

M M E

ELETROBRÁS

D.N.A.E.E.

**MANUAL DE
MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

ELETROBRÁS
Departamento de Engenharia Técnica - DOTE
R.D.T. - 26403
DATA - 05-29-86
REF: 2.3

JUNHO 1985

MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS

SUMÁRIO ANALÍTICO

	<u>Página</u>
1. <u>INTRODUÇÃO</u> -----	1
2. <u>ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO</u> -----	4
2.1 <u>Objetivo</u> -----	4
2.2 <u>Parâmetros</u> -----	4
2.3 <u>Metodologia</u> -----	4
3. <u>METODOLOGIA E ROTEIRO DE PROJETO</u> -----	11
3.1 <u>Metodologia</u> -----	11
3.2 <u>Roteiro de Projeto</u> -----	12
4. <u>ESTUDOS INICIAIS E TRABALHOS DE CAMPO</u> -----	15
4.1 <u>Arranjos Típicos</u> -----	16
4.2 <u>Topografia e Dados Cartográficos</u> -----	30
4.2.1 <u>Topografia</u> -----	30
4.2.1.1 <u>Levantamentos Topográficos Expeditos</u> -----	30
4.2.1.2 <u>Levantamento Topográfico com Instrumentos</u> -----	32
4.2.2 <u>Dados Cartográficos</u> -----	35
4.3 <u>Hidrologia</u> -----	36
4.3.1 <u>Objetivo</u> -----	36
4.3.2 <u>Vazão de Projeto da (s) Turbina (s) - Avaliação Expedita</u> -----	36
4.3.3 <u>Nível D'Água de Desvio do Rio</u> -----	36
4.3.4 <u>Vazão de Cheia Máxima</u> -----	38
4.3.5 <u>Medições Expeditas de Vazão de Um Curso D'Água</u> -----	40

	<u>Página</u>
4.4	<u>Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno</u> ----- 46
4.4.1	Generalidades ----- 46
4.4.2	• Prospecções Geológicas Expeditas ----- 46
4.4.3	Investigações Geológicas com Equipamentos ----- 47
4.4.4	Materiais Naturais de Construção ----- 47
4.4.5	Caracterização Expedita de Materiais Construtivos e de Fundações ----- 49
4.4.5.1	Identificação Classificação e Descrição dos Materiais Construtivos ----- 49
4.4.5.2	Propriedades dos Materiais Construtivos - Definição e Identificação Táctil Visual ----- 50
4.4.5.3	Fundações ----- 53
4.4.6	Investigações com Furos a Trado ----- 55
4.4.6.1	Utilização ----- 55
4.4.6.2	Equipamentos e Materiais ----- 55
4.4.6.3	Identificação dos Furos ----- 56
4.4.6.4	Execução e Amostragem ----- 56
4.4.7	Poços de Inspeção ----- 58
4.4.7.1	Utilização ----- 58
4.4.7.2	Equipamentos e Materiais ----- 58
4.4.7.3	Identificação dos Poços ----- 58
4.4.7.4	Execução e Amostragem ----- 58
4.4.8	Trincheiras ----- 59
4.4.8.1	Utilização ----- 59
4.4.8.2	Equipamentos e Materiais ----- 59
4.4.8.3	Identificação das Trincheiras ----- 59
4.4.8.4	Execução e Amostragem ----- 59

	<u>Página</u>
4.	<u>Determinação da Potência Aproveitável, Planejamento do Uso da Energia e Definição da Potência a ser Instalada</u> ----- 60
4.5.1	Determinação da Potência Aproveitável --- 60
4.5.2	Planejamento do Uso da Energia ----- 60
4.5.3	Definição da Potência a ser Instalada --- 68
4.6	<u>Avaliação do Impacto Ambiental</u> ----- 70
4.6.1	Introdução ----- 70
4.6.2	Estudo do Impacto Ambiental ----- 70
4.6.3	Possibilidade de Uso Múltiplo do Reservatório ----- 71
4.7	<u>Planilha de Campo</u> ----- 72
4.7.1	Identificação do Aproveitamento ----- 72
4.7.2	Croquis do Local e Arranjo Geral ----- 72
4.7.3	Dados Cartográficos e Trabalhos Topográficos ----- 73
4.7.4	Dados Hidrológicos ----- 73
4.7.5	Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno ----- 73
4.7.6	Carga Elétrica ----- 78
5.	<u>PROJETO E ASPECTOS CONSTRUTIVOS</u> 80
5.1	<u>Tomada d'Água</u> ----- 81
5.1.1	Geral ----- 81
5.1.2	Dimensões da Boca da Tomada d'Água ----- 81
5.1.3	Dispositivos de Proteção ----- 82
5.1.4	Estrutura para Adução de Pequenas Vazões 84
5.1.5	Localização da Tomada d'Água ----- 84
5.1.6	Comportas ----- 92

		<u>Página</u>
5.1.7	Grades -----	93
5.2	<u>Barragem</u> -----	99
5.2.1	Barragem de Terra -----	99
	A) Considerações Sobre o Tipo -----	99
	B) Adequabilidade do Local do Aproveita- mento -----	99
	C) Seção Típica e suas Características -	100
	D) Dimensões Básicas -----	101
	E) Detalhes Construtivos Principais ----	103
5.2.2	Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada-	109
	A) Considerações Sobre o Tipo -----	109
	B) Adequabilidade do Local do Aproveita- mento -----	109
	C) Seção Típica e suas Características -	110
	D) Dimensões Básicas -----	110
	E) Detalhes Construtivos Principais ----	112
	F) Exemplos -----	114
5.2.3	Barragem Ambursen -----	117
	A) Considerações Sobre o Tipo -----	117
	B) Adequabilidade do Local do Aproveita- mento -----	118
	C) Seção Típica e suas Características -	118
	D) Dimensões Básicas -----	122
	E) Detalhes Construtivos Principais ----	122
	F) Exemplo -----	129
5.2.4	Barragens de Concreto -----	131
	A) Considerações Sobre o Tipo -----	131
	B) Adequabilidade do Local do Aproveita- mento -----	131
	C) Seção Típica e suas Características -	131
	D) Dimensões Básicas -----	132
	E) Detalhes Construtivos Principais ----	134
5.2.5	Vertedouro (Sangradouro) -----	143

	<u>Página</u>
5.2.5.1	Escolha do Tipo de Vertedouro --- 143
5.2.5.2	Descarga de Projeto do Vertedouro ----- 144
5.2.5.3	Dimensionamento do Vertedouro --- 144
	A) Canal Extravasor ----- 144
	B) Soleira Afogadora e Escada de Dissipação de Energia ----- 146
	C) Barragem Vertedoura ----- 151
5.2.5.4	Considerações Sobre os Métodos Construtivos ----- 153
5.2.6	Desvio do Rio Durante a Construção --- 158
5.2.6.1	Objetivo ----- 158
5.2.6.2	Descarga de Desvio----- 158
5.2.6.3	Projetos Típicos de Desvio ----- 158
5.2.6.4	Tubulação de Desvio - Dimensionamento ----- 163
5.2.6.5	Seção Típica das Ensecadeiras ----- 164
5.3	<u>Sistema de Adução em Baixa Pressão</u> --- 166
5.3.1	Canal de Adução ----- 166
5.3.1.1	Canal sem Revestimento (natural) - 167
5.3.1.2	Canal com Revestimento ----- 168
5.3.1.3	Extravasor de Excessos no Canal -- 169
5.3.1.4	Aspectos Construtivos ----- 169
5.3.2	Tubulação de Adução ----- 171
5.4	<u>Câmara de Carga</u> ----- 180
5.5	<u>Tubulação</u> ----- 184
5.5.1	Determinação do Diâmetro Interno da Tubulação ----- 184
5.5.2	Determinação da Espessura de Parede de uma Tubulação sob Pressão ----- 190

	<u>Página</u>
5.5.3	Blocos de Apoio e de Ancoragem ----- 191
	1 - Blocos de Apoio ou Selas ----- 191
	2 - Blocos de Ancoragem ----- 194
5.6	<u>Unidade Geradora</u> ----- 221
5.6.1	Introdução ----- 221
5.6.2	Turbinas Hidráulicas ----- 221
5.6.2.1	Turbinas Pelton ----- 224
5.6.2.2	Turbinas Francis ----- 230
5.6.2.3	Turbinas Banki ----- 238
5.6.2.4	Turbinas Hélice ----- 240
5.6.3	Sistema de Regulação ----- 240
5.6.3.1	Reguladores de Velocidade ----- 240
5.6.3.2	Volantes de Inércia ----- 241
5.6.4	Válvulas Borboleta ----- 241
5.6.5	Dispositivo de Içamento ----- 241
5.6.6	Geradores Síncronos ----- 242
5.6.6.1	Determinação da Potência, Tensão e Fator de Potência ----- 242
5.6.6.2	Determinação do Número de Pólos e Sobrevelocidade (60 Hz) ----- 243
5.6.6.3	Regulação de Frequência ----- 243
5.6.6.4	Sistema de Excitação ----- 243
5.6.6.5	Aterramento ----- 243
5.6.7	Quadros de Comando ----- 244
5.6.8	Dispositivos de Proteção ----- 244

	<u>Página</u>
5.6.9	Garantias de Fornecimento ----- 248
5.7	<u>Casa de Máquinas e Canal de Fuga</u> ----- 251
5.7.1	Casa de Máquinas ----- 251
5.7.2	Canal de Fuga ----- 261
5.8	<u>Subestação e Linha de Alimentação</u> ----- 263
5.8.1	Subestação ----- 263
5.8.2	Linha de Alimentação ----- 264
5.9	<u>Desenhos e Arranjo Geral e de Detalhes</u> - 282
5.10	<u>Orçamento</u> ----- 283
	A) Metodologia ----- 283
	B) Preços Unitários e Cálculos ----- 284
6.	<u>EXEMPLO DE UM PROJETO DE MICROCENTRAL</u> 292
6.1	<u>Planilha de Campo</u> ----- 292
6.1.1	Identificação do Aproveitamento ----- 292
6.1.2	Croquis do Local e Arranjo Geral ---- 292
6.1.3	Dados Cartográficos e Trabalhos Topo- gráficos ----- 294
6.1.4	Dados Hidrológicos ----- 294
6.1.5	Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno ----- 294
6.1.6	Carga Elétrica ----- 299
6.2	<u>Croquis do Local do Aproveitamento</u> ---- 301
6.3	<u>Arranjo Geral do Aproveitamento</u> ----- 301
6.4	<u>Topografia e Dados Cartográficos</u> ----- 301

	<u>Página</u>
6.4.1	Determinação da Queda Natural H_n e do Perfil da Linha de Adução ----- 301
6.4.2	Dados Cartográficos ----- 301
6.5	<u>Estudos Hidrológicos</u> ----- 301
6.5.1	Determinação da Vazão de Projeto (Turbina) ----- 301
6.5.2	Determinação da Vazão de Cheia Máxi- ma ----- 303
6.6	<u>Determinação da Potência Aproveitável</u> - 303
6.6.1	Determinação da Queda Bruta H ----- 303
6.6.2	Potência Bruta Aproveitável ----- 303
6.7	<u>Determinação da Potência Necessária</u> -- 303
6.8	<u>Determinação da Potência a Ser Instala- da</u> ----- 306
6.9	<u>Projeto e Aspectos Construtivos</u> ----- 308
6.9.1	Tomada d'Água ----- 308
6.9.2	Barragem ----- 308
6.9.3	Sistema de Adução em Baixa Pressão - 308
6.9.4	Câmara de Carga ----- 309
6.9.5	Tubulação ----- 310
6.9.6	Unidade Geradora ----- 316
6.9.7	Casa de Máquinas e Canal de Fuga --- 316
6.9.8	Subestação e Linha de Alimentação -- 316
6.9.9	Desenhos do Arranjo Geral e de Deta- lhes ----- 317
6.10	Orçamento ----- 320

		<u>Página</u>
7.	<u>MANUTENÇÃO</u> -----	325
	- Programação dos Trabalhos de Manutenção Mensal -----	326
	- Programação dos Trabalhos de Manutenção Trimestral e Semestral -----	326
	- Programação dos Trabalhos de Manutenção Anual -----	327
	- Programação dos Trabalhos de Manutenção Quinquenal -----	329
8.	<u>NOTA SOBRE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DA MICROCENTRAL</u> -----	330
9.	<u>FINANCIAMENTO</u> -----	331
9.1	<u>Introdução</u> -----	331
9.2	<u>Fontes de Financiamento</u> -----	331
9.3	<u>Condições Específicas</u> -----	333
10.	<u>LEGISLAÇÃO</u> -----	334
11.	<u>PARTICIPANTES NO TRABALHO</u> -----	338

1.

INTRODUÇÃO

A elaboração de um manual de estudos, projeto e construção, específico para microcentrais hidrelétricas, abrangendo a faixa de potências até 100 kW, integra as metas e ações a curto prazo do Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas, disponível na ELETROBRÁS, e tem como objetivos a ampla divulgação da tecnologia de baixo custo para este tipo de central, colocando-a à disposição de todos os interessados e, oportunamente, a exemplo do que ocorreu com o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, servir de base para a análise e aprovação, por parte do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, dos projetos a ele apresentados de acordo com a legislação vigente.

Com base nessas diretrizes, a ELETROBRÁS em convênio com o DNAEE e em conjunto com diversas entidades públicas e privadas, de vários setores da economia, desenvolveu este Manual.

Prevê-se que seu usuário seja engenheiro ou técnico de nível médio, não especializados em hidreletricidade, que terão facilidade de entendimento e aplicação, tornando desnecessária a mobilização de grandes empresas de consultoria, grandes empreiteiros e grandes fabricantes.

A natural insegurança ou dificuldade inicial, que um profissional não especializado teria em seus primeiros trabalhos, poderá ser superada através de contatos com a escola técnica mais próxima, ou universidade, ou escritório da EMATER, ou concessionária de eletricidade, ou mesmo os pequenos fabricantes de turbinas para este tipo de central. Com o objetivo de facilitar o entendimento e aplicação do Manual, foram colocados exemplos junto aos itens expostos e, ao final, é apresentado um exemplo completo de projeto de uma microcentral com potência instalada de 10 kW ou aproximadamente 13,6 CV, que se situa na faixa de maior utilização no meio rural brasileiro. Cabe aqui, mencionar ainda que o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas prevê a realização de cursos para a capacitação e desenvolvimento de pessoal em diversos níveis, de forma a atender à necessidade de divulgação dessa tecnologia.

Chama-se a atenção para os seguintes aspectos considerados importantes ao bom entendimento e uso deste Manual:

- . não se deve querer adaptar a ele a tecnologia usual das grandes centrais hidrelétricas. Microcentrais não são centrais grandes em escala reduzida.
- . para simplificar, evitaram-se as justificativas dos critérios, fórmulas, etc, adotadas.
- . todas as fórmulas necessárias são fornecidas e suas grandezas e coeficientes, devidamente explicados. Algumas fórmulas foram tabeladas e/ou postas em gráficos, o mesmo acontecendo com alguns coeficientes.

- . sempre que existentes, foram adotadas as normas da ABNT, inclusive no que respeita à terminologia.
- . o sistema de unidades adotado neste Manual não é integralmente o sistema legal adotado no país, tendo em vista que este sistema ainda não foi totalmente absorvido pela comunidade.

Alerta-se também para o fato de que este Manual, dentre outras ressaltadas no texto, tem as seguintes limitações:

- . prevê barragens e vertedouros com alturas máximas de até aproximadamente 3,0 m (notar que não se refere a QUEDA DE PROJETO);
- . admite sistemas adutores somente com canais e/ou tubulações, não se aplicando a túneis;
- . não se aplica a barramentos em vales em que o desvio do rio necessitaria ser feito por túneis;
- . prevê obras civis projetadas sem sofisticções, com dimensões mínimas e materiais econômicos;
- . considera instalação de equipamentos eletromecânicos simples, mas funcionais;
- . admite que a distância do local do aproveitamento ao centro consumidor não é grande, para não aumentar o custo do sistema de transmissão;
- . as estruturas preconizadas para o circuito de geração permitem descargas até 2,0 m³/s;
- . o dimensionamento apresentado, em tabelas, para os blocos de ancoragem, apresenta as limitações constantes no capítulo relativo a essas estruturas;
- . as dimensões da casa de máquinas e os diagramas elétricos foram previstos para a instalação de apenas uma unidade geradora, o que pode ser considerado como um módulo a ser repetido caso se deseje mais de uma unidade geradora na mesma central.
- . não foi prevista a interligação com outros sistemas, caso em que o interessado deverá procurar a concessionária local.

Pretende-se que o presente Manual seja auto-suficiente para os estudos, projetos e construções das Microcentrais Hidrelétricas, não sendo necessário ao usuário recorrer a outras fontes de informação, após vencida a natural insegurança ou dificuldade dos primeiros trabalhos.

Com a finalidade de facilitar os cálculos para o dimensionamento das estruturas cujas dimensões não foram tabeladas, como no

caso dos cálculos hidráulicos, algumas fórmulas clássicas foram simplificadas, sem com isto incorrer em erros significativos nos resultados encontrados para a potência, mesmo porque as faixas de potência das unidades geradoras fabricadas atualmente no Brasil pelos pequenos fabricantes não exigem uma precisão rigorosa no dimensionamento encontrado nos cálculos teóricos.

Quanto aos equipamentos eletromecânicos, como turbinas, geradores, transformadores e outros de fabricação mais especializada, o usuário terá forçosamente contatos mais estreitos com os pequenos fabricantes, a fim de concretizar as previsões dos tipos e dimensionamentos dados por este Manual para esses equipamentos e para as estruturas de obras civis que os envolvam.

É importante, também, ressaltar que este Manual, a exemplo do que ocorre com o Manual de PCH, é dinâmico, devendo ser submetido a revisões e atualizações periódicas, tendo sido adotado o sistema de encadernação tipo classificador e a numeração das páginas por item no sentido de facilitar essas atualizações.

Considera-se valiosa toda e qualquer colaboração para o enriquecimento deste Manual, solicitando-se que seja enviada à CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S/A. - ELETROBRÁS, Av. Presidente Vargas, nº 642 - 10º andar - CEP 20.079 - Rio de Janeiro - RJ, onde os interessados também poderão obter maiores informações.

2. ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO

2.1 Objetivo

O procedimento recomendado neste item tem por objetivo apresentar uma metodologia para determinação do valor aproximado do investimento necessário para implantação da hidrelétrica. Trata-se de avaliação inicial apenas para subsidiar a decisão a ser tomada pelo proprietário quanto ao prosseguimento ou não dos estudos para desenvolvimento do projeto. Portanto, o resultado obtido nesta avaliação inicial não servirá para eventual negociação de financiamento.

O ORÇAMENTO, com maiores detalhes e precisão, deverá ser elaborado após o desenvolvimento de estudos e consultas recomendados neste Manual, conforme instruções apresentadas no item 5.10.

2.2 Parâmetros

O processo apresentado neste item pressupõe o conhecimento dos seguintes parâmetros, para caracterização do aproveitamento:

- altura de queda disponível (estimada);
- potência necessária (kW);
- extensão aproximada da linha de alimentação;
- comprimento aproximado da tubulação forçada;
- comprimento e altura de barragem vertedouro (caso necessário);
- distância aproximada, para avaliação da influência do custo de transporte no custo de equipamentos.

2.3 Metodologia

A estimativa deverá ser feita preenchendo-se a PLANILHA PARA ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO DA MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA, com auxílio das tabelas apresentadas.

As tabelas contêm as seguintes informações:

TABELA 1 - Custo da Casa de Máquinas, em milhões de Cr\$. O custo de obras civis é fornecido em função da Potência, em kW, e da Altura de Queda Disponível (estimada), em metros.

Os valores constantes dessa tabela foram avaliados levando em conta o padrão indicado no item 5.7 e para serviços executados por construtores contratados para esse fim. Caso haja possibilidade de execução da casa de máquinas em madeira ou em taipa, ou com reaproveitamento de materiais de edificações já existentes, ou ainda aproveitando a ociosidade de mão-de-obra e equipamentos disponíveis para outras tarefas, etc.,

dever-se-á levar devidamente em conta essas hipóteses, adotando-se, conseqüentemente, custos reduzidos em relação aos valores apresentados na Tabela.

TABELA 2 - Custo de Equipamentos, em milhões de Cr\$. (excluídos transportes)
O custo é fornecido em função da Potência, em kW, e da Altura de Queda Disponível (estimada), em metros. Junto à mesma tabela são fornecidos os percentuais de acréscimo de custo devido ao Transporte, em função da distância entre o centro fornecedor de equipamentos e o local do aproveitamento.
Os valores constantes dessa tabela incluem turbina, regulador de velocidade, transmissão, comporta, válvula borboleta, volante de inércia, curva de sucção, tubo de sucção, grade, gerador e quadro de comando.
Quando o projeto admitir simplificações, como a não utilização do regulador automático de velocidade, ou a substituição de comportas metálicas por pranchões de madeira, o custo global dos equipamentos poderá sofrer redução significativa. Nesta hipótese, cada caso deverá ser analisado em particular e deverão ser adotados valores adequados para o projeto.

TABELA 3 - Custo da Tubulação Forçada, em mil Cr\$/m

O custo unitário é fornecido em função dos mesmos parâmetros já citados na TABELA 2.

Custo de transporte - apresentado em forma de %, a ser aplicado sobre o valor obtido na TABELA 3, em função da distância entre a fábrica e o local do aproveitamento.

O custo apresentado na tabela refere-se a tubulação metálica especialmente adquirida para o projeto, como indicado no item 5.5.

Caso haja a possibilidade de reduzir custo, reaproveitando-se material já utilizado para outras finalidades, ou adotando-se outros tipos de materiais (PVC, etc.), tal fato deverá ser devidamente analisado e levado em consideração na Estimativa Inicial do Custo.

TABELA 4 - Custo de Barragem Vertedouro, em mil Cr\$/m

O custo é fornecido para 2 tipos de barragem (alvenaria de pedra argamassada e concreto) em função da altura da estrutura, em m.

Alerta-se que, para efeito de elaboração desta ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO, foi admitido que caso se adote barragem de terra e canal extravasor, as obras

terão dimensões reduzidas e, portanto, sem um valor de investimento significativo. Quando a barragem de terra e o canal extravasor forem de grandes dimensões, o custo dessas obras deverá ser avaliado e incluído na ESTIMATIVA.

Os valores apresentados na tabela incluem todos os custos de materiais e mão-de-obra, como contratados com terceiros. Caso haja disponibilidade de materiais (madeira, pedra, areia, brita, etc.) e reaproveitamento da ociosidade de mão-de-obra de outras tarefas, estes fatos deverão ser devidamente levados em consideração e deverá ser estabelecida a adequada redução dos respectivos custos.

NOTA: As TABELAS de nºs 2 e 3 foram elaboradas com base nas informações obtidas junto à Companhia Paranaense de Energia - COPEL, que desenvolveu o projeto HG-52 para Aproveitamentos Hidrelétricos de Pequeno Porte. Pelo resultado dos estudos HG-52 constatou-se que, caso a turbina seja do tipo "caixa aberta", os valores citados na TABELA 2 poderão sofrer reduções de até 30% aproximadamente.

São apresentadas, a seguir, a PLANILHA e as TABELAS necessárias para a elaboração da ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO, assim como a ESTIMATIVA PARA A UHE SÍTIO DAS FURNAS, cujo projeto está desenvolvido, a título de exemplo, no item 6.

PLANILHA PARA ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO DA MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA

NOME DO APROVEITAMENTO:

LOCALIZAÇÃO:

CARACTERÍSTICAS DA CENTRAL:

DISTRITO:

POTÊNCIA NECESSÁRIA: kw; ALTURA DE QUEDA ESTIMADA: m

MUNICÍPIO:

BARRAGEM VERTEDOURO: Material: ; Comprimento: m; Altura: m

ESTADO:

TUBULAÇÃO FORÇADA - Extensão aproximada: m

DATA:

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	QUANTIDADE UNIDADE	C U S T O	
			UNITÁRIO	TOTAL Milhões Cr\$
1	CASA DE MÁQUINA Obras Cíveis - V.TABELA 1 Equipamentos - Aquisição e Montagem - V. TABELA 2 Custo de Transporte de Equipamentos	global global %		
2	TUBULAÇÃO FORÇADA Tubulação - Aquisição e Montagem - V. TABELA 3 Custo de Transporte de Tubos Obras Cíveis - tomada, câmara de carga, blocos de apoio, ancoragem, etc. (% do custo da Tubulação)	m % 20%	Cr\$ /m	
3	BARRAGEM VERTEDOURO Alternativa em concreto (V. TABELA 4) Alternativa em pedra argamassada (V. TABELA 4)	m m m	Cr\$ /m /m /m	
4	LINHA DE ALIMENTAÇÃO		Cr\$ 10.000	
5	SUBTOTAL Eventuais, Estudos, etc. (% do SUBTOTAL)	10%		
6	CUSTO TOTAL (referido a Novembro/1984) CUSTO TOTAL em ORTN de novembro/1984 (Cr\$ 20.118,71)	global global		

TABELA 1

CUSTO DA CASA DE MÁQUINAS, EM MILHÕES DE Cr\$ (REF. NOV/84)

Queda m	POTÊNCIA em kW									
	2	5	10	15	20	30	40	60	80	100
5	9,4	9,4	9,4	10,3	11,1	13,0	13,9	16,0	17,0	18,1
7	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	11,1	12,0	13,9	16,0	17,0
10	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	11,1	12,0	13,9	16,0
15	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	11,1	12,0	13,0
20	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	11,1	12,0
25	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	11,1
30	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	10,3

TABELA 2

CUSTO DE EQUIPAMENTOS, EM MILHÕES DE CR\$ (REF. NOV/84)
(excl. Transporte)

Queda m	POTÊNCIA em kW									
	2	5	10	15	20	30	40	60	80	100
5	13	18	25	30	35	43	48	59	68	76
7	10	16	22	27	30	37	42	61	59	67
10	9	13	19	23	26	31	36	45	51	57
15	7	11	16	19	22	27	30	37	43	48
20	6	10	14	17	19	24	27	33	38	42
25	6	9	12	15	18	22	24	29	34	38
30	5	8	11	14	16	20	22	28	31	35

CUSTO DE TRANSPORTE DE EQUIPAMENTOS

Para distância de 500 km, acrescentar 4% sobre os valores acima
 Para distância de 1.000 km, acrescentar 8% sobre os valores acima
 Para distância de 2.000 km, acrescentar 16% sobre os valores acima
 Para distância de 3.000 km, acrescentar 24% sobre os valores acima

TABELA 3
 CUSTO DE TUBULAÇÃO FORÇADA, EM MIL CR\$/m (REF. NOV/84)
 (excl. Transporte)

Queda m	POTÊNCIA em kW									
	2	5	10	15	20	30	40	60	80	100
5	50	97	158	216	264	354				
7	36	70	114	156	192	258	312			
10	26	50	83	112	138	186	222	306		
15	17	34	56	77	95	126	156	210	258	300
20	13	26	43	58	71	96	118	158	194	228
25		21	35	46	58	77	95	128	158	186
30		17	29	39	49	65	78	107	134	156

CUSTO DE TRANSPORTE DE TUBOS DE AÇO

Para distância de 500 km, acrescentar 8% sobre os valores acima
 Para distância de 1000 km, acrescentar 16% sobre os valores acima
 Para distância de 2000 km, acrescentar 32% sobre os valores acima
 Para distância de 3000 km, acrescentar 48% sobre os valores acima

TABELA 4
 CUSTO DE BARRAGEM VERTEDOURO, EM MIL CR\$/m (REF. NOV/84)

ALTURA DA BARRAGEM, em m	ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA	ESTRUTURA DE CONCRETO
1,20	240	420
1,50	270	459
1,85	302	505
2,00	316	530
2,50	370	641
3,00	430	775
3,50	534	

PLANILHA PARA ESTIMATIVA INICIAL DO CUSTO DA MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA

NOME DO APROVEITAMENTO: **UHE SÍTIO DAS FURNAS** LOCALIZAÇÃO: **SÍTIO DAS FURNAS**
 CARACTERÍSTICAS DA CENTRAL: **CÓRREGO VOÇOROCA** DISTRITO:
 POTÊNCIA NECESSÁRIA: **10 kW**; ALTURA DE QUEDA ESTIMADA: **26 m** MUNICÍPIO: **VALENÇA**
 BARRAGEM VERTEDOURO: Material: **PEDRA** ; Comprimento: **1,60 m**; Altura: **1,0 m** ESTADO: **RIO DE JANEIRO**
 TUBULAÇÃO FORÇADA - Extensão aproximada: **m** DATA : **JUNHO/1985**

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	QUANTIDADE UNIDADE	C U S T O	
			UNITÁRIO	TOTAL Milhoes Cr\$
1	<u>CASA DE MÁQUINAS</u> Obras Cíveis - V. TABELA 1 ----- Equipamentos - Aquisição e Montagem - V. TABELA 2 ----- Custo de Transporte de Equipamentos -----	global global 1,44 %		9,4 11,8 0,2
2	<u>TUBULAÇÃO FORÇADA</u> Tubulação - Aquisição e Montagem - V. TABELA 3 ----- Custo de Transporte de Tubos ----- Obras Cíveis - tomada, câmara de carga, blocos de apoio, ancoragem, etc. (% do custo da Tubulação) -----	94 m 2,88 % 20%	Cr\$ 33.800 /m	3,2 0,1 0,6
3	<u>BARRAGEM VERTEDOURO</u> Alternativa em concreto (V. TABELA 4) ----- Alternativa em pedra argamassada (V. TABELA 4) -----	m m	Cr\$ /m Cr\$ /m	
4	<u>LINHA DE ALIMENTAÇÃO</u> -----	400 m	Cr\$ 10.000/m	4,0
5	SUBTOTAL:			29,3
	Eventuais, Estudos, etc. (% do SUBTOTAL) -----	10%		2,9
6	CUSTO TOTAL (referido a novembro/1984) -----	global		32,2
	CUSTO TOTAL em ORTN de novembro/1984 (Cr\$ 20.118,71)	global		1,600

3.

