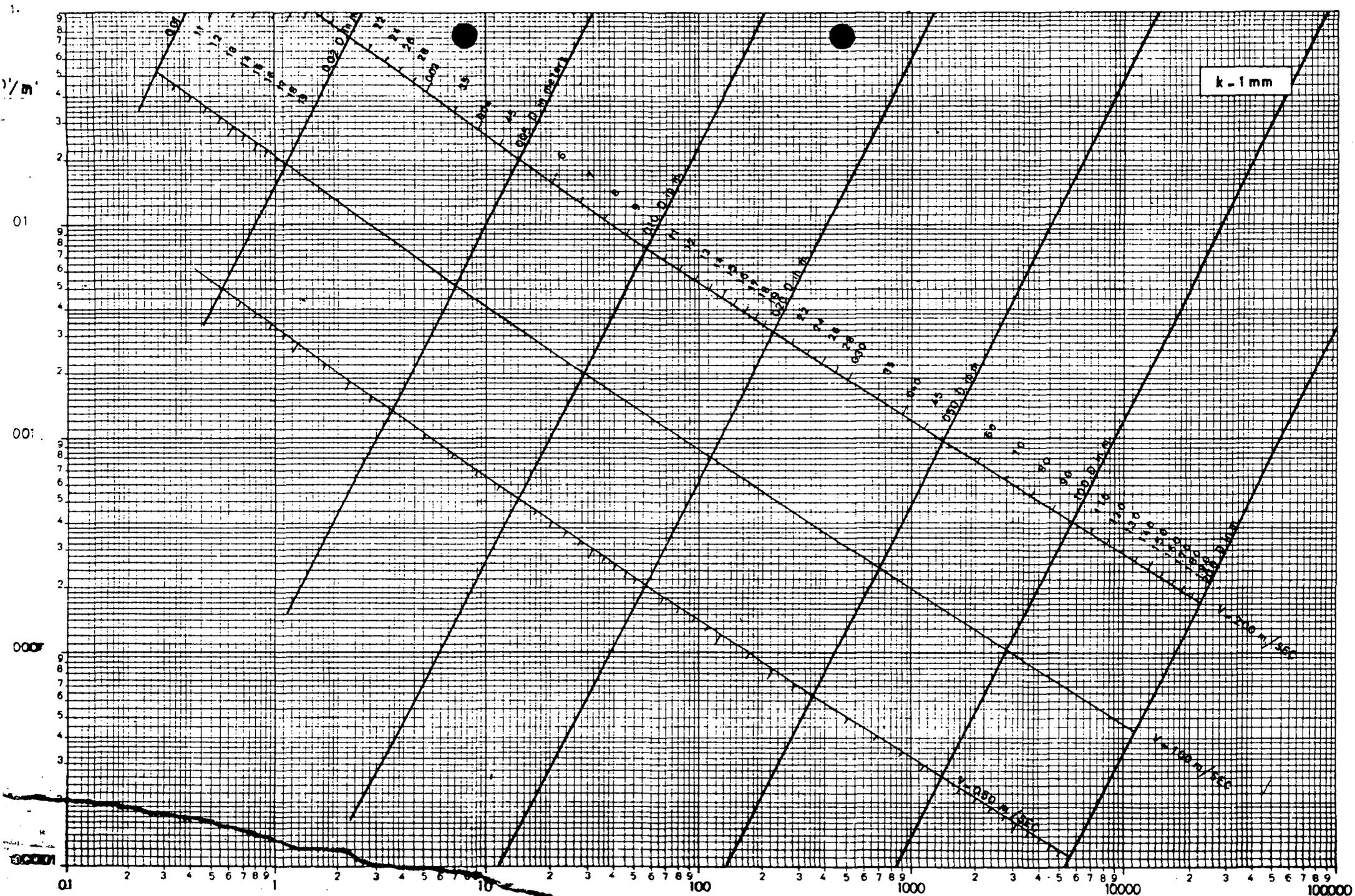


$k = 0.5 \text{ mm}$

OVERGONOMEN UIT MEDEDELING No 14 VAN HET K.I.W.A.: STROMINGSWEEBSTANDEN IN BUISLEIDINGEN door dr. L. MUIZMAN

DÉBITO EM m³/HORA

884



OVERGONOMEN UIT MEDEDELING No 14 VAN HET KIWA: STROMINGSWEEERSTANDEN IN BUSLEIDINGEN *van L. HUISMAN*

DÉBITO EM m³/HORA

484

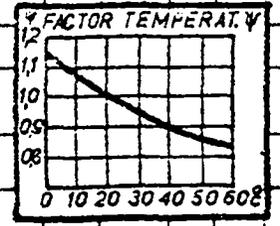
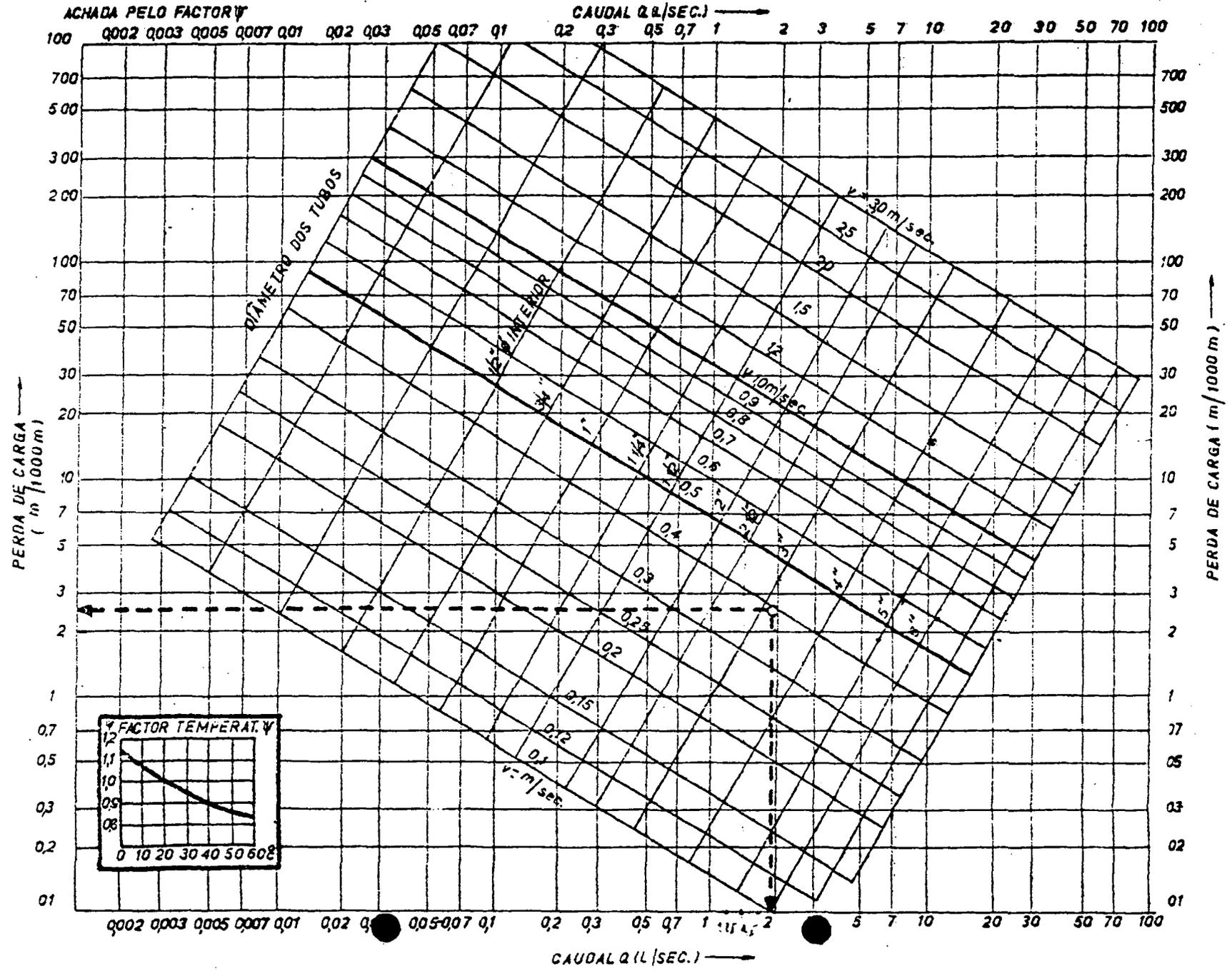
PERDA DE CARGA NOS TUBOS 'COPOLENE'

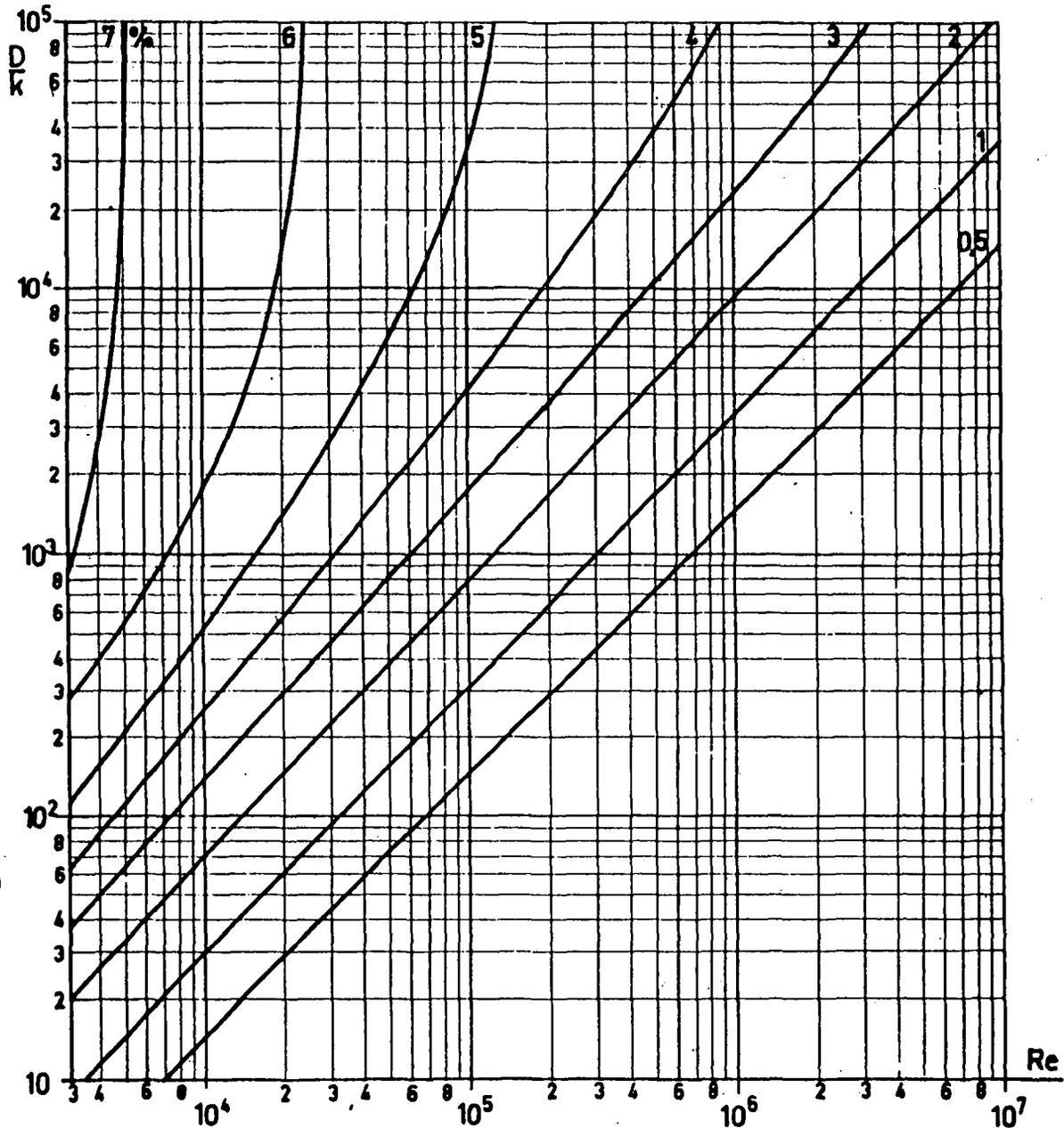
DIAGRAMA VÁLIDO PARA ÁGUA A 20°C

PARA OUTRAS TEMPERATURAS MULTIPLICAR A PERDA DE CARGA

ACHADA PELO FACTOR ψ

88 k





Decrescimento de resistência por atrito em percentagem verifica-se com aumento de temperatura de água desde 10°C até 20°C .

$$Re = 2,7 \cdot 10^5 \cdot \frac{Q}{D} \quad Q = \text{m}^3/\text{HORA} \quad D \text{ em mm.}$$

D em mm
 k em mm

7.2.2 A FÓRMULA DE ALLEN HAZEN E GARDNER WILLIAMS.

Além da fórmula de Colebrook, mais usada na Europa, há mais fórmulas práticas de uso. Entre estas a mais conhecida é a fórmula de Allen Hazen e Gardner Williams ^{*)}:

$$v = 0,3546 \cdot C \cdot D^{0,63} \cdot i^{0,54}$$

a qual, quando associada à equação da continuidade, pode também ser escrita

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot i^{0,54}$$

Em que :

$v \rightarrow m/s$; $Q \rightarrow m^3/s$ $C =$ um factor de rugosidade, só para esta fórmula.
 $D \rightarrow m'$; $i \rightarrow m'$

Valores de coeficiente "C"

Tubos	valores de C
Aço corrugado (galvanizado)	60
Aço com juntas "look-bar", novos	135
" galvanizado (novos e em uso)	125
" rebitado novos	110
" " , em uso	85
" soldado, novos	120
" " , em uso	90
" " c/ revestimento especial (novos em uso)	130
Chumbo	130
Cimento-amianto	135
Cobre	130
Concreto : acabamento liso	130
" " comum	120
Ferro fundido, novos	130
" " , em uso (mais de 15-20 anos)	90
" " , tubos revestidos de cimento	110
Grês cerâmico vidrado (manilhas)	110
Latão	130
Madeira, em ad elas	120
Tijolos, condutas com revestimento alisado	100
Vidro, plástico	140

*) Só para diâmetros acima de 50 mm. Os gráficos a base da fórmula de Colebrook são dos mais aplicáveis nas condições encontradas no abastecimento de água potável.

7.2.3 PERDAS LOCALIZADAS OU PERDAS DE CARGA ACIDENTAIS.

Além da perda de energia ocorrida ao longo do encanamento, as peças especiais, conexões, válvulas etc. também são responsáveis por perdas de energia, por causarem turbulência, alterarem a velocidade, mudarem a direção, aumentarem o atrito e provocarem choques das partículas. Essas perdas, localizadas onde existem as peças citadas, são por isso chamadas de perdas locais, localizadas ou acidentais.

Ao ser calculada a perda de carga de um encanamento, deve-se portanto adicionar à perda de carga "normal", isto é, ao longo do encanamento, as perdas de carga correspondentes a cada uma das peças, conexões e válvulas.

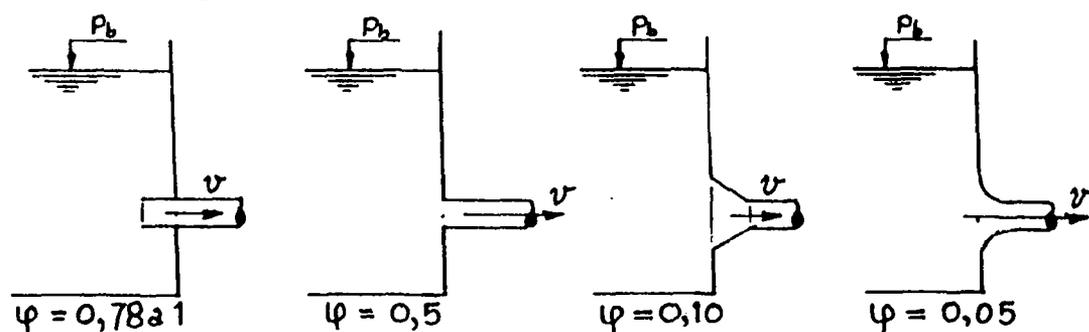
Dum modo geral as perdas localizadas são do tipo

$$\Delta h = \varphi \frac{v^2}{2g}$$

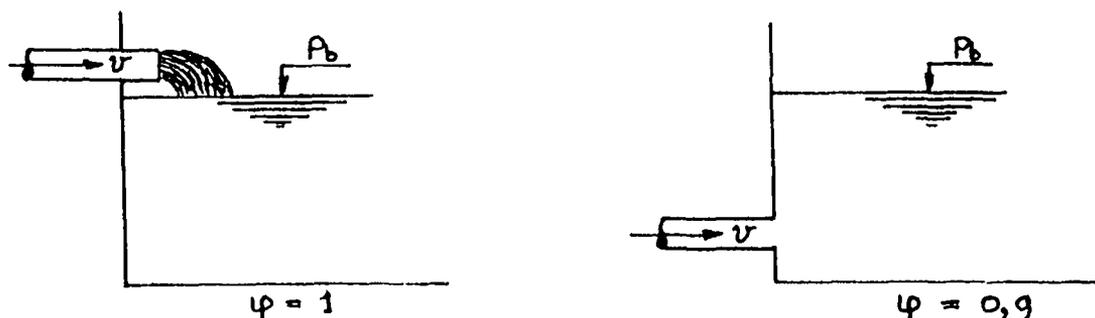
em que " φ " é um coeficiente dado pela experiência. As vezes é dado pelos fornecedores ou em tabelas disponíveis em todos os lugares.

Acham-se indicados a seguir, valores de " φ " para diversos casos ;

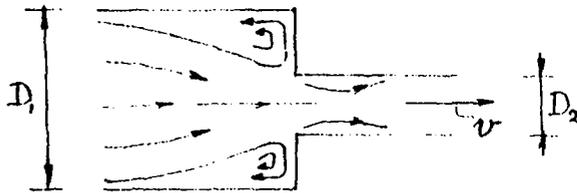
a) Perda de carga na entrada de um encanamento (à saída dum reservatório).



b) Perda de carga na saída do encanamento, isto é, entrada no reservatório..

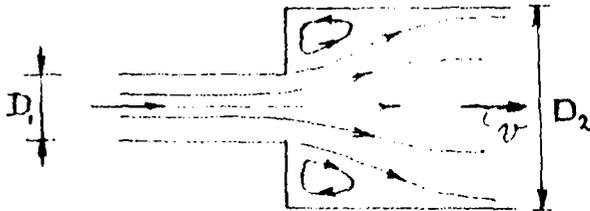


c) Perda de carga em peças especiais :



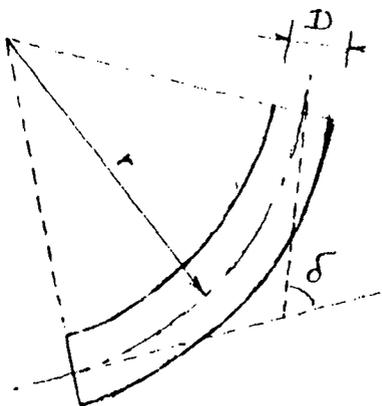
$D_1/D_2 = 1,5$	$\varphi = 0,30$
" = 2,0	$\varphi = 0,35$
" = 2,5	$\varphi = 0,40$
" = 5,0	$\varphi = 0,50$

Redução gradual $\varphi = 0,15$



$D_2/D_1 = 1,5$	$\varphi = 0,35$
" = 2,0	$\varphi = 0,50$
" = 2,5	$\varphi = 0,75$
" = 5,0	$\varphi = 1,00$

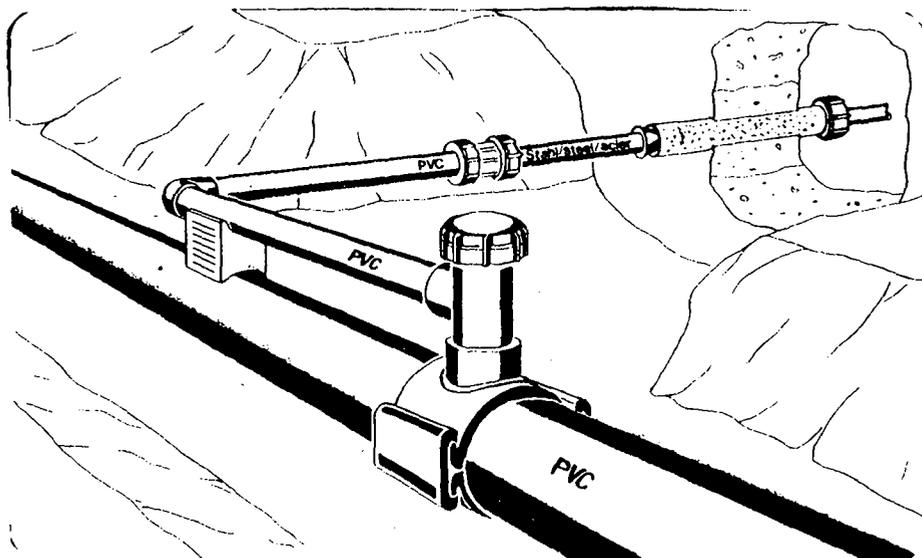
Deve-se usar "v" como é indicado na figura, para calcular $\frac{v^2}{2g}$



δ	liso					rugosidade
	15°	22,5°	45°	60°	90°	90°
$r = D$	0,03	0,045	0,14	0,19	0,21	0,51
$r = 2D$	0,03	0,045	0,09	0,12	0,14	0,30
$r = 4D$	0,03	0,045	0,08	0,10	0,11	0,23
$r = 6D$	0,03	0,045	0,075	0,09	0,09	0,18
$r = 10D$	0,03	0,045	0,07	0,07	0,11	0,20

φ

Curva de raio mais curto (cotovelo) $\varphi = 0,90$ a $1,5$



Té :

v_i/v	90°		45°		90° junção		45°	
	φ_1	φ_2	φ_1	φ_2	φ_1	φ_2	φ_1	φ_2
0	0,95	0,04	0,90	0,04	-1,2	0,04	-0,92	0,04
0,2	0,88	-0,08	0,68	-0,06	-0,4	0,17	-0,38	0,17
0,4	0,89	-0,05	0,50	-0,04	0,08	0,30	0,00	0,19
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07	0,47	0,41	0,22	0,09
0,8	1,10	0,21	0,35	0,20	0,72	0,51	0,37	-0,17
1,0	1,28	0,35	0,48	0,33	0,91	0,60	0,37	-0,54

$v \Rightarrow$ escoamento total

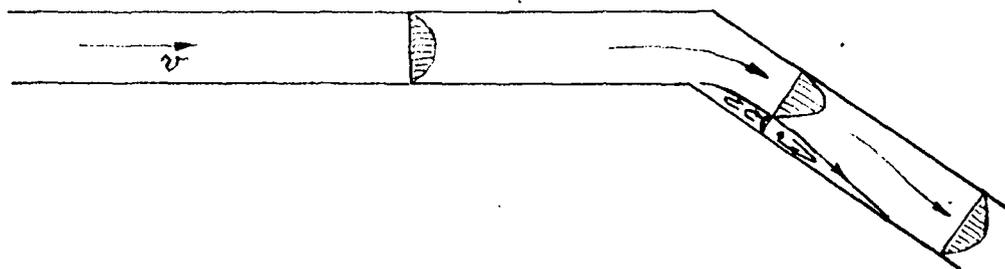
$v_1, v_2 \Rightarrow$ escoamento lateral

$\varphi_1 \Rightarrow$ coeficiente de atrito na passagem lateral.

$\varphi_2 \Rightarrow$ coeficiente de atrito na passagem direita.

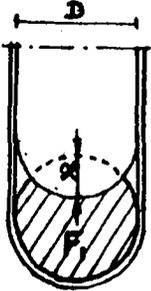
O coeficiente negativo indica que não há perdas de carga, mas o contrário na direcção considerada; portanto proficito da energia (pressão).

Cotovelo :



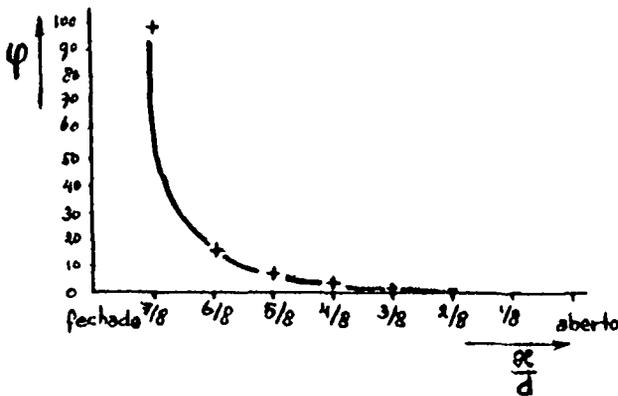
δ	5°	10°	15°	22,5°	30°	45°	60°	90°
LISO								
φ	0,02	0,03	0,04	0,07	0,11	0,24	0,47	1,13
RUGOSIDADE								
φ	0,03	0,05	0,06	0,11	0,17	0,32	0,68	1,27

d) Válvulas :

Perdas de carga através válvulas de cunha (ψ).										
	$\frac{x}{d}$	aberto	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$	fechado
	$\frac{F}{F}$	1	0,948	0,856	0,74	0,609	0,466	0,315	0,159	0
	ψ	0,05	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17	97,8	∞

A base de valor $\frac{x}{d}$ ou $\frac{F}{F}$ encontra-se ψ

Nota : Na abertura desta válvula tenha cuidado!



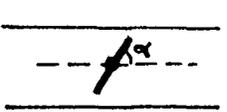
Faça- o com calma porque o caudal aumenta rapidamente no início da abertura.

No caso contrário, também é muito perigoso.

Não fechar rapidamente a última parte.

O não cumprimento destes cuidados provoca "Golpe de ariete", o que pode destruir a conduta.

Veja para. 9 para mais informação sobre o golpe de ariete.

Perdas de carga através válvulas de borboleta.											
	α	5°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	= α
	ψ	0,24	0,52	1,54	3,91	10,8	18,7	32,6	118	751	= ψ

Válvula de globo aberto : $\psi = 10,00$

" de ângulo " : $\psi = 5,00$

" de retenção : $\psi = 2,50$

" de pé : $\psi = 1,75$

EXERCÍCIO 1.

Num tubo de diâmetro interno de 300 mm encontra-se parte da conduta de forma de 45° .



Qual é a resistência desta parte do tubo quando o caudal é $540 \text{ m}^3/\text{h}$?

$$Q = 540 \text{ m}^3/\text{h} = 0,15 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$S = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,3^2 = 0,07 \text{ m}^2$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{2,14^2}{2 \times 9,8} = 0,234 \text{ m}$$

$$\Delta H = \varphi \frac{v^2}{2g} = 0,24 \times 0,234 = 0,05 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q = 0,15 \text{ m}^3/\text{seg.} \\ S = 0,07 \text{ m}^2 \end{array} \right\} v = \frac{0,15}{0,07} = 2,14 \text{ m/s}$$

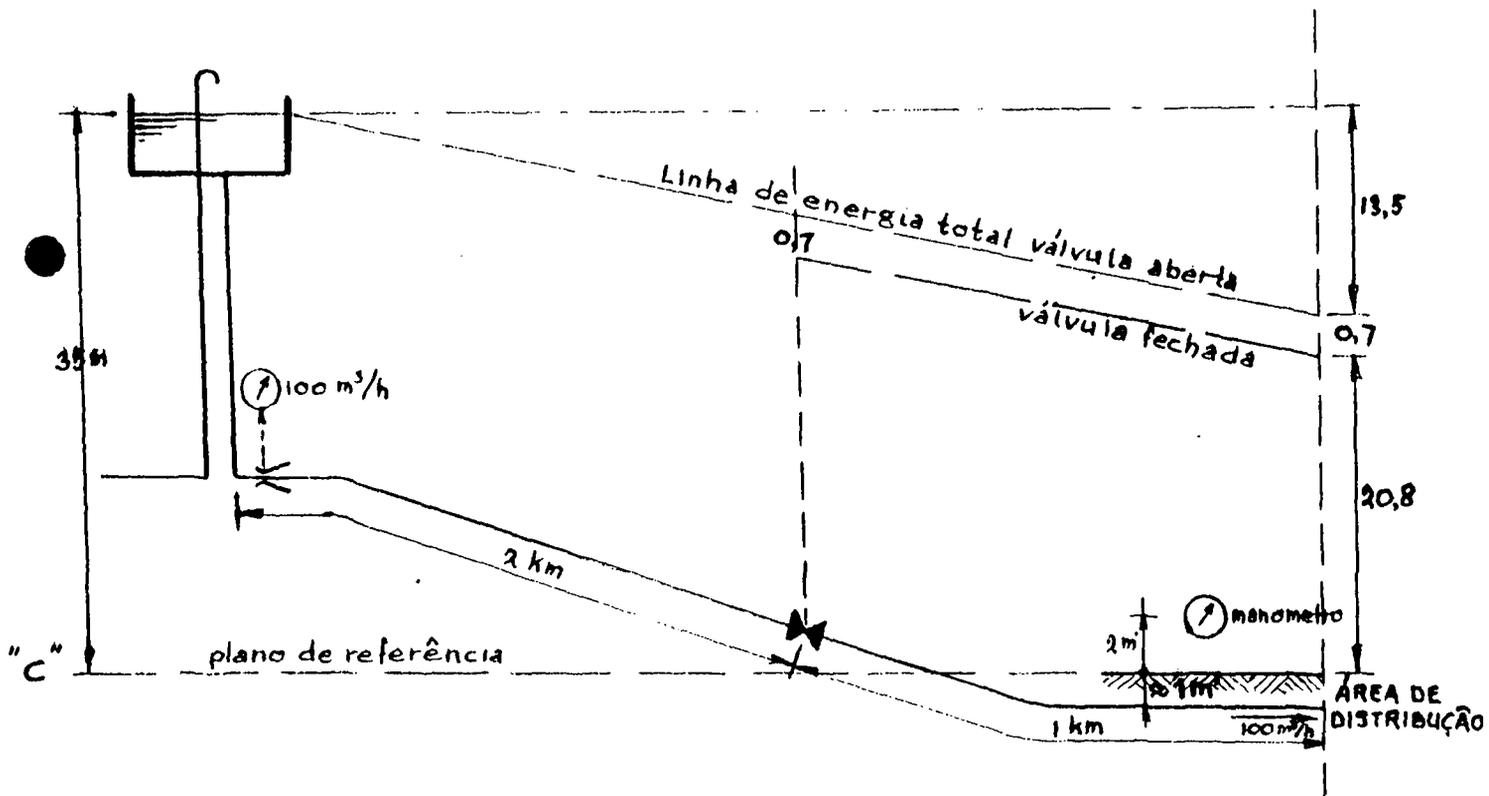
EXERCÍCIO 2.

Um depósito elevado é ligado a uma área de fornecimento de água potável através duma conduta adutora de betão (aço sob tensão). Diâmetro 200 mm.

O nível de água dentro do depósito elevado é 35 m a uma cota fixada "C".

A distância entre o torre e a área é 3 km e na distância de 2 km da torre encontra-se uma válvula de Cunha.

Supondo que o consumo instantâneo será $100 \text{ m}^3/\text{h}$, então qual é a pressão na área de distribuição, quando a válvula está totalmente aberta e se estiver $3/4$ fechada? A cota da conduta de distribuição principal é 1 m - "C".



Segundo a tabela de rugosidade, veja página 79, o factor de rugosidade $k = 0,2$ para este tubo.

O gráfico de resistência do página 88^e indica para a declividade piezométrica ou perdas de carga unitária $i = 0,0045 \text{ m}' \text{ por m}'$ para esta conduta ou $4,5 \text{ m.c.a. por km}$. A perda de carga total para esta conduta é $3 \times 4,5 \text{ m.c.a} = \underline{13,5 \text{ m.c.a.}}$

Com $100 \text{ m}^3/\text{h}$ a velocidade média é :

$$\frac{Q}{\pi/4 D^2} \left[\frac{\text{m}^3/\text{seg}}{\text{m}^2} \right] = \frac{100/3600}{\pi/4 \cdot 0,2^2} = 0,884 \text{ m/seg}$$

Então $v^2/2g = 0,0399$

A perda de carga através da válvula, $\Delta H_v = \varphi \frac{v^2}{2g}$. Na página 93 pode-se encontrar os valores de φ e pode-se calcular conseqüentemente ΔH_v como o seguinte :

válvula	φ	ΔH_v
aberta	0,05	$0,0399 \times 0,05 \approx 0$
3/4 fechada	17	$0,0399 \times 17 \approx 0,7$

Portanto a pressão na área de distribuição no nível " C " é com a válvula ;

	pressão ao nível terreno (c)	leitura *) manômetro
• aberta	$35 - 13,5 \text{ m.c.a} = \underline{21,5 \text{ m.c.a}}$	191,3 k Pa
• 3/4 fechada	$21,5 - 0,7 \text{ m.c.a} = \underline{20,8 \text{ m.c.a}}$	184,4 k Pa

Note : 3/4 fechada ainda não tem grande resultado por causa da influência do atrito que é maior ao longo do parede dum tubo longo.

Numa instalação (tubulação) com curvas, válvulas, etc., o atrito é maior e não é desprezível.

* (21,5 - 2) g k Pa, resp. (20,8 - 2) g k Pa. Veja a figura o manômetro está 2 m em cima do plano de referência.

ALTERNATIVA PARA CALCULAR ESSAS PERDAS LOCAIS.

Para determinação rápida dessas grandezas podemos empregar "o método dos comprimentos virtuais ou equivalentes de encanamento".

Por isso podemos utilizar o diagrama de "Crane Corporation".

Veja o diagrama anexo.

Ligando-se por uma recta o ponto da recta A, correspondente à peça em questão (neste caso: curva, joelho comum ou tê de redução 1/2") ao diâmetro indicado na reta B (150 mm), obtém-se, na C, o comprimento equivalente em metros.

EXERCÍCIO.

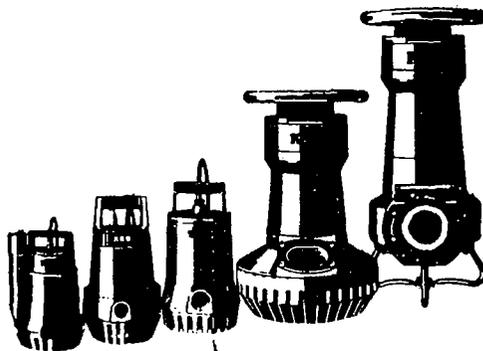
Válvula de cunha de 100 mm

Ligam-se os pontos A a B e obtém-se "C". A perda na válvula equivale à que se verifica no caso de

- a) 3/4 fechado ; 90 m. de tubo de 100 mm.
- b) 1/2 " ; 20 m. " " " "
- c) 1/4 " ; 4,2m. " " " "
- d) Aberto ; 0,7m. " " " "

É bom notar que há uma apreciável **discordância** entre os valores das perdas, apresentados nos catálogos dos fabricantes, para certas peças especiais.

Na literatura pode-se encontrar outras tabelas de comprimentos equivalentes, por exemplo publicado **pêlos** fornecedores para as peças especiais.



7.2.4 TESTE HIDRAULICA 4.

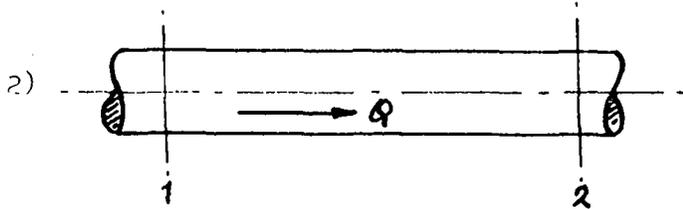
1) O que quer dizer " energia cinética " quanto aos sistemas do escoamento da água ?

Indica isso em termos duma fórmula.

Resposta :

A mesma coisa para a energia total !

Resposta :



No caso geral, a perda de carga entre as secções " 1 " e " 2 " sera:

$$H_1 - H_2 = \Delta H_{12}$$

A potência perdida pelo

escoamento entre as secções " 1 " e " 2 " é :

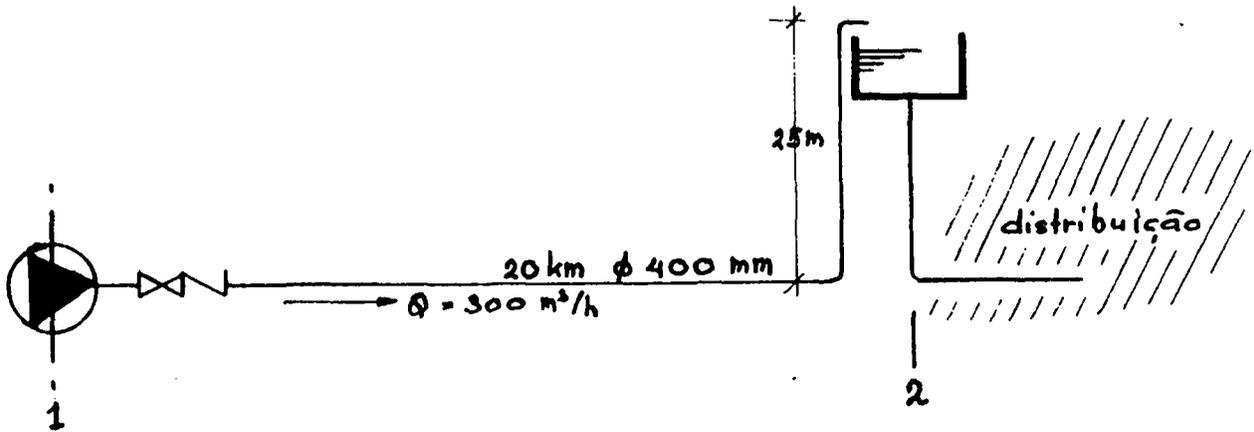
$$P_{12} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H_{12} \text{ watt.}$$

$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$ $\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$ m

$$\rho (\text{água}) = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ N/kg}$$

Suponha um sistema de bombagem de água como indica na figura seguinte :



o fator de rugosidade é 0,05

Então :

a) Determine H_{man} da bomba !

Segundo o gráfico de resistência a declividade piezométrica " i "

(= $\frac{\Delta H}{\text{comprimento}}$ é igual m'/m' .

Portanto as perdas contínuas são : x = m' .

As perdas localizadas pode ser desprezado quanto ao comprimento do tubo (muito longo), mas a energia estática (aqui a altura geométrica) é - veja a figura - m' .

Portanto a altura manométrica da bomba é igual

b) A potência perdida * pelo escoamento entre os secções " 1 " e " 2 " na figura é $P_{12} = \dots \dots \dots$ watt (indica a fórmula !)
 = $\dots \times \dots \times \dots$ / \dots = $\dots \dots$ watt = $\dots \dots \dots$ kw

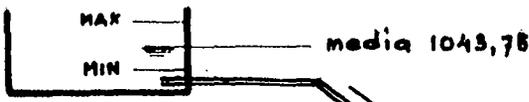
c) A potência da bomba é consequente (veja o teste hidráulica 3) :

$N_m = \dots \dots \dots$ watt = $\dots \dots$ watt
 = $\dots \dots$ kW = $\dots \dots$ C.V

Nota : 1 C.V = 736 watt e o rendimento da bomba é 0,76.

i *) indica : inclusivé a altura geométrica.

3) Uma adutora com 4900 m', partindo dum reservatório de acumulação cujo nível médio de água é 1043,75 m, deverá alimentar um reservatório de distribuição, cujo nível de água média é de 998,12 m e que abastece uma população de 14.700 habitantes.



Admitindo-se uma taxa "per capita" de 200 l/hab.dia, um coeficiente de variação diária de consumo " K_1 " = 1,25 e a utilização de tubos de ferro forjado, aço ($k = 0,05$).

c) Note que: o coeficiente do dia de maior consumo " K_1 " (chama-se também coeficiente de variação diária de consumo) terá valores mais elevados quando o clima fôr mais rigoroso e mais variável.



a) Cálculo da vazão de adução (realizada durante 12 horas por dia)

$Q = \dots \dots \dots$ = $\dots \dots$ l/seg = $\dots \dots$ m³/h

b) Declividade piezométrica " i " é igual $\dots \dots$.

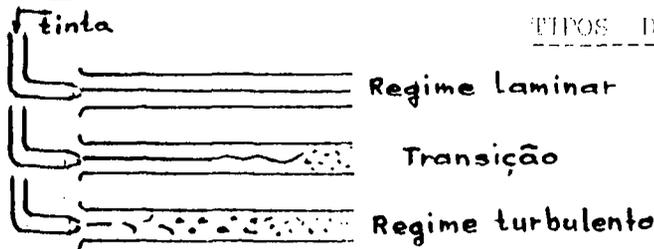
Portanto : $i = \dots \dots \dots$ = $0, \dots \dots$ m/m

c) Cálculo do diâmetro.

