

2736007

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE S. PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICA

PEQUENAS USINAS HIDROELÉTRICAS

Aluno: Luís Filipe D. M. B. Couto

Prof. Orientador: Sérgio R. Ceccato

1984

1. APRESENTAÇÃO

O presente trabalho estuda especificamente as pequenas usinas hidroelétricas.

A idéia básica deste tipo de central é o aproveitamento de pequenos recursos hidráulicos com baixo investimento. Desta forma, a energia gerada (potência instalada) não é elevada, porém os custos de implantação e manutenção são baixos, possibilitando a sua construção com recursos municipais ou mesmo de particulares.

Associado ao baixo custo, outra vantagem é a localização da usina: devido ao fato de utilizar baixas quedas d' água, estas hidroelétricas podem ser localizadas próximo aos centros consumidores da energia por elas gerada, dispensando assim as longas e dispendiosas linhas de transmissão, frequentes em usinas de grande porte.

Sendo o Brasil um país rico em recursos hidráulicos, as pequenas centrais hidroelétricas, devido às peculiaridades descritas, se apresentam como uma solução viável, merecendo uma atenção especial e um estudo mais profundo.

2. DISCUSSÃO PRELIMINAR

São apresentadas neste trabalho duas soluções distintas visando o aproveitamento de pequenos recursos hidráulicos:

Turbinas Tubulares (Grupos Bulbo) - solução tradicional na qual a barragem contém a casa de máquinas e a turbina é posicionada paralelamente ao fluxo de água.

Pequenas Centrais - solução relativamente inovadora que consiste basicamente na construção de uma barragem de baixo custo, sendo a água conduzida através de canais e tubulações até à casa das máquinas. Nesta casa das máquinas, localizada distante do reservatório, temos a turbina, do tipo convencional.

O segundo tema, devido às suas características peculiares, se apresenta como de maior aplicabilidade a nível nacional, tendo como contrapartida um menor potencial gerado.

Já os grupos bulbo apresentam uma robustez maior necessitando, no entanto, - de locais apropriados para a sua construção, característica que contrasta - com a versatilidade das pequenas centrais.

Ambas, portanto, apresentam vantagens e desvantagens e como são reconhecidas as melhores soluções para o aproveitamento de pequenos recursos, merecem um estudo individual, apresentado a seguir.

3. TURBINAS TUBULARES / BULBO

3.1 INTRODUÇÃO

As turbinas tubulares possibilitam o aproveitamento energético de rios em regiões planas onde as quedas não são, geralmente, superiores a 25 metros, apresentando como vantagem uma eficiência elevada e um custo de construção civil mais baixo (10 a 15% menor em relação às usinas tradicionais).

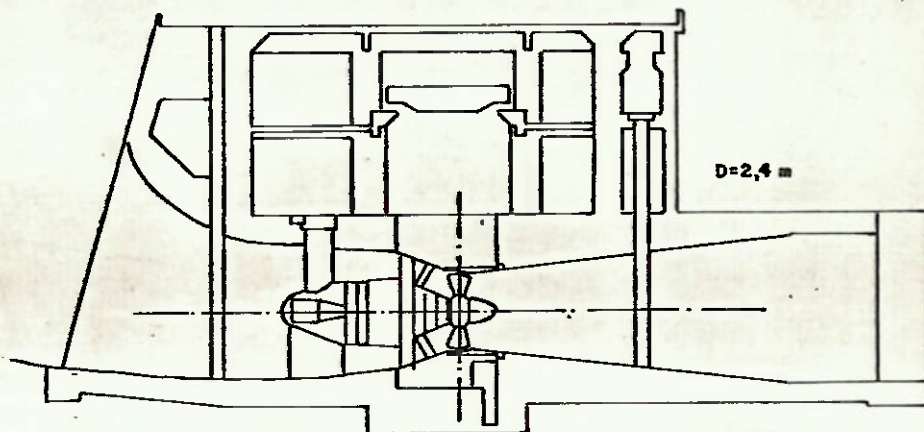
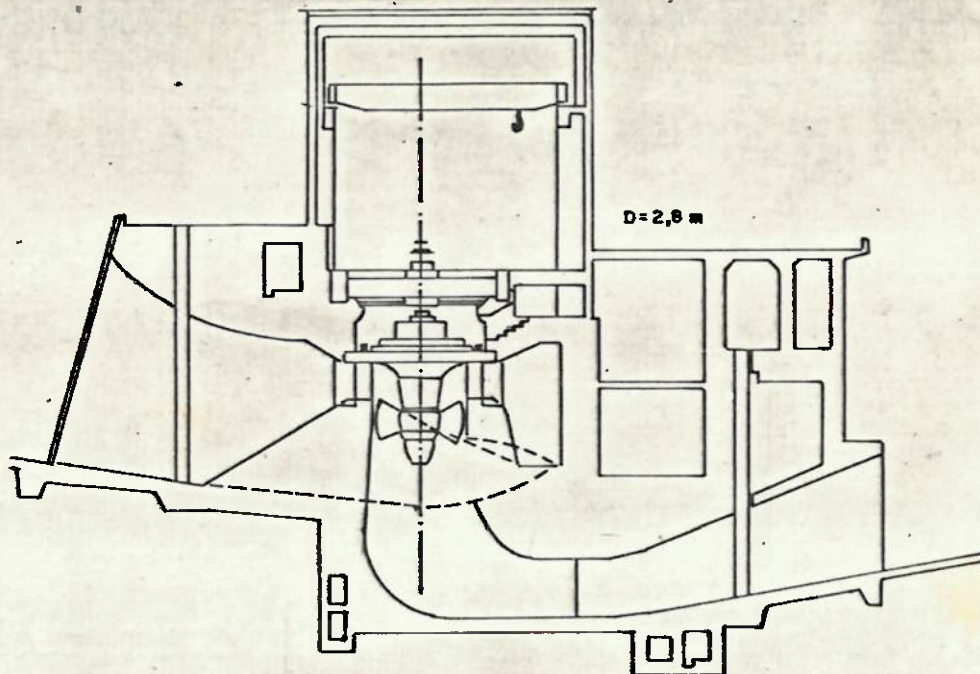
As turbinas tubulares são do tipo hélice, diferindo da turbina Kaplan quanto à adução de água. Neste caso, temos o fluxo d' água paralelo ao eixo da tur
bina, eliminando-se as mudanças de direção do fluxo na caixa espiral e no co
tovelo do tubo de sucção, como acontece na Kaplan. Esta é a razão de seu ren
dimento mais elevado.

3.2 TURBINA BULBO

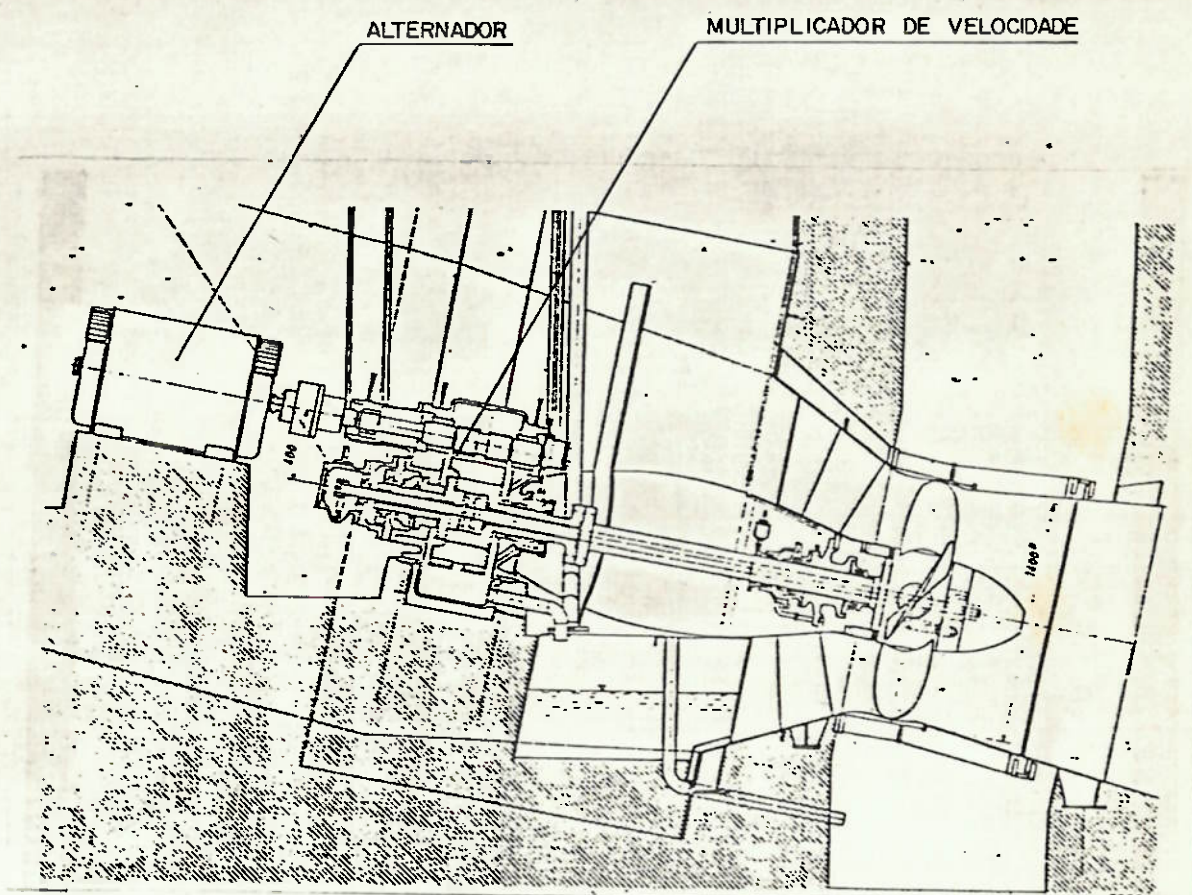
Uma das dificuldades existentes no projeto de uma turbina tubular é que, devido à baixa queda, não é possível obter uma alta rotação e a consequência direta disso são as dimensões excessivas do gerador, se este for acoplado diretamente ao eixo da turbina.

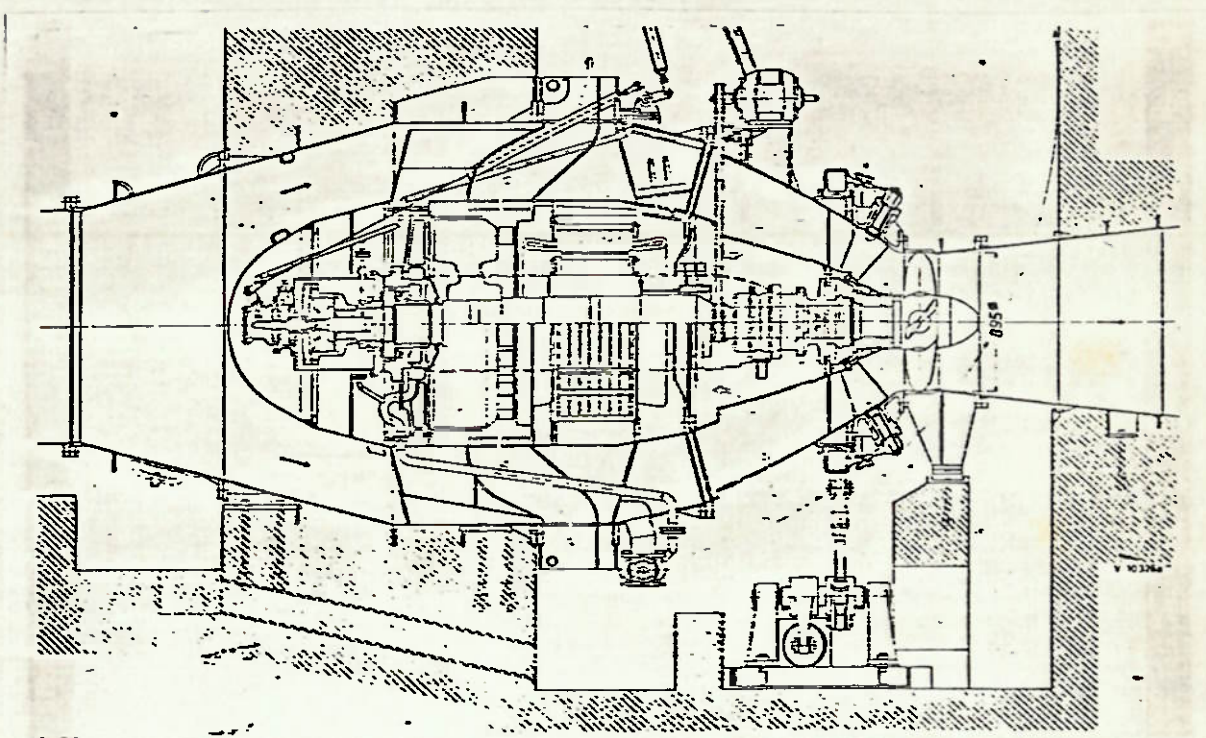
A turbina bulbo superou esta dificuldade, interligando o gerador e a turbina através de um conjunto de engrenagens, o qual permite aumentar consideravelmente a rotação, reduzindo as dimensões do conjunto elétrico.

Outra característica da turbina bulbo é que esta consiste numa unidade hidroelétrica totalmente imersa em água com o alternador colocado no interior de um bulbo de aço. Este bulbo se encontra no conduto e o fluxo d' água se dá -

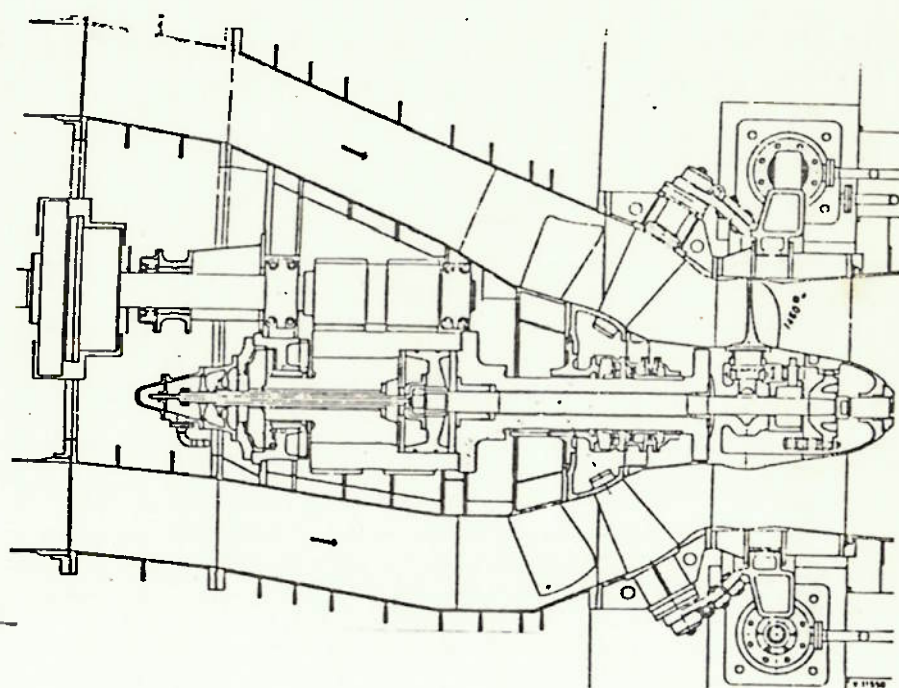
TURBINA KAPLAN ▽TURBINA BULBO △

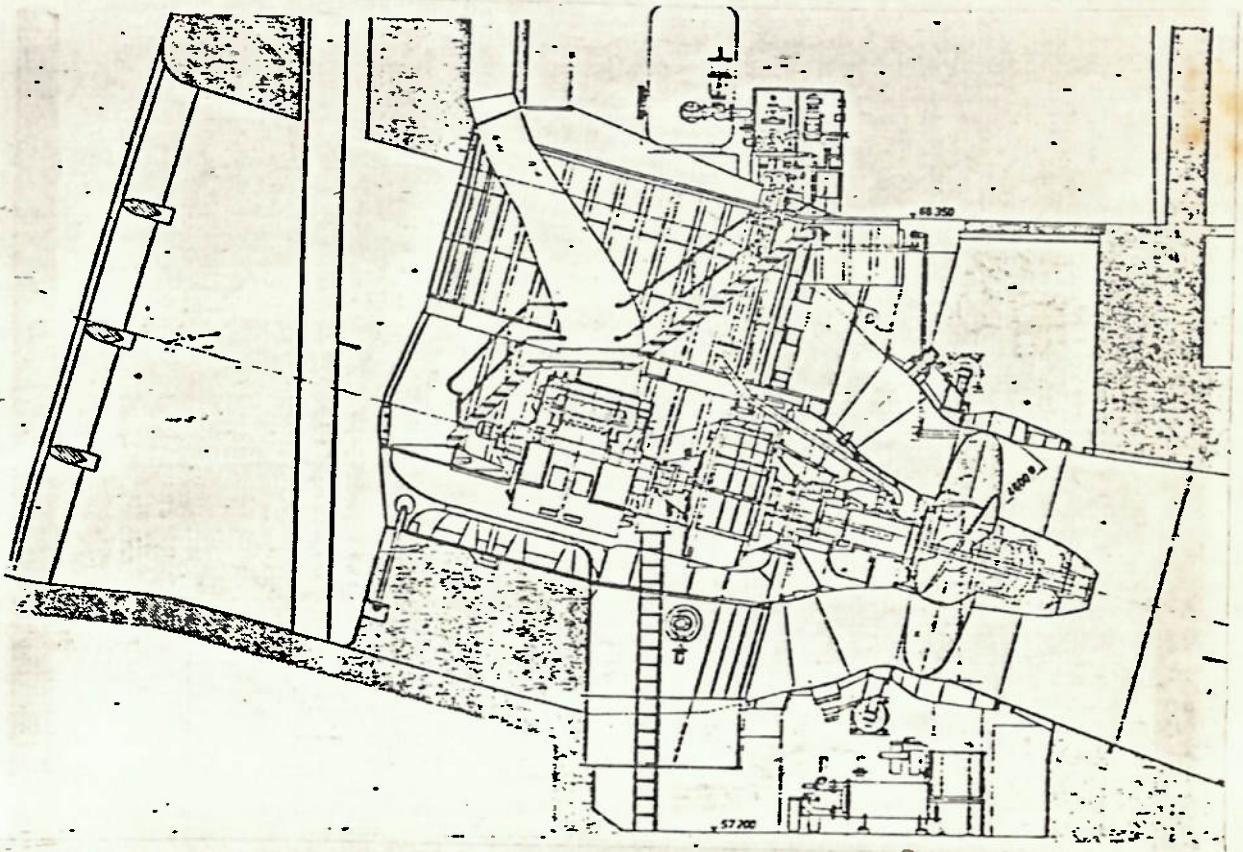
TURBINAS BULBO - Alguns exemplos





NESTE CASO TEMOS O ALTERNADOR DIRETAMENTE ACOPLADO A RODA





ao seu redor.

3.3 PRÉ-PROJETO

3.3.1 TURBINA

Um método simples de pré-dimensionamento do diâmetro da roda e da potência - da turbina, partindo-se de valores conhecidos (vazão e queda de projeto), é o método gráfico descrito em seguida.

Partindo-se das seguintes relações básicas:

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

$$D = a \cdot (Q / n)^{1/3}$$

onde: N = potência instalada

Q = vazão

H = queda

n = rotação

η = rendimento (neste caso adotou-se 0,90)

a = coeficiente prático retirado da observação e tratamento estatístico das turbinas bulbo existentes

γ = peso específico da água

Foi possível construir os gráficos apresentados em anexo.

O primeiro gráfico apresenta a potência em função da altura e da vazão.

O segundo indica o diâmetro da roda em função da rotação e da vazão. Este - gráfico indica ainda os limites em que as soluções devem ser obtidas, estes

limites são impostos não só por considerações de ordem econômica mas também pela ocorrência do fenômeno da cavitação. O segundo gráfico apresenta, portanto, duas escalas da altura H ; ligando-se os pontos de igual valor H determina-se uma reta limite: nenhum valor deve ser tomado abaixo dessa linha. Finalmente o terceiro e último gráfico apresenta a altura (queda) H em função da rotação específica n_s onde:

$$n_s = 3,65 \cdot (\eta)^{1/2} \cdot n \cdot Q^{1/2} \cdot H^{-3/4}$$

Este último gráfico indica portanto o máximo valor de n_s para cada H . Além disso, apresenta dados referentes a diversas turbinas bulbo em operação. Assim, determinando-se n_s por esta curva podemos obter o máximo valor para a rotação da turbina, através da expressão de n_s .

Síntese do processo gráfico

1. Com os dados de projeto q (m^3/s) e H (m), através do gráfico 1 determina-se a potência N (KW).
2. No gráfico 3, com o valor de H , obtém-se o valor de n_s .
Então obtemos o valor de n , utilizando a expressão:

$$n = \frac{1}{3,65} \cdot (\eta)^{-1/2} \cdot Q^{-1/2} \cdot H^{3/4}$$

3. No gráfico 2 marca-se os valores de H em ambas as escalas laterais, unindo-se estes dois pontos por uma reta. Escolhemos então o diâmetro em função da rotação e da vazão, sempre numa região vizinha acima dessa linha.

GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA E DO DIÂMETRO

GRÁFICO 1

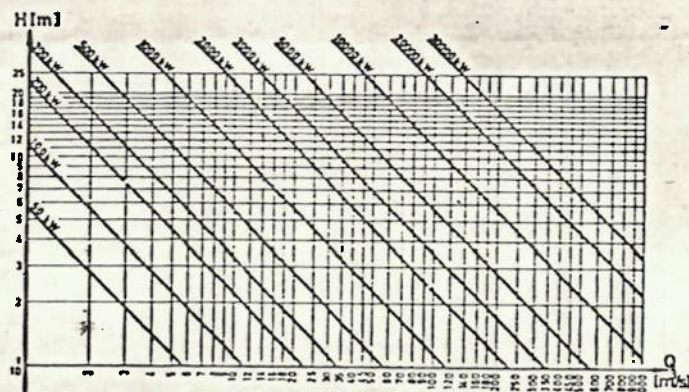


GRÁFICO 2

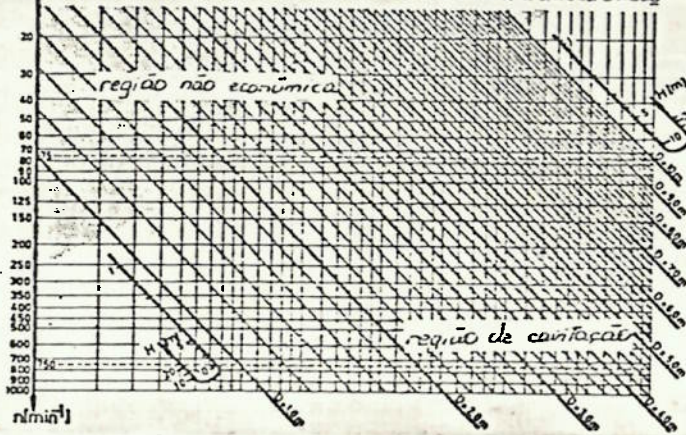
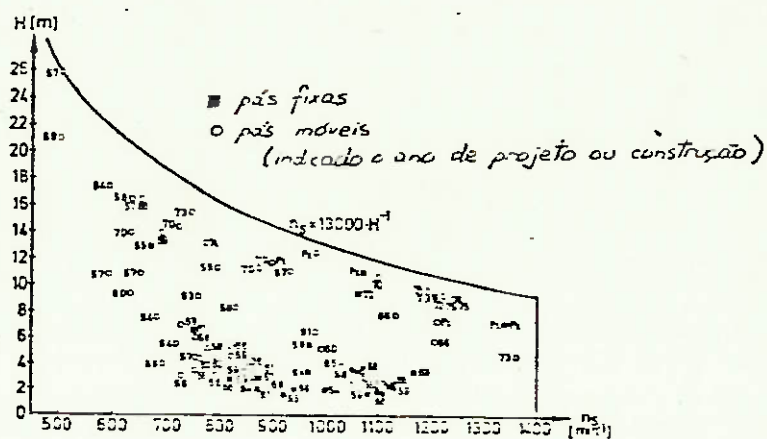


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DA ROTAÇÃO ESPECÍFICA

GRÁFICO 3



Nota: Este processo é válido para turbinas bulbo com o bulbo instalado a montante da roda.

Exemplo numérico

Seja: $H = 12 \text{ m}$

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

Do gráfico 1 obtemos: $N = 2000 \text{ KW}$

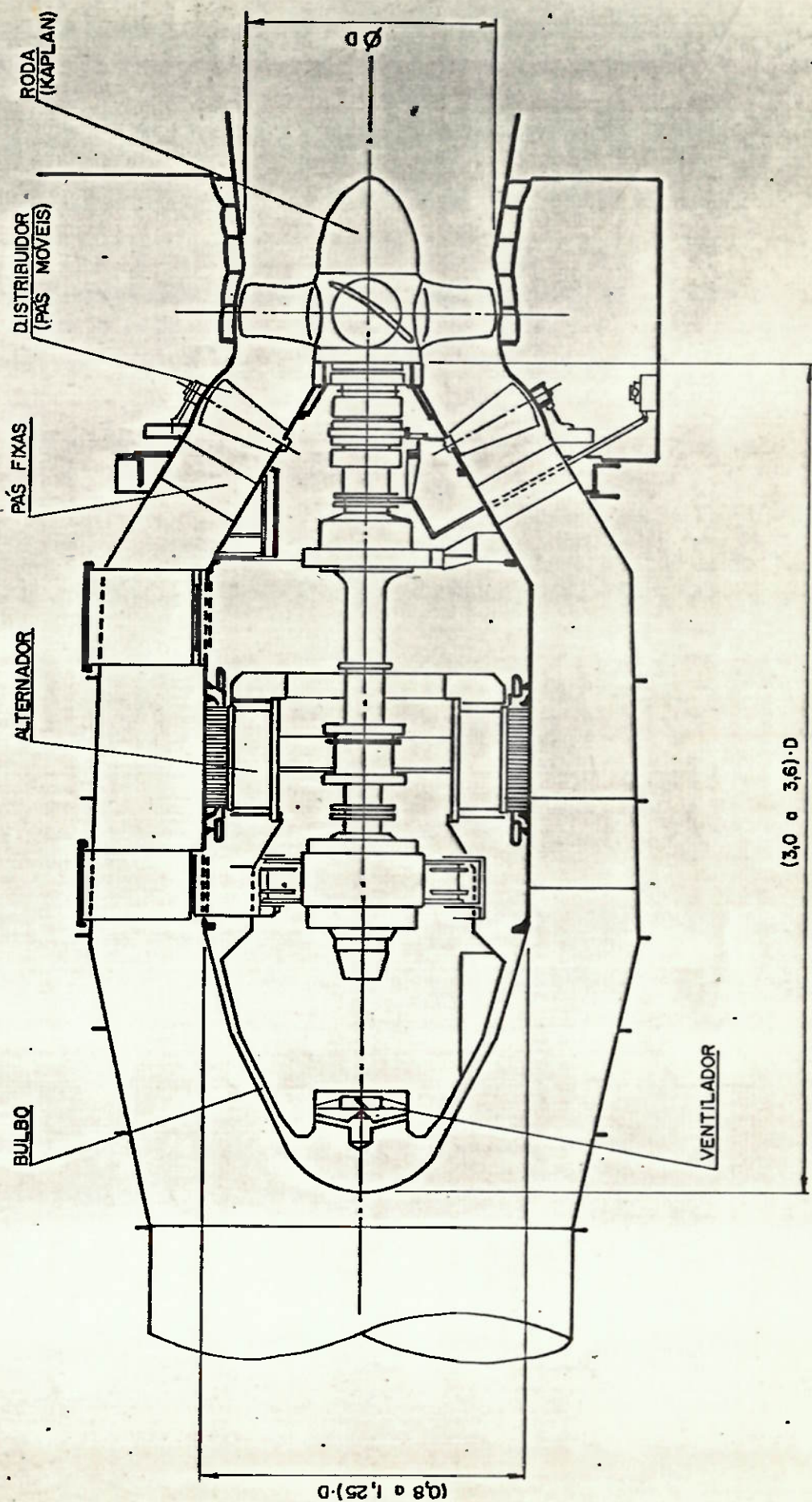
Do gráfico 3 obtemos: $n_s \approx 1100 \text{ rpm}$

O que resulta em $n \approx 450 \text{ rpm}$

Finalmente traçando-se a linha que une os pontos de igual H , no gráfico 2, obtemos nesse mesmo gráfico, uma roda de diâmetro: $D \approx 1,5 \text{ m}$.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO

A figura em anexo apresenta, esquematicamente, as principais dimensões e características de uma turbina bulbo, partindo-se do valor do diâmetro da roda.



3.3.3 MULTIPLICADOR DE VELOCIDADES

Conforme foi dito, os grupos bulbo utilizam multiplicadores de velocidade com o objetivo de utilizar alternadores de alta velocidade e conseqüentemente menores dimensões.

Assim, as turbinas bulbo que utilizam multiplicador de velocidade possuem a roda da turbina e o gerador montados em eixos distintos, ligados entre si através de um engrenamento.

Tipos de engrenamentos utilizados

— Transmissão por engrenagens cilíndricas

Empregada em eixos paralelos; pode-se usar dentes retos ou helicoidais (estes últimos apresentam a vantagem de serem mais silenciosos).

Geralmente apresentam rendimento de 95 a 98 % e são usadas em relações de transmissão na faixa de 8 a 20, trabalhando com potências de, no máximo, 18000 KW.

— Transmissão por mecanismo planetário

A vantagem deste tipo de engrenamento é a economia de espaço, apresentando como principal desvantagem o custo elevado.

Sua faixa de utilização envolve relações de transmissão entre 8 e 13, apresentando rendimento global na faixa de 95 a 98 % e, devido à sua forma construtiva, permite transmissão de potências de, no máximo, 7000 KW.

— Transmissão por engrenagens cônicas

Utilizadas no caso de eixos concorrentes. Apresentam a desvantagem de custo elevado e também de instalação relativamente difícil.

Usadas na faixa de relações de transmissão: 6 a 15, podem transmitir potên-

cias de até 10000 KW . Seu rendimento é também elevado, situando-se no intervalo de 95 a 98 %.

3.3.4 BULBO

Para os grandes grupos bulbo em operação, é válida a seguinte relação entre o diâmetro da roda e o diâmetro do bulbo:

$$D_{\text{bulbo}} = k \cdot D_{\text{roda}}$$

$$k \in [0,8 , 1,25]$$

O diâmetro do bulbo não deve exceder 25% a mais que o diâmetro da roda, para evitar que o comprimento da parte cônica do bulbo, entre o alternador e a roda, seja muito grande. Por outro lado, devido a razões ligadas ao projeto dos componentes elétricos, o mínimo diâmetro do bulbo é cerca de 20% menor que o diâmetro da roda.

3.3.5 ALTERNADOR

Para as turbinas bulbo, o diâmetro do bulbo impõe o diâmetro do estator.

A potência do alternador pode ser expressa por:

$$N = K \cdot D^2 \cdot L \cdot n$$

onde: N = potência nominal (KVA)

K = coeficiente de utilização ($KVA/m^3 rpm$)

D = diâmetro do estator (m)

L = comprimento axial do circuito magnético do estator (m)

n = rotação (rpm)

O diâmetro do estator é menor que o diâmetro do bulbo (cerca de 25 a 50% menor) e, portanto, o diâmetro do estator é menor que o diâmetro da roda.

Assim, para uma dada potência e fixado o diâmetro do estator de acordo com imposições construtivas, determinaremos os valores de K e de L convenientes, tendo-se em conta a utilização de ventilação.

3.3.6 PERDAS NA SUÇÃO

Geralmente as perdas por atrito no tubo de sucção são relativamente pequenas se comparadas com a perda de energia cinética na saída do tubo de sucção.