METODOLOGIA E ROTEIRO DE PROJETO

3.1

Metodologia

Este Manual tem como objetivo a aplicação de métodos simples e práticos para elaboração fácil e econômica dos estudos e projetos das microcentrais hidrelétricas, por engenheiros ou técnicos que, mesmo não sendo especializados em hidreletricidade, apenas recorram a outros profissionais para complementação de seus trabalhos nos assuntos mais especializados. Uma parte dessa metodologia pode ser aplicada pelos proprietários de locais aproveitáveis que, mesmo não sendo técnicos, através de métodos simples e expeditos, poderão avaliar os seus potenciais e os custos de construção de microcentrais e, com isso, despertar o entusiasmo inicial para as providências necessárias ao estudo, projeto e construção de uma microcentral hidrelétrica no local onde economicamente for mais atrativo.

As especificações adotadas foram selecionadas para cobrirem o maior número possível de microcentrais hidrelétricas que, pelas suas características hidrenergéticas e construtivas sejam passíveis de instalação em locais propícios, mais comumente encontrados no país e ainda sem aproveitamento, principalmente nas áreas do setor agropecuário.

Para atender ao primeiro passo dos requisitos hidrenergéticos, isto é, avaliar o potencial existente no local selecionado, são apresentados métodos expeditos de topografia e hidrometria, para a determinação da queda bruta e das vazões do curso d'água.

Em seguida, são apresentados métodos para uma avaliação preliminar do custo da construção das estruturas e equipamentos necessários à concretização do aproveitamento do potencial existente, permitindo imediatamente ao proprietário saber se o investimento necessário é compensador às suas pretensões ou não.

Na parte de hidrologia, foram estabelecidos critérios simples de estudos para a determinação das vazões necessárias à potência a ser instalada, projeto do vertedouro e desvio do rio durante a construção.

Para a avaliação do impacto ambiental foram apresentadas as principais medidas que devem ser tomadas para se evitar doenças e riscos com as modificações do terreno no local das obras.

Para as estruturas civis, como barragens, vertedouros, tomadas d'água, casas de máquinas e outras, preparou-se tipos padrões econômicos e pré-dimensionados, com base em parâmetros, como descarga de adução, altura de barragem e outros, ilustrados em desenhos e com as dimensões apresentadas em tabelas. Para essas estruturas foram feitas simplificações de cálculo, somente admissíveis dentro das limitações adotadas para os valores dos parâmetros básicos, conforme está especificado em cada um dos itens apresentados. Para valores dos parâmetros básicos superiores aos limites

apresentados, as estruturas já se tornam de tal porte, que exigem, para os seus dimensionamentos, métodos mais sofisticados, recaindo na metodologia clássica do dimensionamento das grandes estruturas e o projetista terá que recorrer a outras fontes de informação, caso em que, provavelmente, não estará diante de uma microcentral hidrelétrica definida neste Manual.

Para os equipamentos eletromecânicos, adotou-se tipos de fabricação padronizada e fáceis de aquisição ao mercado nacional. Os seus dimensionamentos foram apresentados em forma preliminar, numa metodologia simples e, quase sempre, suas dimensões estão apresentadas em forma de tabelas, aconselhando-se ao projetista ter contato estreito com os fabricantes para a devida confirmação dos resultados encontrados.

As especificações para os cálculos e projetos foram baseados nas normas adotadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), salvo em algumas exceções, como o emprego das unidades kgf/cm^2 (ao invés de Newton), ou a classificação de cabos elétricos em AWG, (ao invés da classificação em mm^2), porque estas unidades, na forma em que constam nas normas, ainda não são suficientemente conhecidos ou usadas pelos técnicos em toda a extensão do país. Da mesma forma, foi também aconselhado o emprego de tensões de linha de alimentação fora do padrão atual, em função da disponibilidade de equipamento elétrico nestas condições no interior do país e visando a consequente economicidade do empreendimento.

A metodologia para elaboração de estimativa de custos recomenda o máximo aproveitamento de recursos locais de mão-de-obra, materiais e disponibilidade de equipamentos de construção, para tornar a obra o mais econômica possível. Para facilitar o trabalho, é apresentada a Planilha Padrão com itemização de todos os tipos de serviços e obras.

Alerta-se para o fato de que não se aplicam às microcentrais hidrelétricas as metodologias constantes dos Manuais existentes no Setor Elétrico brasileiro, as quais somente são válidas para grandes centrais; em especial não podem ser utilizadas curvas de custos baseados em estatísticas dessas grandes centrais.

3.2 Roteiro de Projeto

A primeira pergunta de um eventual interessado na construção de uma microcentral seria, normalmente, "quanto custaria?". Esta pergunta pode ser respondida através do item 2 deste Manual, desde que o futuro proprietário da microcentral possa definir os parâmetros necessários.

Antes da viagem ao campo, para a obtenção de dados, o projetista deve estudar cuidadosamente os itens 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6, apresentados no Manual, a fim de ficar instruído das operações que vai executar e poder escolher devidamente o

tipo de arranjo e localização das estruturas que serão registradas no croquis, e a potência a ser instalada.

Os estudos iniciais devem começar pela obtenção dos dados básicos para a determinação dos potenciais de locais existentes na área de interesse. Isto se faz com uma inspeção de campo aos locais, supostos já conhecidos, onde há possibilidade, pelo menos aparente, de aproveitamento para a instalação de uma microcentral.

A coleta de dados no campo deve ser feita, de preferência, em uma única viagem, quando o acesso ao (s) local (ais) for difícil e oneroso, e os dados colhidos devem ser registrados na "Planilha de Campo", conforme instruções do item 4.7, bem como outras informações extras, como fotografias, enriquecendo os dados informativos indispensáveis. No caso em que o acesso não seja difícil e que permita outras viagens ao campo, deve-se durante a primeira viagem, pelo menos trazer as informações marcadas com asterisco, conforme especifica o modelo da planilha apresentada no item 4.7.

Após a coleta de dados de campo, o projetista deve proceder imediatamente a uma avaliação mais apurada do custo da microcentral, conforme instruções contidas no item 2, a fim de o proprietário poder decidir se vai autorizar ou não o investimento para a elaboração do projeto.

Quando o proprietário estiver planejando a instalação da sua microcentral para setor agropecuário, é aconselhável que o estudo econômico do empreendimento seja feito por um técnico especializado em investimentos nesse setor. Nos projetos onde haja barragens, criando, em consequência, reservatórios (açudes), deve-se estudar a possibilidade de aproveitá-los para outras finalidades, como criação de peixes, irrigação, abastecimento d'água etc., para o que, aconselha-se pedir orientação de um técnico de entidades especializadas nestes assuntos, como a EMATER e outras.

Neste ponto, o proprietário pode dar início à negociação do financiamento da microcentral com as entidades financiadoras, de acordo com o conteúdo do item 9, atentando também para os aspectos legais envolvidos, conforme o conteúdo do item 10.

Autorizada pelo proprietário a execução do projeto, baseando-se na concepção do arranjo geral estabelecido para as estruturas, as obras civis devem ser projetadas conforme apresentado nos itens 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5.

Para os projetos da unidade geradora, casa de máquinas, linha de alimentação e equipamentos mecânicos, como grades, válvulas, comportas, etc., o projetista deve estar sempre em contato com os fornecedores, que por interesse do fornecimento dos equipamentos, se prestam a orientá-lo nos detalhes do projeto que está executando. Durante os contatos com o fabricante, para a aquisição dos seus produtos, deve-se exigir as garantias de qualidade e de funcionamento, bem como as instruções para a manutenção dos equipamentos a serem fornecidos.

Após a determinação definitiva das estruturas e equipamentos eletromecânicos, torna-se necessária a elaboração dos desenhos do arranjo geral e do orçamento, conforme especificado, respectivamente, nos itens 5.9 e 5.10.

O roteiro para o projeto de uma microcentral de 10 kW encontra-se apresentado no exemplo do item 6, com os cálculos necessários, e com as devidas alterações (alternativas) exigidas pelas condições locais para a elaboração do projeto.

As instruções apresentadas no item 7, acrescidas das especificações dadas pelos fabricantes dos equipamentos eletromecânicos, permitirão ao proprietário manter o bom funcionamento e conservação da sua microcentral.

4. ESTUDOS INICIAIS E TRABALHOS DE CAMPO

A concepção das microcentrais hidrelétricas impõe arranjos constituídos preferencialmente por uma captação, uma adução à casa de máquinas, onde se processará a geração elétrica, e o canal de restituição (canal de fuga) ao rio. Em cursos d'água com grandes variações de níveis poderá ser necessária a construção de barragem com a respectiva estrutura vertedoura. A barragem a ser construída deverá ser de concepção simples e construtivamente aproveitará as disponibilidades dos materiais existentes nas proximidades do local. Segundo o critério formulado para as microcentrais, a altura destas barragens poderá variar desde simples soleira vertedoura no leito do curso d'água até 3,0 m de altura. Isto enfatiza a filosofia de concepção das obras de barramento, garantindo um comportamento típico a fio d'água, isto é, sem capacidade significativa de armazenamento de água, visando economia e facilidade construtiva.

Neste caso, as vazões naturais do curso d'água serão pelo menos iguais ou maiores que a vazão necessária para atender à potência elétrica desejada.

A combinação da captação, adução, casa de máquinas e canal de fuga, irá compor o arranjo mais conveniente da microcentral hidrelétrica. Os anexos 4.1/A, B e C mostram cada uma destas estruturas formando o conjunto mais adequado ao local selecionado para sua implantação. Em todos os casos aparecem a barragem e a estrutura vertedoura dando idéia da situação mais completa.

A composição do arranjo pela associação das diversas estruturas deve levar em consideração alguns dos fatores listados a seguir:

- . Tomada d'água: a captação da água feita pela tomada d'água será implantada o mais próximo possível da casa de máquinas, diminuindo o trecho de adução para a mesma altura de queda. Sua implantação será feita sobre terreno firme, em posição tal que capte as vazões do curso d'água entre os níveis máximo e mínimo de tal modo que atenda às cargas necessárias.
- . Adução: compreendendo o sistema de ligação de água entre a tomada d'água e a casa de máquinas e apresentado em três concepções nos arranjos de microcentrais hidrelétricas, a saber:
 - adução entre a tomada d'água e a câmara de carga em escoamento livre por canal, e adução em alta pressão entre a câmara de carga e a turbina através de tubulação forçada (ver ANEXO 4.1/A);

- adução entre a tomada d'água e a câmara de carga em baixa pressão, por meio de tubulação, e adução entre a câmara de carga e a turbina, em alta pressão, através de tubulação forçada (ver ANEXO 4.1/B):
- adução em canal ou tubulação em baixa pressão, sem tubulação forçada, nos casos de turbinas tipo caixa aberta (ver ANEXO 4.1/C).

A escolha final de um dos tipos descritos acima dependerá das condições topográficas e geológicas que apresenta o local da central.

Para o caso de sistemas de adução longos, quando a inclinação de encosta e o material do terreno forem favoráveis à construção de um canal a baixo custo, este deverá ser, em geral, a solução mais econômica, por diminuir o comprimento em tubulação entre a tomada d'água e a casa de máquinas.

Para sistemas de aduções curtos, deverá ser estudada opção para uma tubulação única para os trechos de baixa e alta pressão.

Casa de Máquinas: toda a energia hidráulica é convertida em energia elétrica na casa de máquinas.

As variações de níveis d'água a jusante da casa de máquinas (oscilações entre os níveis máximo e mínimo) condicionam o funcionamento da turbina.

Desta forma, a escolha da cota de piso da casa de máquinas deverá ser por um valor suficientemente alto para ficar protegido das vazões de cheia, sem prejudicar, contudo, a altura de queda conveniente ao grupo gerador.

Nos casos em que haja possibilidade de abaixamento do nível d'água além do limite suportável pelo tubo de sucção da turbina, prejudicando seu funcionamento, será necessário adotar uma solução adequada. Nestes casos, ou ainda em situações topograficamente favoráveis, esta necessidade pode ser atendida por uma soleira de controle de níveis d'água a jusante do tubo de sucção, capaz de criar as referidas condições de funcionamento do tubo.

Outro aspecto a ser considerado no posicionamento da casa de máquinas consiste na estrutura do terreno onde será implantada. A natureza deste terreno irá determinar fundações mais robustas em áreas escavadas maiores e até mesmo tratadas estruturalmente. Assim sendo, a escolha inicial afeta fundamentalmente o custo final.

Barragem: caso seja necessária a construção de uma barragem para garantir a operacionalidade da tomada d'água, deve-se escolher o tipo de barragem levando em consideração os seguintes fatores:

- Barragem de Terra

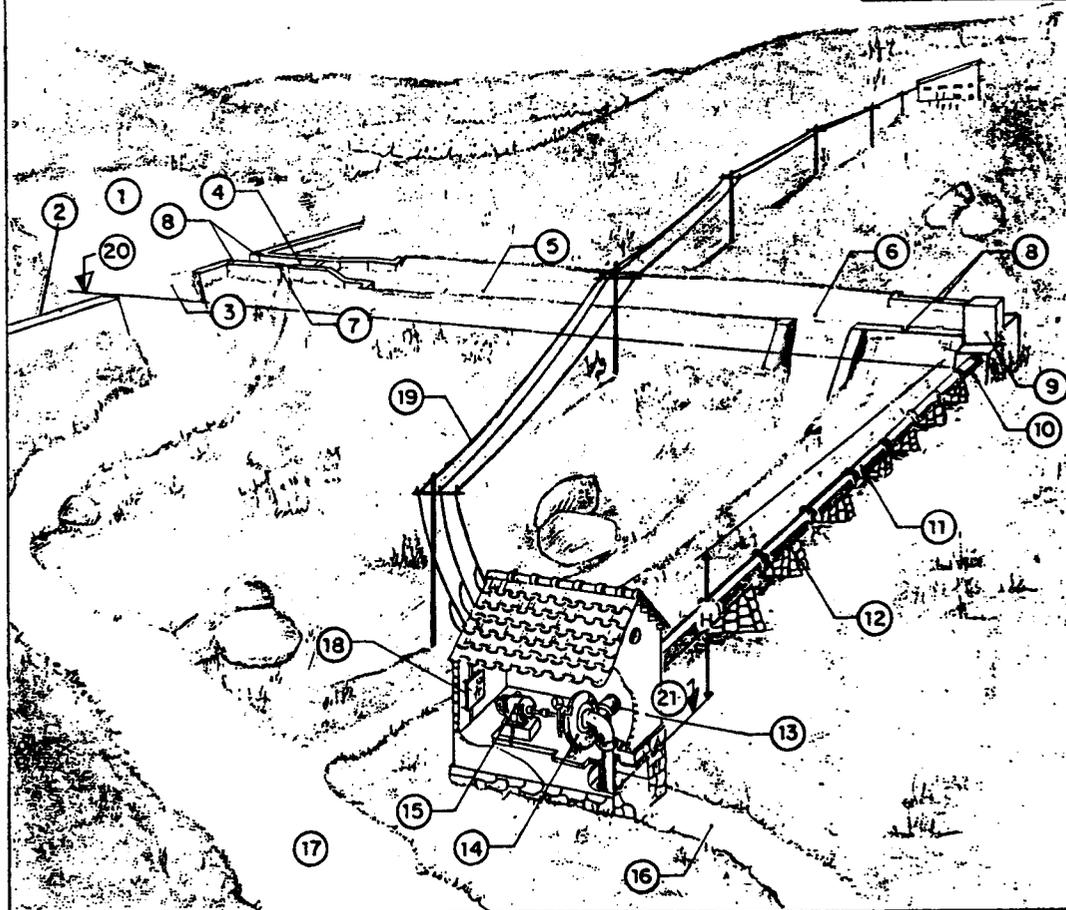
Este tipo de barragem é apropriado para vales abertos, em locais onde haja grande disponibilidade de solo argiloso ou areno-argiloso, e espaço suficiente para situar o sangradouro (vertedouro) em uma das margens. O material escavado para a construção do canal de adução e do sangradouro (vertedouro) pode ser utilizado para sua construção.

- Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada, Barragem de Concreto e Barragem Ambursen.

Esses tipos de barragem são recomendáveis para vales estreitos, com no máximo 100 metros de largura, apresentando boas condições de fundações em rocha pouco fraturada, e onde a construção de um vertedouro lateral seria problemática devido a encostas íngremes e rochosas, sendo, portanto, necessário que a água verta por sobre o corpo da barragem. A decisão entre a barragem de alvenaria de pedra e a barragem de concreto deve ser tomada após considerar as condições locais, disponibilidade local de materiais de construção, dimensões, tempo de construção e custo.

Ainda neste ítem, a seguir, são apresentados dois exemplos de microcentrais hidrelétricas com adução em baixa pressão através de canal entre a tomada d'água e a câmara de carga, e adução em alta pressão, entre a câmara de carga e a turbina, através de uma tubulação forçada. Estes exemplos listados abaixo caracterizam vários dos pontos assinalados com valores de potência instalada bastante diferenciados.

- . Usina Hidrelétrica Fazenda Chacrinha
- . Usina Hidrelétrica do Baú

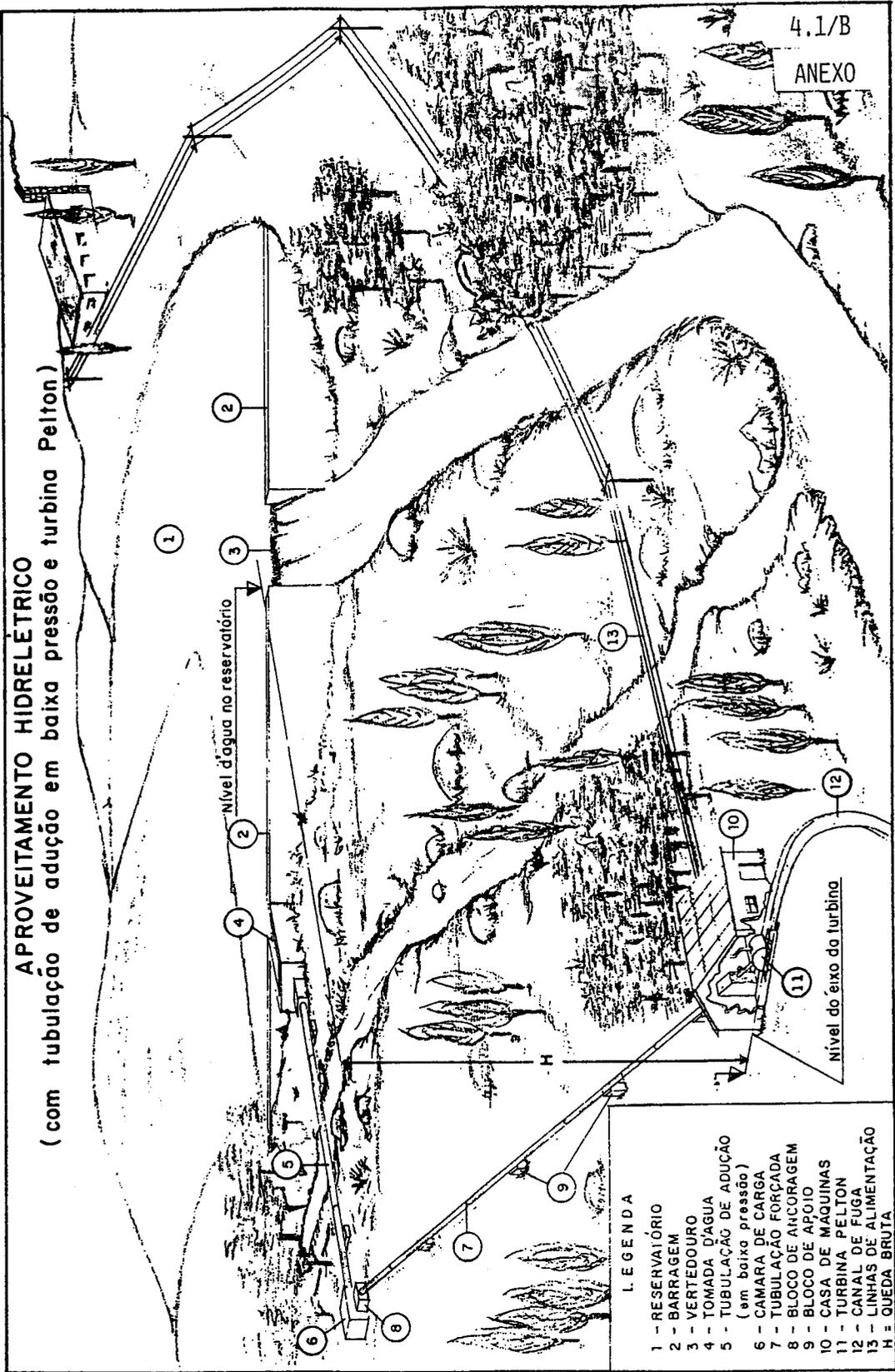


Aproveitamento Hidrelétrico

(com adução em canal e turbina Francis, eixo horizontal)

Legenda:

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 - Reservatório (represa, açude) | 11 - Tubulação forçada |
| 2 - Barragem | 12 - Selo (bloco de apoio) |
| 3 - Vertedouro | 13 - Casa de máquinas |
| 4 - Tomada d'água (captação) | 14 - Turbina (Francis, eixo horizontal) |
| 5 - Canal de adução | 15 - gerador |
| 6 - Extravasor de excessos no canal | 16 - Canal de fuga |
| 7 - Desarenador | 17 - Rio (curso natural) |
| 8 - Ranhuras para pranchões | 18 - Quadro de comando |
| 9 - Câmara de carga (castelo d'água) | 19 - Linhas de alimentação |
| 10 - bloco de ancoragem | 20 - Nível d'água no reservatório |
| | 21 - Nível d'água no canal de fuga. |
| | H = Queda bruta |



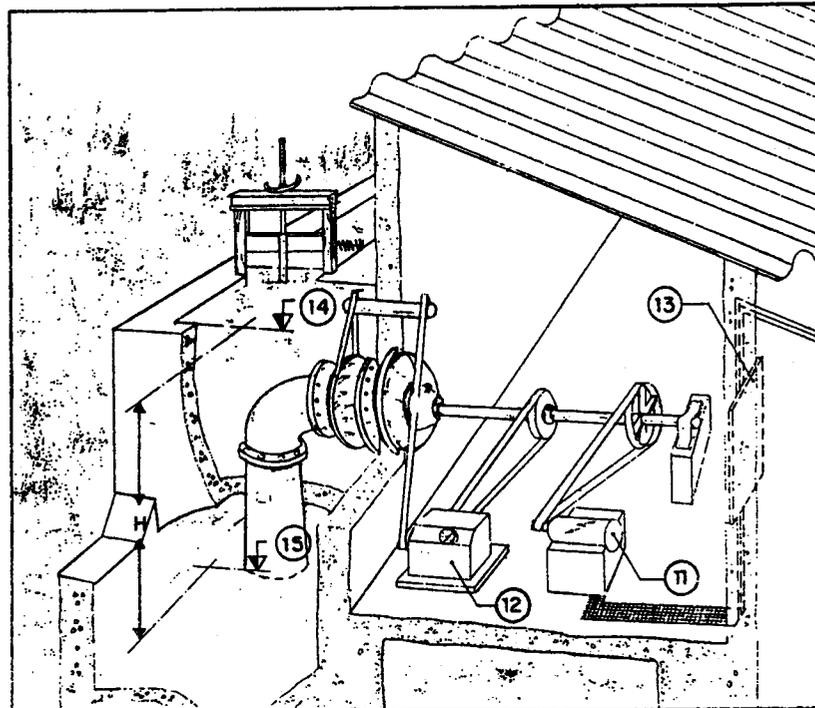
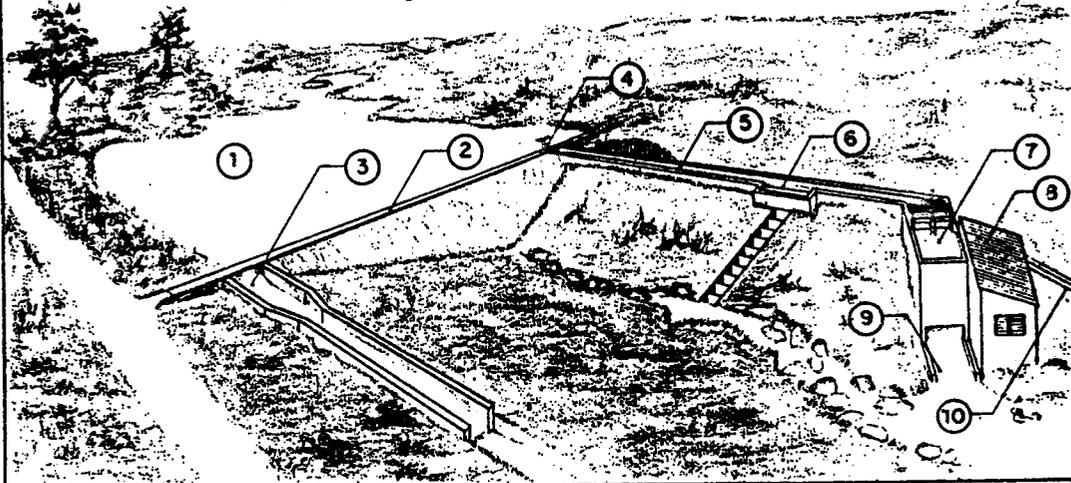
Aproveitamento Hidrelétrico (com adução em canal e turbina Francis, eixo horizontal, caixa aberta)