Utilizando-se o gráfico de resistência de Colebrook :

$D = \dots \dots \dots$ mm

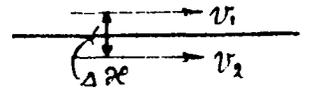
ESCOAMENTOS EM PRESSÃO (TUBAGEM)



TIPOS DO MOVIMENTO DOS FLUIDOS

A turbulência é provocada fundamentalmente pelo viscosidade

Para compreender este fenômeno podemos pensar em duas placas da superfície "S", que se movem à distância de Δx e a velocidade relativa $\Delta v (= v_1 - v_2)$



Então :

$$\tau = \mu \frac{\Delta v}{\Delta x} \text{ em que:}$$

τ = a tensão unitária ($= \frac{\Delta F}{S}$), necessária para descolamento

μ = o coeficiente de viscosidade dinâmica

As dimensões são:

$$\left[\frac{N}{m^2} = \mu \frac{m/s}{m} \right] \text{ ou } \mu = \frac{Ns}{m^2} = P = \text{poiseuille}$$

Ao lado disso introduzem-se a coeficiente de viscosidade cinemática " ν "

O NUMERO DE REYNOLDS (Re)

Isto é o parâmetro característico para o tipo de movimento dos fluidos e é um factor adimensional, denominado :

$$Re = \frac{v D}{\nu}$$

Em que :

v = a velocidade de translação da massa líquida.

D = o diâmetro da conduta

ν = o coeficiente da viscosidade cinemática do líquido

Para: $Re < 1500$ o movimento é laminar
 $Re > 12000$ " " turbulento
 $2000 < Re < 12000$ é possível a existência de um ou outro tipo de movimento.

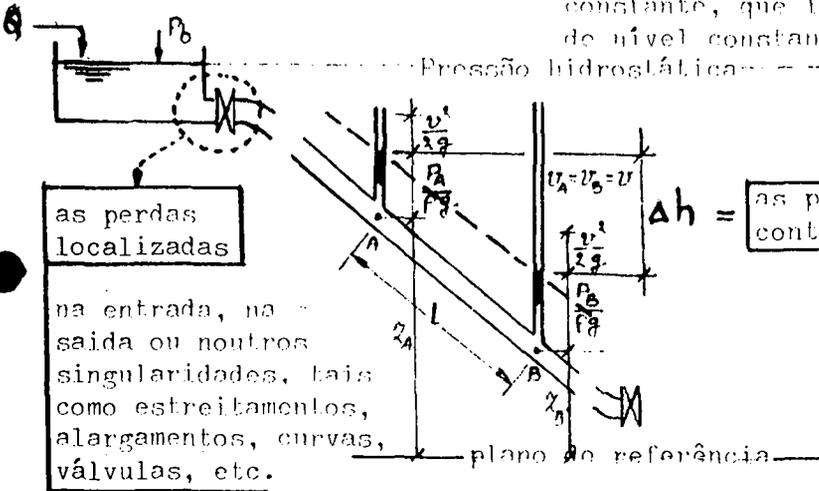
Isto é o quociente:

$$\frac{\mu}{\rho} = \nu \quad \left[\frac{m^2}{seg} \right]$$

Devido à velocidade de água dentro os tubos de 1 m/seg até 1,5 m/seg, sendo o valor mais econômico, no abastecimento de água a maioria dos escoamentos do líquidos através das condutas são do regime turbulento.

PERDAS DE ENERGIA.

Considere-se um tubo em pressão de secção constante, que liga entre si dois reservatórios de nível constante.... A pressão necessária para o transporte de água através da conduta, limitando a parte do comprimento "L" (A-B) é Δh , ou



as perdas localizadas

na entrada, na saída ou noutros singularidades, tais como estreitamentos, alargamentos, curvas, válvulas, etc.

$$\Delta h = \text{as perdas contínuas} = \left(\alpha_A + \frac{P_A}{\rho g} \right) - \left(\alpha_B + \frac{P_B}{\rho g} \right)$$

Com a equação de quantidade de movimento pode se calcular a expressão geral da perda de carga. Sendo:

Para um tubo redondo :

$$D \quad \Delta h = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Para um tubo quadrado :

$$a \quad \Delta h = \lambda \frac{(a+b)}{2ab} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Dum modo geral as perdas localizadas são do tipo :

$$\Delta h = \lambda \frac{v^2}{2g}$$

Em que :

comprimento do tubo

diâmetro " " "

um coeficiente dado pelo experiência

λ = um coeficiente adimensional, denominado coeficiente de atrito e é expresso em função do numero de Reynolds (Re) e/ou da rugosidade (k). Veja o gráfico.

7.3 A CARACTERÍSTICA DUMA CONDOTA . (TRANSPORTE DE ÁGUA)

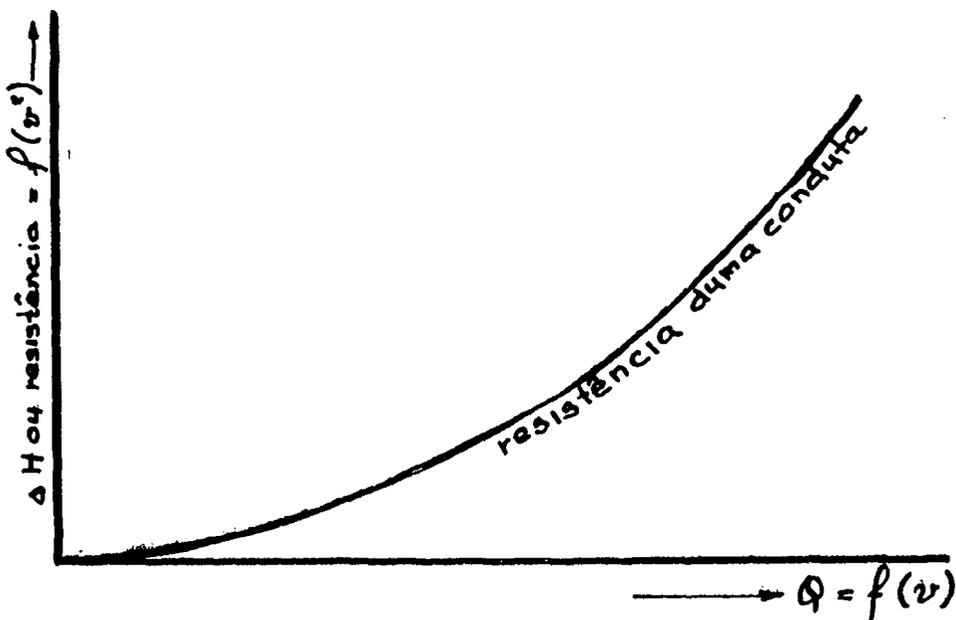
Podemos calcular para uma conduta de transporte de água com o diâmetro " D ", a resistência por atrito ($= \Delta H$) para diversos valores de vazão " Q " e exprimi-los num gráfico. Todavia sabemos previamente que tipo de curva teremos. É certo que é uma curva de segundo grau, por que a resistência duma conduta é proporcional ao quadrado da velocidade ($\frac{v^2}{2g}$!), veja a fórmula básica para escoamentos em pressão.

Então é muito importante compreender e lembrar :

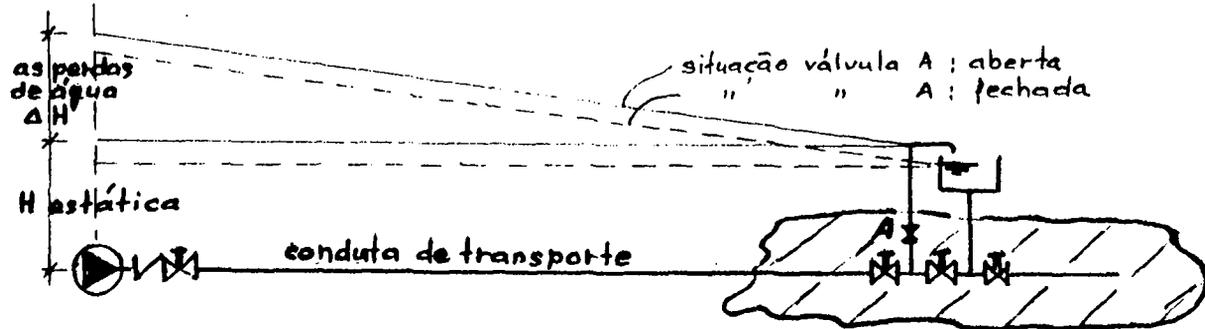
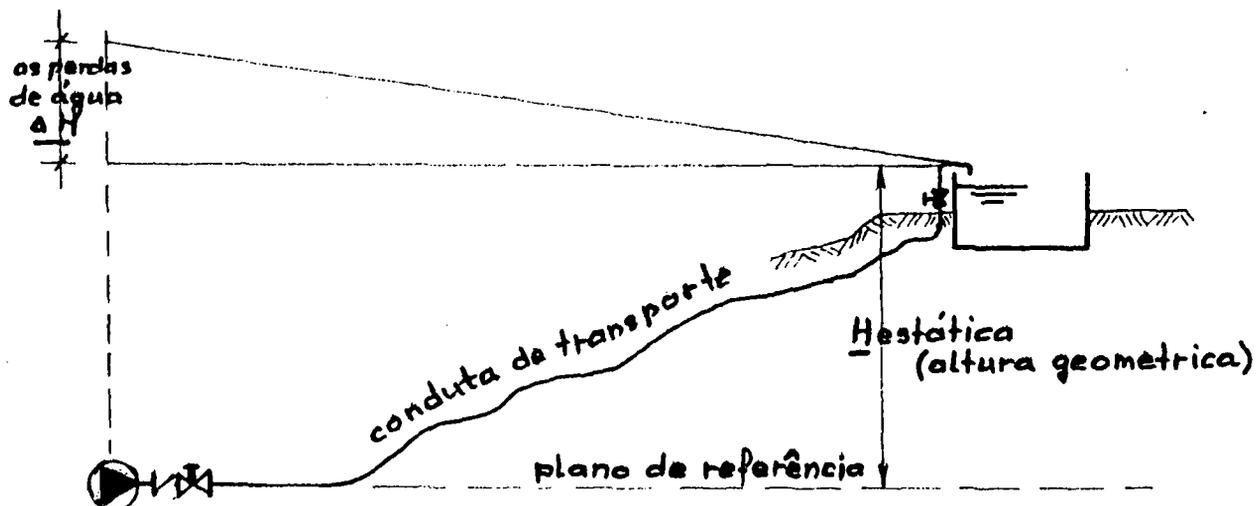
Resistência	} $\Delta H \parallel v^2$	} $Q^2 \parallel \Delta H$ ou $Q \parallel \sqrt{\Delta H}$
ou perda de carga entre duas secções		
Capacidade	$Q \parallel v$	

Usamos o simbolo // para indicar " proporcional a ".

Portanto a resistência duma conduta pode ser representada por uma curva do segundo grau como está indicado na figura abaixo.

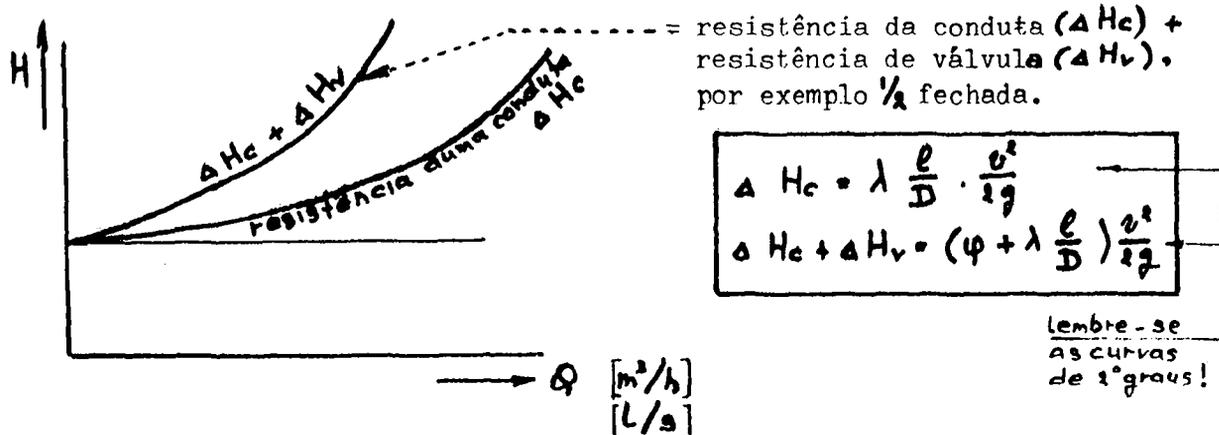


7.3.1 Além das perdas de energia ΔH (ou resistência), numa conduta existe normalmente uma energia estática "H" também. Veja as figuras seguintes :



Rede de distribuição com pressão mínima, cujo valor podemos considerar igual à estática na característica da conduta.

Então no gráfico :



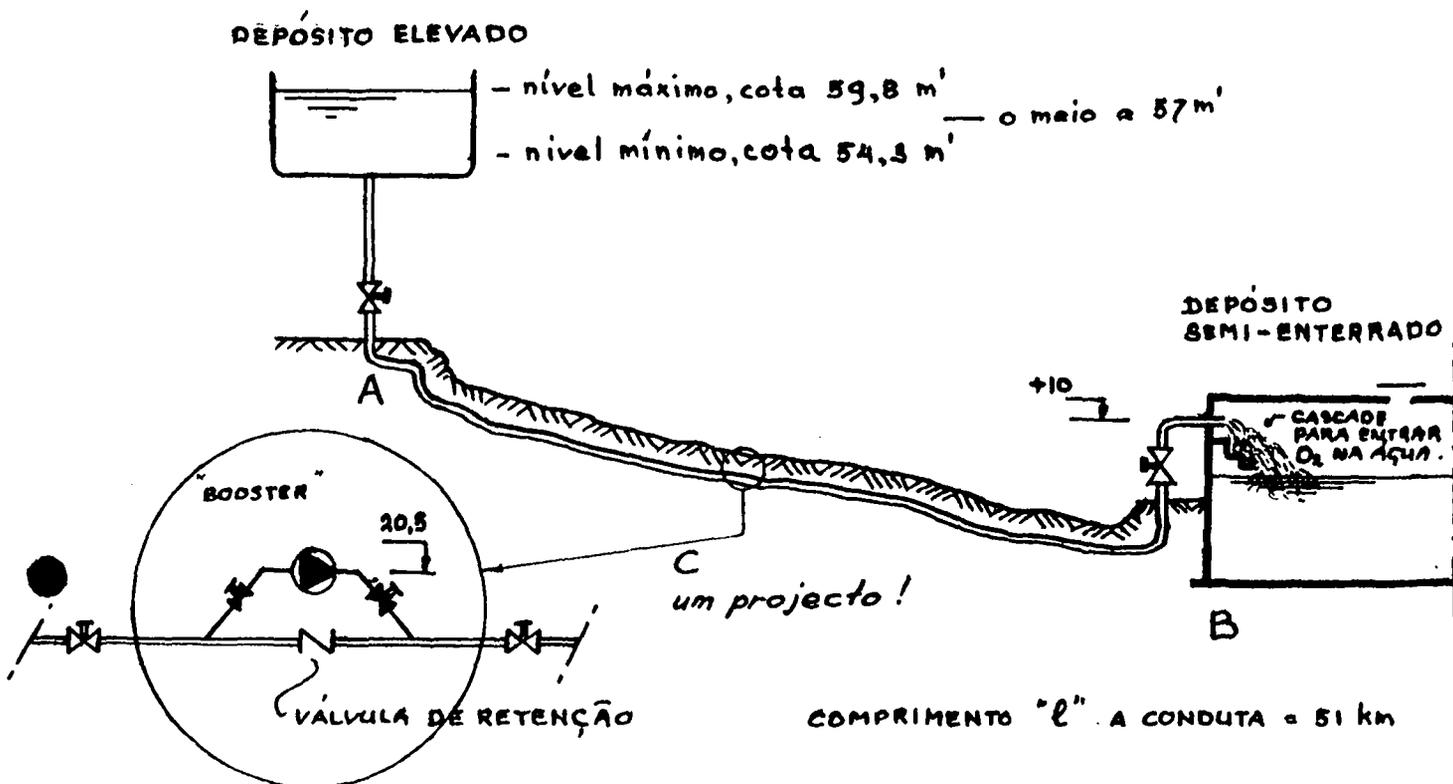
Esta figura deixa ver também uma curva de resistência da conduta com uma válvula não totalmente aberta.

Conforme os parágrafos precedentes, vale :

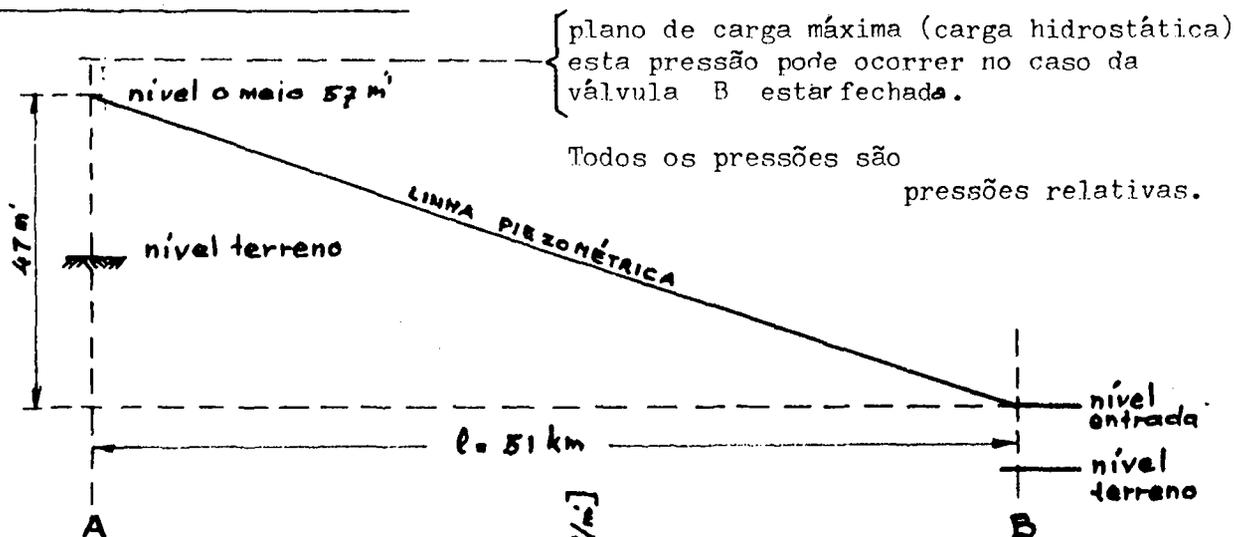
$$\Delta H_c = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_c + \Delta H_v = \underbrace{\varphi \frac{v^2}{2g}}_{\text{tabela!}} + \underbrace{\lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}}_{\text{gráficas}} \quad \text{ou} \quad \underbrace{\left(\varphi + \lambda \frac{l}{D} \right) \frac{v^2}{2g}}_{\text{fórmulas!}}$$

7.3.2 SISTEMA DE TRANSPORTE DE AGUA COM ADUTORA DE FIBROCIMENTO; DIÂMETRO Ø 350 mm, CLASSE 12.



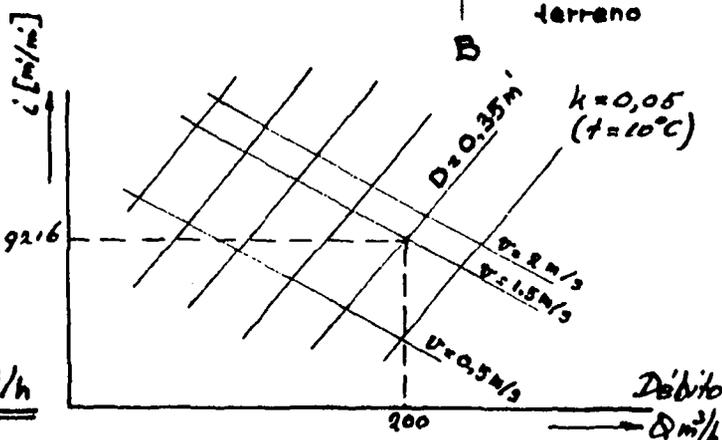
a) ESCOAMENTO POR GRAVIDADE (sem "booster").



O fator de rugosidade $k = 0,05$
 A perda de energia (contínua) por unidade de peso (que quer dizer um valor específico) escoado e por unidade de comprimento percorrido;

$$i = \frac{\Delta h}{l} = \frac{47m'}{51000m'} = 0,0009216$$

Então segundo o gráfico $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$



N.B. A temperatura de água é realmente $\pm 15^\circ\text{C}$, não faz muito diferença.

b) ESCOAMENTO POR GRAVIDADE E "BOOSTER"

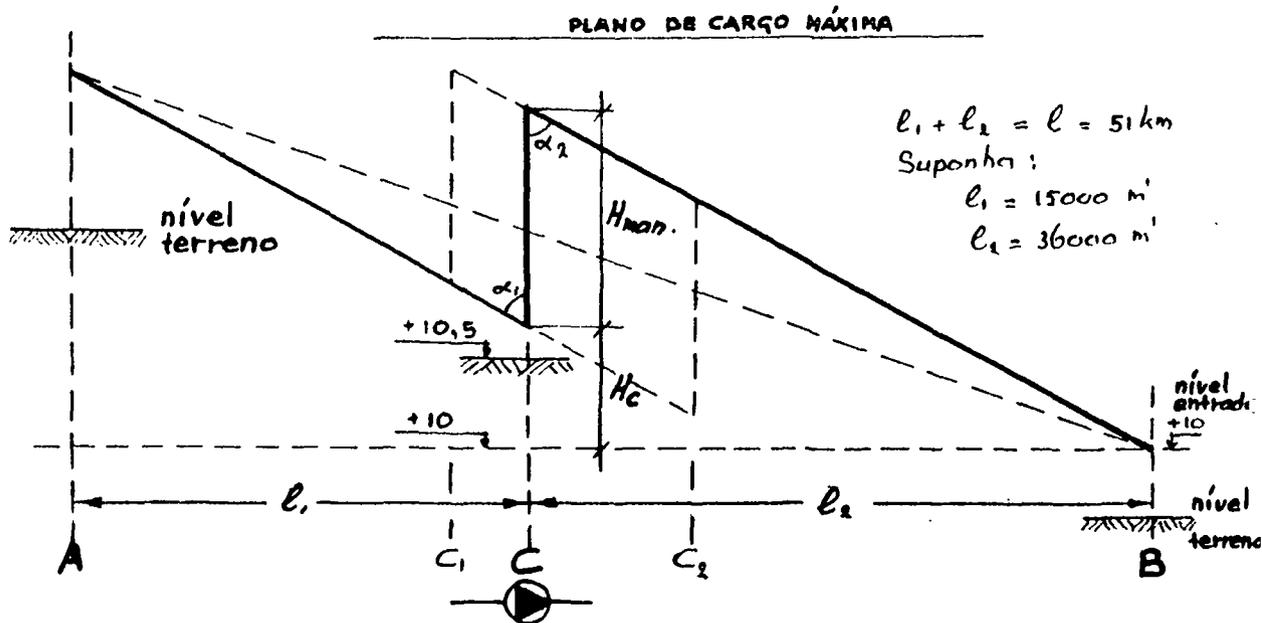
Com uma vazão de 200 m³/h é possível atingir o consumo diário de 24 x 200 m³ = 4800 m³.

Para aumentar este consumo até 6000 m³ é claro que implementar uma nova conduto será muito mais caro.

Por isso temos que buscar uma outra maneira. Ora bem, isto é uma bomba que tem que ser instalado com "booster".

Faremos um estudo !

Neste caso a linha piezométrica vai parecer como o seguinte :



Por que o diâmetro da conduta antes e atrás da bomba é mesmo, é claro, o caudal também é mesmo. Portanto a velocidade é igual em cada secção e a perda de carga por unidade de comprimento (i) é igual também antes e atrás da bomba ($\alpha_1 = \alpha_2$).

Em fórmula:

$$i = \frac{47 - H_c}{l_1} = \frac{H_c + H_{man}}{l_2} \quad \text{e/ou} \quad H_{man} = i l - 47$$

Podemos calcular com o mesmo gráfico de resistências as perdas contínuas por unidade de peso e por unidade de comprimento percorrido (= i) *. Em seguida podemos determinar a altura manométrica como função do caudal da maneira seguinte :

Faremos uma tabela e comecaremos desde o caudal de 200 m³/h.

Q		i	Hman	Hc	Pressão serviço
m / h	m / d	m / m	m	m	Classe do tubo 12 Hman. Hc -(10,5 -1)
200	4800	0,0009	por gravidade		--
250	6000	0,0014	24,4	26	≈ 41
300	7200	0,0019	49,9	18,5	≈ 59
350	8400	0,0026	85,6	8	≈ 84

pressão muito elevada, o máx. permitido é 6 kg/cm² = 60 mca

Escolha uma bomba com características proporcionais a estes valores e comercialmente disponível.

Outras localidades para instalar a bomba permita talvez uma bomba maior....

Veja nos lugares "C₁" e "C₂" não é possível. A pressão relativa de aspiração é negativo !

*) Chama-se também : "Perda. de carga unitária"

8. B O M B A S.

8.1 INTRODUÇÃO GERAL E DEFINIÇÃO.

Bombas são máquinas cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética.

O modo pelo qual é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido aumentando sua pressão e/ou sua velocidade permite geralmente classificar as bombas em :

8.1.1 Bombas de deslocamento positivo ou volumógenas.

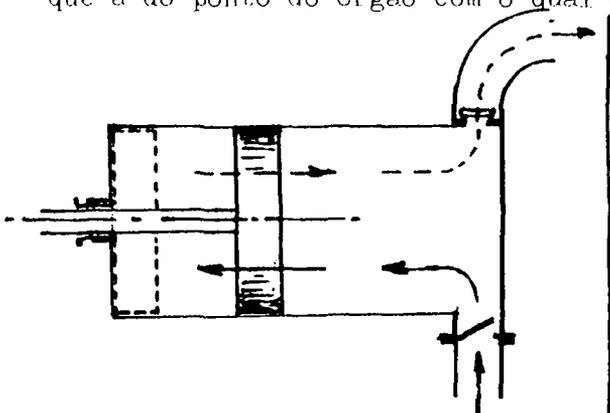
Possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento.

Proporciona então as condições para que se realize o escoamento na tubulação de aspiração até a bomba e na tubulação de recalque até o ponto de utilização, veja também para. 6.4.3 .

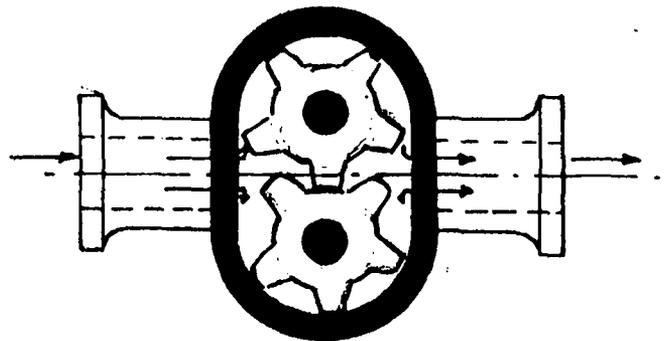
As bombas de deslocamento positivo podem ser ;

- alternativas (com pistão, êmbolo ou diafragma) ou
- rotativas (com um só rotor ou rotores múltiplos)

Nas bombas volumógenas existe uma relação constante entre a descarga e a velocidade do órgão propulsor da bomba. A característica principal desta classe de bombas é que uma partícula líquida em contato com o órgão que comunica a energia tem aproximadamente a mesma trajetória que a do ponto do órgão com o qual está em contato.

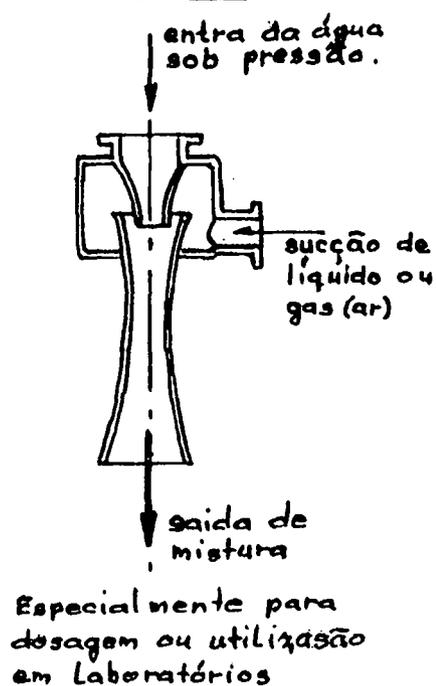
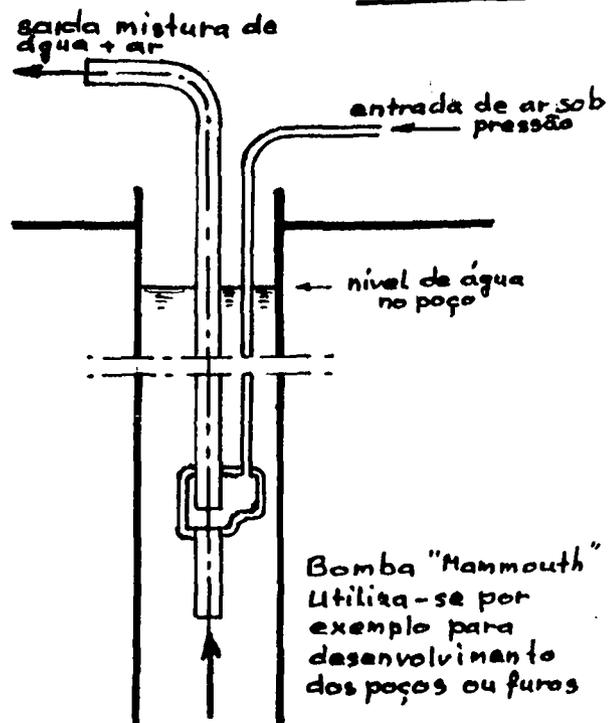


Esquema de bomba de pistão
Muitas vezes usados por bomba
de dosagem. Por exemplo !
Tratamento químico de água !



Esquema de bomba rotativa
de engrenagem. Muitas vezes
usado para levar óleo.
Por exemplo motor diesel !

8.1.2 Bombas especiais. Por exemplo ;

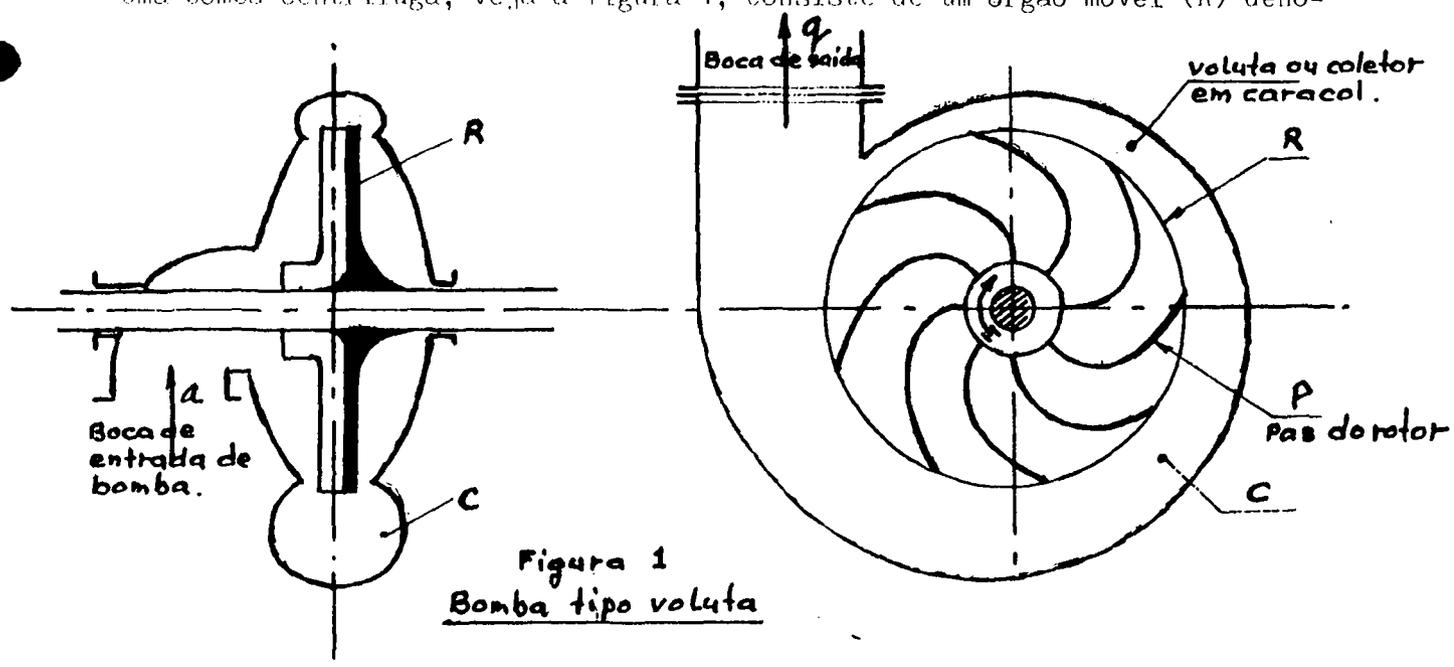
O tipo: Ejector.O tipo de injeção de gas (ar), "Gaslift".

Mais outros tipos desta classificação são o tipo de ariete hidráulica e do tipo electromagnéticas.

8.1.3 Bombas centrífugas (e turbo bombas).

Bombas centrífugas são máquinas hidráulicas nas quais o líquido escorre em condutos radiais de um órgão chamado rotor, e é submetido, pela rotação deste, a uma aceleração centrífuga que o obriga a movimentar-se.

Uma bomba centrífuga, veja a figura 1; consiste de um órgão móvel (R) deno-



minado rotor, onde um certo número de pás (p), simetricamente dispostas, delimita os ductos por onde pode fluir o líquido. O rotor gira em uma câmara fechada (C), comunicante ao centro com o conduto de aspiração (a) e na periferia com o de recalque (q).

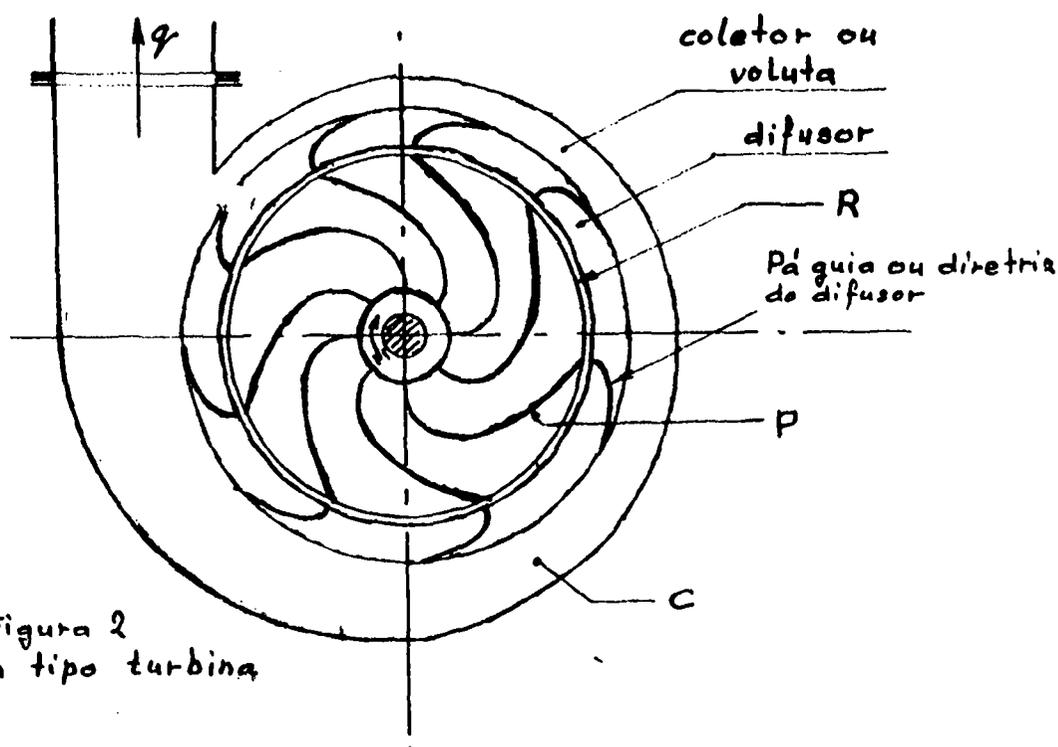
Devido à rotação do rotor, conferida através de uma fonte de energia externa (motor), a água contida entre as pás, por efeito da força centrífuga é arrastada do centro para a periferia. Produz-se, assim, uma depressão em "a" o que permite a aspiração da água para o rotor. Lembra-se o parágrafo 6.4.3, anunciando que a pressão barométrica é a força que leva a água à bomba. Verifica-o !

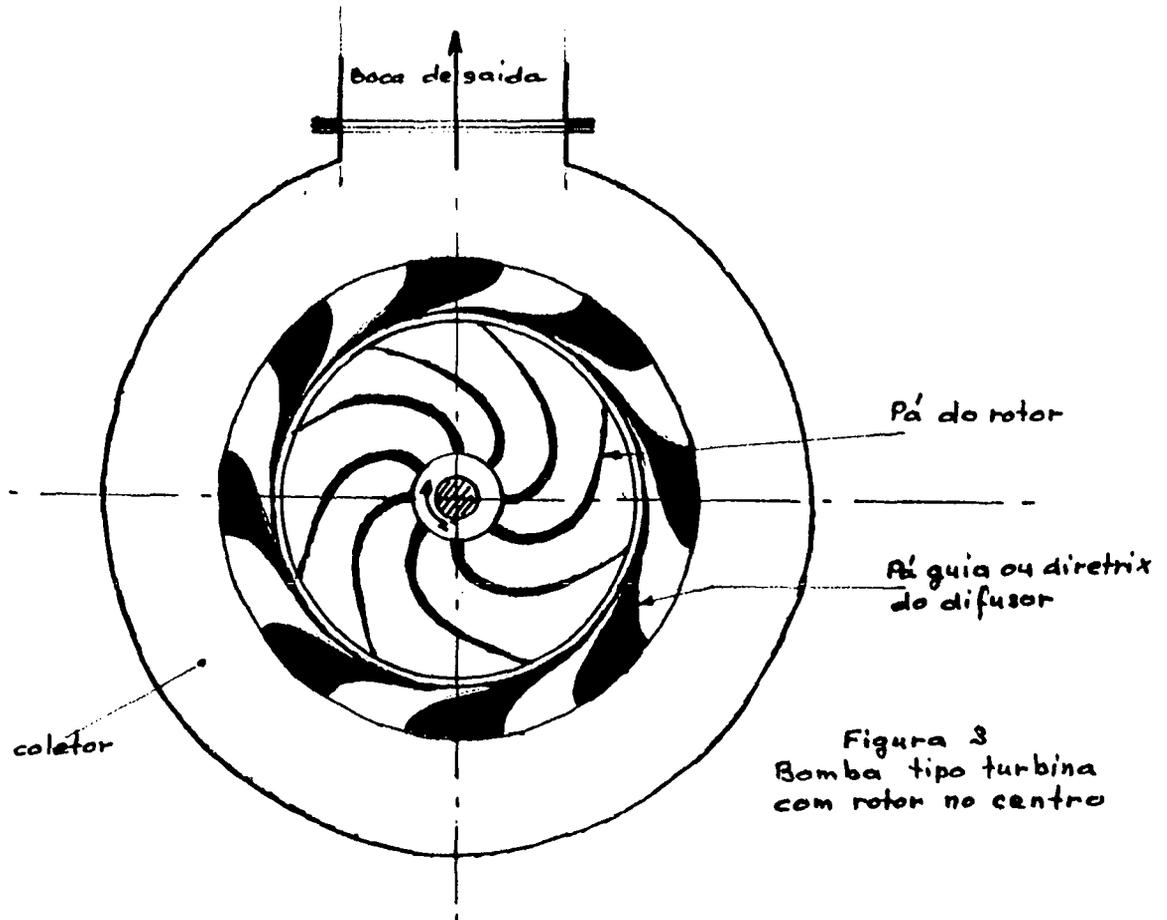
Esta, saindo do rotor, em alta velocidade, é admitida no corpo da bomba "C", que contorna o rotor, e deste após sofrer uma considerável transformação, de energia de velocidade em energia de pressão. Veja para. 6.2, que explica a equação de continuidade. Depois passa, através da abertura de descarga "q", para o conduto de recalque.

A aplicação das bombas centrífugas cresceu incessantemente sendo dominantes, nos últimos 40 anos, no campo do abastecimento público de água. Tal fato tem como fator decisivo, além do rendimento e durabilidade, o custo inicial bem baixo comparado com as bombas de pistão. As bombas de outros tipos, inclusive as de pistão, a menos de algumas aplicações especiais em sistemas públicos, são quase que exclusivamente limitadas aos sistemas de abastecimento de água individuais. Por isso, este tipo de bomba recebe mais atenção neste manual.

8.1.3.1 De acordo com as características do coletor, as bombas centrífugas se subdividem em dois grupos principais, que são :

- a) bomba tipo voluta (figura 1)
- b) bomba tipo turbina (figura 2 e 3)





A bomba da figura 3 com o rotor no centro de caixa é o tipo próprio para construir mais estágios (rotores associados em série).

Os rotores são geralmente associados em série, a descarga de um fazendo-se na sucção do seguinte. A vazão recalçada é aquela de um dos estágios.

A altura de elevação total é a soma das alturas de elevação de cada rotor.

Estas bombas são indicadas quando se pretende atingir grande altura de elevação.

A forma de pá é derivado da teoria e experiência de turbinas, daí o nome "turbobomba".