Essas perdas obedecem à expressão:

$$h = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

onde: k = coeficiente de forma, da ordem de $k \approx 1,4$

v = velocidade, depende da vazão e da seção de escoamento

g = aceleração da gravidade

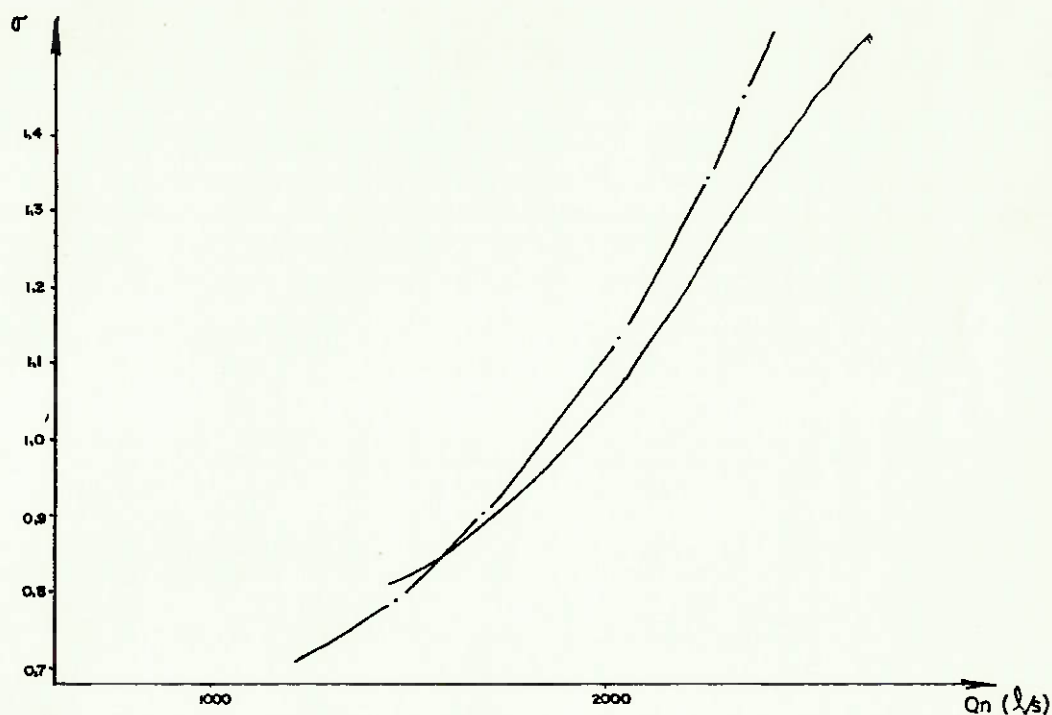
As perdas de energia cinética correspondem, geralmente, a aproximadamente 8% da queda bruta.

3.3.7 CAVITAÇÃO

O gráfico abaixo indica a variação do coeficiente de cavitação (coeficiente de Toma) em função da vazão específica.

Mais uma vez este gráfico é baseado na análise de turbinas em funcionamento.

De um modo geral, pode-se afirmar que, comparavelmente às turbinas Kaplan, as turbinas bulbo são menos sensíveis à ocorrência de cavitação.



COEFICIENTE DE CAVITAÇÃO EM FUNÇÃO DA VAZÃO ESPECÍFICA

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.4.1 REGULAGEM

As primeiras turbinas bulbo construídas possuíam dupla possibilidade de regulação: nas pás da roda e no distribuidor móvel.

No entanto os projetos mais recentes revelam uma tendência para a utilização de grupos fixos porque a não utilização de comandos no distribuidor e nas pás implica numa simplificação e redução das obras de construção civil e também uma redução dos custos dos equipamentos mecânicos.

3.4.2 REVERSIBILIDADE

Os grupos bulbo podem ser utilizados como turbina nos períodos de maior demanda de energia e como bomba nos períodos em que a demanda é menor.

Esta característica de reversibilidade permite uma grande versatilidade para este tipo de instalação, principalmente se se situar próximo a grandes centros - consumidores.

Para que a reversibilidade seja possível é necessário que a parte elétrica seja projetada para operar como gerador e como motor elétrico.

3.4.3 RESFRIAMENTO (ARREFECIMENTO)

A redução do diâmetro dos alternadores das turbinas bulbo provoca alguns problemas, um dos quais a necessidade de resfriamento.

Nos pequenos grupos bulbo ($D < 1 \text{ m}$), os alternadores são montados com o circui-

to magnético compacto, o que permite uma evacuação direta de calor através da -
carcaça do bulbo para o fluxo d' água. O restante das perdas caloríficas é ce-
dido ao fluído de resfriamento (ar ou óleo).

Nos grupos de grande potência, não se utiliza óleo como fluído resfriador. Nes-
te caso utilizamos ventilação, geralmente na direção axial do alternador.

3.4.4 VANTAGENS

A turbina bulbo, pelo seu conjunto tipo axial, permite um pequeno volume de -
obras civis, se compararmos com as turbinas (e usinas) tradicionais de eixo ver-
tical.

Além disso, o escoamento axial elimina as deflexões do fluxo d' água, o que -
acarreta diretamente um rendimento elevado.

Outra característica importante é a menor possibilidade de ocorrência de cavi-
tação, um parâmetro importante.

Estas e outras vantagens garantem às turbinas tubulares um sucesso em aplica-
ções de pequenas quedas (microusinas).

4. PEQUENAS CENTRAIS (TURBINAS CONVENCIONAIS)

4.1 INTRODUÇÃO

As pequenas centrais hidroelétricas apresentam como vantagem primordial o fato de exigirem menor volume de obras civis e pelo fato de sua construção ser relativamente fácil, não exigindo técnicas mais avançadas.

Deste modo a barragem a ser erigida poderá ser inclusive de terra e pedra ou então de concreto. Em ambos os casos a sua construção é simples estando ao alcance de técnicas usuais de construção civil.

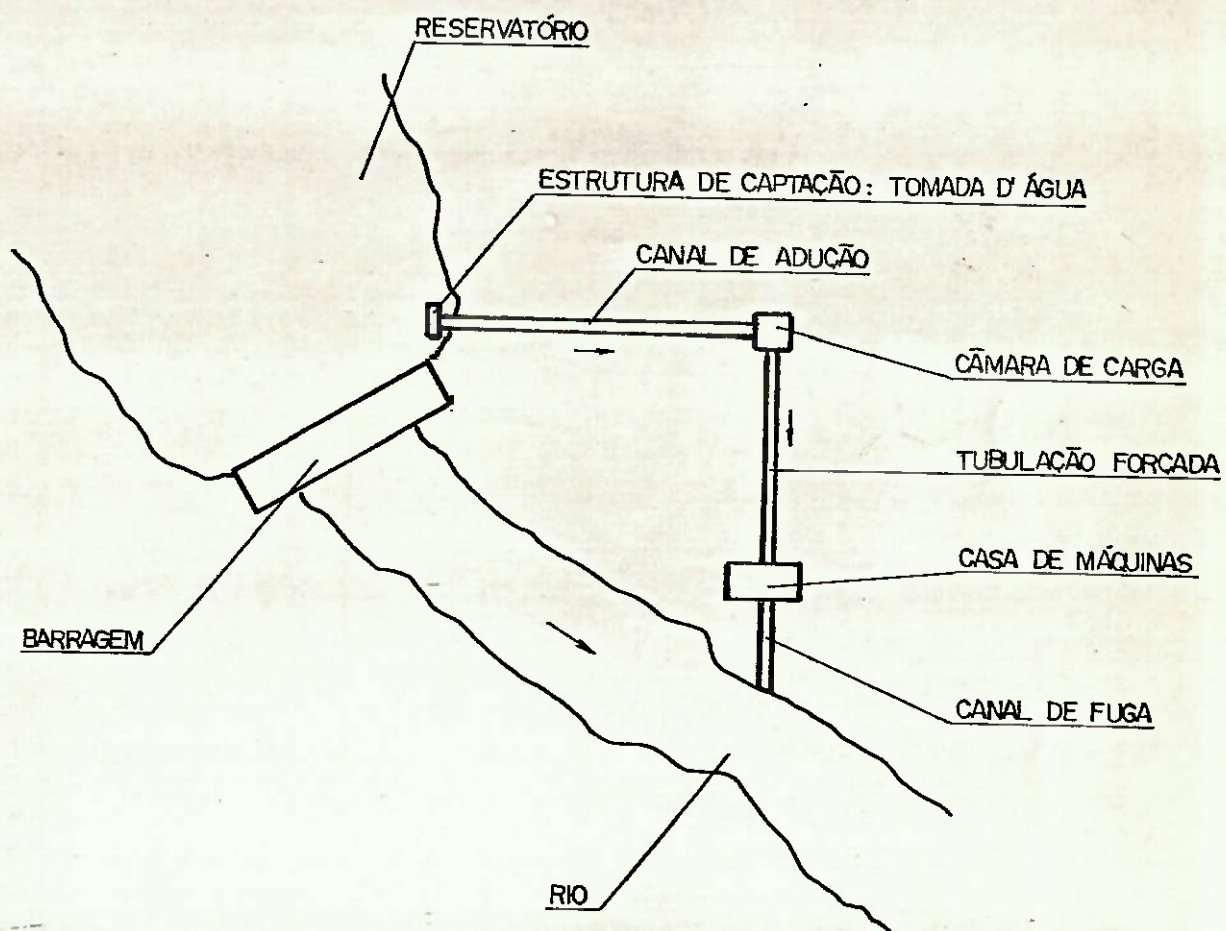
Logicamente este tipo de central apresenta menor geração de energia pois a potência instalada é reduzida. Isto é decorrente de se utilizar rios com menores vazões e/ou locais com menor potencial (menores quedas).

Basicamente, as pequenas centrais caracterizam-se por ter a casa de máquinas isolada da barragem, sendo a adução feita por um conjunto de tubulações e canais.

Paralelamente, procura-se utilizar turbinas convencionais, preferencialmente, as que já se encontram no mercado, diminuindo o custo do equipamento.

Esta tendência é acompanhada no selecionamento de componentes elétricos, ou seja, a redução de custos de implantação é uma preocupação em todos os segmentos do projeto de uma pequena central.

PEQUENAS CENTRAIS - ESQUEMA GERAL



4.2 PRÉ-PROJETO / DIMENSIONAMENTO

4.2.1 SISTEMA DE ADUÇÃO

Existem duas alternativas típicas de adução:

1. A adução é feita inicialmente por um canal de superfície livre até um certo ponto denominado câmara de carga, de onde parte a tubulação sob pressão em direção à turbina (casa de máquinas).
2. A adução é feita em conduto sob pressão desde a captação até à turbina.

Deste modo o sistema de adução pode envolver os seguintes elementos:

- tomada d' água
- canal de adução
- câmara de carga
- tubulação forçada (sob pressão)

ou então envolver apenas o primeiro e o último elemento.

De qualquer forma, a seguir, descrevemos todos os elementos dando uma rápida - idéia de seu dimensionamento.

Tomada d' água

A captação da descarga necessária para a alimentação da turbina é feita através de uma estrutura que, além da tomada de água propriamente dita, contém alguns dispositivos de proteção.

Tipos de tomadas d' água:

Conforme já foi dito, temos basicamente duas alternativas de adução:

1. adução com canal e tubulação forçada
2. adução com tubulação exclusivamente de alta pressão (forçada)

Em cada um dos casos teremos um tipo específico de tomada d' água, designadas - respectivamente por tomada d' água tipo TC e tomada d' água tipo TP.

Dispositivos de proteção:

Os dispositivos de proteção englobam grades cujo objetivo é proteger a turbina contra corpos flutuantes, tais como galhos, troncos, folhas, etc.

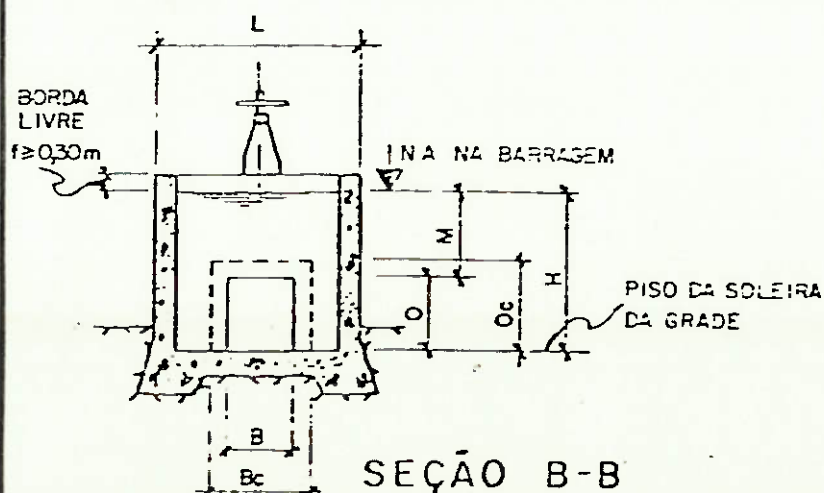
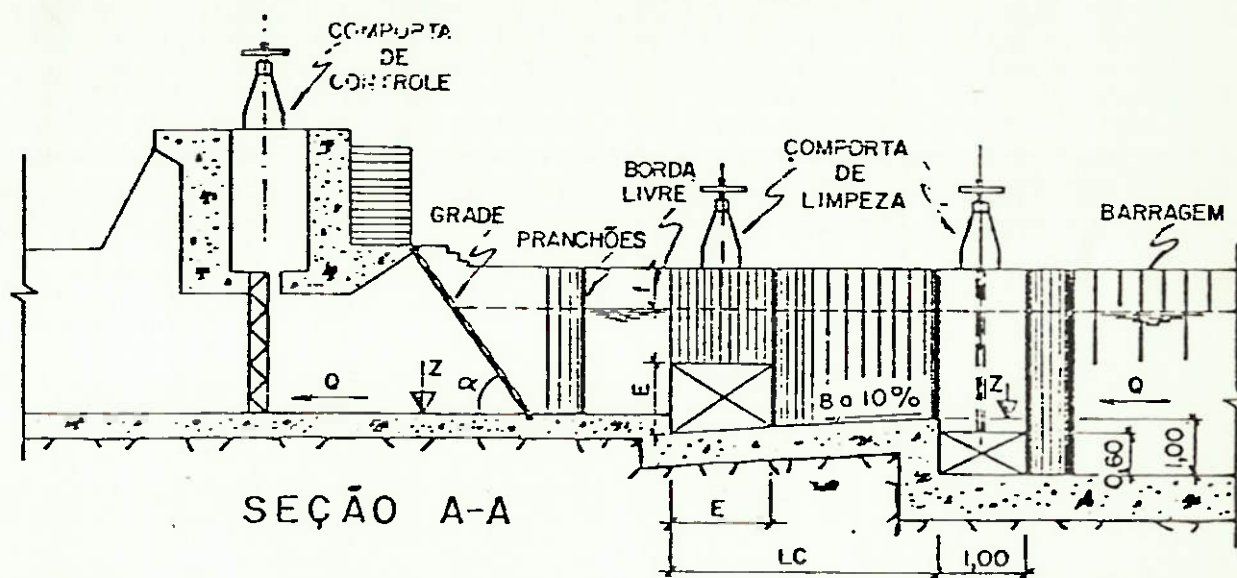
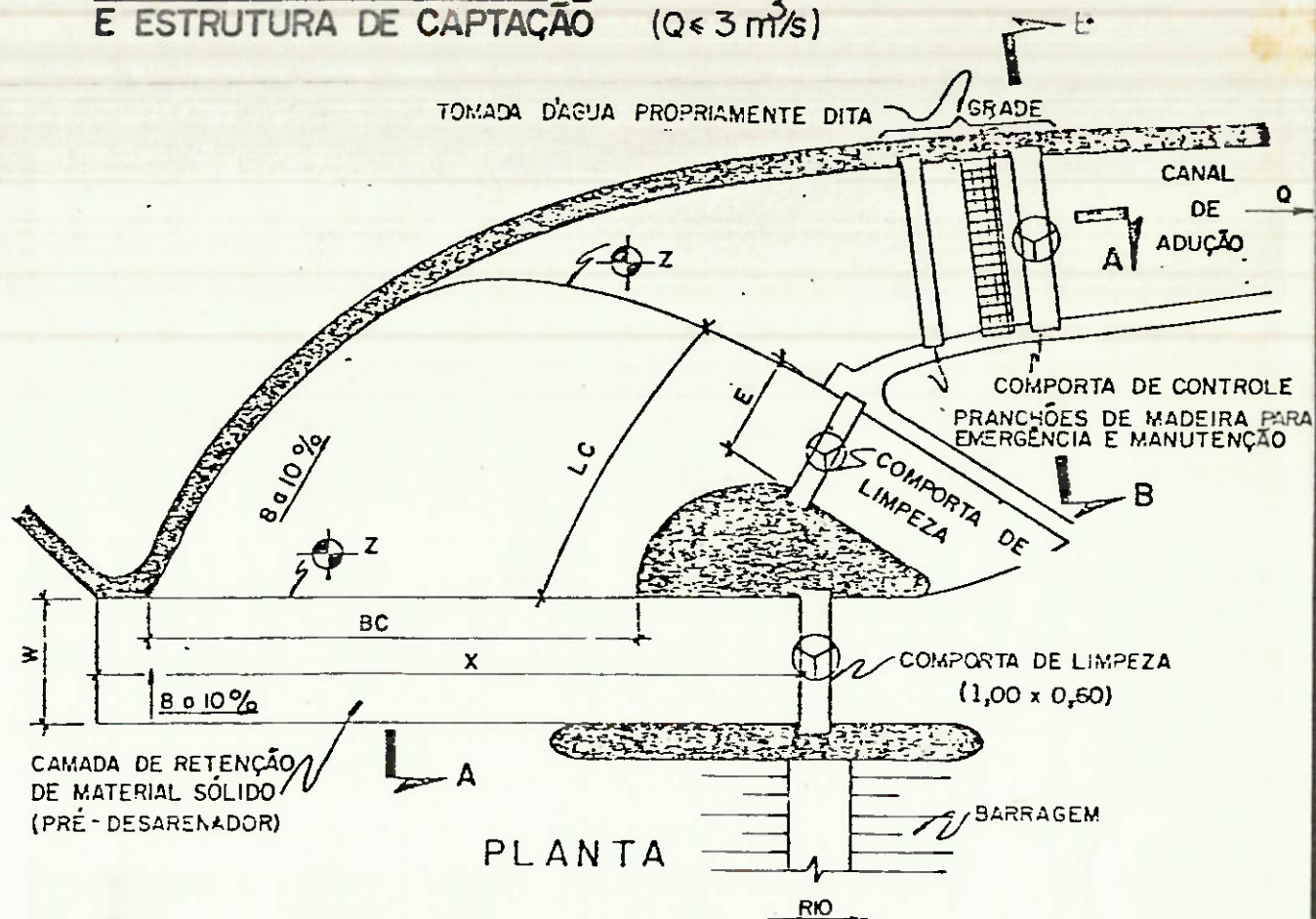
Englobam também um dispositivo que tem por finalidade eliminar, parcial ou totalmente, os materiais menores que escoam sob a forma de suspensão ou sob arrasto.

Este último dispositivo intitula-se desarenador e assegura o fluxo de sólidos e o transporte de material inconveniente em direção a uma área destinada ao seu expurgo.

Dimensionamento:

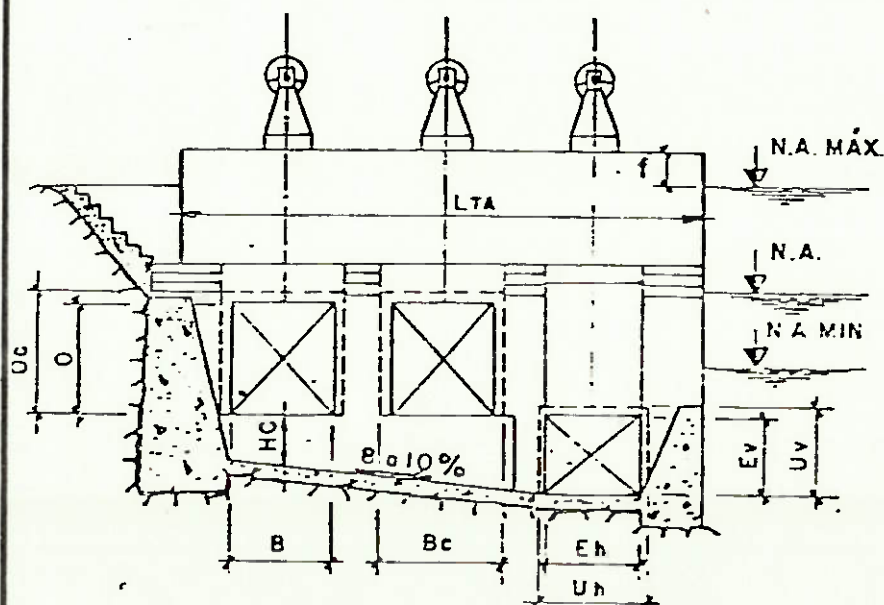
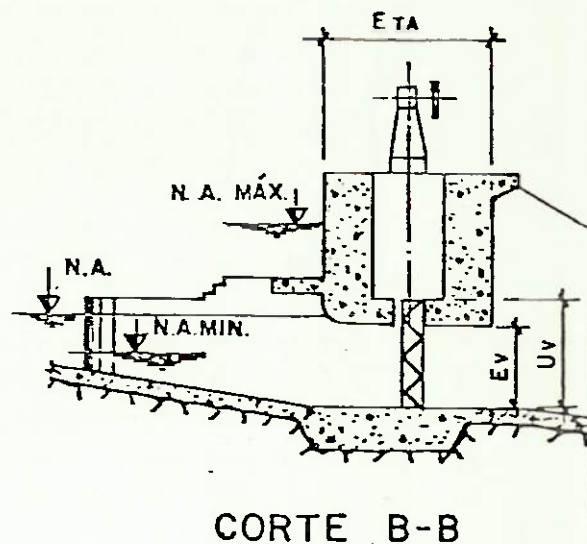
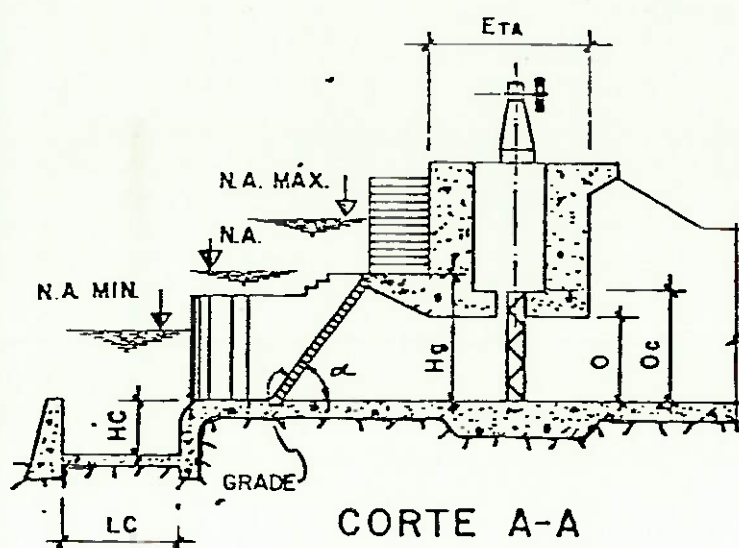
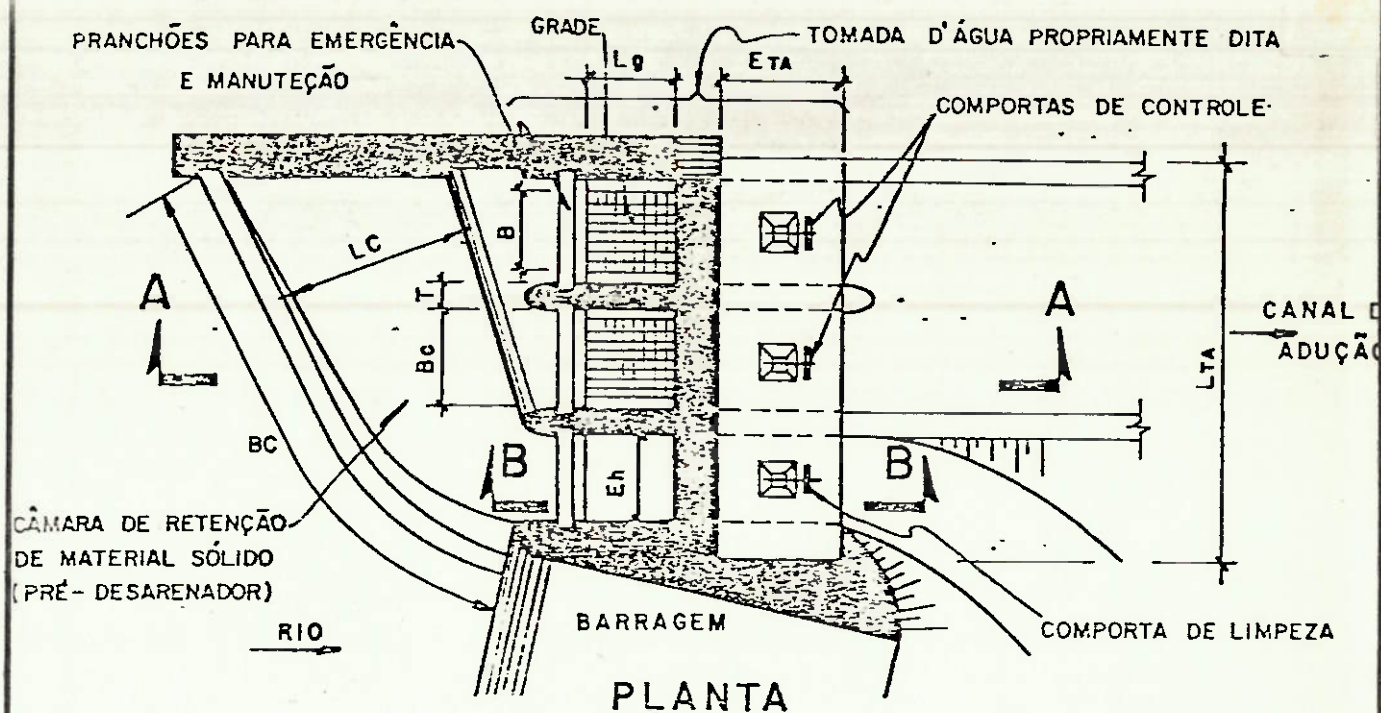
Apresentamos em seguida algumas tabelas e figuras esquemáticas que, dentro de certos limites, englobam as principais dimensões e características de uma tomada d' água.

TOMADA D' AGUA TIPO TC E ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO ($Q \leq 3 \text{ m}^3/\text{s}$)



VER TABELA
COM DIMENSÕES

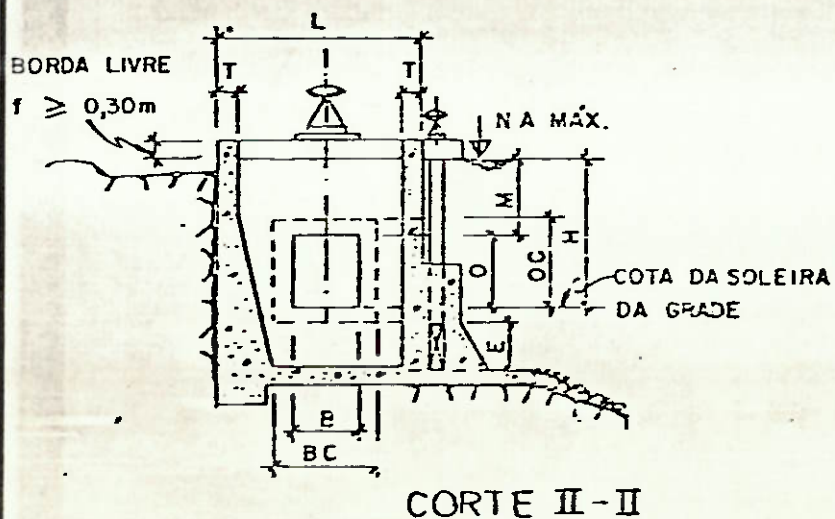
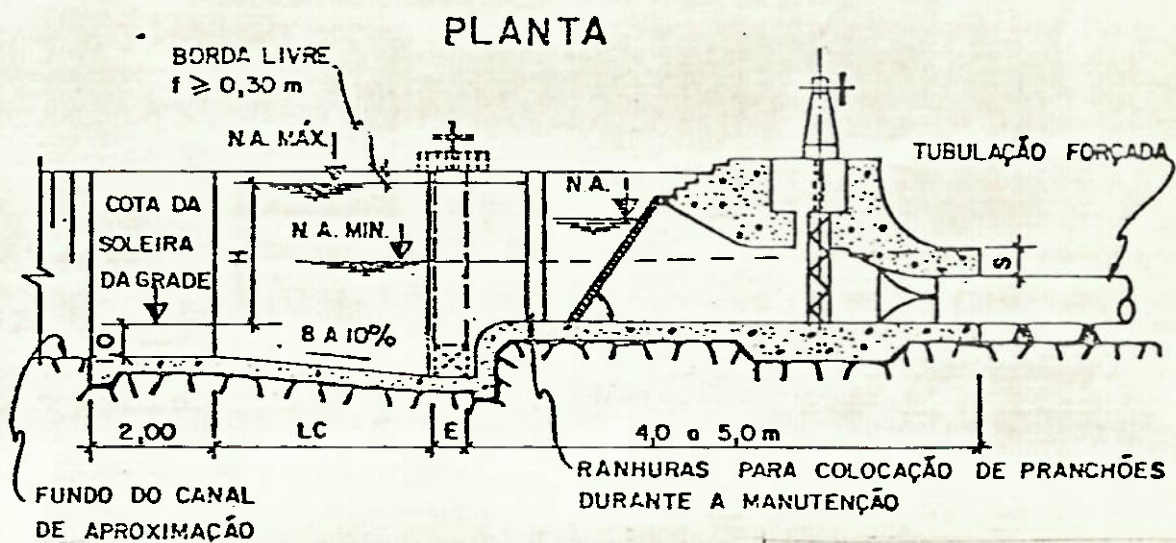
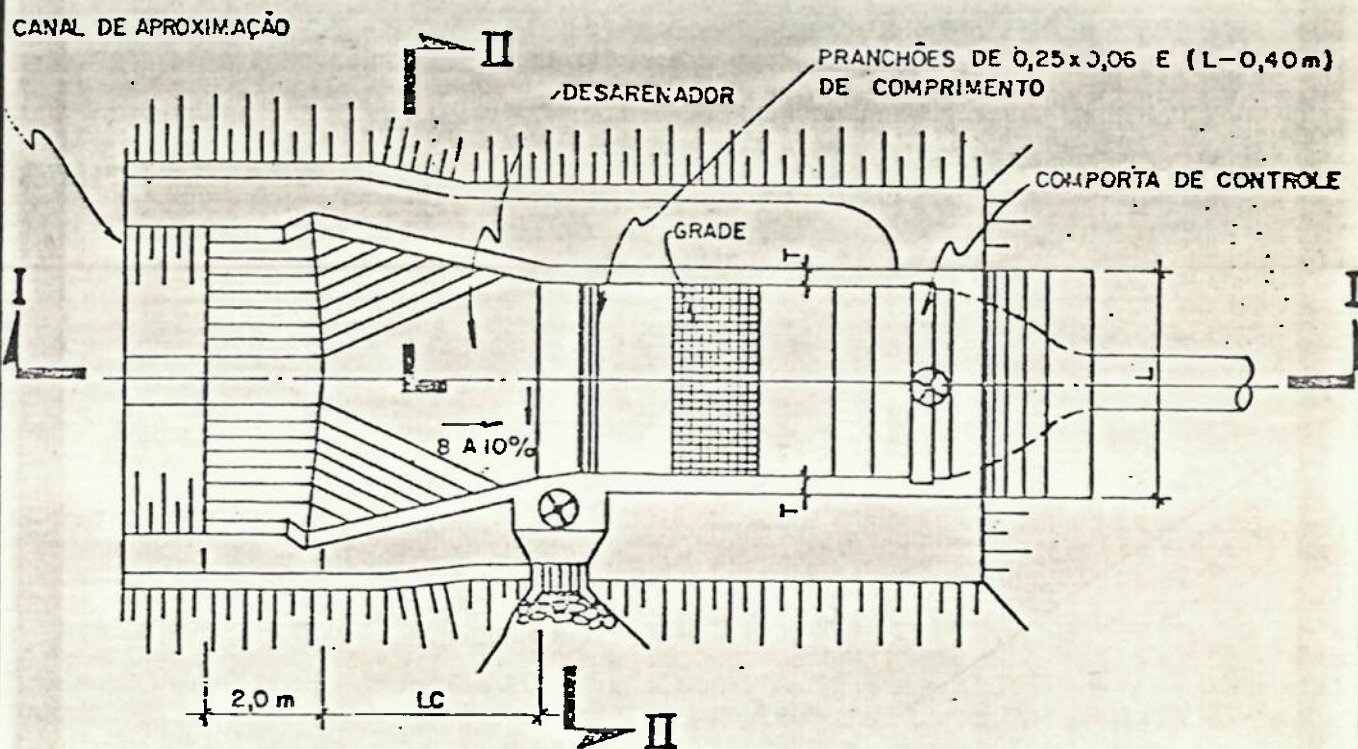
TOMADA D'ÁGUA TIPO TC E ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO $(3 < Q \leq 20 \text{ m}^3/\text{s})$