ANEXO

Legenda:

- 1-Reservatório
- 2-Barragem
- 3-Vertedouro
- 4-Tomada d'água
- 5-Canal de adução
- 6-Extravasor
- 7-câmara de carga

- 8-Casa de máquinas
- 9-Canal de fuga
- 10-Linhas de alimentação
- 11-Gerador
- 12-Regulador
- 13-Quadro de comando
- 14-Nível d'água na câmara de carga
- 15-Nível d'água no canal de fuga



USINA HIDRELÉTRICA FAZENDA CHACRINHA

FICHA TÉCNICA

LOCAL: Fazenda Chacrinha - Município de Valença -RJ

PROPRIETÁRIO: Família Oliveira Castro

RIO: Rio das Flores

INÍCIO DE OPERAÇÃO: 1956

ÁREA DE DRENAGEM: 114 km²

DADOS ENERGÉTICOS:

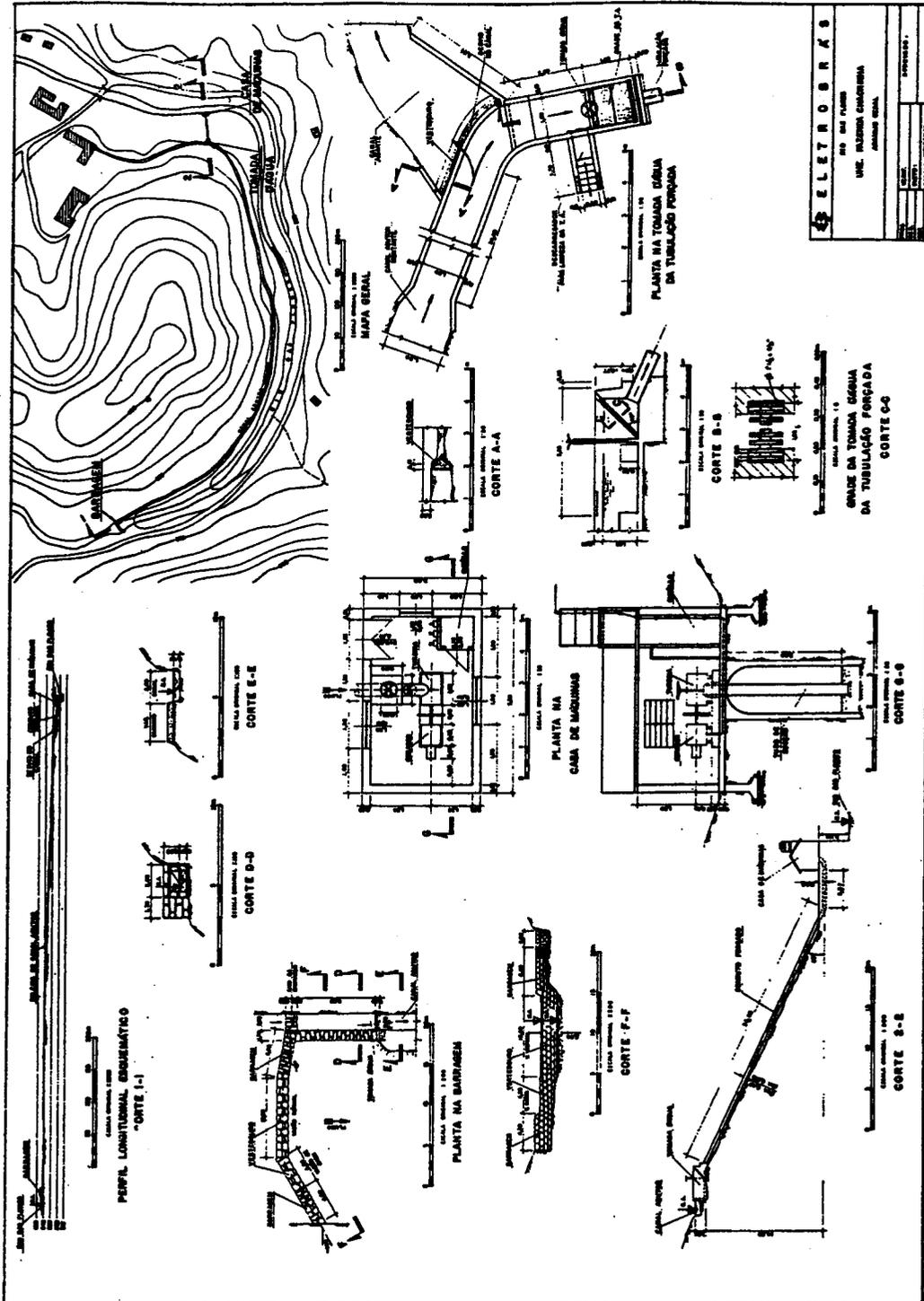
- Queda Bruta 18,36 m
- Vazão de Projeto 0,2 m³/s
- Potência Instalada 26,4 kW

TURBINA:

- Tipo Francis-Rotor Duplo-Eixo Horizontal
- Fabricante WALMACH (Waldevino Machado)
- Potência Unitária 40 cv
- Número de Unidades 1
- Rotação 1000 rpm

GERADOR:

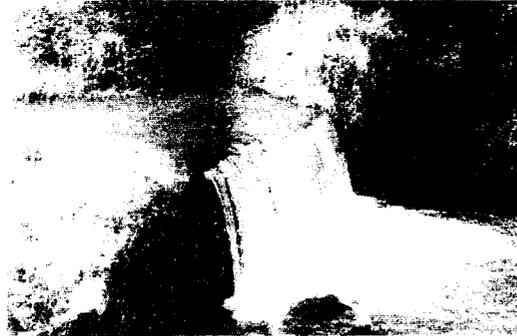
- Fabricante - ASEA VASTERAS (Suécia)
- Potência 33 kVA
- Número de Unidades 1
- Tensão/Corrente de Geração 230V/82,8A
- Fator de Potência 0,8
- Rotação Síncrona 1000 rpm
- Frequência 50 Hz
- Número de Fases 3



ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA



a) BARRAGEM DAS FLORES - Visto de Jusante



b) VERTEDOURO - Visto da Margem Direita



c) BARRAGEM - Visto da Margem Esquerda



d) CANAL DE ACESSO E COMPORTA REGULADORA DO CANAL ADUTOR

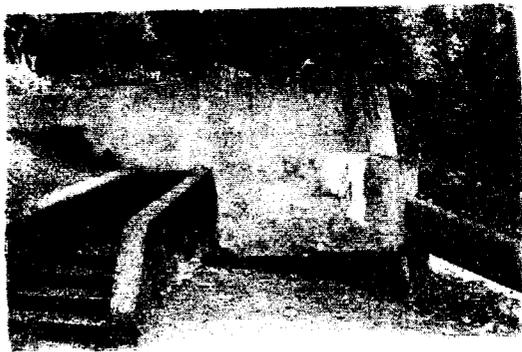


e) Canal de Acesso - Visto de Jusante

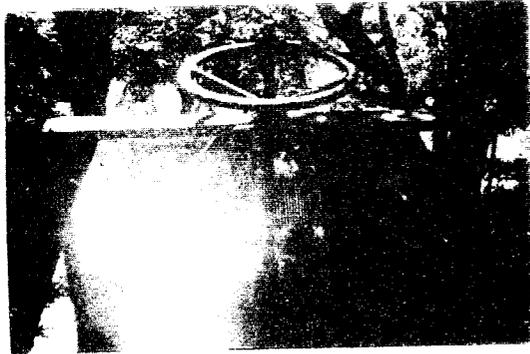


f) TOMADA D'ÁGUA DA TUBULAÇÃO FORÇADA, vendo-se o Vertedouro de Controle

USINA HIDRELÉTRICA DA BARRAGEM DE FERRAS



g) TOMADA D'ÁGUA DA TUBULAÇÃO FORÇADA, vendo-se a Saída para a Descara de Areia



h) TOMADA D'ÁGUA DA TUBULAÇÃO FORÇADA, mostrando o Fluido



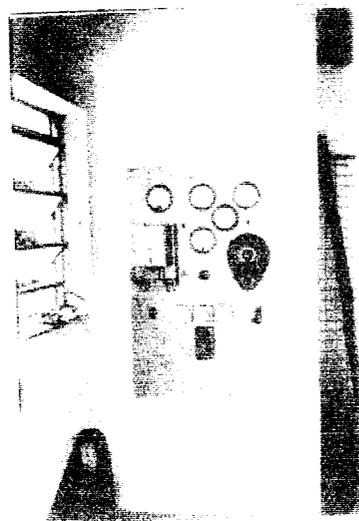
i) TUBULAÇÃO FORÇADA Vista de Jusante



j) CASA DE FORÇA - Vista da Margem Oposta da Barragem



k) GRUPO TURBINA/GERADOR - Vê-se no Primeiro Plano a Válvula de Fechamento



l) CASA DE FORÇA - INTERIORE

USINA HIDRELÉTRICA DO BAÚ

FICHA TÉCNICA

LOCAL: Cachoeira do Baú - Município de Liberdade-MG

PROPRIETÁRIO: Manoel da Rocha Soares Filho

RIO: Ribeirão do Baú ou da Cachoeirinha

INÍCIO DE OPERAÇÃO: 1940

ÁREA DE DRENAGEM: 54 km²

DADOS ENERGÉTICOS:

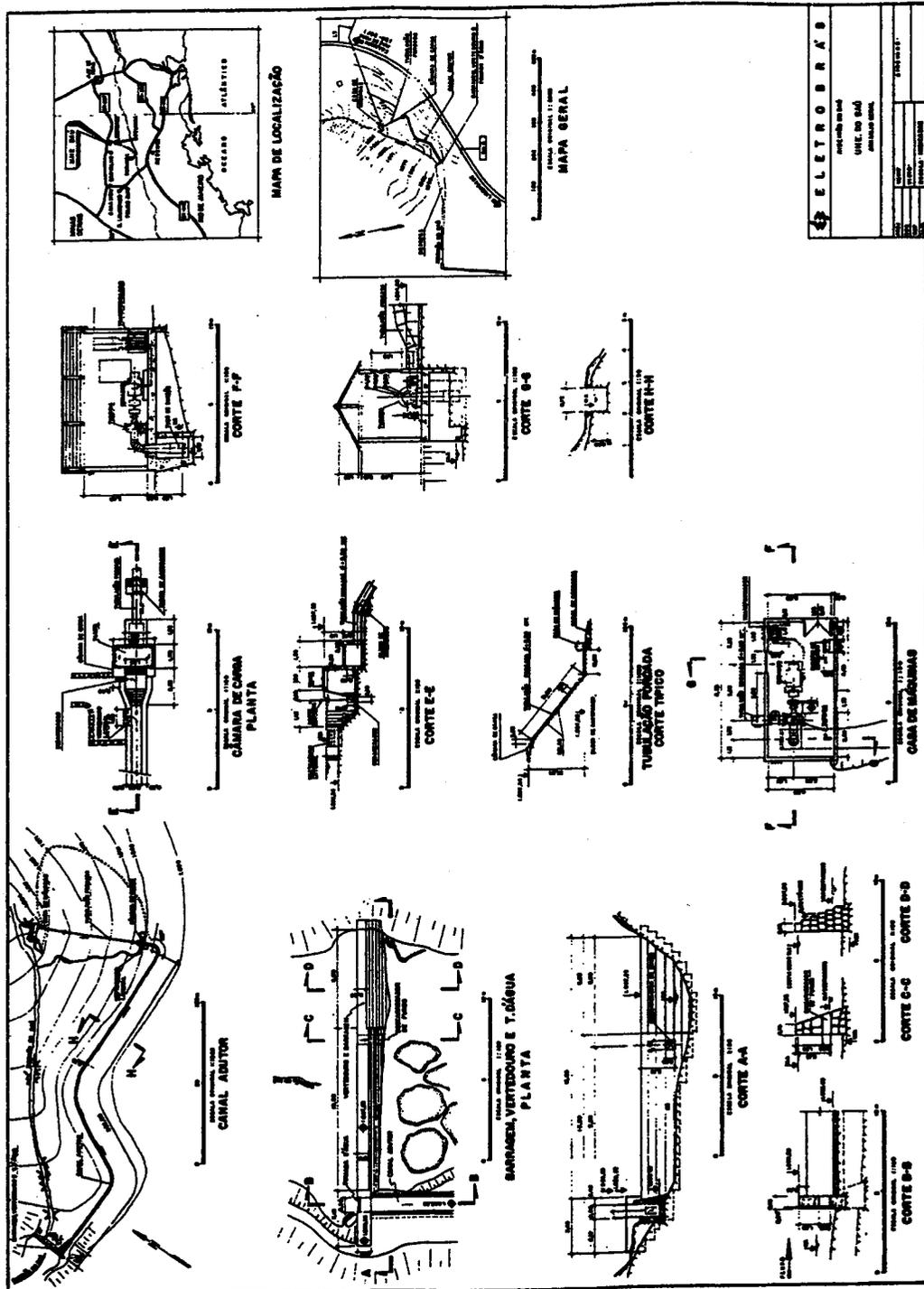
- Queda Bruta 36,35 m
- Vazão de Projeto 0,3 m³/s
- Potência Instalada 73,6 kW

TURBINA :

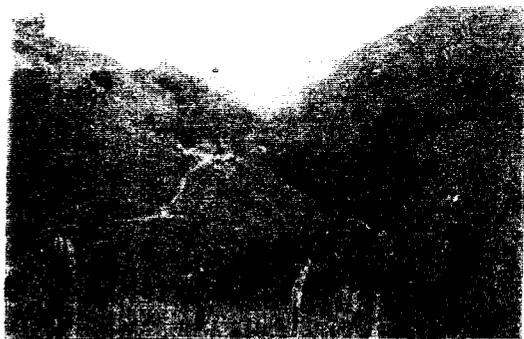
- Tipo Francis - Eixo Horizontal
- Fabricante Herm Stoltz - Rio de Janeiro
- Potência Unitária 110 cv
- Número de Unidades 1
- Rotação 750 rpm

GERADOR:

- Fabricante ASEA (Suécia)
- Potência 92 kVA
- Número de Unidades 1
- Tensão/Corrente de Geração 230V/231A
- Fator de Potência 0,8
- Rotação Síncrona 750 rpm
- Frequência 50 Hz
- Número de Fases 3



ESTUDO HIDROLÓGICO DE BARRAGEM



a) VISTA GERAL do Local do Aproveitamento



b) QUEDA DO APROVEITAMENTO
Vista de Jusante



c) TOMADA D'ÁGUA E CANAL DE
ADUÇÃO -Vistos de Montante



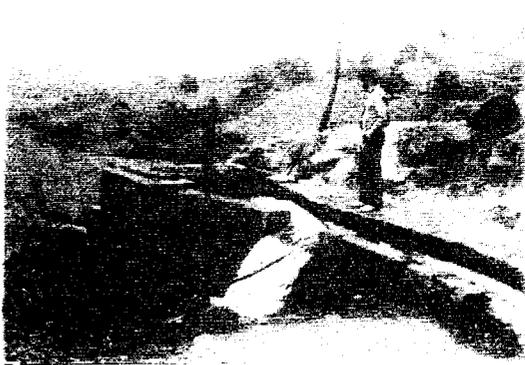
d) VERTEDOURO - Visto de Montante



e) VERTEDOURO - visto
da Margem Direita



f) CANAL DE ADUÇÃO



8) CÂMARA DE CARGA e VENTOSOÇO NATURAL - Vistos de Nordeste



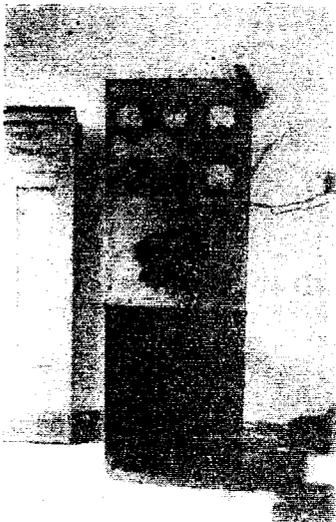
9) TUBULAÇÃO FORÇADA e CASA DE FORÇA - Vistos Montante



10) CANAL DE FUGA



11) UNIDADE GERADORA



12) CAIXA DE TRANSFORMAÇÃO



13) TRANSFORMADOR - Montado no Interior da Casa de Força

4.2 Topografia e Dados Cartográficos

4.2.1 Topografia

Para o projeto de uma microcentral hidrelétrica vários serviços de topografia serão necessários:

- . Determinação da queda natural no local do aproveitamento
- . Perfis de seções transversais diversas
- . Perfis de seções longitudinais diversas
- . Áreas para implantação das diversas obras civis necessárias
- . Área de drenagem

Estes serviços poderão ser executados através de "Levantamentos Topográficos Expeditos" ou através de "Levantamentos Topográficos com Instrumentos", conforme descritos a seguir:

4.2.1.1 Levantamentos Topográficos Expeditos

- Determinação da Queda Natural no Local do Aproveitamento

Dois modos muito simples para efetuar a medição da queda natural são os apresentados no ANEXO 4.2.1/A.

Para o primeiro modo, são suficientes para esse serviço, um nível de carpinteiro e duas régua bem aplainadas, sendo uma de 3 a 4 m e a outra de cerca de 2 m de comprimento. Para facilitar a medição, a régua menor deverá ser dotada de escala métrica. Coloca-se a ponta inferior da régua menor no nível da água (Ponto A) de modo que ela fique em posição vertical. Coloca-se depois a régua maior no terreno e controla-se, pelo nível de carpinteiro sobre a mesma, sua posição horizontal. Mede-se a seguir, a altura h_1 , e marca-se o ponto onde descansa a ponta da régua maior no terreno (Ponto B).

Repete-se essa operação entre os pontos B e C, etc. e assim sucessivamente, determinando-se as diferenças de níveis h_1, h_2, h_3 , etc., conforme mostram as FIGURAS (a) e (b) do ANEXO 4.2.1/A.

Para o segundo modo serão necessárias duas régua de cerca de 2 m de comprimento e um tubo plástico flexível e transparente, com 1 cm de diâmetro interno e 6 m de comprimento. Para facilitar a medição, as régua deverão ser dotadas de escalas métricas.

Colocam-se as duas régua, em posição vertical, sobre dois pontos quaisquer E e F, entre os quais deseja-se medir o desnivelamento (h_5). Com o auxílio do tubo plástico flexível e transparente, cheio de água corada, determina-se em cada régua pontos de igual nível, criando um plano horizontal de referência. A diferença entre as alturas desse plano sobre os dois pontos E e F, em medição, dará a diferença de nível h_5 , entre esses pontos, conforme mostra a FIGURA (c) do ANEXO 4.2.1/A.

Um terceiro método, não tão simples quanto os dois descritos acima, porque exige alguns cálculos trigonométricos, mas que permite uma execução rápida nos trabalhos de medição de campo, pode ser empregado para a determinação da distância e diferença de nível entre dois pontos do terreno, como por exemplo, entre E e F das FIGURAS (b) e (c) do ANEXO 4.2.1/A.

Para esse método emprega-se um clinômetro, dispositivo fácil de ser fabricado. Basicamente consta de duas pequenas réguas de madeira bem aparelhadas, com bordos e faces paralelas, presas numa das extremidades, nas linhas de centro das réguas, por um parafuso com porca do tipo "borboleta", conforme mostra FIGURA (a) do ANEXO 4.2.1/B. No bordo superior de uma delas prende-se um nível de carpinteiro. As duas réguas devem poder girar em torno do parafuso, do mesmo modo que as lâminas de uma tesoura.

Para a medição de campo, crava-se estacas robustas nos pontos E e F do terreno de modo que as duas alturas h_E e h_F , em relação ao terreno, permitam colocar uma corda de "nylon" fortemente esticada entre os topos das estacas e livre de obstruções (capim, pedras, etc.) entre as mesmas.

A medição da inclinação, que a corda de "nylon" faz com o plano horizontal, é feita afrouxando-se a porca "borboleta" e colocando-se o bordo inferior da régua, que não tem o nível de pedreiro, sobre a corda de "nylon" e deslocando-se a outra até ficar em posição horizontal, o que pode ser verificado com o nível de pedreiro sobre ela instalado. Nesta posição, aperta-se a porca "borboleta" prendendo as duas réguas entre si, colocando-as sobre um papel, riscando o ângulo com um lápis e medindo-o com um transferidor de desenhista.

Por mais que esteja esticada, a corda de "nylon", ou mesmo de outro material que esteja esticada, a forte esticamento, sempre sofre um pequeno deslocamento para baixo quando se coloca o clinômetro sobre ela. Por isso, para maior precisão do resultado, aconselha-se fazer uma medição sobre cada um dos trechos extremos da mesma, aproveitando-se os topos das estacas como apoio de uma das extremidades da régua que apoia sobre a corda, o que facilita o posicionamento correto do clinômetro. Nesse caso, o valor do ângulo de inclinação será a média dos valores θ_1 e θ_2 , medidos nas extremidades da corda. A FIGURA (b) do ANEXO 4.2.1/B ilustra as posições corretas do clinômetro sobre a corda nos pontos de medição. Devido à flexão da corda (catenária) causada pelo seu peso próprio, o valor do ângulo θ_1 medido próximo à estaca de topo mais alto será ligeiramente maior que o ângulo θ_2 , medido junto à estaca de topo mais baixo. O ANEXO 4.2.1/B apresenta as fórmulas que, em função dos elementos medidos, permitem obter a diferença de nível h_5 e a distância L_5 entre os dois pontos do terreno (E e F).

Quando se consegue cravar estacas de modo que as suas alturas sejam aproximadamente iguais, isto é, $h_E \approx h_F$, pode-se adotar o ângulo medido θ como a inclinação média do terreno entre os pontos E e F. Como consequência, $h_5 \approx h_x$ e $L_5 \approx L_x$, o que reduz os cálculos.

los apresentados no ANEXO 4.2.1/B.

Como aperfeiçoamento do clinômetro, pode-se instalar um mostrador, com ângulos marcados, entre as duas réguas. Neste caso, as linhas de referência para a medição devem ser as linhas de centro (C) das réguas, convergentes no ponto de rotação onde está o parafuso. Os valores dos ângulos serão obtidos através de leituras diretas.

- Determinação dos Perfis de Seções Transversais e Longitudinais

Para a determinação de perfis topográficos deve-se marcar o alinhamento desejado e escolher convenientemente os pontos do terreno que caracterizem as mudanças de inclinação do mesmo, A, B, C, D, etc., conforme ilustra a FIGURA (a) do ANEXO 4.2.1/A.

O nivelamento entre esses pontos poderá ser feito com os métodos descritos anteriormente, mas para a locação dos mesmos deverão ser acrescentadas as medições das distâncias horizontais l_1, l_2 e l_3 , etc., entre eles. Neste caso, aconselha-se que também a régua horizontal seja dotada de escala métrica para facilitar as medições das distâncias.

- Determinação de Áreas de Interesse

A determinação de áreas de terreno pode ser feita através de perfis de seções transversais paralelas e distantes entre si de um comprimento conveniente, formando um conjunto de pontos sobre a área a ser levantada, conforme mostra a FIGURA (d) do ANEXO 4.2.1/A.

Convém lembrar que os perfis das seções transversais deverão ter os seus pontos com os seus níveis referidos a um mesmo plano de referência. Isso pode-se obter determinando-se as diferenças de níveis h_1, h_2 e h_3 , etc., entre um ponto qualquer de cada uma das seções transversais, como, por exemplo, entre A e A_1, A_1 e A_2 etc., como ilustra a FIGURA (e) do ANEXO 4.2.1/A.

- Determinação do Contorno da Área a Ser Inundada

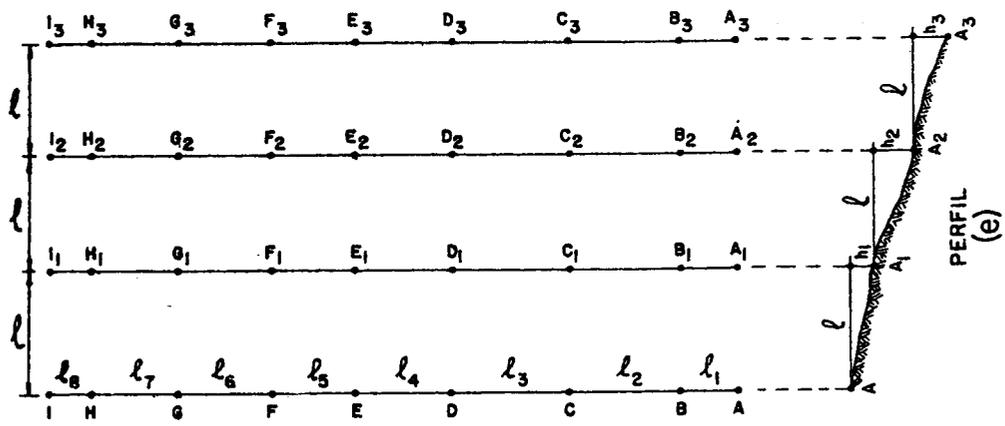
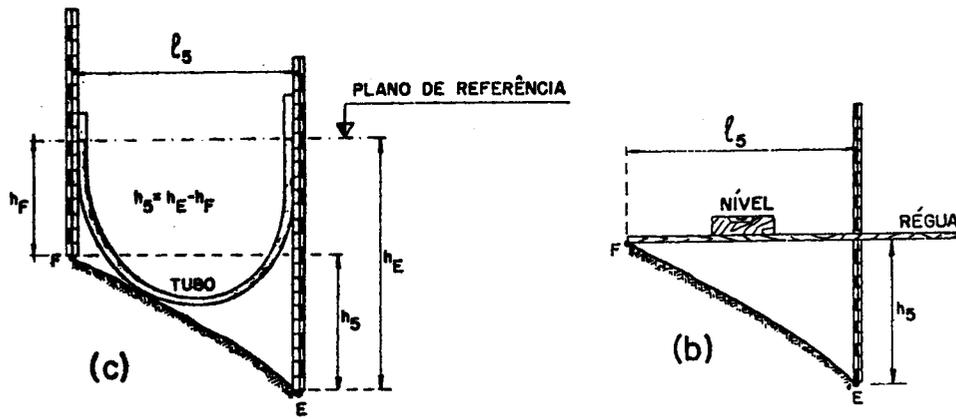
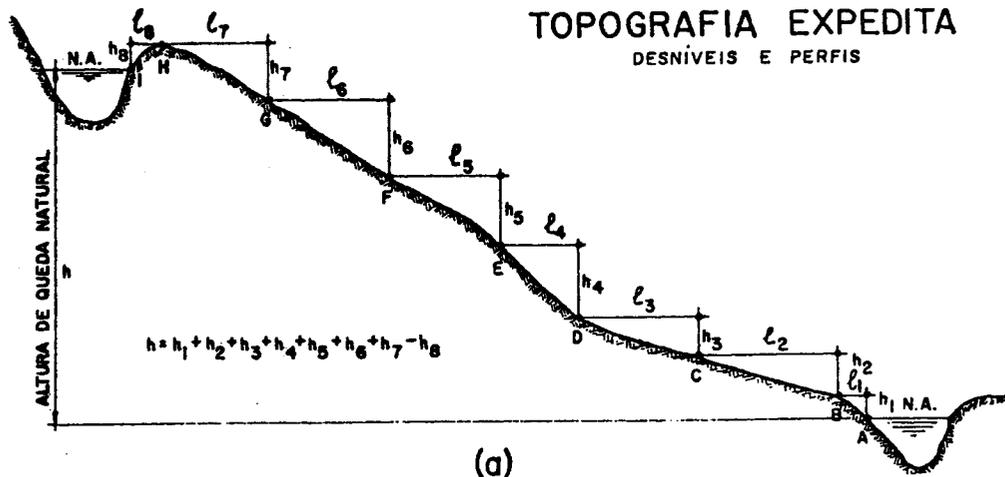
Esta operação é de grande conveniência na verificação da existência de pontos e áreas ribeirinhas com benfeitorias ou plantações que possam vir a ficar inundadas pelo reservatório criado com barramento do curso d'água.