8.1.3.2 De acordo com a posição da bomba centrífuga se distinguem (veja também a figura 4) :

- a) Bombas de eixo horizontal - são as mais comuns e aplicáveis a todos os fins (veja as figuras 4 e 9).
- b) Bombas de eixo vertical :
 - Não submersível; aplicadas quando se pretende economizar espaço, são instaladas em poço seco sob o nível da superfície do solo; são inspecionáveis e têm a vantagem de reduzir ao mínimo as perdas por atrito na canalização de sucção devido a serem estas mais curtas e isentas de curvas.

- Bombas submersíveis; trabalham mergulhadas no poço de sucção recebendo energia (através de um eixo de transmissão) do motor, situado em seco ; o escorvamento é permanente; a bomba não é inspecionável; são aplicadas quando não se dispõe de altura de sucção e quando não se tem suficiente espaço para instalação das bombas; é frequentemente usada para elevar a água em poços (veja as figuras 5 e 8).

c) Bomba e motor submersível; trabalham mergulhadas no poço de sucção com o motor por baixo do corpo da bomba e não são diretamente inspecionáveis. Apresentam a vantagem de não exigirem o longo eixo de transmissão entre motor e bomba, porém exigem fabricação esmerada para que o líquido não penetre no motor. São utilizadas no caso de poços profundos para os quais as bombas de outros tipos sejam inadequadas (veja as figuras 6, 7 e 8).

O motor, de forma alongada, acha-se ligado diretamente ao conjunto da bomba, ficando imerso no poço. A parte interna do motor é envolvida e resfriada com água. A tecnologia de fabricação de motores eléctricos em curto-circuito, com isolamento por materiais plásticos, permitia chegar-se a um motor, que é enchido com água limpa antes de ser accionado. Há bombas deste tipo em que se utiliza em lugar da água limpa, "glicerina". Quando a água do poço é limpa, a refrigeração do motor faz-se com a mesma, dispensando recursos especiais.

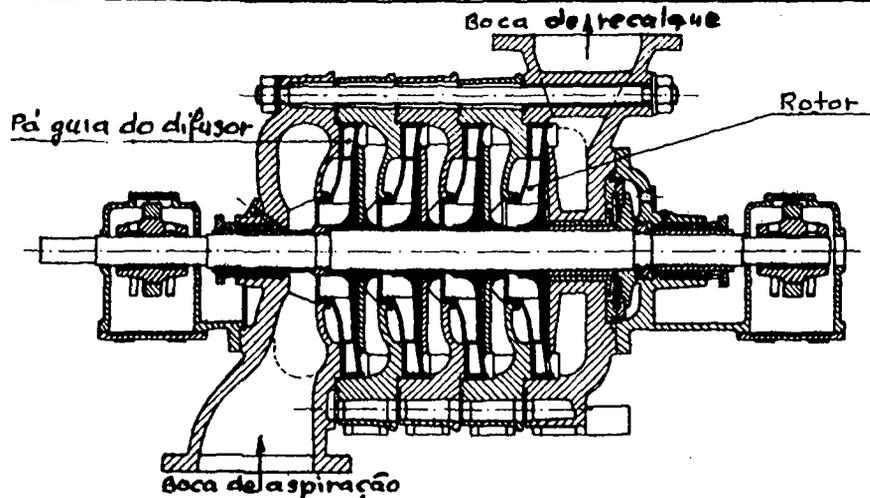
As moto bombas submersíveis têm rotores centrífugos radiais, hélico-axiais e axiais.

Os mancais são lubrificados a água. Alguns fabricantes usam mancais axiais de aço inoxidável e gravite como lubrificante quando a carga axial é grande. Os mancais radiais são de borracha e grafite metalizado de alta resistência à abrasão.

Existem bombas em que praticamente todas as peças são de aço inoxidável, por exemplo bombas SP-Grundfos, o que é excelente, quando a água dos poços é agressiva quanto a ferro.

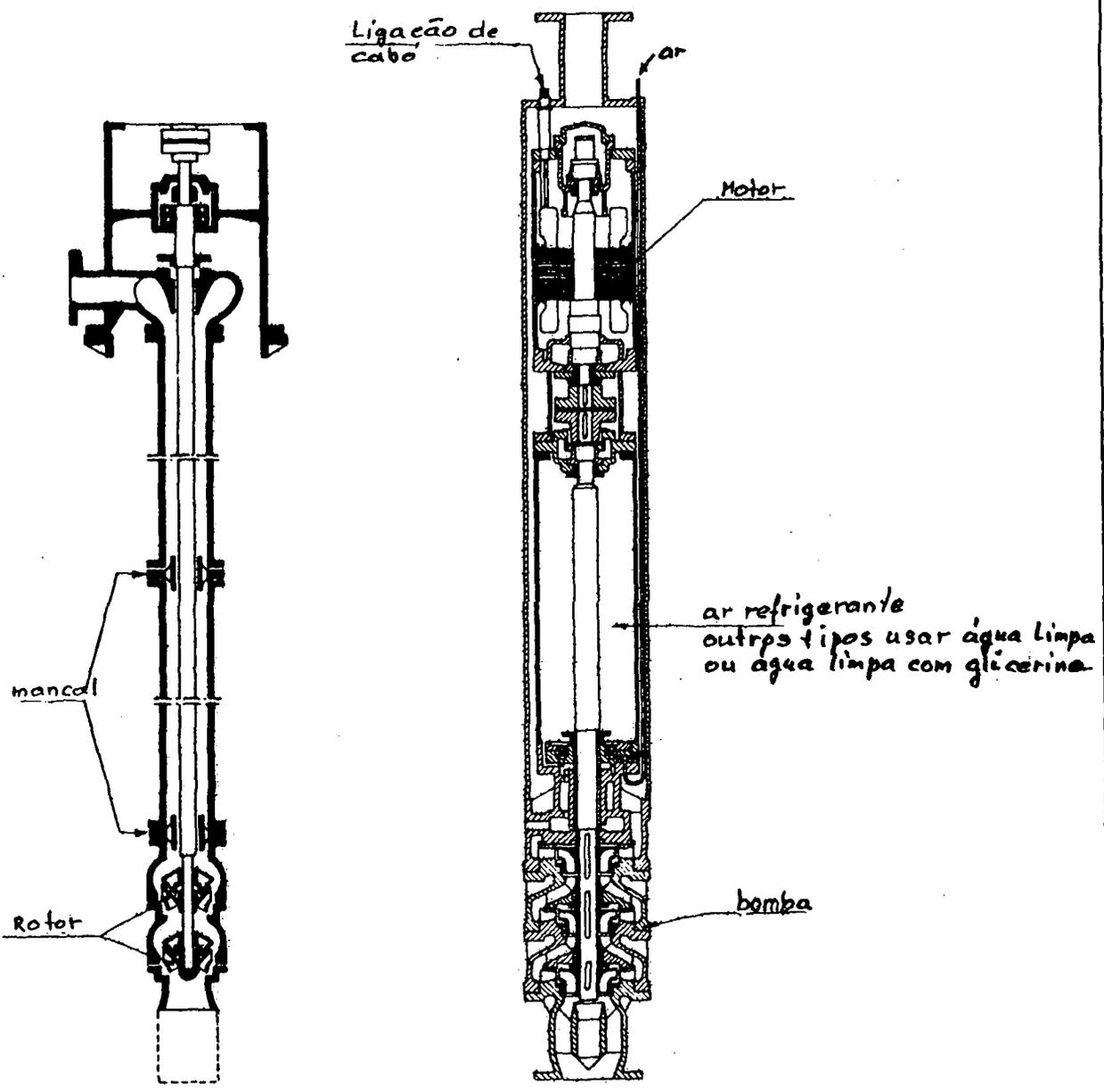
A figura seguinte representa uma bomba submersa Pleuger e depois as curvas características correspondentes.





Bomba de múltiplos estágios (4 estágios)

4



Bomba submersível (2 estágios)
"Deepwell pump"

5

Bomba e motor submersível
"submersible pump"

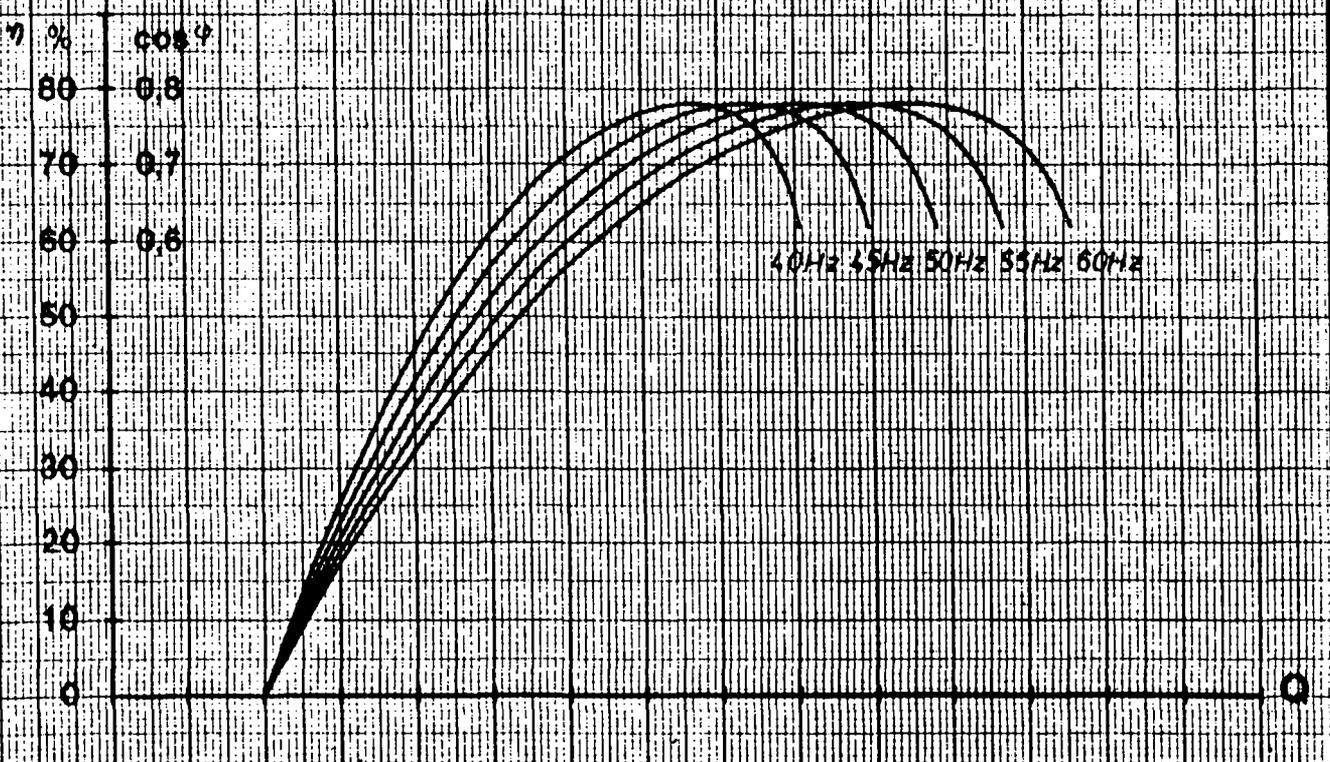
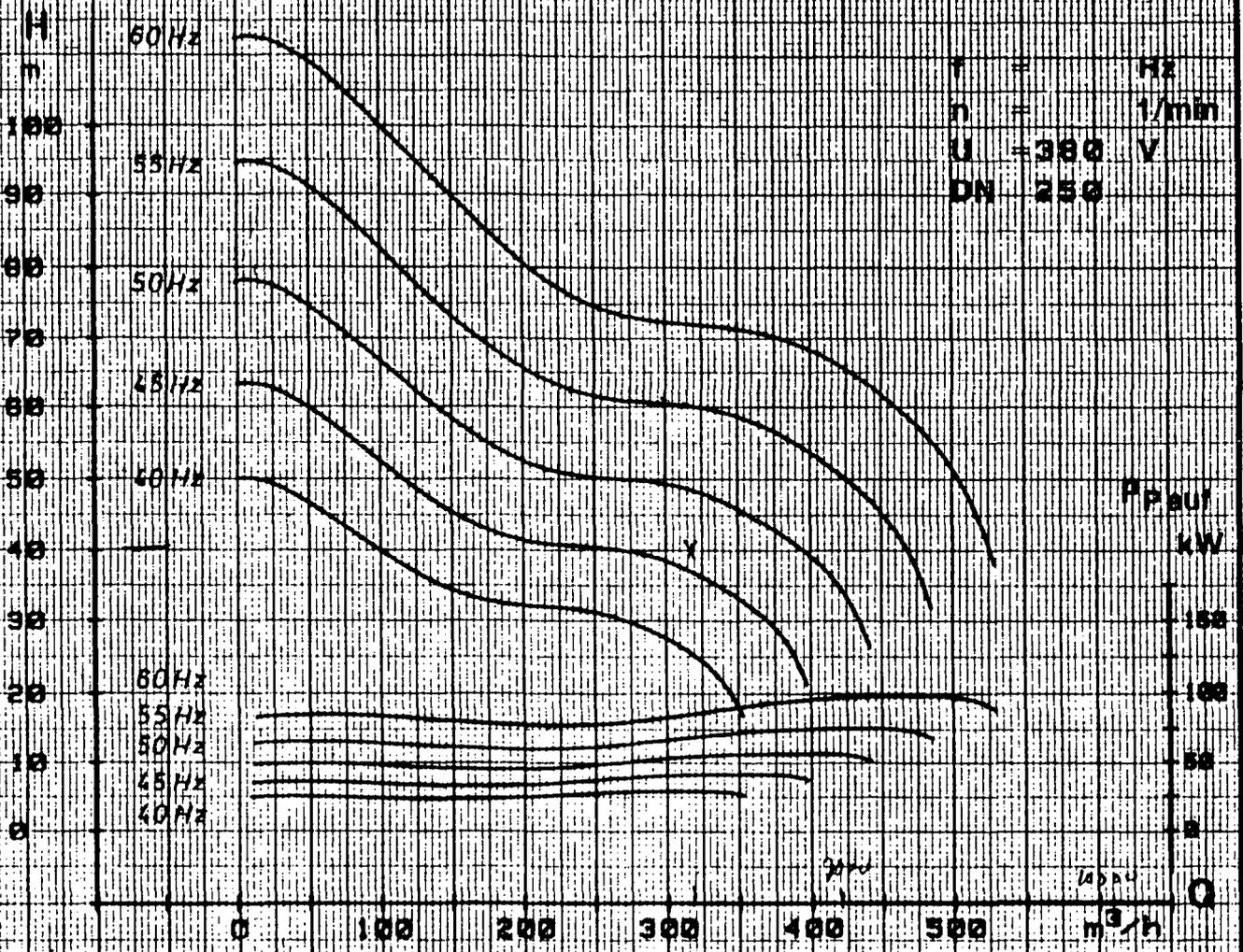
6



PLEUGER-Pumpe Q 103-2

Diagramm
S 39974

Auftrags-Nr. Order-No.	Mat.-Nr. Mach.-No.	Bez. ZUL 9607	Dat. 7.9.82 DBL
---------------------------	-----------------------	------------------	--------------------



P _{pauf} Leistungsaufnahme in kW	P _{pauf} Powerconsumption in
η Wirkungsgrad in %	η Efficiency in %

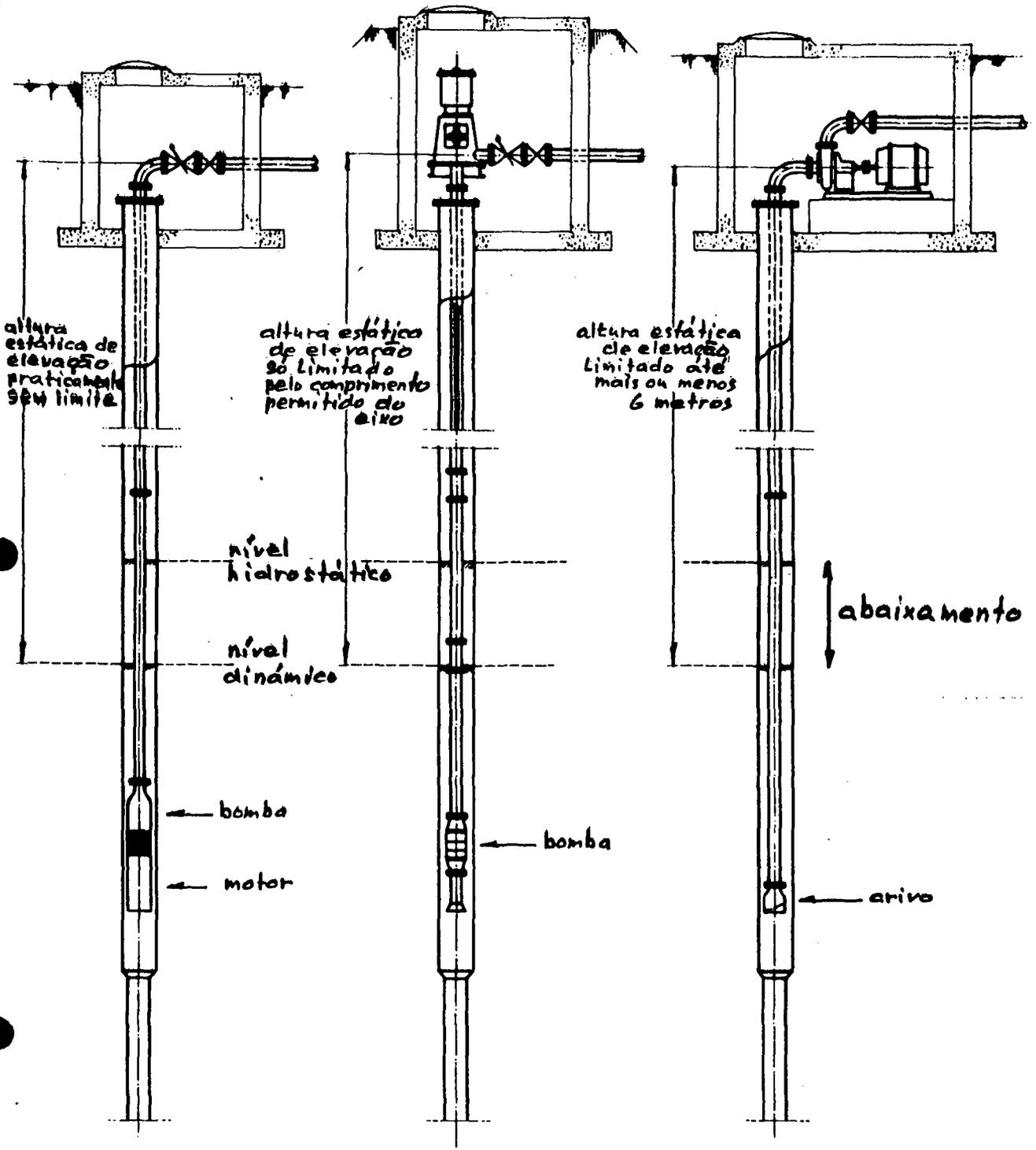
PLEUGER Unterwasserpumpen GmbH - Hamburg

FUROS DA CAPTAÇÃO

8 submersiva

9 Bomba submersível "Deepwell"

10 Bomba com eixo horizontal



8.1.4 Bombas "centrifugo-propulsoras" e "propulsoras".

As bombas deste tipo têm o rotor constituído de pás em forma de hélice e como tivemos oportunidade de ver, são utilizadas quando se pretende elevar grandes vazões a pequenas alturas (por exemplo a captação de água dum rio ou lago para irrigação). Vimos também que o movimento do fluxo é prevalentemente axial.

As bombas com rotor em forma de hélice se dividem em dois tipos, de acôrdo com as características do rotor.

a) Bomba centrifugo-propulsora ("mixed-flow-pump").

Neste tipo de bomba com rotor hélico-radial, a água recebe a energia em parte pela força centrífuga e em parte, pela propulsão direita das pás sobre o líquido.

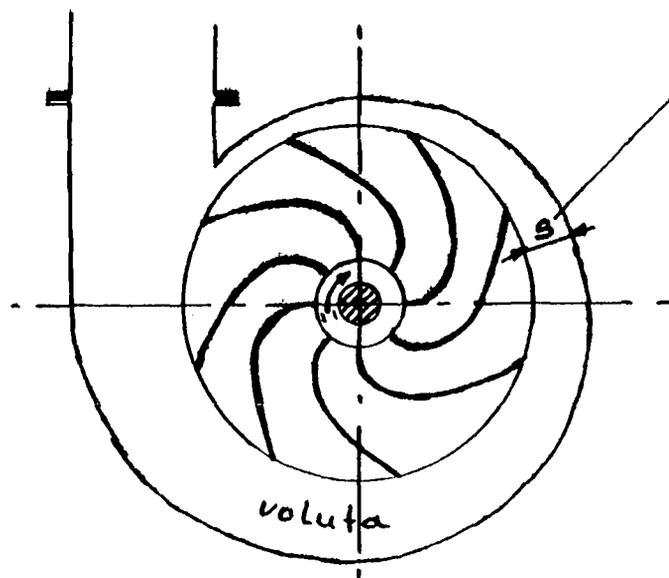
b) Bomba propulsora ("axial flow pump ou propeller pump").

O rotor deste tipo de bomba é chamado de rotor hélice ou helicoidal ou ainda hélico axial. Quase toda a energia de recalque é transmitida à água directamente pela acção de propulsão das pás, de modo que a água sai do rotor na direcção aproximadamente axial.

Característica comum aos dois tipos de bomba é que trabalham submersas, suspensas e accionadas por um eixo vertical de transmissão.

8.2 ALTURAS DE ELEVAÇÃO DA BOMBA CENTRÍFUGA, RENDIMENTO E POTÊNCIA.

Veja a figura 1 de parágrafo 8.1.3 e a figura aqui em baixo.



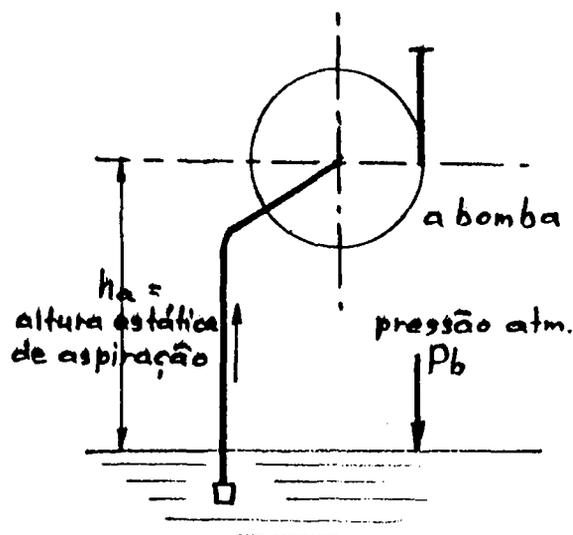
Quando a secção recta se torna maior, a velocidade do líquido diminuir-se-á de acôrdo com a equação de continuidade, $Q = \rho v$, como foi explicado no parágrafo 6.2. Em consequência do princípio de conservação da energia, a pressão hidráulica (P) vai

aumentar no mesmo tempo.

Em outras palavras, a energia produzida por exemplo por um motor diesel ou eléctrico é trazida ao líquido por meio do rotor na forma de energia cinética e depois a voluta transforma esta energia na energia estática (pressão). Assim originam-se as pressões diversas que são por unidade de peso as alturas de elevação.

8.2.1 AS RELAÇÕES ENTRE OS DESNÍVEIS TIPOGRÁFICOS E A BOMBA; ALTURAS TOTAIS OU DINÂMICAS.

- a) Por isso vamos ver primeiro o tubo de sucção mais de perto. Lembra-se de que é a pressão atmosférica local (P_b) que leva a água à entrada da bomba. Veja para. 6.4.3 e 6.8.3a.



Então :

$$H_b = h_a + \frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} + h_{ra} \quad (1)$$

Em que : (veja a próxima página)

H_b = a pressão barométrica ou atmosférica local

h_a = a altura estática de aspiração é igual à coluna de água como existe na figura e positiva. No caso do reservatório inferior estar acima da bomba, toma o valor " h_a " negativo.

$\frac{p_a}{\rho g}$ = a altura representativa de pressão; " p_a " a pressão hidráulica reinante na entrada da bomba, que supomos ser igual à entrada do rotor; veja também o para. 6.3.2 .

Neste caso uma pressão absoluta!

$\frac{v_a^2}{2g}$ = a altura representativa da velocidade; v_a é igual à velocidade dentro do tubo de sucção; veja também o para. 6.7 .

h_{ra} a resistência da tubulação de sucção exprimido em m.c.a ; veja para. 7.2 (perdas de carga)

A pressão reinante na entrada da bomba (p_a), que supomos ser igual à entrada do rotor, está já disponível para a fase seguinte, sendo o sistema de adaptar energia e de recalque.

Então podemos estipular que para elevar a água até a bomba (rotor) já foi utilizada a energia estática, como é indicado na seguinte :

$$\underbrace{H_b - \frac{p_a}{\rho g}} = \boxed{H_a} = h_a + \frac{v_a^2}{2g} + h_{ra} \quad (2)$$



chamam-se :

- Altura total de aspiração ou
- Altura manométrica de aspiração.

H_a

A altura total de aspiração ou altura manométrica de aspiração, é a diferença entre as alturas representativas de pressão atmosférica local (H_b) e da pressão reinante na entrada da bomba.

A altura total de aspiração representa, portanto, a energia que cada kgf (= peso!) de líquido deve receber, para que, partindo do reservatório inferior, atinja a entrada da bomba, vencendo a altura h_a e as resistências passivas h_{ra} , adquirindo a energia cinética $\frac{v_a^2}{2g}$. Veja para. 6.7.

A grandeza H_a é obtida, quando a bomba está instalada e funcionando, pela leitura do vacuômetro pois, como sabemos, este instrumento fornece a pressão relativa $(H_b - \frac{p_a}{\rho g})$ na entrada da bomba.

N.B.

Lembre-se do problema de cavitação, veja para. 6.4.3.

Por isso a pressão hidráulica ($h_{pa} = \frac{p_a}{\rho g}$) deve ser igual ou maior do que a tensão de vapor do líquido (h_v).

Então :

$$h_{pa} > h_v, \text{ ou ;}$$

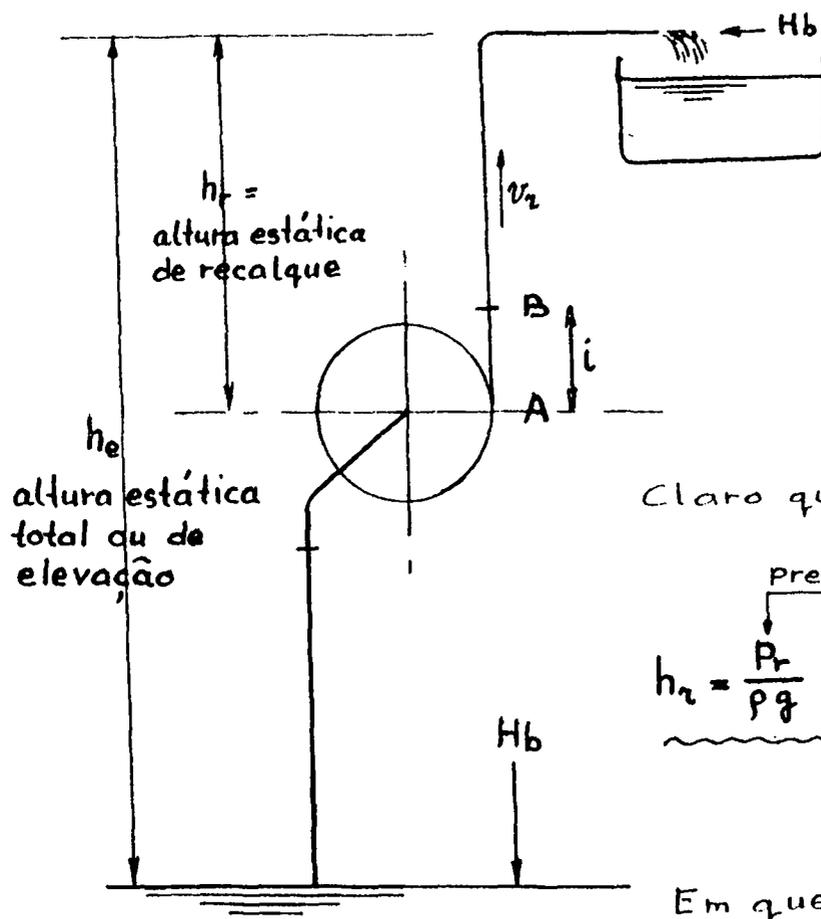
$$H_b - h_a - h_{ra} - \frac{v_a^2}{2g} > h_v, \text{ ou ;}$$

$$\underbrace{h_v}_{\approx 6 \text{ m.c.a.}} < \underbrace{H_b}_{\approx 10 \text{ m.c.a.}} - \underbrace{h_{ra} - \frac{v_a^2}{2g}}_{\approx 4 \text{ m.c.a.}}$$

por exemplo (!),
dependendo do tipo da bomba.

melhor 4 à 5 m.c.a. para evitar cavitação (reserva!)

- b) Agora vamos ver o sistema de recalque mais deperto, veja a figura seguinte :



Claro que vale a relação:

pressão absoluta!

$$h_r = \frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} - H_b - h_{rz} \quad (3)$$

Em que :

h_r = a altura estática de recalque

$\frac{P_r}{\rho g}$ = a altura representativa de pressão; P_r = a pressão hidráulica reinante na saída da voluta no ponto A da bomba. A pressão absoluta na saída real da bomba (no ponto B) é igual; $P_r - \rho g i$.
Veja também o para. 6.3.2 .

$\frac{v_2^2}{2g}$ = a altura representativa da velocidade; v_2 = a velocidade de líquido dentro do tubo de recalque; veja também o para. 6.7 .

H_b = a pressão barométrica ou atmosférica local em m.c.a.

h_{rz} = a resistência total da tubulação de recalque exprimido em m.c.a ; veja para. 7.2 (perdas de carga) ; as perdas localizadas dependem do tipo do sistema de recalque.

Tal como a altura manométrica de aspiração no sistema ou parte de sucção podemos distinguir aqui a altura total de recalque ou altura manométrica de recalque, representada por H_r

Isso é a energia que cada $\text{kgf} (= \text{peso})$ de líquido deve receber, para que, partindo da voluta da bomba (o ponto A), atinja o nível superior B, vencendo a altura h_r e as resistências passivas h_{rr} , adquirindo a energia cinética $\frac{v_2^2}{2g}$

Então :

$$H_r = h_r + h_{rr} - \boxed{\frac{v_2^2}{2g}} \quad (4)$$

este forma de energia ainda existe ao nível superior, veja ao fim do parágrafo, NB₂.

Portanto $\frac{P_r}{\rho g} - H_b = H_r^{**})!$

É claro, neste caso a pressão barométrica (H_b) é contra a pressão empurrada ($\frac{P_r}{\rho g}$).

Por outras palavras :

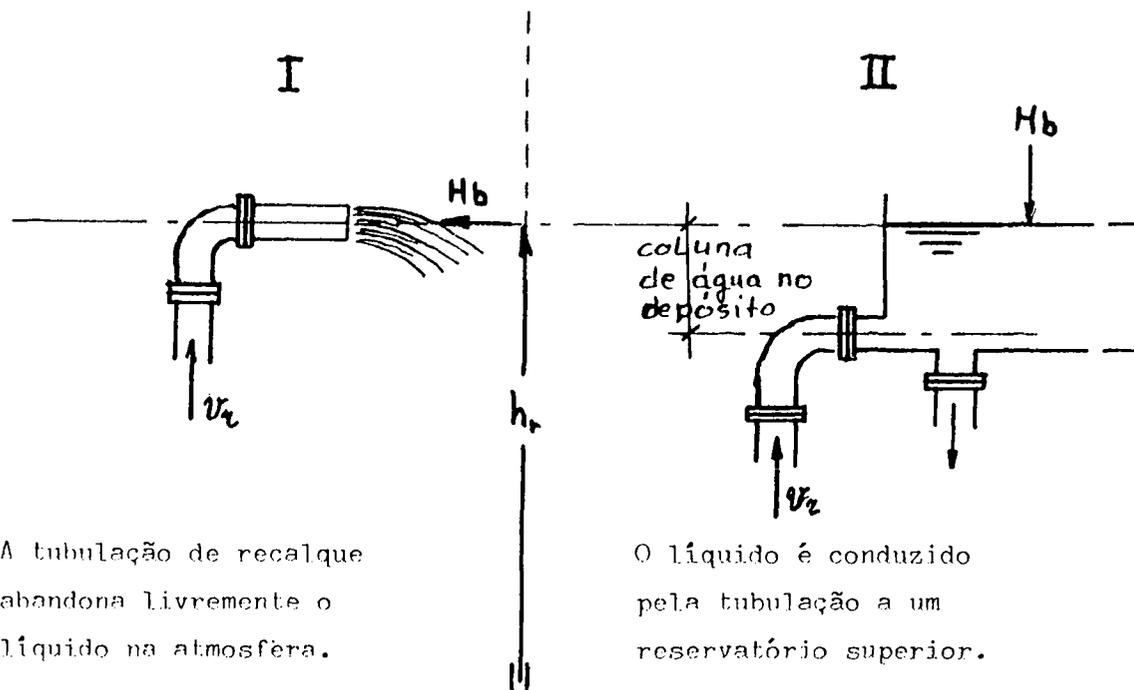
H_r

A altura total de recalque ou altura manométrica de recalque é a diferença entre as alturas representativas da pressão na saída da voluta da bomba e a atmosférica (que supusemos fosse reinante na saída da tubulação ou sistema de recalque).

*) O nível superior indica realmente a possibilidade de diversas soluções. Veja a próxima página para alguns exemplos.

***) Veja a próxima página

- *) Por exemplo podem-se considerar as seguintes formas de entrada :



A tubulação de recalque abandona livremente o líquido na atmosfera.

O líquido é conduzido pela tubulação a um reservatório superior.

Pará os calculos a diferença é unicamente na determinação das resistências respectivamente, como já foi tratado no parágrafo 7.2 .

- **) Importante de notar é que o termo " $\frac{P_r}{\rho g}$ " seja representado por uma pressão absoluta. Então como foi explicado no parágrafo 6.3.2 , H_r é representado por uma pressão relativa. Portanto, o valor dessa grandeza (H_r) é obtido pelo leitura de um manômetro, instrumento que fornece a pressão relativa.

N.B.1 Quando a secção de entrada e de saída da bomba fica localizada no mesmo nível, a distância " $A-B$ " = $l = 0$ (veja a figura na página 118). Muitas vezes podemos desprezar esta distância.

N.B.2 Quando se mede com um vacuômetro ou manômetro, reconheça a distância com o plano de referência.

- c) Como já foi indicado no fim do parágrafo 6.5.3 , vale ;

$$\underline{h_o = h_a + h_r} \quad (5)$$

Isso é claro ! Então, da mesma maneira, podemos somar H_a e H_r para obter a energia dinâmica total, representada por H_{man} .

Portanto :

$$\begin{aligned}
 H_a &= H_b - \frac{P_a}{\rho g} \\
 + H_r &= \frac{P_r}{\rho g} - H_b \\
 \hline
 H_{man} = H_a + H_r &= \frac{P_r}{\rho g} - \frac{P_a}{\rho g}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

a pressão relativa à entrada da bomba.
 a pressão relativa à saída do rotor da bomba.

Em palavras :

H_{man} .

A altura manométrica de elevação ou simplesmente altura manométrica é a diferença entre as alturas representativas das pressões na saída da voluta da bomba e na entrada da bomba.

Com as equações 2, 4, e 5 podemos escrever também :

$$H_{man} = h_a + h_r + h_{ra} + h_{rr} + \frac{v_a^2}{2g} - \frac{v_r^2}{2g}
 \tag{7}$$

Esta forma de energia representa a energia cinética por unidade de peso que ainda existe ao fim do processo de elevar a água pela bomba. O que quer dizer que no sistema de recalque que abandona livremente (veja A), este termo pode ser zero.

Então, em instalações de certa responsabilidade, tais como nas industriais e empresas de abastecimento de água, nas chamadas estações elevatórias de água e outras, utilizam-se um manômetro colocado no encanamento de recalque e um vacuômetro na tubulação de aspiração próxima à boca da bomba.

Como já foi mencionado, estes instrumentos medem as pressões relativas existentes no encanamento. Mostremos como exprimir H_{man} em função das leituras feitas simultaneamente nesses instrumentos.

Sejam :

- a leitura no manômetro
- " " " vacuômetro
- a diferença de cotas entre os centros desses instrumentos (ou entre as "entradas" dos mesmos).

d) Note-se bem!

- As alturas estáticas são desniveis de água, que poderão ser comparados com as alturas de posição, como foi tratado por extenso no para. 6.6 .
- As alturas manométricas são também uma espécie de desniveis, mas agora desniveis de pressão relativa, que poderão ser comparados com as cotas piezométricas, como foi tratado no mesmo para. 6.6 .

É claro que o pensamento se levanta sobre o terceiro factor, a energia devido à velocidade, do movimento

Ora bem! Por isso existe a noção :

Altura útil de elevação

Representada por H_u , é a energia que a unidade de peso de líquido adquire em sua passagem pela bomba. Graças a essa energia, o líquido se escoar no encanamento.

O "ASME Power Test Code for Pumps" e o "Hydraulic Institute Standards" definem essa grandeza como :

"Total head" ou "Dynamic head"

(altura total ou altura dinâmica)

Sendo :

$$H_u = \left(\frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} \right)$$

$$\underline{H_u = H_{man} + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g}}$$

⑧

Mas :

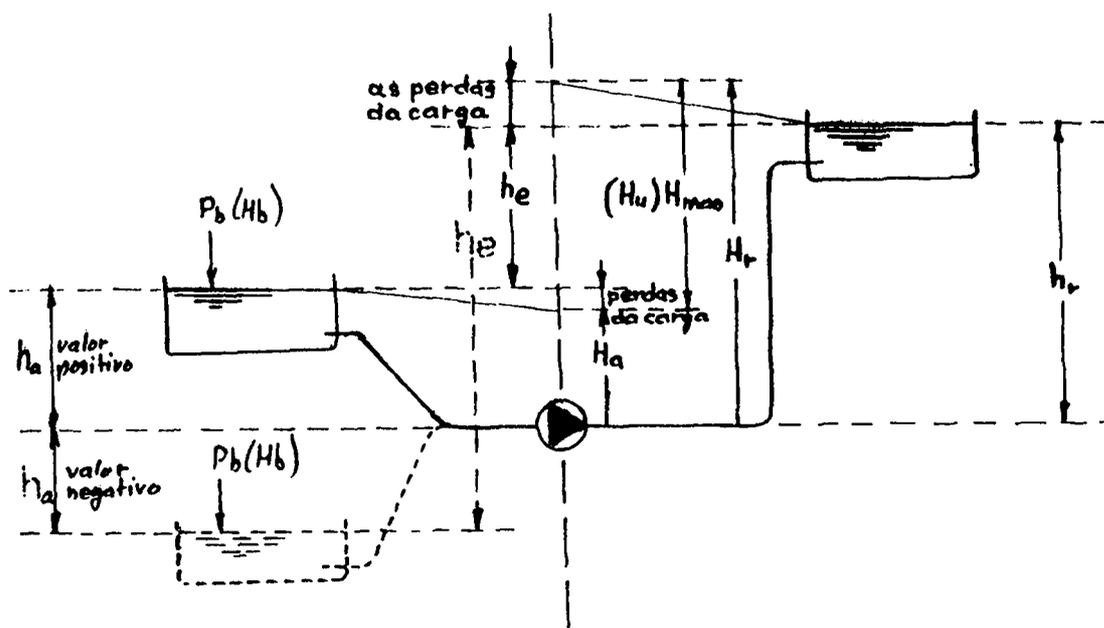
Se os diâmetros de entrada e saída da bomba forem iguais, $v_2 = v_1$ e concluiremos ser $H_{man} = H_u$.

Quando não ocorre essa particularidade, temos sempre $v_2 > v_1$, indicando que H_u difere de H_{man} por levar em conta a variação de energia cinética do líquido ao atravessar a bomba.

Em muitos casos, a diferença das velocidades não é grande, permitindo, quase sempre, substituir H_u por H_{man} sem erro sensível para os resultados práticos.

Por isso, em nossa literatura técnica, alguns autores designam essa grandeza H_u , tal como a definimos, como altura manométrica, e identificam esta altura manométrica como o "Total head" acima mencionado.

Vamos ver na figura :



Em que :

h_a =	Altura	estática	de	aspiração	} Alturas desníveis
h_r =	"	"	"	recalque	
h_e =	"	"	"	elevação	

$$h_e = h_r \pm h_a$$

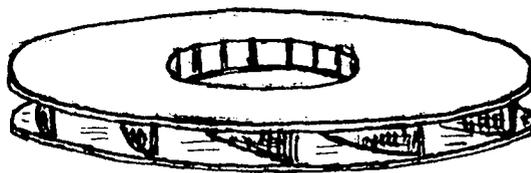
H_a =	Altura	manométrica	de	aspiração	} Alturas dinâmicas
H_r =	"	"	"	recalque	
H_{man} =	"	"	"	elevação	

$$H_{man} = H_r \pm H_a$$

Na prática $H_u \approx H_{man}$

8.2.2 TEORIA DO ROTOR duma bomba centrífuga :

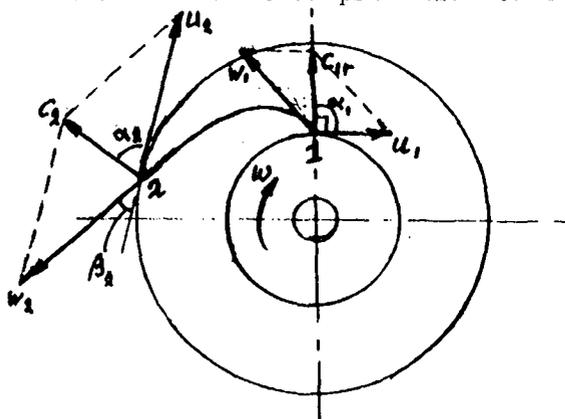
Na forma mais simples, o rotor é constituído por dois discos planos, nos quais se encontram pequenas traves que se chamam pás, veja a figura.