$f \geq 0,4 \text{ m}$

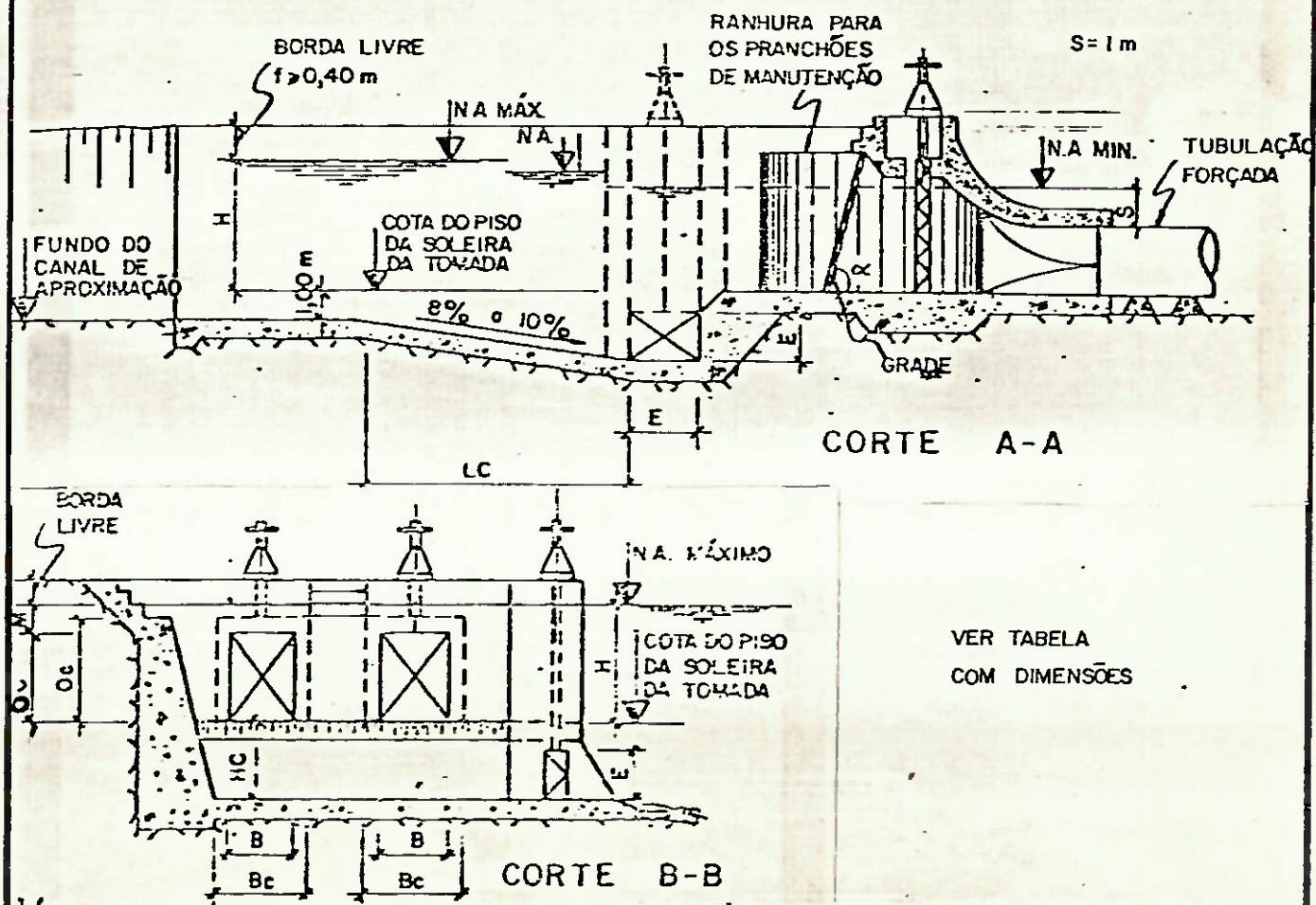
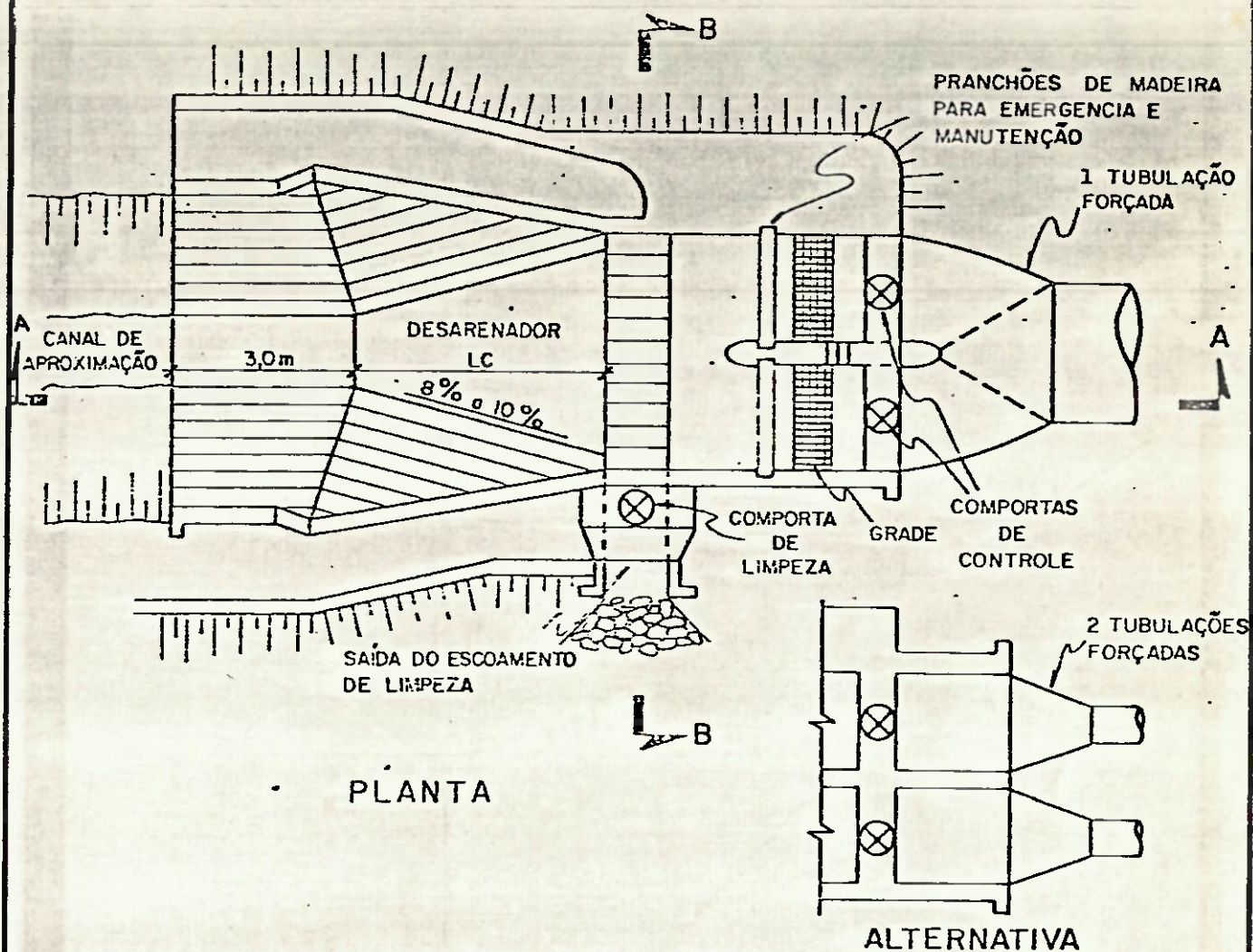
VER TABELA
COM DIMENSÕES

TOMADA D'ÁGUA TIPO TP ($0 \leq 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$)


$$S = 1 \text{ m}$$

VER TABELA
COM DIMENSÕES

TOMADA D'ÁGUA TIPO TP ($3 < Q \leq 20 \text{ m}^3/\text{s}$)



DESARENADOR - DIMENSÕES

VAZÃO m^3/s	DIMENSÕES MÍNIMAS		DIMENSÕES RECOMEND.		HC m
	BC m	LC m	BC m	LC m	
0,1 a 0,7	2,0	4,0	3,0	5,0	0,4 a 0,5
0,8 a 1,6	3,0	4,5	3,5	6,0	0,5 a 0,6
1,7 a 3,0	3,5	5,0	4,0	7,0	0,6 a 0,7
3,1 a 6,5	5,8	4,0	11,3	5,0	0,9 médio
6,6 a 10,0	7,8	5,0	15,0	6,5	1,1 médio
10,1 a 13,5	9,4	6,0	16,4	7,3	1,3 médio
13,6 a 17,0	11,1	7,0	17,8	8,0	1,5 médio
17,1 a 20,0	12,0	8,0	20,7	8,7	1,7 médio

TOMADA D' ÁGUA - DIMENSÕES

30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
VARIÁVEL	Dimensões do Canal		Dimensões das Comportas		Dimensões da Tomada d'Água		Câmara de Retenção		Dimensões da Tomada d'Água		Dimensões da Tomada d'Água		Dimensões da Tomada d'Água		Dimensões da Tomada d'Água		Espessura T
	Base	Altura	1 unidade	2 unidades	3 unidades	4 unidades	5 unidades	6 unidades	7 unidades	8 unidades	9 unidades	10 unidades	11 unidades	12 unidades	13 unidades	14 unidades	
	h	h	h _{1c}	h _{2c}	h _{3c}	h _{4c}	h _{5c}	h _{6c}	h _{7c}	h _{8c}	h _{9c}	h _{10c}	h _{11c}	h _{12c}	h _{13c}	h _{14c}	
0,1	0,133	0,30	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,30
0,2	0,270	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,30
0,3	0,400	0,75	0,85	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,30
0,4	0,540	0,90	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,30
0,5	0,670	0,90	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,30
0,6	0,810	0,90	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,35
0,7	0,940	1,05	1,10	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,35
0,8	1,080	1,20	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,35
0,9	1,200	1,20	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,35
1,0	1,330	1,35	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	0,35
1,1	1,460	1,35	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	0,40
1,2	1,590	1,65	1,60	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	0,40
1,3	1,720	1,65	1,60	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	0,40
1,4	1,850	1,80	1,75	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	0,45
1,5	1,980	1,80	1,75	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	0,45
1,6	2,110	1,95	1,90	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	0,45
1,7	2,240	1,95	1,90	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	0,45
1,8	2,370	2,10	2,05	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	0,50
1,9	2,500	2,10	2,05	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	0,50
2,0	2,630	2,25	2,20	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50
2,1	2,760	2,25	2,20	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,50
2,2	2,890	2,40	2,35	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	0,50
2,3	3,020	2,40	2,35	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	0,50
2,4	3,150	2,55	2,50	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	0,50
2,5	3,280	2,55	2,50	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	0,50
2,6	3,410	2,70	2,65	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	0,50
2,7	3,540	2,70	2,65	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	0,50
2,8	3,670	2,85	2,80	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	0,50
2,9	3,800	2,85	2,80	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	0,50
3,0	3,930	3,00	2,95	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	0,50

NOTA: (A) e (B) - No caso de adoção de comportas de madeira, é recomendável a utilização de 2 unidades

(1) - Considerado um pilar entre as comportas com espessura de 0,20 m

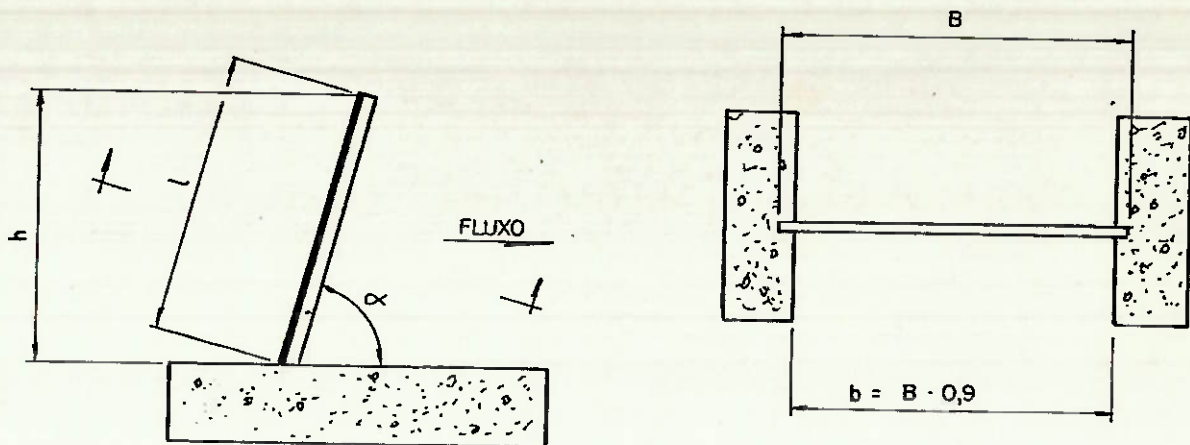
Exemplo para adoção de 2 comportas: 1,6 m²/s/canal de 1,80 x 1,20 e 1 comporta de 1,70 x 2,75 equivale a adoção de 2 comportas de 1,35 x 2,15 canal de (15)-(17) = 1,35 - 0,45 = 0,90 de altura x 1,20 de largura e 0,8 m²/s por comporta.

TOMADA D' ÁGUA - DIMENSÕES

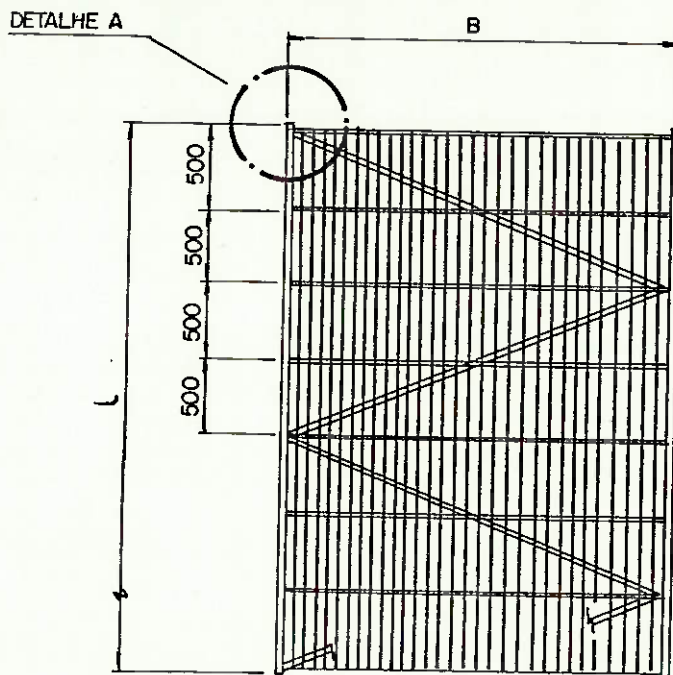
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
VAZÃO (m ³ /s)	D I M E N S Õ E S (m)												
	VÃO DE ENTRADA			COMPORTAS		CANAL LIMPEZA		COMPORTA LIMPEZA		GRADE		ESPESSURA (m)	LARGURA TOTAL (m)
	O	B	O _c	B _c	E _v	E _h	U _v	U _h	L _g	II _g	E _{TA}		
3,5	1,20	1,80	1,40	1,95	1,60	1,20	1,85	1,40	0,55	2,00	1,55	6,80	0,50
4,0	1,20	1,80	1,40	1,95	1,65	1,20	1,90	1,40	0,55	2,00	1,60	6,80	0,50
4,5	1,20	1,80	1,40	1,95	1,70	1,30	1,95	1,50	0,55	2,00	1,70	6,90	0,50
5,0	1,35	1,80	1,55	2,00	1,75	1,30	2,00	1,50	0,60	2,20	1,75	6,90	0,50
5,5	1,35	1,80	1,55	2,00	1,80	1,40	2,05	1,60	0,60	2,20	1,80	7,40	0,60
6,0	1,35	1,95	1,55	2,05	1,85	1,45	2,10	1,65	0,60	2,20	1,85	7,75	0,60
6,5	1,30	1,95	1,70	2,05	1,90	1,50	2,15	1,70	0,65	2,40	1,90	7,80	0,60
7,0	1,70	1,95	1,90	2,10	2,00	1,60	2,25	1,80	0,70	2,60	1,95	8,30	0,70
7,5	1,70	2,10	1,90	2,35	2,10	1,70	2,35	1,90	0,70	2,60	2,00	8,70	0,70
8,0	1,90	2,10	2,10	2,35	2,25	1,80	2,50	2,00	0,75	2,80	2,05	8,80	0,70
8,5	2,00	2,10	2,20	2,35	2,25	1,80	2,50	2,00	0,80	2,90	2,10	9,20	0,80
9,0	2,10	2,10	2,30	2,35	2,25	1,80	2,50	2,00	0,80	3,00	2,15	9,20	0,80
10,0	2,20	2,20	2,40	2,50	2,25	1,80	2,50	2,00	0,85	3,10	2,20	9,40	0,80
11,0	2,40	2,30	2,60	2,60	2,50	1,90	2,75	2,10	0,90	3,40	2,20	10,10	0,90
12,0	2,50	2,40	2,70	2,70	2,60	1,90	2,85	2,10	0,95	3,50	2,30	10,30	0,90
13,0	2,70	2,40	2,90	2,70	2,70	1,90	2,95	2,10	1,00	3,70	2,30	10,30	0,90
14,0	2,70	2,60	2,90	2,90	2,80	1,90	3,05	2,10	1,00	3,70	2,40	11,10	1,00
15,0	2,80	2,60	3,00	2,90	2,90	1,90	3,15	2,10	1,00	3,80	2,40	11,10	1,00
16,0	2,80	2,80	3,00	3,10	3,00	2,00	3,25	2,20	1,00	3,80	2,50	11,60	1,00
17,0	3,00	2,80	3,20	3,10	3,00	2,00	3,25	2,20	1,10	4,00	2,50	12,00	1,10
18,0	3,00	3,00	3,20	3,30	3,00	2,00	3,25	2,20	1,10	4,00	2,60	12,40	1,10
19,0	3,10	3,00	3,30	3,30	3,00	2,00	3,25	2,20	1,10	4,10	2,60	12,40	1,10
20,0	3,20	3,00	3,40	3,30	3,00	2,00	3,25	2,20	1,15	4,20	2,70	12,80	1,20

NOTA: (4) e (5) - Tomada d'água com 2 comportas iguais, separadas por um pilar de espessura 1.

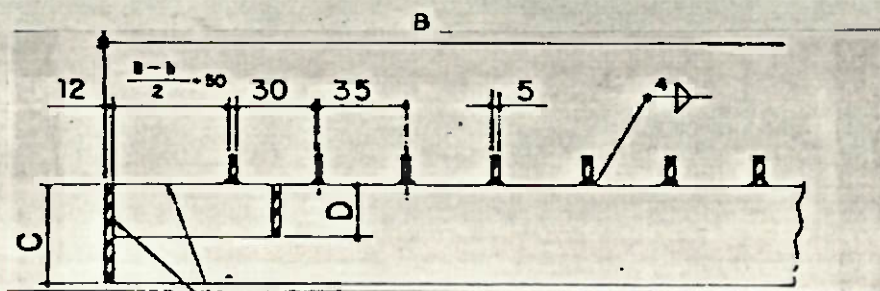
GRADES DE BARRAS DE AÇO



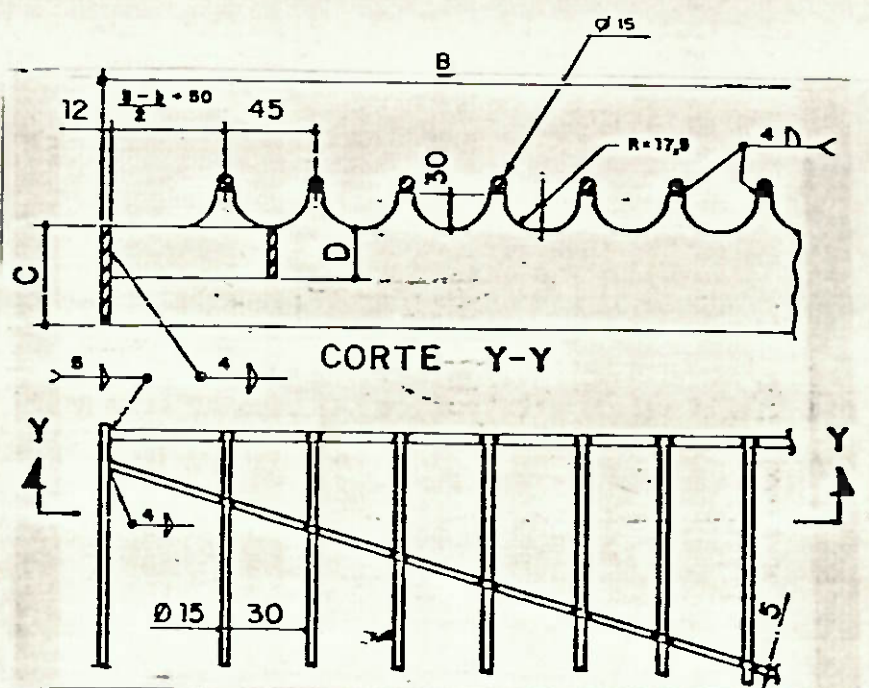
- α ângulo de inclinação (75 a 80°)
 L altura da grade
 h profundidade do canal (altura da boca da tomada d'água)
 b vão livre do canal
 B largura da grade



VER DETALHE A E DIMENSÕES NA PRÓXIMA FOLHA



BARRA
RETANGULAR
(CORTE YY)



BARRA
REDONDA
(CORTE YY)

△ Detalhe A

Dimensões ▽

LARGURA DA GRADE DIMENSÃO B (mm)	ALTURA DA CHAPA DO PAINEL DIMENSÃO C (mm)	ALTURA DA CHAPA DE REFORÇO DIMENSÃO D (mm)
500	25	20
750	40	20
1000	50	30
1250	65	30
1500	75	40
1750	90	40
2000	100	50
2250	115	50
2500	125	60
2750	140	60
3000	150	70
3250	165	80
3500	175	80

Canal de adução

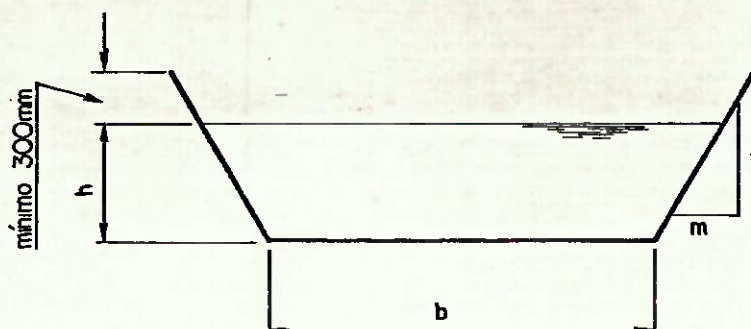
A declividade do canal de adução deve ser mínima e constante devendo se utilizar uma declividade de $0,4 : 1000$ (4 mm de queda para cada 10 m de extensão).

Por vezes, o ideal é que o canal acompanhe os contornos de uma curva de nível do terreno.

Como opção construtiva, o canal pode ser construído em solo natural ou então - pode ser revestido com algum material (pedra, concreto, etc.).

O canal será do tipo esquematizado abaixo (corte transversal).

CANAL DE ADUÇÃO

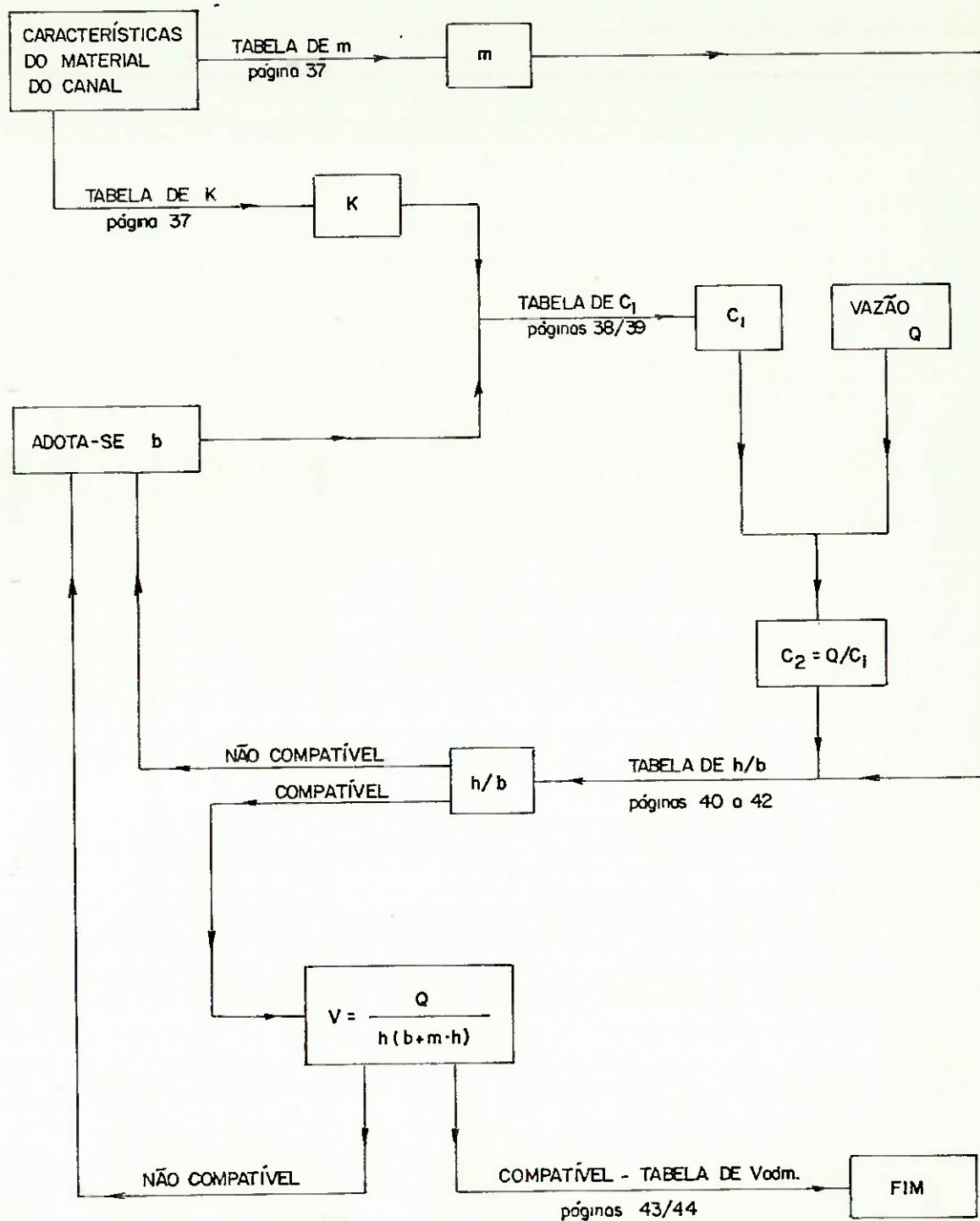


O dimensionamento do mesmo consiste na determinação dos valores de b e h e verificação da velocidade de escoamento da água, isto é, se a velocidade é compatível com o material da superfície.

O esquema apresentado na próxima folha resume todo o procedimento de cálculo.

Note-se a introdução de dois coeficientes auxiliares, com o intuito de facilitar a metodologia de dimensionamento.

CANAL DE ADUÇÃO - PROCEDIMENTO DE CÁLCULO



Observações relativas à sequência de cálculo esquematizada atrás:

1. caso o valor de C_2 não se encontre na referida tabela, deve-se refazer o cálculo adotando-se outro valor para b .
2. a decisão de compatibilidade ou não do valor h/b (retirado da tabela de valores de h/b) é basicamente subjetiva, devendo-se levar em conta as características construtivas do canal. Neste caso deve-se observar que:

$$b \geq 0,8 \text{ m}$$

$$h < 2,0 \text{ m}$$

3. no caso da velocidade de escoamento não ser compatível com o material do canal, existe a possibilidade de mudarmos o revestimento do mesmo, ou seja, modificar-se-ia os valores de m e de k .
4. as tabelas solicitadas no procedimento de cálculo são relacionadas nas próximas folhas.