O método expedito para a determinação da curva de contorno da linha d'água do reservatório pode ser o mesmo que os agricultores empregam para a determinação das curvas de nível do terreno, em certos tipos de plantio, usando, como por exemplo, o "nível taça".

4.2.1.2 Levantamento Topográfico com Instrumentos

Para os casos em que haja recursos financeiros e profissionais, poder-se-á, caso necessário, lançar mão dos serviços topográficos executados por um topógrafo, com instrumentos do tipo teodolito, taqueômetro, nível de precisão, distanciômetro, etc., e aplicando a metodologia convencional que, neste Manual, não cabe a sua explanação.

TOPOGRAFIA EXPEDITA
DESNÍVEIS E PERFIS



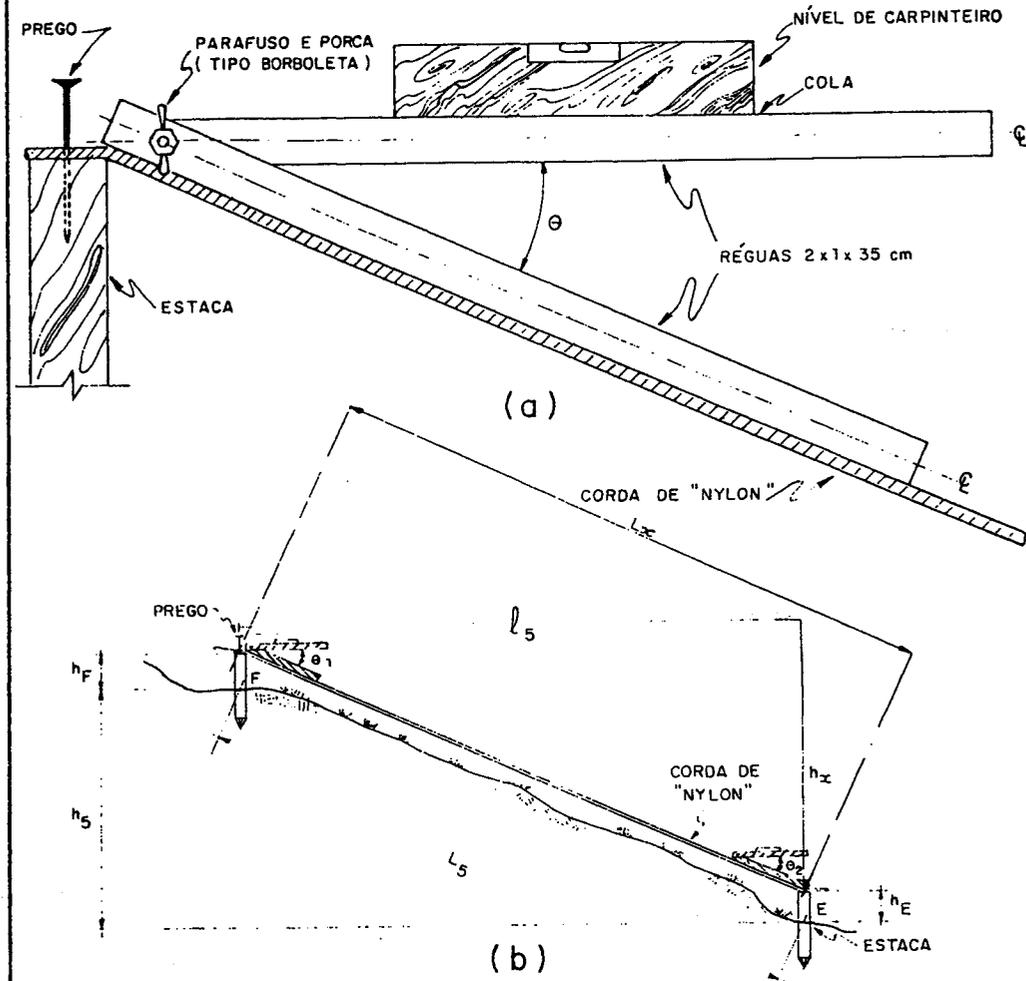
PLANTA
(d)

TOPOGRAFIA EXPEDITA

MÉTODO DO CLINÔMETRO

4.2.1/B

ANEXO



h_E e h_F - MEDIÇÃO COM ESCALA MÉTRICA

L_x - MEDIÇÃO COM TRENA

θ_1 e θ_2 - MEDIÇÃO COM CLINÔMETRO

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

$$h_x = L_x \text{ sen } \theta$$

$$l_5 = L_x \text{ cos } \theta$$

$$h_5 = h_x + h_E - h_F$$

$$L_5 = \sqrt{l_5^2 + h_5^2}$$

QUANDO: $h_E = h_F$

ADOta-SE: $h_5 = h_x$

$$L_5 = L_x$$

NOTA: Os valores de $\text{sen } \theta$ e $\text{cos } \theta$ são dados nas TABELAS 5.5.3/VI e VII
 REFERÊNCIA: Perfis similares em (b) e (c) do ANEXO 4.2.1/A

4.2.2 Dados Cartográficos

Os dados cartográficos são imprescindíveis à determinação dos parâmetros que permitem estimar a vazão de cheia máxima (ver Hidrologia-item 4.3.4) para o dimensionamento do vertedouro (sangradouro).

- A_d = área de drenagem
- L = comprimento do curso d'água desde as suas nascentes até o local do barramento
- h_p = desnível entre o ponto de nascente do curso d'água e o local do barramento

Esses dados podem ser obtidos através de mapas colhidos nas prefeituras e firmas de engenharia locais, entidades regionais como a CODEVASF, etc, através do I.B.G.E., EMATER, INCRA etc. ou mesmo através de cartas colhidas nas empresas de taxi aéreo e aviação comercial.

4.3 Hidrologia

4.3.1 Objetivo

Os estudos hidrológicos a serem realizados nos projetos de microcentrais hidrelétricas visam basicamente à definição, em caráter estimativo de:

- vazão de projeto da(s) turbina(s), para a determinação da potência a ser instalada;
- nível d'água de desvio do rio, para a programação da ensecagem no local a ser construída a barragem, quando for o caso;
- vazão de cheia máxima e nível d'água correspondente, para a determinação da capacidade máxima necessária do vertedouro (sangradouro), durante os períodos de enchantes do rio e orientação de posição do piso da casa de máquinas.

4.3.2 Vazão de Projeto da(s) Turbina(s)

Avaliação Expedita

Para as centrais hidrelétricas de pequena capacidade, o método que vem sendo empregado há muitos anos consiste em fazer algumas medições da vazão nos cursos d'água nos períodos de estiagem, adotando a mínima como representativa da vazão de projeto da(s) turbina(s).

Para o caso de centrais hidrelétricas a fio d'água, a vazão de projeto (Q) a adotar será a vazão com 95% de ocorrência (Q_{95}), estimada pela relação

$$Q = Q_{95} = C_q Q_{\min}$$

onde:

Q = descarga de projeto (vazão para a determinação da potência a ser instalada)

Q_{95} = vazão do curso d'água com 95% de ocorrência

Q_{\min} = vazão mínima estimada do curso d'água, obtida como indicado no item 4.3.5, onde a área de escoamento (A) é a mínima estimada para o período mais seco, obtida por informações locais (perguntas aos moradores ou indicações evidentes)

C_q = coeficiente que dá a relação Q_{95}/Q_{\min} , determinado como se segue.

Para a determinação do coeficiente C_q , procedeu-se a um estudo estatístico em várias bacias hidrográficas brasileiras. Em 142 postos hidrométricos instalados em 127 rios diferentes, encontrou-se para 2524 dados anuais de observação, os seguintes valores mais frequentes para C_q :

TABELA 4.3.2/I

Bacia do Rio	Valores Mais Frequentes de C_q
URUGUAI	1,20 a 1,40
IGUAÇU	1,10 a 1,30
PARAÍBA DO SUL	1,00 a 1,20
PARANAÍBA	1,00 a 1,20
JEQUITINHONHA	1,00 a 1,20
SÃO FRANCISCO	1,00 a 1,20

Além das bacias apresentadas na tabela acima, também foi estudada a bacia Atlântico-Norte/Nordeste. Pela não regularidade de vazões, os resultados da análise de 51 rios situados nesta bacia mostraram que a metodologia aqui apresentada não pode ser aplicada aos rios desta região.

Recomenda-se adotar valores médios de C_q apresentados na TABELA 4.3.2/I. Para os rios perenes da bacia Atlântico-Norte/Nordeste e bacia Amazônica, como não há informações suficientemente confiáveis, o valor $C_q = 1$ deve ser empregado, o que equivale a tomar para descarga de projeto a vazão mínima Q_{min} .

4.3.3 Nível d'Água de Desvio do Rio

Quando for necessário executar construções no leito do rio, procedendo-se à necessidade das vazões naturais, para permitir implantar as obras projetadas. O período apropriado para esta etapa é o de águas baixas ou de estiagem, quando as vazões naturais são baixas, implicando em procedimentos executivos simplificados.

No caso de barragens de concreto, alvenaria de pedra e similares, o desvio do rio será feito na época de estiagem, adotando-se como nível d'água provável de ocorrer o menos frequente (mais elevado) do período de estiagem nos últimos cinco anos, obtido por indicação dos moradores locais, admitindo, para tanto, a possibilidade de galgamento das obras, se eventualmente ocorrerem situações excepcionais. O construtor deverá ser alertado para este fato, de modo a precaver-se quanto aos equipamentos de construção. Quanto a barragens de terra, entretanto, o procedimento a seguir poderá ser subdividido em duas possibilidades:

- nas bacias em que o regime de estiagem for bem definido, adotar-se-á para as enscadeiras de proteção uma cota de crista 0,5m acima do nível d'água menos frequente do período de estiagem nos últimos cinco anos, obtido por informações locais.

- nas bacias em que se verificar com freqüência cheias nos períodos de estiagem, a cota de crista das enseadeiras será elevada até 0,20 m acima da cheia máxima dos últimos cinco anos, segundo informações dos moradores locais. Os proprietários das obras poderão aceitar níveis mais baixos, como por exemplo, os indicados acima, desde que admitam a possibilidade de perda das obras de terra no caso de uma cheia excepcional. Nesta hipótese, o construtor deverá ser alertado para este procedimento, prevenindo-se quanto aos equipamentos de construção.

Nos aproveitamentos parciais de cursos d'água de bacias maiores e com maior capacidade, o desvio do rio será desnecessário, procedendo-se apenas a proteção do local onde serão feitas as obras de adução (tomada d'água) e de restituição (canal de fuga).

4.3.4 Vazão de Cheia Máxima

A estimativa da vazão máxima do vertedouro ou estrutura extravasora (sangradouro) pode ser feita a partir do Método Racional, que é baseado na fórmula:

$$Q = 0,278 C_d I A_d$$

onde:

Q = vazão de cheia, em m³/s;

C_d = coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade da chuva de projeto, em mm/h; e

A_d = área de drenagem, em km².

A área de drenagem, A_d, poderá ser obtida através de mapas, resituições aerofotogramétricas, fotografias aéreas da região ou levantamentos topográficos expeditos da bacia, onde se instalará a microcentral. Deverá, ainda, ser determinada a diferença de elevação entre o ponto mais alto do curso d'água principal e o ponto em estudo, assim como o seu comprimento.

O coeficiente de escoamento, C_d, que representa a relação entre o deflúvio superficial e o deflúvio pluvial correspondente, pode ser avaliado a partir de condições de solo, vegetação, etc., da bacia.

A Tabela a seguir fornece os valores aproximados de C_d.

VALORES DE C_d PARA USO NA FÓRMULA RACIONAL
TABELA 4.3.4/I

TIPO DE SOLO	COBERTURA DA BACIA		
	Cultivado	Pastagem	Mata
Com alta taxa de infiltração: geralmente arenoso ou encascalhado.	0,20	0,15	0,10
Com média taxa de infiltração: areno-argiloso.	0,40	0,35	0,30
Com baixa taxa de infiltração, pesadamente argiloso.	0,50	0,45	0,40

Para a determinação da intensidade da chuva de projeto, faz-se necessário o conhecimento da altura dessa chuva de projeto e da respectiva duração, dada pela fórmula:

$$I = \frac{h_c}{t_d}$$

onde:

h_c = altura da chuva de projeto, em mm

t_d = duração da chuva de projeto, em h

A altura da chuva, correspondente a um tempo de recorrência pré fixado, pode ser obtida através de um estudo de chuvas intensas onde existam registros pluviográficos de razoável período histórico, ou usando-se extrapolações a partir de publicações tais como: "Chuvas Intensas no Brasil", do Eng^o Otto Pfafstetter. Neste caso, deve-se utilizar os dados da cidade mais próxima do local onde será implantada a microcentral. Em ambos os casos, o tempo de recorrência deverá ser considerado igual a 100 anos quando não houver riscos potenciais a jusante e 200 anos no caso em que hajam riscos de danos significativos a jusante.

Para obtenção do tempo de duração da chuva geradora do escoamento, pode-se utilizar a observação direta ou métodos indiretos. Este tempo pode ser tomado, com certa aproximação, como o tempo de concentração da bacia.

$$t_d = t_c$$

$$t_c = \left(\frac{0,87 L^3}{h_p} \right)^{0,385}$$

onde:

t_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do curso d'água principal, em km;

h_p = diferença de elevação entre o ponto mais alto da bacia e o ponto em estudo, em m.

O conhecimento da vazão máxima da cheia conduz ao nível d'água máximo correspondente. Como esta associação é determinada de forma expedita apenas em casos particulares, recomenda-se para nível d'água máximo aquele observado, quer por moradores antigos das proximidades, quer por indicações evidentes, resultante da maior cheia. Este valor irá servir à definição da cota de piso da casa de máquinas.

4.3.5 Medições Expeditas de Vazão de Um Curso D'água

Entre os processos para se medir a vazão de uma vala, córrego, riacho, ou mesmo um pequeno rio, de forma expedita, os mais simples são aqueles realizados por meio de flutuadores ou por meio de vertedores.

- Medição com Flutuador: (ANEXO 4.3.5/A, Diagrama a)

Escolhe-se um trecho reto do curso d'água cujo leito seja uniforme e onde a água flua serenamente. Mede-se o seu comprimento L que, se possível, deve ser superior a 10 metros, marcando-se o seu início e o seu fim, o que pode ser feito com duas cordas amarradas em estacas cravadas nas margens e em posição perpendicular ao eixo da vala ou do córrego.

Em seguida coloca-se, a alguns metros a montante do início do trecho escolhido e no meio do leito, um flutuador constituído por uma garrafa fechada e lastrada com água em 1/3 do seu volume.

Com um cronômetro, determina-se o tempo, em segundos, que o flutuador gasta para percorrer o trecho escolhido para a medição da vazão.

As áreas das seções transversais limitadas pelos níveis d'água e o fundo da vala ou do córrego devem ser determinadas, no mínimo, para os pontos inicial e final do trecho de medição. Se o comprimento desse trecho for longo, aconselha-se determinar as áreas de uma ou mais seções transversais intermediárias.

A vazão Q, em m³/s, pode ser calculada pela fórmula:

$$Q = \frac{0,8L.\bar{A}}{t}$$

onde:

L = comprimento do trecho medido, entre as duas seções transversais extremas, em m;

\bar{A} = média das áreas das seções transversais, levantadas ao longo do trecho, em m²;

t = tempo de percurso do flutuador, em s;

0,8 = coeficiente de correção de velocidade superficial para velocidade média na seção de medição;

Para se estimar a vazão mínima ocorrida no local de implantação da microcentral, adotar-se-á nesta expressão a área mínima de escoamento (A_{\min}) resultante do nível de água mais baixo observado no local, obtido por informação direta.

- Medição com Vertedor Retangular (ANEXO 4.3.5/A, Diagramas b e c).

O processo de medição com vertedor retangular conduz a resultados mais precisos que o processo de medição com flutuador, embora requeira um pouco mais de trabalho e se limite aos casos em que as condições morfológicas do curso d'água permitam sua realização.

Barra-se o curso d'água, a vala ou o córrego, com um painel de tábuas que tenha uma abertura retangular no centro, suficiente para a passagem de toda a água. A largura do vertedor deve ter de metade até dois terços da largura do curso d'água, da vala ou do córrego.

Os cortes da abertura devem ser chanfrados na direção do fluxo d'água, conforme indica o Diagrama c do ANEXO 4.3.5/A.

Depois de vedadas todas as fendas do painel tapume e firmado o vertedor, crava-se, a montante do mesmo, a um ou dois metros de distância, uma estaca cuja extremidade superior deve ficar no nível em que está a crista do vertedor.

Espera-se que o escoamento da água se faça normalmente, através do vertedor, e mede-se a altura do nível d'água h sobre o topo da estaca.

Desprezando-se a contração lateral da lâmina d'água, a descarga pode ser calculada pela fórmula de Francis:

$$Q = 1,84 b h^{3/2}$$

onde:

Q = vazão, em m^3/s ;

b = largura da abertura do vertedor, em m;

h = altura do nível d'água sobre a crista do vertedor, em m, medida a montante desta, no local onde foi cravada a estaca.

A TABELA 4.3.5/I indica a descarga Q , em m^3/s , em função da altura h , em m, para um vertedor com 1,0m de comprimento. Para vertedores com comprimentos b metros, os valores de Q encontrados na tabela deverão ser multiplicados por b .

- Medição com Vertedor Triangular (ANEXO 4.3.5/A, Diagrama d)

Quando as descargas são muito pequenas, inferiores a 200 l/s ou quando o córrego tem uma largura reduzida em relação a sua profundidade, não dando condições para a instalação de um vertedor com seção retangular, emprega-se um vertedor com abertura triangular em "v".

Os processos de instalação e medição para esse tipo de vertedor são os mesmos já apresentados para o vertedor retangular, sendo porém a descarga calculada pela fórmula de Thompson:

$$Q = 1,4 h^{5/2}$$

onde:

Q = descarga, em m³/s

h = altura do nível d'água sobre o vértice inferior do vertedor, em m, medida a montante deste, no local onde foi cravada a estaca.

A TABELA 4.3.5/II apresenta os valores de Q, em m³/s, em função dos valores de h, em m.

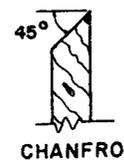
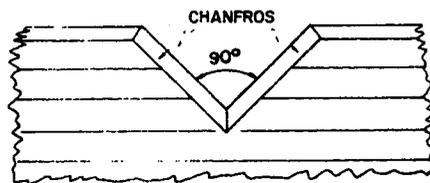
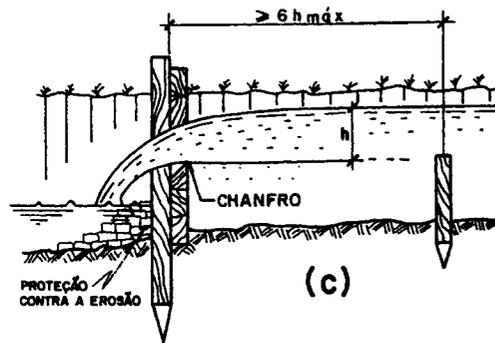
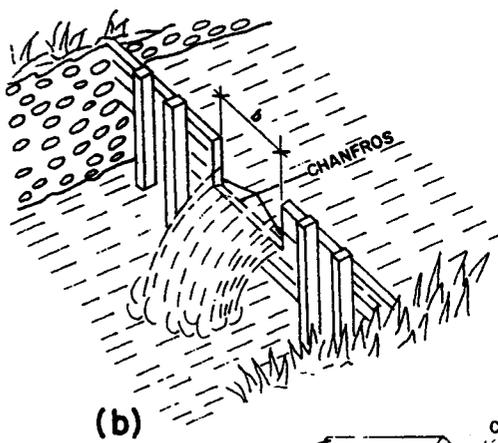
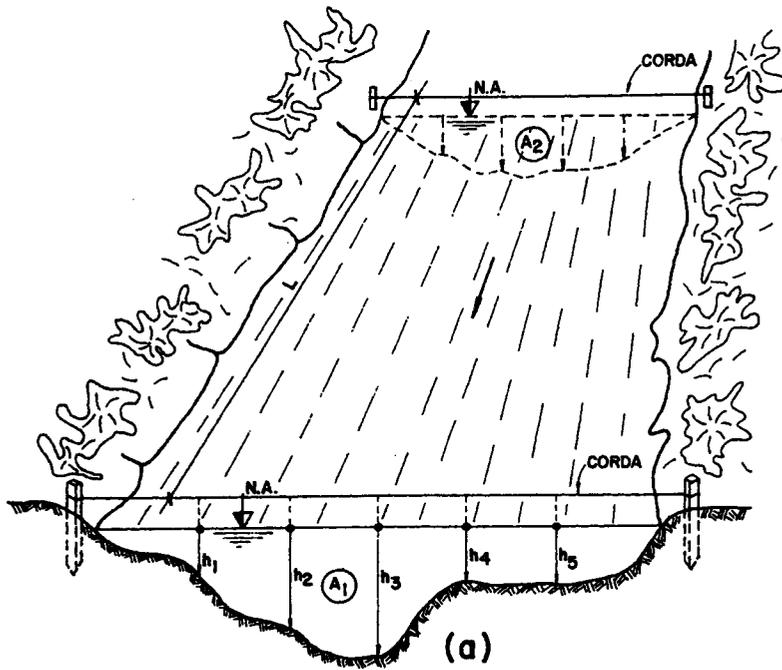


TABELA 4.3.5/I

VAZÃO DE VERTEDOUROS RETANGULARES SEM
CONTRAÇÃO LATERAL - EM m^3/s
FÓRMULA DE FRANCIS

$$Q = 1,84 b h^{3/2}$$

h (m)	Q (m^3/s)	h (m)	Q (m^3/s)	h (m)	Q (m^3/s)
0,0100	0,00184	0,0350	0,01205	0,2000	0,16457
0,0110	0,00212	0,0375	0,01336	0,2250	0,19638
0,0120	0,00242	0,0400	0,01472	0,2500	0,23000
0,0130	0,00273	0,0450	0,01756	0,2750	0,26535
0,0140	0,00305	0,0500	0,02057	0,3000	0,30234
0,0150	0,00338	0,0550	0,02373	0,3500	0,38100
0,0160	0,00372	0,0600	0,02704	0,4000	0,46549
0,0170	0,00408	0,0650	0,03049	0,4500	0,55544
0,0180	0,00444	0,0700	0,03408	0,5000	0,65054
0,0190	0,00482	0,0750	0,03779	0,5500	0,75052
0,0200	0,00520	0,0800	0,04163	0,6000	0,85515
0,0220	0,00600	0,0850	0,04560	0,6500	0,96425
0,0240	0,00684	0,0900	0,04968	0,7000	1,07762
0,0260	0,00771	0,1000	0,05819	0,7500	1,19512
0,0280	0,00862	0,1250	0,08132	0,8000	1,31660
0,0300	0,00956	0,1500	0,10689	0,8500	1,44194
0,0325	0,01078	0,1750	0,13470	0,9000	1,57102

OBSERVAÇÃO: TABELA VÁLIDA PARA $b = 1 m$

TABELA 4.3.5/II

VAZÃO DE VERTEDOUROS TRIANGULARES
 ABERTURA EM 90° - EM m³/s
 FÓRMULA DE THOMPSON

$$Q = 1,4 h^{5/2}$$

h (m)	Adicionais em metros				h (m)	Adicionais em metros			
	0,000	0,003	0,006	0,009		0,000	0,003	0,006	0,009
0,03	0,00022	0,00028	0,00034	0,00042	0,25	0,04375	0,04507	0,04642	0,04779
0,04	0,00045	0,00054	0,00064	0,00074	0,26	0,04826	0,04966	0,05109	0,05254
0,05	0,00078	0,00091	0,00104	0,00118	0,27	0,05303	0,05452	0,05603	0,05756
0,06	0,00123	0,00139	0,00157	0,00175	0,28	0,05808	0,05965	0,06124	0,06286
0,07	0,00181	0,00202	0,00223	0,00246	0,29	0,06340	0,06506	0,06674	0,06844
0,08	0,00253	0,00278	0,00304	0,00331	0,30	0,06901	0,07075	0,07252	0,07431
0,09	0,00340	0,00369	0,00400	0,00432	0,31	0,07491	0,07673	0,07859	0,08046
0,10	0,00443	0,00477	0,00512	0,00549	0,32	0,08110	0,08301	0,08495	0,08692
0,11	0,00562	0,00601	0,00642	0,00684	0,33	0,08758	0,08959	0,09162	0,09368
0,12	0,00698	0,00743	0,00789	0,00837	0,34	0,09437	0,09646	0,09859	0,10074
0,13	0,00853	0,00903	0,00955	0,01008	0,35	0,10146	0,10365	0,10587	0,10811
0,14	0,01027	0,01083	0,01140	0,01200	0,36	0,10886	0,11115	0,11346	0,11580
0,15	0,01220	0,01282	0,01346	0,01411	0,37	0,11658	0,11896	0,12137	0,12380
0,16	0,01434	0,01502	0,01572	0,01644	0,38	0,12462	0,12709	0,12960	0,13213
0,17	0,01668	0,01743	0,01819	0,01898	0,39	0,13298	0,13555	0,13815	0,14079
0,18	0,01924	0,02006	0,02089	0,02174	0,40	0,14167	0,14434	0,14704	0,14977
0,19	0,02203	0,02291	0,02381	0,02473	0,41	0,15069	0,15346	0,15626	0,15910
0,20	0,02504	0,02599	0,02696	0,02796	0,42	0,16005	0,16292	0,16583	0,16876
0,21	0,02829	0,02931	0,03036	0,03142	0,43	0,16975	0,17272	0,17573	0,17877
0,22	0,03178	0,03288	0,03399	0,03513	0,44	0,17979	0,18287	0,18598	0,18912
0,23	0,03552	0,03669	0,03788	0,03910	0,45	0,19018	0,19336	0,19658	0,19983
0,24	0,03951	0,04075	0,04202	0,04337	0,46	0,20092	0,20421	0,20754	0,21089

4.4 Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno

4.4.1 Generalidades

A Geologia e Geotecnia tratam, basicamente, de dois aspectos:

- a - do local da barragem e obras anexas, de modo a garantir uma escolha adequada e segura, sobretudo quanto às fundações, ombreiras e encostas naturais nas vizinhanças das obras;
- b - dos materiais naturais de construção necessários à construção das obras que constituem o aproveitamento.

Uma vez que aqui se está tratando de pequenos aproveitamentos, as investigações geológicas devem ser feitas de modo expedito, com pouca ajuda de instrumentos, baseando-se essencialmente em observações de campo, informações eventualmente existentes nas áreas e no bom senso.

Assim, na escolha do local da barragem, deve-se obedecer a princípios simples e de fácil entendimento que se coadunem com os aspectos contidos no item 5 - "Projeto e Aspectos Construtivos".