Este rotor tem consequentemente uma abertura para lançar a água para dentro.

Pelo movimento rotativo do rotor, o líquido correrá do meio do rotor para o contorno exterior.

Consideramos pois, na figura seguinte, a corrente líquida que atravessa uma conduta móvel compreendida entre duas pás sucessivas de um rotor,



que entra no rotor no ponto 1 e o abandona no ponto 2.

Em ambos os pontos, consideramos os três segmentos de velocidade que actuam sobre uma partícula líquida que percorre o filete em exame.

C = velocidade absoluta no espaço, isto é, velocidade com que a partícula é vista mover-se por um observador fixo.

w = velocidade relativa, ou seja, a que perceberia um observador transportado pelo rotor.

u = velocidade periférica

O líquido entra no rotor radial porque o ângulo α_1 é 90° , que muitas vezes seria assim.

O triângulo em 1 é chamado de triângulo de entrada e o em 2 triângulo de saída.

No percurso entre as bordas de entrada e de saída, tendo em vista a variação de secção, a curvatura da pá e a variação do raio, a velocidade relativa sofrerá modificação atingindo, no bordo de saída o valor W_2 , este dirigido segundo o ângulo β_2 , e mais a velocidade periférica u_2 , permitindo constituir o triângulo de velocidade de saída e determinar a velocidade absoluta de saída C_2 que é, também, a velocidade de entrada da água na câmara que envolve o rotor, a voluta.

Feitas estas considerações, a energia cedida ao líquido na "bomba teórica" pelo rotor com entrada meridiana, é dada, segundo Euler por :

$$H_{Eu} = \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2}{g}$$

Em que H_{Eu} expressa a altura teórica de elevação segundo Euler, que se poderia obter por intermédio de um rotor, desprezando-se as perdas e considerando um fluido ideal em movimento uniforme, o que somente seria obtido com um número elevado de pás atingindo um número infinito de pás, sem espessura.

Portanto uma bomba teórica, como foi mencionada acima.

Na realidade, os rotores contêm um número reduzido de pás e a água, em seu percurso, não estará isenta de choques e movimentos vorticosos.

(continua)
página 126

A derivação desta equação não é muito difícil pondo-se noção sobre o teorema de Bernoulli e saber calcular com a força centrífuga, que seja expressa por :

$$F = m \omega^2 r$$

raio
 a velocidade angular
 a massa

Veja os livros próprios sobre isto!

Para suprir esta falta de uniformidade introduz-se um coeficiente, chamado coeficiente de redução (η_{pa}), devido ao número finito de pás, o qual depende da forma e número de pás, do diâmetro do rotor e do tipo de difusão da bomba.

Então vale :

$$\underline{H_{te} = \eta_{pa} H_{eu}}$$

Em que : H_{te} = altura teórica de elevação (finito de pás)

H_{eu} = " " " " segundo Euler.

η_{pa} = coeficiente de redução, o qual tem um valor variável entre 0,6 e 0,84, dos mínimos para os máximos diâmetros, e é admitido manter-se constante com o variar da vazão.

Mas leva em conta também as perdas de natureza hidráulica ocorridas no interior do rotor; estas são perdas por atrito, colisões das partículas. Por isso, introduz-se um coeficiente hidráulico (η_h), com que obtemos :

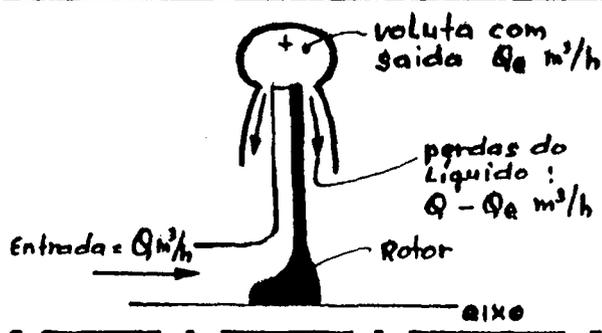
$$\underline{H_{man} = \eta_h H_{te}}$$

Em que H_{man} é igual à altura manométrica de elevação já conhecida e tratado no parágrafo 8.2.1.c .

O que quer dizer o valor medido por meio dos manômetros (ou vacuômetro + manômetro) à entrada e saída da bomba.

Isso é também o valor expressado nos catálogos industriais, o valor que corresponde à vazão determinada e efectiva (Q_a).

A vazão efectiva, representada por Q_e , é determinada pelo coeficiente volumétrico η_v . O que quer dizer



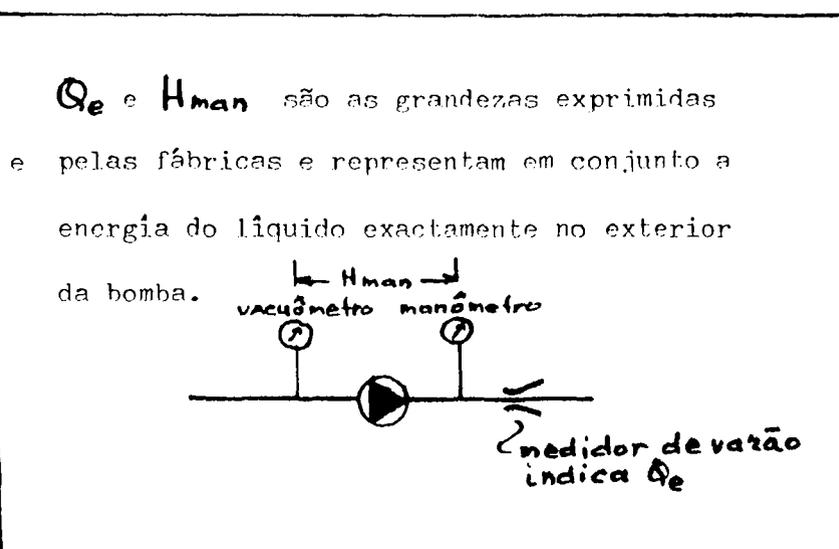
a quantidade que a bomba leva e corresponde a H_{man} .

Este valor não é o mesmo que a quantidade da água ou outro líquido, que entra na bomba.

Isso, por razão das perdas do líquido, como foi indicado na figura acima.

Portanto :

$$\underline{Q_e = \eta_v Q}$$



8.2.3 Potências

Para obter a potência que deve ser fornecida, por exemplo, pelo motor eléctrico no eixo da bomba, temos que levar em conta todos os coeficientes do rendimento partindo das grandezas Q_e e H_{man} .

Estes coeficientes são :

- η_h = coeficiente hidráulico, veja o texto precedente.
- η_v = " volumétrico, " " " " "
- η_m = " mecânico, devido à resistência mecânica desenvolvida nos mancais etc.

O rendimento total chama-se o rendimento da bomba η_b .

Portanto

$$\eta_b = \eta_h \times \eta_v \times \eta_m$$

hidraulico
volumetrico
mecânico

O rendimento total é também a relação entre a potência útil e a motriz, como é explicada na seguinte.

$$\eta_b = \frac{N_u}{N_m} \quad **)$$

a) A potência cedida pelo rotor ao líquido é a

potência útil, representada por N_u ;

isso é aproveitado pelo líquido para realização do trabalho do escoamento e dado por :

Volume elevado	:	Q_e	[m ³ /seg.]
Massa "	:	ρQ_e	[Kg/seg.]
Força (peso) por unidade de tempo	:	$\rho g Q_e$	[N/seg.]
Espaço	:	H_{man}	[m']

peso = massa x g

Potência ^{*)} = Força x Espaço por unidade de tempo!

Potência útil

$$N_u = \rho g Q_e H_{man}$$

$$[Nm/sec = watt^{**})]$$

①

Em que : ρ = densidade absoluta em Kg/m³
 g = aceleração da gravidade em m/s² = N/Kg
 Q_e = a vazão efetivo em m³/seg.
 H_{man} = a altura manométrica em m' } veja o catalogo s de manufaturei o

^{*)} Veja também o para. 6.8.4 ; a potência é representada por N ou P ; é a mesma coisa

^{**)} Note : N_m = potência motriz e Nm = Newton x metro !

b) Então a potência fornecida pelo motor ao eixo da bomba, representado por N_m , chama-se a potência motriz ou consumo da energia da bomba.

Como já foi mencionado, isso é dada por :

$$\text{Potência motriz } N_m = \frac{\rho g Q_e H_{man}}{\eta_b} \text{ watt} \quad (2)$$

Em que : ρ = densidade absoluta em kg/m^3
 g = aceleração da gravidade em $\text{m}/\text{s}^2 = \text{N}/\text{kg}$
 Q_e = a vazão efetiva em m^3/s
 H_{man} = a altura manométrica em $\text{m}' (= \text{m.c.a.})$
 η_b = o rendimento da bomba

Veja o catálogo de fabricante para _____

Ou para o caso de água com vazão em m^3/h :

$$\rho_v = 1000 \text{ kg.}/\text{m}^3, \\ g = 9,813 \text{ N}/\text{kgm} \\ N_m = \frac{9813 \cdot \frac{Q_e}{3600} \cdot H_{man}}{\eta_b} \quad \text{ou :}$$

$$N_m = \frac{Q_e \cdot H_{man}}{\eta_b} \cdot 2,73 \text{ watt} \quad (3)$$

Só por água e Q_e em m^3/h
 H_{man} " m'

Ou com 1 C.V. (Horse Power) = 736 watt *)

$$N_m = \frac{Q_e \cdot H_{man}}{270 \cdot \eta_b} \text{ C.V.} \quad (4)$$

Só por água e Q_e em m^3/h
 H_{man} " m'

*) É o valor em Europa ; no EUA este valor é 735 watt !

Ou a mesma coisa, mas Q_e em $l/seg.$:

$$N_m = \frac{Q_e H_{man}}{75 \eta_b} \text{ C.V.} \quad (5)$$

Só por água! Q_e em l/s
 H_{man} em m

N.B. 1 Outro pensamento com peso específico γ [kg/dm^3]!

No tempo do sistema de unidades antigo, o sistema cgs/mks , o raciocínio era:

Se uma bomba leva $Q_e dm^3$ líquido por segundo ou $\gamma Q_e kg$ por segundo e leva esta quantidade H metros, isto é a altura manométrica H_{man} , utiliza-se a potência (N_u):

$$N_u = \underbrace{\gamma Q_e}_{kg} \underbrace{H_{man}}_{m} \text{ kgm/seg.}$$

ou com $1 CV = 75 \text{ kgm/seg.}$ e $N_m = \frac{N_u}{75}$

$$N_m = \frac{\gamma Q_e H_{man}}{75 \eta_b} \text{ C.V.} \quad (6)$$

Em que: γ = peso específico em kg/dm^3 [sistema mks]

Q_e = a vazão em l/s

H_{man} = a altura manométrica em m

η_b = rendimento da bomba

ou para o caso de água $\gamma = 1 \text{ kg/dm}^3$ com vazão em l/s :

$$N_m = \frac{Q_e H_{man}}{75 \eta_b} \text{ C.V.} \quad (7) = (5)$$

N.B. 2 Cuidado com a mudança de unidades, especialmente através do sistema de unidades novo e antigamente!

N.B. 3 Notemos que o valor de η_b obtido experimentalmente já supõe a substituição do H_u pelo $H_{man.}$, pois o que se mede no ensaio é o $H_{man.}$.

N.B. 4 Na escolha dos motores eléctricos, eles devem ser previstos com uma margem de segurança, que normalmente está computada nas curvas e tabelas elaboradas pelos fabricantes das bombas. Em geral, recomenda-se o seguinte acréscimo, para uma maior segurança, quando faltarem dados dos fabricantes.

Potência motriz da bomba como calculada até :	Acréscimo
2 C.V ou 1,5	50 %
3 a 5 C.V ou 2,2 - 3,6 kW	30 %
6 a 10 C.V ou 4,4 - 7,4 kW	25 %
11 a 25 C.V ou 8 - 18 kW	15 %
Acima de 25 C.V ou 18 kW	10 %

N.B. 5 Devido à temperatura de circunvizinhanças leva-se em conta um factor para diminuir a potência anunciada no motor eléctrico. Seja este factor como indicado na tabela seguinte :

Temperatura °C	Potência anunciada (%)
40	100
50	92
60	84

8.3 CARACTERÍSTICAS DAS BOMBAS CENTRIFUGAS.

Sendo a descarga a grandeza que mais facilmente pode ser variada (com a manobra duma válvula, por exemplo), é do maior interesse saber como variam as grandezas características em relação à mesma.

8.3.1 A variação de altura manométrica (H_{man}) com a vazão (Q_e)

Principalmente a variação de H_{man} em relação à variação de vazão Q_e é muito importante, sendo a quantidade e pressão fornecida. É claro! Para determinar esta relação é preciso estudar à acção do rotor mais a fundo.

Note que vale o seguinte :

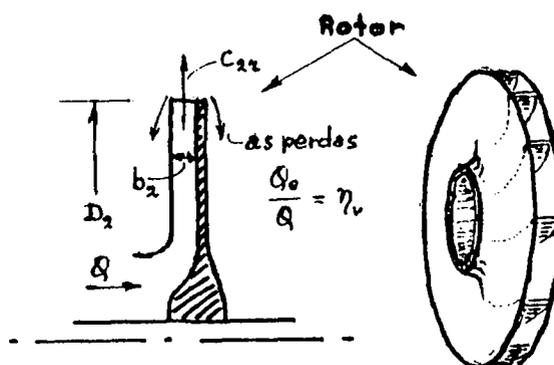
$$(a) \quad Q_e = \underbrace{\varepsilon_2 \pi D_2 b_2 C_{2z}}_Q \eta_v$$

Em que :

$$\varepsilon_2 = \frac{\pi D_2 - \alpha e}{\pi D_2}$$

α = número de pás

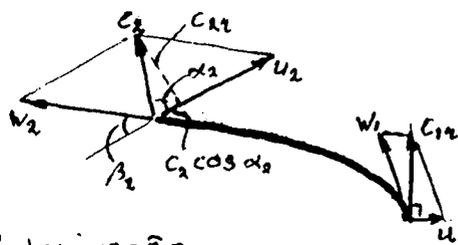
e = espessura de pá



$$(b) \quad H_{Eu} = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g}$$

Altura de elevação segundo EULER!

Veja os livros próprios para derivação.



$$(c) \quad C_{2z} = (u_2 - c_2 \cos \alpha_2) \operatorname{tg} \beta_2$$

Então equação (c) com (a) dá :

$$Q_e = \varepsilon_2 \pi D_2 b_2 (u_2 - c_2 \cos \alpha_2) \operatorname{tg} \beta_2 \eta_v, \text{ ou :}$$

$$Q_e \cotg. \beta_2 = \varepsilon_2 \pi D_2 b_2 \eta_v u_2 - \varepsilon_2 \pi D_2 b_2 \eta_v c_2 \cos \alpha_2 .$$

Ou :

$$- \frac{Q_e \cotg \beta_2}{\varepsilon_2 \pi D_2 b_2 \eta_v} + u_2 = c_2 \cos \alpha_2$$

Ou substituindo em (b) :

$$H_{Eu} = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \cotg \beta_2}{g \varepsilon_2 \pi D_2 b_2 \eta_v} Q_e$$

Agora, que factores nesta equação são variáveis ?

Só : a vazão efetiva, Q_e

a altura de elevação de Euler, H_{Eu}

a velocidade periférica u_2 ; o qual depende ao número de rotações.

Por certo, todos outros dados são dados fixos, pelo menos para uma bomba determinada.

Então, para um valor de número de rotações ($n = n_1$) podemos tirar juntos todos os outros dados numa constante, de maneira que obtemos uma equação de forma seguinte :

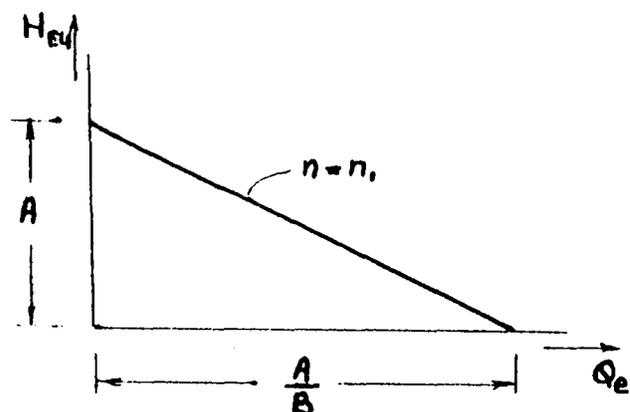
$$H_{Eu} = \left| A - B Q_e \right|_{n=n_1}$$

Esta forma de equação pode-se representar por uma linha recta, como se indica abaixo:

Suponha :

$$Q_e = 0 \rightarrow H_{Eu} = A$$

$$H_{Eu} = 0 \rightarrow Q_e = \frac{A}{B}$$



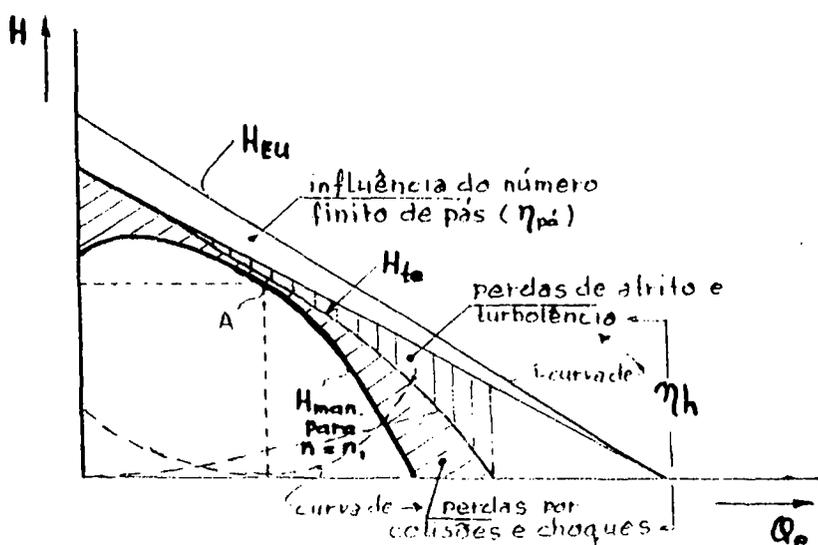
O que quer dizer, que a relação entre $\underline{Q_e}$ e $\underline{H_{man}}$ deve ser uma função linear. Mas em lugar desta função queremos a função: $(\underline{Q_e}, \underline{H_{man}})$. Ora bem !

Quais são as relações entre $\underline{H_{eu}}$ e $\underline{H_{man}}$? Já sabe, são os rendimentos ; $\eta_{pá}$ e η_h ! Veja o parágrafo 8.2.3 .

Como variará cada um destes rendimentos por causa das variações de $\underline{Q_e}$?

O rendimento de pá, $\eta_{pá}$, é um valor constante para cada vazão efetivo, $\underline{Q_e}$.

Portanto $\underline{H_{te}}$ será situado um pouco mais a baixo de $\underline{H_{eu}}$



Veja a figura.

O rendimento hidráulico é de outro modo, veja a figura esquerda.

O rendimento hidráulico origina atrito e de colisões.

É claro quando $\underline{Q_e} = 0$, o atrito também é igual a zero, mas não as perdas

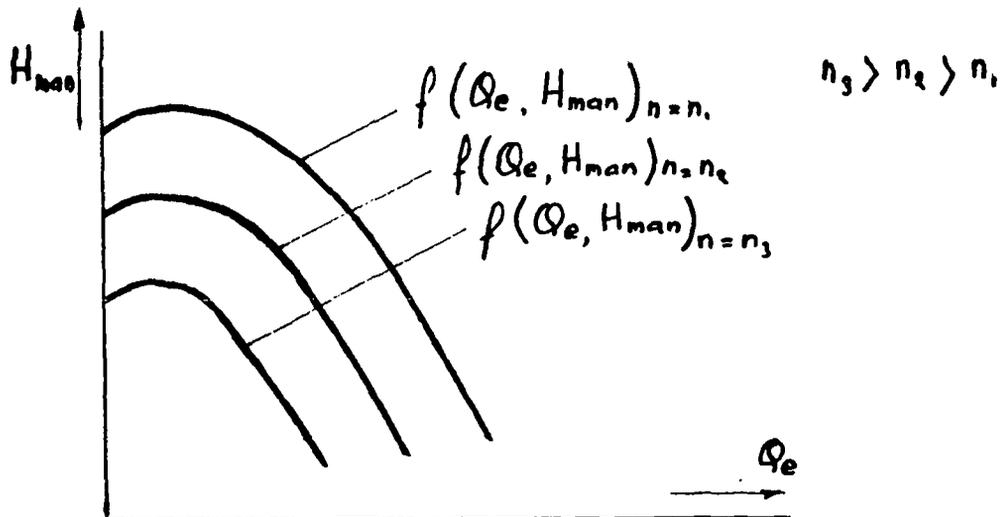
por colisões e choques.

Num ponto determinado, o atrito é máximo e mais água não pode escoar através da bomba devido este atrito. Embora as perdas devidas às colisões e choques sejam mínimos no valor de $\underline{Q_e}$ e $\underline{H_{man}}$ para que a bomba fosse projectada. ^{Veja o ponto A.}

Neste caso, a corrente de água através da bomba é quase a mesmo que a curva de pá.

Subtraindo estas perdas do $\underline{H_{te}}$ da $\underline{H_{man}}$ como indica na figura e encontramos a função $(\underline{Q_e}, \underline{H_{man}})$ para $n = n_1$.

Para outros números de rotações vamos encontrar curvas de mesma forma parabólica mas mais abaixo ou mais acima, dependendo do valor de "n".
Veja a figura seguinte :



8.3.2 Variação da potência (N_m) com a vazão (Q_e).

Sabemos que a potência motriz (N_m) é

dada por
$$\rho g \frac{Q_e H_{man}}{\eta_b}$$

Com $\eta_b = \eta_v \times \eta_h \times \eta_m$ esta relação pode ser escrita como

$$\frac{\rho g}{\eta_v \eta_m} \cdot Q_e \cdot \frac{H_{man}}{\eta_h}$$

Em que : $\rho g = \gamma$ é um constante em relação a Q_e

e para água = 1

$$\cdot \frac{H_{man}}{\eta_h} = H_{te} = \eta_{pa} H_{eu}$$

Então :

$$N_m = \frac{\eta_{pa'}}{\eta_v \eta_m} \cdot Q_e \cdot H_{EU}$$

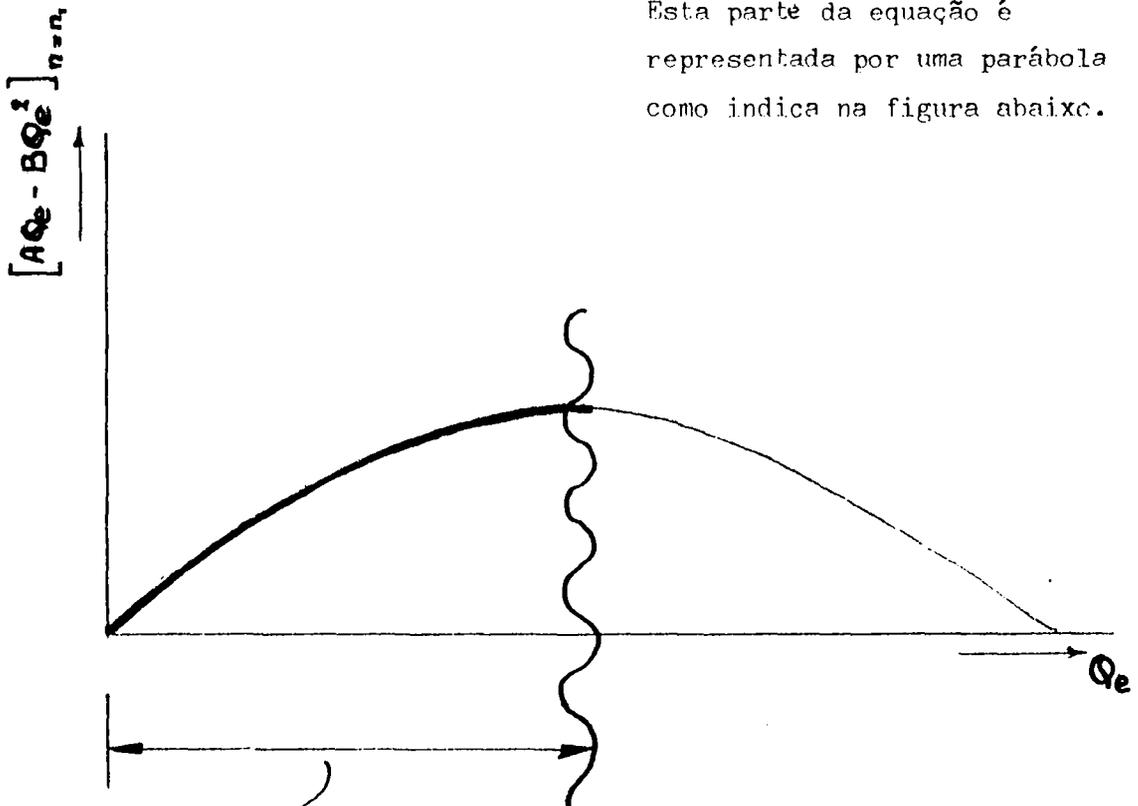
Mas segundo o parágrafo precedente :

$$H_{EU} = \left[A - B Q_e \right]_{n=n_1} = A \text{ potência segundo EULER}$$

Portanto :

$$N_m = \frac{\eta_{pa'}}{\eta_v \cdot \eta_m} \cdot \underbrace{\left[A Q_e - B Q_e^2 \right]_{n=n_1}}$$

Esta parte da equação é representada por uma parábola como indica na figura abaixo.

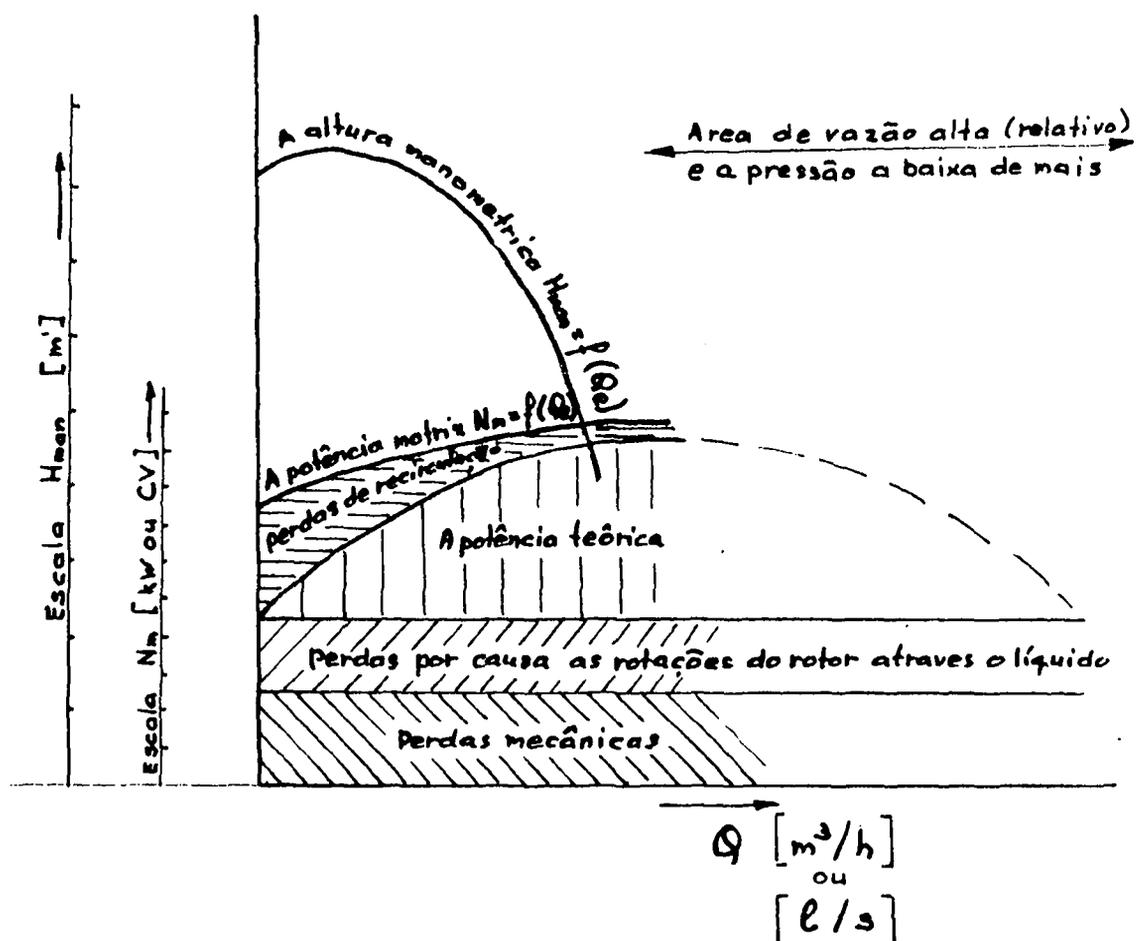


Na prática só esta parte é aplicável ;

isso aparece quando se inclui a característica $H_{man} = f(Q_e)$

É necessário também o fornecimento de uma certa potência pelo motor, para vencer as perdas no interior da bomba.

As curvas obtidas com os ensaios têm o aspecto indicado na figura seguinte :



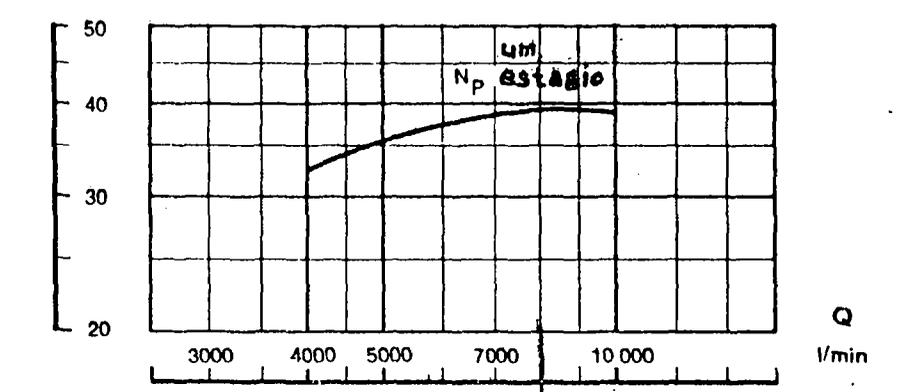
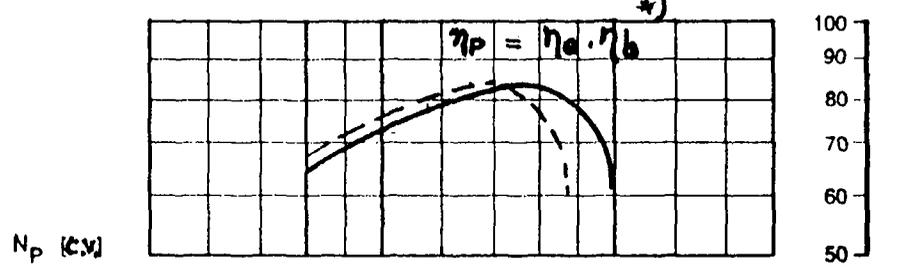
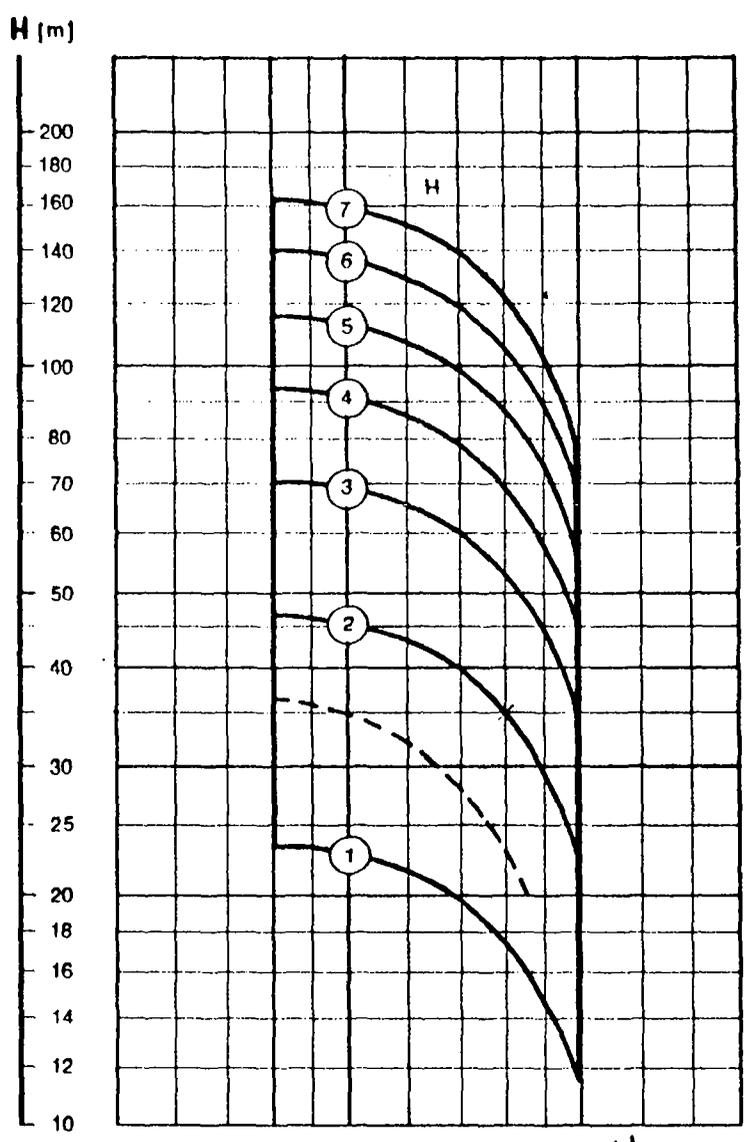
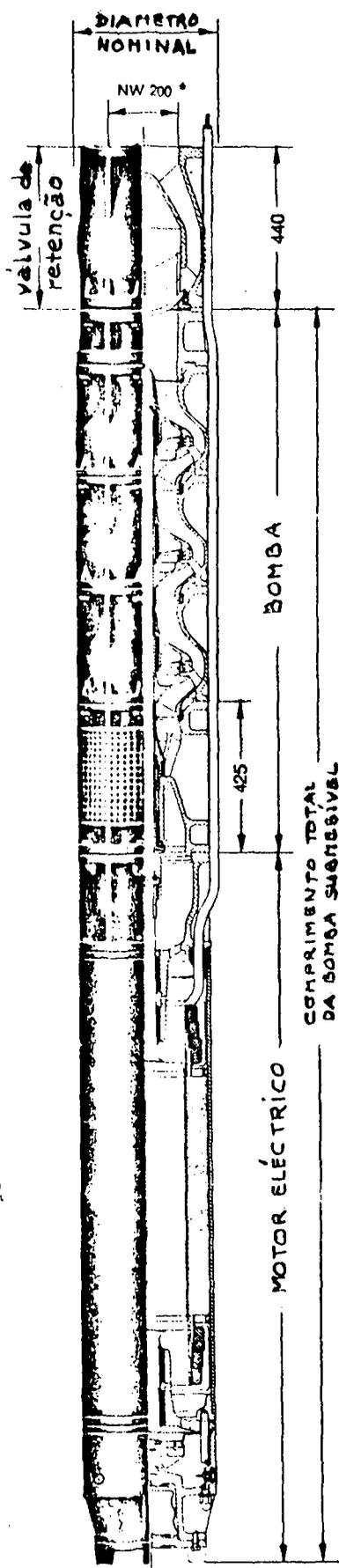
N.B. Como já indicado no parágrafo 8.2.3 os rendimentos são as relações entre potências.

É costume pela fábrica de bombas submeter, ao lado das curvas **Q-H** e potência, também características do rendimento como função de vazão.

Veja em anexo mesmo uns exemplos destas curvas como submetido por uma fábrica.

Note que o rendimento é alto de mais no ponto de trabalho em que a bomba é desenhada.

BOMBA SUBMERSÍVEL



*) η_e = rendimento motor eléctrico.
 η_b = rendimento bomba.

8.3.3 Variações das grandezas Q_e , H_{man} e N com o número de rotações n .

A bomba é projectada para atender a um valor prefixado do número de rotações. Com esse valor do número de rotações, operará com uma vazão Q_e , uma altura manométrica H_{man} , proporcionando um rendimento da bomba η_b .

Pode-se entretanto, desejar que a bomba funcione com outros valores da vazão ou da altura, e uma das soluções consiste em variar o número de rotações.

Segundo o parágrafo precedente sabemos que a energia cedida à unidade de peso de líquido pelo rotor é :

$$H_{Eu} = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g}$$

É claro que as velocidades u_2 e $c_2 \cos \alpha_2$ são proporcionais ao número de rotações por minuto n , de modo que H_{Eu} e consequentemente H_{man} é proporcional ao quadrado de "n".