VALORES DE m

CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL	m
Rocha dura, alvenaria comum, concreto	0 a 0,50
Rocha fissurada	0,50
Argila dura, aluviões compactos	1,00
Cascalho grosso, enrocamento, terra, areia grossa	2,00
Terra mexida, areia normal	3,00

VALORES DE K

CARACTERÍSTICAS DO REVESTIMENTO	K
Revestimento de argamassa de cimento e areia	85
Tabuas aplainadas	80
Reboco comum, tábuas com juntas mal cuidadas	75
Concreto liso, asfalto liso	70
Alvenaria ordinária, concreto projetado, terra muito regular	60
Terra irregular, concreto áspero, alvenaria mal-acabada	50
asfalto rugoso, areia	40
Terra irregular com raízes, rocha	
Enrocamento	

VALORES DE C_1 (em função de b e de K)

$\begin{matrix} K \\ b \text{ (m)} \end{matrix}$	85	80	75	70	60	50	40
0,20	0,0233	0,0219	0,0205	0,0192	0,0164	0,0137	0,0109
0,25	0,0422	0,0397	0,0372	0,0347	0,0298	0,0248	0,0198
0,30	0,0686	0,0645	0,0605	0,0565	0,0484	0,0403	0,0323
0,35	0,1034	0,0973	0,0913	0,0852	0,0730	0,0608	0,0487
0,40	0,1477	0,1390	0,1303	0,1216	0,1042	0,0869	0,0695
0,45	0,2022	0,1903	0,1784	0,1665	0,1427	0,1189	0,0951
0,50	0,2677	0,2520	0,2362	0,2205	0,1890	0,1575	0,1260
0,55	0,3452	0,3249	0,3046	0,2843	0,2437	0,2031	0,1625
0,60	0,4354	0,4098	0,3841	0,3585	0,3073	0,2561	0,2049
0,65	0,5390	0,5073	0,4755	0,4438	0,3804	0,3170	0,2536
0,70	0,6567	0,6181	0,5795	0,5408	0,4636	0,3863	0,3090
0,75	0,7894	0,7429	0,6965	0,6501	0,5572	0,4643	0,3715
0,80	0,9376	0,8825	0,8273	0,7721	0,6618	0,5515	0,4412
0,85	1,1021	1,0373	0,9725	0,9076	0,7780	0,6483	0,5186
0,90	1,2836	1,2081	1,1326	1,0571	0,9061	0,7551	0,6040
0,95	1,4827	1,3955	1,3082	1,2210	1,0466	0,8722	0,6977
1,00	1,7000	1,6000	1,5000	1,4000	1,2000	1,0000	0,8000
1,05	1,9362	1,8223	1,7084	1,5945	1,3667	1,1390	0,9112
1,10	2,1919	2,0630	1,9341	1,8051	1,5473	1,2894	1,0315
1,15	2,4678	2,3226	2,1775	2,0323	1,7420	1,4516	1,1613
1,20	2,7644	2,6018	2,4392	2,2766	1,9513	1,6261	1,3009
1,25	3,0823	2,9010	2,7197	2,5384	2,1757	1,8133	1,4505
1,30	3,4221	3,2208	3,0195	2,8182	2,4156	2,0130	1,6104
1,35	3,7845	3,5619	3,3392	3,1166	2,6714	2,2262	1,7809
1,40	4,1699	3,9246	3,6793	3,4340	2,9434	2,4529	1,9623
1,45	4,5789	4,3096	4,0402	3,7709	3,2322	2,6935	2,1548
1,50	5,0122	4,7173	4,4225	4,1277	3,5380	2,9483	2,3587
1,55	5,4702	5,1484	4,8266	4,5048	3,8613	3,2177	2,5742
1,60	5,9535	5,6032	5,2530	4,9028	4,2024	3,5020	2,8016
1,65	6,4626	6,0824	5,7023	5,3221	4,5618	3,8015	3,0412
1,70	6,9981	6,5864	6,1748	5,7631	4,9398	4,1165	3,2932
1,75	7,5605	7,1158	6,6710	6,2263	5,3368	4,4474	3,5579
1,80	8,1503	7,6709	7,1915	6,7120	5,7632	4,7943	3,8355
1,85	8,7681	8,2524	7,7366	7,2208	6,1893	5,1577	4,1262
1,90	9,4144	8,8606	8,3068	7,7530	6,6454	5,5379	4,4303
1,95	10,0896	9,4961	8,9026	8,3091	7,1221	5,9351	4,7481
2,00	10,7943	10,1594	9,5244	8,8894	7,6195	6,3496	5,0797
2,05	11,5290	10,8508	10,1727	9,4945	8,1381	6,7818	5,4254
2,10	12,2942	11,5710	10,8478	10,1246	8,6783	7,2319	5,7855
2,15	13,0904	12,3203	11,5503	10,7803	9,2403	7,7002	6,1602
2,20	13,9180	13,0993	12,2806	11,4619	9,8245	8,1870	6,5496
2,25	14,7775	13,9083	13,0390	12,1697	10,4312	8,6927	6,9541
2,30	15,6695	14,7478	13,8261	12,9043	11,0609	9,2174	7,3739
2,35	16,5945	15,6183	14,6422	13,6660	11,7137	9,7614	7,8092
2,40	17,5528	16,5203	15,4877	14,4552	12,3902	10,3252	8,2601

VALORES DE C_1 (em função de b e de K)

$b \text{ (m)} \backslash K$	85	80	75	70	60	50	40
2,45	18,5449	17,4540	16,3632	15,2723	13,0905	10,9088	8,7270
2,50	19,5714	18,4202	17,2689	16,1176	13,8151	11,5126	9,2101
2,55	20,6327	19,4190	18,2053	16,9916	14,5643	12,1369	9,7095
2,60	21,7292	20,4510	19,1729	17,8547	15,3383	12,7819	10,2255
2,65	22,8615	21,5167	20,1719	18,6271	16,1375	13,4479	10,7503
2,70	24,0299	22,6164	21,2029	19,7893	16,9623	14,1352	11,3082
2,75	25,2350	23,7506	22,2661	20,7817	17,6129	14,8441	11,8753
2,80	26,4771	24,9196	23,3621	21,8047	18,6897	15,5748	12,4598
2,85	27,7567	26,1240	24,4912	22,8585	19,5930	16,3275	13,0620
2,90	29,0744	27,3641	25,6539	23,9436	20,5231	17,1026	13,6821
2,95	30,4304	28,6404	26,8504	25,0603	21,4803	17,9002	14,3202
3,00	31,8253	29,9532	28,0811	26,2091	22,4649	18,7208	14,9766
3,10	34,7334	32,6902	30,6471	28,6039	24,5177	20,4314	16,3451
3,20	37,8021	35,5784	33,3548	31,1311	26,6838	22,2365	17,7892
3,30	41,0348	38,6210	36,2072	33,7934	28,9658	24,1381	19,3105
3,40	44,4351	41,8213	39,2074	36,5936	31,3659	26,1383	20,9106
3,50	48,0062	45,1623	42,2584	39,5345	33,8867	28,2389	22,5911
3,60	51,7514	48,7072	45,6630	42,6186	36,5304	30,4420	24,3536
3,70	55,6741	52,3992	49,1242	45,8493	39,2994	32,7495	26,1996
3,80	59,7776	56,2613	52,7449	49,2286	42,1960	35,1633	28,1306
3,90	64,0651	60,2965	56,5280	52,7595	45,2224	37,6853	30,1483
4,00	68,5397	64,5080	60,4762	56,4445	48,3810	40,3175	32,2540
4,10	73,2047	68,8986	64,5924	60,2863	51,6739	43,0616	34,4493
4,20	78,0633	73,4714	68,6794	64,2874	55,1035	45,9196	36,7357
4,30	83,1186	78,2293	73,3399	68,4506	58,6719	48,8933	39,1146
4,40	88,3736	83,1752	77,9767	72,7783	62,3814	51,9845	41,5876
4,50	93,8316	88,3121	82,7926	77,2731	66,2340	55,1950	44,1560
4,60	99,4954	93,6428	87,7901	81,9374	70,2321	58,5267	46,8214
4,70	105,368	99,1701	92,9720	86,7739	74,3776	61,9813	49,5851
4,80	111,453	104,897	98,3410	91,7649	78,6728	65,5607	52,4485
4,90	117,753	110,826	103,900	96,9730	83,1197	69,2664	55,4132
5,00	124,271	116,961	109,651	102,341	87,7205	73,1004	58,4804
5,10	131,009	123,303	115,597	107,890	92,4773	77,0644	61,6515
5,20	137,972	129,856	121,740	113,624	97,3920	81,1600	64,9280
5,30	145,161	136,623	128,084	119,545	102,467	85,3891	68,3113
5,40	152,580	143,605	134,630	125,655	107,704	89,7532	71,8026
5,50	160,232	150,807	141,381	131,956	113,105	94,2542	75,4033
5,60	168,119	158,230	148,340	138,451	118,672	98,8932	79,1149
5,70	176,244	165,877	155,510	145,142	124,408	103,673	82,9385
5,80	184,611	173,751	162,892	152,032	130,313	108,595	86,8756
5,90	193,221	181,855	170,425	159,123	136,391	113,659	90,9275
6,00	202,078	190,191	178,304	166,417	142,643	118,869	95,0955

Aplicação: Para $b = 4,40 \text{ m}$ e $K = 75$ encontra-se $C_1 = 77,9767$

VALORES DE h/b (em função de m e de C_2)

$h/b \backslash m$	0	0,5	1	2	3
0,02	0,00143	0,00145	0,00146	0,00148	0,00149
0,03	0,00278	0,00284	0,00288	0,00293	0,00297
0,04	0,00444	0,00456	0,00465	0,00476	0,00486
0,05	0,00636	0,00658	0,00673	0,00695	0,00713
0,06	0,00852	0,00888	0,00912	0,00947	0,00977
0,07	0,01089	0,01142	0,01179	0,01233	0,01279
0,08	0,01345	0,01420	0,01473	0,01551	0,01617
0,09	0,01618	0,01721	0,01793	0,01900	0,01993
0,10	0,01907	0,02042	0,02138	0,02281	0,02406
0,11	0,02211	0,02384	0,02508	0,02694	0,02856
0,12	0,02529	0,02745	0,02902	0,03137	0,03344
0,13	0,02859	0,03125	0,03319	0,03612	0,03871
0,14	0,03201	0,03523	0,03759	0,04119	0,04436
0,15	0,03555	0,03939	0,04222	0,04656	0,05042
0,16	0,03918	0,04372	0,04708	0,05226	0,05687
0,17	0,04292	0,04821	0,05216	0,05828	0,06372
0,18	0,04674	0,05287	0,05747	0,06462	0,07100
0,19	0,05066	0,05768	0,06299	0,07128	0,07869
0,20	0,05465	0,06266	0,06874	0,07827	0,08680
0,21	0,05872	0,06779	0,07470	0,08559	0,09535
0,22	0,06287	0,07307	0,08088	0,09324	0,1043
0,23	0,06708	0,07849	0,08729	0,1012	0,1138
0,24	0,07136	0,08407	0,09391	0,1096	0,1237
0,25	0,07571	0,08979	0,1007	0,1182	0,1340
0,26	0,08011	0,09565	0,1078	0,1273	0,1448
0,27	0,08457	0,1017	0,1151	0,1366	0,1561
0,28	0,08909	0,1078	0,1226	0,1464	0,1678
0,29	0,09366	0,1141	0,1303	0,1564	0,1801
0,30	0,09827	0,1205	0,1382	0,1669	0,1928
0,31	0,1029	0,1271	0,1464	0,1777	0,2060
0,32	0,1077	0,1338	0,1547	0,1889	0,2198
0,33	0,1124	0,1406	0,1633	0,2004	0,2340
0,34	0,1172	0,1476	0,1721	0,2123	0,2488
0,35	0,1220	0,1546	0,1811	0,2246	0,2640
0,36	0,1269	0,1619	0,1904	0,2372	0,2798
0,37	0,1318	0,1692	0,1999	0,2503	0,2962
0,38	0,1367	0,1768	0,2096	0,2638	0,3131
0,39	0,1417	0,1844	0,2195	0,2776	0,3305

VALORES DE h/b (em função de m e de C_2)

$h/b \backslash m$	0	0,5	1	2	3
0,40	0,1467	0,1921	0,2297	0,2919	0,3485
0,41	0,1517	0,2000	0,2401	0,3065	0,3671
0,42	0,1568	0,2081	0,2507	0,3216	0,3862
0,43	0,1619	0,2162	0,2615	0,3370	0,4059
0,44	0,1671	0,2245	0,2726	0,3529	0,4262
0,45	0,1722	0,2329	0,2839	0,3692	0,4471
0,46	0,1774	0,2415	0,2955	0,3859	0,4686
0,47	0,1826	0,2502	0,3072	0,4031	0,4906
0,48	0,1878	0,2590	0,3192	0,4206	0,5133
0,49	0,1931	0,2679	0,3315	0,4386	0,5366
0,50	0,1984	0,2770	0,3440	0,4570	0,5605
0,52	0,2090	0,2955	0,3697	0,4952	0,6102
0,54	0,2197	0,3145	0,3963	0,5351	0,6625
0,56	0,2305	0,3341	0,4239	0,5769	0,7173
0,58	0,2414	0,3542	0,4525	0,6205	0,7748
0,60	0,2523	0,3748	0,4821	0,6659	0,8349
0,62	0,2633	0,3959	0,5127	0,7133	0,8978
0,64	0,2743	0,4175	0,5443	0,7626	0,9635
0,66	0,2854	0,4397	0,5769	0,8138	1,032
0,68	0,2966	0,4624	0,6106	0,8670	1,103
0,70	0,3078	0,4856	0,6453	0,9222	1,178
0,72	0,3191	0,5093	0,6810	0,9794	1,255
0,74	0,3304	0,5336	0,7178	1,039	1,335
0,76	0,3417	0,5584	0,7557	1,100	1,419
0,78	0,3531	0,5837	0,7946	1,164	1,505
0,80	0,3646	0,6096	0,8347	1,229	1,595
0,82	0,3760	0,6360	0,8758	1,297	1,687
0,84	0,3875	0,6630	0,9181	1,367	1,783
0,86	0,3991	0,6905	0,9615	1,439	1,883
0,88	0,4107	0,7185	1,006	1,514	1,985
0,90	0,4225	0,7471	1,052	1,590	2,091
0,92	0,4339	0,7762	1,098	1,670	2,200
0,94	0,4456	0,8059	1,146	1,751	2,313
0,96	0,4572	0,8362	1,196	1,835	2,429
0,98	0,4690	0,8670	1,246	1,921	2,549
1,00	0,4807	0,8984	1,297	2,010	2,672
1,05	0,5102	0,9793	1,431	2,242	2,997
1,10	0,5397	1,064	1,573	2,489	3,344
1,15	0,5694	1,152	1,722	2,753	3,715
1,20	0,5993	1,244	1,880	3,033	4,111

VALORES DE h/b (em função de m e de C_2)

m h/b	0	0,5	1	2	3
1,25	0,6292	1,339	2,045	3,320	4,531
1,30	0,6592	1,438	2,219	3,643	4,978
1,35	0,6893	1,541	2,401	3,975	5,450
1,40	0,7194	1,648	2,592	4,324	5,948
1,45	0,7497	1,759	2,791	4,691	6,476
1,50	0,7800	1,873	2,999	5,077	7,031
1,55	0,8105	1,992	3,216	5,482	7,614
1,60	0,8400	2,113	3,443	5,906	8,226
1,65	0,8712	2,241	3,678	6,350	8,868
1,70	0,9018	2,372	3,923	6,814	9,540
1,75	0,9323	2,507	4,178	7,299	10,24
1,80	0,9629	2,646	4,442	7,804	10,98
1,85	0,9936	2,790	4,716	8,330	11,74
1,90	1,024	2,937	5,000	8,877	12,54
1,95	1,055	3,090	5,294	9,446	13,37
2,00	1,085	3,245	5,598	10,04	14,24
2,10	1,147	3,572	6,238	11,29	16,07
2,20	1,209	3,916	6,920	12,63	18,04
2,30	1,270	4,279	7,646	14,07	20,16
2,40	1,332	4,660	8,417	15,60	22,43
2,50	1,394	5,061	9,234	17,23	24,84
2,60	1,456	5,481	10,10	18,97	27,42
2,70	1,518	5,921	11,01	20,81	30,15
2,80	1,580	6,381	11,97	22,76	33,05
2,90	1,643	6,862	12,98	24,82	36,11
3,00	1,705	7,364	14,04	26,99	39,35
3,20	1,829	8,431	16,31	31,67	46,35
3,40	1,954	9,586	18,80	36,83	54,07
3,60	2,079	10,83	21,52	42,48	62,56
3,80	2,204	12,17	24,46	48,65	71,83
4,00	2,329	13,60	27,63	55,34	81,92
4,50	2,642	17,62	36,66	74,50	110,9
5,00	2,955	22,28	47,32	97,34	145,5

Aplicação: Para $C_2 = 3,090$ e $m = 0,5$ encontra-se $h/b = 1,95$

VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS

MATERIAL	VELOCIDADE ADMISSÍVEL	m/s
Lodo	0,15 a 0,20	
Areia fina	0,20 a 0,30	
Areia média	0,30 a 0,55	
Areia grossa	0,55 a 0,65	
Pedrisco fino	0,65 a 0,80	
Pedrisco médio	0,80 a 1,00	
Pedrisco grosso	1,00 a 1,20	
Cascalho fino	1,20 a 1,40	
Cascalho médio	1,40 a 1,80	
Cascalho grosso	1,80 a 2,40	
Pedra fina	2,40 a 2,70	
Pedra média e grossa	2,70 a 3,90	
Pedra grande (bloco)	3,90 a 4,50	
Argila arenosa: bem pouco compactada	0,45	
pouco compactada	0,90	
compactada	1,30	
muito compactada	1,80	
Solos com bastante argila: bem pouco compactado	0,40	
pouco compactado	0,85	
compactado	1,25	
muito compactado	1,70	
Argilas: bem pouco compactada	0,35	
pouco compactada	0,80	
compactada	1,20	
muito compactada	1,65	
Argilas finas: bem pouco compactada	0,32	
pouco compactada	0,70	
compactada	1,05	
muito compactada	1,35	

A tabela acima corresponde a canais com lâmina de 1 m e sem curvas (retíli-
neo). Para outras situações utilizar os fatores corretivos das velocidades.

VELOCIDADES ADMISSÍVEIS - FATORES CORRETIVOS

Fator corretivo para lâmina d'água diferente de 1 m

TIRANTE MEDIO m	0,3	0,5	0,75	1,00	1,5	2,0	2,5	3,0
FATOR CORRETIVO	0,8	0,9	0,95	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2

Fator corretivo para canais não retílineos

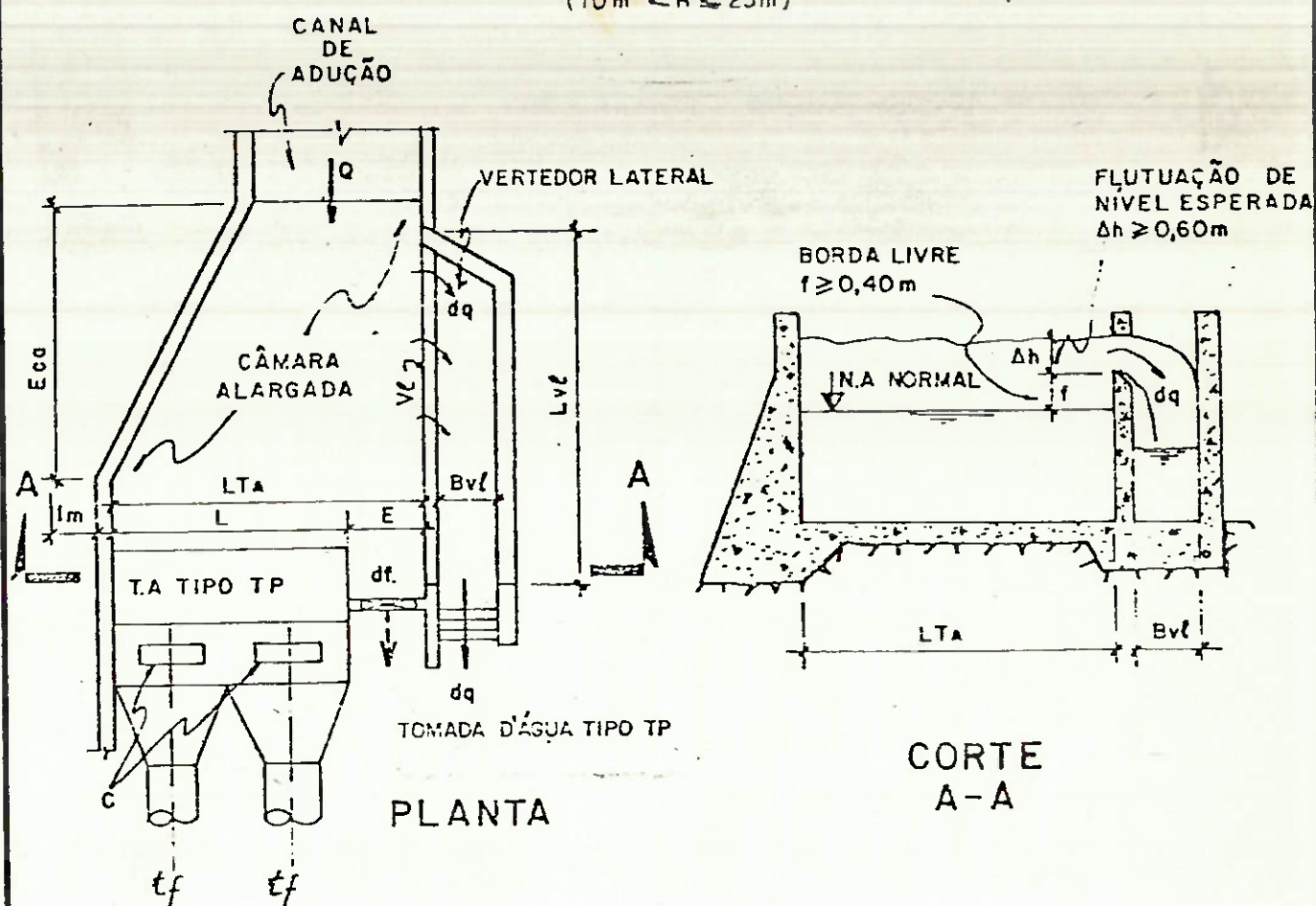
GRAU DE SINUOSIDADE	FATOR CORRETIVO
retilíneo	1,00
pouco sinuoso	0,95
moderadamente sinuoso	0,87
muito sinuoso	0,78

Câmara de carga

A câmara de carga é uma estrutura destinada a fazer a transição entre o escoamento a superfície livre, no canal de adução, e o escoamento sob pressão na tubulação forçada. Tem ainda como função, aliviar o golpe de ariete que se processa na tubulação quando há um fechamento brusco da válvula de controle da turbina e também suprir de água essa mesma tubulação, quando se dá uma abertura brusca na citada válvula.

A câmara de carga consiste basicamente numa tomada d' água do tipo especificado para tubulação forçada (tipo TP). Se a queda for inferior a 10 m, então a câmara é formada exclusivamente pela tomada propriamente dita. Caso esteja na faixa de 10 a 25 m, então é necessário um alargamento na junção entre o canal de adução e a tomada d' água propriamente dita. Este último caso é esquematizado na figura a seguir. Note-se nessa figura, a existência de um vertedouro lateral cuja função é extravasar água quando do fechamento brusco da turbina, evitando, deste modo, que a câmara possua dimensões exageradas.

CÂMARA DE CARGA

 $(10\text{ m} < H \leq 25\text{ m})$ 

- LTA LARGURA MÁXIMA DA CÂMARA ALARGADA
 dq DESCARGA PELO VERTEDOURO LATERAL
 vl VERTEDOURO LATERAL
 df DESCARGA DE FUNDO
 c COMPORTAS
 t_f TUBULAÇÃO FORÇADA
 Eca EXTENSÃO DA CÂMARA ALARGADA
 Lv COMPRIMENTO DA CRISTA DO VERTEDOURO LATERAL DE SOLEIRA FIXA
 Bv LARGURA DO VERTEDOURO LATERAL DE SOLEIRA FIXA

NOTA: OS VALORES DE Lv , Bv e Eca DEVERÃO SER ADOTADOS EM FUNÇÃO DA FLUTUAÇÃO DE NÍVEL ESPERADA = Δh , CONFORME TABELA ABAIXO:

FLUTUAÇÃO DE NÍVEL Δh (m)	DIMENSÕES EM METRO		
	Lv	Bv	Eca
0,6	20	1,2	30
0,8	14	1,6	21
1,0	10	2	15

Tubulação forçada

I DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO

Vários critérios podem ser utilizados para dimensionamento da tubulação forçada (critérios ligados à Resistência dos Materiais e à Mecânica dos Fluidos).

Usaremos a Fórmula de Bondshu por a mesma introduzir o conceito de diâmetro - econômico, isto é, o diâmetro em que um acréscimo de dimensão, resultando em menores perdas hidráulicas e conseqüentemente maior potência instalada, não é compensada pelo acréscimo de custo.

$$De = 127 \cdot (Q^3 / H_t)^{1/7}$$

onde: H_t = carga hidráulica (m)

Q = descarga máxima (m^3/s)

De = diâmetro econômico (cm)

$$H_t = H + h_s$$

onde: H = queda bruta (m)

h_s = sobrepressão hidráulica devido ao golpe de ariete

na prática pode-se utilizar: $h_s = 0,2 \cdot H$

$$H_t = 1,2 \cdot H$$

II VERIFICAÇÃO DAS COMPATIBILIDADES

Após o cálculo do diâmetro deve-se verificar se a velocidade está compatível com a tubulação:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_e^2}$$

Os valores admissíveis para a tubulação são:

Tubulação de aço : $V < 5 \text{ m/s}$

Tubulação de concreto : $V < 3 \text{ m/s}$

Se a velocidade não se mostrar compatível, deve-se optar por outro diâmetro.

Finalmente há a necessidade de se verificar a perda de carga distribuída, a qual não deve exceder 5 % da queda bruta, caso contrário é preferível adotar um novo diâmetro.

O cálculo da perda de carga distribuída pode ser feito através do método de Hazen-Williams descrito, mais adiante, no item 4.2.2 .

III VERIFICAÇÃO DO GOLPE DE ARIETE

A pressão no interior de uma tubulação forçada sofre variações quando há mudanças bruscas no escoamento. Estas mudanças, no nosso caso, são provenientes do fechamento ou abertura (de forma rápida) da válvula de controle da turbina.

Estas variações de pressão atuam ao longo de toda a tubulação forçada, ou seja,

em todos os pontos entre a turbina e a boca livre da tubulação, localizada na tomada d' água (ou na chaminé de equilíbrio).

Para o correto dimensionamento de uma tubulação, devem ser conhecidos os valores da sobrepressão e da depressão, decorrentes do golpe de ariete. Note-se que a sobrepressão ocorre quando a descarga da turbina diminui, enquanto a depressão ocorre quando o engulimento da turbina aumenta.

O valor da sobrepressão é necessário para o dimensionamento da espessura da tubulação, enquanto que o valor da depressão é utilizado para verificar se a linha piezométrica, durante o golpe de ariete, não corta a tubulação, ou seja, para verificar se não ocorrem pressões negativas em nenhum ponto do escoamento.

Caso este fenômeno ocorra (pressão negativa), então há necessidade de se redimensionar a espessura da tubulação, de forma que suas paredes possam resistir a um possível colapso, caracterizado pelo afundamento das paredes da tubulação.

Para a determinação da sobrepressão e da depressão adotaremos o Método de Allievi, válido para tubulações com diâmetro e espessura constante.

$$h_s = (Z^2 - 1) : H$$

onde: h_s = depressão ou sobrepressão (m)

H = queda bruta (m)

Z^2 = parâmetro obtido de dois gráficos, um específico para sobrepressão e o outro específico para depressão

Para se obter o valor de Z^2 é necessário entrar nos gráficos citados com o valor de ℓ/θ onde:

$$\rho = \frac{V_p \cdot V}{2 \cdot g \cdot H}$$

$$\theta = \frac{V_p \cdot t}{2 \cdot L}$$

onde: V_p = velocidade da onda de pressão (m/s)

V = velocidade da água na tubulação (m/s)

g = aceleração da gravidade ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

H = queda bruta (m)

L = comprimento da tubulação forçada (m)

t = tempo de fechamento da válvula de controle (s)

geralmente temos:

$t = 6 \text{ s}$ para $L \leq 3H$ (tubulações curtas)

$t = 10 \text{ s}$ para $L > 3H$ (tubulações longas)

Portanto temos:

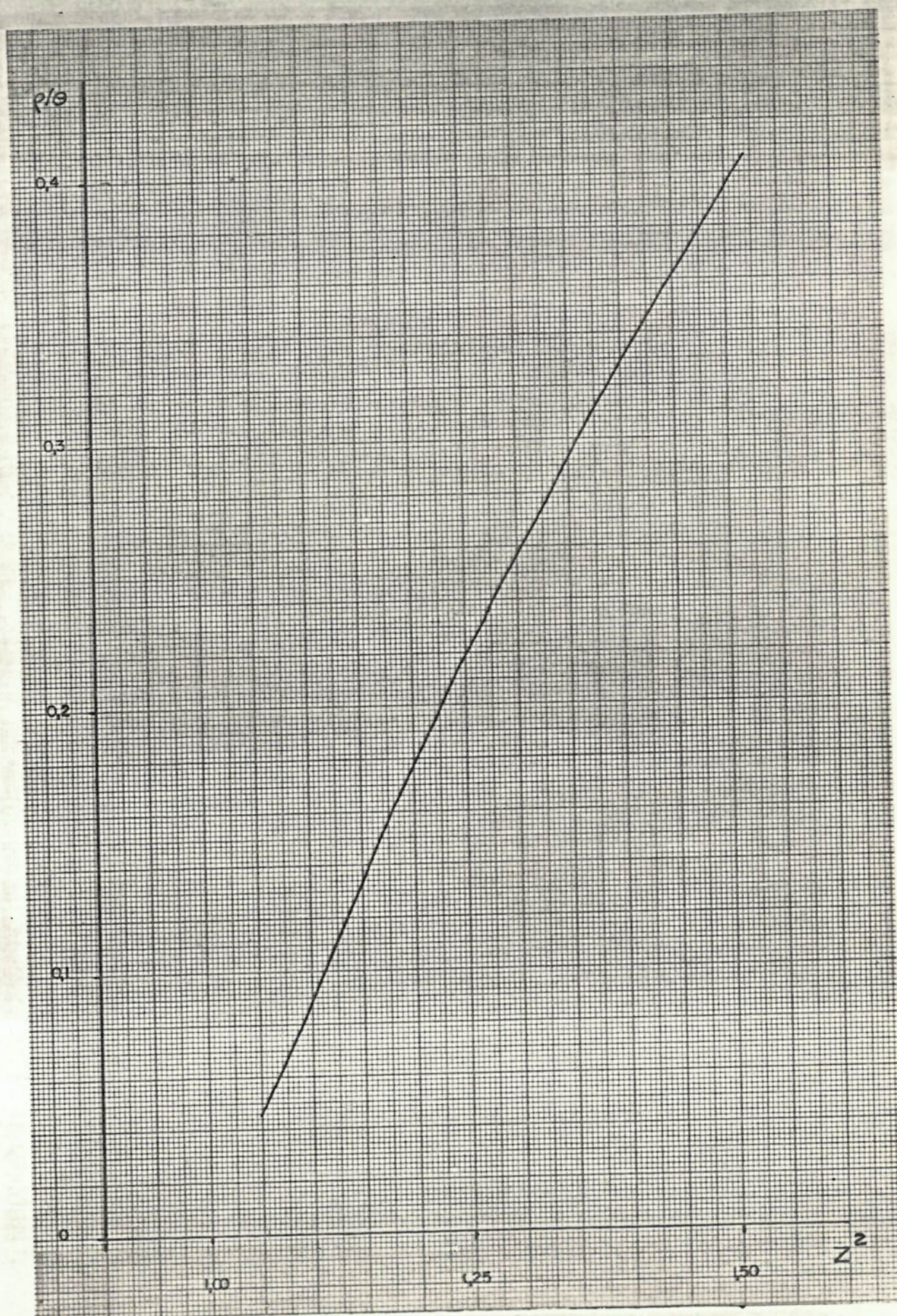
$$\frac{\rho}{\theta} = \frac{V \cdot L}{g \cdot H \cdot t}$$

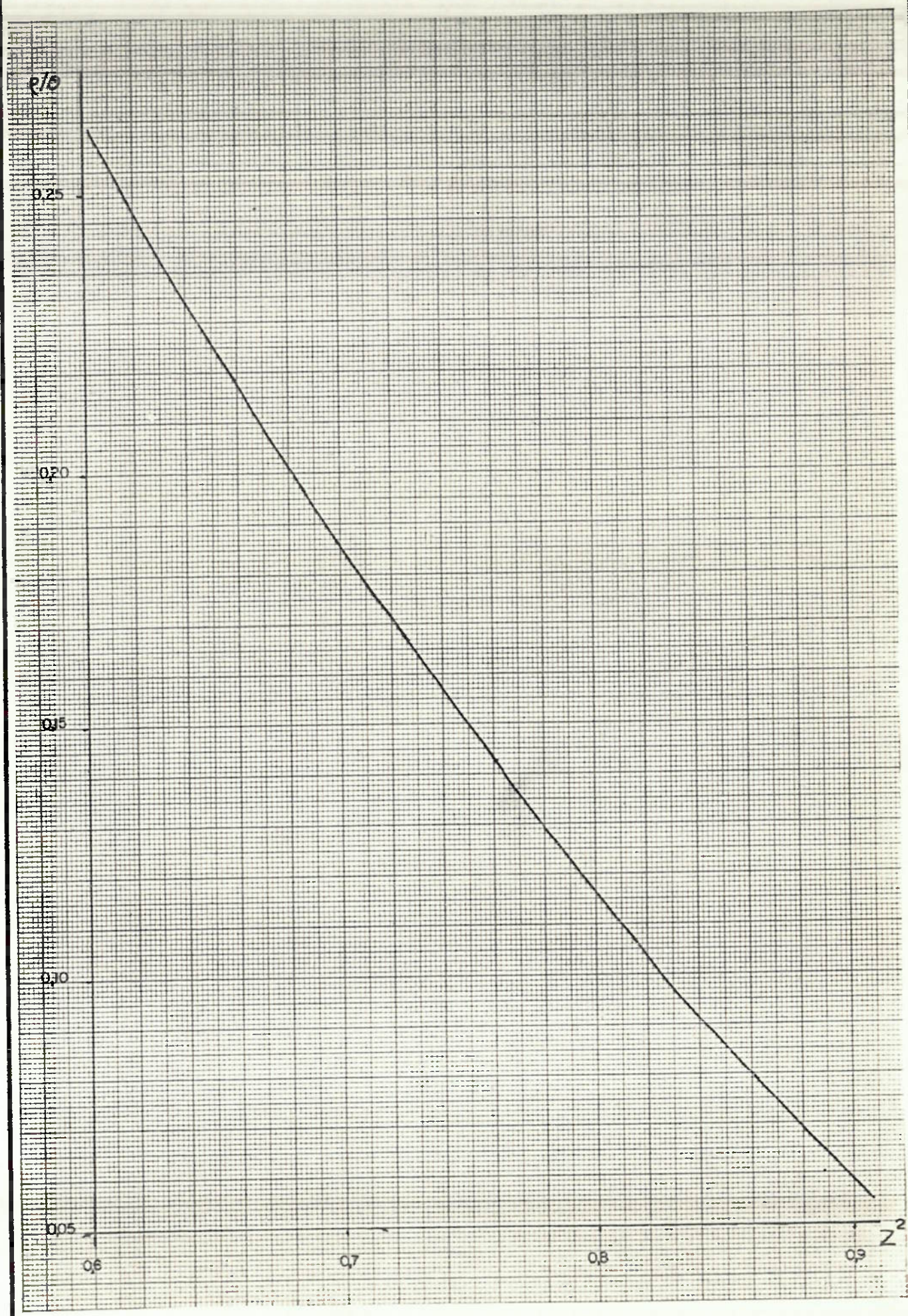
e, na prática, o limite máximo para sobrepressão e depressão é:

$$|h_s| \leq 0,35 \cdot H$$

IV DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO

Vale que:

CURVA Z^2 - SOBREPRESSÃO

CURVA Z^2 - DEPRESSÃO

$$e = \frac{P_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_{adm}}$$

onde: e = espessura da parede (mm)

D = diâmetro interno da tubulação (mm)

σ_{adm} = tensão admissível de resistência à tração (Kgf/cm^2)

P_i = pressão hidroestática máxima (Kgf/cm^2)

$$P_i = P + P_s$$

onde: P = pressão hidroestática interna devido à altura da queda bruta H

P_s = sobrepressão hidroestática devido ao golpe de ariete

P e P_s em (Kgf/cm^2)

ou seja:

$$P_i = H + h_s \quad (\text{mca})$$

$$P_i = 0,1 \cdot (H + h_s) \quad (\text{Kgf/cm}^2)$$

No caso de tubulações de aço existe uma fórmula de carácter experimental:

$$e = \frac{P_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_{adm} \cdot k_f} + e_s$$

onde: e_s = sobre-espessura para eventual corrosão, $e_s = 1$ mm

K_f = coeficiente que procura corrigir a forma construtiva da tubulação:

$K_f = 1,0$ para tubos sem costura

$K_f = 0,8$ para tubos com costura

Finalmente, a espessura mínima de parede para tubulações de aço é dada por:

$$e_{\min} = \frac{D + 508}{400}$$

sendo que, por questões de segurança, esta espessura deve ser sempre superior a 1/4" ou seja:

$$e_{\min} \geq 6,35 \text{ mm}$$

Esta precaução leva em consideração o fato de que qualquer defeito de laminação ou qualquer efeito da corrosão afeta o valor da espessura, percentualmente, mais nas chapas finas que nas grossas. Além disto, temos a questão construtiva, onde uma boa junta soldada torna-se mais difícil de obter em chapas mais finas.