4.4.2 Prospecções Geológicas Expeditas

Locais sujeitos a potenciais desmoronamentos ou que tenham tido quedas de barreiras recentes não oferecem boas condições de suporte de obras.

Locais que vêm sofrendo desmatamento intenso ou onde a vegetação seja muito rala ou inexistente, associados a encostas íngremes, podem sofrer, na época de chuvas intensas e/ou prolongadas, processo erosivo do terreno natural. O reservatório formado pela barragem pode ficar, assim, sujeito a grande deposição de material em pouco tempo, o que não é conveniente. Na escolha de um local para implantação das obras deve-se sempre procurar um apoio firme para suas fundações. Sempre que possível, deve-se analisar muito bem zonas onde existam bancos de areia ou cascalho, pois eles são muito permeáveis, podendo ocasionar fugas excessivas de água pela fundação. No local da barragem, rochas que mostrem fraturas abertas no sentido do rio podem também trazer problemas de fuga de água.

Todo local de ocorrência de rochas muito fraturadas deve ser bem analisado, pois, havendo a hipótese de implantação de estruturas, merecerá cuidados especiais. Todas as ocorrências de turfa ou argila preta orgânica, por serem muito pouco resistentes e muito compressíveis, devem ser perfeitamente identificadas e delimitadas para serem analisadas em projeto. Os solos destes terrenos não servem nem para fundação e nem como material de construção.

4.4.3 Investigações Geológicas com Equipamentos

O bom senso e a experiência alertarão os técnicos envolvidos com o projeto e construção da obra para a existência de algum problema de fundação, ou construtivo, que não possa ser devidamente enfrentado com as técnicas de simples reconhecimento acima expostas. Neste caso, as técnicas de investigação poderão necessitar o auxílio de equipamentos, sendo recomendável a presença de profissionais especializados.

4.4.4 Materiais Naturais de Construção

Em princípio, toda obra deve ser construída com os materiais naturais existentes em suas vizinhanças. Isto quer dizer que o projeto deverá ser adaptado aos materiais disponíveis, optando-se por um ou outro tipo de barragem, justamente em função desta disponibilidade.

As investigações dos materiais naturais abrangem a pesquisa de solo para construção das obras de terra, areias para filtros e agregados, e rocha para enrocamentos, transições e agregados de concreto.

A pesquisa de solo para barragem deve procurar definir os materiais em qualidade e quantidade. Com relação à qualidade, os solos deverão ser identificados e classificados de acordo com suas características próprias, através de análises expeditas recomendadas no item 4.4.5 - Caracterização Expedita de Materiais Construtivos e de Fundações.

A avaliação da quantidade é obtida através do processo de cubagem (cálculo de volumes), que consiste na demarcação da área e na estimativa média das profundidades exploráveis de solo. Para tanto, é efetuada, no interior da área delimitada, uma "malha" de furos a trado e poços, com espaçamento de preferência constante, geralmente arbitrado em função das dimensões e topografia de área, e variando de 20m até 50 m.

Estes furos deverão atravessar individualmente o manto de solo existente, sendo definidas, para cada horizonte e espessura, as características dos materiais encontrados; estas perfurações serão executadas de acordo com o descrito nos itens:

4.4.6 - Investigações com furos a trado;

4.4.7 - Poços de Inspeção;

4.4.8 - Trincheiras.

Determinadas as áreas de exploração e a espessura média das camadas, calcula-se os volumes disponíveis para utilização, prevendo-se sempre que os volumes de exploração devem ser superiores aos volumes calculados para serem aplicados nas obras, em um percentual da ordem de 50%.

Obtendo-se a certeza da disponibilidade de solo em qualidade e quantidade adequadas para utilização, procede-se à definição da forma mais conveniente de exploração, por métodos manuais ou através do emprego de equipamentos mecânicos, como tratores com lâmina, pás carregadeiras, retroescavadeiras e outros.

A pesquisa de areia deverá ser realizada nos depósitos situados nas margens e no leito dos cursos d'água existentes e nas proximidades dos locais de construção.

As investigações a trado e os poços para avaliação dos volumes disponíveis de materiais são, em geral, dificultadas pela presença do nível d'água, já que tais depósitos geralmente ocorrem nas regiões alagáveis. Nestes casos, após delimitada a área de ocorrência, recomenda-se avaliar a espessura do depósito com auxílio de uma "malha" regularmente espaçada de sondagens a varejão, que consiste na cravação, sem impacto, de uma haste metálica lisa, por exemplo, ferro de construção de 1/2 a 1 polegada, utilizando-se apenas o esforço de uma pessoa, e anotando-se a profundidade atingida em cada ponto.

A média das profundidades atingidas em cada sondagem, multiplicada pela superfície determinada da ocorrência, fornecerá o volume disponível de material. Convém observar que, durante a pesquisa de materiais arenosos, estes depósitos podem apresentar misturas com outras frações, como argilas e materiais orgânicos, acarretando uma exploração difícil e antieconômica. Nestes casos, o custo do metro cúbico de uma jazida em exploração comercial nos arredores pode tornar-se vantajoso, comparado com as dificuldades de exploração numa jazida na área da obra.

Cabe ainda lembrar que, na ausência de fontes de materiais arenosos, pode ser usado como material alternativo a areia artificial obtida como refugio de britagem. Entretanto, isto deve ser avaliado economicamente, pois poderá dificultar a trabalhabilidade do concreto.

A pesquisa de material pétreo ficará condicionada pela qualidade e quantidade dos produtos provenientes das escavações obrigatórias. Caso estas escavações não atendam às necessidades da obra, deverão ser investigados locais com potencialidade de ocorrência de materiais pétreos, observando-se que deverão ser considerados os seguintes aspectos: sanidade da rocha, que não deverá ser quebradiça nem apresentar fácil desagregação; cobertura da camada de estéril, isto é, solo ou rocha muito alterada, dificultando e encarecendo os custos de exploração, sendo que em tais casos convém investigar o material de cobertura para possível utilização como área de empréstimo; a frente de ataque para exploração deverá ser ampla, o suficiente para entrada de máquinas e equipamentos para remoção do material escavado; estar localizada fora da região de possível inundação do rio.

4.4.5 Caracterização Expedita de Materiais Construtivos e de Fundações

4.4.5.1 Identificação, Classificação e Descrição dos Materiais Construtivos

Os materiais para construção podem ser identificados e classificados de acordo com as características gerais descritas na TABELA 4.4/I.

TABELA 4.4/I - IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAIS

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO GERAL	FAIXA GRANULOMÉTRICA (mm) (ABNT)	FINALIDADE CONSTRUTIVA
ARGILAS	contêm partículas muito finas não distinguíveis a olho nu, inclusive colóides.	menor que 0,005.	diques, barragens de terra e vedações.
SILTES	constituídos por partículas finas não visíveis a olho nu.	0,005-0,05	
AREIAS	grãos arredondados identificáveis a olho nu.	0,05 - 4,8	filtros, agregados finos.
CASCALHOS OU BRITAS	materiais grosseiros de terraços ou leito de rios ou originários de pedreiras e, de acordo com os tamanhos dos grãos, dividem-se em: cascalho ou brita 1 cascalho ou brita 2 cascalho ou brita 3	4,8 - 19 19 - 38 38 - 76	transições entre filtros de areia e enrocamentos, agregados grossos.
ENROCAMENTOS	materiais de pedreiras com dimensões avantajadas constituindo blocos.	maiores que 100	abas de proteção do material terroso e concreto.

4.4.5.2

Propriedades dos Materiais Construtivos - Definições e Identificação Tátil-visual.

Na natureza as frações destes materiais raramente ocorrem isoladamente, e sim em forma de misturas. A identificação e classificação são baseadas no reconhecimento dos tipos básicos e nas características próprias das misturas.

A) Materiais de Granulometria Fina (Argilas/Siltos):

Utilização:

Os materiais de granulometria fina, tais como argila, argilas siltosas, argilas silto-arenosas e siltos-argilosos serão utilizados para construção de diques, barragens de terra e vedações de enscadeiras.

Propriedades:

Estes materiais são caracterizados por uma propriedade típica das argilas, que é a plasticidade ou comportamento plástico, que vem a ser a capacidade de se deixar moldar sem variação de volume, ou seja, deformam-se sem perder umidade. Os materiais de alta plasticidade indicam geralmente a presença de grande quantidade de argila, moldam-se com muita facilidade (grande capacidade de deformação) e são difíceis de se trabalhar, já que têm um comportamento semelhante ao da "massa de moldagem". Deste modo os materiais mais indicados para finalidades construtivas são os materiais entre baixa e média plasticidade. São solos que, quando compactados, apresentam baixa permeabilidade.

Avaliação Expedita das Características:

a) Teste de Deposição - Avalia a distribuição dos materiais.

Os tamanhos das areias e cascalhos são reconhecidos facilmente por inspeção visual e as partículas menores que as da areia fina não podem ser distinguidas visualmente ou a olho nu. Uma forma para verificar a presença do material fino é agitar uma amostra num vaso transparente com água e deixá-lo depositar. A distribuição aproximada é fornecida pela separação das partículas no vaso, desde a superfície até o fundo. As areias depositam-se quase de imediato, os siltos permanecem em suspensão durante pelo menos um minuto, enquanto que as argilas, por uma hora ou mais.

b) Teste de Consistência - Avalia a resistência do material com relação à plasticidade.

Deixa-se secar uma pequena porção do material úmido, retirando-se todos os grãos maiores e testa-se sua resistência

a seco esmagando-a entre os dedos:

- Baixa resistência - indica silte inorgânico, pó de pedra ou areia misturada com silte, ou seja, materiais de muito baixa ou nenhuma plasticidade. A presença de areia é evidenciada quando a amostra é pulverizada, notando-se pelo tato a sensação de "arranhar" os dedos.
 - Média resistência - indica a presença de argila, sem matéria vegetal, de plasticidade entre média e baixa. É necessário considerável pressão dos dedos para pulverizá-la.
 - Alta resistência - indica argila altamente plástica. A amostra seca pode ser rompida, mas não se consegue pulverizá-la com a pressão dos dedos.
- c) Identificação pela Cor - Os solos de cor cinza escura ou preta indicam provavelmente a presença de material orgânico.
- d) Identificação pelo Cheiro - Os solos que contêm material orgânico apresentam cheiro característico.
- e) Identificação pelo Tato - Os solos de granulometria fina (siltos e argilas) apresentam-se sedosos no contato com os dedos.
- f) Teste de Agitação - Agita-se horizontalmente sobre a palma da mão uma pequena porção de solo úmido. Observa-se a água que surge à superfície, dando-lhe uma aparência acetinada. Em seguida espreme-se a amostra entre os dedos fazendo-se desaparecer a umidade da superfície, que perde a aparência brilhante, ao mesmo tempo que enrijece e, finalmente, desagrega-se sob a pressão dos dedos. Torna-se a agitar os pedaços da amostra até juntarem-se de novo: uma reação rápida indica falta de plasticidade, como no silte inorgânico de pó de pedra e na areia muito fina; uma reação lenta indica silte ou argila siltosa ligeiramente plásticos; caso não haja reação, isto indica argila ou material turfoso.

B) Materiais de Granulometria Grossa (Areias/Cascalhos/Britas/Enrocamentos):

a) Areias

Utilização:

Materiais destinados a agregados finos de concreto e camadas de filtros que facilitem a passagem da água e evitem a saída do material fino que se quer proteger.

Propriedades:

Estes materiais deverão ser utilizados totalmente limpos, sem presença de matérias vegetais, raízes, restos de folhas, ga -

lhos, ou outros, sem presença de materiais finos como "pelotas" de argila, devendo permitir facilmente a passagem de água. Caso seja constatada a presença destas impurezas, as areias deverão ser lavadas e peneiradas antes da utilização.

Avaliação Expedita das Características:

Tamanho e Distribuição dos Grãos - no caso das areias, a inspeção visual e o tato são suficientes para fornecer uma idéia de sua distribuição. A sensação de aspereza ao tato fornece a indicação da quantidade de areia contida na amostra. A inspeção visual permite avaliar a distribuição dos grãos; caso estes se apresentem aproximadamente do mesmo tamanho, as areias são chamadas uniformes; caso haja variação contínua no tamanho dos grãos, estas serão chamadas desuniformes ou, ainda, bem graduadas.

Drenagem Franca - deverá ser observada a facilidade de escoamento de água através da areia, uma vez atendidas as propriedades anteriormente definidas. Esta drenagem será facilitada nas areias uniformes e de maior tamanho dos grãos.

b) Cascalhos ou Britas

Utilização:

Materiais destinados a camadas de transição entre os filtros e enrocamentos e para agregados grossos de concretos.

Propriedades:

O material deve ter coerência suficiente para não se desagregar pela ação da água, quando exposto ao tempo, e ter dureza para resistir a ações de impacto.

Avaliação Expedita das Características:

Inspeção Visual - para verificar a distribuição das dimensões, formas dos grãos e friabilidade.

Teste de Desagregação - deixar amostras do cascalho ou brita submetidas a ciclos diários de molhagem e secagem ao tempo, de modo a avaliar visualmente quaisquer características de desagregação daquelas amostras ao longo de um período mínimo de 60 dias. São válidas as observações do estado de blocos de rocha existentes na região e que tenham estado expostos às intempéries por longo período.

Resistência ao Impacto - desferindo-se golpes com um martelo sobre o material avalia-se sua resistência ao impacto.

c) Enrocamentos

Utilização:

Para maciços de ensecadeiras, proteção de taludes terrosos e para uso em concreto ciclópico.

Propriedades:

Deverão ter as mesmas propriedades dos cascalhos e britas e, quando compactados em maciços, apresentam franca permeabilidade.

Avaliação Expedida das Características:

Devem ser efetuadas as mesmas avaliações descritas para os cascalhos e britas.

4.4.5.3 Fundações

Para estimativa de pressões admissíveis dos tipos mais comuns de terrenos para fundações das diferentes estruturas, recomenda-se aquela contida na NB-51-1978 (ABNT) para fundação direta de edifícios, transcrita na TABELA 4.4/II.

A) Fundações em Solo

Durante a escolha do eixo, quando se fazem as investigações sobre as fundações, sendo impossível atingir a camada de rocha, deve-se observar com cuidado as características do solo para certificar-se que possua condições adequadas para receber a barragem. Devem ser escolhidos locais com solos de densidade elevada e não excessivamente úmidos.

Teste de Consistência - segundo o item 4.4.5.2.A b, caso o solo apresente plasticidade elevada, ou seja, grande quantidade de argila, significa que sob a ação do peso da barragem poderá sofrer deformações elevadas, devendo-se evitar este material como fundação.

Em caso de materiais puramente granulares, as deformações sob a ação do peso são significativamente menores; entretanto, o material pode apresentar passagem de água com muita facilidade, o que requer soluções especiais na construção.

Teste de Resistência - deve-se tentar cravar no solo de fundação uma haste metálica de 2 a 3 metros de comprimento, por exemplo ferro de construção de 1/2 ou 1 polegada. A dificuldade à penetração fornece uma avaliação da resistência do solo ao longo da profundidade alcançada pela haste. Baixa resistência à penetração indica solos de alta plasticidade, com elevada capacidade de se deformarem, devendo portanto ser evitados. Elevada resistência à penetração indica solos consistentes e pro-

vavelmente de baixa plasticidade (pouco deformáveis), sendo necessário ficar atento sobre a facilidade de permitirem a passagem de água.

TABELA 4.4/II
PRESSÕES ADMISSÍVEIS PARA DIFERENTES TIPOS DE TERRENO

Classe	Tipo de Material	Valores básicos (kgf/cm ²)
1	Rocha sã, maciça, sem laminações ou sinal de decomposição	50
2	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas.....	35
3	Solos concrecionados.....	15
4	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, compactos.....	8
5	Pedregulhos e solos pedregulhosos, mal graduados, fofos.....	5
6	Areias grossas e areias pedregulhosas, bem graduadas, compactas.....	8
7	Areias grossas e areias pedregulhosas, mal graduadas, fofas.....	4
8	Areias finas e médias:	
	muito compactas.....	6
	compactas.....	4
	medianamente compactas.....	2
9	Argilas e solos argilosos:	
	consistência dura.....	4
	consistência rija.....	2
	consistência média.....	1
10	Siltos e solos siltosos:	
	muito compactos.....	4
	compactos.....	2
	medianamente compactos.....	1

Notas:

- para os materiais intermediários entre as classes 4 e 5, interpolar entre 8 e 5 kgf/cm²;
- para os materiais intermediários entre as classes 6 e 7, interpolar entre 8 e 4 kgf/cm²;
- no caso de calcário ou qualquer outra rocha cárstica (terrenos com sumidouros naturais), devem ser feitos estudos especiais;
- os valores constantes desta tabela têm como origem a NB-51 de 1978, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

B) Fundações em Rocha

As fundações em rocha oferecem a vantagem de ser praticamente indeformáveis; entretanto, alguns aspectos devem ser observados.

Resistência da rocha - com auxílio de uma picareta deve-se testar a qualidade da rocha; a resistência ao impacto da ferramenta fornece uma idéia aproximada da sua dureza.

Desgaste pela ação das águas - esta observação deverá ser efetuada nas proximidades do leito do rio, verificando-se onde se apresenta na rocha o desgaste sofrido pela ação das correntes.

Presença de fraturas - mesmo apresentando elevada resistência, a presença de grande quantidade de fraturas na camada de rocha pode indicar não ser conveniente a fundação da barragem neste local. A presença de grande quantidade de fraturas pode permitir elevada passagem de água pela fundação, caso as fraturas não estejam preenchidas com algum material e, no caso particular das barragens de terra, existe o perigo de fuga de material do maciço da barragem por estas aberturas. No caso de fraturas de maior abertura, pode-se tentar o fechamento, através de um selo de pasta ou calda de cimento e água. No caso de fraturas em grande quantidade com pequena abertura, o problema merece muita atenção, devendo ser adotadas soluções de tamponamento das fraturas no local da obra e até a montante da mesma.

4.4.6 Investigações com Furos a Trado

4.4.6.1 Utilização

É o processo mais simples, rápido e econômico para investigações preliminares das condições geológicas subsuperficiais, obtenção de amostras deformadas em pesquisas de áreas de empréstimo, determinação do nível d'água e indicação de mudanças nos tipos de materiais atravessados.

4.4.6.2 Equipamentos e Materiais

Hastes de ferro ou liga de aço (1 1/2" ou 3/4") com roscas e luvas nas extremidades; extensões de 1 m, 2 m e 3 m; barras para rotação e conexão "T"; brocas de perfuração do tipo cavadeira, helicoidal ou torcida, com diâmetro de 2 1/2", 4" ou 6", trapano: (ver FIGURA 4.4/1); chaves de grifo, sacos para acondicionamento de amostras, amarrilhos e etiquetas de identificação.

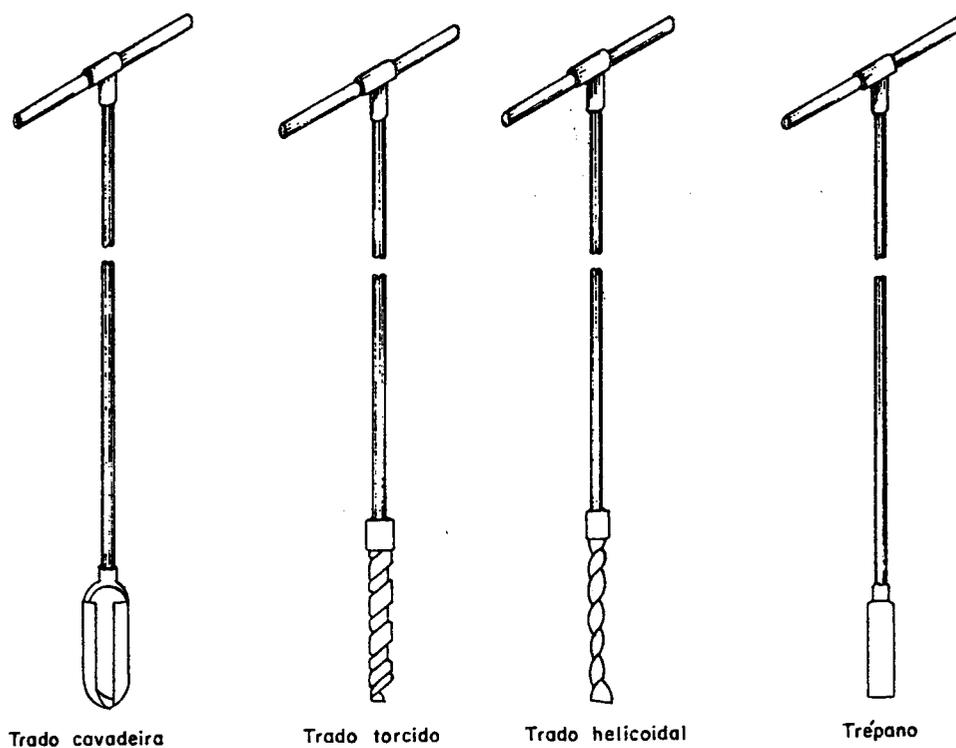


FIGURA 4.4/1

4.4.6.3 Identificação dos Furos

As sondagens a trado serão identificadas pela sigla ST, seguida do número indicativo (Ex: ST-1....ST-10, etc)

4.4.6.4 Execução e Amostragem

A perfuração é feita com operadores girando a barra horizontal acoplada às hastes verticais, em cuja extremidade inferior encontra-se a broca. A cada 5 ou 6 rotações forçando-se o trado para baixo, é necessário retirá-lo para remover o material acumulado na broca, depositando-o sobre uma lona (ou plástico) estendida ao lado do furo.

Os furos serão identificados individualmente no campo, sendo anotados em boletim específico todos os dados relativos à perfuração, bem como as características da amostra a partir da identificação tátil-visual pelo exame do material por ocasião da coleta, conforme o item 4.4.5.

O material obtido na perfuração será colocado sobre uma lona ou plástico, em pequenos montes correspondentes à escavação de cada 1,00 m perfurado.

Ocorrendo mudanças no tipo de material ao longo de 1,00 m de perfuração, os materiais distintos serão separados por montes, sendo anotada a espessura anterior à mudança de camada (ver FIGURA 4.4/2).

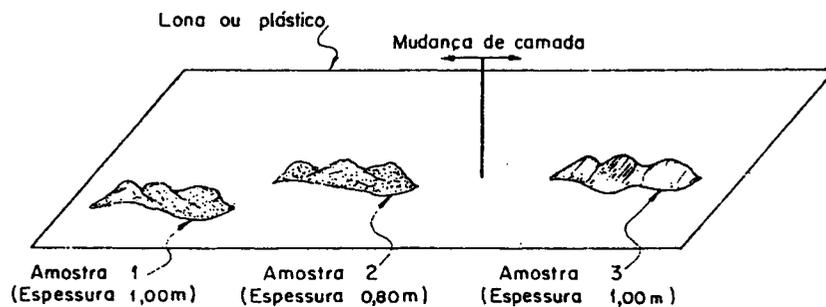


FIGURA 4.4/2

As amostras serão acondicionadas em sacos apropriados de 5,00kg, convenientemente identificados por uma ou mais etiquetas onde constem: nome da obra, nome do local, número do furo, profundidade da amostra, cota da boca do furo, profundidade do nível d'água em relação à boca do furo (quando ocorrer) e profundidade de de camada impenetrável.

Os furos serão interrompidos nas seguintes circunstâncias:

- Atingindo-se o N.A. - dificilmente consegue-se prosseguir o furo.
- Desmoronamento das paredes do furo.
- Atingindo-se o impenetrável - materiais de maior resistência a uma profundidade inferior (cerca de 50%) à média das profundidades atingidas pelos furos vizinhos. Neste caso, retira-se o trado e, com auxílio do trépano, tenta-se ultrapassar a camada resistente para o prosseguimento do furo. Persistindo a impossibilidade, o furo deverá ser abandonado, e executada nova perfuração a uma distância aproximada de 2,00 m do furo anterior.

As amostras retiradas e devidamente acondicionadas deverão ser abrigadas em local apropriado, sendo que, somente nos casos em que as análises expeditas recomendadas nos parágrafos anteriores não sejam suficientes para dirimir eventuais dúvidas, deverão ser enviadas para laboratório. Neste caso específico, é recomendável recorrer-se a profissionais especializados para indicação dos tipos de ensaios a serem realizados e para interpretação de resultados dos mesmos.

4.4.7 Poços de Inspeção

4.4.7.1 Utilização

Os poços de inspeção a céu aberto complementam as investigações a trado e têm por finalidade principal estabelecer informações seguras sobre o nível considerado impenetrável por aquele tipo de sondagem, além de possibilitar a visualização e análise contínua das camadas de materiais atravessadas verticalmente.

Os poços deverão ser abertos em uma proporção de 1 para cada 5 furos a trado executados, preferencialmente no centro de cada área pesquisada.

4.4.7.2 Equipamentos e Materiais

O equipamento será constituído pelas seguintes ferramentas: enxada, pá, picareta, corda, balde, lona, sarilho e escada, sacos para acondicionamento das amostras, amarrilhos e etiquetas de identificação.

4.4.7.3 Identificação dos Poços

Os poços de inspeção serão identificados pela sigla PI, seguida de número indicativo (Ex. PI-1 ... PI-10, etc).

4.4.7.4 Execução e Amostragem

O poço será iniciado após limpeza superficial de uma área de 2,0 m x 2,0 m. A dimensão mínima para cada lado do poço será de 0,80 a 1,00 m.

O poço deverá ser cercado durante a fase de abertura, de modo a evitar a queda de animais em seu interior. Após a conclusão dos trabalhos dever-se-á promover o aterramento do mesmo.

Os poços serão identificados individualmente no campo, sendo anotados em boletim específico todos os dados relativos à perfuração, bem como as características de amostras coletadas a partir da identificação tátil-visual, conforme o item 4.4.5.

As amostras serão coletadas para cada 1,0 metro perfurado e acondicionadas em sacos apropriados de 5,00 kg, convenientemente identificados por uma ou mais etiquetas onde constem: nome

da obra; nome do local; número do poço; profundidade da amostra; cota da boca do poço; profundidade do nível d'água em relação à borda do poço (quando ocorrer); e profundidade de camada impenetrável à picareta em relação à borda do poço.

Para cada metro escavado, será separada uma amostra representativa da camada atravessada. Ocorrendo mudança de camada ao longo de 1,00 m de perfuração, serão coletadas amostras conforme exposto na FIGURA 4.4/2.

Os poços serão interrompidos quando atingirem o topo da camada rochosa, ou quando as condições de escavação tornarem-se impraticáveis tais como: ao atingir o N.A., quando as paredes evidenciam sinais de desabamento, ou não permitirem escavação a pá e picareta.

As amostras deformadas coletadas nos poços de inspeção devem ter o mesmo tratamento das obtidas nos furos a trado.

4.4.8 Trincheiras

4.4.8.1 Utilização

As trincheiras têm por objetivo permitir uma exposição contínua do subsolo, vertical e longitudinalmente, ao longo da seção de uma encosta natural, áreas de empréstimo, capeamento de pedreiras, fundação e outros locais de interesse.

4.4.8.2 Equipamentos e Materiais

As trincheiras podem ser escavadas com os mesmos equipamentos utilizados para os poços (pá, picareta, etc) ou, se disponíveis, através de equipamentos mecânicos (escavadeiras).

4.4.8.3 Identificação das Trincheiras

As trincheiras serão identificadas pela sigla TR, seguida de número indicativo (Ex. TR-1... TR-5, etc).