Então as alturas variam segundo a proporção :

$$\underline{H_{man 2} \approx \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 H_{man 1}}$$

A vazão Q_e variará proporcionalmente a "n", porque é proporcional à componente meridiana c_{2r} e a área de secção de escoamento permanece a mesma. Assim para a mesma bomba :

$$\underline{Q_{e2} \approx \left(\frac{n_2}{n_1} \right) Q_{e1}}$$

A potência N_m pode ser expressa por $N_m = \frac{\rho g Q_e H_{man}}{\eta_b}$ watt, veja para 8.2.3. Como estamos admitindo η_b constante mais ou menos dentro duma área determinada das características (Q_e, H_{man}) , a relação entre as potências para os dois estados de funcionamento será

$$\frac{N_{m2}}{N_{m1}} = \frac{Q_{e2} \cdot H_{man 2}}{Q_{e1} \cdot H_{man 1}}$$

e consequentemente :

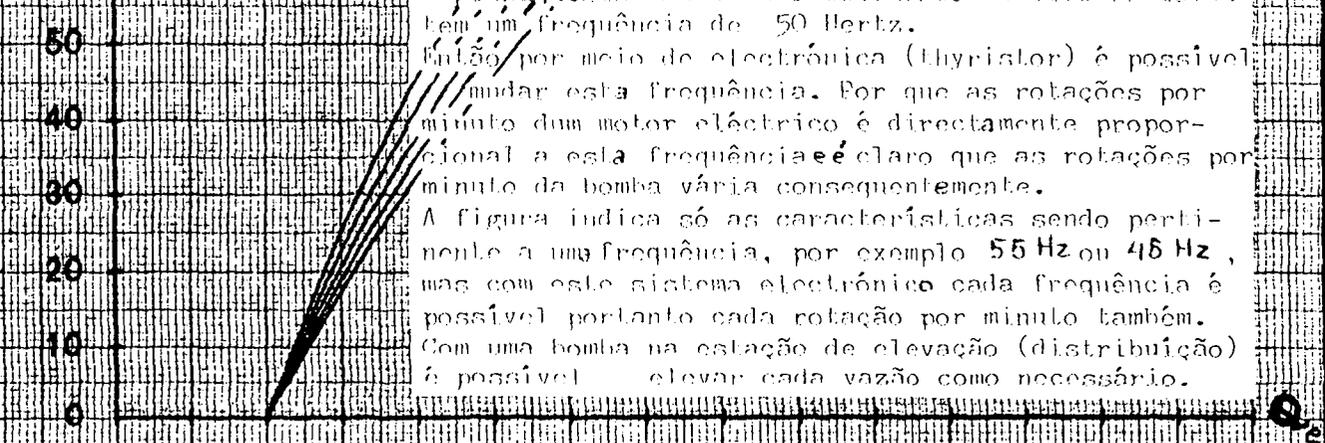
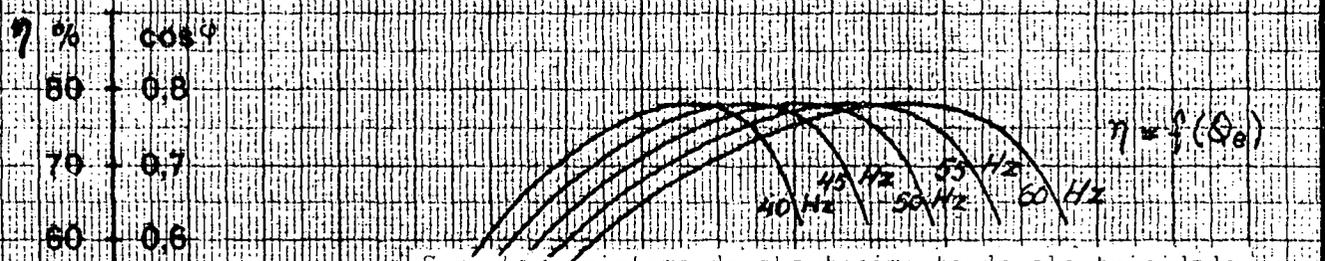
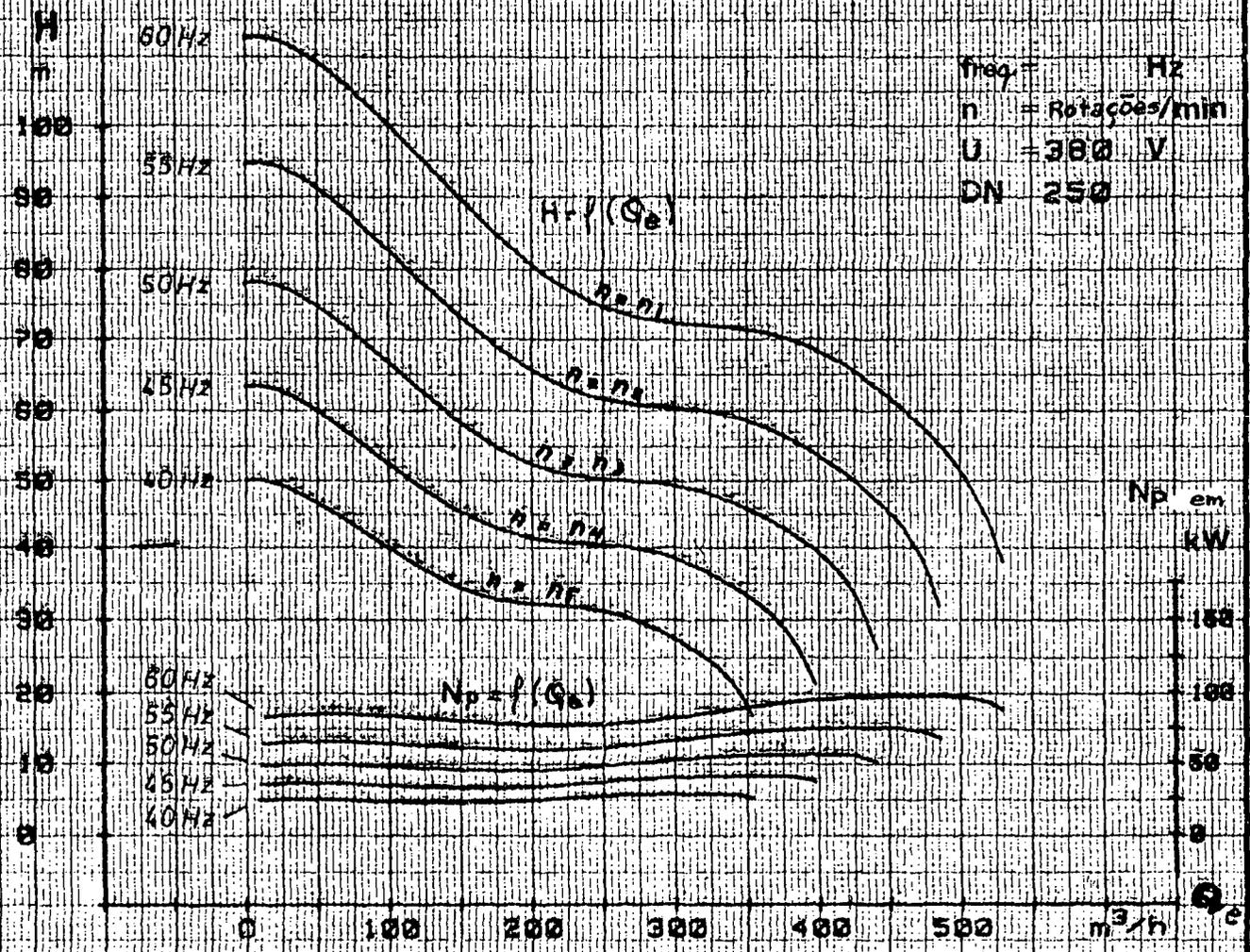
$$\underline{N_{m2} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 N_{m1}}$$



PLEUGER-Pumpe Q 703-2

Diagramm

Abtrag-Nr. Order-No.	Mat-Nr. Mach-No.	geoz. Zeich. geogr.	Dat. 7/9/82 Dat.	S 39974
-------------------------	---------------------	------------------------	---------------------	---------



Suponha que sistema de abastecimento de electricidade tem um frequência de 50 Hertz. Então por meio de electrónica (thyristor) é possível mudar esta frequência. Por que as rotações por minuto dum motor eléctrico é directamente proporcional a esta frequência é claro que as rotações por minuto da bomba varia consequentemente. A figura indica só as características sendo pertinente a uma frequência, por exemplo 55 Hz ou 48 Hz, mas com este sistema electrónico cada frequência é possível portanto cada rotação por minuto também. Com uma bomba na estação de elevação (distribuição) é possível elevar cada vazão como necessário.

N_p Consumo de energia em kW	$N_{p\text{auf}}$ Power consumption in kW
η Rendimento em %	η Efficiency in %

8.4 NÚMERO CARACTERÍSTICO DE ROTAÇÕES POR MINUTO (ou velocidade específica nominal) E VELOCIDADE ESPECÍFICA. n_q e n_s .

Na classificação das turbobombas, vimos que delas existem vários tipos e fixamos uma escolha preliminar baseada na descarga e na altura de manométrica ("Total head").

Vamos ver agora um critério mais rigoroso para escolher a turbobomba, quando forem fixadas a priori a descarga " Q_e ", a altura manométrica " H_{man} " (veja para. 8.2.1 d) e o número de rotações por minuto " n ".

8.4.1 A saber, este critério é um valor, um termo de comparação entre as diversas bombas centrífugas e indica qual tipo da bomba funcionando com um número n de rotações por minuto eleva uma descarga de Q_e metros cúbicos de água por segundo a uma altura manométrica de H_{man} metros, na situação de máximo rendimento total da bomba η_b .

É um termo que tinha sido introduzido por Camerer na construção das turbinas, mas depois utilizou-se esta grandeza específica para desenhar as bombas centrífugas.

Esta grandeza chama-se :

Número característico de rotações por minuto " n_q ".

Isso é o número de r.p.m. duma bomba geométricamente semelhante à bomba considerada, mas capaz de elevar 1m³ de água por segundo à altura de 1 metro e definim-se em formula :

$$\textcircled{1} \quad n_q = \frac{n}{H_{man}} \sqrt{Q_e \sqrt{H_{man}}} = \frac{n \sqrt{Q_e}}{\sqrt{H_{man}^3}} \quad [\text{r.p.m.}]$$

n_q = número característico de rotações (outros chamam de rotação específica, número específico de rotações ou número de Brauer)

n = número de rotações da bomba [r.p.m.]

H_{man} = altura manométrica [m']

Q_e = descarga ou caudal da bomba

8.4.2 Como mencionado acima, em número característico de rotações por minuto, ao invés de considerarem a descarga de 1 m^3 de água por segundo, alguns autores preferem considerar a descarga de $0,075 \text{ m}^3$ por segundo. A escolha deste valor decorre de que 75 l. de água para serem elevados a uma altura de 1 metro demandam uma potência de 1 C.V. Chamam então de ;

" VELOCIDADE ESPECÍFICA [r.p.m] " ao número

de rotações por minuto da bomba geometricamente semelhante à bomba considerada, capaz de elevar de água por segundo à altura de 1 metro . Nesse caso teremos :

$$\textcircled{2} \quad n_s = 3,65 \frac{n}{H_{man}} \sqrt{Q_e \sqrt{H_{man}}} = 3,65 \frac{n \sqrt{Q_e}}{\sqrt{H_{man}^3}} \quad [\text{r.p.m}]$$

É evidente que :

$$\underline{n_s = 3,65 n_q \text{ r.p.m}}$$

8.4.3 Os norte-americanos usam U.S. galão por minuto como unidade de descarga e pés para a altura manométrica, de modo que teremos para a conversão de unidade ;

③

$$n_s(\text{métrico}) = \frac{n_s(\text{us})}{14,15}$$

e

④

$$n_s(\text{us}) = 51,64 \cdot n_q(\text{métrico})$$

Na Inglaterra usam-se Imp. galão por minuto como unidade de descarga e pés para a altura manométrica, de modo que teremos para a conversão de unidade ;

⑤

$$n_s(\text{métrico}) = \frac{n_s(\text{UK})}{12,88}$$

UK = " United Kingdom "

⑥

$$n_s(\text{UK}) = 47 n_q(\text{métrico})$$

Na Alemanha chamam-se :

n_q (métrico) ; " Schnellläufigkeit "

n_s (métrico) ; " Spezifische Drehzahl "

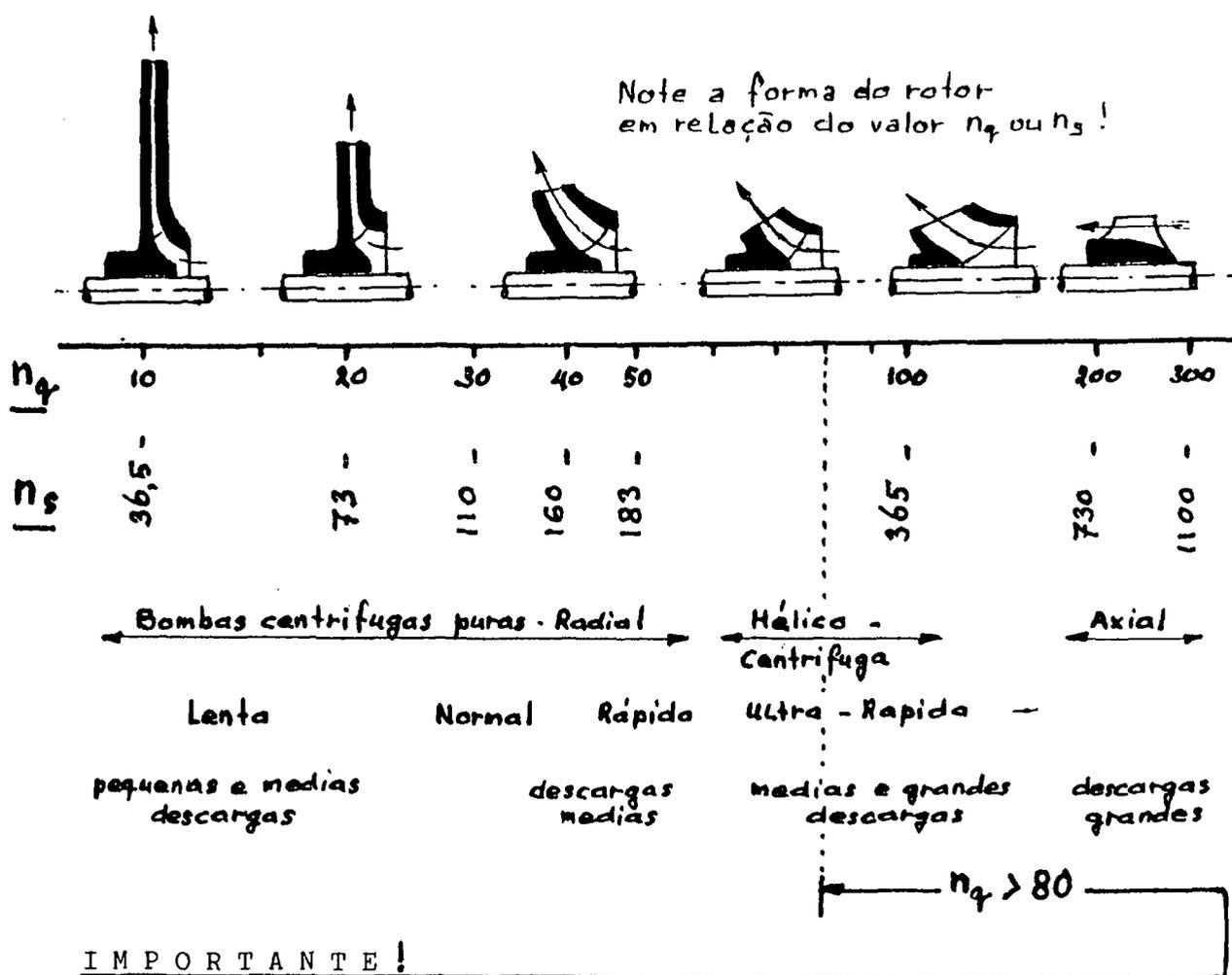
Note que , segundo o Sistema Internacional de Unidades todo o mundo deve usar n_q (métrico)

8.4.4 Como já mencionado, a importância da determinação da velocidade específica (nominal) resulta de que a mesma fornece um termo de comparação entre as diversas bombas sob o ponto de vista da velocidade e de ser o seu valor decisivo na determinação do formato do rotor a empregar para atender a um número de rotações " n " , a uma descarga " Q_2 " e a uma altura manométrica " H_{man} ".

Assim, o valor de n_q (ou n_s) especifica o tipo de turbobomba a empregar !

Baseados nos resultados obtidos com bombas ensaiadas e no seu custo, o qual depende das dimensões da bomba, os fabricantes elaboraram tabelas, gráficos e ábacos, delimitando o campo de emprego de cada tipo conforme o número característico de rotações por minuto, de modo a proceder a uma escolha que atenda a exigências de bom rendimento e baixo custo.

Assim, segundo esse critério, podemos classificar as turbobombas em :

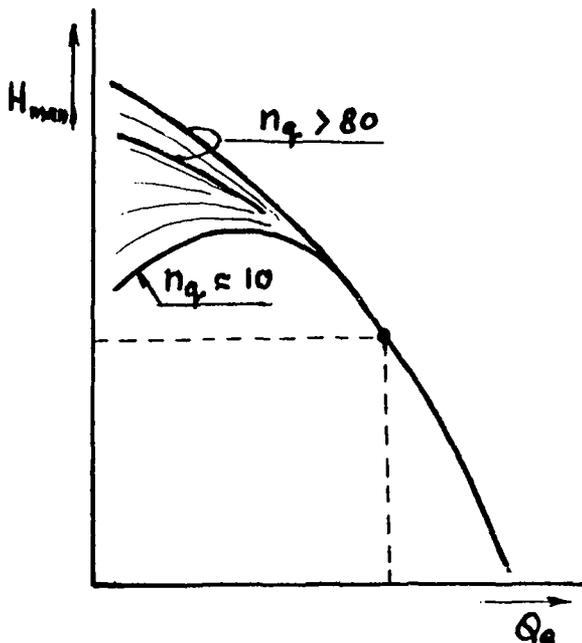


Para diminuir o consumo de energia duma bomba durante o periodo de partida costuma-se fechar a válvula de recalque e depois abri-la lentamente.

Por exemplo, quando se liga um motor de indução, isto é, se " dá partida ", a corrente consumida é ; 3, 5, 7, ou até 10 vezes maior que a corrente nominal (I_{nom}) a plena carga; este número depende de características de construção do motor.

A corrente decresce tanto mais rapidamente quanto menor for a carga a que o motor está submetido; daí fecha-se a válvula de recalque antes da partida !

Portanto em lugar disto nunca se deve aumentar os relés térmicos (bimetálicos) ajustáveis para protecção contra sobre.carga.



Veja a figura à esquerda e note que a pressão de recalque durante o período de partida no caso de $n_q > 80$ é tão grande que esta situação é muito perigosa para a tubagem de recalque !

Por isso no caso do valor de número característico de rotações por minuto " n_q " ser maior do que 80 é necessário fazer arrancar esta bomba com a válvula de recalque aberta !

N.B. Veja também para. 8.6.2 , Bombas em paralelo com característica instável.

8.5.

N P S H

A fim de caracterizar as condições para que ocorra boa aspiração do líquido, foi introduzida na terminologia de instalações de bombagem a noção N P S H :

Net Positive Suction Head , o que quer dizer

 Altura Positiva Líquida de Sucção (APLS) ou
 Altura de Sucção Absoluta.

A designação de NPSH é usada em todo o mundo e dá exactamente o sentido desse conceito.

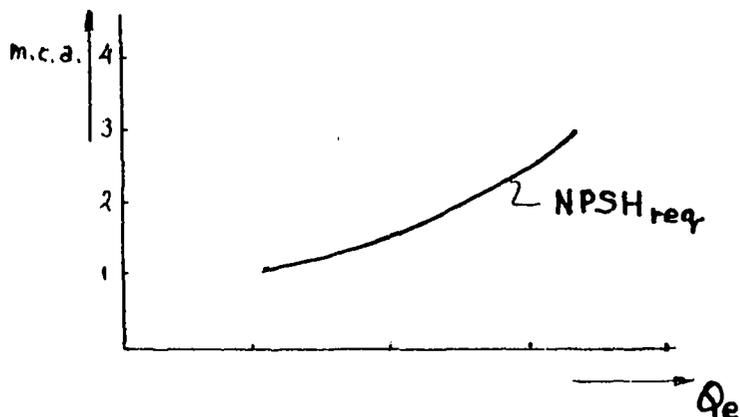
Esse conceito refere-se à disponibilidade de energia com que o líquido penetra na boca de entrada da bomba e que a ele permitirá atingir o bordo da pá do rotor.

8.5.1

N P S H_{disp.} e N P S H_{req.}

Podemos distinguir dois tipos de NPSH ;

- NPSH_{disp.} = a energia disponível à entrada da bomba. Seu valor depende da maneira como o sistema de sucção é projectado.
- NPSH_{req.} = a energia requerido à entrada da bomba. Este valor depende do tipo de pá, da construção da bomba e daí também do número de rotações. É por isso que essa pressão crítica é chamada às vezes simplesmente, o NPSH da bomba. Esta grandeza é fornecida pelas fábricas e é exprimido pelas alturas de água como função do caudal.
 Por exemplo :



É claro que o $NPSH_{disp.}$ tem de ser maior do que o $NPSH_{req.}$, pois a igualdade dos dois já indica uma situação limite, com início da cavitação (veja o para. 6.4.3). Assim

$$NPSH_{disp.} > NPSH_{req.}$$

A energia disponível à entrada da bomba já foi determinada no parágrafo 6.8.3 a, sendo :

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} = H_b \pm h_a^{*}) - h_{ra} \quad (3)$$

Então é importante conhecer-se o valor da diferença entre esta energia total absoluta e a pressão de vapor do líquido h_v na temperatura em que o mesmo está sendo elevado.

Ora bem esta diferença é ; $H_b \pm h_a - h_{ra} - h_v$, que se denomina por $NPSH_{disp.}$.

Portanto com a altura estática de espição negativa :

$$NPSH_{disp.} = H_b - h_a - h_{ra} - h_v = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} - h_v \quad (4)$$

ou com a altura estática de espição positiva :

$$NPSH_{disp.} = H_b + h_a - h_{ra} - h_v = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} - h_v \quad (5)$$

ou com a equação "2" de para. 8.2.1 a :

$$\underline{H_a = H_b + \frac{v_a^2}{2g} - h_v - NPSH_{disp}} \quad (4)$$

Em palavras simples :

O $NPSH_{disp}$ é a pressão reinando no nível de sucção menos todas as perdas de energia (específica).

*) No caso duma altura de sucção positiva este valor é : "+ h_a ", e no caso duma altura de sucção negativa este valor é : "- h_a ", veja o para. 8.2.1 d.

da bomba, representando a altura da pressão estática $\frac{P_a}{\rho g}$, que, como vimos, é igual $\frac{P_a}{\rho g} = H_b - h_a - h_{ra} - \frac{v_a^2}{2g}$; veja equação (3).

Na figura, vemos representados a energia total :

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} = H_b - h_a - h_{ra} \quad , \text{ veja também a equação (3) , e}$$

$$\circ \text{ NPSH}_{disp.} = H_b - h_a - h_{ra} - h_v = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} - h_v ; \text{ veja equação (4) ,}$$

No parágrafo 8.2.1 a, N.B. dissemos que $\frac{P_a}{\rho g}$ deverá ser sempre superior à tensão do vapor ($= h_v$) a fim de que não ocorra o fenômeno de cavitação. Vejamos qual o valor da menor pressão que se estabelece na sucção da bomba por efeito do movimento das pás do rotor.

Também foi indicado a valor de $\text{NPSH}_{req.}$ como os dados da fábrica.

Note a reserva !

Um vacuômetro, como indicado na figura de para.8.5.2, mede a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão absoluta, veja para. 8.2.1 a . Para termos a pressão absoluta é óbvio que deveremos subtrair da pressão atmosférica o valor da leitura no vacuômetro.

Então suponha " P_e " é a leitura do vacuômetro e " m " a diferença de cotas entre o centro desse instrumento e o centro da bomba.

Face ao que dissemos, o valor da pressão absoluta na " entrada " referida ao centro da bomba, termos :

$$\frac{P_a}{\rho g} = H_b - \frac{P_e}{\rho g} + m$$

A coluna de água de altura " m " seja também um pressão que deve ser levadã em conta. No caso do vacuômetro ser montado ao nível do centro da bomba, é claro que $m = 0$

8.5.3 Instalações para escorva da bomba.

A água entra naturalmente para o corpo da bomba ; diz-se que ela trabalha afogada. Do ponto de vista operacional, isto é preferível. Mas às vezes a situação é tal que as bombas centrífugas do tipo utilizado em sistemas de abastecimento de água deve -se levar a água situada em cota inferior à boca de entrada.

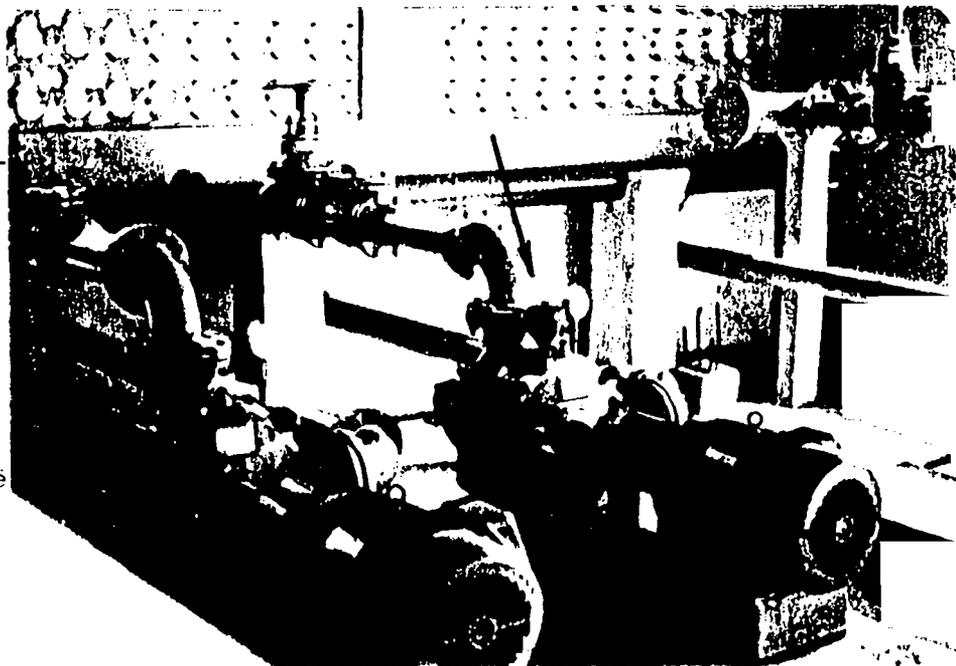
E quando a $NPSH_{req.}$ é maior que o $NPSH_{disp.}$ estas bombas não têm capacidade para iniciar a bombagem, se o tubo de sucção estiver vazio. É que elas não aspiram ar e por isso são incapazes de formar vácuo e provocar a subida da água até o corpo da bomba. É necessário encher a bomba e o tubo de sucção.

Denomina-se escorva o processo de preparação da bomba, mediante extração do ar contido no seu interior e na tubulação de sucção e sua substituição por água.

No caso de bombas afogadas, evidentemente, não há necessidade de escorva por processo auxiliar, pois a água do poço de tomada enche naturalmente toda a tubulação e a bomba, sendo necessário, apenas, eliminar o ar contido em alguns pontos da tubulação e da bomba.

Nas instalações menores, a escorva é feita introduzindo-se água, que vai encher a bomba e o tubo de sucção através de um copo de enchimento existente no corpo da próprio bomba (veja a figura direita). Essa alimentação pode ser feita por meio de uma tubulação proveniente de um reservatório.

Em certos casos faz-se a escorva fazendo

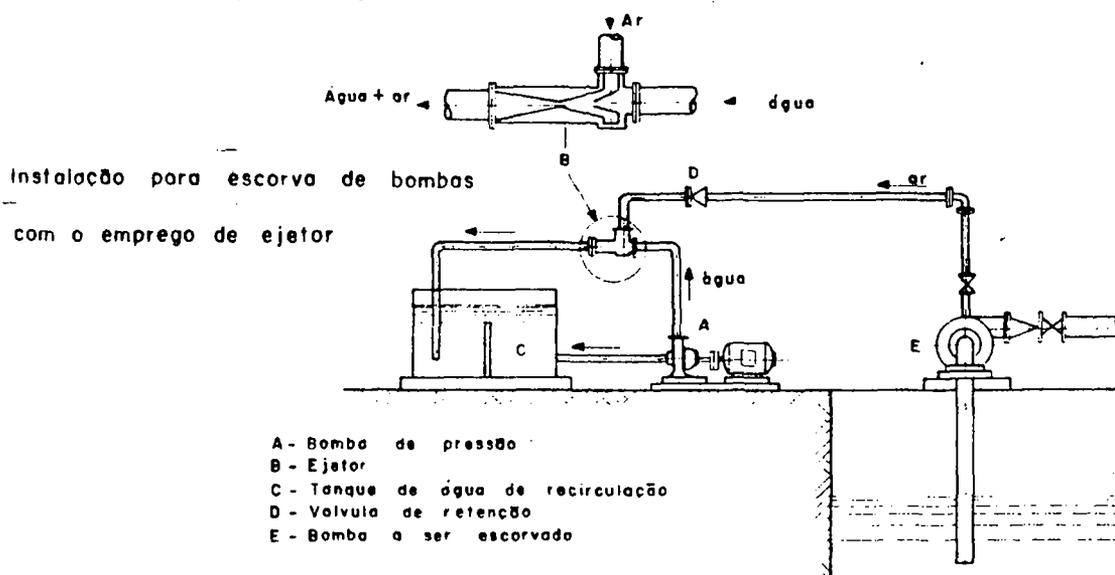


retornar, através de " by-pass " existente na válvula de retenção e doutro tipo (corrediça ou borboleta) a água acumulada na linha de recalque. Em qualquer caso, é indispensável que exista a válvula de pé, na extremidade do tubo de sucção; de contrário, toda água introduzida ou retornada da tubulação de recalque se escoará para o poço.

Nas instalações maiores, a escorva deve ser feita com rapidez e segurança. Utilizam-se, para isso, dispositivos apropriados que, ao serem postos em funcionamento, permitem retirar o ar para que a água ocupe seu lugar.

Os equipamentos comumente utilizados são ;

a) Sistema de ejetor, veja a figura seguinte.



No sistema de ejetor, uma trompa (ejetor) retira o ar da bomba e do tubo de sucção sob a acção de um jato d'água artificialmente produzido por uma pequena bomba de pressão. A água utilizada na trompa recircula continuamente entre essa bomba e um reservatório.

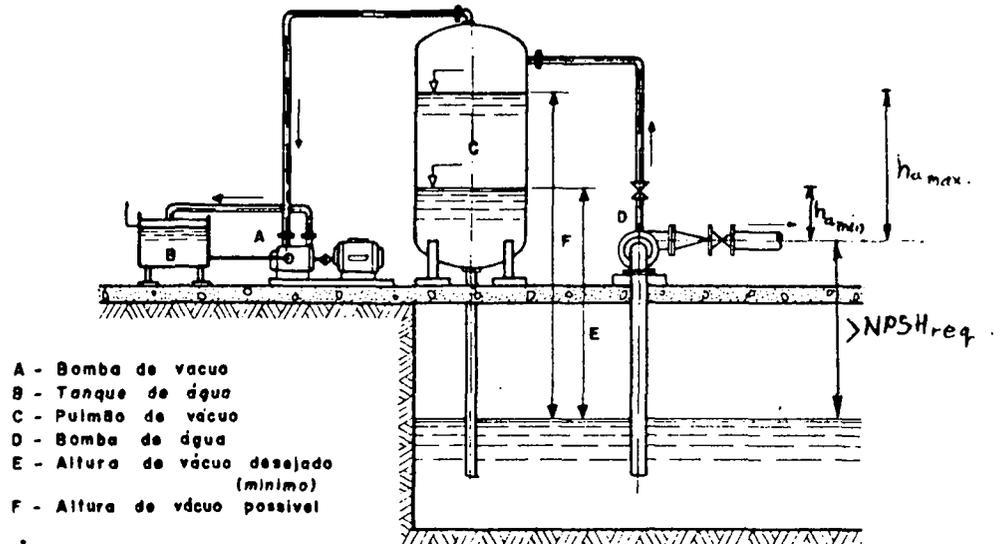
b) Sistema de bomba a vácuo e " pulmão ".

Este sistema é indicado para as grandes instalações de bombagem. A extração do ar da bomba é feita por meio de uma bomba a vácuo.

O sistema possui

um " pulmão " constituído por um reservatório metálico fechado ao qual se acham ligados na parte inferior uma tubulação que alcança a água do poço de sucção, e, na parte superior, o tubo de aspiração da bomba a vácuo e o tubo que vai ter ao corpo da bomba a ser es-corvada.

Veja a seguinte figura :



Instalação para escorva de bombas com o emprego de bomba a vácuo e "pulmão"

O "pulmão" é colocado em posição tal que o nível máximo de água no seu interior, por acção do vácuo produzido pela bomba respectiva, fique situado em cota superior à do corpo da bomba.

Abrindo-se a válvula existente na tubulação que interliga a bomba e o "pulmão", estando ela sob pressão negativa, a água sobe imediatamente pelo tubo de sucção e enche a bomba colocando-a em condições de funcionamento.

O sistema poderá atuar sem que a bomba de vácuo esteja funcionando, contanto que o nível da água no "pulmão" esteja suficientemente elevado.

8.6 CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DAS BOMBAS CENTRÍFUGAS RELATIVAMENTE AOS ENCANAMENTOS

8.6.1 Curva característica de um encanamento e o ponto de funcionamento.

A característica duma conduta é um dado do sistema total, portanto completo, com todas as singularidades tais como estreitamentos, alargamentos, curvas, válvulas, etc. Veja o parágrafo 7.3.

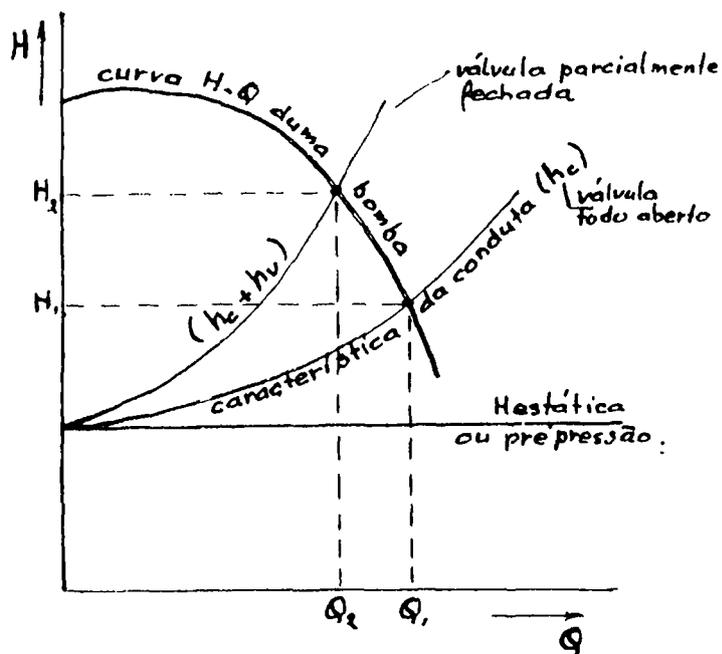
O ponto de intersecção desta curva de resistência ou curva característica de conduta com a curva $H-Q$ duma bomba (ou curva característica duma bomba), indica o que será a capacidade desta bomba em m^3/h ou $l/seg.$.

Importante!

A curva característica de conduta determina o ponto da curva $H-Q$ em que a bomba vai trabalhar.

Veja a figura :

Os pontos de funcionamento da bomba ou os pontos de trabalho 1 e 2 na característica da bomba foram determinados respectivamente pelas características de condutas h_c e $(h_c + h_v)$, em que o último indica o sistema com uma válvula parcialmente fechada.



Exemplo

Suponha a instalação duma bomba como indicado na figura 1 abaixo e na figura 2 veja todas as características que se mostram pertinentes.

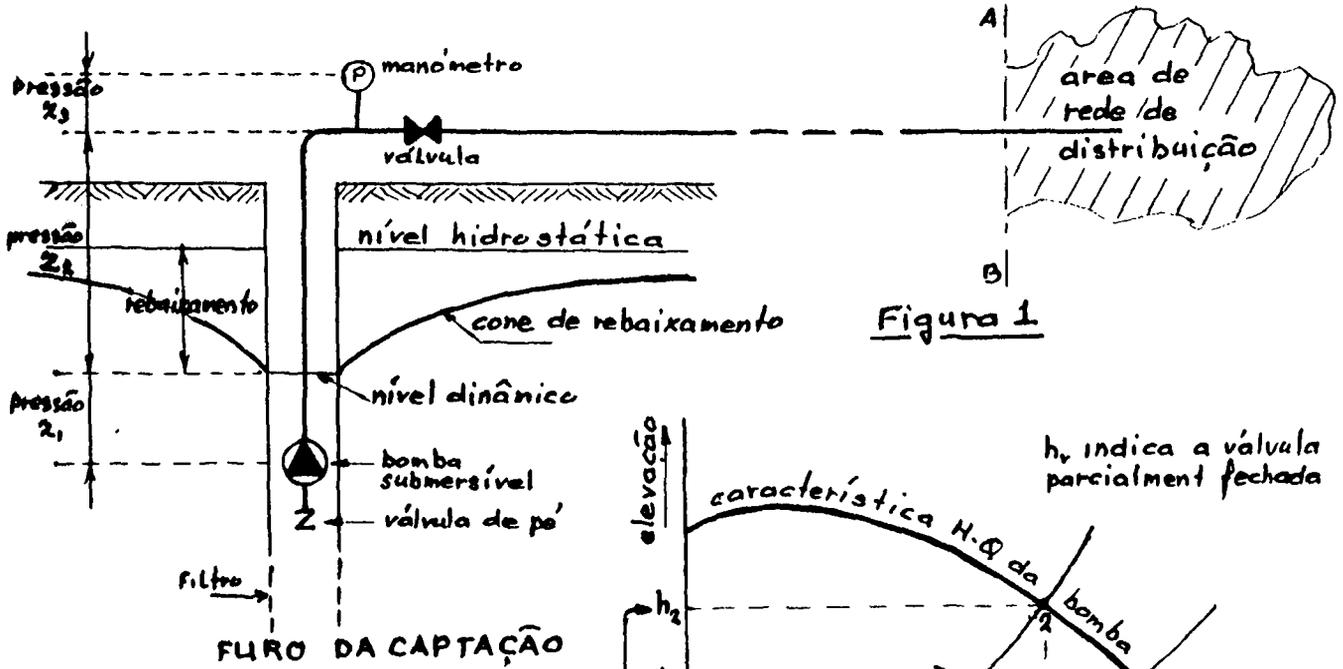


Figura 1

Note que o ponto de zero das características de condutas foi escolhido de tal modo, que ficasse de resto uma pressão "h_u" no fim da conduta.

Isto é necessário para a distribuição da água. Além disso temos que tomar em conta as alturas de posições z₁ + z₂, em que z₁ pode ser considerado como uma pré-pressão.

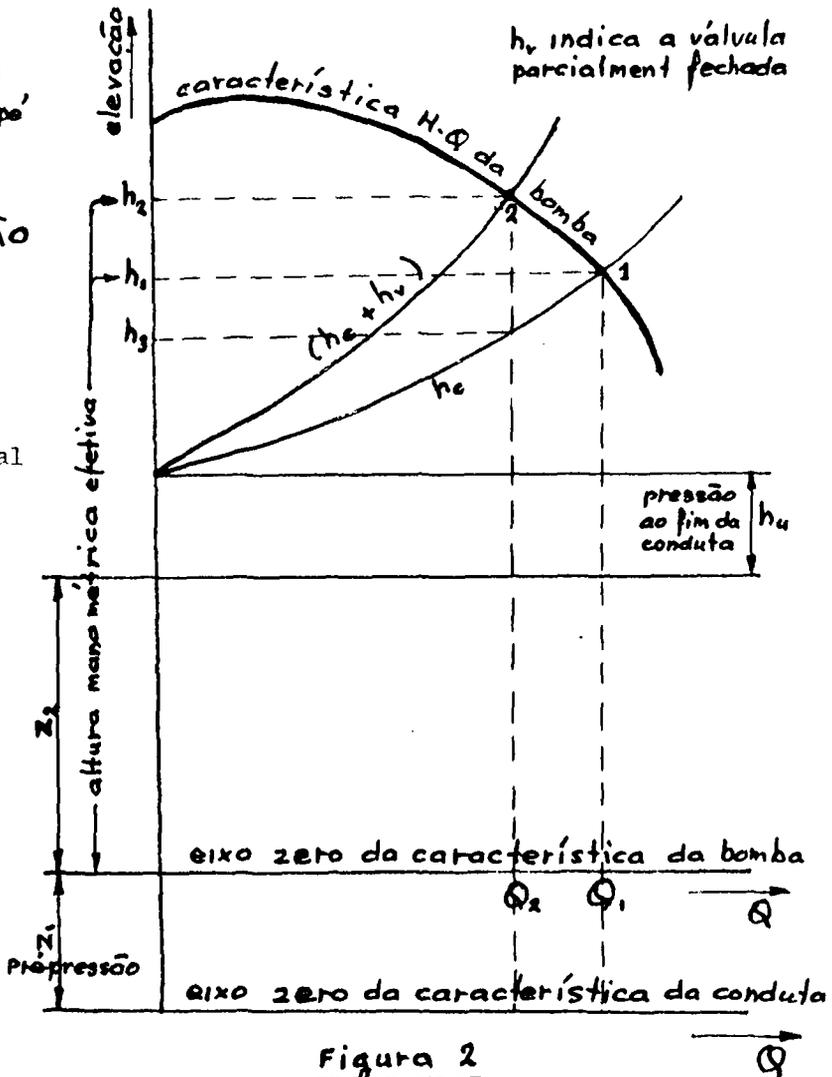


Figura 2

Para os cálculos de resistência da conduta temos que incluir "R₁" para o comprimento da conduta, mas em relação à bomba deve ser considerada como uma altura estática de sucção (positiva). Veja o fim do para. 8.2.1. d

Então conhece-se também o eixo - zero para determinar a altura manométrica efetiva.

Com válvula toda aberta o ponto "1" será o ponto de trabalho na curva $H-Q$ da bomba e o manômetro irá indicar uma pressão de :

$$\underline{h_1 - (z_2 + z_3) \text{ m.c.a.}}$$

No caso da válvula parcialmente fechada, o ponto "2" será o ponto de trabalho na curva $H-Q$ da bomba e o manômetro irá indicar uma pressão de :

$$\underline{h_2 - (z_2 + z_3) \text{ m.c.a.}}, \text{ portanto um pouco}$$

superior à anterior.

Porém para além da válvula, a pressão de abastecimento é muito mais baixa.

Se houvesse lá um manômetro então este indicaria :

$$\underline{h_3 - (z_2 + z_3) \text{ m.c.a.}}, \text{ por certo}$$

a vazão é Q_2 ; $h_3 < h_1 < h_2$!

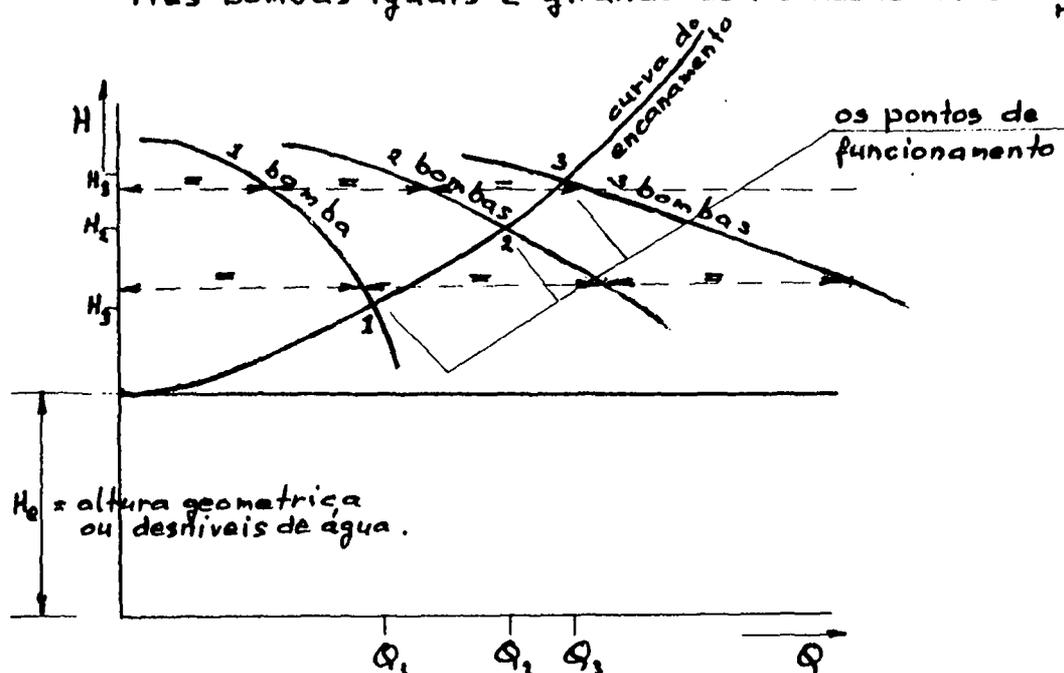
Nota que : $h_1 - h_3 =$ as perdas de válvula

$=$ perdas de energia !