V OBSERVAÇÃO IMPORTANTE

Devemos preferencialmente obedecer à seguinte condição:

$$\frac{L}{H} \leq 5$$

onde: L = comprimento da tubulação forçada (m)

H = queda bruta (m)

Caso contrário, há a necessidade da existência de uma chaminé de equilíbrio.

A chaminé de equilíbrio é uma estrutura constituída de um reservatório cilíndrico, implantada entre o canal de adução e a tubulação forçada. Suas funções são idênticas às da câmara de carga, porém com melhor desempenho.

4.2.2 DETERMINAÇÃO FINAL DA QUEDA LÍQUIDA E DA POTÊNCIA INSTALADA

Agora que conhecemos as dimensões e características das estruturas que compõem o sistema de adução, estamos aptos a calcular o valor final da queda líquida e portanto, o valor da potência a ser instalada.

Para calcularmos a queda líquida teremos que calcular todas as perdas de carga existentes ao longo do sistema de adução, descontando-as da queda bruta estimada.

I PERDA INICIAL

A perda de carga inicial é a que ocorre na captação das águas, sendo do tipo singular:

$$h_i = k_i \cdot \frac{v^2}{2g}$$

vale que:

$$v_g = \frac{Q}{A_g}$$

onde: Q = vazão (m^3/s)

A_g = área bruta das grades (m^2)

III PERDA NO CANAL DE ADUÇÃO

Para os canais com seção transversal uniforme e sem curvas em cotovelo, vamos levar em consideração somente a perda de carga devido ao atrito da água.

Utilizaremos a fórmula de Chézy, expandida por Ganguillet e Kutter:

$$V = C \cdot (R_h \cdot J)^{1/2}$$

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{J} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{(R_h)^{1/2}} \cdot \left(23 + \frac{0,00155}{J} \right)}$$

A primeira equação é a formula de Chévy, enquanto que a segunda é a formula de Ganguillet e Kutter.

Finalmente, temos que:

$$h_a = J \cdot L$$

onde: V = velocidade média da água no canal (m/s)

R_h = raio hidráulico (m)

J = perda de carga unitária (m/Km)

n = coeficiente de rugosidade das paredes e fundo do canal

L = comprimento do canal de adução

Portanto, partindo-se dos valores:

n - tabelado, em função das características do canal

R_h = área da seção molhada / perímetro molhado

$$R_h = \frac{h.(b + m . h)}{b + 2.h.(1 + m)}^{1/2}$$

V - conforme descrito no dimensionamento do canal de adução

obtem-se, das formulas enunciadas, o valor de J . Multiplicando-se este valor pelo comprimento L do canal, obtem-se a perda de carga.

Para facilitar o procedimento de cálculo, foram desenvolvidos gráficos, dos quais se obtém o valor da perda de carga unitária. Estes gráficos foram construídos com base nas formulas de Chézy e de Ganguillet e Kutter, deste modo, fornecem J em função das variáveis: R_h , V e n .

VALORES DE n

n	CARACTERÍSTICAS DO CANAL
0,009	Condutores de madeira com tábuas aplainadas e juntas lisas, bem alinhadas.
0,010	Condutores revestidos com argamassa de cimento e acabamento bom (nata de cimento, azulejo, etc.).
0,011	Condutores revestidos com argamassa de cimento e areia. Tubos de fundição e tubos de cimento com interior liso, bem assentados e bem rejuntados.
0,012	Bicames de madeira não aplainada com juntas razoavelmente lisas. Bicames de ferro zincado colocados sobre estribos de aço, com juntas - lisas.
0,013	Alvenaria de pedra e de tijolos bem alinhados.
a	Revestimento de concreto da melhor qualidade e sem saliências.
0,014	Nesta faixa devem ser incluídos os revestimentos das categorias anteriores desde que se apresentem em mau estado.
0,015	Armações forradas de lona, colocadas grosseiramente. Alvenaria rústica de tijolos com juntas grosseiras. Canos enferrujados com incrustações.
0,017	Alvenaria de pedra bruta com juntas bem feitas.
a	Alvenaria de tijolos mal alinhados e juntas feitas toscamente.
0,018	Tubos muito estragados, enferrujados e incrustados. Canais de terra (que resistam à erosão).
0,020	Canais escavados em pedregulho grosso, natural e firme.
0,025	Canais de terra, sem revestimento, com fundo e laterais em bom estado, sem entulhos e velocidade média não superior a 0,8 m/s.
0,030	Canais e vias em más condições, mal conservados com plantas e entulho.
0,035	Canais irregulares, péssimamente conservados, lados e fundo com presença de plantas, detritos e pedras ou outros tipos de obstáculos.

GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,009$

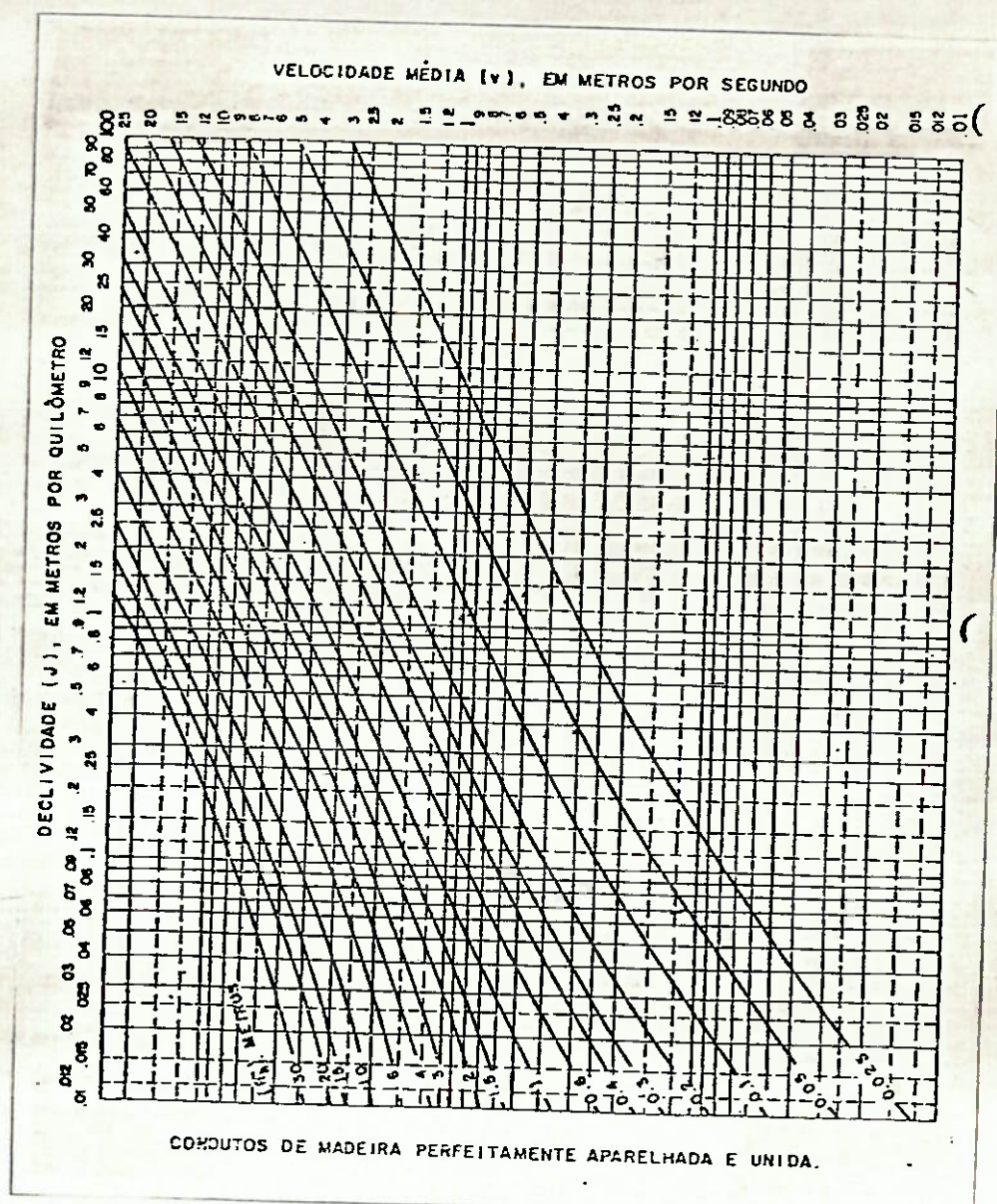


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,010$

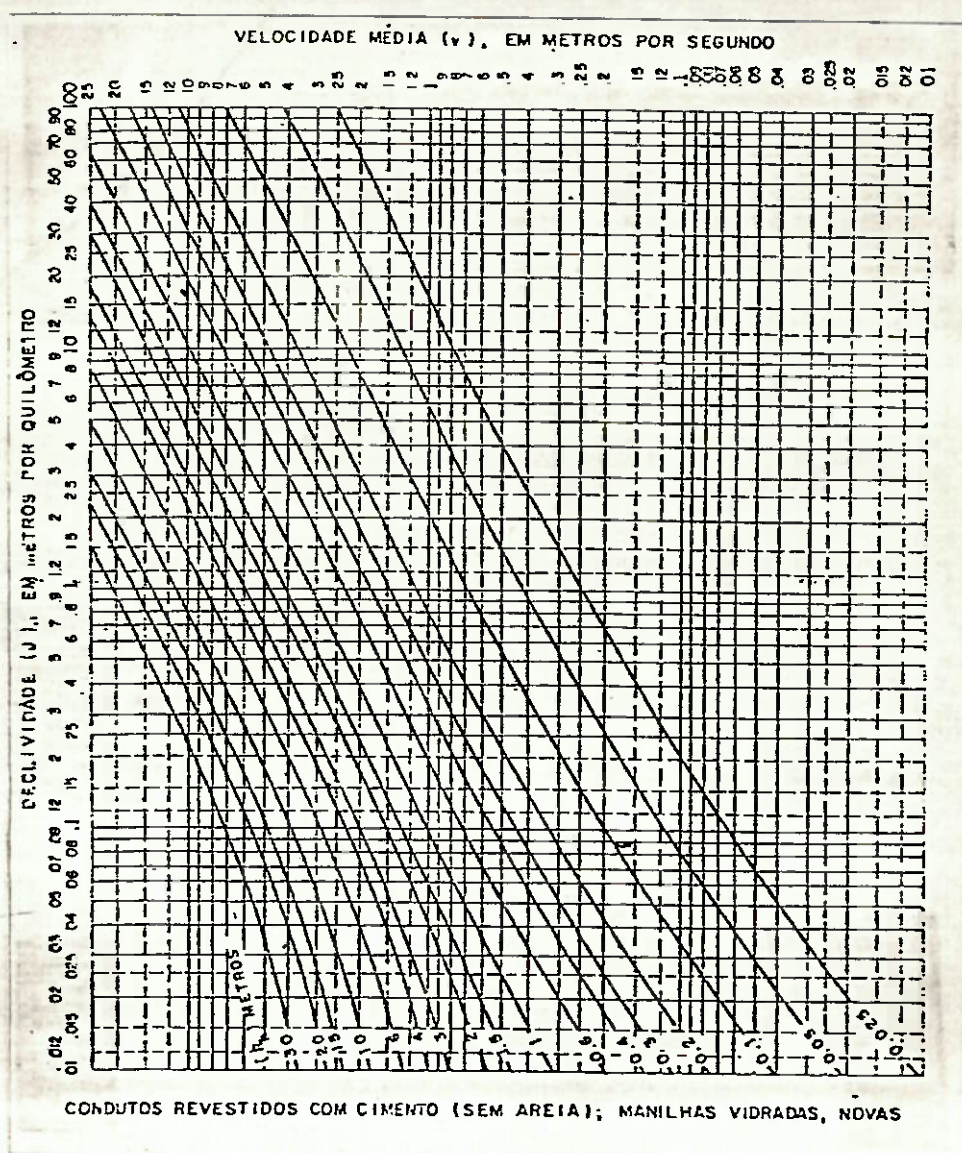


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,011$

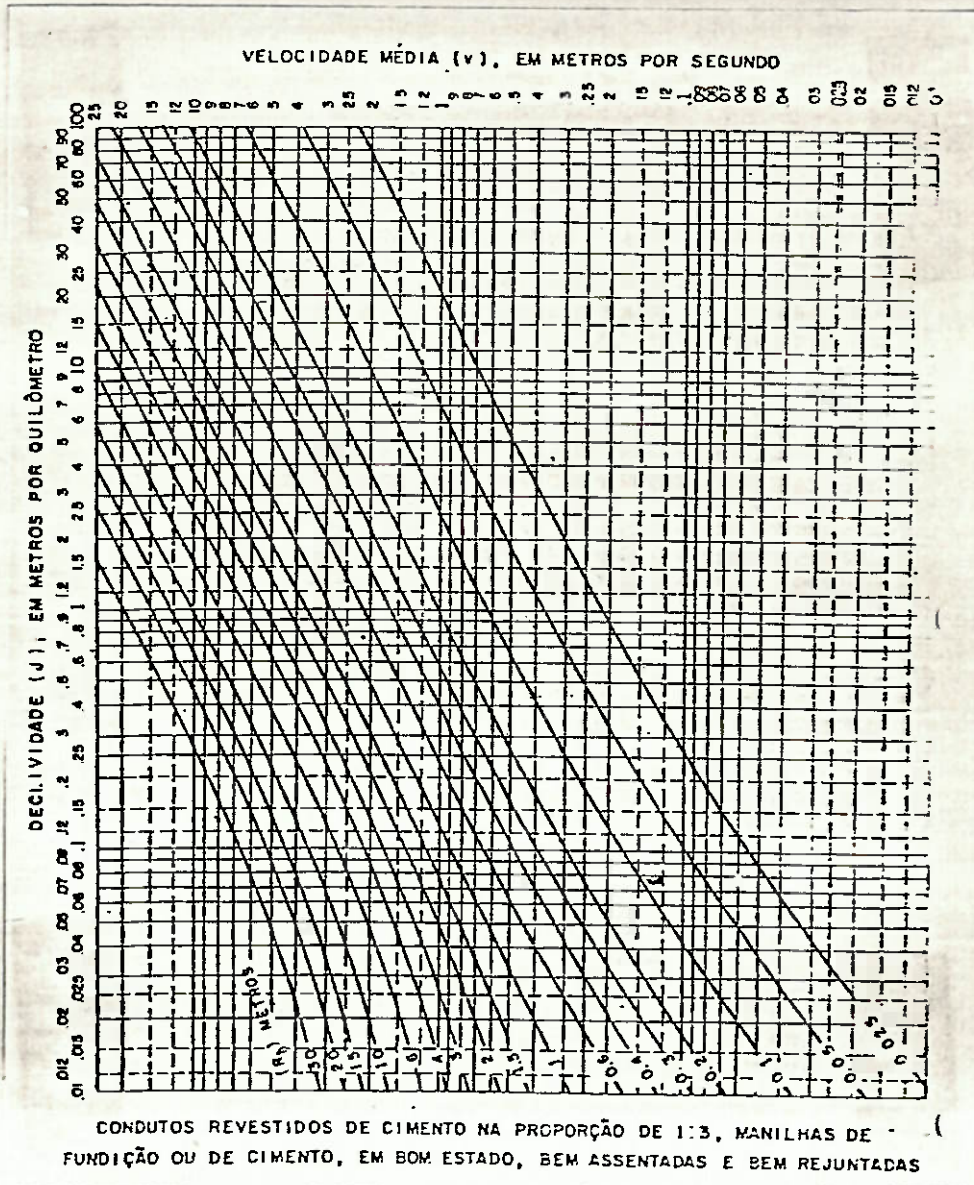


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,012$

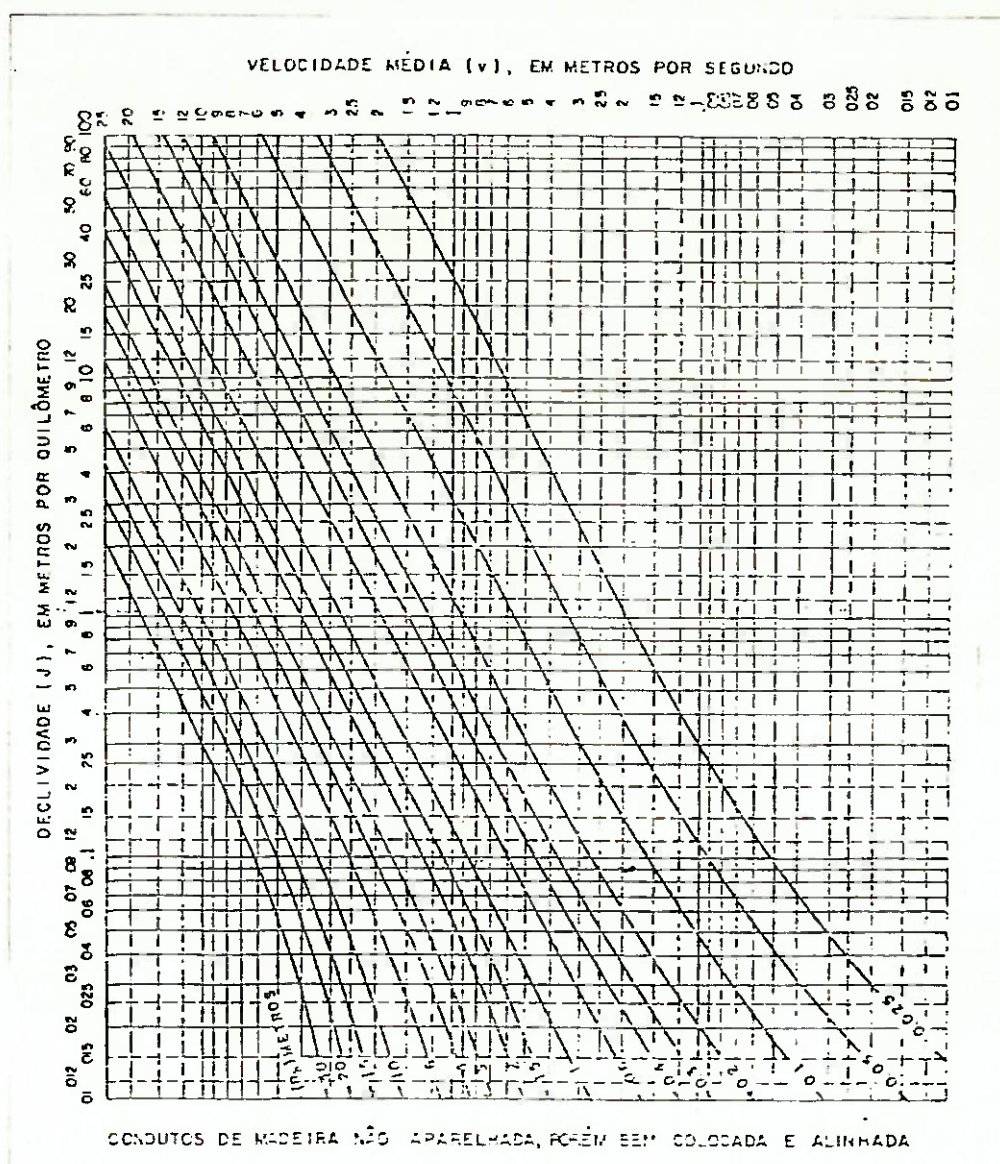
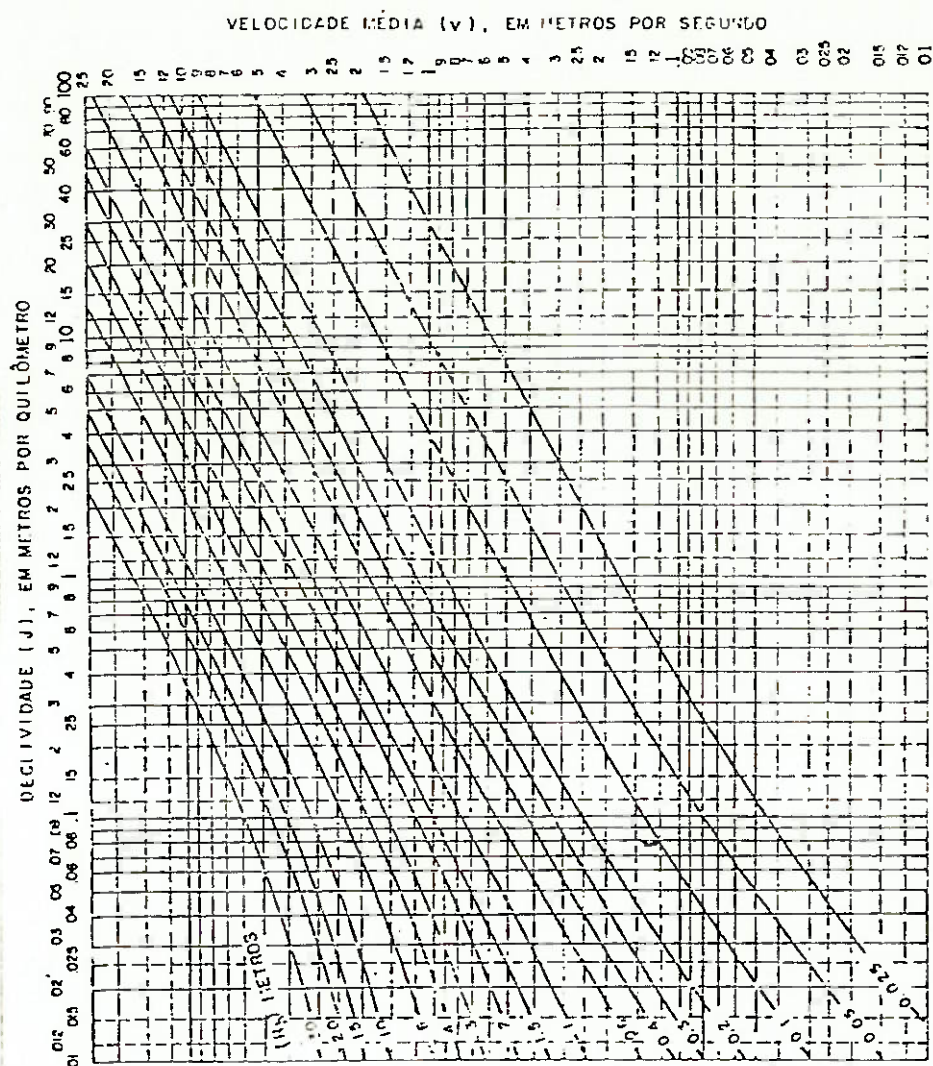


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n=0,013$



CANAIS DE PEDRA SEM LAVADA OU TIJOLOS DE SUPERFÍCIE MUITO LISA; TAMBÉM
OS MATERIAIS ANTERIORES, PORÉM DETERIORADOS OU MAL ASSENTADOS
(OS DE $n=0,012$ e $n=0,011$)

GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,015$

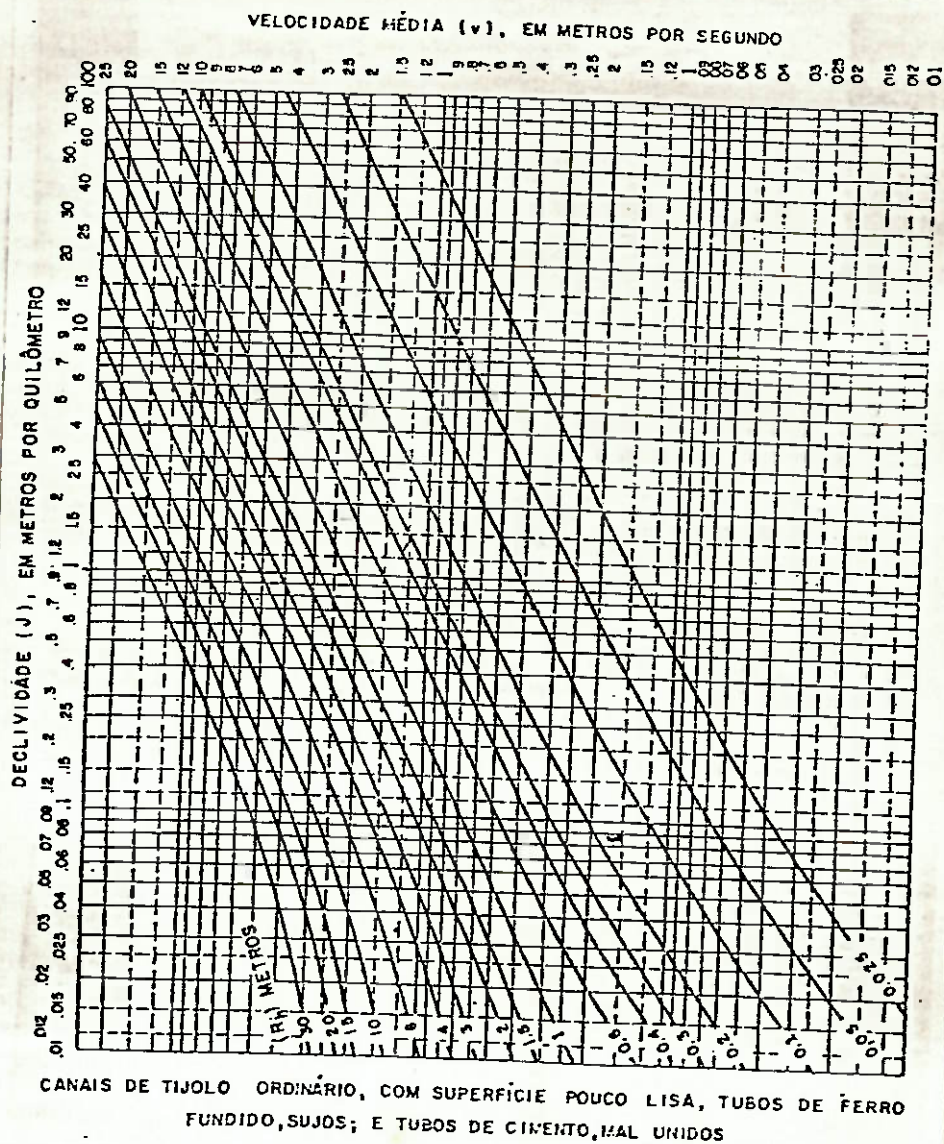


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,017$

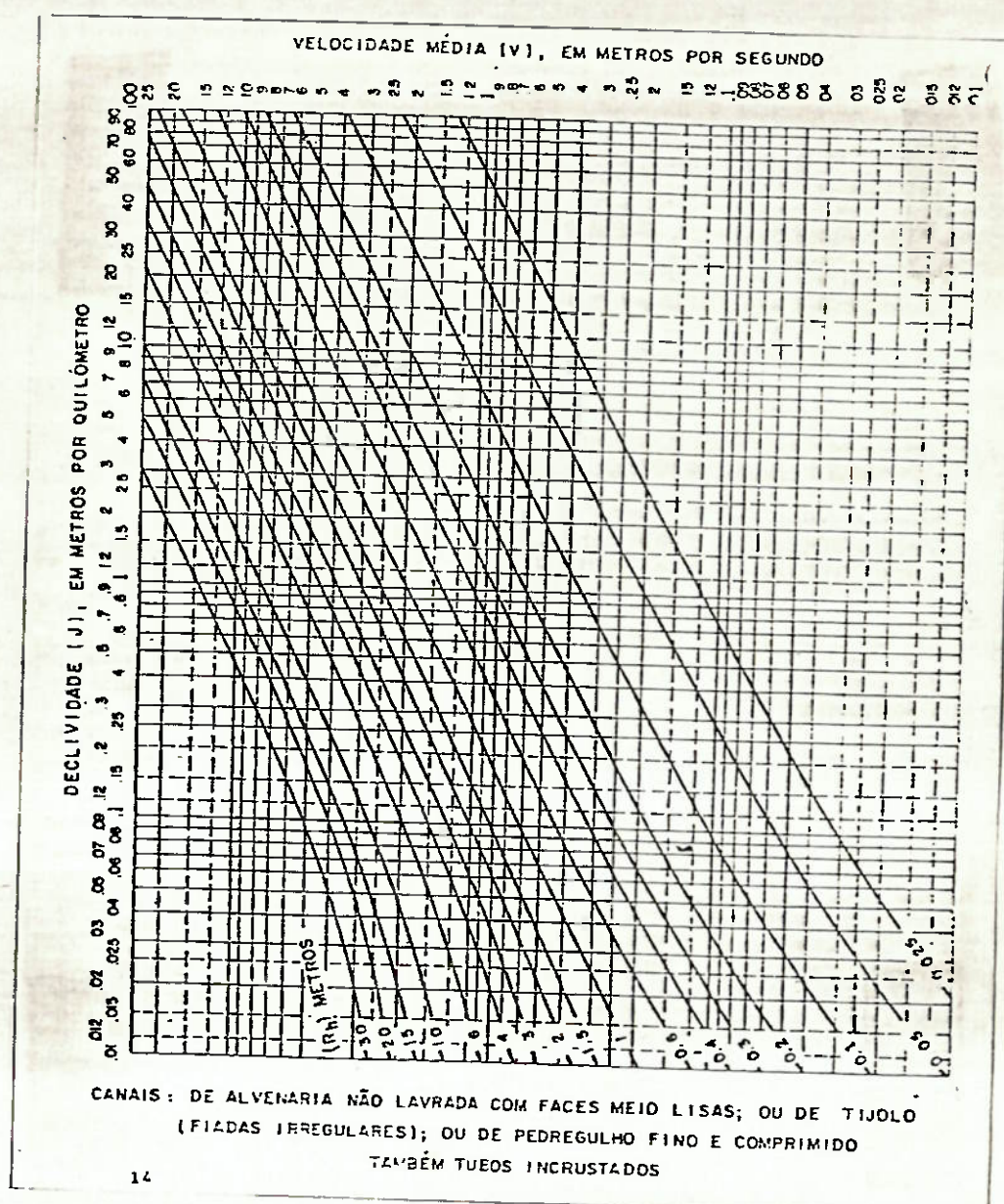


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n=0,020$

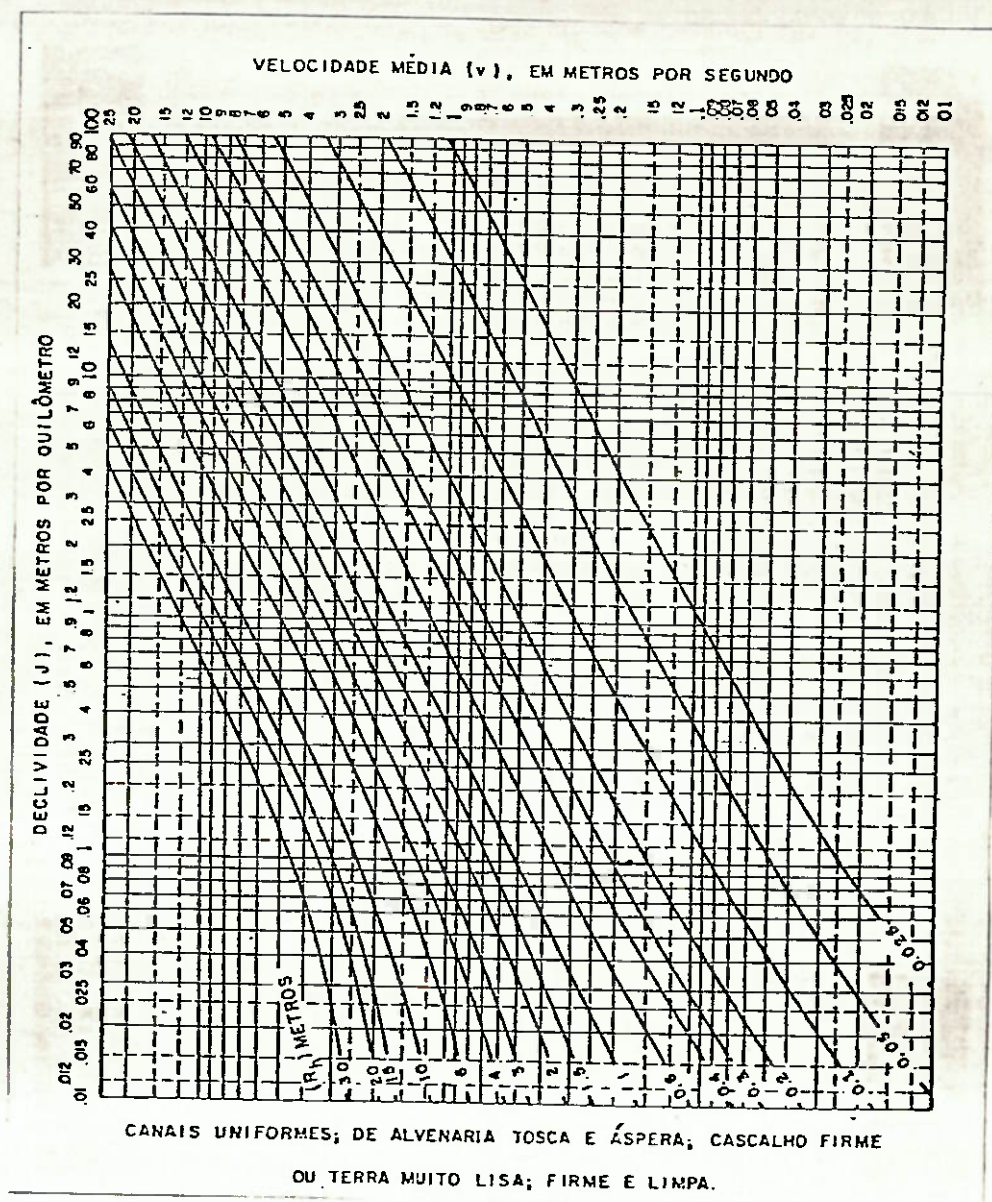


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,025$

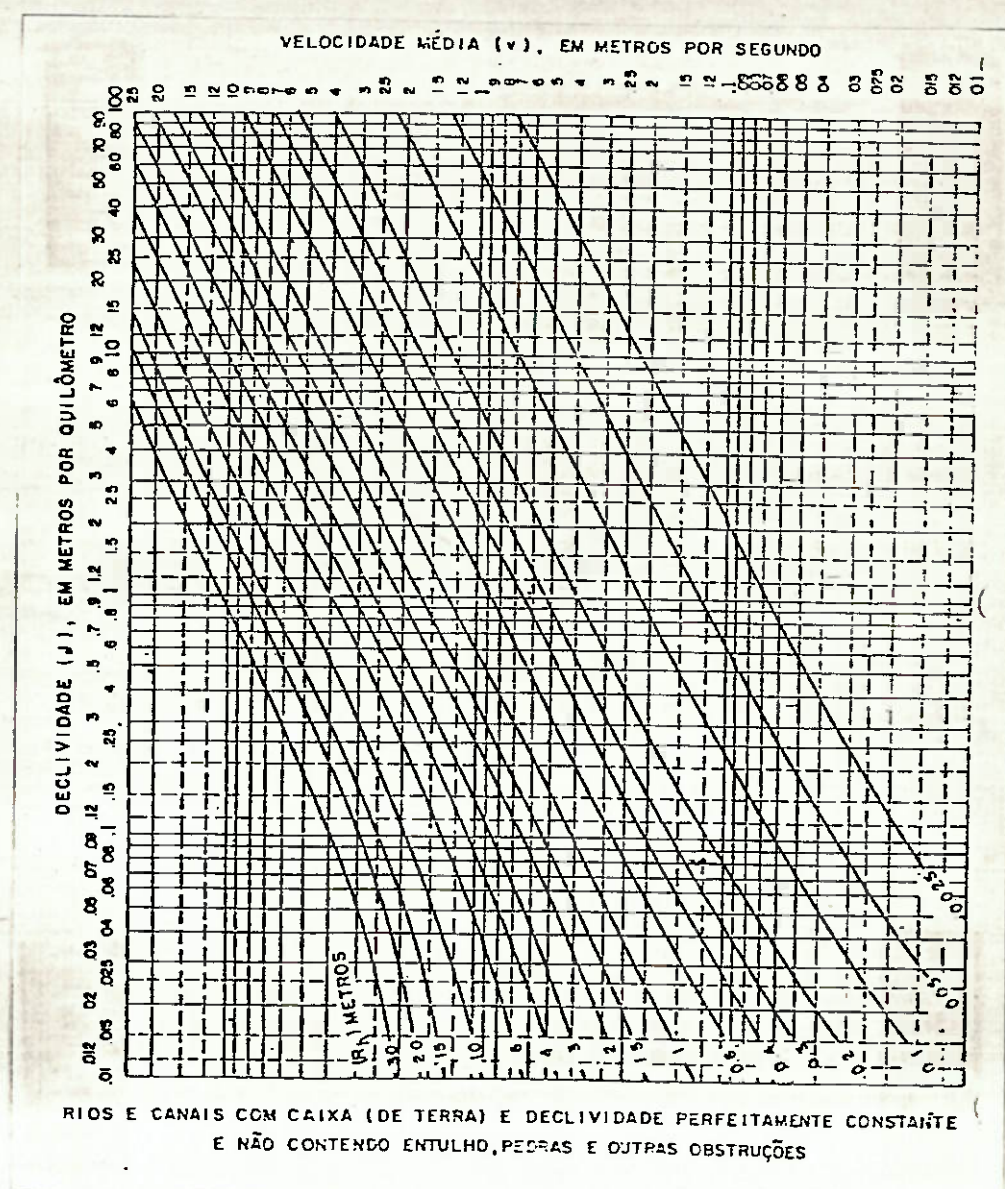
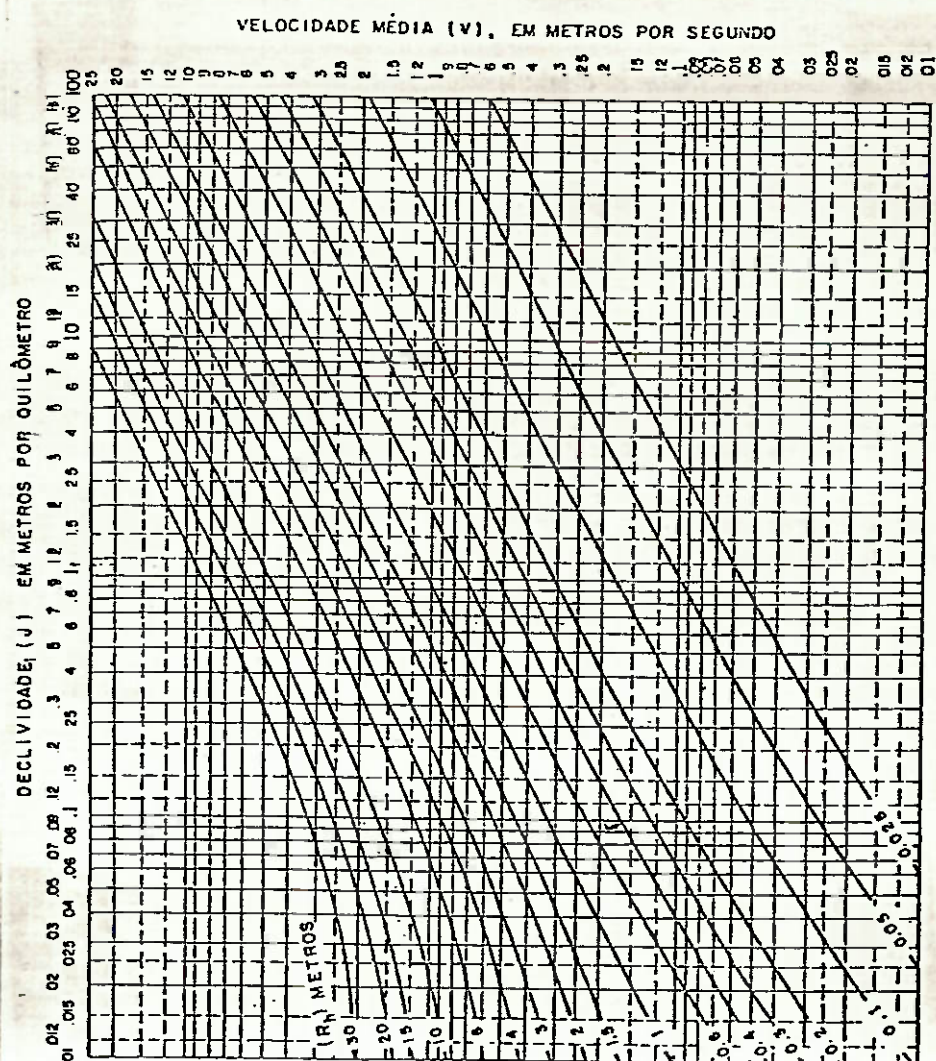


GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

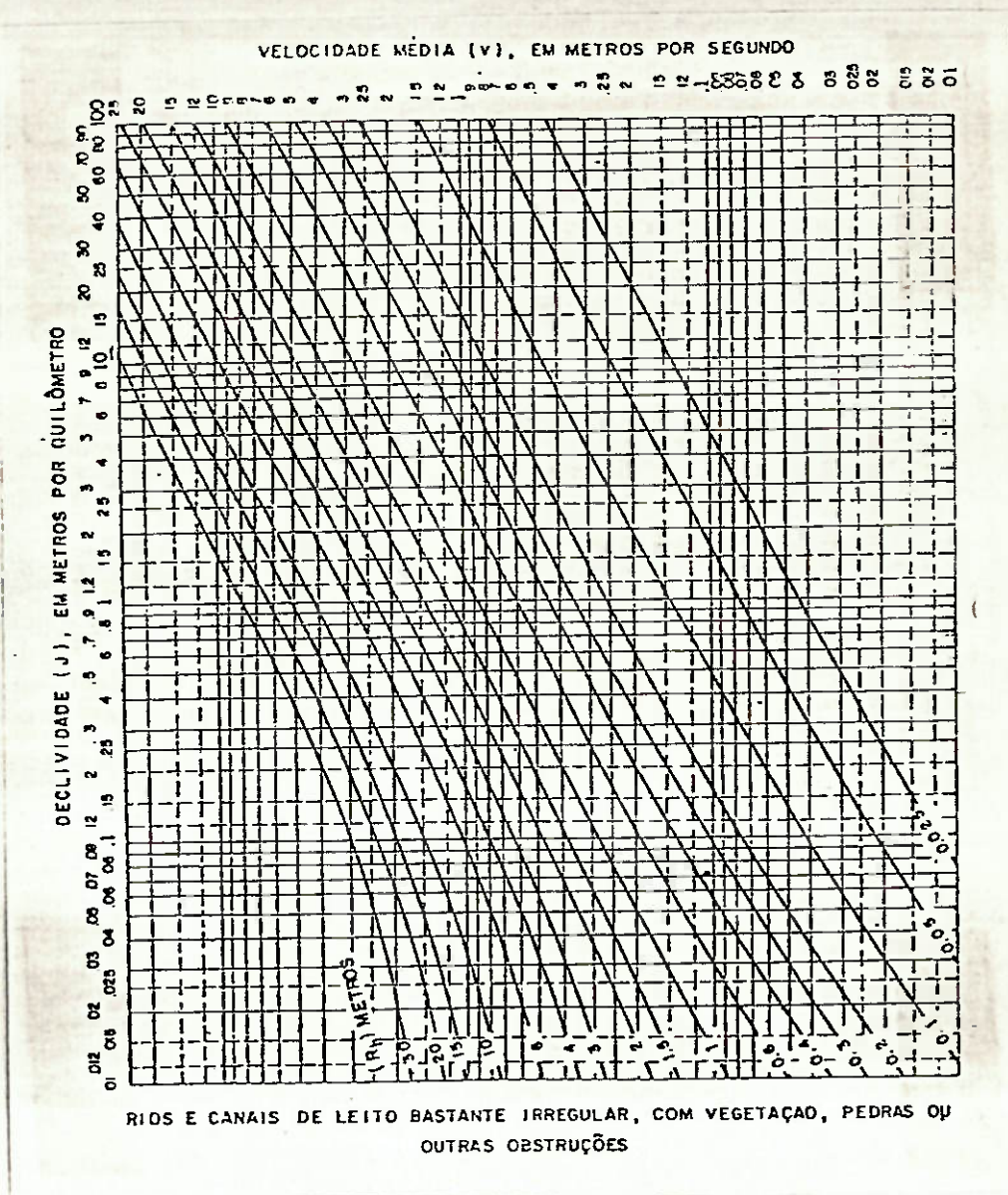
$n = 0,030$



RIOS E CANAIS, (EM TERRA) COM SEÇÃO E DECLIVIDADE MAIS OU MENOS CONSTANTE E CONTENDO ALGUMAS PEDRAS, ERVAS OU ENTULHO

GRÁFICO - DETERMINAÇÃO DE J

$n = 0,035$



IV PERDAS NA TUBULAÇÃO FORÇADA

Perdas de carga singulares

Serão do tipo:

$$h_s = K \frac{V^2}{2g}$$

onde: h_s = perda de carga (m)

V = velocidade da água na tubulação forçada (m/s)

g = aceleração da gravidade (m/s^2)

K = coeficiente de forma (tabelado)

Deste modo, para cada singularidade existente ao longo da tubulação, tais como curvas, ampliações, etc. , deve-se calcular a respectiva perda de carga.

Perda de carga distribuída

Vamos utilizar neste item a conhecida formula de Hazen-Williams:

$$J = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87}$$

$$h = j \cdot L$$

onde: Q = vazão (m^3/s)

D = diâmetro interno da tubulação (m)

J = perda de carga unitária (m/m)

L = comprimento da tubulação forçada (m)

C = coeficiente que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos (tabelado)

Esta formula é válida para: $50 < D < 3500 \text{ mm}$.

V DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA

Primeiro é necessário determinar o valor da queda líquida:

$$H_L = H - \sum (\text{perdas de carga})$$

onde: H = queda bruta (m)

$\sum (\text{perdas})$ = somatória de todas as perdas, calculadas segundo os itens anteriores (m)

Após este cálculo, a potência instalada é dada por:

$$N = 9,81 \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot Q \cdot H_L$$

onde: N = potência instalada (KW)

Q = vazão de projeto (m^3/s)

η_t = rendimento da turbina

η_g = rendimento do gerador

VALORES DE K

TIPO DE SINGULARIDADE	K
Ampliação gradual	0,30 *
Bocais	2,75
Comporta, aberta	1,00
Controlador de vazão	2,50
Cotovêlo de 90°	0,90
Cotovêlo de 45°	0,40
Crivo	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22 1/2°	0,10
Entrada Normal em Canalização	0,50
Entrada de Borda	1,00
Existência de pequena derivação	0,03
Junção	0,40
Medidor Venturi	2,50 **
Redução gradual	0,15 *
Registro de ângulo, aberto	5,00
Registro de gaveta, aberto	0,20
Registro de globo, aberto	10,00
Saída de canalização	1,00
Tê; passagem direta	0,60
Tê, saída de lado	1,30
Tê, saída bilateral	1,80
Válvula de pé	1,75
Válvula de retenção	2,50
Velocidade	1,00

(**) Relativa à velocidade na canalização.

(*) Com base na velocidade maior (seção menor).

VALORES DE C

MATERIAL- DO TUBO	C
Aço soldado com revestimento especial (novos e em uso) ...	130
Chumbo	130
Cimento-Amianto	140
Cobre	130
Concreto : Bom acabamento	130
Concreto : Acabamento comum	120
Ferro Fundido, novos	130
Ferro fundido, em uso (V. Quadro detalhado)	90
Ferro Fundido, tubos revestidos de cimento	130
Grês cerâmico vidrado (Manilhas)	110
Latão	130
Madeiras, em aduelas	120
Tijolos, condutos bem executados	100
Vidro	140
Plástico	140
Aço corrugado (Chapa ondulada)	60
Aço com juntas "Lock-bar", novos	130
Aço galvanizado (novos e em uso)	125
Aço rebitado, novos	110
Aço rebitado, em uso (V.Quadro detalhado)	85
Aço soldado, novos	120
Aço soldado, em uso (V.Quadro detalhado)	90

VALORES DE C - Tubulação de fofo

DIÂMETRO ANOS DE USO	010 4"	015 6"	020 8"	025 10"	030 12"	035 14"	040 16"	045 18"	050 20"	060 24"	075 30"	090 36"	105 42"	150 60"
00**	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
5	117	118	119	120	120	120	120	120	120	120	121	122	122	122
10	106	108	109	110	110	110	111	112	112	112	113	113	113	113
15	96	100	102	103	103	103	104	104	105	105	106	106	106	106
20	88	93	94	96	97	97	98	98	99	99	100	100	100	100
25	81	86	89	91	91	91	92	92	93	93	94	94	94	95
30	75	80	83	85	86	86	87	87	88	89	90	90	90	91
35	70	75	78	80	82	82	83	84	85	85	86	86	87	88
40	64	71	74	76	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
45	60	67	71	73	75	76	76	77	77	78	78	79	80	81
50	56	63	67	70	71	72	73	73	74	75	76	76	77	78

(**) O valor 140 corresponde ao início de funcionamento de linhas muito bem executadas, com tubos de boa qualidade.

(***) Para tubulações de aço.

a. Com juntas "Lock-bar": Adotar os mesmos coeficientes indicados para os tubos de ferro fundidos.

b. Soldadas: Tomar como valores de C os valores indicados para tubos de ferro fundido 5 anos mais velhos.

c. Rebitados: Tomar como valores de C os valores indicados para tubos de ferro fundido 10 anos mais velhos.

d. Com revestimentos especiais: Admitir 130.

4.2.3 SELEÇÃO DA TURBINA HIDRÁULICA

No selecionamento da turbina hidráulica a ser utilizada, devem ser considerados os seguintes fatores:

- facilidade de operação e manutenção
- robustez
- garantias oferecidas pelo fabricante quanto à ausência de cavitação e à imediata assistência técnica, no caso de problemas
- custo

O tipo de turbina pode ser determinado pelo gráfico em anexo, partindo-se dos valores conhecidos de queda líquida e descarga de projeto.

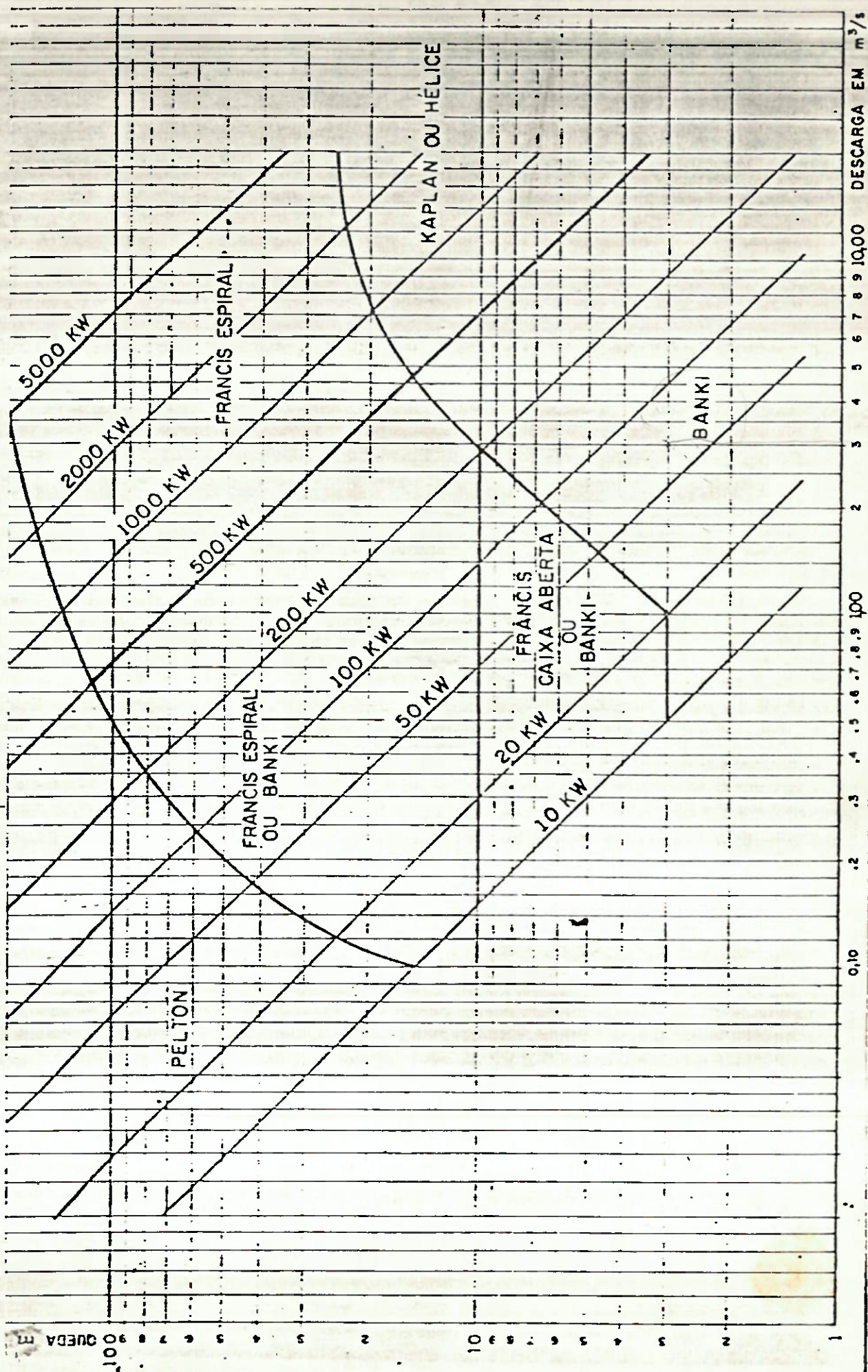
Logicamente, a escolha da turbina através do gráfico é preliminar, uma vez que na prática não existem fronteiras bem definidas entre os campos de utilização dos vários tipos de turbinas.

Assim, o procedimento correto é a análise do tipo de turbina conjuntamente com o(s) fabricante(s) da mesma.

Nas próximas páginas apresentamos algumas noções sobre os diversos tipos de turbinas existentes e que podem ser utilizados nas pequenas centrais.

GRÁFICO PARA SELEÇÃO DA TURBINA

77



Turbina Pelton

A turbina Pelton caracteriza-se pela transformação da energia potencial de que da em energia cinética no jato injetor, sendo posteriormente esta energia convertida em energia mecânica, no rotor da turbina.

A Pelton constitui-se de um rotor, em torno do qual são fixadas as pás (tipo - conchas), sendo a água dirigida às pás através de injetores.

Rotor

Dispostas na periferia do rotor, as conchas têm uma parede divisória que orienta o fluxo de água simetricamente para as laterais, anulando, assim, a força - axial.

O rotor e as pás podem, principalmente em pequenas unidades, ser fundidas em - uma única peça. Outra opção é a fabricação individual das conchas com posterior fixação no rotor, permitindo, deste modo, uma fácil manutenção.

Injetores

Na turbina Pelton, a água é conduzida por uma tubulação até às proximidades do rotor, terminando esta tubulação em um injetor, ou em vários injetores conforme o caso.

A vantagem de se utilizarem dois ou mais jatos de água é o fato de se obterem rotações mais elevadas.

Regulagem

Para pequenas centrais deve-se prever a regulagem da descarga de água, através de uma agulha colocada dentro do injetor. Outra forma de regular a vazão é -

através de um defletor colocado na saída do jato.

Dimensões básicas

Seja: Q = vazão (m^3/s)

Z = número de injetores

Q_i = vazão por injetor $Q_i = Q / Z$ (m^3/s)

d_o = diâmetro do jato de água (m)

D = diâmetro do tubo de adução (m)

D_1 = diâmetro do rotor (no ponto de incidência do jato) (m)

n = rotação da turbina (rpm)

H = queda líquida (m)

Valem então as seguintes relações:

$$Q_i = Q / Z$$

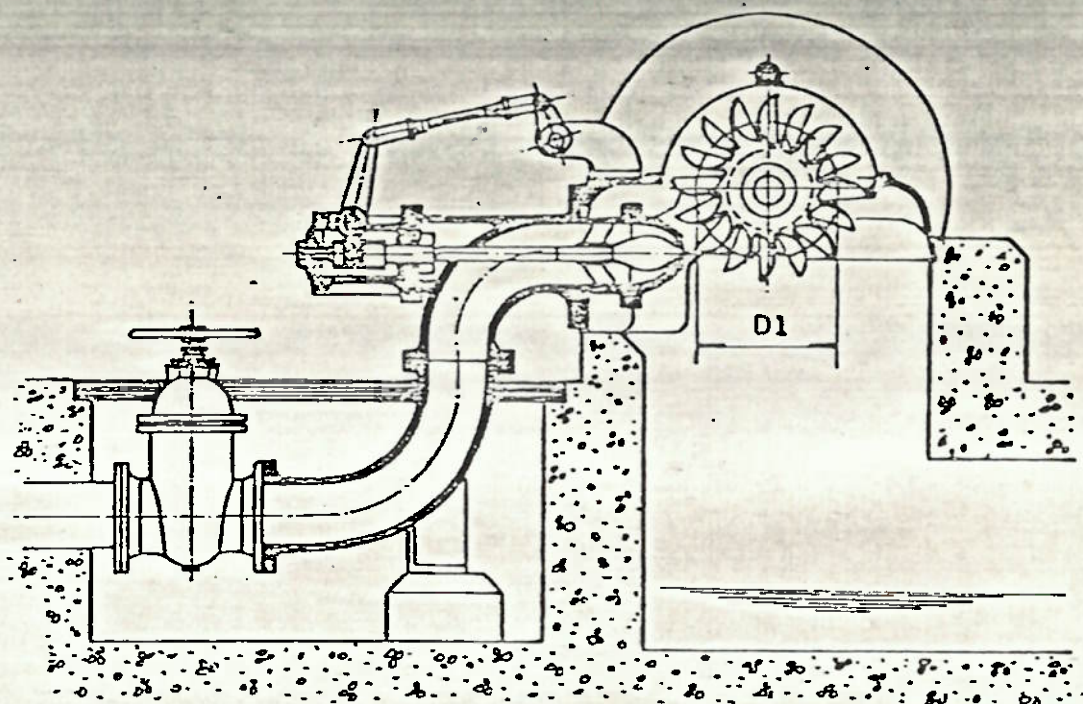
$$d_o = 0,54 \cdot Q_i^{1/2} \cdot H^{1/4}$$

$$D = 3 \cdot d_o \cdot Z^{1/2}$$

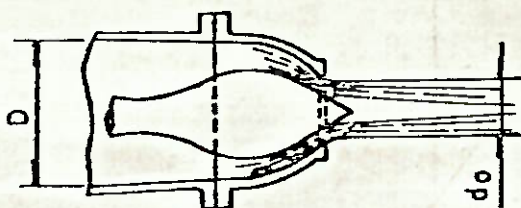
$$D_1 = 12 \cdot d_o$$

$$n = 37,3 \cdot H^{1/2} \cdot D_1$$

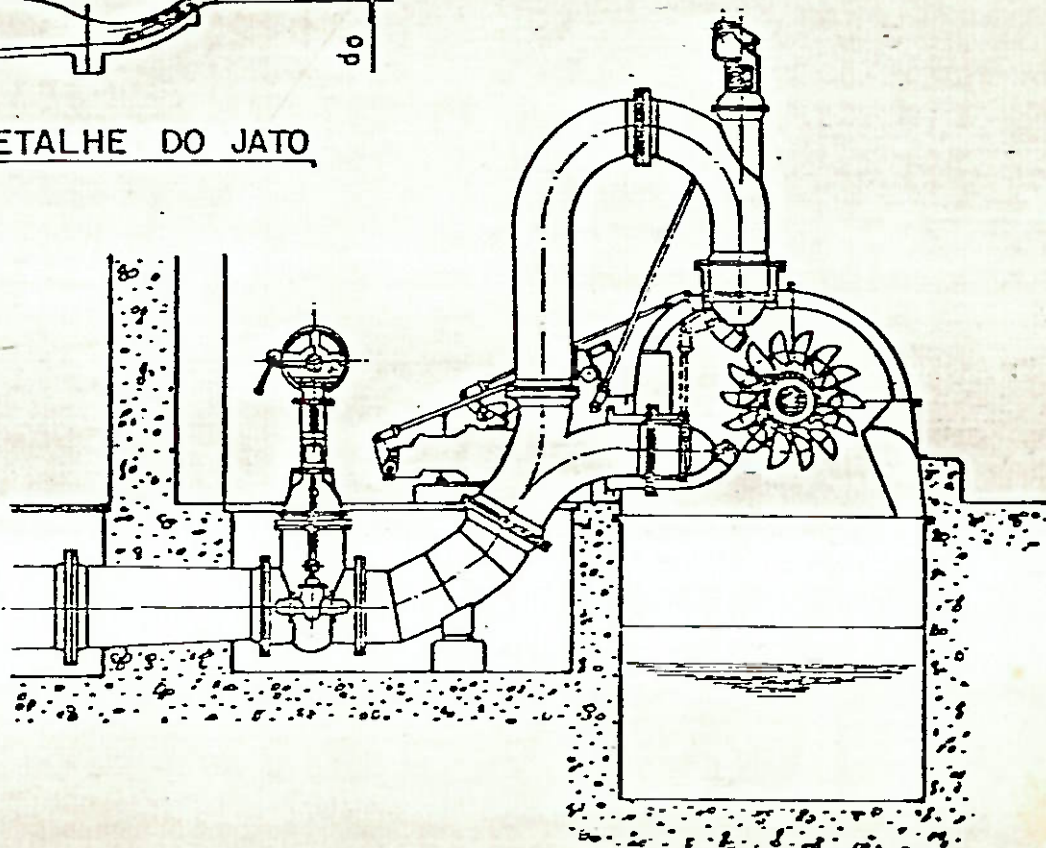
TURBINA PELTON



TURBINA PELTON DE 1 JATO



DETALHE DO JATO



TURBINA PELTON DE 2 JATOS

Turbina Francis

As turbinas Francis são consideradas turbinas de reação, sendo divididas basicamente em: Francis Caixa Aberta ($H \leq 10$ m)

Francis Caixa Espiral ($H > 10$ m)

Francis Caixa Aberta

Utilizada para pequenas quedas, apresenta a vantagem de ausência do conduto forçado e da caixa espiral, simplificando a concepção e diminuindo o custo.

Estas turbinas têm o rotor, o distribuidor e o tubo de sucção situados em uma câmara, geralmente em comunicação direta com a tomada d' água.

Conforme se pode observar nas figuras, poderemos ter um arranjo horizontal ou vertical conforme a conveniência.

Francis Espiral

Neste caso a presença da caixa espiral pode ser notada nas figuras.

Geralmente seu eixo é disposto horizontalmente, devido às facilidades de instalação e manutenção.

Dimensões básicas

A figura referente à turbina Francis Espiral apresenta as dimensões principais em função do diâmetro nominal de saída do rotor (página 84).

Estas dimensões são válidas também para a Francis Caixa Aberta.

O diâmetro do rotor é dado, experimentalmente, pela fórmula:

$$D_n = 0,3 \cdot H^{1/8} \cdot Q^{1/2} + H^{-1}$$

onde: D_n = diâmetro na saída do rotor (m)

H = queda líquida (m)

Q = vazão de projeto (m^3/s)

Turbina Banki

A turbina Banki é uma turbina de ação, de fluxo transversal.

A sua faixa de aplicação é muito ampla, se superpondo de um modo geral à faixa de operação das turbinas Francis.

A Banki é formada basicamente por uma tubulação (ou injetor) que contém uma ou mais palhetas diretrizes, cuja função é regular o fluxo de água.

O seu rotor tem a forma de um cilindro em torno do qual estão dispostas as pás, recebendo, deste modo, um duplo impulso: na entrada e na saída da água.