4.4.8.4 Execução e Amostragem

A execução, amostragem, limitações e tratamento das amostras devem seguir as mesmas recomendações para os poços de inspeção.

4.5 Determinação da Potência Aproveitável, Planejamento do Uso da Energia e Definição da Potência a ser Instalada.

4.5.1 Determinação da Potência Aproveitável

A determinação da potência aproveitável é, na realidade, a de terminação do potencial máximo que o local escolhido pode fornecer com as suas características topográficas de desnível (queda natural) e hidrológicas de vazão disponível do curso d'água.

Esse potencial em kW pode ser determinado através da seguinte fórmula:

$$\text{Potencial} = 7,16 H.Q$$

onde:

Q = vazão disponível do curso d'água, em m³/s

H = queda bruta = diferença de nível entre o nível d'água previsto para o reservatório (açude) e o nível d'água do rio no local da casa de máquinas.

A queda bruta é medida através dos serviços topográficos descritos no item 4.2 - Topografia e Dados Cartográficos, e a vazão, através do item 4.3 - Hidrologia.

4.5.2 Planejamento do Uso de Energia

O planejamento econômico do uso de energia pode ser feito por um engenheiro agrônomo ou um técnico agrícola que conheça bem os resultados de investimentos de capital nos diversos setores agropecuários.

- Horizonte de Atendimento:

O dimensionamento da carga associada à microcentral constitui uma das variáveis para a definição da potência a ser instalada. Os curtos prazos de definição exigidos, desde os estudos preliminares até o conhecimento do montante de investimento necessário ao empreendedor, indicam que a central não deve ser dimensionada computando-se apenas a carga existente ou prevista para ser atendida de imediato. Deve-se, porém, admitir que a microcentral será capaz de absorver o crescimento esperado na propriedade, dentro de um período suficiente para que se defina uma nova fonte de energia destinada a satisfazer as suas futuras expansões.

A superestima de demanda e, em consequência, o superdimensionamento do projeto vai implicar em investimentos ociosos. A subestima conduz à demanda reprimida, a solicitações acima das capacidades nominais das unidades e, conseqüentemente, à deterioração da qualidade do fornecimento e envelhecimento pre-

coce dos equipamentos.

Ressalve-se que um subdimensionamento é admissível, caso não se disponha, de imediato, de recursos para os investimentos necessários. Neste caso o empreendedor deve, consciente dessa limitação, dar prioridade às cargas em termos de retorno econômico, deixando para atendimento futuro aquelas menos essenciais ou economicamente menos atrativas.

Uma vez relacionados as lâmpadas para iluminação, aparelhos e equipamentos elétricos que vão consumir energia elétrica, as suas potências e os períodos prováveis de consumo diário deverão ser relacionados.

Para estimativa da carga elétrica a ser consumida, recomenda-se consulta a publicações, como a editada em 1980 pela CESP/ELETROCAMPO. Desta publicação, apresentam-se a seguir, as potências de lâmpadas para iluminação e aparelhos e equipamentos elétricos mais usuais no meio agropecuário.

a) Lâmpadas

- Fluorescentes 15, 20, 30, 40, 100, 110, 125 e 135 W
- Incandescentes para iluminação em geral:
 - vidro de bulbo claro 15 e 25 W
 - vidro leitoso e claro 40, 60, 75 e 100 W
 - vidro claro 150, 200 e 300 W
 - grandes, vidro claro 500, 1000 e 1500 W
- Vela balão, claro ou leitoso 40 e 60 W
- Vela lisa, claro ou leitoso 25 e 40 W
- Para "lustre" 40 W
- Para geladeiras e fogões 15, 25, e 40 W

b) Aparelhos Eletrodomésticos

- Aquecedor de ambiente:
 - pequenos 450 e 500 W
 - médios até 1000 W
 - grandes 1500 W
 - médios ou grandes com ventiladores 1000 a 3000 W
- Ar condicionado:
 - ligáveis em 110/220 V 750, 1300 e 1500 W.
 - ligáveis em 220 V (monofásico) 1700, 2500, 2900, 3000, 3600 e 3700 W

- Aspirador de pó:		
portátil 1/4 CV		322 W
semiportátil 1/3 CV		408 W
semiportátil 1/2 CV		583 W
industrial 1 1/4 CV		1278 W
industrial (2 motores) 3/4 CV		1670 W
- Barbeador elétrico		60 W
- Batedeira doméstica	100, 200 e 400 W	
- Bomba d'água caseira (monofásico)		
- 1/4 CV		322 W
- 1/3 CV		408 W
- 1/2 CV		583 W
- 3/4 CV		835 W
- Cafeteira elétrica		500 W
- Chuveiro elétrico automático	2000 e 2800 W	
- Circulador de ar	200, 300 e 400 W	
- Enceradeira		
- 1/6 CV		286 W
- 1/2 CV		583 W
- 3/4 CV		835 W
- Exaustor (cozinha)		75 W
- Ferro de passar roupa	500, 800, 1000 e 1250 W	
- Fogão elétrico		
por boca de 15 cm de diâmetro		1200 e 1300 W
por boca de 20 cm de diâmetro		1500 e 2000 W
- Forno elétrico:		
60 litros de capacidade		3000 W
75 " " "		3500 W
127 " " "		6000 W
162 " " "		8000 W
200 " " "		10000 W
288 " " "		12000 W

- Liquidificador		
1/6 CV		226 W
1/4 CV		322 W
- Máquina de Costura		80 a 90 W
- Máquina de lavar roupa (comum)		408 W
- Rádio		50 a 100 W
- Geladeira		
200 a 300 litros de capacidade		186 a 226 W
2 portas		322 a 408 W
- Congelador		322 W
- Secador de cabelo		300 a 600 W
- Secador de roupa		185 W
- Torradeira de pão		500 W
- Ventilador	30, 60, 100 e 150 W	
- Televisor		200 W

c) Equipamentos Elétricos

- Beneficiador de arroz - saco de 60 kg em 10 h		
60 sacos 7,5 a 10 CV		6580 a 8670 W
80 " 12,5 a 15 CV		10900 a 13000 W
130 " 25 a 30 CV		21200 a 25400 W
165 " 35 a 40 CV		29700 a 33900 W
205 " 50 a 60 CV		42400 a 50900 W
- Beneficiador de arroz compacto (em 10 h)		
15 sacos - 3 CV		2633 W
22 " - 5 CV		4390 W
35 " - 7,5 CV		6582 W
45 " - 10 CV		8674 W
- Beneficiador de arroz "MINI"		
1,5 a 2 sacos - 90 a 120 kg - 3 CV		2630 W
10 a 15 " -600 a 900 kg - 7,5 CV		6580 W

- Bomba d'água para Irrigação		
5 CV		4390 W
10 CV		8670 W
15 CV		13000 W
20 CV		17000 W
30 CV		25400 W
- Brunidor de café - 8 horas		
90 sacos - 5 CV		4390 W
115 " - 7,5 CV		6582 W
- Congelador Comercial (várias portas)		
700 litros de capacidade - 1/3 CV		355 W
950 " " " 1/2 CV		533 W
1100 " " " 1/2 CV		533 W
1950 " " " 3/4 CV		746 W
2300 " " " 3/4 CV		746 W
2400 " " " 1 CV		969 W
2700 " " " 1 CV		969 W
3200 " " " 1 1/2 CV		1453 W
4600 " " " 1 1/2 CV		1453 W
- Criadeira de Pinto		100 a 250 W
- Debulhador de milho (1 hora)		
600 kg - 2 CV		1865 W
900 - 1200 kg 3 CV		2633 W
2100 kg 4 CV		3511 W
2400 kg 5 CV		4390 W
3600 kg 7,5 CV		6582 W
4200 kg 10 CV		8674 W
6000 kg 15 CV		13012 W
- Descascador de amendoim (10 horas)		
70 sacos - 5 CV		4390 W
100 " -7,5 CV		6582 W
200 " - 10 CV		8674 W
400 " - 15 CV		13012 W

- Descascador de arroz (10 horas)		
70 sacos - 2 CV		1865 W
125 " - 4 CV		3511 W
230 " - 5 CV		4390 W
- Descascador de café (10 horas)		
30 sacos - 3 CV		2633 W
50 " - 4 CV		3511 W
100 " - 6 CV		5266 W
150 " - 7,5 CV		6582 W
200 " - 10 CV		8674 W
250 " - 12,5 CV		10843 W
- Descascador de mamona (10 horas)		
80 sacos - 4 CV		3511 W
150 " - 6 CV		5266 W
250 " - 7,5 CV		6582 W
500 " - 15 CV		13012 W
- Despulpador de café (8 horas)		
2500 litros - 1 CV		969 W
5000 " - 2 CV		1865 W
10000 " - 3 CV		2633 W
20000 " - 5 CV		4390 W
50000 " - 7,5 CV		6582 W
- Esfarelador (8 horas)		
1200 kg - 2 CV		1865 W
3200 kg - 5 CV		4390 W
- Estufa (100°C)		
1 a 4 m ³ - 1 CV		969 W
5 m ³ - 2 CV		1865 W
6 a 7 m ³ - 2,5 CV		2249 W
8 m ³ - 3 CV		2633 W
10 m ³ - 5 CV		4390 W

- Forrageira (1 hora)		
Forragem fina:	3000 kg - 7,5 CV	6582 W
	4000 kg - 10 CV	8674 W
	6000 kg - 15 CV	13012 W
Forragem grossa:	4000 kg - 7,5 CV	6582 W
	5000 kg - 10 CV	8674 W
	7000 kg - 15 CV	13012 W
- Máquina de ordenha		
4 tubulações - 6 baldes - 1,5 CV		1453 W
6 " 8 " - 2 CV		1865 W
8 " 12 " - 3 CV		2633 W
- Máquina para ração (1 hora)		
2000 a 5000 kg - 18 a 30 CV	(média)	21193 W
- Misturador de adubos e de café		
50 sacos - 2 CV		1865 W
100 " - 3 CV		2633 W
- Misturador de rações e de alimentos (100 kg por CV)		
200 kg - 2 CV		1865 W
500 kg - 5 CV		4390 W
1000 kg - 10 CV		8674 W
- Picadeira de cana (1 hora)		
10 t - ensilagem 8 t - 12 1/2 CV		10843 W
20 t - " 16 t - 20 CV		16955 W
- Secador de forragem		
3 a 7 1/2 CV		2633 a 6582 W
- Serra circular para madeira		
40 a 45 cm diâmetro - rápido - 3 CV		2633 W
	normal - 5 CV	4390 W
	pesado - 7 1/2 CV	6582 W
30 a 35 cm diâmetro - rápido - 1 CV		969 W
	normal - 2 CV	1865 W
	pesado - 3 CV	2633 W

- Serra de fita

diâmetro volante	50 cm - 1/2 a 1 CV	(médio)	751 W
"	" 60 a 70 cm - 1 a 3 CV	"	1801 W
"	" 75 a 90 cm - 2 a 5 CV	"	3127 W
"	" 100 cm - 5 a 7,5 CV	"	5486 W

4.5.2.1 Determinação da Potência Necessária

A determinação da potência necessária, para atender o consumo da carga elétrica das instalações, é feita através das cargas elétricas horárias de todos os componentes da instalação. A maior carga horária (pico) encontrada define a potência necessária a instalar na central, devendo-se considerar entretanto, as ressalvas indicadas no "Horizonte de Atendimento", apresentada no princípio do item 4.5.2.

A carga horária máxima é obtida distribuindo-se as potências dos componentes da instalação nas diversas horas em que, provavelmente, vão funcionar ao longo do dia, somando-se as potências desses componentes para cada período horário de funcionamento, conforme mostrado no exemplo do item 6.

Um sistema de carga elétrica, funcionando dentro de um horário e período de consumo estabelecidos, é caracterizado por um coeficiente chamado fator de carga, que é obtido através da seguinte relação:

$$F_c = \frac{D_{\text{médio}}}{D_{\text{max.}}}$$

onde:

F_c = fator de carga

$D_{\text{médio}}$ = demanda média (carga consumida média)

D_{max} = demanda máxima (carga consumida máxima)

Sendo as demandas (cargas) tomadas com as mesmas unidades (W, kW, etc).

Quanto maior for o fator de carga, melhor será a distribuição do consumo de energia do sistema, dentro do período considerado.

Nos sistemas consumidores, como áreas agrícolas onde há períodos de safra, quando o consumo de energia elétrica aumenta com o funcionamento dos equipamentos de beneficiamento dos produtos agrícolas, deve-se estudar a distribuição de carga nesses períodos e compará-la com a distribuição de carga no período normal de consumo. O maior "pico" encontrado nos dois pe-

ríodos estudados definirá a potência necessária a ser instalada na central.

A fim de facilitar a regulação da unidade geradora, deve-se também programar as horas de funcionamento, de modo que a relação entre a carga horária mínima não seja inferior a 40% da carga horária máxima.

Havendo disponibilidade de potencial, o proprietário pode, como medida de segurança para atender uma mudança de programação para a carga, ou mesmo para atender um crescimento de carga projetada para o futuro, aumentar a potência a ser instalada em relação à potência necessária encontrada.

4.5.3 Definição da Potência a ser Instalada

Após os estudos do planejamento do uso de energia, a carga elétrica necessária deve ser comparada com o potencial hidrelétrico disponível no local escolhido (ver item 4.5.1), com a finalidade de se determinar a potência a ser instalada.

A potência máxima, em kW, que pode ser instalada é obtida através da seguinte fórmula:

$$P = 7,16 Q \cdot H_L$$

sendo:

$$H_L = \text{queda líquida, em m: } H_L = 0,95 H \text{ (para perda de 5\% de altura d'água no sistema adutor)}$$

ou

$$P = 7,16 Q (0,95H) = 6,80 Q \cdot H$$

Na comparação entre o potencial disponível e a potência desejada, três casos podem se dar:

1º) Potencial disponível maior que a potência desejada.

Neste caso, o usuário pode aproveitar todo o potencial disponível, obtendo sobra de energia ou, por questão de economia, reduzir o potencial com a diminuição da vazão disponível Q ou com a diminuição da queda bruta H, ajustando o valor do potencial disponível ao valor da potência desejada.

A diminuição da vazão disponível Q acarreta economia no projeto dos sistemas de captação e adutor, e a diminuição da queda bruta H, economia na altura da barragem.

Antes de se analisar a hipótese de redução de potência, deve-se avaliar a oportunidade de alocar o excedente nas propriedades vizinhas. Para isso, o empreendedor deve efetuar os levantamentos necessários e procurar uma orientação junto à EMATER, ou à concessionária estadual de energia elétrica, ou à CONBRACER - Confederação Brasileira de Cooperativas de Eletrificação Rural, localizada no SCS - Edifício Baracat - sala 407 - Brasília - D.F.

29) Potencial disponível igual à potência desejada.

Para este caso, obviamente pouco freqüente, o potencial disponível deve ser todo aproveitado.

39) Potencial disponível menor que a potência desejada.

Neste caso, tratando-se de centrais a fio d'água, sem reservatório de acumulação, só resta ao consumidor racionar o consumo de energia, planejando-o, ou complementar o déficit de energia, nas horas de maior consumo, com energia proveniente de outras fontes.

4.6 Avaliação do Impacto Ambiental

4.6.1 Introdução

Embora o presente Manual se refira a microcentrais hidrelétricas, é indispensável que se tenha uma compreensão nítida das implicações trazidas pela realização do empreendimento sobre o meio ambiente, bem como dos eventuais riscos das alterações ambientais virem a causar prejuízos à central. As análises a serem feitas deverão voltar-se principalmente à definição de medidas de proteção das instalações da central hidrelétrica e do reservatório, e de eliminação de riscos à saúde, especialmente no que se refere a doenças endêmicas.

4.6.2 Estudo do Impacto Ambiental

Os estados brasileiros contam presentemente com organismos especializados na definição, implementação e fiscalização de medidas de controle ambiental. Tais organismos deverão ser consultados, com vistas à obtenção de orientação para a definição de medidas de controle ambiental a serem adotadas.

Da mesma forma, recomenda-se que sejam consultados os organismos responsáveis pelo controle de doenças endêmicas e prestação de serviços de saúde com atuação na área, especialmente a SUCAM-MS (Superintendência das Campanhas de Saúde), a Fundação SESP e as Secretarias Estadual e Municipal de Saúde.

Em relação à necessidade de procedimentos para a estabilização dos solos, visando a contenção da erosão e do assoreamento do reservatório, e a proteção das instalações da central hidrelétrica, recomenda-se que sejam consultados organismos especializados existentes na região, a exemplo da EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural).

Deverão, inicialmente, ser observados e relatados os seguintes itens:

- 1 - Caracterização das áreas onde serão realizadas as obras de construção das estruturas componentes e eventuais consequências dessas obras;
- 2 - Situação das "áreas de empréstimo", onde serão retirados materiais a serem usados nas obras: localização dessas áreas e consequências previstas da retirada desses materiais;
- 3 - Observação do uso do solo na área da bacia hidrográfica, em termos de uso agrícola, pastagens e florestas, tendo em vista, principalmente, a ocorrência de erosão que possa vir a provocar o assoreamento futuro do reservatório. Recomenda-se verificar se o rio a ser barrado transporta muito material em suspensão, especialmente após períodos de chuva (examinar alterações na coloração da água).

Deverão ser examinados também, os riscos de que a utilização intensa de fertilizantes e defensivos agrícolas em áreas da bacia possa vir a prejudicar a qualidade da água;

- 4 - A existência, na região, de endemias que poderão vir a ser agravadas pela implantação do projeto (consultar organismos da área de saúde);
- 5 - Definição da necessidade de proceder-se ao desmatamento e limpeza, totais ou parciais, da área a ser inundada, para a preservação da qualidade da água do reservatório (consultar organismo estadual ou local de controle ambiental).

Como decorrência dos resultados das observações iniciais, deverão ser definidas as providências a serem adotadas para a adequada proteção do empreendimento e conservação do meio ambiente.

Com relação às situações de saúde na área, deve-se levar em conta que a formação do reservatório poderá favorecer a expansão de endemias vinculadas à água, especialmente a malária, esquistossomose, febre amarela, leptospirose e filariose. Através de consultas a órgãos especializados e entrevistas junto a profissionais de saúde que atuem na região, deverá ser verificada a situação destas endemias e estabelecidas as providências de controle a serem adotadas.

4.6.3 Possibilidade de Uso Múltiplo do Reservatório

Deverão ser examinadas as possibilidades de uso múltiplo do reservatório, considerando as seguintes hipóteses:

- 1 - Abastecimento de água;
- 2 - Agricultura de vazamento;
- 3 - Agricultura irrigada;
- 4 - Pesca em geral;
- 5 - Piscicultura intensiva.

Caso se preveja o uso do reservatório para fins de abastecimento de água a populações e lazer, deverá ser verificado se a água apresenta características adequadas a esses fins (através da coleta e exame de amostras em laboratório de órgão especializado). Deverão ser definidas providências para controlar o despejo de efluentes sanitários ou industriais na bacia.

4.7.3 Dados Cartográficos e Trabalhos Topográficos
(ver item 4.2)

Registrar em folha à parte ou lançar no croquis, as seguintes informações:

- . Determinação do perfil da seção transversal do rio, no local da barragem (*):
- . Determinação do perfil do sistema de adução da água (*):
- . Localização das sondagens realizadas;
- . Localização das jazidas de materiais de construção;
- . Localização das diversas estruturas componentes (*):
- . Mapas ou cartas utilizadas.

4.7.4 Dados Hidrológicos (ver item 4.3)

Registrar em folha à parte ou lançar no croquis as seguintes informações:

- . Método utilizado para medir a vazão durante um período de estiagem (*)
- . Caso seja utilizado o método de vertedouro, localizá-lo no croquis;
- . Caso seja utilizado o método com flutuador, indicar:
 - Determinação dos perfis das seções transversais no local da medição de vazão (*);
 - Distância percorrida, pelo flutuador (*);
 - Registro dos tempos dos flutuadores (*);
- . Determinação da diferença entre o nível d'água durante a medição da vazão e o nível d'água mínimo obtido através de informações locais (*);
- . Registro dos níveis máximos, de enchentes ocorridas no passado nos locais da barragem e da casa de máquinas, obtidos através de informações locais (*);
- . Registro do nível d'água máximo durante o período de estiagem, para o desvio do rio.

4.7.5 Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno (ver item 4.4)

Características do local da obra

- Sofreu desmatamento (*) sim não
- Tipo de vegetação (*) baixa rala densa
 alta rala densa
- Topografia (*): plana ondulada acidentada
- Características dos encontros barragem/margens (ombreiras) (*):

	DIREITA	ESQUERDA
- suave: inclinação em torno de 4H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- pouco inclinada: " " " 2H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- inclinação média: " " " 1H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- muito inclinada: " " " 0,5H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- íngreme: " " " 0,25H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- rochosa aflorante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- terrosa com desmoronamentos (quedas de barreiras)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- terrosa sem desmoronamentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Características do solo à superfície do terreno:
 - apresenta camada vegetal: espessura média ----- m
 - não apresenta camada vegetal
- Tipo de solo à superfície ou logo abaixo da camada vegetal(*)
 - turfa ou argila orgânica preta
 - arenoso
 - argiloso
 - siltoso
 - pedregulhoso
 - cascalho
- Presença de umidade no solo (abaixo da camada vegetal)
 - muito úmido
 - úmido
 - seco

o Espessura média estimada do solo (*)

- junto ao rio: ----- m
- na ombreira direita: -----m
- na ombreira esquerda: ----- m

• Características dos materiais terrosos e granulares quanto à consistência, resistência e permeabilidade.

. Materiais de granulometria fina (solos argilosos/siltosos) (*)

- teste de consistência: plasticidade/: baixa média alta
resistência
- teste de resistência à penetração
da haste metálica de $\varnothing = 1/2"$ alta baixa
- teste de permeabilidade: fácil passagem de água
 difícil passagem de água

. Materiais de granulometria grossa (areias/cascalhos) (*)

- teste de permeabilidade: fácil passagem de água
 difícil passagem de água

• Características do terreno no leito do rio (*)

- rochoso: com rocha aflorante sim não
- pedras de mão: espessura estimada = ----- m
(entre 8 e 30 cm)
- pedregulhoso: " " = ----- m
(entre 0,5 cm e 8 cm)
- cascalho: espessura estimada = -----m
- argiloso/siltoso: " " = ----- m

Disponibilidade de materiais de construção

o Existência de jazidas/locais de ocorrência:

- . Solos sim não

tipos	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
<input type="checkbox"/> argiloso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> argilo-siltoso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> argilo-arenoso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> arenoso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> areno-argiloso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> areno-siltoso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> siltoso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> silto-argiloso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> silto-arenoso	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> com pedregulhos	_____	_____	_____

. areia (leito do rio ou natural proximidades da obra) sim não

tipos

areia misturada com argila (pelotas) ou materiais orgânicos

	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
<input type="checkbox"/> areia lavada com predominância de:			
<input type="checkbox"/> areia grossa	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> areia média	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> areia fina	_____	_____	_____

. areia comercial sim não

- tipo: _____
- distância ao local da obra: _____ km
- volume aproximado necessário p/as obras ----- m³

. cascalho sim não

	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
tipos:			
<input type="checkbox"/> grãos grandes (diâmetro médio entre 4 cm e 15 cm)	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> grãos pequenos (diâmetro médio entre 0,5 cm e 4 cm)	_____	_____	_____

. pedras de mão sim não
(diâmetro médio entre 8 e 30 cm)

	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
tipo:	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

. rocha sim não

	Distância ao local da obra (m)	Volume aproximado (m ³)
tipo:	_____	_____
_____	_____	_____

• Camada de cobertura da rocha:

Tipo de material _____
Espessura do material _____ m

• Verificação da adequabilidade da rocha como material de fundação das obras e/ou quanto à utilização como material de construção:

. Características relativas à resistência, friabilidade e alterabilidade da rocha (*)

- quebra-se com facilidade a golpes de martelo sim não
- desfarela-se ou desagrega-se com facilidade a golpes de martelo sim não
- apresenta-se com superfície escamável (descascável) a golpes de martelo sim não

- apresenta-se com superfície fraturada sim não
- quanto ao fraturamento são: muito pouco
fraturadas fraturadas
- as fraturas estão preenchidas com algum material sim não
- o material de preenchimento das fraturas é: arenoso argiloso
- as rochas existentes no leito do rio ou nas margens apresentam desgaste pela ação das águas correntes sim não

4.7.6 Carga Elétrica (ver item 4.5)

Registrar as cargas elétricas existentes (*) e as requeridas ou cogitadas pelo proprietário (*), bem como informações necessárias. Para as cargas existentes pode ser adotada a TABELA LA 4.7/I:

Distância máxima da casa de máquinas aos centros de consumo de energia elétrica..... km (*)

TABELA 4.7/I

TIPO DE CONSUMO	QUANTIDADE	POTÊNCIA	PERÍODO PROVÁVEL DE FUNCIONAMENTO
Iluminação:			
Aparelhos Eletro- domésticos:			
Equipamentos Di- versos:			

5. PROJETO E ASPECTOS CONSTRUTIVOS

5.1. Tomada d'Água

5.1.1 Geral

A captação, no rio, da descarga de água necessária à movimentação da turbina é efetuada por uma estrutura denominada tomada d'água.

A tomada pode ser ligada diretamente à tubulação forçada que leva a água à máquina ou, dependendo da topografia do local, pode descarregar a água captada em um canal aberto de adução ou em uma tubulação de baixa pressão que transportará a água até o local mais adequado para a implantação da tubulação forçada. No caso de se optar por um canal de adução, no final deste, na entrada da tubulação forçada, será instalada uma outra estrutura, semelhante à tomada d'água, que recebe a denominação de câmara de carga.

A tomada d'água tem as duas seguintes funções:

- Controle da adução das vazões pela tubulação forçada, canal de adução ou tubulação de baixa pressão, permitindo o seu ensecamento para manutenção e eventuais reparos.
- Retenção de corpos flutuantes e de material sólido (sedimentos) transportados pelo escoamento.

5.1.2 Dimensões da Boca da Tomada d'Água

Para o dimensionamento da boca da tomada d'água deve-se em primeiro lugar consultar o item 5.1.6, onde se buscará informação sobre a comporta a ser utilizada para o seu fechamento (comporta de manutenção).

A altura H_c e a largura B_c da tubulação no local da instalação da comporta, devem se adequar aos valores apresentados nas tabelas com as dimensões da comporta. A comporta poderá ser substituída por pranchões de madeira.

Recomenda-se que a velocidade máxima pela tubulação, onde se instala a comporta, não seja superior a 3 m/s.

As dimensões da boca da tomada devem ser definidas de forma que a velocidade na entrada não exceda a 1 m/s, e que seja respeitada uma submergência mínima em relação ao teto na comporta igual a $S_{min} = 1,50 H_c$.

Exemplo: ANEXOS 5.1/A, B e C

Suponha-se que a descarga a ser captada pela tomada d'água seja de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

A velocidade na comporta não deve ser superior a 3 m/s; assim, a área da comporta deve ser igual ou superior a

$$A_{min} = \frac{Q}{v} = \frac{1,00}{3,00} = 0,33 \text{ m}^2$$

Escolhendo-se uma comporta de madeira, encontra-se no ANEXO 5.1/H a comporta com as dimensões $B_c = 0,70$ m de largura, por $H_c = 0,60$ m de altura, o que corresponde a uma área de:

$$A = 0,70 \times 0,60 = 0,42 \text{ m}^2,$$

superior à área mínima de $0,33 \text{ m}^2$.

A velocidade de escoamento na boca da tomada não deve ser superior a 1 m/s .