8.6.2 Bombas em paralelo.

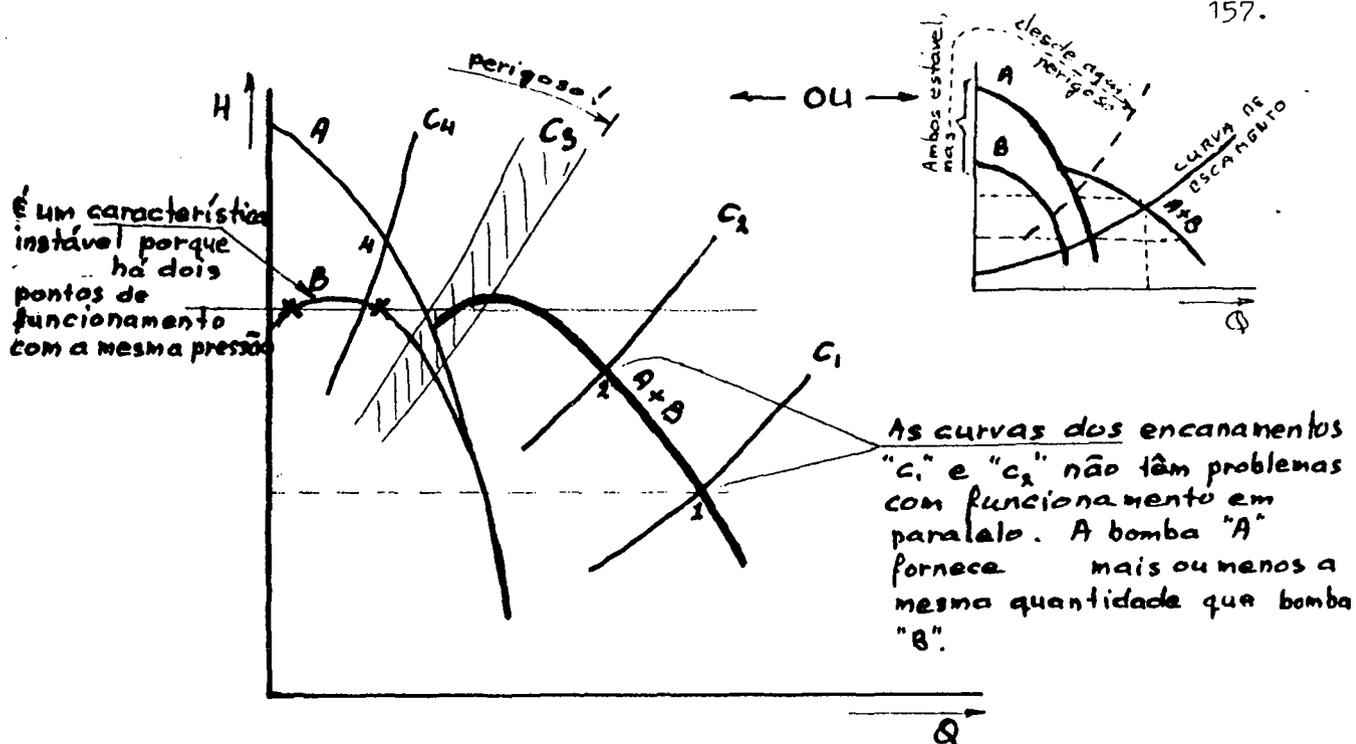
Consiste a ligação em paralelo na disposição das tubulações de recalque de modo tal que, por uma mesma tubulação, afluam as decargas de duas ou mais bombas funcionando simultaneamente.

Veja as figuras seguintes :



Em geral com três bombas iguais as distâncias indicadas com $\leftarrow \text{---} \equiv \text{---} \rightarrow$ são iguais como mostrado na figura e os pontos de funcionamentos são claros.

Consideremos agora duas bombas ; A (com característica estável -----), e B (com característica instável -----), ligadas em paralelo. Veja a figura seguinte.



A curva resultante das bombas é obtida, como já vimos anteriormente, somando-se, para cada valor da ordenada H , os valores correspondentes das abscissas Q .

Note-se que a situação de funcionamento com as curvas do encanamento na área C_3 é muito perigoso! A bomba "A" fornecerá toda a descarga, enquanto a bomba "B" não a fornecerá.

A mesma coisa com a curva do encanamento C_4 a bomba "B" ficaria sem descarregar na linha, operando em "shut off", situação perigosa, mesmo que de curta duração.

Esta situação pode ser produzida por exemplo quando um válvula de transporte está fechada parcialmente.

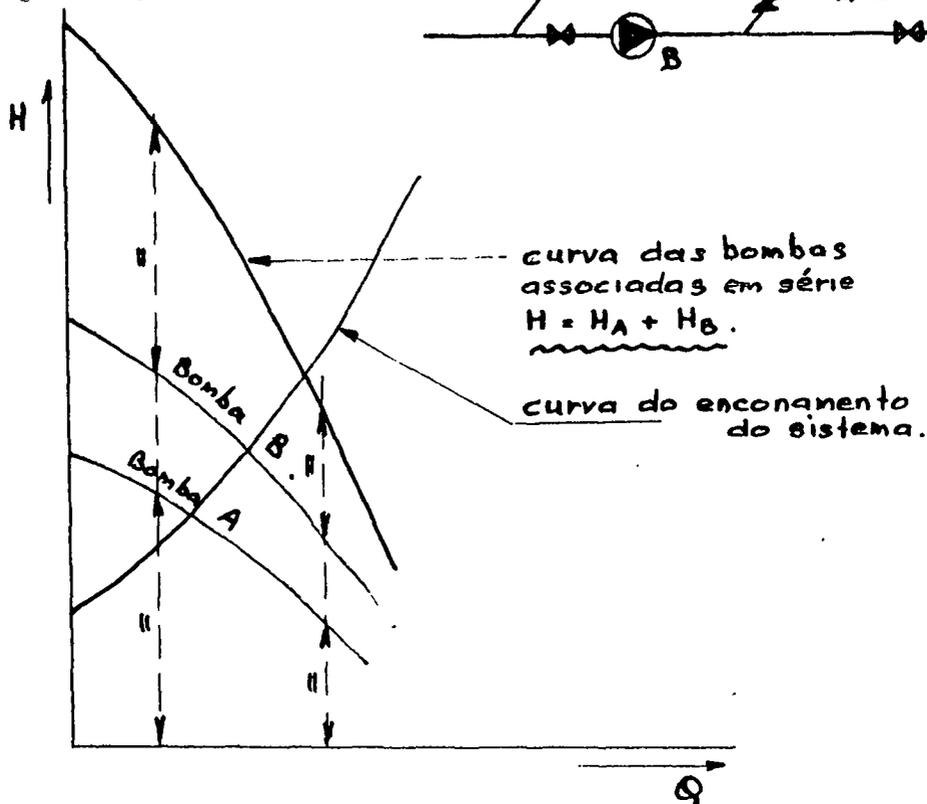
Sempre seja cuidadoso com bombas diferentes em paralelo! É possível, mas deve saber o que faz.

8.6.3 Bombas em série.

Admitamos o caso de duas bombas, cujas curvas características

"A" e "B" são conhecidas.

Veja a figura seguinte :



As bombas são atravessadas sucessivamente pela mesma descarga, e cada uma fornecerá uma parcela de altura H .

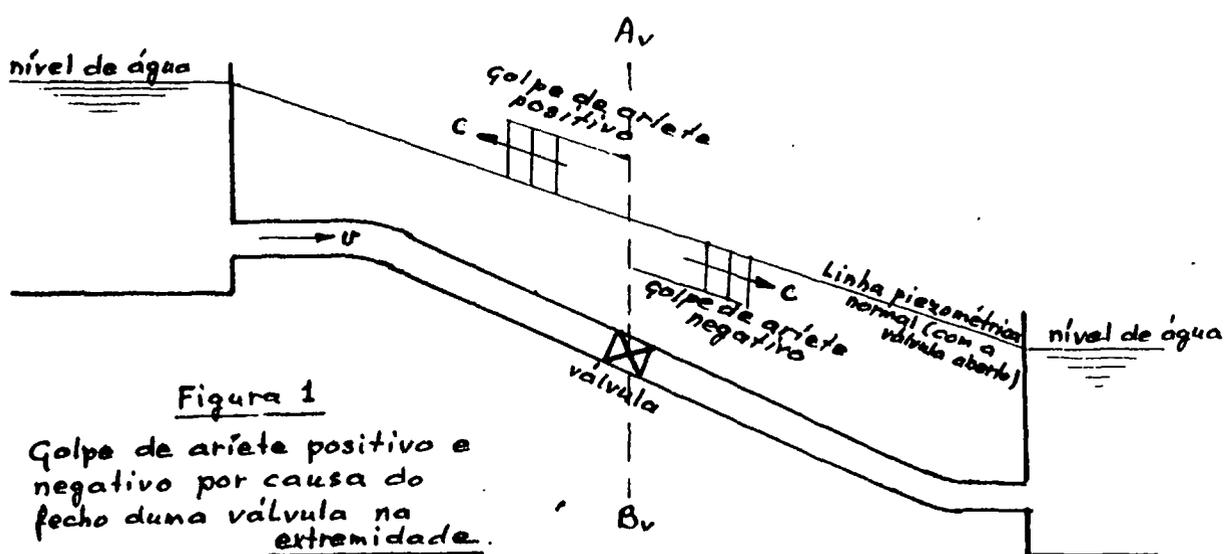
A curva característica $H = f(Q)$, do conjunto de bombas, será obtida somando-se, para cada valor de Q as ordenadas de H de cada bomba.

Não se emprega muito este sistema no abastecimento de água. Porém, há situações que podem ser comparadas com este princípio.

Por exemplo um "booster".

9. GOLPE DE ARIÊTE.

Golpe de aríete (Water - hammer em inglês, Coup de bélier em francês) é a variação de pressão que ocorre nas tubagens quando as condições de escoamento são alteradas pela variação da descarga. Assim, o fecho de uma válvula, o desligamento da energia que alimenta o motor de uma bomba, são causas de modificação na velocidade de escoamento da água e, portanto, da força viva e da energia cinética de escoamento. Ao ocorrer, por exemplo, o fecho de uma válvula na extremidade de uma tubagem, veja-se a figura 1, como a energia cinética do escoamento não



se pode anular, esta energia, ou parte dela, se transforma em energia de pressão, aumentando a pressão em relação à que reinava antes de ter havido a perturbação.

Esta sobrepressão é o golpe de aríete, um dos chamados fenômenos transitórios ou transientes hidráulicos, que são ocorrências transitórias no escoamento, motivadas pela variação da grandeza definidora do escoamento. A energia de pressão resultante do golpe de aríete se converte em trabalho de compressão do líquido* e de deformação das paredes das tubagens, de peças, válvulas e órgãos de máquinas, em locais até onde a onda de sobrepressão se propaga.

*) Normalmente a água pode ser considerada incompressível. Mas aqui as forças são muito grandes.

Suponhamos uma massa " m " de líquido (água) escoando-se com uma velocidade " v ". Veja para. 6.9 , a quantidade de movimento a que está sujeita, " mv " , é igual à impulsão gerada pela acção de uma força " F " agindo durante um tempo " t ":

$$mv = Ft$$

Se o tempo " t " se reduzisse a zero (com uma manobra instantânea de fecho do escoamento), " F " tenderia ao infinito.

Na prática, porém, o fecho leva sempre um certo tempo, e a energia a ser absorvida se transforma em esforços de compressão da água e deformação das paredes da tubagem e dos dispositivos nele colocados.

9.1 DESCRIÇÃO DO FENOMENO.

O golpe de aríete em instalações de bombagem pode ocorrer em virtude de uma actuação rápida nas válvulas e nos dispositivos de regularização; por motivo da interrupção da corrente eléctrica que alimenta o motor, deliberadamente pela ocorrência de um defeito mecânico na bomba.

O desenvolvimento do fenómeno do golpe de aríete numa instalação pode ser descrito na base de figura 1.

Aqui dum actuação rápida, quer dizer o fecho do válvula, surgiu o fenómeno do golpe de aríete, como é indicado na figura.

Note que o processo à esquerda da válvula é o contrário do mesmo processo à direita da válvula.

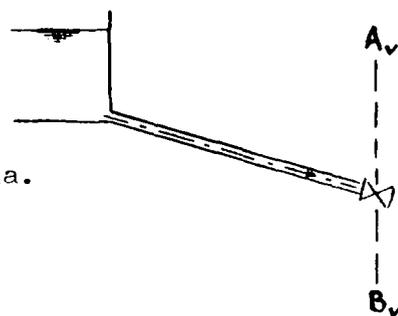
a) Vamos ver primeiramente a parte esquerda da válvula....

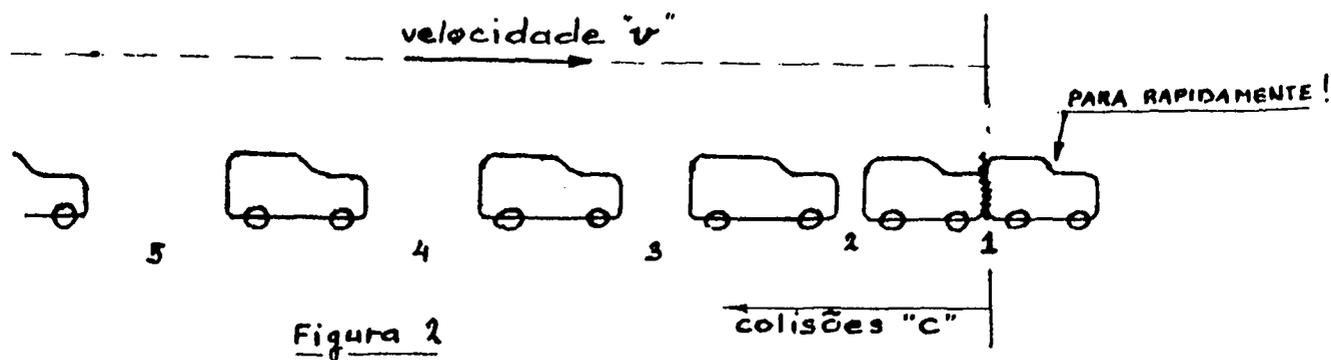
Como é dado na figura 1 , o fecho da válvula na extremidade resulta de que a velocidade das partículas apertam esta válvula tornando-se nula.

As partículas anteriores vão colidir nestas partículas paradas.

Este processo é contínuo ao longo do tubo na direcção contrária à da velocidade. Isto pode ser comparado com uma série de colisões de carros,

veja figura 2 :



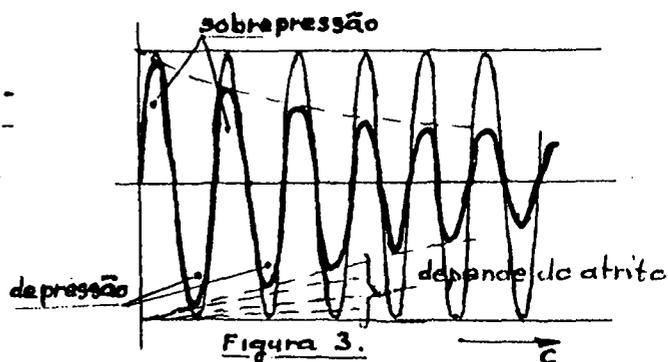


O líquido (a água) é comprimido de algum modo, enquanto por causa da elasticidade da parede do tubo o diâmetro "D" torna-se um pouco maior. Portanto dentro do tubo, desde a válvula à esquerda ocorre uma sobrepessão que se move na direcção do depósito com uma grande velocidade (c)

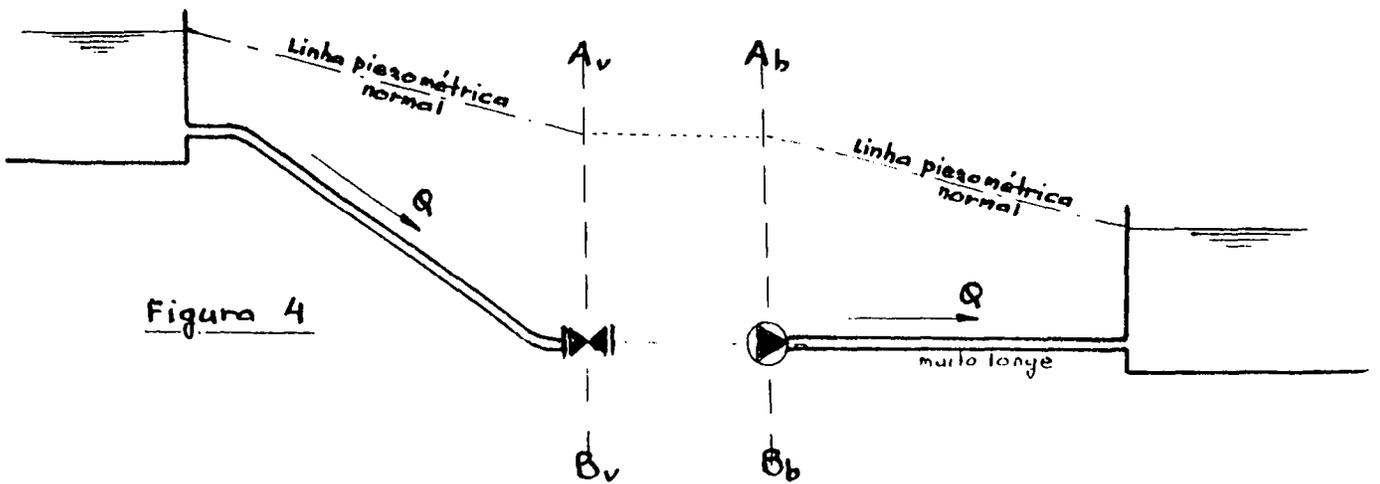
Quando a sobrepessão chega ao depósito, todo o tubo está a grande pressão. Então a água se escoia no depósito dissipando sua energia pela elevação do seu nível e enquanto a água corre na outra direcção, por que ocorre uma grande redução de pressão logo à esquerda da válvula.

A fase de sobrepessão chama-se o golpe de aríete positivo e a fase posterior de redução de pressão chama-se golpe de aríete negativo. Pode ser derivado que esta depressão seja igual à sobrepessão que existia antes deste periodo.

Este processo de sobrepessão-depressão-sobrepessão-depressão-etc. pode ser imaginado como uma mola. Por causa de atrito este processo vai terminar, veja a figura 3.



- b) À direita da válvula de figura 1 o processo vai-se iniciar com uma redução de pressão. É claro que lá, as partículas de água ainda estão em movimento quando a válvula se fecha rapidamente e à direita desta válvula não há novas partículas de água que podem preencher os vácuos. Daí que aqui agora há depressão primeiramente, como é indicado na figura 1 e depois a sobrepessão como é explicado na seguinte.
- Aqui o processo é o mesmo como o que se pode encontrar com uma instalação de bomba, veja a figura 4 .
- Em lugar da situação à direita da válvula (linha $A_v - B_v$) da figura 1 , podemos considera-la como a mesma situação de bombagem da figura 4 , quer dizer à direita da linha $A_b - B_b$.



Agora para compreender o processo de golpe de ariete nesta situação, veja a figura 5A, B, C, D sucessivamente :

1ª fase:
 tempo [seg] = $\frac{l}{c}$,
 a partir do início.
 l = comprimento do tubo.

2ª fase:
 tempo [seg] = $\frac{2l}{c}$,
 a partir do início.

3ª fase:
 tempo [seg] = $\frac{3l}{c}$,
 a partir do início.

4ª fase:
 tempo [seg] = $\frac{4l}{c}$,
 a partir do início.

A) Golpe de ariete negativo directamente depois da bomba parar por acidente

B) Golpe de ariete positivo depois da reflexão contra o depósito.

C) Depois da reflexão contra a válvula de retenção.

D) Neste período volta-se à situação que existia no momento do desligamento brusco da bomba.

Figura 5: Sobrepressões ocorridas por reflexões.

9.2 DETERMINAÇÃO DO FENOMENO.

9.2.1 A velocidade da onda de sobrepessão ou depressão (onda de choque).

O golpe de ariete descola-se muito rápido e a velocidade ou celeridade "c" calcula-se, utilizando a equação :

$$C = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{E_a} + \frac{D}{E_t \cdot e} \right)}}$$

Em que : ρ = Densidade absoluta do líquido [Kg/m³]

E_a = Módulo de compressão do líquido [N/m²]

E_a para água = $2,03 \times 10^9$ N/m²

D = Diâmetro interno da tubagem em metros

e = Espessura da tubagem

E_t = Módulo de elasticidade do parede de tubo [N/m²]

E_t para aço = $2 \cdot 10^{11}$

" " ferro fundido = $1 \cdot 10^{11}$

" " asbesto cimento (AC) = $0,2 \cdot 10^{11}$

" " concreto = $0,2 \cdot 10^{11}$

" " cobre = $1,15 \cdot 10^{11}$

" " plástico rígido (tubo) = $5,45 \cdot 10^9$

" " " (PVC) = $3 \cdot 10^9$

" " " (PE) = $1,2 \cdot 10^8$

Substituindo : $k = \frac{98,01}{E_t} \cdot 10^9$ vale para água :

Em que: $k_{\text{aço}}$ = 0,49

$k_{\text{ferro fundido}}$ = 1

k_{AC} = 4,9

k_{concreto} = 4,9

k_{cobre} = 0,85

$k_{\text{plástico rígido}}$ = 18

$k_{\text{" (PVC)}}$ = 32,7

$k_{\text{" (PE)}}$ = 817

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,28 + k \frac{D}{e}}}$$

Esta equação é conhecida como fórmula de Allievi.

Na prática com os sistemas de abastecimento de água encontra-se valores de velocidades "c" igual :

+ 1000 m/s (800 a 1300) para o concreto e asbestoscimentos (AC).

+ 300 m/s (200 a 500) " " tubo de plástico rígido.

Se na distância entre a bomba da figura 5 e o depósito é "l", o tempo que

a onda leva para chegar ao depósito é $\frac{l}{c}$.

Após esse tempo, a tubulação está em depressão ao longo de toda sua extensão, veja figura 5a (1ª fase).

Depois devido à sua elasticidade, a tubagem readquire seu diâmetro primitivo, e isto, de próximo em próximo, considerando elementos sucessivos a partir do reservatório. A água retorna à bomba ao longo da tubagem, e ao fim de um novo tempo $\frac{l}{c}$, isto é, de um tempo $\frac{2l}{c}$ a contar do início do fenômeno, a onda de pressão chega à bomba, veja a figura 5b. (2ª fase).

Havendo válvula de retenção no início da linha de pressão normal, a corrente líquida, ao retornar à bomba, encontra a válvula fechada o que ocasiona uma compressão do líquido, dando origem a uma onda de sobrepressão, que é o golpe de ariete positivo, veja a figura 5c. (3ª fase). Ao fim de um novo tempo $\frac{l}{c}$, isto é, $\frac{3l}{c}$ a partir do início, toda a tubagem ter-se-á dilatado com a água submetida à sobrepressão e imóvel....

Mas graças à sua elasticidade, a tubagem recupera seu diâmetro primitivo, de elemento em elemento, a partir do reservatório, no sentido de volta à bomba.

Ao fim de um novo período $\frac{l}{c}$, isto é, $\frac{4l}{c}$ a partir do início, volta-se à situação que existia no momento do desligamento brusco da bomba, veja a figura 5d (4ª fase).

O período do movimento total é pois $\frac{4l}{c}$

O fenômeno se reproduziria indefinidamente se não houvesse o efeito amortecedor das perdas de carga e da elasticidade do material da tubagem. A onda de sobrepressão, como já se viu, é máxima junto à bomba e nula na saída do reservatório.

N.B. Se a válvula de retenção da instalação de bombagem da figura 5 não funcionar adequadamente, não deterá a coluna líquida em retorno como indicado na situação de figura 5 c, e se não houvesse válvula de retenção, facto que ocorre em instalações de bombas de grande descarga, o líquido escoar na bomba em sentido inverso, embora, durante um certo tempo ainda, o rotor, por sua inércia, continue girando no mesmo sentido. Essa é a chamada fase da dissipação de energia. O rotor vai girando cada vez mais lentamente, sua velocidade passa por zero (se anula) e começa depois a girar em sentido contrário como se fosse uma turbina hidráulica *) , sob a acção da água vinda da linha piezométrica normal.

O número de rotações vai aumentando rapidamente até atingir o valor nominal de rotações, funcionando, porém, em sentido inverso.

Durante essa fase, veja a figura 5c (neste caso a válvula de retenção não está fechada ou escolhamos um outro sistema para amortecer a sobrepressão), produz-se um acréscimo de pressão no interior da bomba e na tubagem de recalque. A descarga em sentido inverso vai aumentando à medida que a rotação se aproxima da nominal no sentido inverso, atinge o máximo para a rotação nominal inversa e começa a diminuir, embora a rotação inversa ainda aumente por algum tempo.

O valor das amplitudes de oscilação da pressão que se produzem durante esse processo depende da inércia do conjunto dos rotores da bomba e do motor. Se a inércia é pequena (relativamente pequenas bombas), pode-se considerar desprezível o tempo de anulação da descarga, chegando-se no cálculo a valores elevados para as amplitudes de oscilação da pressão.

*) É sempre importante ao comprar uma bomba perguntar se a bomba é apropriada para girar no sentido inverso. Isto pode facilitar a operação.

9.2.2 Cálculo de golpe de aríete.

Para calcular o valor de golpe de aríete pode se distinguir duas possibilidades. Por exemplo quanto a figura 1 (esquerda da válvula) :

- a) A modificação de velocidade terminou e a válvula está fechada antes da onda (neste caso !) de sobrepressão voltar na forma duma subpressão ao sítio da válvula. Este tempo é o período $T = \frac{2L}{c}$, veja o precedente, a válvula foi fechada no tempo $\leq T$.
- b) A onda de subpressão já está regressando ao sítio da válvula antes da modificação de velocidade estar terminada. Portanto a válvula não está fechada dentro do tempo $T = \frac{2L}{c}$

Na situação descrita acima sob "a", o valor da onda de sobrepressão " ΔH " pode ser determinado pela lei de Joukowsky ;

$$\Delta H = \frac{c}{g} \Delta v \quad [m.c.a.]$$

- Em que : g = a aceleração da gravidade
 Δv = a diminuição da velocidade do líquido ; quer dizer $v_{início} - v_{novo}$
 c = a celeridade da onda de sobrepressão ou subpressão.

Por exemplo :

A velocidade de água dentro dum tubo de aço $53 \times 60,3 \phi$ é igual 2 m/s
 Uma válvula ao fim do tubo é rapidamente fechada e antes do golpe de aríete ter regressado.

Então a celeridade é igual :

$$c = \frac{3300}{\sqrt{48,28 + 0,49 \frac{0,083}{0,00365}}} = \pm \underline{\underline{1330 \text{ m/s}}}$$

e o valor da onda de sobrepressão é igual :

$$\Delta H = \frac{1330 \times 2}{9,81} = \pm \underline{\underline{270 \text{ m} !}}$$

A pressão antes do fecho da válvula foi de 30 m.c.a. , a pressão reinante depois é $30 + 270 = 300 \text{ m.c.a.}$ e $30 - 266 = -240 \text{ m.c.a.}$. O último valor não vai ocorrer, porque a subpressão não pode ser menor que -10 m.c.a. (o vácuo!).

O comprimento (ℓ) do tubo é igual 2 km , então o tempo do golpe de aríete positivo e negativo é $T = \frac{2\ell}{c} = \frac{4000}{1330} = \pm 3 \text{ seg.}$

e como foi assumido inicialmente, a válvula foi fechada dentro destes 3 segundos.

Suponha agora que a válvula foi fechada em 5 segundos quer dizer a onda de subpressão já está de regresso ao sítio da válvula antes que a modificação da velocidade esteja terminada.

Neste caso é uma situação tal como foi estipulado sob possibilidade "b"; veja o começo deste parágrafo 9.2.2. A figura 6 indica o progresso do golpe de aríete e veja a página 168 para a explicação.

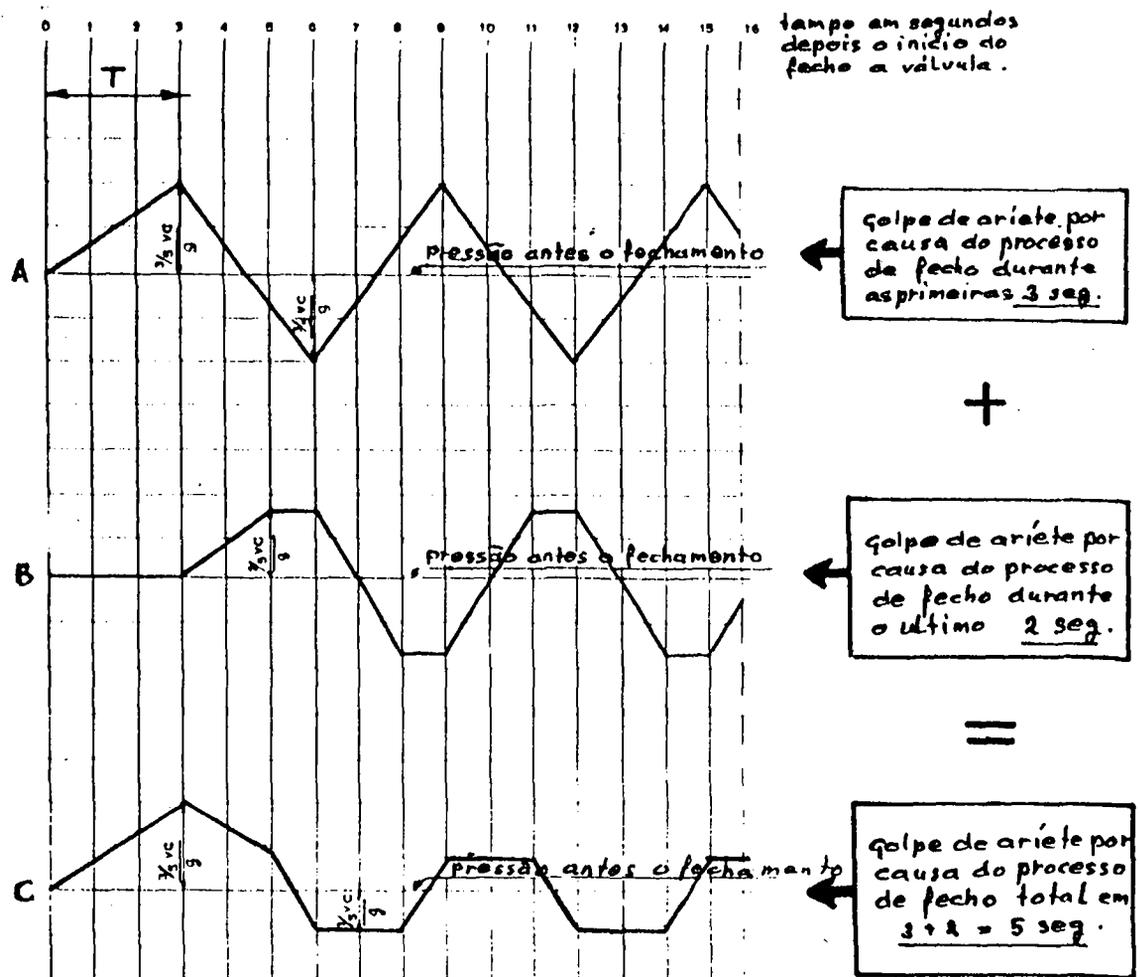


Figura 6: Imagem do Golpe de Ariete por causa do fecho duma válvula dentro 5 segundos. Progresso da pressão perto da válvula.

Explicação da figura 6 :

Note que se distingue neste caso um golpe de aríete durante os primeiros **3 seg. (= T)** veja a figura 6A e um golpe de aríete durante os últimos **2 seg. (= 5 - T)** , veja a figura 6B.

A figura 6C dá a realidade sendo o soma dos gráficos A + B.

As amplitudes podem calcular-se da seguinte maneira....

Suponhamos neste caso que a válvula é uma válvula de borboleta dum tipo especial, sendo linear (é um pouco mais fácil, veja também para. 7.2.3d).

Isto quer dizer que fechando a válvula, a velocidade "v" se diminui de forma linear e a onda de sobrepressão aumenta de $T=0$ até $T=3$ de 0 até $\frac{c}{g} \cdot \frac{3}{5} v$ segundo a fórmula de Joukowsky, veja a figura 6A .

Durante os últimos segundos há modificação da velocidade é $\frac{2}{5} v$ (lembre-se a válvula tem uma característica da forma linear !) e por isso o amplitude neste período é $\frac{c}{g} \cdot \frac{2}{5} v$, como é indicado na figura 16B.

Consequentemente os máximos e mínimos são ;

$$\frac{c}{g} \frac{3}{5} v = \frac{1330}{9,81} \cdot \frac{3}{5} \cdot 2 = \pm \underline{164 \text{ m.c.a.}} \text{ (a figura 16A)}$$

$$\frac{c}{g} \frac{2}{5} v = \frac{1330}{9,81} \cdot \frac{2}{5} \cdot 2 = \pm \underline{109 \text{ m.c.a.}} \text{ (a figura 16B)}$$

$$\frac{c}{g} \frac{1}{5} v = \frac{1330}{9,81} \cdot \frac{1}{5} \cdot 2 = \pm \underline{54 \text{ m.c.a.}} \text{ (a figura 16C)}$$

EXERCÍCIO

Suponha dentro dum edifício um tubo de cobre **50,8 x 54 mm.** , e de comprimento **50 m**
Ao fim deste tubo há uma válvula.

A válvula está aberta e considera-se que a velocidade de água seja de **2 m/s**

Num momento fecha-se esta válvula dentro $\frac{1}{2}$ segundo.

A celeridade do golpe de aríete positivo e negativo é :

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,28 + k \frac{D}{S}}} = \frac{9900}{\sqrt{48,28 + 0,85 \frac{0,0508}{0,0032}}} = \pm \underline{1260 \text{ m/s}}$$

O golpe de aríete por causa do fecho da válvula está de regresso na forma duma súbpressão à distância da válvula de :

$$\frac{2l}{C} = \frac{100}{1260} = \pm \underline{0,079 \text{ seg.}}$$

Depois deste $0,079 \text{ seg}$ a válvula está fechada apenas por parte de $\frac{0,079}{0,5}$.
Então o máximo do golpe de ariete positivo atinge-se o valor de :

$$\frac{1260}{9,81} \cdot \frac{0,079}{0,5} \cdot 2 = \pm \underline{40 \text{ m.c.a.}} \quad [\approx 400 \text{ kPa}]$$

Suponha-se que a válvula era fechada em 2 segundos, o máximo do golpe de ariete positivo então seria :

$$\frac{1260}{9,81} \cdot \frac{0,079}{2} \cdot 2 = \pm \underline{10 \text{ m.c.a.}} \quad [\approx 100 \text{ kPa}]$$



Aqui não tem muitos problemas de golpe de ariete.

9.3 RECURSOS PARA PREVENIR OS FENOMENOS DO GOLPE DE ARIETE DE ARIETE IMPERMISSIVEL.

Dado um sistema de tubagem, sempre é possível o desenvolvimento de medidas seguras para suprimir os efeitos do golpe de ariete. Não é possível totalmente, mas podemos reduzir seu valor a limites aceitáveis.

Há dois grupos de medidas a distinguir :

- 1^a Previsões donde as flutuações de débito podem ser prevenidas e por conseguinte as grande flutuações de pressão também.
- 2^a Previsões por onde as consequências de flutuações rápidas de débito são Limitados.

9.3.1 Ao primeiro grupo pertence :

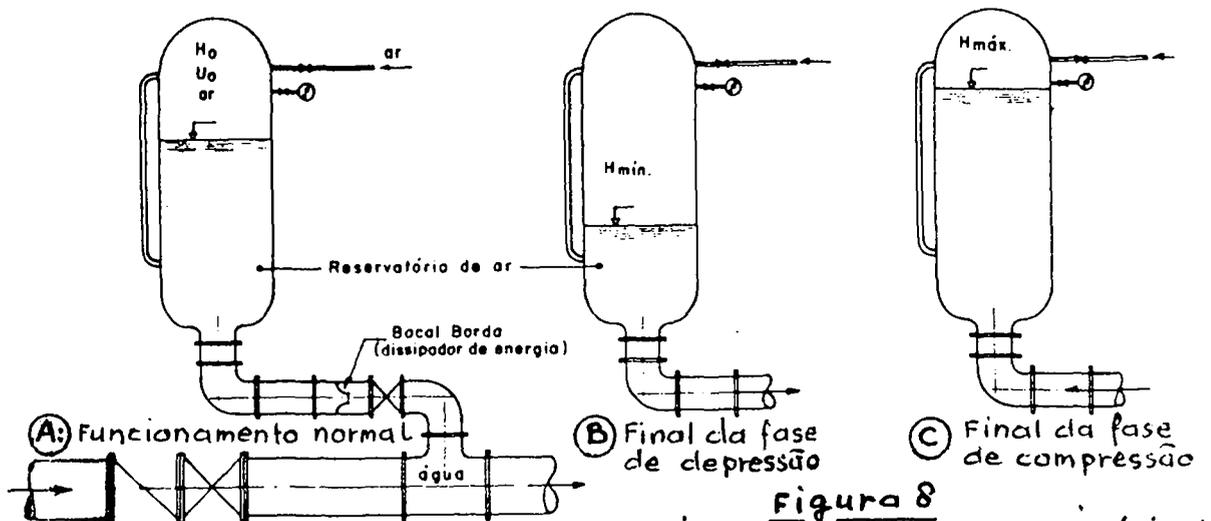
a) Os reservatórios de ar comprimido.

Para impedir a descontinuidade do escoamento no recalque quando a bomba é desligada, pode-se empregar água acumulada sob pressão no interior de um reservatório metálico, ligado à tubagem de recalque, logo após a válvula de retenção (reservatório hidropneumático), veja a figura 7.



A pressão do ar no reservatório, em condições de funcionamento normal, equilibra a pressão na tubagem no ponto onde este se acha ligado ao reservatório, veja a figura 8A.

Ao desligar a bomba, a válvula



funcionamento dum reservatório de ar.

de retenção se fecha e uma parte da água contida no reservatório vai para a tubagem, uma vez que, nessa primeira fase do golpe de aríete, a pressão na tubagem é inferior à do reservatório, veja a figura 8B.

A velocidade de escoamento vai diminuindo até se anular. Em seguida, processa-se a onda de sobre-pressão, que tende a fazer a água voltar para a bomba. Como encontra o reservatório, a água se dirige para ele, empregando sua energia em comprimir o ar, veja a figura 8C.

Além disso, pode-se usar, na tubulação, na entrada do reservatório de pressão, um "bocal borda dissipador de energia".

Os reservatórios de ar protegem a instalação contra sobrepressão e subpressão e são muito empregados. No efeito é a mesma coisa que uma chaminé de equilíbrio, veja para. 9.3.1b, mas neste caso o gás ou o ar é sobpressão e conseqüentemente as dimensões são muito mais pequenas que a chaminé em que a pressão de ar é a pressão barométrica. Os sistemas de reservatório de ar requerem instrumentos de controladores e necessitam de manutenção para assegurar um bom funcionamento.

- b) A chaminé de equilíbrio (stand-pipe) ou depósito elevado.

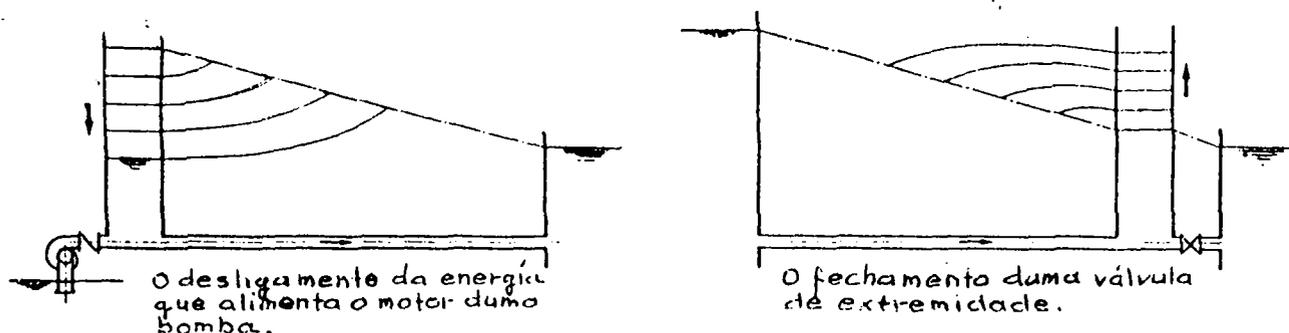


Figura 9 : Aplicação do chaminé para a restrição das flutuações rápidos de débito.

Vimos que, quando a linha de recalque apresenta pontos elevados seguidos de depressões ou quando é muito longa e de pequena declividade, pode ocorrer uma rarefação (vácuo) capaz de vaporizar o líquido. Nestas situações, pode-se adoptar uma solução mista : reservatório de ar para atender ao trecho regularmente ascendente e chaminé de equilíbrio para o trecho longo. A solução importará em despesa considerável caso a chaminé possua dimensões grandes, porém conferirá plena segurança, tanto do ponto de vista funcional quanto do de operação, pois praticamente não requerer manutenção. Não é usual empregar-se chaminé junto à elevatória, veja a figura 9.