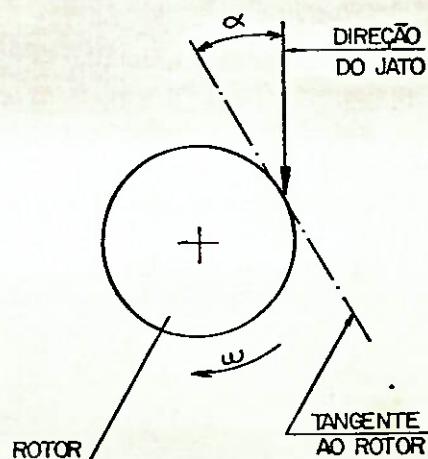
Seu diâmetro é dado por:

$$D = \frac{39,8 \cdot H^{1/2}}{\cos^2 \alpha}$$

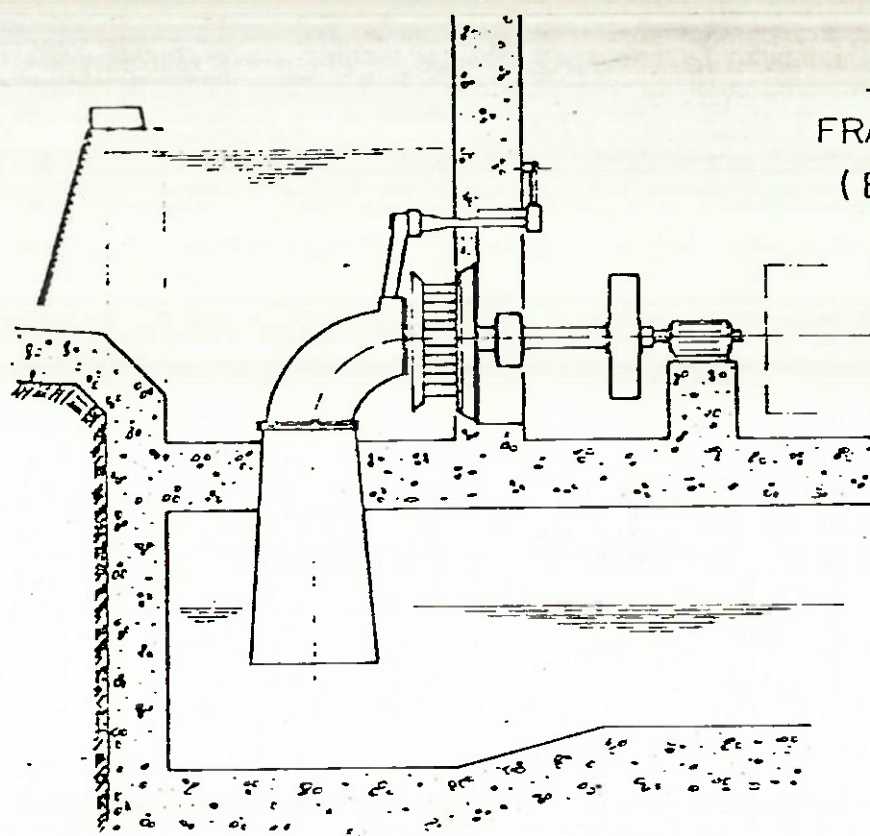
onde: D = diâmetro do rotor (m)

H = queda líquida (m)

α = indicado na figura ao lado

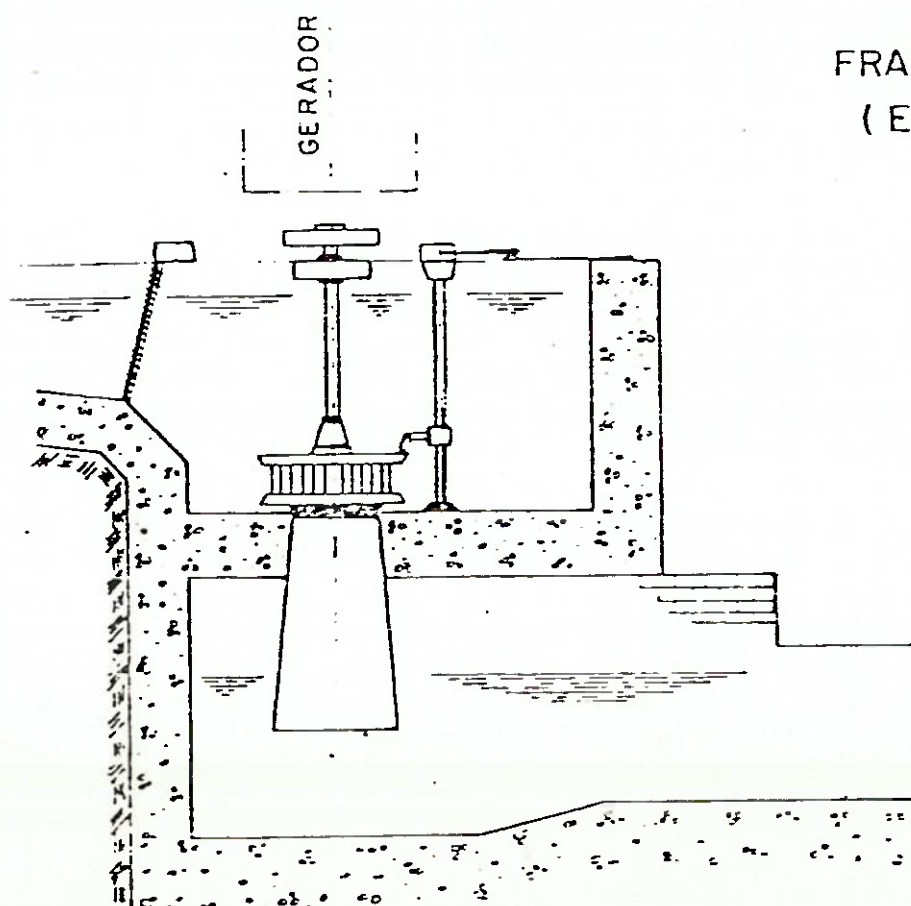


TURBINA FRANCIS



FRANCIS CAIXA ABERTA
(EIXO HORIZONTAL)

GERADOR

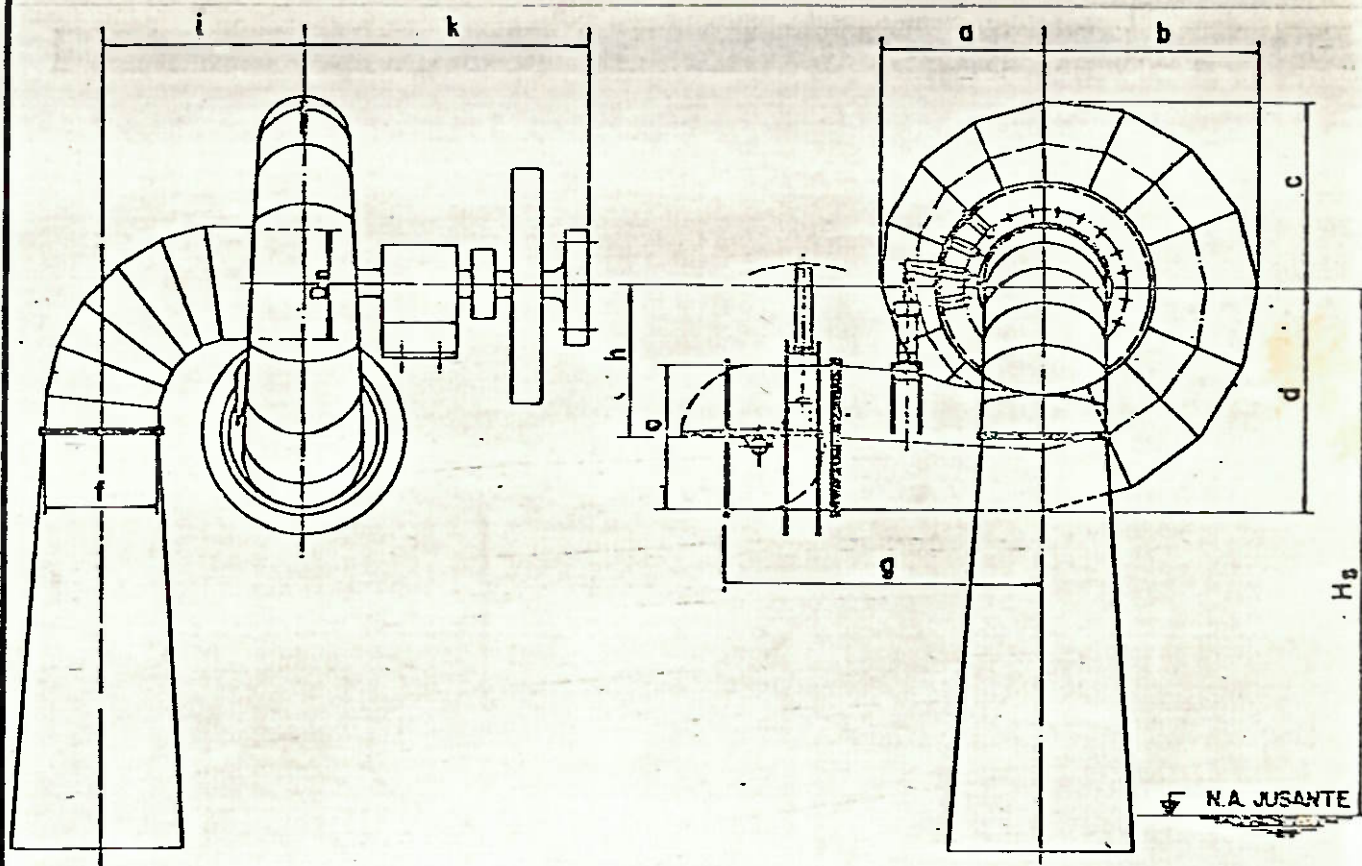


FRANCIS CAIXA ABERTA
(EIXO VERTICAL)

GERADOR

TURBINA FRANCIS

FRANCIS CAIXA ESPIRAL

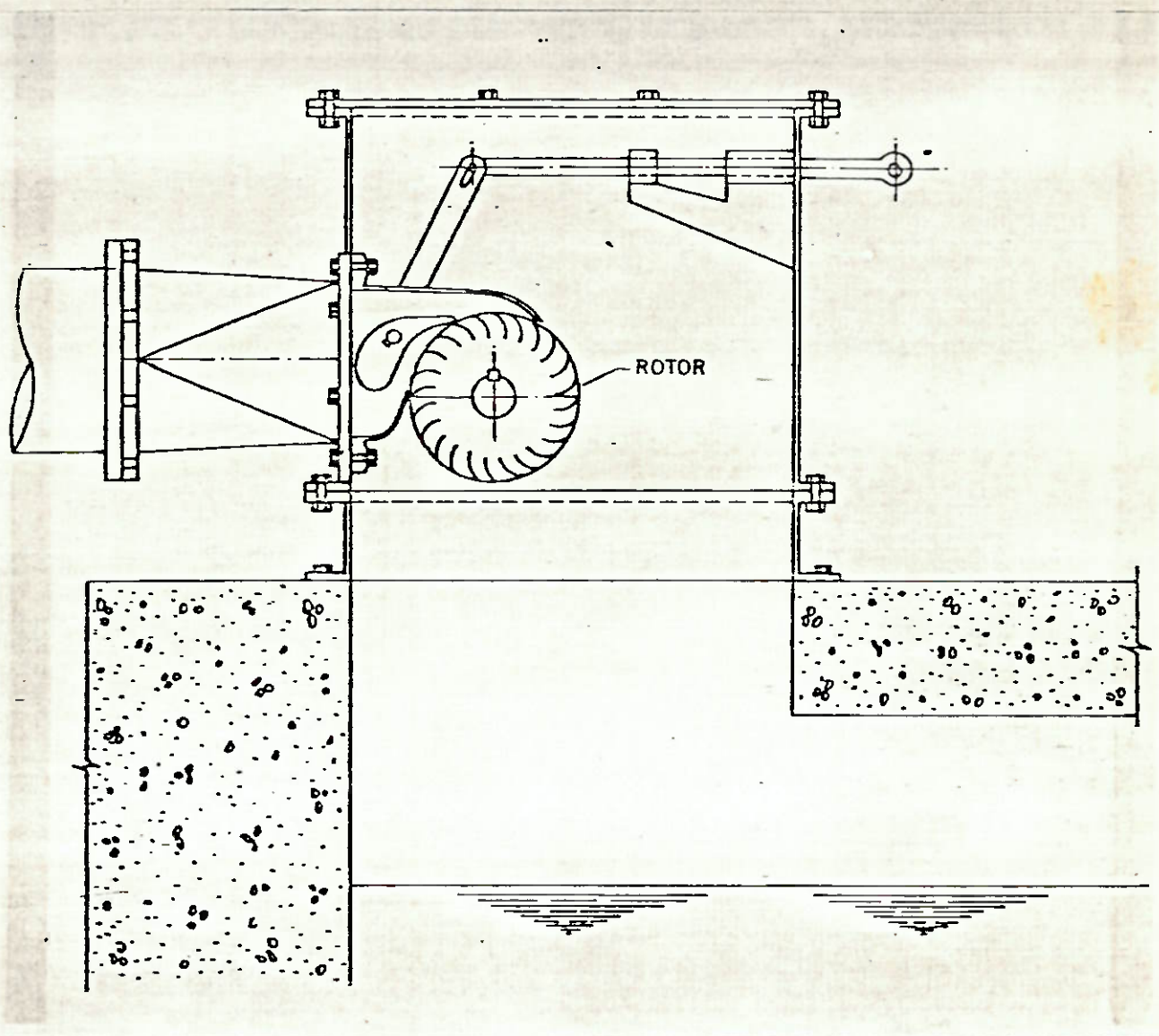


DIMENSÕES BÁSICAS

a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
1,5	1,9	1,7	2,0	1,3	1,05	2,9	1,4	2,0	3,8

NOTA:

PARA OBTER AS DIMENSÕES REAIS, MULTIPLICAR OS VALORES DA TABELA PELO DIÂMETRO DO ROTOR D_n .

TURBINA BANKI

Turbina Kaplan

As turbinas Kaplan têm pequena aplicação a nível de pequenas centrais, devido ao fato de seu custo ser elevado e se destinarem à geração de grandes potências.

Possuem regulação de potência, através da movimentação das palhetas do distribuidor e das pás do rotor, efetuada por meio de servo-motores, por meio de um anel de regulação e ainda através de mecanismos especiais.

O rotor da Kaplan é constituído de um cubo e de pás de ângulo ajustável.

A figura a seguir apresenta as dimensões básicas de uma turbina Kaplan, em função de seu diâmetro (diâmetro do rotor), o qual é dado por:

$$D_n = Q^{1/2} \cdot H^{1/4} \cdot (0,1 + 0,4 \cdot H^{-1/2})$$

onde: D_n = diâmetro do rotor (m)

Q = vazão de projeto (m^3/s)

H = queda líquida (m)

Turbina Hélice

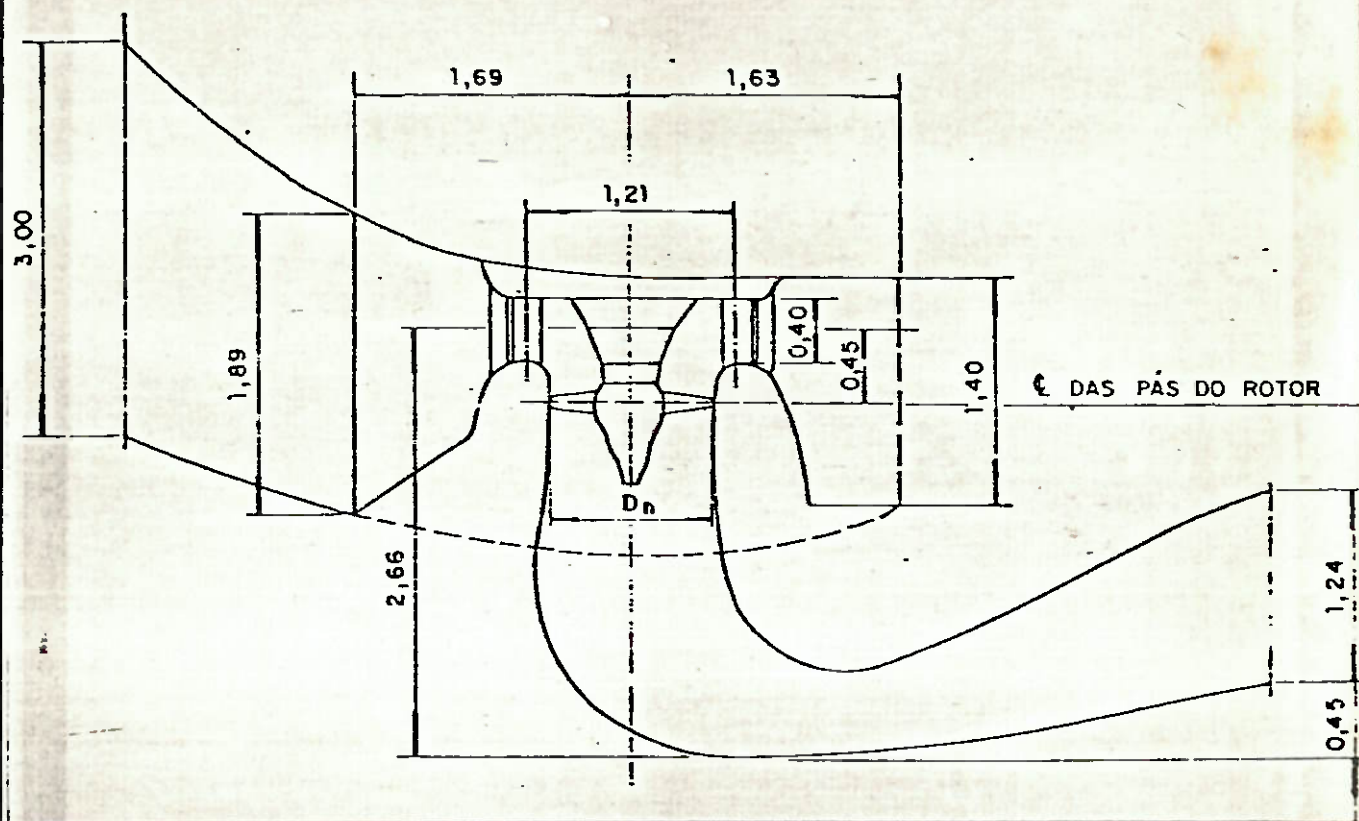
As turbinas hélice possuem as pás do rotor fixas sendo similares às turbinas Kaplan, tendo inclusive o mesmo campo de aplicação.

O rotor, portanto, é constituído de um cubo com pás fixas. A regulação da potência é feita através da abertura ou fechamento do distribuidor.

A determinação do diâmetro pode ser feita com a expressão utilizada para a turbina Kaplan.

TURBINA KAPLAN

PARA OBTER AS DIMENSÕES REAIS
MULTIPLICAR PELO DIÂMETRO DO ROTOR



Turbina Tubular

No caso de pequenas centrais, ao invés da disposição descrita no capítulo 3 - deste trabalho, podemos optar pela colocação da turbina na casa de máquinas, - mantendo o layout típico deste tipo de central.

Este arranjo, no entanto, não é satisfatório, devendo-se optar por outro tipo de turbina.

4.2.4 CANAL DE FUGA

O canal de fuga é a estrutura que faz a restituição ou a recondução da água - ao rio, após a passagem pela turbina.

Um canal de fuga apresenta-se com as mesmas particularidades e características de um canal de adução e o seu comprimento depende do posicionamento da casa de máquinas em relação ao curso de água.

De um modo geral, o canal de fuga deve ser o mais curto possível e no seu trecho final, quando do encontro com o rio, o mesmo deve ser alargado e posicionado de forma que não haja tendência do rio penetrar pelo canal.

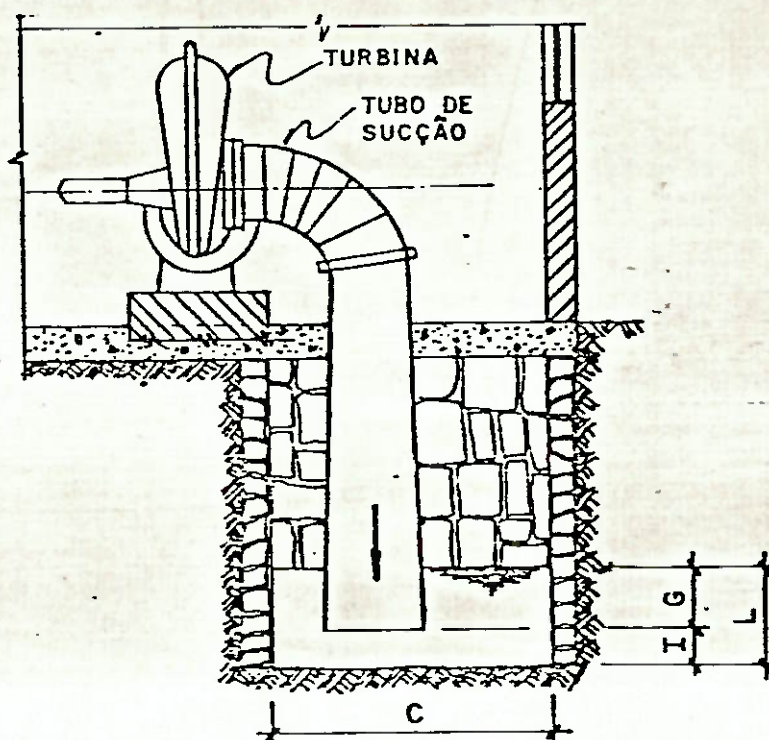
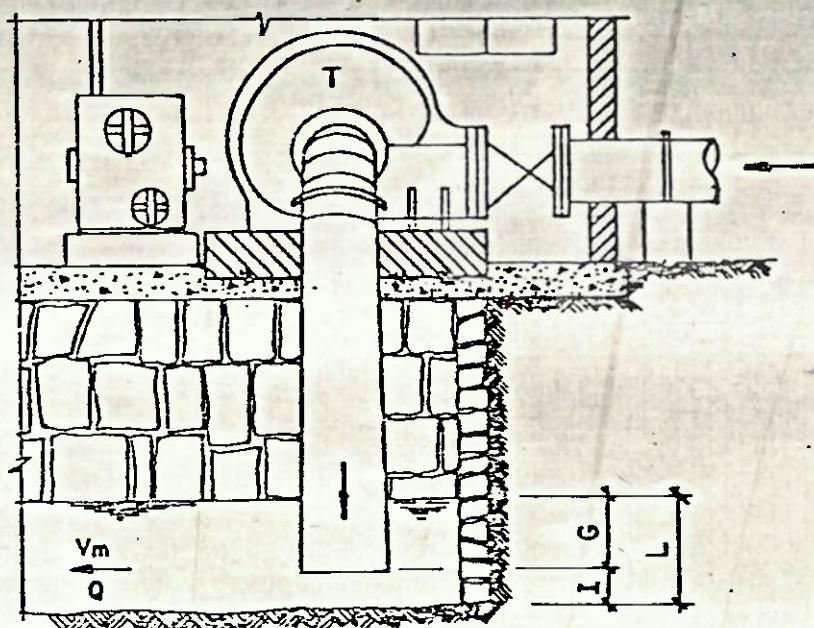
A figura a seguir, mostra as principais características de um canal de fuga.

Quanto ao alargamento citado atrás, devemos ter no trecho próximo ao rio:

$$\text{largura} \geq 2 \cdot C$$

onde C é a largura original do canal.

CANAL DE FUGA



DESCARGA Q (m^3/s)	QUEDA H (m)	CANAL DE FUGA				
		V_m (m/s)	G (m)	I (m)	L (m)	C (m)
0,1 a 4,0	$0 < H \leq 70$	$V_m \leq 1,00$	0,40	$I \geq 1,20$	$L \geq 1,60$	$C \geq 2,50$
4,1 a 12,0		$V_m \leq 1,67$	0,60	$I \geq 1,80$	$L \geq 2,40$	$C \geq 3,00$
12,1 a 20,0		$V_m \leq 2,00$	0,80	$I \geq 2,20$	$L \geq 3,00$	$C \geq 3,30$

4.2.5 BARRAGEM E VERTEDOURO - NOÇÕES

BARRAGEM

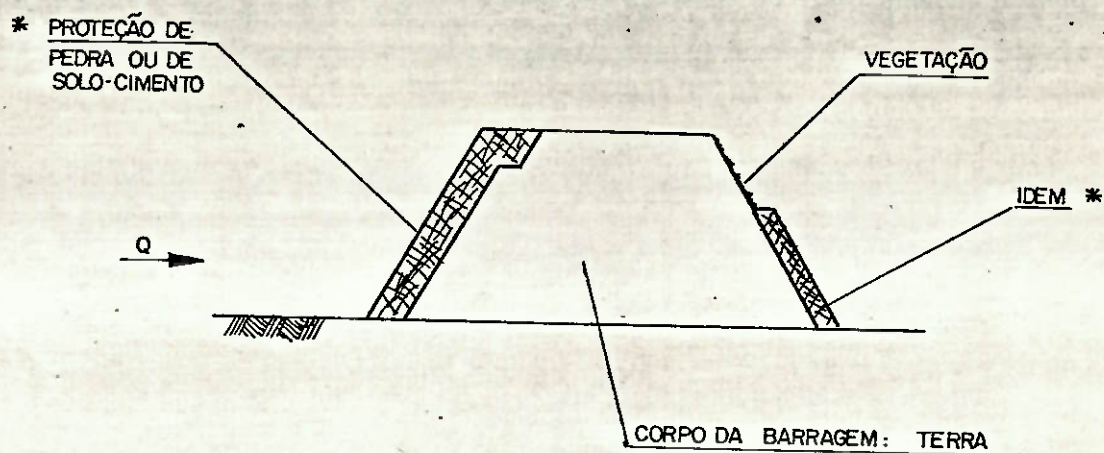
Existem dois tipos de barragem:

- Barragem destinada a elevar o nível das águas somente para permitir o afogamento da tomada d' água. Neste caso, as suas dimensões são pequenas e a queda bruta é proveniente das características geológicas do rio.
- Barragem destinada a criar uma queda que permita produzir a energia desejada. Neste outro caso, a barragem tem altura maior pois o desnível necessário é criado pela estrutura, já que são utilizados trechos praticamente planos do rio.

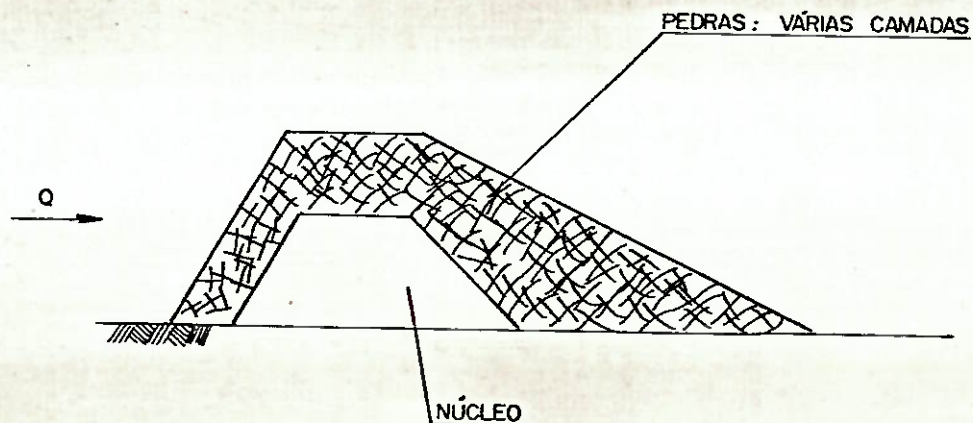
Visando obter baixo custo de implantação, foram desenvolvidas várias formas construtivas para ambos os tipos de barragem acima especificados.

Barragem de terra

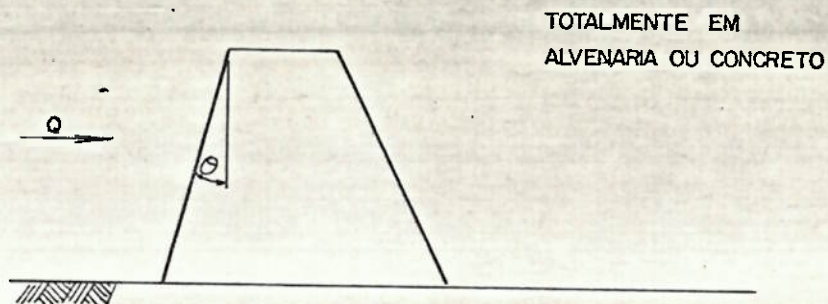
Apropriada para locais onde haja bastante solo argiloso ou arenoso. O seu corpo é composto de terra sendo os taludes cobertos com pedras ou com uma camada de solo-cimento (massa proveniente da mistura de solo com 6 a 10 % de peso em cimento).

BARRAGEM DE TERRAVISTA LATERALBarragem de enrocamento

Semelhante ao tipo anterior, com um núcleo de solo argiloso, arenoso ou mesmo - areia de menores dimensões, sendo totalmente revestida por pedras.

BARRAGEM DE ENROCAMENTO

Barragem de alvenaria ou de concreto



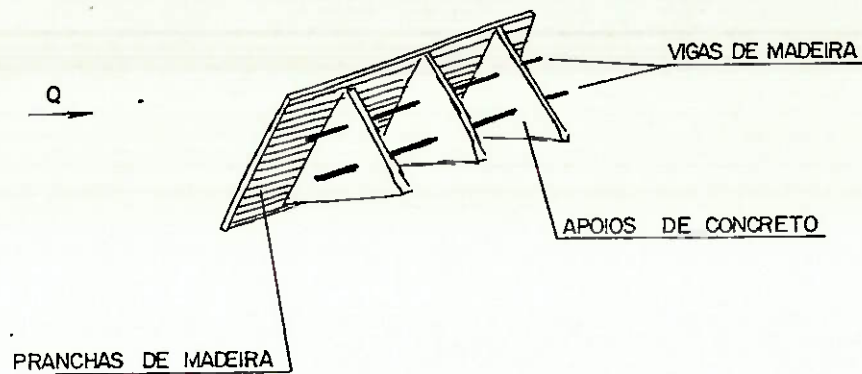
NO CASO DE ALVENARIA : $\theta = 0^\circ$

Barragem de madeira

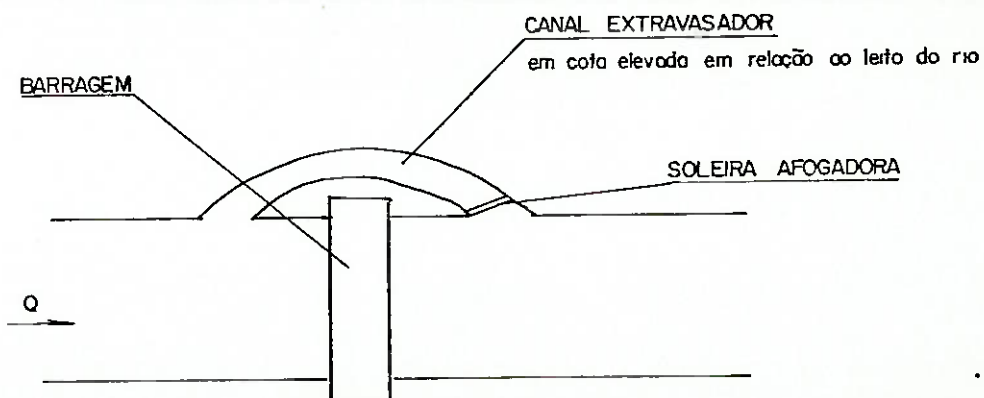
Sua estrutura é totalmente de madeira apresentando como principal desvantagem o fato de sua vida útil não superar, em média, 15 anos.

Barragem tipo Ambursen

Construída totalmente em madeira e concreto.

BARRAGEM AMBURSENVERTEDOIRO

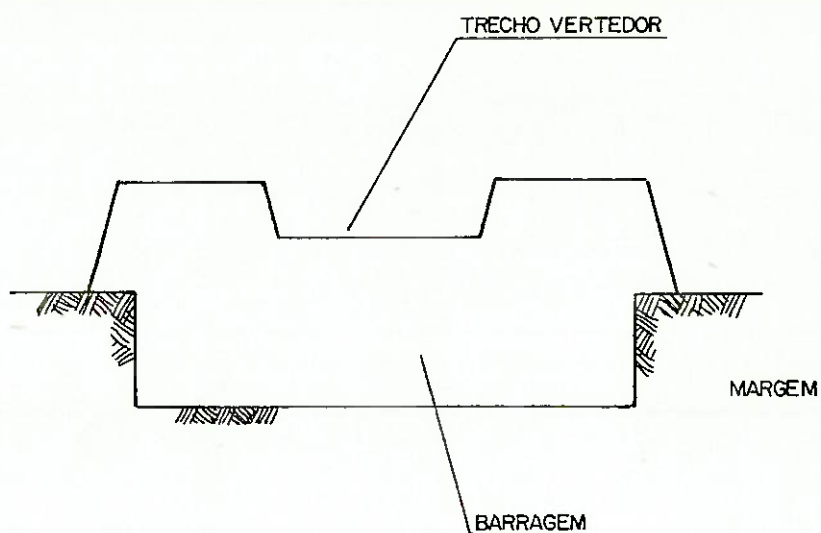
De um modo geral, temos dois tipos básicos de solução para o extravasamento de excesso de água afluente:

Extravasamento por um canal lateralVISTA SUPERIOR

Extravasamento por sobre a barragem

Neste caso, opta-se por criar na própria barragem trechos de vertedouro, geralmente na região central.

As barragens de terra não se prestam para este tipo de extravasamento.