A área da boca deve ser então igual a

$$a = \frac{Q}{v} = \frac{1,00}{1,00} = 1 \text{ m}^2$$

Adotando-se uma largura de boca $B_t = 0,80$ m, a altura da boca será dada por

$$H_t = \frac{A}{B_t} = \frac{1}{0,80} = 1,25 \text{ m}$$

Deve-se assegurar que o nível d'água normal deve guardar pelo menos a seguinte altura em relação ao teto no local da comporta.

$$S_{\min} = 1,5 H_c = 1,5 \times 0,60 = 0,90 \text{ m}$$

5.1.3 Dispositivos de Proteção

a) Proteção Contra Corpos Flutuantes

Para a proteção contra corpos flutuantes superficiais trazidos pelas águas em épocas de níveis altos, tais como galhos, troncos e mesmo animais mortos, a tomada d'água é dotada de uma grade de proteção.

As dimensões da grade devem corresponder à boca da tomada d'água. Nos ANEXOS 5.1/J e K são apresentados modelos de grades a serem escolhidos de acordo com o caso.

A grade deve ser instalada inclinada formando um ângulo de 75° a 80° com a horizontal.

A limpeza do material retido pela grade deve ser efetuada com o auxílio de "ancinho de jardim", ou ferramenta similar, manejado por um homem postado sobre a estrutura da tomada d'água.

b) Proteção Contra Sedimentos Transportados pelo Escoamento

Para evitar que a entrada de sedimentos danifique o conduto forçado e as máquinas por efeito de abrasão, é prevista, na frente da tomada d'água, a instalação de uma estrutura denominada desarenador.

Esta estrutura tem como função criar uma zona de escoamento de baixa velocidade a montante da tomada d'água, fazendo com que os sedimentos trazidos pela água ali se depositem.

De tempos em tempos, de acordo com a quantidade de sedimentos que se acumular, deve ser fechada a comporta de segurança ou baixados os pranchões para ensecamento nas ranhuras apropriadas, situadas no início do desarenador, e aberta a comporta de limpeza que deve dar acesso a um poço para depósito desses detritos.

A limpeza desse depósito deve ser efetuada com auxílio de enxadas e após a secagem dos sedimentos.

Em alguns casos, onde a topografia apresentar-se favorável, a comporta de limpeza pode dar acesso a um canal ou talvegue que devolva diretamente o material depositado ao rio, a jusante da tomada.

As comportas para a limpeza devem medir da ordem de 0,30 m por 0,30 m.

As dimensões da estrutura do desarenador devem obedecer à seguinte relação:

$$L_d = \frac{K_d \times Q}{B_d} \text{ onde:}$$

K_d = coeficiente de deposição, que toma valores entre 5 e 10

L_d = comprimento do desarenador (m)

Q = vazão de adução (m^3/s)

B_d = largura do desarenador (m)

O valor mínimo recomendável para L_d é de 2,00 m.

Considerando a largura B_t , adotada no exemplo anterior, igual a 0,80 m para a boca da tomada d'água, escolhe-se para a largura do desarenador um valor B_d igual a 1,80 m.

Assim sendo,

$$B_d = 1,80 \text{ m}$$

Daí, considerando $K_d = 7,5$, teremos:

$$L_d = \frac{7,5 \times 1,00}{1,80} = 4,17 \text{ m}$$

5.1.4 Estrutura para Adução de Pequenas Vazões

Quando a vazão de adução for pequena, até 100ℓ/s aproximadamente, a estrutura da tomada d'água pode ser a do tipo da câmara de carga projetada e apresentada no item 6 - "EXEMPLO DE PROJETO DE UMA MICROCENTRAL". Neste tipo há uma parede divisória, entre a câmara do desarenador e a caixa de captação da tubulação forçada, com uma altura máxima que dê uma área de escoamento, sobre essa parede, compatível com uma velocidade máxima da água de 1 m/s. Nesta estrutura não há necessidade da instalação de uma comporta, que fica substituída por pranchões colocados no topo da mencionada parede divisória.

5.1.5 Localização da Tomada d'Água

A tomada d'água deve ser localizada, sempre que possível, junto à margem do reservatório formado pela barragem, ao longo de trechos retos ou do lado côncavo dos trechos em curvatura, pois os sedimentos transportados pelo escoamento são, na sua maior parte, carregados para a parte convexa, onde se depositam.

ANEXOS

Os ANEXOS 5.1/A e 5.1/B, apresentam as estruturas típicas para tomadas d'água acopladas, respectivamente, a um canal de adução e a uma tubulação forçada.

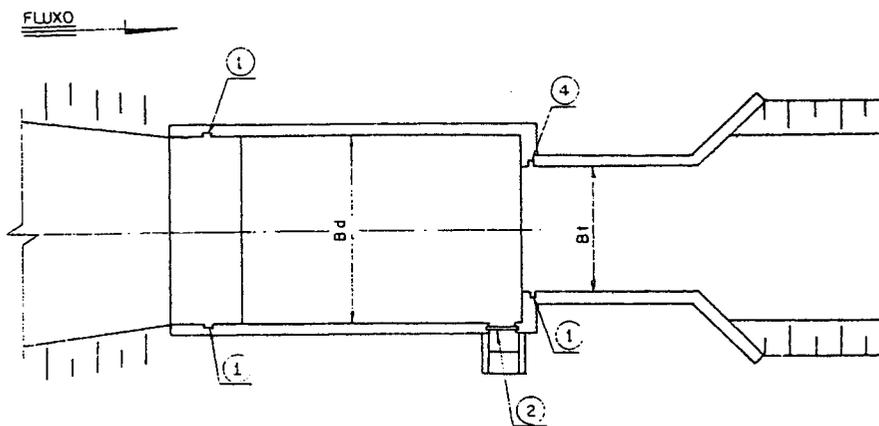
O "N.A.MÁXIMO" significa "NÍVEL D'ÁGUA MÁXIMO", isto é, o nível d'água mais elevado para o qual a estrutura foi projetada, geralmente fixado como o nível correspondente à ocorrência no período de cheia.

O "N.A.NORMAL" significa "NÍVEL D'ÁGUA NORMAL", isto é, o nível d'água correspondente ao nível da crista do sangradouro (vertedouro).

O ANEXO 5.1/C ilustra a tomada d'água dimensionada no exemplo apresentado nos itens anteriores. Os ANEXOS 5.1/D a 5.1/G apresentam o projeto da ferragem típica para as diversas partes das tomadas d'água consideradas neste capítulo.

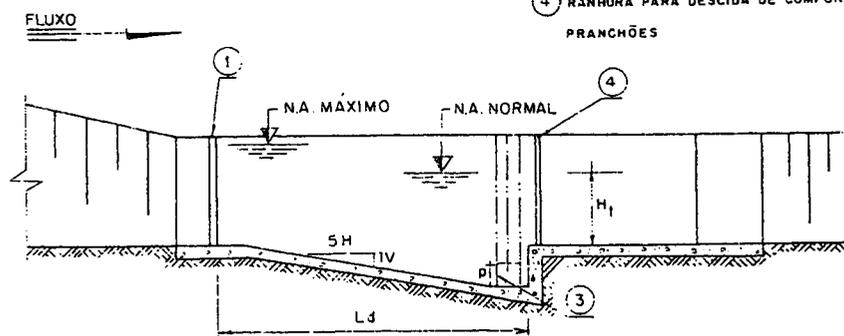
A simbologia empregada, como por exemplo, 1/4 c 30 c face, significa, vergalhões de 1/4" de diâmetro, espaçados (a cada) de 20 cm e em cada (c) face da estrutura de concreto

TOMADA D'ÁGUA ACOPLADA A CANAL DE ADUÇÃO



PLANTA

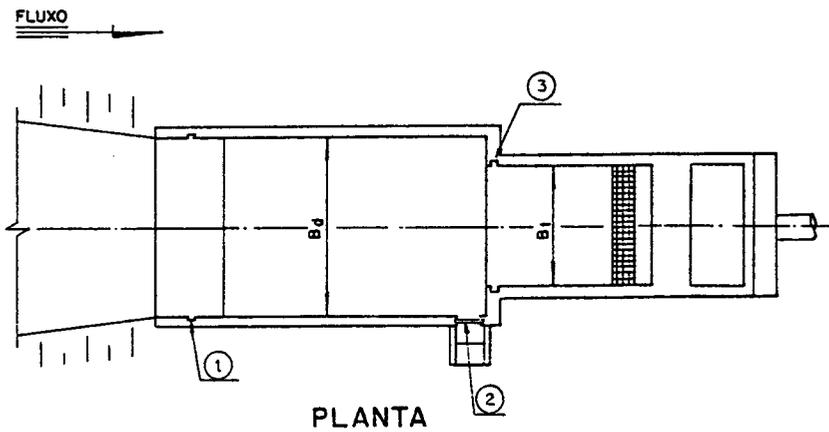
- ① RANHURA PARA DESCIDA DE PRANCHÕES
- ② COMPORTA DE LIMPEZA (DESCARREGA EM UM POÇO, CANAL, OU TALVÉGUE NATURAL)
- ③ COMPORTA DE LIMPEZA ($d \geq 0,80 \text{ m}$).
- ④ RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU PRANCHÕES



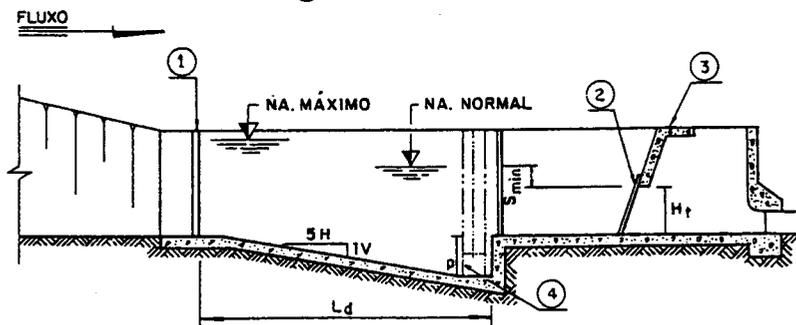
SEÇÃO LONGITUDINAL

TOMADA D'ÁGUA ACOPLADA À TUBULAÇÃO FORÇADA

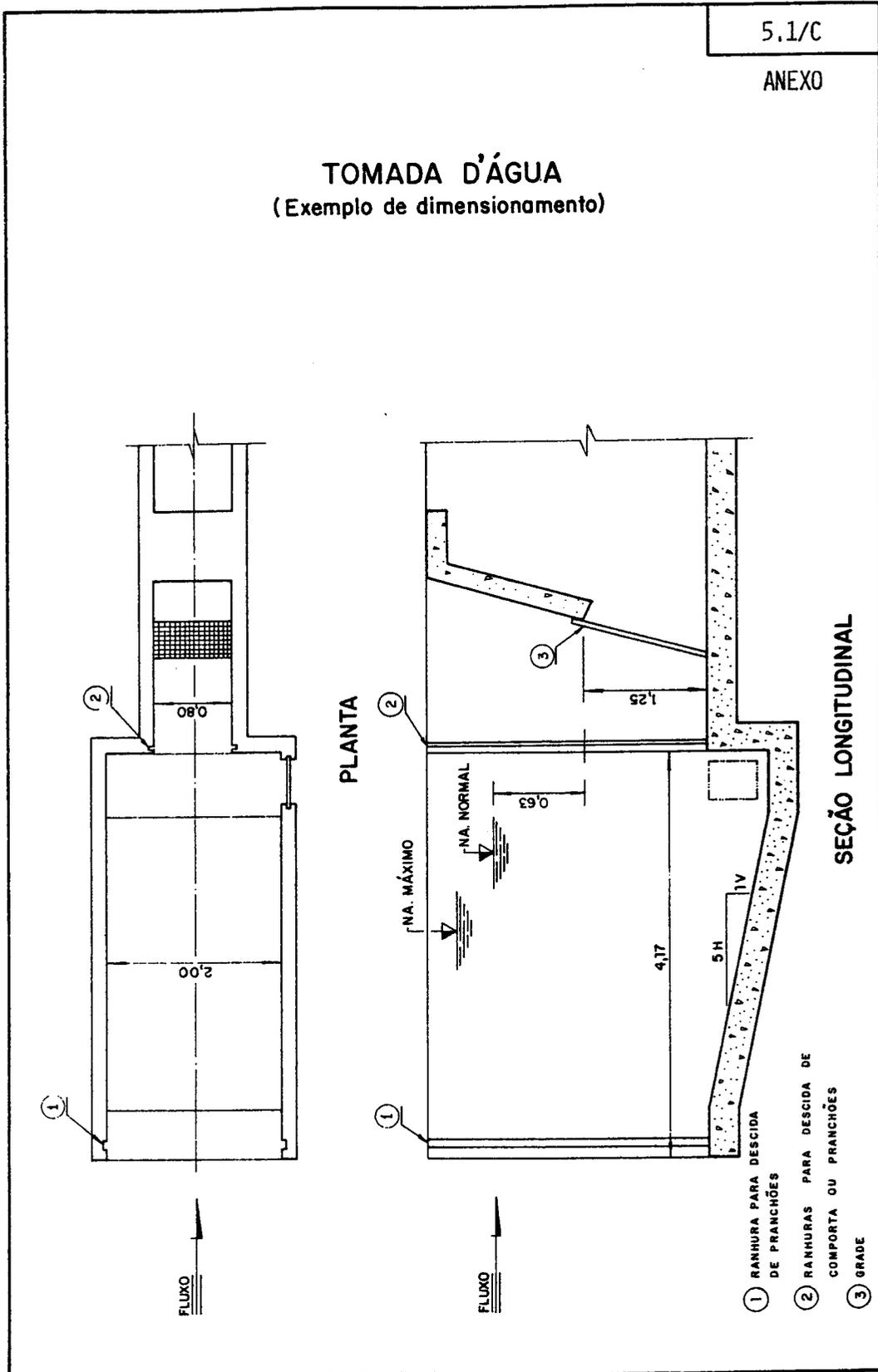
- ① RANHURA PARA DESCIDA DE PRANCHÕES
- ② COMPORTA DE LIMPEZA (DESCARREGA EM UM POÇO, CANAL, OU TALVEGUE NATURAL)
- ③ RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU PRANCHÕES



- ① RANHURA PARA DESCIDA DE PRANCHÕES.
- ② GRADE
- ③ VIGA DE APOIO DA GRADE
- ④ COMPORTA DE LIMPEZA ($p \geq 0,80m$)



TOMADA D'ÁGUA (Exemplo de dimensionamento)

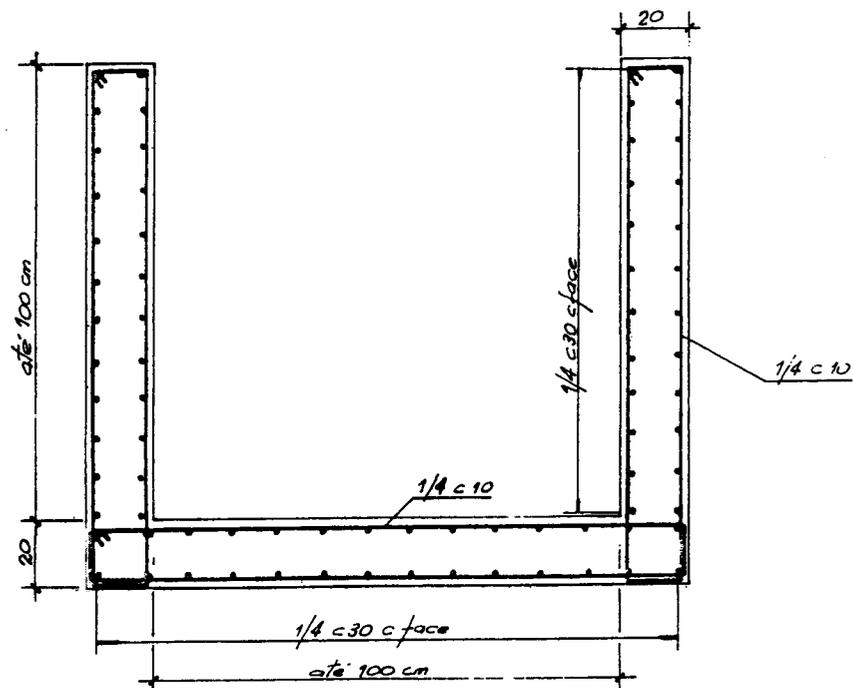


5.1/D

ANEXO

PAREDES E LAJE DE FUNDO

A) Até 100 cm de altura e 100 cm de largura



NOTAS:

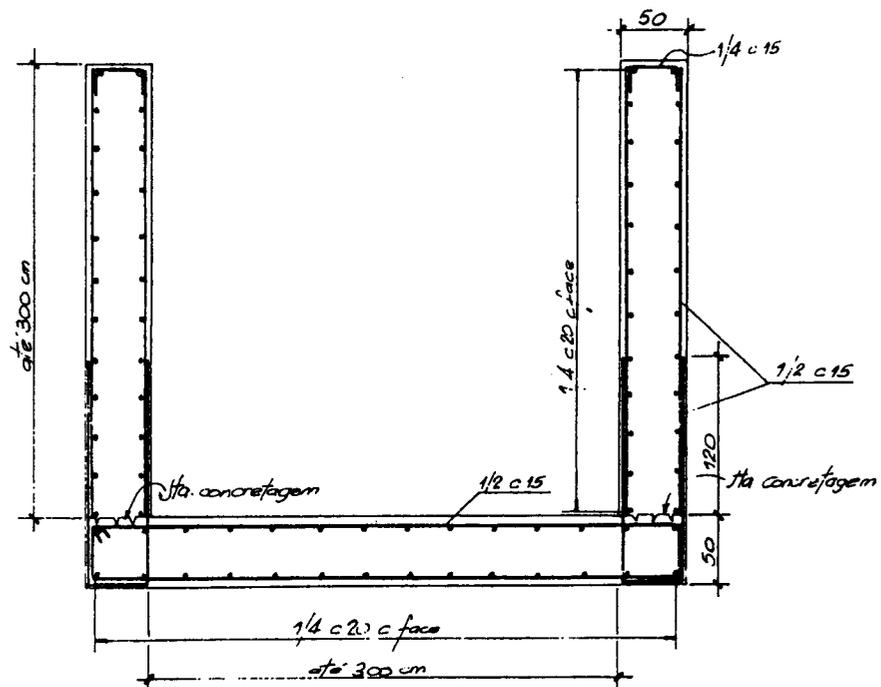
- 1 - AÇO CA-50A
- 2 - COBRIMENTO MINIMO = 2 cm
- 3 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

5.1/E

ANEXO

PAREDES E LAJE DE FUNDO

A) Até 300 cm de altura e 300 cm de largura

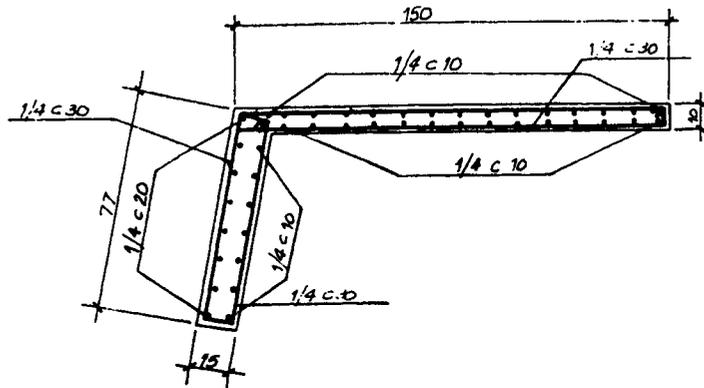


NOTAS:

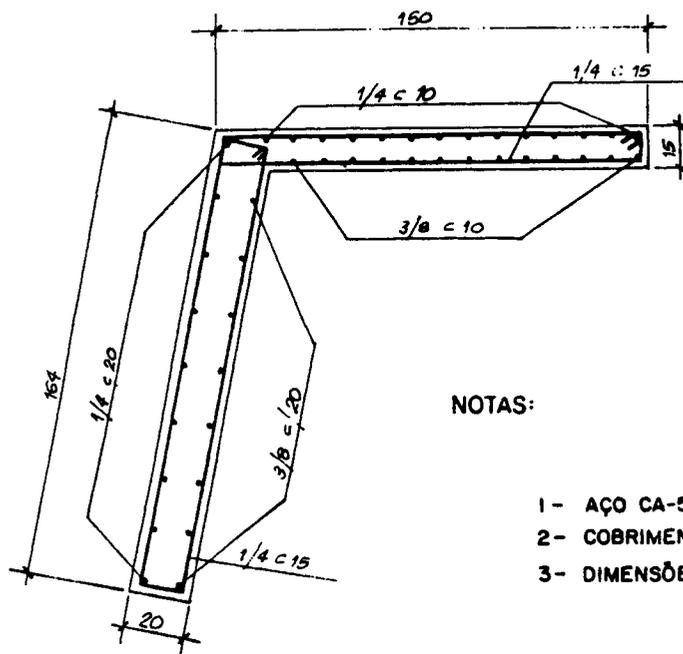
- 1 - AÇO CA-50A
- 2 - COBRIMENTO MÍNIMO = 2 cm
- 3 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

PASSARELA E VIGA DE APOIO DA GRADE

A) Até 250 cm de vão.



B) Até 500 cm de vão.



NOTAS:

- 1 - AÇO CA-50A
- 2 - COBRIMENTO MÍNIMO = 2 cm
- 3 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO

Dois tipos de comportas deverão ser previstos para a tomada d'água, a saber, comportas de manutenção e comportas de limpeza ou desarenação. As comportas de manutenção, quando totalmente fechadas, possibilitarão a inspeção e manutenção do trecho de captação da água e da tubulação forçada.

Essas comportas poderão ser do tipo gaveta e construídas em aço, bem como em madeira, sendo esta última a mais empregada em microcentrais, conforme concepção construtiva indicada no ANEXO 5.1/H.

As comportas operam com pressão frontal, sendo manobradas por meio de haste rosqueada, de aço, trabalhando com o volante apoiado em mancal apropriado, preso por parafusos na travessa superior da armação.

As corredeiras laterais, que servem de guia para o movimento de subida e descida da comporta, são de chapas de aço reforçado, formando um quadro rígido chumbado na abertura onde serão implantadas.

A escolha da concepção construtiva da comporta será em função dos recursos disponíveis, tanto de material, quanto de mão-de-obra, encontrados no local de implantação da central, bem como da sua distância em relação aos grandes centros industriais.

Para cada concepção construtiva apresenta-se um quadro contendo as dimensões básicas de cada comporta, para que a mesma possa ser selecionada de modo compatível com as dimensões da abertura especificada no projeto civil da tomada d'água.

Nos quadros referentes às comportas de madeira, bem como de aço, foi incluído o dimensionamento das peças principais, salientando-se que esse dimensionamento foi feito para comportas de superfície, projetadas para suportar uma altura d'água sobre a soleira no máximo igual à própria altura da comporta.

Para os casos em que essas comportas tenham que suportar maior pressão d'água, o projeto deverá ser elaborado de acordo com as normas técnicas existentes sobre o assunto.

As concepções construtivas são:

- Comportas de madeira (ANEXO 5.1/H)

São de construção simples e de baixo custo. As madeiras empregadas na construção da comporta devem possuir boa resistência à ação da água, a fim de evitar o apodrecimento prematuro.

- Comportas de Aço (ANEXO 5.1/I)

São de construção leve e de baixo custo e, dependendo da pin

tura de proteção, apresentam grande durabilidade com pouca manutenção.

A comporta de limpeza deverá ser menor do que a de manutenção, porém suportará maior pressão d'água pelo fato de a soleira do desarenador estar próxima ao fundo do rio. Recomenda-se que esta comporta seja reforçada.

Neste caso, a altura de carga da água, dado de entrada na tabela, deverá ser tomada em relação a sua soleira. As corredeiras laterais, que servem de guia da comporta de limpeza, também assemelham-se em construção às da comporta de manutenção, salvo na altura, que deverá permitir que as corredeiras guiem a comporta até a abertura completa.

As travessas superiores da armação são suprimidas e as hastes sustentadas por meio de mancais, prolongando-se até a parte superior do muro de concreto, para se ligarem ao pedestal de manobra, adequado a cada comporta.

A comporta poderá ser acionada manualmente, através de volante ou manivela.

5.1.7 Grades

A tomada d'água deverá ser equipada com um ou mais painéis de grades, com a função de barrar a passagem de detritos (folhas, galhos, etc.) carregados pelo fluxo d'água ao longo do canal de adução.

É necessário impedir a entrada de corpos sólidos carregados pelo fluxo d'água de acionamento da turbina, porque as suas dimensões e rigidez podem prejudicar o rendimento ou até mesmo danificar a turbina e/ou equipamentos associados.

Face ao acima exposto, o dimensionamento do espaçamento entre as barras da grade não deverá ser maior que a menor dimensão da seção de passagem do fluxo d'água de acionamento da turbina. Para isso, sugere-se comparar as seguintes seções:

- distância entre as palhetas do distribuidor;
- distância mínima entre as pás do rotor da turbina Francis;
- válvula agulha do injetor da turbina Pelton;
- bocal cônico do jato d'água da roda Pelton;
- válvula ou registro do fluxo d'água de acionamento da turbina.

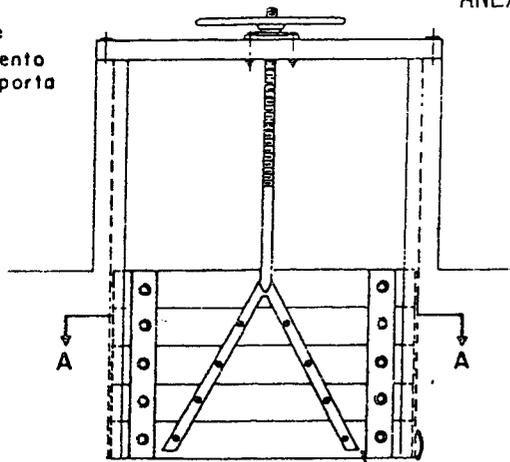
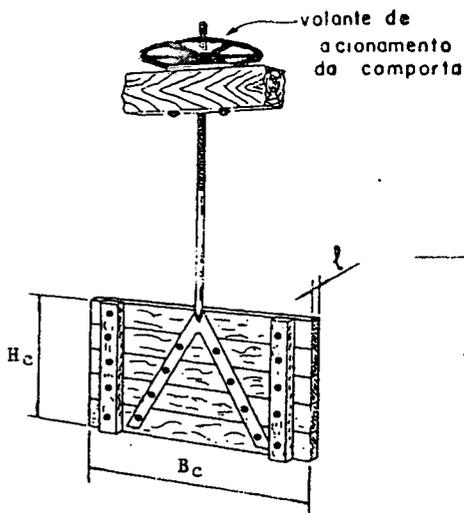
A grade deverá ser do tipo removível, de fácil manuseio tanto para colocar quanto para retirar, deslocando-se entre duas guias instaladas nas paredes laterais da tomada d'água.

Periodicamente a grade deverá ser limpa, manualmente, com auxílio de um ancinho, equipado com garras para passar por entre as barras da grade, removendo os detritos acumulados. Os intervalos do período para limpeza das grades serão estabelecidos pelo pessoal de operação, com base no comportamento do acúmulo de detritos nas mesmas, durante a operação da central.

O ANEXO 5.1/J apresenta o tipo de grade mais usado para as microcentrais hidrelétricas. Outros tipos de grades poderão ser empregados, desde que desempenhem satisfatoriamente a sua função, como o tipo que é construído com barras redondas ao invés de barras retangulares, (ANEXO 5.1/K), o tipo que usa telas de arame grosso galvanizado, etc.