É preferível usar o reservatório de ar, mas nas áreas em que se pode esperar problemas de operação e manutenção uma chaminé deve ser desejável.

- c) Volante de grande inércia acoplado ao conjunto do grupo motor-bomba.

O volante de inércia reduz a amplitude da onda de depressão, veja a figura 10. Quer dizer a diminuição (rápida) do débito é retardada e o momento de inércia da massa dos rotores da bomba e do motor girando (PD^2) é aumentado por meio do volante de relativamente grande inércia, acoplado ao conjunto do grupo motor-bomba.

Avantagem é a manutenção simples e o fecho das válvulas de retenção ser muito suave. Infelizmente, este modo, só é possível até um comprimento da tubulagem de recalque de 2 km: máximo.

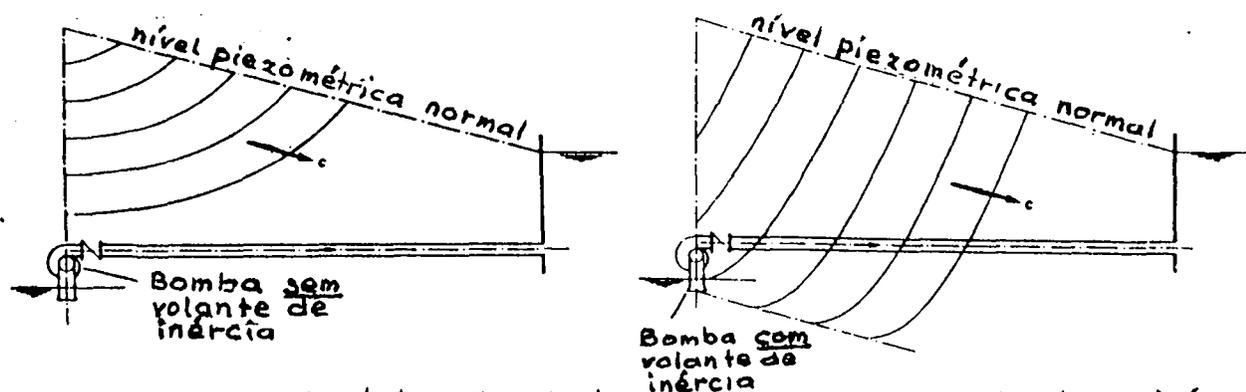


Figura 10: Instalação da bomba sem e com volante de inércia

- d) Sistema com válvulas de controle

Estas válvulas são fechadas e abertas segundo um programa determinado, que depende do progresso do fenómeno, veja a figura 11.

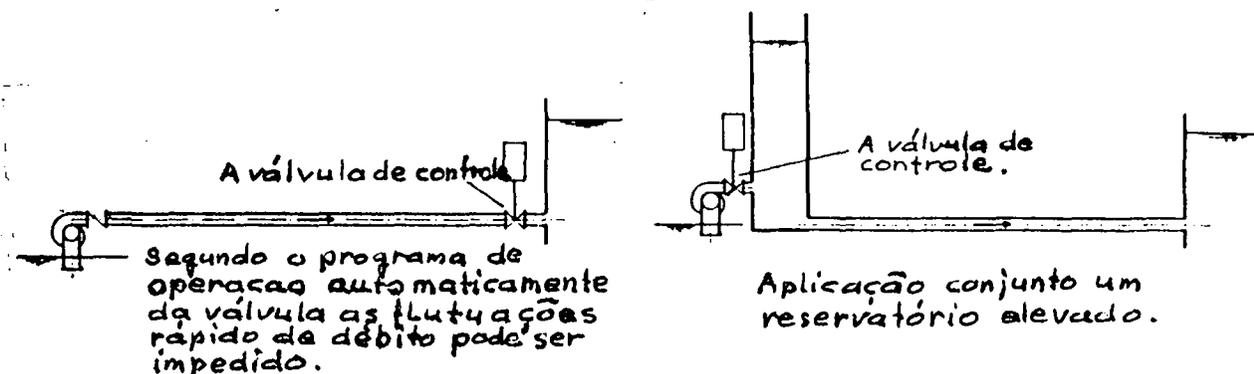


Figura 11: Aplicações das válvulas de controle.

9.3.2 Ao segundo grupo pertence.

a) As válvulas de alívio (redutores de pressão).

Para limitar as sobrepressões pode-se instalar nos lugares apropriados redutores de pressão, que abrem a uma pressão desejável para aliviar a sobrepressão, veja a figura 12. A tensão da mola pode ser ajustada conforma pelo menos a pressão máxima de água. No caso duma sobrepressão a válvula irá aliviar a pressão.

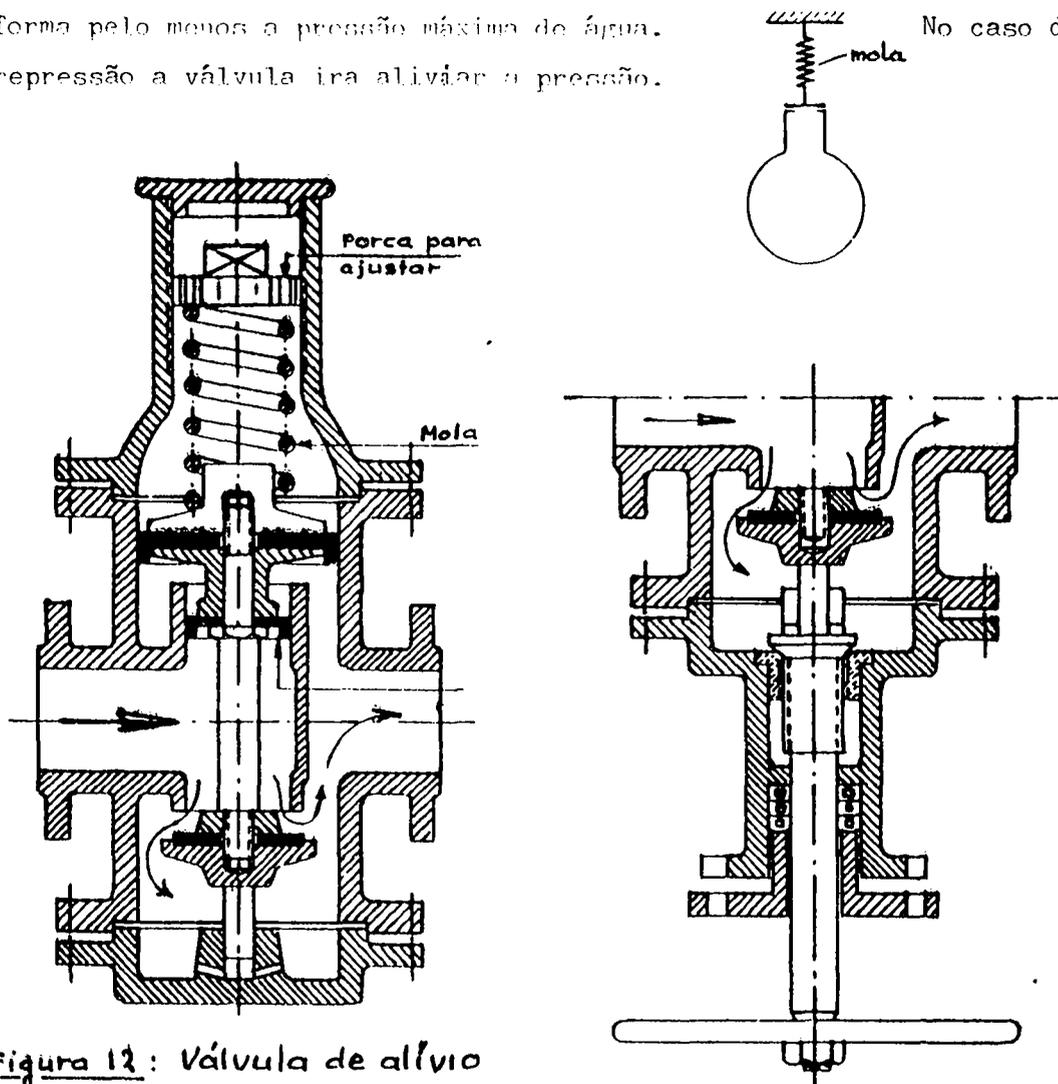


Figura 12: Válvula de alívio

A instalação destes válvulas é muito barata, mas uma das é a manutenção e a verificação periódica para assegurar o bom funcionamento.

b) Ventosas.

As ventosas são órgãos especiais e muito importantes. São colocadas nos pontos elevados das adutoras com a finalidade de eliminar o ar acumulado nesses pontos, ou de permitir a entrada de ar na tubulação quando a pressão desta desce abaixo da pressão atmosférica e desta maneira a cavitação é evitada, veja a figura 13.

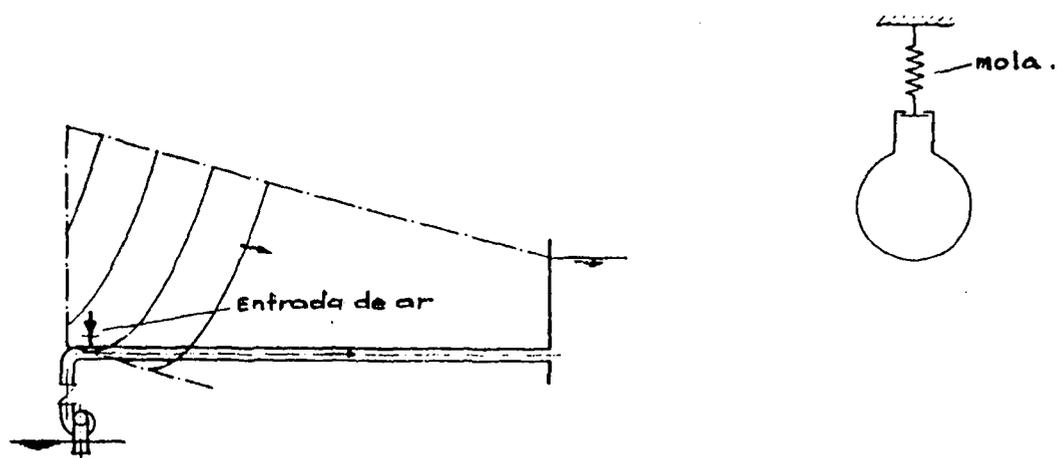


Figura 13 : Ventosa colocado no ponto elevado da adutora.

- c) Empregar as válvulas de retenção e outras válvulas especiais como "by-pass" e descarga de emergência.

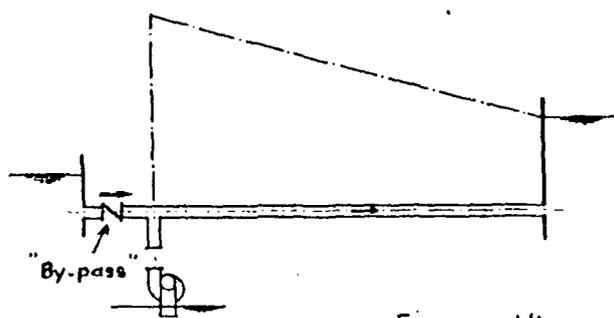


Figura 14

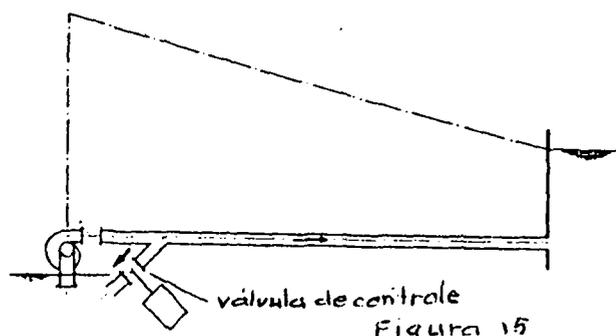


Figura 15

O tipo do "by-pass", veja a figura 14, reduz os efeitos da subpressão e é só aplicável se há um depósito de grande volume e um nível de água bastante alto estiver disponível.

A instalação na figura 15 só funciona no regresso da onda de subpressão na forma dum sobrepessão.

A desvantagem desta instalações é que funciona mecânicamente.

10. ALGUNS ESQUEMAS BÁSICOS DE INSTALAÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

A figura 1 mostra esquematicamente como é constituído um sistema usual de abastecimento de água a uma comunidade.

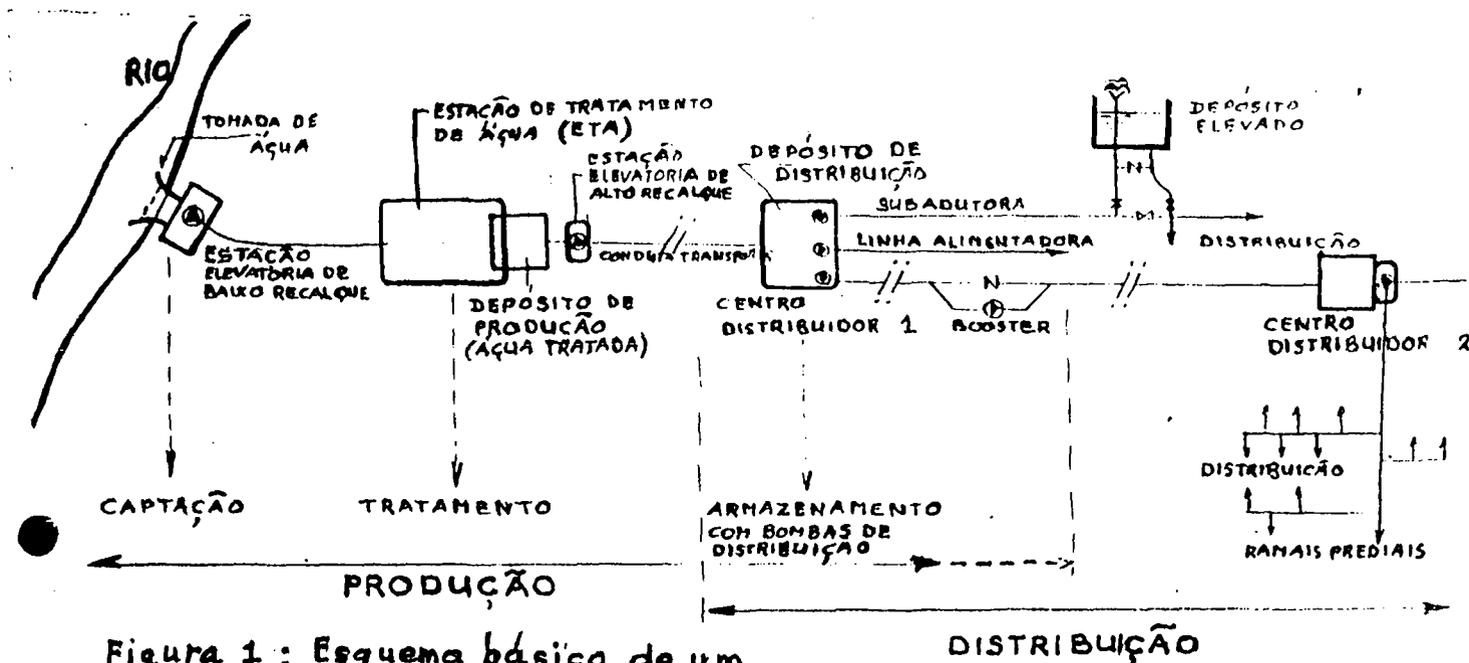


Figura 1: Esquema básico de um sistema de abastecimento de água.

Há que considerar as seguintes partes principais :

- Captação / Elevatória de baixo recalque (neste caso água superficial).
- ETA / Depósito de produção (água tratada) / Elevatória de alto recalque.
- Conduita de transporte.
- Centro distribuidor 1 (depósito de distribuição).
- Rede de distribuição com depósito elevado, centro distribuidor 2 e linhas alimentadoras.

Veja também o capítulo 2 .

10.1 CAPTAÇÃO DE ÁGUA.

A captação de água pode realizar-se utilizando :

10.1.1 Águas subterrâneas - recorrendo à construção de poços e instalação de bombas, conforme vimos na para. 8.1.3.2c .

Outros tipos de poços como poços de pouca profundidade, por exemplo com bombas manuais, não são parte deste manual.

Geralmente, em virtude das pequenas quantidades que se podem obter de um aquífero, o abastecimento com água subterrânea é utilizado apenas em pequenas comunidades. Uma possível objecção ao abastecimento com lençóis subterrâneos é que a água possa ser excessivamente dura. Isto é devido à percolação da água através de depósitos minerais, cujos constituintes são causadores de dureza e ocorre a lixiviação. Por outro lado um abastecimento com lençol subterrâneo tem a vantagem de necessitar tratamento mínimo, devido à purificação natural que ocorre quando a água atravessa as diversas formações subterrâneas.

Essas condições, entretanto, são de natureza genérica.

Muitos depósitos minerais não contribuem para formação de dureza e muitas formações subterrâneas não promovem, efetivamente, a remoção de materiais indesejáveis presentes na água.

Em geral podemos dizer que a água subterrânea é um tipo de água de boa qualidade. Finalmente, podemos notar que o período de operação diária de um poço para abastecimento de uma comunidade, em geral, deve ser inferior a 20 horas.

10.12 Águas superficiais de rios e lagos.

Por meio de uma "Tomada de água", seguida de um canal ou uma tubagem, conduz água a uma elevatória de qualquer maneira, como já indicado na Figura 1.

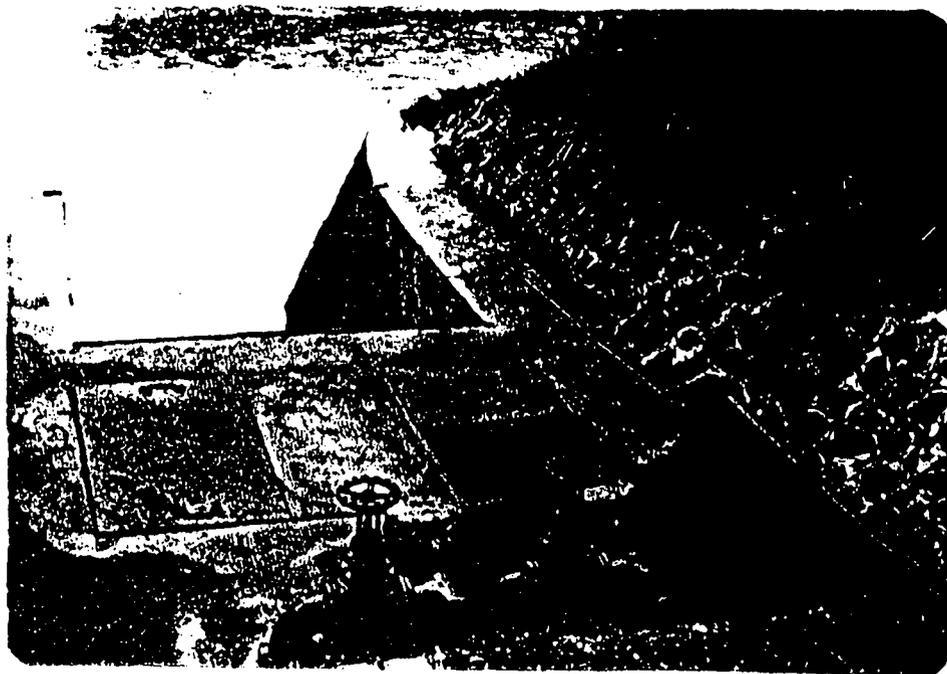


Figura 2 : Imagem dum tipo de tomada de água.

A figura 2 indica um tipo de tomada de água que é abundante, de que a figura 3 dá um corte e uma vista. Estas instalações podem ser realizados com 2 ou mais bombas deste tipo.

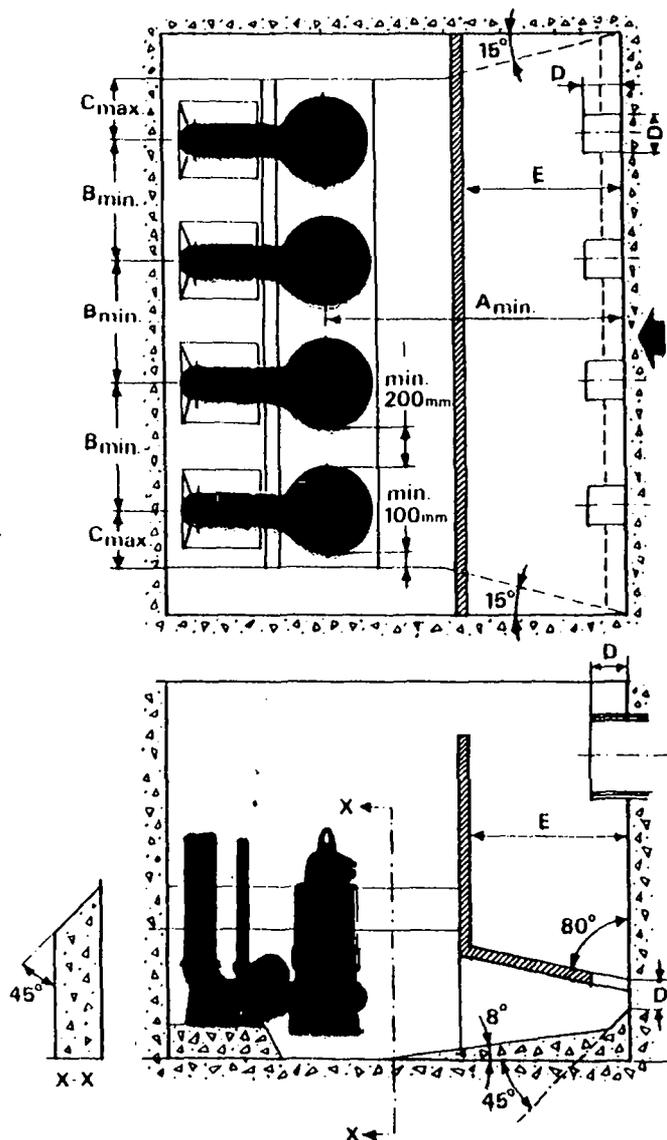


Figura 3:
Estação elevatória de baixo recalque para tomada de água bruta.

Veja a figura 4A e 4B para algumas construções de captação de água superficial. Estas bombas, portanto, levam a água (bruta) para uma estação de tratamento em virtude de águas captadas não atenderem aos padrões consagrados de potabilidade, devendo passar por processos de tratamento físicos e químicos antes de conduzidas à rede pública.

10.2 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO.

As estações de tratamento podem ser mais ou menos complexas, conforme as condições de água a tratar, dos padrões de potabilidade a atender e do volume a ser tratado diariamente.

Existem instalações compactas de tratamento para uso em pequenas comunidades como é indicado por exemplo na figura 5, que mostra instalação de Hidromoç, Moçambique.

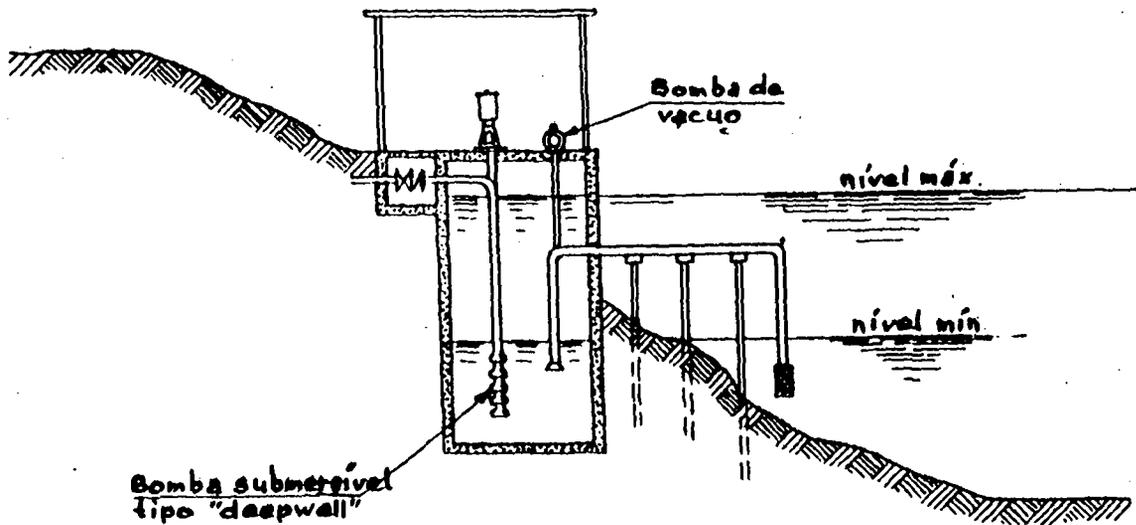
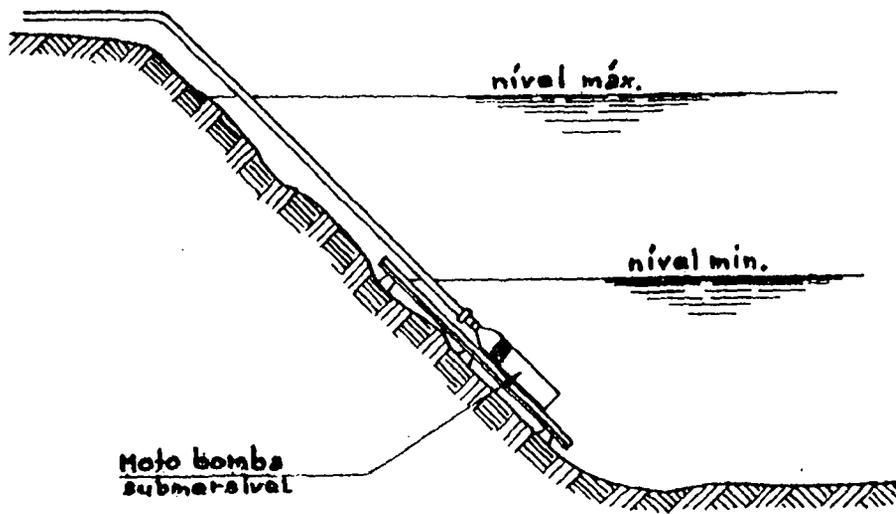
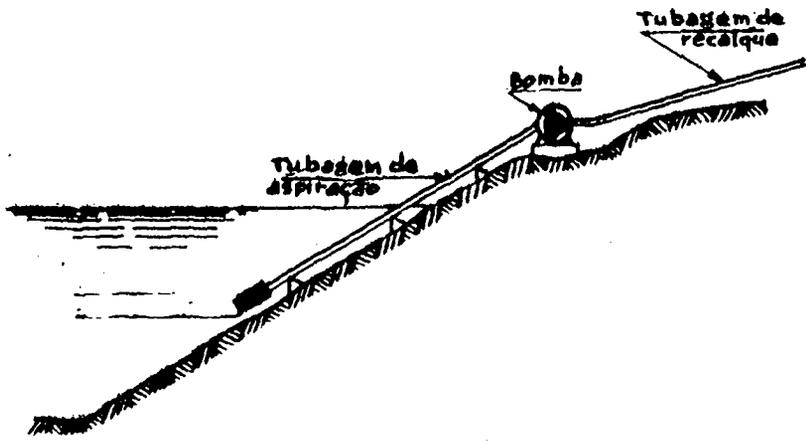


Figura 4A

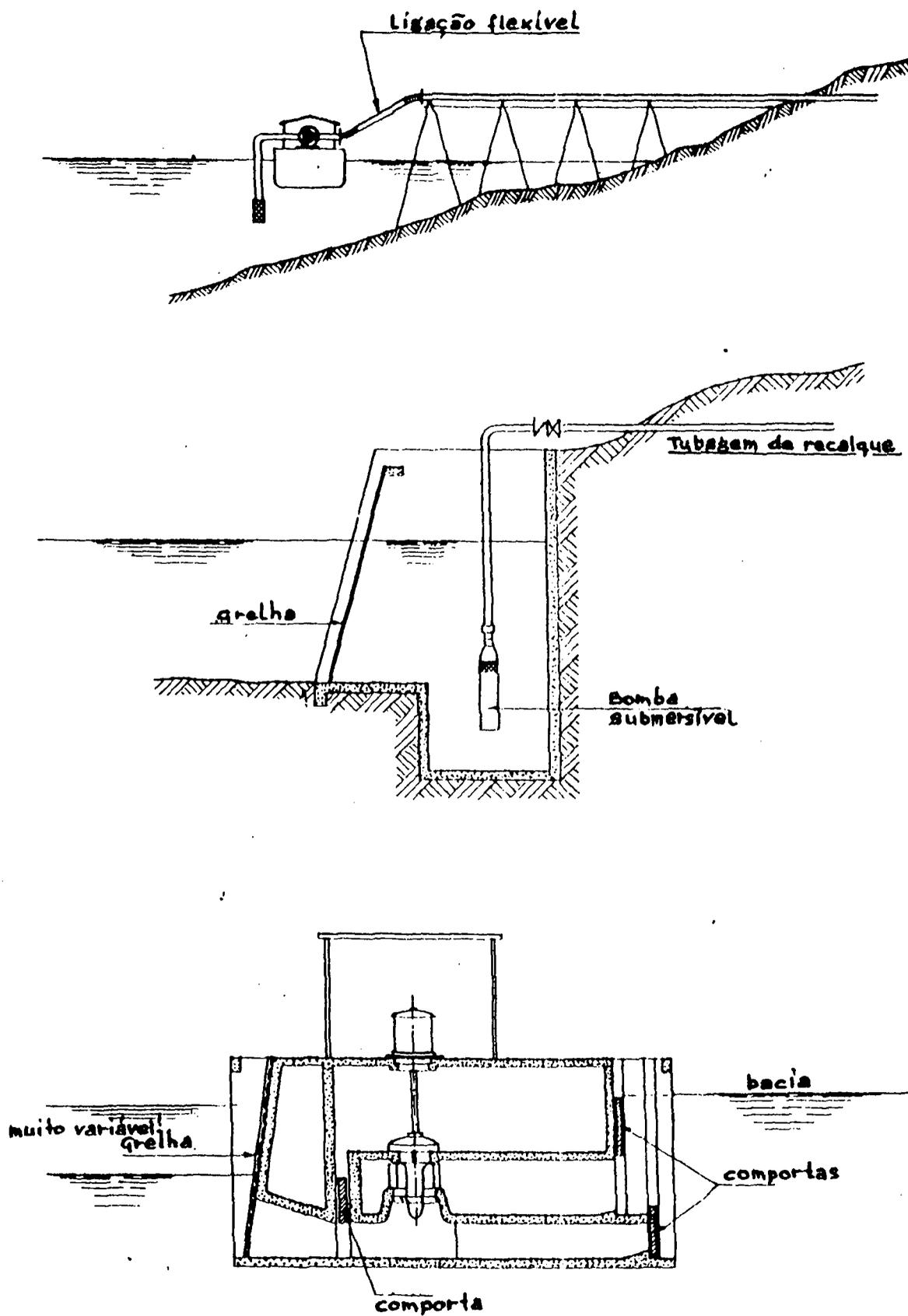


Figura 4 B

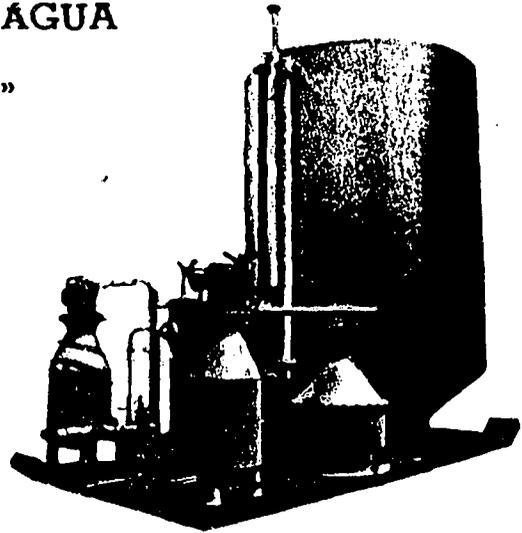
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Unidade Compacta Modelo «B»

Capacidade nominal : 5000 litros/hora.

COMPOSIÇÃO :

- 1 Conjunto montado sobre trenó, incluindo :
- sistema de accionamento hidráulico;
 - filtro de folhas;
 - pré-floculador;
 - contador de água;
 - 4 doseadores automáticos e hidráulicos para 4 reagentes químicos diferentes e a utilizar consoante as condições da água;
 - 1 turbo-reactor, tipo BIDONDO VERTICAL, com separação hidráulica de lamas, filtro HIDRAZITE e armaduras.



Esta unidade está apetrechada para tratamento e correcção de águas das mais diferentes origens, permitindo obter águas límpidas e isentas de bactérias patogénicas a partir de águas brutas barrentas, contendo até 2000 ou 3000 ppm de turbidez. Permite ainda corrigir a acidez, eliminar cheiros e corrigir as percentagens de ferro e manganês, além de outros compostos nocivos.

No esquema seguinte são indicados os dados de maior relevância dos modelos que actualmente se fabricam:

Características	MODELOS				
	A	B	C	D	E
Capacidade de filtragem (m ³ /h)	3	5	7,5	12,5 a 200	a) 150/180 b) 250/270 c) 330/360
N.º de unidades e dimensões (m Ø)	1 1,60 x 3,40	1 2,00 x 4,50	1 2,40 x 4,70	1 a 16 3,00 x 5,20	2 a 4 2,40 x 3,50
Sistema de lavagem	por ar de aspiração natural e água de retorno do depósito elevado.				Por compressor e água de retorno.

Todas as instalações são fornecidas com :

- contador de precisão;
- condutas de interligação;
- medidas e vasilhame em plástico para mistura de produtos;
- estojo para determinação do pH e Cl.

Figura 5.

Porém para o abastecimento de água urbana, precisa-se de produzir grandes quantidades de água potável e por isso atribui-se muita importância à disposição das diversas unidades de purificação numa instalação de tratamento.

Os resultados obtidos com o tratamento, dependem do arranjo conveniente das partes integrantes no processo quanto ao tipo ou qualidade da água bruta.

Encontram-se a seguir alguns esquemas, mostrando separadamente e em sequência as diversas unidades componentes das instalações de abastecimento de água urbana.

10.2.1 Nas figuras 6 e 7 mostram-se os sistemas de purificação dum tipo de água subterrânea.

As águas naturais muitas vezes apresentam gases dissolvidos, predominando os constituintes do ar atmosférico (Nitrogênio e Oxigênio) e o Gás Carbônico (CO_2).

Estamos habituados a utilizar águas nessas condições e estranhamos a ausência de O_2 (Oxigênio). Note que por exemplo a água recentemente fervida e sem oxigênio não satisfaz ao nosso paladar.

Além disso, na ausência de oxigênio dissolvido, podem ocorrer e se manter nas águas, impurezas dissolvidas de ferro e manganês, que são prejudiciais (bicarbonato ferroso, por exemplo).

As águas com teores elevados de CO_2 apresentam características de agressividade (corrosão) e as águas que contém H_2S (gas sulfídrico), ainda que em pequenas quantidades, são consideradas ofensivas.

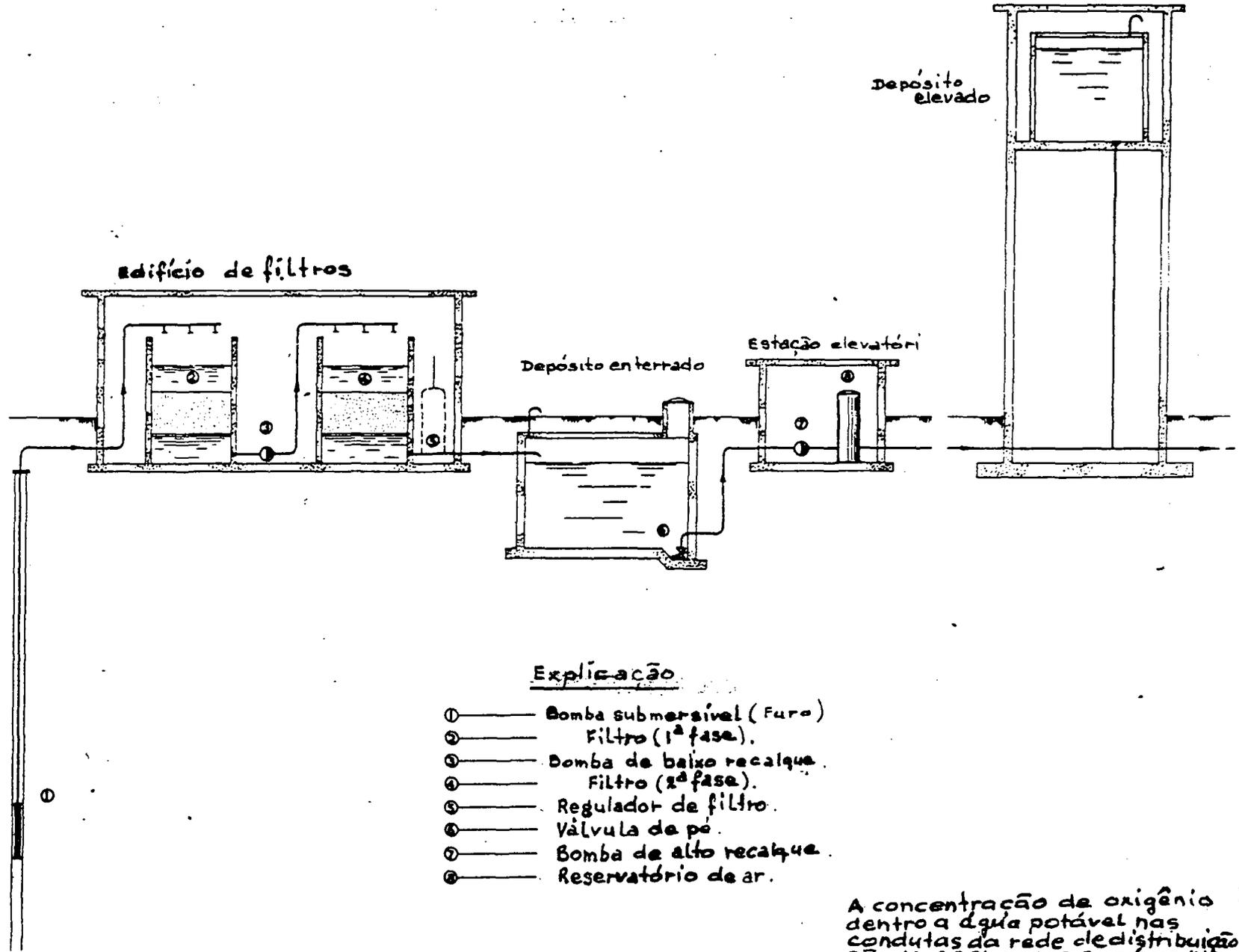
Na água deve-se limitar a concentração de amônia (ion-amônia NH_4^+) que é um constituinte natural de águas, resultante da decomposição da matéria orgânica.

Isto por que o seu efeito é significativo sobre a desinfecção da água pelo cloro, ao produzir as cloraminas que possuem baixo poder bactericida. E também serve como nutriente potencial para algas e bactérias, por exemplo dentro da rede de distribuição, sendo um processo que consome muito oxigênio, surgindo uma situação anaeróbica (= sem oxigênio).

Então, há mais mecanismos para limitar o teor de amônia mas sempre é importante introduzir-se oxigênio para esta situação.

Esquema duma estação de tratamento de água subterrânea com o sistema de filtração rápido em duas fases.

Figura 6.