VISTA FRONTAL

5. EXEMPLO NUMÉRICO REFERENTE AO CAPÍTULO 4

5.1 INTRODUÇÃO

Vamos desenvolver agora um exemplo numérico envolvendo a metodologia de cálculo apresentada no capítulo 4 (Pequenas Centrais).

Conforme já dissemos, escolhemos as Pequenas Centrais como alvo de um exemplo numérico, devido ao fato deste tipo de solução se apresentar de forma mais viável a nível de aplicação nacional.

5.1.1 DADOS INICIAIS

Adotemos os seguintes dados de projeto:

$$H = 25 \text{ m}$$

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

onde: H = queda bruta

Q = vazão de projeto

5.2 SISTEMA DE ADUÇÃO

Vamos adotar neste exemplo o seguinte arranjo para o sistema de adução:

- Tomada d' água
- Canal de adução

- Câmara de carga
- Tubulação forçada

Desta forma, abrangemos todos os possíveis elementos que o sistema de adução - pode conter.

5.2.1 Tomada d' água

Conforme estudo da Eletrobrás, a tomada d' água pode ser dimensionada através das figuras e tabelas apresentadas no item 4.2.1 , bastando para isso possuírmos a vazão de projeto.

Desta forma, uma vez definido que a tomada d' água será do tipo TC e tendo -se $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, não existem maiores dificuldades em se entrar nas tabelas correspondentes, obtendo-se as dimensões principais da estrutura.

5.2.2 Canal de adução

Construiremos, por hipótese, um canal de concreto sem revestimento especial, ou seja, acabamento em concreto áspero.

Das tabelas (página 37) obtemos:

$m = 0 \text{ a } 0,5$ adotaremos $m = 0,5$

$K = 60$

Adotemos inicialmente: $b = 2,0 \text{ m}$ (sabemos que $b \geq 0,8 \text{ m}$)

Seguindo-se o esquema de cálculo apresentado no item 4.2.1 (página 35), temos:

da tabela de valores de C_1 (página 38), para $b = 2 \text{ m}$ e $K = 60$

obtemos: $C_1 = 7,6195$

como $C_2 = Q / C_1$ temos $C_2 = 1,3124$

entrando-se com m e C_2 na tabela de valores de h/b (página 42) e interpolando linearmente obtemos:

$$h/b = 0,73 \text{ ou seja } h = 1,46 \text{ m}$$

Agora verificaremos a velocidade de escoamento da água pelo canal:

$$V = \frac{Q}{h \cdot (b+m \cdot h)} = 2,51 \text{ m/s}$$

Consultando-se as tabelas de velocidades admissíveis (páginas 43 e 44) e supondo-se que o acabamento em concreto áspero seja similar a um revestimento de cascalho grosso, temos:

$$V_{adm} = 1,1 \cdot 1,8 \text{ a } 1,1 \cdot 2,4$$

onde o fator multiplicativo 1,1 corresponde à correção para lâmina d' água diferente de 1 m (no caso 1,46 m).

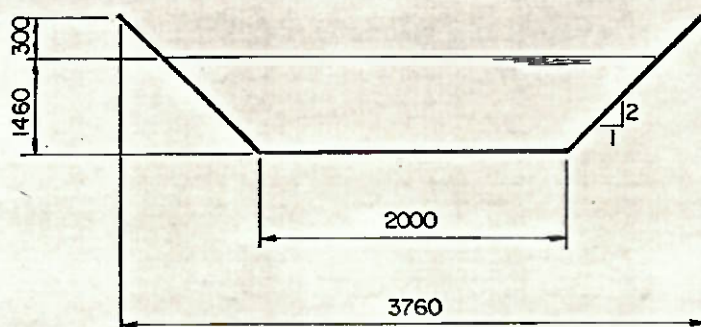
$$V_{adm} = 1,98 \text{ a } 2,64 \text{ m/s}$$

ou seja, a velocidade está dentro da faixa admissível.

Convém ressaltar que, caso não tivessemos obtido uma velocidade dentro da faixa admissível, teríamos que proceder a um novo cálculo com duas possibilidades de variação:

- alteração do valor inicial de b
- modificação do revestimento do canal (novo valor de K)

O canal de adução ficou com o seguinte perfil:



No seu trajeto, o canal não apresenta sinuosidades, sendo portanto retilíneo e apresentando uma queda (declividade) conforme os valores recomendados: 4 mm em cada 10 m de extensão.

Com relação ao seu comprimento, adotaremos como sendo de 40 m .

5.2.3 Câmara de carga

A câmara de carga apresenta as características descritas no item 4.2.1 (página 45). Por se tratar de queda superior a 10 m então teremos uma tomada d' água tipo TP com um alargamento na junção entre o canal de adução e a tomada d' água propriamente dita.

5.2.4 Tubulação forçada

O diâmetro da tubulação forçada é dado por:

$$D_e = 127 \cdot (Q^3 / H_t)^{1/7} \approx 127 \cdot (Q^3 / 1,2 H)^{1/7}$$

Substituindo-se os valores de Q e H obtemos: $D = 2,1 \text{ m}$

O que corresponde a uma velocidade no interior da tubulação:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = 2,9 \text{ m/s}$$

ou seja, dentro do admissível que é $V \leq 5 \text{ m/s}$ (página 48)

É aconselhável neste ponto, verificar a perda de carga distribuída ao longo da tubulação forçada, a qual não deve exceder 5% da queda bruta.

Vejamos então:

$$h_a = j \cdot L$$

$$J = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87}$$

no caso adotemos $L = 25 \text{ m}$ (comprimento da tubulação forçada)

$C = 130$ (tubulação de ferro fundido, nova - páginas 74 e 75)

Obtemos então: $J = 0,0136 \text{ m/m}$

$$h_a = 0,34 \text{ m}$$

O que corresponde a 1,36 % da queda bruta, compatível.

Passemos agora ao próximo passo: verificação do golpe de ariete pelo método de Allievi.

$$\frac{\rho}{\theta} = \frac{V.L}{g.H.t}$$

no caso: $V = 2,9 \text{ m/s}$ (velocidade da água na tubulação forçada)

$L = 25 \text{ m}$ (comprimento da tubulação forçada)

$H = 25 \text{ m}$ (queda bruta)

$t = 6 \text{ s}$ (tempo de fechamento da válvula de controle)

Portanto: $\rho / \theta = 0,049$

Do gráfico de sobrepressão (página 51) obtemos $Z^2 = 1,055$

Do gráfico de depressão (página 52) obtemos $Z^2 = 0,92$

Ou seja, $h_s = (Z^2 - 1) \cdot H$

$$h_s = 0,055 \cdot H \quad (\text{sobrepressão})$$

$$h_s = -0,08 \cdot H \quad (\text{depressão})$$

dentro do especificado: $|h_s| \leq 0,35 \cdot H$

garantindo o dimensionamento da tubulação forçada já realizado.

Para finalizar, resta calcular a espessura da parede da tubulação forçada:

$$P_i = H + h_s = 1,055 \cdot H = 24,6 \text{ mca} = 2,64 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$D = 210 \text{ cm}$$

Utilizando a formula:

$$e = \frac{p_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_{adm} \cdot k_f} + e_s$$

onde: $e_s = 1 \text{ mm}$ (sobremetal para corrosão)

$$\sigma_{adm} = 1400 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$k_f = 0,8$$

obtemos: $e = 3,5 \text{ mm}$

Por outro lado, utilizando-se a equação de verificação:

$$e_{min} = \frac{D + 508}{400}$$

obtemos: $e_{min} = 6,52 \text{ mm}$

Como $e_{min} > 6,35 \text{ mm}$ (mínimo permissível), então a espessura da tubulação forçada será: $e = 6,52 \text{ mm}$

5.2.5 Chaminé de equilíbrio

Como $L / H < 5$, conforme vimos na página 54, então não há necessidade de uma chaminé de equilíbrio, que teria como função aliviar o golpe de ariete, complementando o trabalho da câmara de carga.

5.3 CANAL DE FUGA

Também neste caso, a Eletrobrás tabelou as principais características do canal de fuga em função da vazão de projeto, conforme descrito no item 4.2.4 .

5.4 OBSERVAÇÃO

Até este ponto definimos basicamente todo o sistema de adução de água. Agora - vamos calcular as principais perdas de carga existentes ao longo deste sistema para podermos, então, selecionar a turbina hidráulica mais adequada.

Neste ponto, já teríamos também condições de optar por um dos diversos tipos - de barragem e por um tipo de vertedouro. Esta seria uma decisão baseada nas características geográficas do local e também nos materiais de construção disponíveis no local da construção da barragem.

Como este tipo de aprofundamento foge ao escopo deste exemplo numérico, preferimos omiti-lo.

5.5 PERDAS DE CARGA

5.5.1 Perda de carga inicial

Esta perda ocorre na captação das águas, sendo do tipo singular:

$$h = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

no caso: $V = 2,5 \text{ m/s}$ (velocidade no canal de adução)

$K = 0,1$ (adotado)

portanto: $h = 3,19 \times 10^{-2} \text{ m}$

5.5.2 Perda de carga nas grades da tomada d' água

Utilizando-se a expressão:

$$h_g = K_g \cdot (e_1 / e_2)^{4/3} \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v_g^2}{2g}$$

para: $K_g = 1,79$ (barras redondas)

$e_1 = 15 \text{ mm}$ (barras redondas)

$e_2 = 45 \text{ mm}$ (barras redondas)

$\alpha = 75^\circ$ (inclinação das grades)

$v_g \cong v = 2,5 \text{ m/s}$ (velocidade da água nas grades, idêntica à velocidade da água no canal de adução)

obtemos: $h_g = 0,127 \text{ m}$

5.5.3 Perda de carga no canal de adução

Conforme já vimos

$$h_a = J \cdot L$$

$$J = f(R_h, V, n)$$

temos: $L = 40 \text{ m}$ (comprimento do canal de adução)

$R_h = h \cdot (b + m \cdot h) / (b + 2 \cdot h \cdot (1 + m^2)^{1/2})$ (raio hidráulico do canal)

$V = 2,5 \text{ m/s}$ (velocidade da água no canal de adução)

Com os valores obtidos no item 5.2.2 temos: $R_h = 0,757 \text{ m}$

Da tabela de valores de n (página 59), podemos obter este fator em função das características do canal. No caso $n = 0,011$.

Portanto, partindo-se dos valores de V , R_h e n , conseguimos do gráfico de determinação de J (página 62):

$$J = 0,9 \text{ m/Km}$$

$$h_a = 3,6 \times 10^{-2} \text{ m}$$

5.5.4 Perda de carga distribuída na tubulação forçada

Conforme já calculamos no item 5.2.4: $h_a = 0,34 \text{ m}$

5.5.5 Perda de carga na entrada da tubulação forçada

Será do tipo singular.

No caso, o coeficiente K deve levar em consideração que teremos uma perturbação na zona de transição entre a câmara de carga e a tubulação forçada.

Consideremos $K = 0,3$

No caso $V = 2,9 \text{ m/s}$ (velocidade da água na tubulação forçada)

Obtemos: $h = 0,1287 \text{ m}$

5.5.6 Perda de carga em curvas na tubulação forçada

Serão do tipo singular.

Vamos considerar duas curvas de $22,5^\circ$, ou seja $K = 0,1$.

A perda será:
$$h = \frac{v^2}{2g}$$

E considerando as duas curvas obtemos: $h = 8,58 \times 10^{-2} \text{ m}$

5.6 BALANÇO FINAL DAS PERDAS DE CARGA

Desprezando-se outros tipos de perda de carga que serão considerados globalmente sob a forma de um acréscimo porcentual, estamos aptos a calcular a perda de carga total do sistema de adução.

Somando-se as parcelas obtidas nos itens anteriores, obtemos:

$$\sum h = 0,7494 \text{ m}$$

Adicionando-se 10 %, correspondentes a perdas diversas, teremos:

$$\sum h = 0,824 \text{ m}$$

5.7 POTÊNCIA INSTALADA

$$N = 9,81 \cdot Q \cdot H_L \cdot \eta_t \cdot \eta_g$$

adotando-se: $\eta_t = 0,80$

$$\eta_g = 0,95$$

e como: $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

$$H_L = H - \sum h = 24,176 \text{ m}$$

obtemos $N = 1800 \text{ KW}$

5.8 SELEÇÃO DA TURBINA

Com os valores de Q e de H_L e o auxílio do gráfico (página 77), podemos obter, a priori, o tipo de turbina mais indicado para o nosso projeto.

No nosso caso, por coincidência, caímos na zona de transição entre a turbina - Francis Espiral e a turbina Kaplan ou Hélice.

Restaria agora, através da consulta a fabricantes, definir qual o tipo mais - apropriado, levando em conta fatores de ordem técnica (instalação, manutenção, ausência de cavitação, etc.) e de ordem econômica (custo de instalação, custo de manutenção, etc.).

5.8.1 Dimensões da turbina

Apenas para termos uma idéia sobre as dimensões das possíveis turbinas, calcularemos o diâmetro do rotor para ambos os casos:

Kaplan/Hélice : $D = 1,27 \text{ m}$ (fórmula da página 86)

Francis : $D = 1,45 \text{ m}$ (fórmula da página 82)

6. NOÇÕES SOBRE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Já que o objetivo principal de uma usina hidroelétrica é prover (ou melhorar) o suprimento de energia elétrica em uma determinada região, faz-se necessário o prévio conhecimento da carga a ser suprida.

Deste modo, no início do projeto é importante o conhecimento das características do mercado consumidor, ou seja, o consumo (KWh) e a carga em demanda (KW).

De uma forma geral, pode-se dizer que o consumo de energia do mercado relaciona-se com a energia produzida na usina assim como a carga solicitada pelo mercado num dado instante relaciona-se com a potência gerada na usina neste mesmo instante.

Deve-se ainda notar que existem perdas de potência entre a usina e o mercado consumidor, desta forma, a energia produzida e o consumo não serão iguais.

Curvas de carga / Fator de carga

Vejamos inicialmente alguns comentários sobre curvas de carga e fator de carga.

Para a análise do mercado consumidor é importante que se conheça a variação cronológica da demanda. Para isso, traça-se um gráfico no qual, no eixo das abcissas estão representados os períodos de tempo e no eixo das ordenadas a carga requerida pelo mercado consumidor a cada instante.

As assim chamadas curvas de carga tipificam o consumidor, podendo ser traçadas para qualquer intervalo de tempo que se deseje, inclusive períodos longos, onde podem ser analisados os comportamentos sazonais, de acordo com as estações do ano.

Para atender o mercado deve-se sempre ter presente a preocupação da economicidade do sistema, buscando-se obter a máxima utilização dos investimentos realizados. Desta forma, são definidos vários fatores com o intuito de analisar o comportamento da demanda.

O mais importante fator é o de carga, definido como a relação entre a carga média e a carga máxima, num determinado período de tempo.

$$F_c = \frac{D \text{ médio}}{D \text{ máx}}$$

Ou seja, o fator de carga mede o grau de variação da carga no período de tempo, ou ainda, expressa a relação entre a produção real (efetiva) e a produção que resultaria se a potência máxima fosse mantida durante o período considerado.

O objetivo primordial de quem projeta a implantação ou a operação de uma usina é a otimização do fator de carga, ou seja, a melhor utilização do capital aplicado.

É inviável ter-se uma grande capacidade instalada sendo que normalmente se utiliza apenas uma pequena parcela da energia disponível.

Caracterização do mercado

Os estudos de demanda envolvem principalmente a caracterização da região consumidora, ou seja, visa obter dados e informações mediante as quais se possa avaliar a potência de geração necessária.

A obtenção dessas informações, quando não existe nenhum dado prévio, é feita através de um levantamento global que deve necessariamente envolver:

1. Pesquisa de todos os tipos de carga: residencial, industrial, iluminação pública, agropecuária, etc.
2. Levantamento da quantidade e capacidade dos pontos de iluminação e de todos os aparelhos e equipamentos elétricos, incluindo seus períodos de utilização diária.
3. Estudo do crescimento anual da carga, com o objetivo de estabelecer o valor da potência a ser instalada (a qual deve atender a demanda durante o período de tempo estipulado).

Com os dados recolhidos podemos então estabelecer a curva diária típica e avaliar o fator de carga do sistema consumidor, conforme descrito atrás.

Vejamos, então, como levantar os dados relativos a consumo:

CONSUMO RESIDENCIAL

Um método prático é a determinação (ou melhor, a estimativa) do consumo por residência.

Deste modo, partindo-se das características do local, podemos determinar o consumo médio de cada residência, levando-se em conta aparelhos eletrodomésticos, iluminação, etc.

Neste caso, tomaríamos como base a família típica (padrão) do local (retirado do censo regional) ou, caso a localidade fosse pequena, poder-se-ia optar por um levantamento casa a casa.

CONSUMO INDUSTRIAL

Deve-se observar cada caso individualmente: é necessário fazer um levantamento dos equipamentos elétricos e seus prováveis períodos de uso, para cada uma das indústrias existentes ou a serem implantadas.

Também, neste caso, não se deve esquecer da iluminação nem dos demais aparelhos elétricos existentes numa indústria e que não estão diretamente relacionados com a atividade industrial (ar condicionado, bombas, etc.).

ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Conforme os tipos de ruas, avenidas, etc. define-se a iluminação necessária e o respectivo consumo, estimando-se um período de utilização diária de 12 horas, ou seja, das 18 às 6 horas.

CONSUMOS DIVERSOS

Outras fontes de consumo de energia elétrica devem ser pesquisadas, tais como:

atividades agropecuárias

comércio

atividades de fundo social (associações, estádios, etc.)

outras

Neste caso, o levantamento a ser realizado deve ser idêntico ao do consumo industrial, ou seja, de forma individualizada.

SISTEMAS CONSUMIDORES VARIÁVEIS

Em certos centros consumidores pode ocorrer o fenômeno de oscilação de consumo ao longo do ano, ou seja, em certos períodos o consumo ser mais elevado que em outros (por exemplo, em áreas agrícolas, a época de safras exige maior demanda de energia elétrica).

Nestes casos, deve-se determinar a curva de carga diária típica para cada um dos períodos e escolher a curva que exigir maior potência instalada, como sendo a curva representativa do sistema.

Dimensionamento final

Finalmente, após se determinar os valores de consumo e de ponta, é necessário acrescentar as perdas.

Uma forma prática é assumir para as perdas de distribuição de uma cidade, ou mesmo nos circuitos internos de uma fazenda, o valor de 5 %, uma estimativa razoável tanto para a demanda como para o pico de consumo (demanda máxima).

Pode-se, ainda, desprezar as perdas de transformação, porém deve-se considerar as perdas de transmissão, caso exista, e que devem ser estimadas pelas fórmulas:

$$P_p = \frac{L \cdot R \cdot N^2}{V^2}$$

$$P_e = 8760 \cdot P_p \cdot F_p$$

onde: L = comprimento da linha (km)

R = resistência do condutor (Ω/m)

N = demanda máxima anual (MVA)

V = tensão (KV)

F_p = fator de perdas

$$F_p = 0,2 \cdot F_c + 0,8 \cdot F_c^2$$

onde: F_c = fator de carga anual

Portanto, de posse dos valores de consumo e ponta e de suas respectivas perdas podemos calcular o consumo real e a carga máxima efetiva do mercado consumidor. Estando pois aptos a iniciar nosso projeto de usina hidroelétrica.

Exemplo numérico

Consideremos uma pequena cidade interiorana, 5000 habitantes, não abastecida - por energia elétrica, onde a família típica tem 7 pessoas e as residências possuem, em média, 6 cômodos e área de serviço.

Consideremos, ainda, a futura instalação de uma pequena indústria.

I CONSUMO RESIDENCIAL

Iluminação

Lâmpadas no teto: 7 x 60 W = 420 W

Lâmpadas de mesa: 2 x 100 W = 200 W

Período de utilização: das 18 às 24 horas (6 horas)

Fator de utilização: 50 %

Consumo diário por residência: 50 % de 620 W x 6 h = 1860 Wh/dia

Aparelhos elétricos:

APARELHO	POT. (W)	HORÁRIO DE FUNCIONAM.	PERÍODO UTILIZ. (h)	FATOR UTILIZ.	CONSUMO (Wh/dia)
máquina costura	90	16 - 19	3	50 %	135
ferro	500	14 - 16	2	100 %	1000
ventilador	60	15 - 23	8	50 %	240
televisão	200	15 - 23	8	100 %	1600

CONTINUA

CONTINUAÇÃO

rádio	50	6 - 18	12	50 %	300
geladeira	125	interm.	24	25 % (*)	750
outros (**)	1000	16 - 21	5	50 %	2500

(*) neste caso, considerou-se que uma geladeira funciona em média 30 minutos em horas alternadas.

(**) secador de cabelo, chuveiro, liquidificador, etc..

Da tabela acima, o consumo diário por residência será: 6525 Wh/dia

Observação: Logicamente, os valores aqui adotados para período de utilização e fator de utilização, podem ser alterados, baseando-se na experiência pessoal e também nas características da região (características socio-econômicas).

O fator de utilização leva em consideração o fato de que nem sempre, isto é, todos os dias, é consumido o total estimado, nem tão pouco, simultaneamente em todas as residências.

Com os dados atrás estimados e de posse do número total de habitantes, podemos calcular o consumo residencial total:

Consumo residencial: $1860 + 6525 = 8385 \text{ Wh/dia}$

Consumo por habitante: $8385 / 7 = 1198 \text{ Wh/dia} = 1,2 \text{ KWh/dia}$

Consumo residencial total: $1,2 \cdot 5000 = 6000 \text{ KWh/dia}$

II CONSUMO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Supondo-se 500 pontos de iluminação, cada um com uma capacidade de 125 W, e considerando-se, conforme já foi citado, 12 horas de funcionamento (das 18 às 6 horas), obtemos:

Consumo de iluminação: $125 \cdot 12 \cdot 500 = 750000 \text{ Wh/dia} = 750 \text{ KWh/dia}$

III CONSUMO INDUSTRIAL

Suponhamos, por hipótese, que venha a ser instalada uma indústria na região, com uma capacidade de 2000 KW que operará no horário das 8 às 12 e das 13 às 17 horas, sendo portanto o horário das 12 às 13 horas reservado para almoço.

Neste caso, teremos um consumo industrial de 16800 KWh/dia

Considerando-se as sobrecargas de partida dos equipamentos elétricos, conforme citado na observação da tabela de consumo horário.

IV CONSUMOS DIVERSOS

Consideremos, por simplicidade, que não hajam outros pontos consumidores de energia elétrica, nem tão pouco qualquer tipo de oscilação de consumo ao longo do ano.

V TABELA DE CONSUMO

Com todos os dados levantados até aqui, podemos montar a tabela de consumo horário e também a curva de carga da instalação, em anexo.

Para a montagem da tabela considerou-se o consumo em cada horário, de todos os pontos consumidores.

VI DETERMINAÇÃO DO FATOR DE CARGA

O consumo diário total será: 23550 KWh

Demanda horária média: $23550 / 24 = 981 \text{ KW}$

Demanda máxima: 2571,2 KW (às 16 horas, retirado da tabela de consumo)

Fator de carga: $\frac{981}{2571,2} = 38,2 \%$

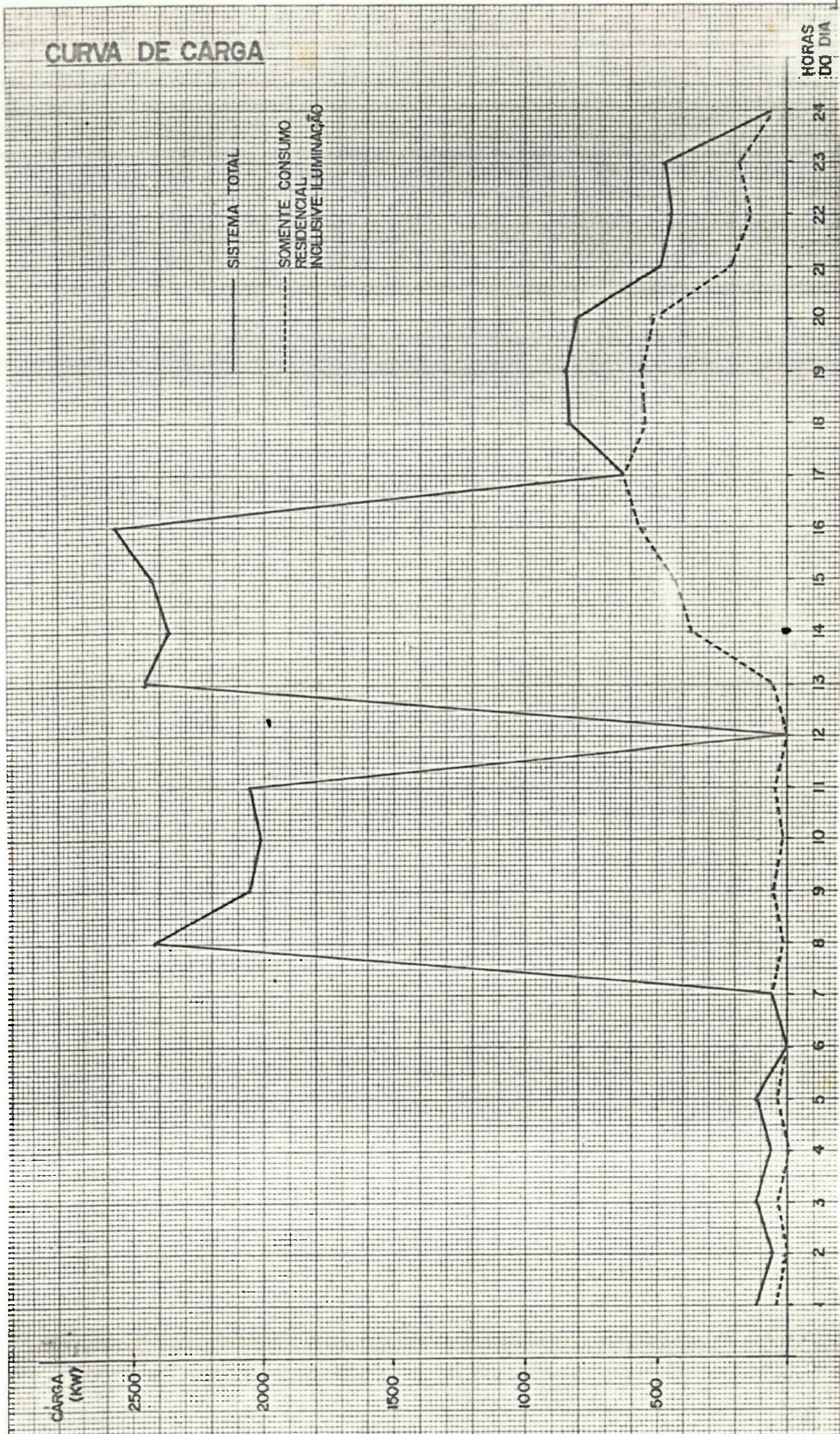
Notamos que, se não existisse a indústria, o pico de consumo seria às 19 horas, o que é previsível. Também neste caso, teríamos um fator de utilização mais elevado.

TABELA DE CONSUMO HÓRARIO

HORÁRIO	CONSUMO RESIDENCIAL EXCETO ILUMINAÇÃO KW	CONSUMO ILUMINAÇÃO PÚBLICA E RESIDENCIAL KW	CONSUMO INDUSTRIAL KW	CONSUMO TOTAL KW
1	44,6	62,5		107,1
2		62,5		62,5
3	44,6	62,5		107,1
4		62,5		62,5
5	44,6	62,5		107,1
6	17,9			17,9
7	62,5			62,5
8	17,9		2400 (*)	2417,9
9	62,5		2000	2062,5
10	17,9		2000	2017,9
11	62,5		2000	2062,5
12	17,9			17,9
13	62,5		2400 (*)	2462,5
14	374,9		2000	2374,9
15	440,9		2000	2440,9
16	571,2		2000	2571,2
17	615,8			615,8
18	553,3	283,8		837,1
19	565,8	283,8		849,6
20	521,2	283,8		805,0
21	208,8	283,8		492,6
22	164,2	283,8		448,0
23	187,4	283,8		471,2
24		62,5		62,5
TOTAL DIÁRIO —	4658,9	2077,8	16800	23550

(*) Nestes pontos considerou-se a partida de motores elétricos, com uma sobrecarga de 20 % (início de trabalho).

CURVA DE CARGA



POTÊNCIA DE APARELHOS ELETRODOMÉSTICOS

APARELHO	POTÊNCIA (W)
Máquina de costura	90
Conjunto toca-disco / rádio	120
Liquidificador	200
Ferro de engomar	500
Ar condicionado	750 a 1800
Chuveiro	2500
Aquecedor	1500
Ventilador	60
Secador de cabelo	280
Batedeira	70
Televisão	200
Máquina de lavar roupa	500
Enceradeira	300
Torradeira	1000
Geladeira	125
Aspirador de pó	200
Rádio	50

BIBLIOGRAFIA

1. "Bombas"
Máquinas Hidráulicas - fascículo 1 EPUSP
2. "Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas"
MME - ELETROBRÁS - DNAEE
3. "Metodologia Sintética Para El Calculo Y Especificacion Preliminar De
Microcentrales Hidroelectricas"
OLADE = Organizacion Latino Americana de Energia
4. "Mini Centrais"
Indústria Elétrica Brown Boveri SA
5. "Turbinas"
Máquinas Hidráulicas - fascículo 3 EPUSP
6. "Turbina Banki"
Notas de aula - Prof. Edmundo Koelle
7. "Turbinas Para Baixas Quedas D' Água"
Trabalho de formatura - EPUSP 1977
8. "Water Power Development"
Vol I - Low Head Power Plants
Emil Mosonyi

ÍNDICE

1. Apresentação	1
2. Discussão Preliminar	2
3. Turbinas Tubulares / Bulbo	3
3.1 Introdução	3
3.2 Turbina Bulbo	3
3.3 Pré-Projeto	9
3.3.1 Turbina	9
3.3.2 Características da Instalação	13
3.3.3 Multiplicador de Velocidades	15
3.3.4 Bulbo	16
3.3.5 Alternador	16
3.3.6 Perdas na Sucção	17
3.3.7 Cavitação	18
3.4 Considerações Finais	19
3.4.1 Regulagem	19
3.4.2 Reversibilidade	19
3.4.3 Resfriamento	19
3.4.4 Vantagens	20
4. Pequenas Centrais / Turbinas Convencionais	21
4.1 Introdução	21
4.2 Pré-Projeto / Dimensionamento	23
4.2.1 Sistema de Adução	23
Tomada d' Água	23
Canal de Adução	34
Câmara de Carga	45
Tubulação Forçada	47

4.2.2 Determinação Final da Queda Líquida e da Potência Instalada	55
Perda Inicial	55
Perda nas Grades da Tomada d' Água	56
Perda no Canal de Adução	57
Perdas na Tubulação Forçada	71
4.2.3 Seleção da Turbina Hidráulica	76
Turbina Pelton	78
Turbina Francis	81
Turbina Banki	82
Turbina Kaplan	86
Turbina Hélice	86
Turbina Tubular	88
4.2.4 Canal de Fuga	88
4.2.5 Barragem e Vertedouro - Noções	90
Barragem de Terra	90
Barragem de Enrocamento	91
Barragem de Alvenaria ou Concreto	92
Barragem de Madeira	92
Barragem Tipo Ambursen	92
Vertedouro	93
5. Exemplo Numérico Referente ao Capítulo 4	95
5.1 Introdução	95
5.1.1 Dados Iniciais	95
5.2 Sistema de adução	95
5.2.1 Tomada d' Água	96
5.2.2 Canal de Adução	96
5.2.3 Câmara de Carga	98
5.2.4 Tubulação Forçada	99

5.2.5 Chaminé de Equilíbrio	101
5.3 Canal de Fuga	101
5.4 Observação	102
5.5 Perdas de carga	102
5.5.1 Perda de Carga Inicial	102
5.5.2 Perda de Carga nas Grades da Tomada d' Água	103
5.5.3 Perda de Carga no Canal de Adução	103
5.5.4 Perda de Carga Distribuída na Tubulação Forçada	104
5.5.5 Perda de Carga na Entrada da Tubulação Forçada	104
5.5.6 Perda de Carga em Curvas da Tubulação Forçada	105
5.6 Balanço Final das Perdas de Carga	105
5.7 Potência Instalada	105
5.8 Seleção da Turbina	106
5.8.1 Dimensões da Turbina	106
6. Noções Sobre Demanda de Energia Elétrica	107
Curvas de Carga / Fator de Carga	107
Caracterização do Mercado	108
Dimensionamento Final	111
Exemplo Numérico	113
Bibliografia	120

TF-84
C837p

Couto, Luís Filipe D.M.B
Pequenas Usinas Hidroelétricas; orientador
Professor Sérgio Roberto Ceccato.
São Paulo, EPUSP, 1984.
123p. ilus. graf. tab. 30cm.

Bibliografia no final do TF