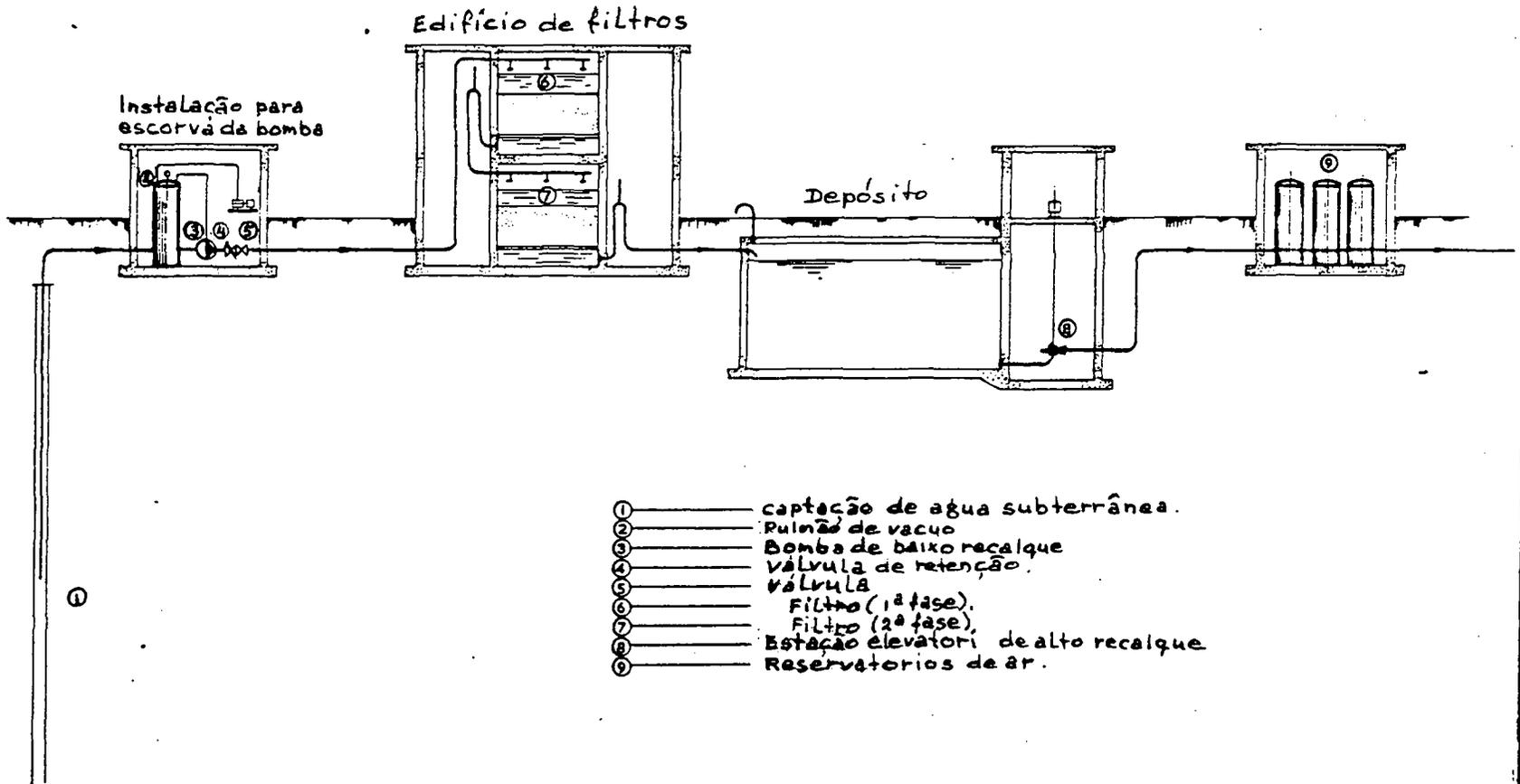
Explicação

- ① — Bomba submersível (Furo)
- ② — Filtro (1ª fase).
- ③ — Bomba de baixo recalque.
- ④ — Filtro (2ª fase).
- ⑤ — Regulador de filtro.
- ⑥ — Válvula de pé.
- ⑦ — Bomba de alto recalque.
- ⑧ — Reservatório de ar.

A concentração de oxigênio dentro a água potável nas condutas da rede de distribuição não deve ser menos que 6 mg/litro.

Esquema duma estação de tratamento de água subterrânea com o sistema de filtração rápida (2 fases)

Figura 7.



Resumindo, a aeração das águas pode ser realizada com os seguintes objectivos.

- a) Remoção de gases dissolvidos em excesso nas águas e de substâncias voláteis.
 - CO_2 em teores elevados,
 - H_2S ,
 - Substâncias aromáticas voláteis,
 - Excesso de cloro
- b) Introdução de Oxigênio.
 - Oxidação de compostos ferrosos ou manganosos para habilitar a filtração destes.
 - aumento do teor de Oxigênio e Nitrogênio dissolvidos na água.

Os sistemas de abastecimento de água urbana, como foi indicado nas figuras 6 e 7, permitem que este processo se realize em duas fases, juntamente com a filtração. Para a filtração veja a página 47B, e também a página 5c que mostra uma entrada de água dum depósito com cascata. Esta cascata serve para introdução de oxigênio na água armazenada.

10.2.2 Muitas das características das águas, consideradas inconvenientes, podem ser removidas (só !) pelo uso de produtos químicos, o tratamento químico, cuja acção se faz sentir de diversas maneiras.

Na figura 8 mostra-se uma disposição esquemática de fluxo duma Estação de Tratamento Químico de Água.

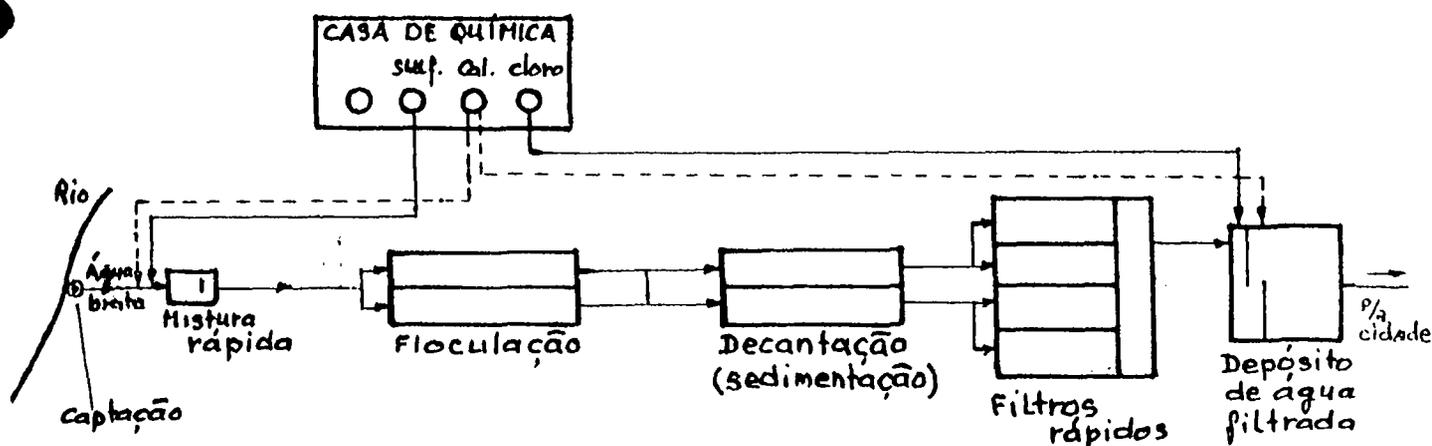


Figura 8: Estação de Tratamento Químico de Água (Coagulação e Filtração Rápida)

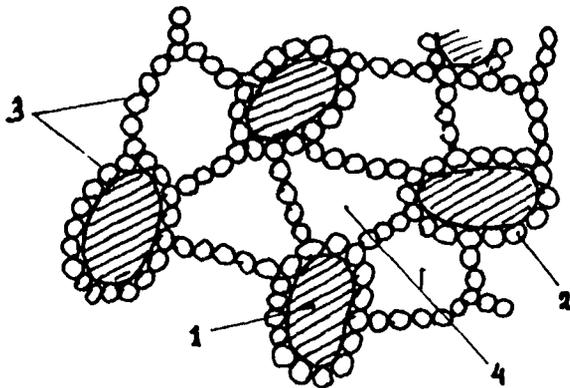
Os produtos químicos, por exemplo Sulfato de Alumínio (ou as vezes Sulfato Ferroso + Cloro) servem para o processo químico denominado por coagulação e floculação.

Isto é um processo em que as impurezas, que se encontram em suspensão fina em estado coloidal *) ou em solução, bactérias, protozoários e/ou plancton, se transformam em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas por sedimentação e filtração.

Por isso vamos ver na figura 8 em sucessão :

a) A mistura rápida para coagulação.

A mistura que visa conduzir os constituintes a um estado de uniformidade desejada, e assegurada em "câmaras de mistura rápida (os misturadores rápidos), a fim de se conseguir uma "coagulação homogênea", entendendo-se por coagulação o processo de reacção química do coagulante na água e seus efeitos. Que quer dizer realmente desestabilizar ou neutralizar a carga eléctrica dos partículas coloidais, porque podem coagular até flocos, como é indicado na figura 9. Daí um processo físico e químico.



- 1 As partículas flutuando.
- 2 " " Hidróxido de Alum ou Hidróxido de Ferro (iones trivalente).
- 3 Pontos de adesão.
- 4 Agua encerrado.

Figura 9:
Amoldagem de um floculo pelo processo de coagulação.

Os produtos químicos mais utilizados com a finalidade duma purificação conveniente são :

- Sais de Alumínio e Ferro : Sulfato de Alumínio, Sulfato Ferroso, Sulfato Ferroso Clorado, Sulfato Férrico, etc.
- Alcalis, para promover e manter a alcalinidade: Cal Virgem (CaO), Cal Hidratada Ca (OH)₂ , Barrilha (Na₂CO₃), etc.

O coagulante mais comumente empregado no Moçambique é o Sulfato de Alumínio, AL₂(SO₄)₃.18H₂O, e na água levantar-se iones trivalentes (AL⁺⁺⁺) junto com produtos de hidrólise (OH⁻).

*) Note que o estado coloidal é uma forma de existência das impurezas na água, que fica entre o estado duma suspensão fina e o estado de solução.

A mistura é efetuada por um processo hidráulico-mecânico, no qual se agita a água por turbulência ou por meio de agitadores, criando-se gradientes de velocidade que definem a sua agitação. Estes gradientes constituem factores de controle da mistura e da coagulação. A figura 10 mostra uma maneira como pode ser obtida a agitação da água juntamente

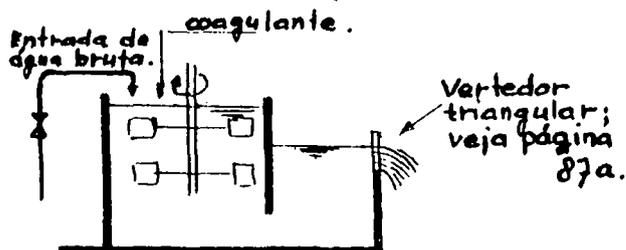


Figura 10: Mistura rápida.

com a medição da capacidade por meio dum vertedor triangular de Tompson.

Conhecer o caudal é essencial para o funcionamento do tratamento químico.

h) Coagulação, o processo de formação de coágulos.

Como já se disse, a mistura intensa é que assegura uma distribuição uniforme do coagulante na água, colocando-o em contacto com as partículas existentes em suspensão, antes que a reacção esteja terminada.

Ao mesmo tempo ocorre a coagulação, que é a condução simultânea de partículas coloidais por forças físicas e químicas originadas do processo de reacção química, o que é muito rápido, ocorrendo dentro de segundos, a partir da aplicação do coagulante à água.

É essa a razão pela qual é necessária uma mistura intensa no ponto de aplicação do coagulante, a fim de que se dê uma exposição das partículas finas em suspensão na água ao agente coagulante, antes que a reacção da coagulação se complete.

A inexistência de uma mistura intensa adequada implica em que parte da água seja supertratada, enquanto que outras partes sejam insuficientemente tratadas.

c) Floculação.

É o processo pelo qual as partículas em estado de equilíbrio electrostáticamente instável no seio da massa líquida são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si formando flocos, veja a figura 9, que, com a continuidade da agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se pesados, para posterior separação nas unidades de decantação e filtração.

A floculação pode tornar-se mais eficiente com o aumento do tempo de agitação.

O tempo e a intensidade da agitação devem ser determinados por meio de experiências realizadas nos ensaios nos jarros, veja a figura 11, empregando-se várias velocidades.

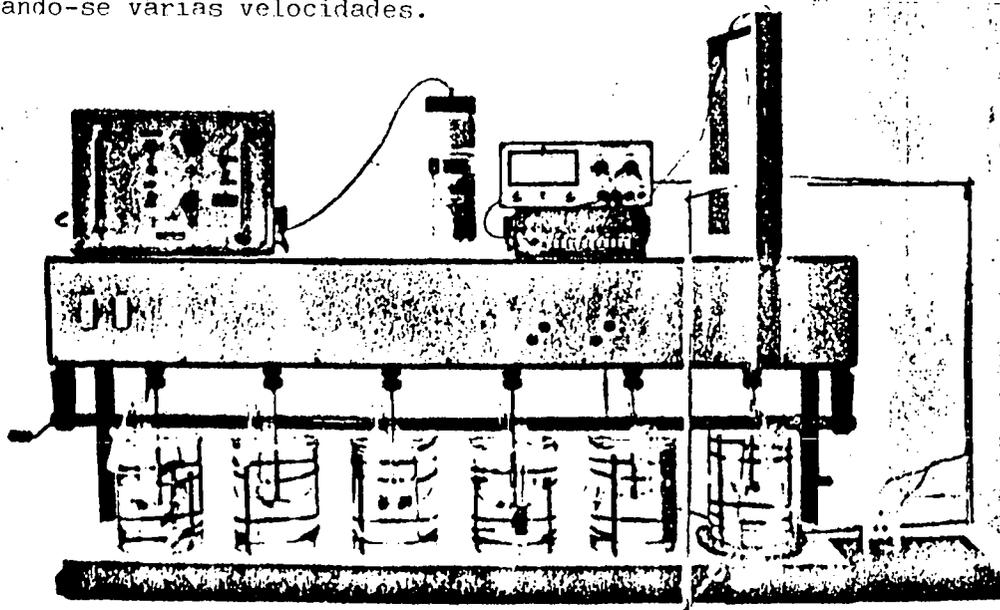


Figura 11 : Ensaios nos jarros ("Jar-test") para determinar a dosagem de coagulante junto à medição de PH e turbidez.

Há muitas construções ou desenhos para os sistemas de floculação, mas realmente existem dois sistemas básicos de reconhecer ;

- Sistema hidráulico.
- Sistema mecânico.

O primeiro utiliza a energia hidráulica disponível, sendo a mesma dissipada pela água em câmaras com chicanas horizontal ou vertical. A água efetua um movimento sinuoso dentro da unidade, veja a figura 12.

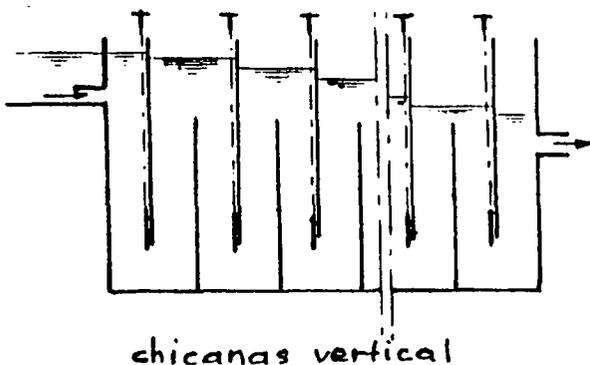
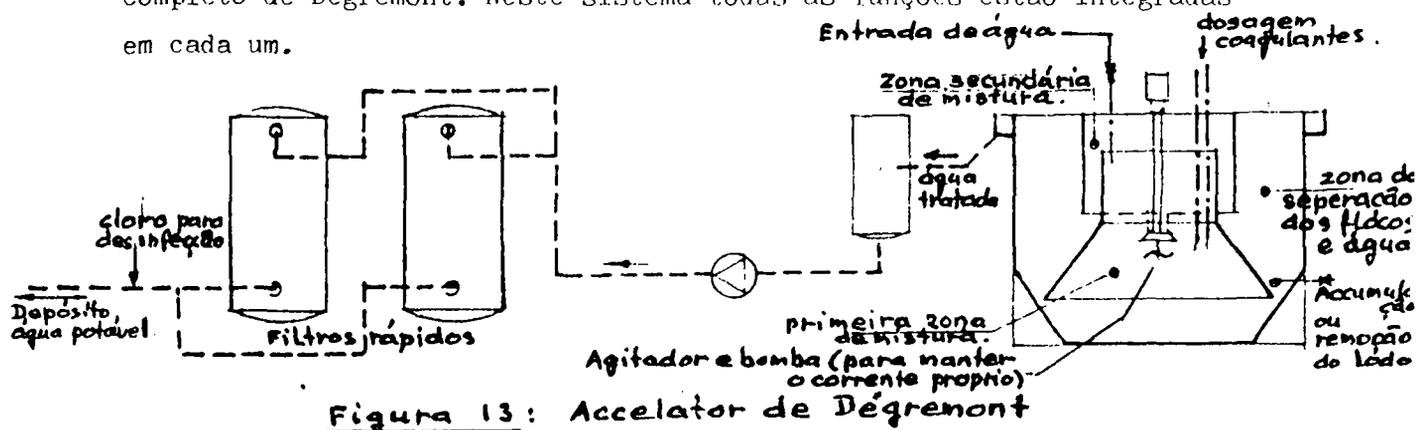


Figura 12:
Esquema e uma imagem dum sistema hidráulico de floculação.

O segundo utiliza energia mecânica externa, a qual é dissipada pela água em tanques apropriados, veja a figura 13, que indica um sistema completo de Dégremont. Neste sistema todas as funções estão integradas em cada um.



d) Decantação ou sedimentação.

Isto é um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas nas águas. Essas partículas, sendo mais pesadas do que a água, tenderão a cair para o fundo, com uma certa velocidade (velocidade de sedimentação). Anulando-se ou diminuindo-se a velocidade de escoamento das águas reduzem-se os efeitos da turbulência, provocando-se a deposição de partículas.

Os decantadores ou as bacias de sedimentação são tanques onde se procura evitar ao máximo a turbulência (movimento tranquilo).

Há critérios muito variados para a classificação dos decantadores. Os mais importantes sob o ponto de vista prático são os seguintes :

- Em função do escoamento da água.
 - decantadores de escoamento "horizontal", veja a figura 14.
 - " " " " "vertical".

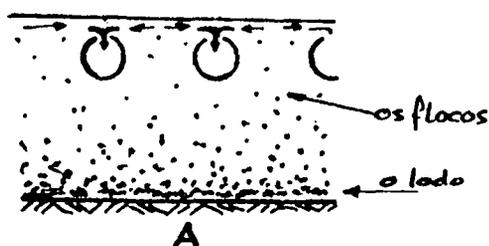
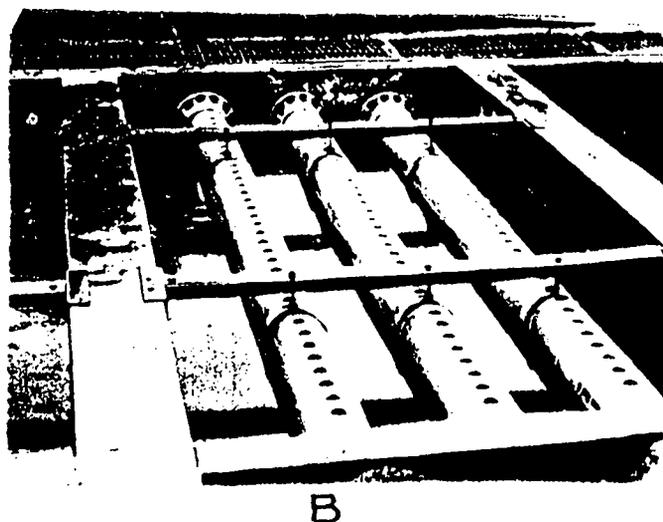


Figura 14:

Parte dum tanque de sedimentação (horizontal).

Normalmente, o nível de água está acima deste: tubos para captar a água

tratada, como é indicado na figura 14A.



10.3 ESTAÇÃO DE "BOOSTER".

Como já viu no para. 7.3.2.b, a pressão nas linhas alimentadoras e distribuidoras, em geral, não ultrapassa a **6 kgf/cm²** (veja também para. 6.5 N.B.), de modo que pode vir a tornar-se necessário colocar bombas ao longo das referidas linhas, para proporcionar a necessária energia, quando as condições topográficas ou as perdas de carga nas linhas longas assim o exigirem.

Então :

O "booster" é uma bomba que intercalada em uma tubagem aumenta a energia de pressão, auxiliando o escoamento do líquido.

Uma "estação elevatória Booster" fica portanto interposta numa conduta de transporte ou outra linha importante, de modo a compensar, como já disse, as perdas de carga e manter aproximadamente constante a descarga. Nessa elevatória, a bomba é instalada geralmente num "by-pass", isto é, em paralelo, devendo existir uma válvula de retenção e um válvula colocados na linha alimentadora. Veja a figura 16. Assim como foi

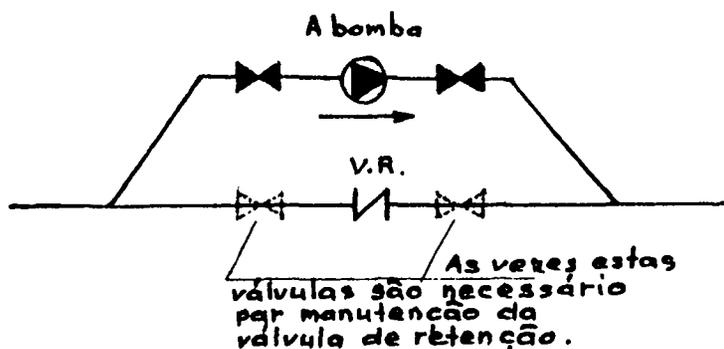


Figura 16.

Instalação esquemática do "booster".

estipulado no para. 7.3.2b quanto à ideia de booster, a mesma coisa deve-se encontrar aqui propositadamente. Antes da bomba funcionar, a descarga na tubagem deve-se exclusivamente à queda topográfica ou seja, ao desnível entre os depósitos e a água passa através a válvula de retenção livremente. A bomba ao operar gera uma energia que cria um "degrau"

no gradiente hidráulico, elevando-o enquanto a válvula de retenção se fecha ao mesmo tempo.

Pode-se utilizar uma bomba do tipo submersível, veja a figura 17A, mas neste caso a bomba precisa dum encaixe como indicado na figura 17B.

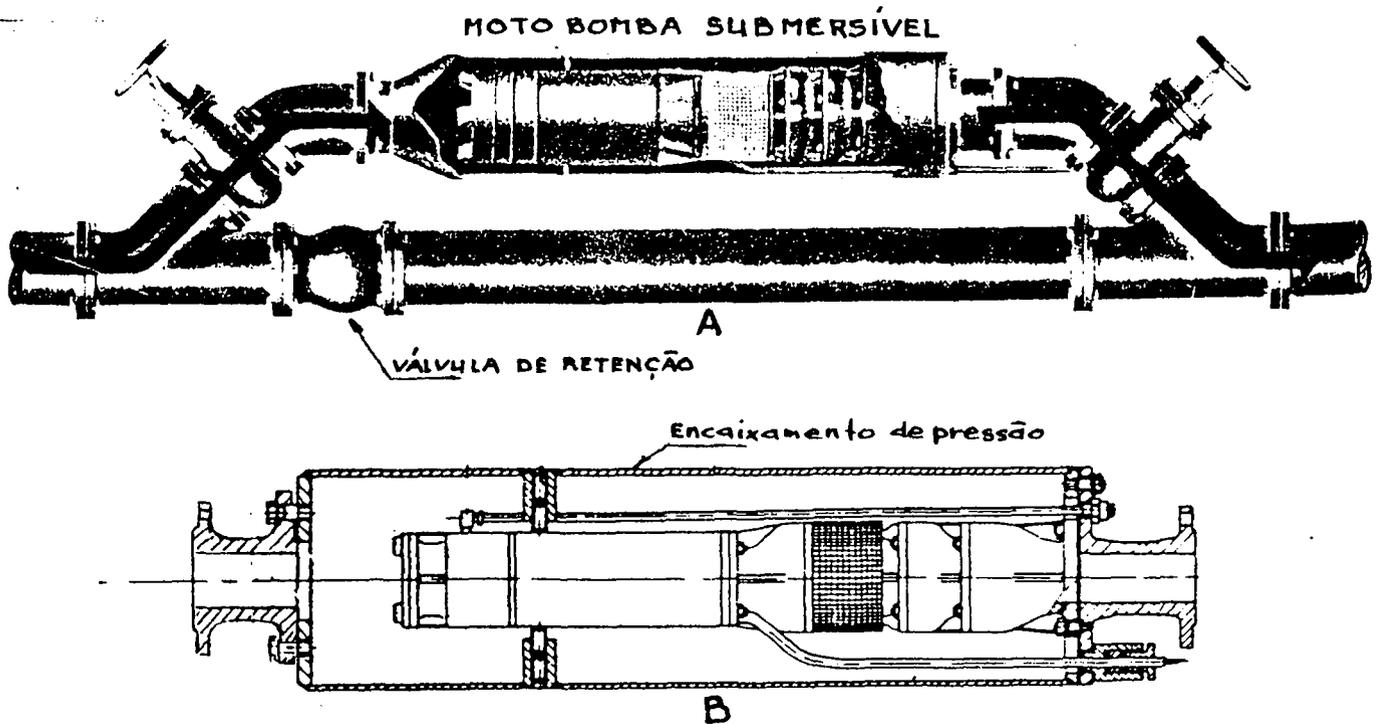


Figura 17:

Instalação horizontal duma bomba submersível como "booster".

A vantagem desta instalação é não ser muito cara e utilizar-se no caso duma instalação temporária (Esperando a construção duma nova linha de transporte).

No caso duma instalação de "booster" permanente, pode-se encontrar uma instalação como indicado na figura 18 por exemplo.

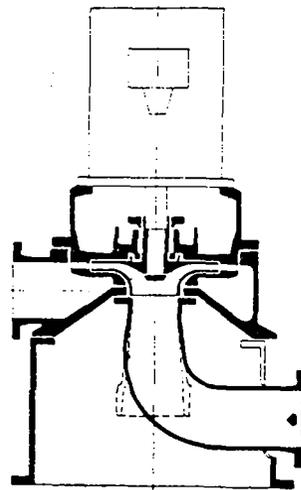
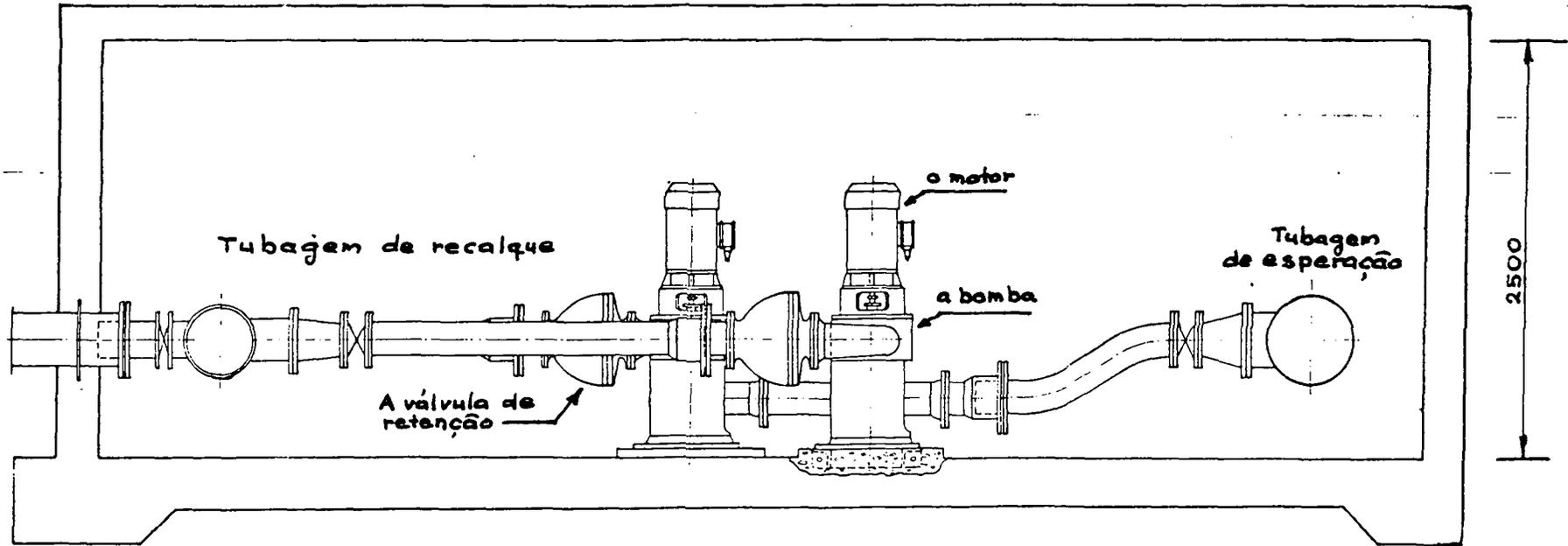
Esta é uma instalação com duas bombas centrífugas de eixo vertical, da qual uma é reserva da outra (100% reserva).

É claro que é possível utilizar várias bombas em paralelo em instalações de "boosters", também para se conformar com diversos caudais.

Neste caso, a alimentação de electricidade é feita através dum sistema de controle da frequência (controle por Thyristor) e por consequência de controle do número de rotações por minuto do motor eléctrico e depois da bomba. Veja a figura 19 para as características $H_{man} - Q_e$ da bomba. Veja também a página 140 .

N.B. Alguns projetistas preferem, sempre que possível, substituir a ligação directa dos "boosters" às linhas alimentadoras, por depósitos intermediários, de onde as bombas se possível afogadas, recalquem para a linha alimentadora. É um questão de certeza contra o custo.

FIGURA 18: Estação Elevatória "Booster" com o centro* de controle de frequência (controle de número de rotações da bomba).



A bomba.

*) Neste centro de controle, existem retificadores estáticos de silício SCR que reagem ao sinal enviado pelo sensor e modificam a onda senoidal da corrente alternativa que alimenta o motor da bomba. Assim, por exemplo, se for necessária apenas metade do número de rotações, somente metade da onda senoidal é permitida através do SCR ao motor. Este responde operando na rotação exatamente necessária para atender à solicitação do sistema. As mudanças de velocidade se processam suavemente, sem ruído, em atendimento à demanda verificada a cada momento.

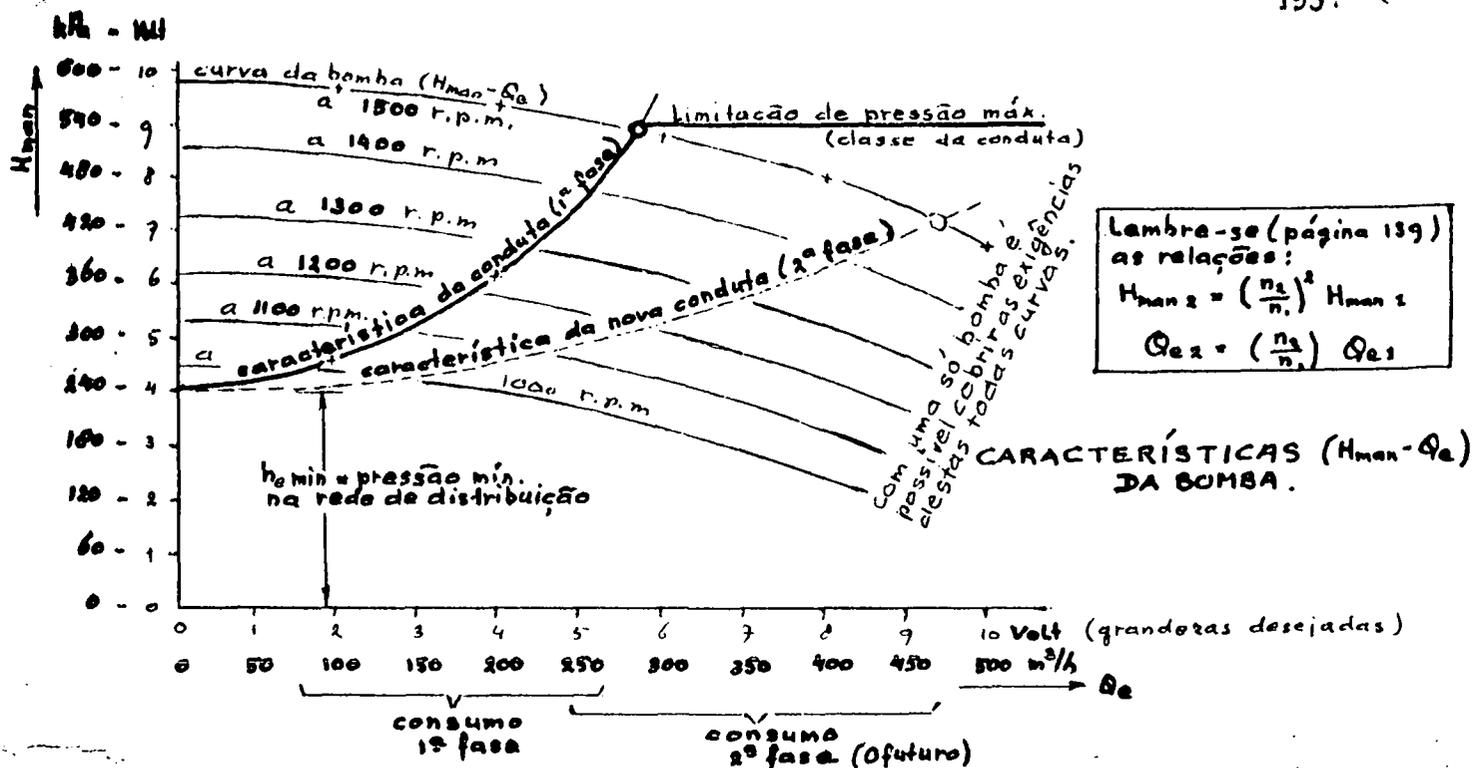


Figura 13: Características da bomba (booster)

Explicação:

Já vimos, no parágrafo 8.3.3, como variam as grandezas características de funcionamento de uma turbobomba quando varia o número de rotações.

Devido à necessidade;

- de obter uma pressão constante, independentemente do consumo nas instalações prediais;
- de manter um nível constante nas instalações de esgoto;
- de manter uma descarga constante em sistemas de processamento com recirculação;
- de manter uma pressão constante, independentemente do consumo numa rede de distribuição, no fim desta rede;
- etc.

Alguns fabricantes projectaram os sistemas de rotação variável com variadores eléctricos, mecânicos ou fluidodinâmicos, cuja actuação não correspondia plenamente ao ideal pretendido.

Presentemente, há equipamento electrónico capaz de controlar a velocidade do motor da bomba de modo que seja o desejável. Neste sistema de controle existem rectificadores estáticos de silício SCR (= Silicon Controlled Rectifier), veja a figura 19.

Faremos referência a três sistemas básicos deste tipo de instalação entre os vários que os fabricantes propõem para, por exemplo, uma estação elevatória "booster", como é indicado na figura 18.

ESQUEMA DO PRINCÍPIO BÁSICO DO SISTEMA

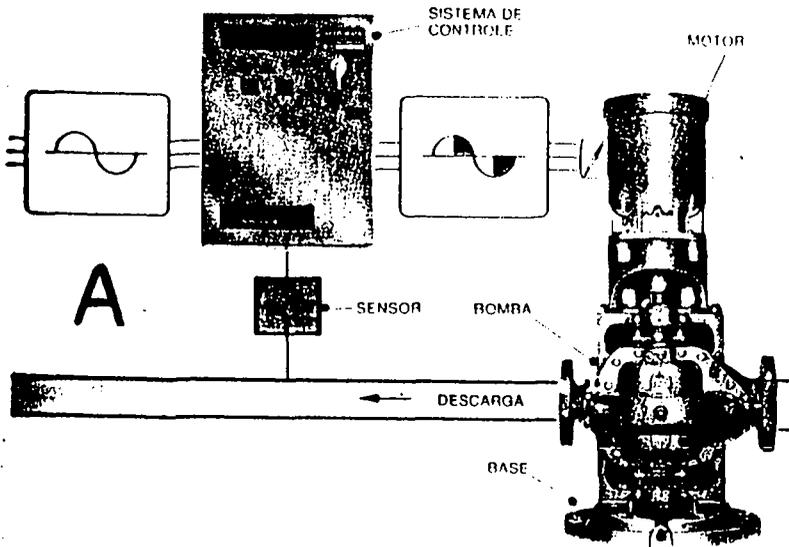
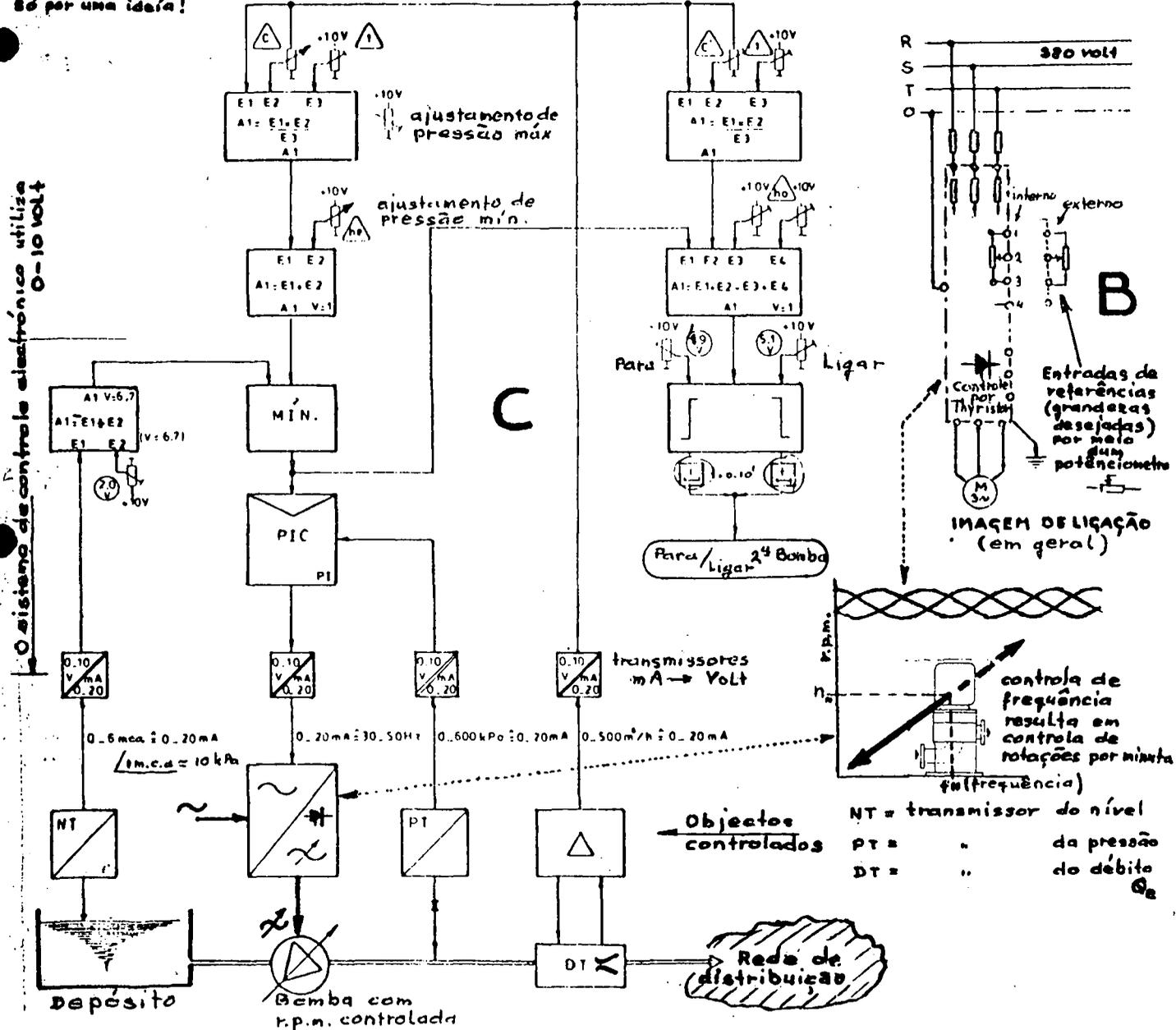


Figura 20:
O sistema de controle de frequência (SCR)

ESQUEMA EM BLOCOS DO SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO SCR

Só por uma ideia!



O sistema de controle eletrônico utiliza 0-10 volt

Objectos controlados
 NT = transmissor do nível
 PT = " da pressão
 DT = " do débito

controle de frequência resulta em controle de rotações por minuto
 f (frequência)

Tipo 1 : Compreende duas bombas. Quando uma das bombas está em operação, é regulada pelo sistema SCR, veja também a figura 20. Isto quer dizer que a velocidade varia como é desejável, e a outra bomba está em reserva (portanto 100% reserva!).

No caso de uma das bombas avariar ou quando uma destas precisar de manutenção, é possível ligar a outra bomba com o mesmo sistema de controle SCR. Numa primeira fase, quando se precisa de automatização mais ou menos simples, usa-se este tipo de controle de velocidade do motor, como é o caso da estação elevatória " booster " da figura 18.

Tipo 2 : Compreende duas bombas cujos motores são operados por um único centro de controle. Em operação, a velocidade da bomba líder é regulada pelo SCR até que alcance a velocidade máxima compatível com a bomba. Automaticamente fica ligado na linha para essa rotação e, quando se torna necessário, a segunda bomba é demarcada através do SCR para a velocidade mínima.

A velocidade desta segunda bomba vai aumentando à medida que for necessário atender ao consumo, tal como ocorreu com a primeira bomba.

Tipo 3 : Compreende uma, duas, três ou quatro bombas de mesmo tipo, cada qual com seu equipamento SCR de controle, individual. Deste modo, torna-se possível a qualquer tempo expandir uma instalação original dotada de uma ou duas bombas, acrescentando-a até o total de quatro bombas.

Como foi dito, cada bomba atinge o máximo de sua capacidade, o centro de controle da segunda bomba dá partida à mesma.

As outras duas bombas, numa instalação com quatro bombas, vão sendo sucessivamente accionadas pelos centros de controle respectivos.

Bibliografia :

- ARCHIBALD JOSEPH MACINTYRE : Bombas e Instalações de
Bombeamento, Brasil.
- Prof. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO : Várias publicações, Brasil.
- Prof. Ir. L. HUISMAN : " " , Holanda.
- IWACO, ENGENHEIROS CONSULTORES : " " e
manuais, Holanda.

Os meus Agradecimentos a todos que estiveram envolvidos directa
ou indirectamente na elaboração deste manual : Menção especial
para Eng.^a IVONE GONÇALVES e Minha esposa Elisabeth , que fez a
dactilografia de todo o texto :

Muito obrigado,



Maputo , 7 de Maio , 1987.