COMPORTAS DE MADEIRA

5.1/H
ANEXO

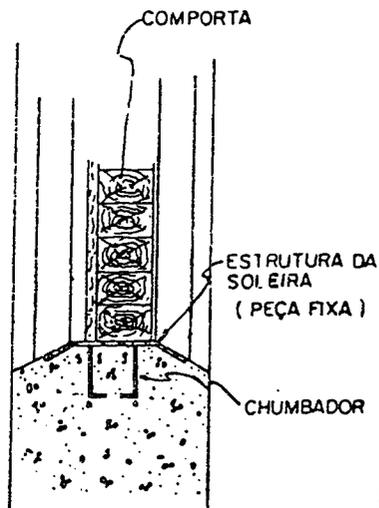
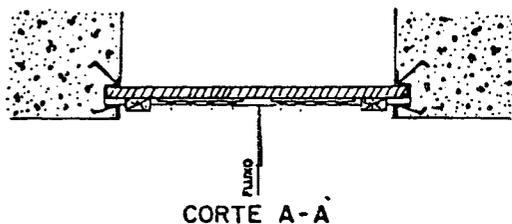


DET."1"
(SOLEIRA)

COMPORTA DE MADEIRA			
ALTURA H _c (metros)	LARGURA B _c (metros)	ESPESSURA e (centímetros)	PESO kgf (kilogramas)
0,60	0,40	4	10,50
0,60	0,70	4	18,50
0,75	0,85	4	28,00
0,75	1,00	4	33,00
0,90	1,00	4	39,50
1,05	1,00	5	57,50
1,05	1,20	5	69,50
1,05	1,35	5	80,00
1,20	1,35	5	89,00
1,20	1,50	5	99,00
1,40	1,50	5	115,50
1,40	1,80	5	138,50
1,40	1,95	5	150,00
1,55	2,00	6	204,50
1,55	2,05	6	209,50
1,70	2,05	6	230,00
1,75	2,35	6	271,50
1,90	2,35	6	294,50
2,05	2,35	6	318,00
2,20	2,35	6	341,00

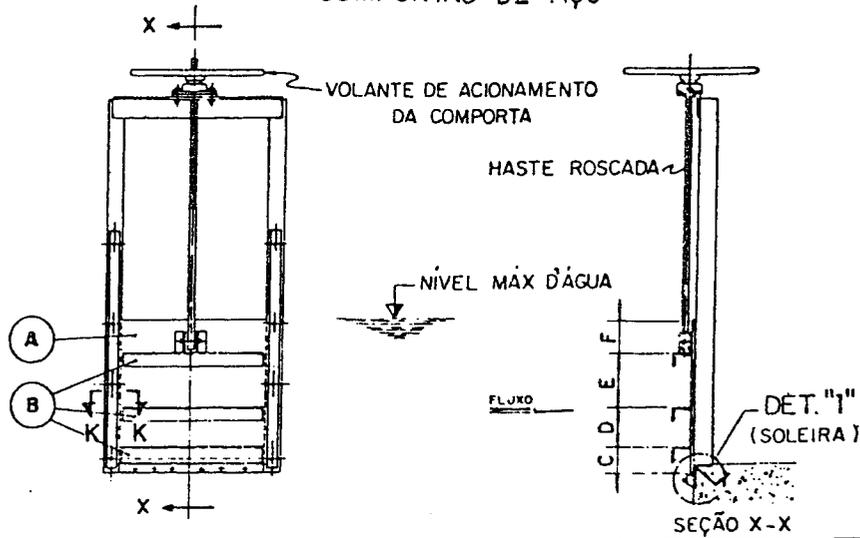
NOTA:

1 - NESTES DIMENSIONAMENTOS FORAM ADOTADOS VALORES DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE MADEIRAS DE LEI DE PRIMEIRA CATEGORIA, COM PESO ESPECÍFICO SEMPRE MAIOR OU IGUAL A 0,8 g/cm³.

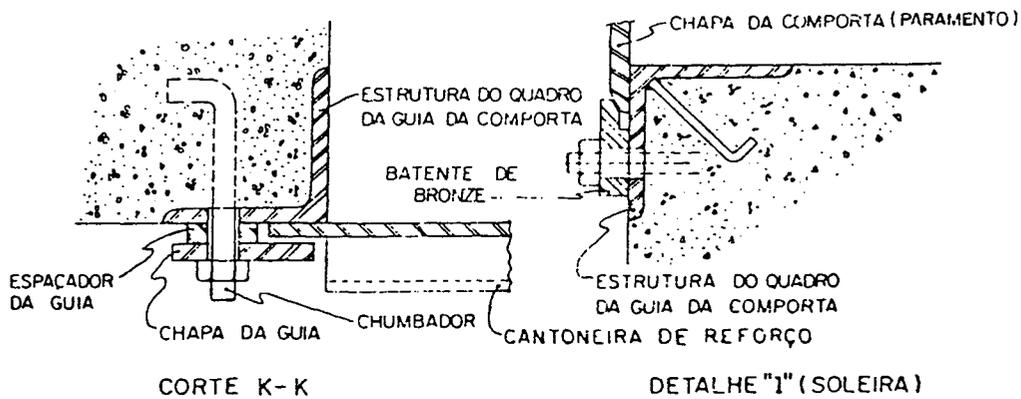


DET."1"
SOLEIRA DA COMPORTA DE MADEIRA

COMPORTAS DE AÇO



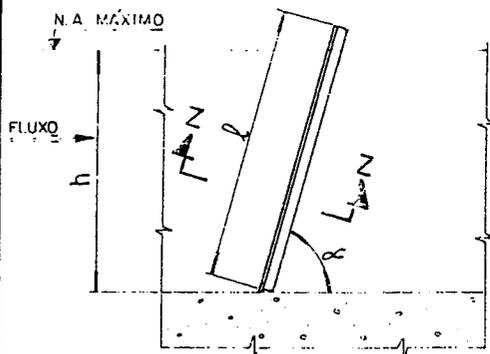
DIMENSÕES DAS COMPORTAS (metros)		ESPESSURA DA CHAPA (PARAMENTO)	CANTONEIRAS DE REFORÇO		ESPAÇAMENTO DAS CANTONEIRAS DE REFORÇO (metros)				PESO DE CADA COMPORTA kgf
ALTURA	LARGURA		A	B	C	D	E	F	
0,60	0,40	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,08	0,23	0,29	—	11	
0,60	0,70	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,08	0,23	0,29	—	19	
0,75	0,85	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,10	0,29	0,36	—	37	
0,75	1,00	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,10	0,29	0,36	—	44	
0,90	1,00	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,08	0,19	0,28	0,35	52	
1,05	1,00	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,09	0,22	0,33	0,41	62	
1,05	1,20	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,09	0,22	0,33	0,41	74	
1,05	1,35	1/4" (6,35mm)	1" x 1" x 3/16"	0,09	0,22	0,33	0,41	83	
1,20	1,35	1/4" (6,35mm)	1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	0,10	0,25	0,28	0,47	102	
1,20	1,50	1/4" (6,35mm)	1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	0,10	0,25	0,38	0,47	114	
1,40	1,50	1/4" (6,35mm)	1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"	0,12	0,29	0,44	0,55	133	
1,40	1,80	1/4" (6,35mm)	1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"	0,12	0,29	0,44	0,55	160	
1,40	1,95	1/4" (6,35mm)	1 3/4" x 1 3/4" x 1/4"	0,12	0,29	0,44	0,55	173	
1,55	2,00	1/4" (6,35mm)	2" x 2" x 1/4"	0,13	0,32	0,50	0,60	198	
1,55	2,05	1/4" (6,35mm)	2" x 2" x 1/4"	0,13	0,32	0,50	0,60	202	
1,70	2,05	1/4" (6,35mm)	2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	0,14	0,35	0,55	0,66	228	
1,75	2,35	1/4" (6,35mm)	2 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	0,15	0,36	0,56	0,68	268	
1,90	2,35	1/4" (6,35mm)	3" x 3" x 1/4"	0,17	0,40	0,61	0,72	290	
2,05	2,35	1/4" (6,35mm)	3" x 3" x 1/4"	0,18	0,42	0,65	0,80	313	
2,20	2,35	1/4" (6,35mm)	3 1/2" x 2 1/2" x 1/4"	0,19	0,46	0,70	0,85	334	



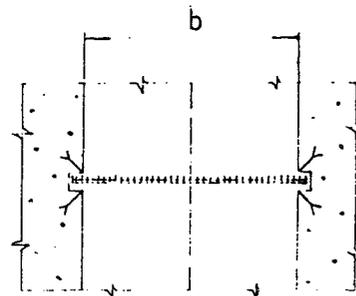
GRADE DE BARRAS DE AÇO CHATO

5.1/J

ANEXO



CORTE TÍPICO



CORTE Z-Z

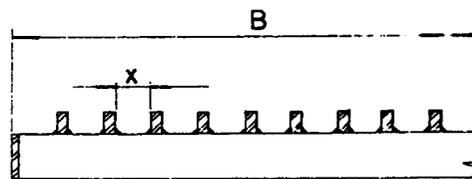
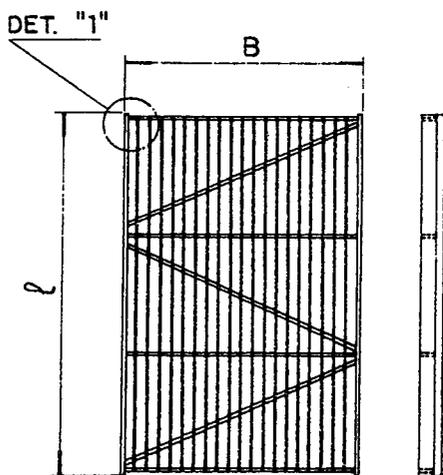
- α - ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
- l - ALTURA DA GRADE
- h - PROFUNDIDADE DO CANAL OU ALTURA DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA

- b - VÃO LIVRE DO CANAL OU DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA
- B - LARGURA DA GRADE

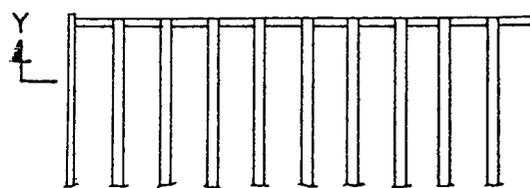
$$l = \frac{h}{\text{SEN. } \alpha} \times 1,2$$

$$B = b \times 1,10$$

$75^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$ - FAIXA RECOMENDÁVEL



CORTE Y-Y



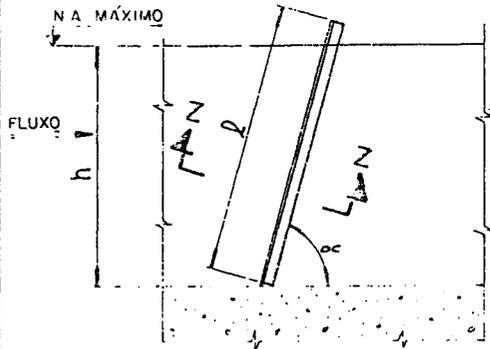
DETALHE "1"

x - ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS $10\text{mm} \leq x \leq 30\text{mm}$

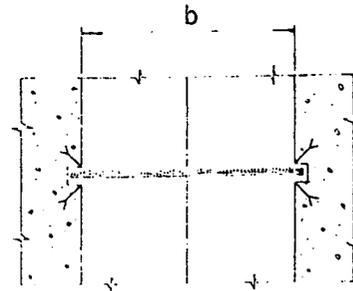
GRADE DE BARRAS DE AÇO REDONDAS

5.1/K

ANEXO



CORTE TÍPICO



CORTE Z-Z

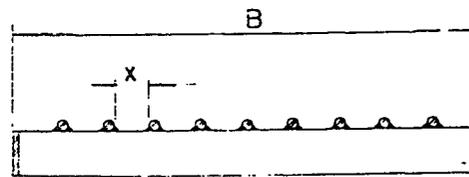
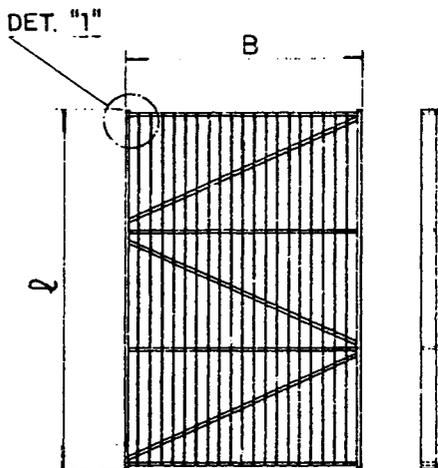
- α - ÂNGULO DE INCLINAÇÃO
- l - ALTURA DA GRADE
- h - PROFUNDIDADE DO CANAL OU ALTURA DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA

- b - VÃO LIVRE DO CANAL OU DA BOCA DA TOMADA D'ÁGUA
- B - LARGURA DA GRADE

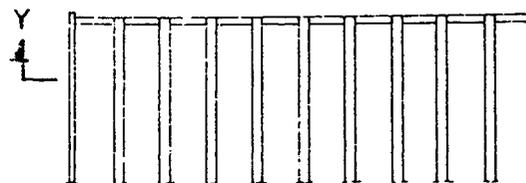
$$l = \frac{h}{\text{SEN } \alpha} \times 1,2$$

$$B = b \times 1,10$$

$75^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$ - FAIXA RECOMENDÁVEL



CORTE Y-Y



DETALHE "1"

x - ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS $10 \text{ mm} \leq x \leq 30 \text{ mm}$

Função da Estrutura

A barragem é a estrutura componente do aproveitamento destinada a criar um desnível hidráulico localizado. Assim sendo, a barragem deve elevar o nível das águas do rio, permitindo o afofamento da tomada d'água. No caso de microcentrais, a altura da barragem prevista é da ordem de 3 metros.

A barragem tem altura reduzida e geralmente é construída em trechos encachoeirados do rio, onde já existe uma variação de cotas de fundo entre o início e o final do trecho, que permita o aproveitamento da queda natural para produzir a energia desejada. O tipo da barragem deve ser escolhido em função das características dos materiais disponíveis e levando-se em conta o balanceamento dos mesmos no aproveitamento integrado de todas as obras.

5.2.1

Barragem de Terra

A) Considerações Sobre o Tipo

Este tipo de barragem é apropriado para locais onde haja grande disponibilidade de solo argiloso ou areno-siltoso/argiloso, além de facilidade de situar o vertedouro em uma das margens, utilizando o solo escavado no canal de adução e no vertedouro para construção da barragem, evitando sempre que possível o bota-fora de material.

B) Adequabilidade do Local para o Aproveitamento

Para que a barragem de terra seja adotada para o aproveitamento, o local deverá possuir as características básicas, a seguir relacionadas. É indispensável que sejam observadas, para complementação deste item, as recomendações contidas no item 4.4 - Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno.

- 1 - é desejável que a localização das áreas de empréstimo e pedreiras, adequadas para construção da barragem, de modo a facilitar o transporte do material, se localizem topograficamente em cotas superiores às do local da barragem;
- 2 - possibilidade de posicionamento do vertedouro fora do corpo da barragem, utilizando-se favoravelmente às condições topográficas, dirigindo-se as águas lateralmente, contornando a barragem.

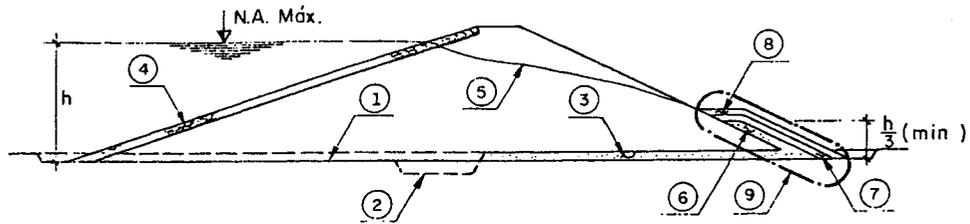
- 3 - facilidade de localização do vertedouro, de modo a evitar correntes com altas velocidades ao longo do talude de montante da barragem;
- 4 - estabilidade e confiabilidade das fundações sob a barragem, de acordo com as recomendações do item 5.2.1.E.1;
- 5 - possibilidade, para diminuição dos volumes de materiais de construção, da barragem ser construída no local mais estreito do rio, com eixo longitudinal perpendicular às ombreiras;
- 6 - margens do reservatório nem muito íngremes nem muito suaves pois, no primeiro caso, pode haver escorregamentos e, no segundo, a existência de grandes áreas com pouca profundidade e águas paradas, o que permite a proliferação de mosquitos e outros organismos;
- 7 - a montante do local de construção da barragem não devem existir desbarrancamentos e, caso existam, devem ser estabilizados;
- 8 - possibilidade de, nos procedimentos para escolha dos processos construtivos, as alternativas do conjunto barragem/desvio do rio e a compatibilização das demais estruturas componentes do aproveitamento serem otimizadas no que diz respeito ao balanceamento de materiais de construção, respeitados os aspectos geotécnicos dos mesmos.

C) Seção Típica e suas Características

O tipo de barragem de terra é geralmente escolhido em função do volume e qualidade dos materiais existentes no local, dos processos construtivos a serem utilizados e dos solos que constituem as fundações no local da barragem. Sempre que possível, devem ser utilizados no corpo da barragem materiais escavados para construção do vertedouro, do canal de adução e da casa de máquinas ou outras escavações obrigatórias.

Se no local da barragem existirem quantidades suficientes de solo argiloso ou solo areno-siltoso/argiloso e houver escassez de blocos de rocha, a barragem homogênea é a mais recomendada, por ser a mais simples e prática, em termos construtivos.

Uma vez que a finalidade da barragem, no caso em pauta, é criar um desnível hidráulico, não sendo preponderante a acumulação de água no reservatório para regularização da vazão do rio, as exigências de permeabilidade do corpo da barragem e das fundações são pouco rigorosas, devendo ser evitado apenas que a água que se infiltra pela barragem tenha altas velocidades e possa erodir o corpo da mesma ou suas fundações.



- | | |
|-----------------------------------|---|
| ① ÁREA DE LIMPEZA | ⑥ AREIA |
| ② TRINCHEIRA (EVENTUAL) | ⑦ BRITA 1,2 E 3 |
| ③ COLCHÃO DE AREIA | ⑧ PEDRA DE MÃO |
| ④ PROTEÇÃO DE TALUDE | ⑨ PROTEÇÃO DE TALUDE (VER FIGURA 5.2.1/6) |
| ⑤ LIMITE SUPERIOR DAS PERCOLAÇÕES | |

BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA - SEÇÃO TÍPICA

FIGURA 5.2.1/1

D) Dimensões Básicas (ver FIGURA 5.2.1/2)

1 - Largura da Crista - a

Para barragem de terra, a largura da crista não deve ser inferior a 3 metros, caso não seja prevista a utilização da mesma como estrada. Caso seja prevista estrada sobre a crista, a dimensão mínima deverá ser de 5 metros.

2 - Cota da Crista

Como a passagem da água por cima de uma barragem de terra tem que ser evitada, a cota da crista deve situar-se acima do Nível d'Água Máximo previsto no reservatório. Esta folga de altura é chamada de "borda livre" (ver FIGURA 5.2.1/2). A borda livre deve ser de cerca de 30% da altura máxima da barragem, sendo que sua dimensão mínima deve ser de 1,00 m.

O Nível d'Água Máximo no reservatório corresponde ao nível que ocorrerá por ocasião da passagem, pelo vertedouro, da descarga de projeto do sangramento (ver item 5.2.5).

3 - Inclinação dos Taludes - m e j

A inclinação dos taludes da barragem é caracterizada pelos coeficientes de inclinação "m" e "j", que indicam quantas vezes a projeção horizontal do talude é maior que a sua projeção vertical. O coeficiente "m" se refere ao talude de montante, enquanto o coeficiente "j", ao de jusante.

O coeficiente de inclinação depende do tipo de material empregado no corpo da barragem e de sua altura, podendo ser adotado de acordo com a tabela a seguir:

TABELA 5.2.1/I

Material de corpo da barragem	Talude	Inclinação dos taludes (Horizontal;Vertic.)
Solos Argilosos	Montante (m)	2,00
	Jusante (j)	1,75
Solos Arenosiltosos/argilosos	Montante (m)	2,25
	Jusante (j)	2,00

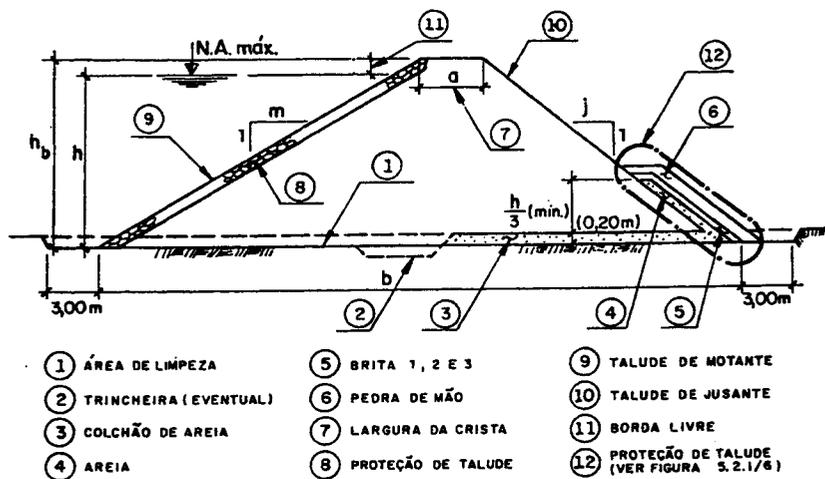


FIGURA 5.2.1/2

4 - Largura da Base da Seção Transversal da Barragem - b

A largura da base da seção transversal da barragem, em metros, é calculada pela fórmula:

$$b = a + (m + j) \times h_b$$

onde:

a = largura da crista da barragem, em metro

m = inclinação do talude de montante

j = inclinação do talude de jusante

h_b = altura da barragem, em metro

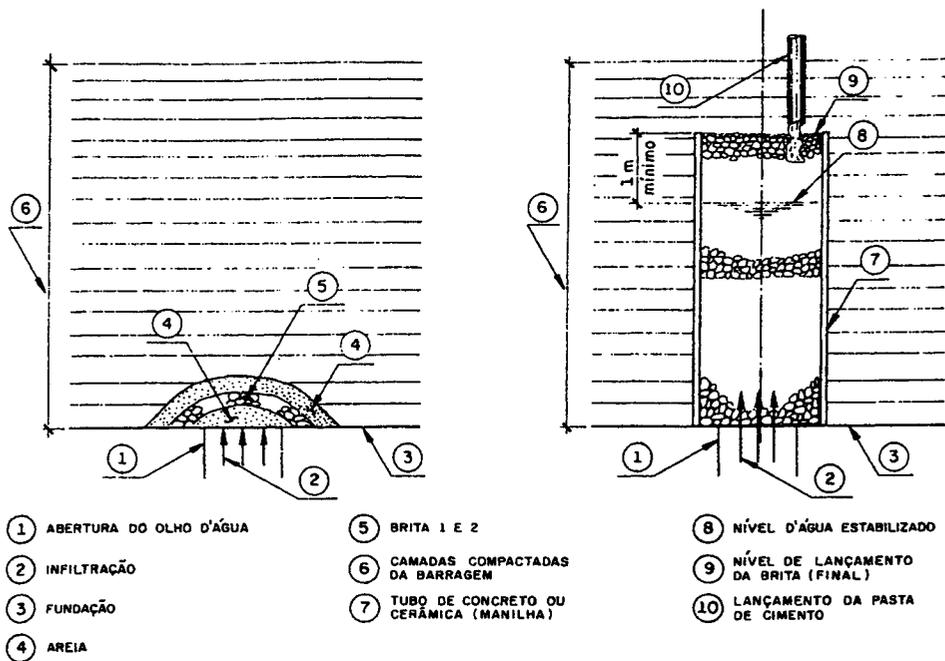
E) Detalhes Construtivos Principais

1 - Preparo da Fundação e das Ombreiras

- . As recomendações descritas neste item são complementadas pelas informações contidas no item 4.4 - Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno.
- . A área que estará situada sob a barragem deve ser limpa, incluindo o desmatamento, o destocamento e a remoção da terra vegetal até a profundidade que for necessária em relação à superfície do terreno natural.
- . A área a ser limpa deve ter uma largura igual à base da seção transversal da barragem (ver item 5.2.1.D.4), mais 3,0 metros para montante e para jusante. O material removido da operação de limpeza deverá ser transportado para locais fora da área das obras ou do futuro reservatório.
- . No caso de fundação rochosa, dever-se-á inicialmente remover manualmente todos os blocos soltos. A limpeza deverá ser feita com jatos de ar e de água sob pressão, para remoção de todo o material solto à superfície. Se ocorrerem fissuras ou fraturas na superfície rochosa, as mesmas deverão ser vedadas com calda de cimento. Quando ocorrerem irregularidades na superfície da rocha, tais como: fendas, pequenas depressões localizadas e taludes negativos, dever-se-á proceder ao preenchimento dos mesmos com concreto simples. Opcionalmente, no caso de ocorrência de talude negativo, poder-se-á proceder ao seu tratamento apenas por quebra das extremidades, visando o seu abrandamento. Antes do lançamento da primeira camada terrosa sobre a fundação rochosa, dever-se-á umidecer a superfície para possibilitar melhor aderência.

- . No caso de fundação em materiais terrosos, após a limpeza, o terreno deverá ser regularizado e compactado com trator de esteiras, trator de pneus ou caminhões, devendo ser dadas no mínimo dez passadas por toda a área de fundação e ombreiras.
- . Após a limpeza e preparada a fundação, caso se verifique a existência de algum olho d'água, devido a infiltrações pela fundação, este deverá ser convenientemente tratado da seguinte maneira:
 - instalação de tubos (manilhas) de concreto ou cerâmica, colocados verticalmente sobre a abertura por onde flui a água, e com diâmetro superior a estas aberturas;
 - anotar até que altura atinge o nível d'água no interior do tubo;
 - preencher o tubo com brita até pelo menos 1 m acima do nível da água assim estabilizado;
 - após a colocação da brita, deverá ser lançada pasta fluída de cimento e água até que esta cubra o nível superior da brita. Isto só será executado após o aterro compactado ter atingido o nível mínimo de cobertura da brita (1 m acima do nível da água estabilizado);
 - caso o olho d'água não seja intenso e se localize próximo do local do colchão de areia da barragem, pode-se tratar o surgimento do olho d'água com colocação de areia e brita sobre o mesmo e conduzindo a água para o colchão de areia; o maciço deve ser compactado cuidadosamente sobre a areia e brita.

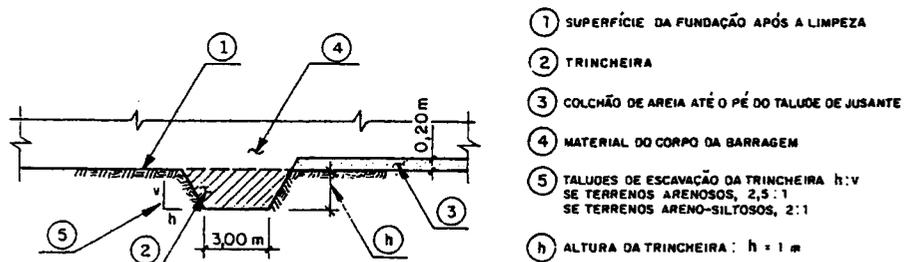
A FIGURA 5.2.1/3 ilustra as soluções.



TRATAMENTO DE OLHO D'ÁGUA NA FUNDAÇÃO

FIGURA 5.2.1/3

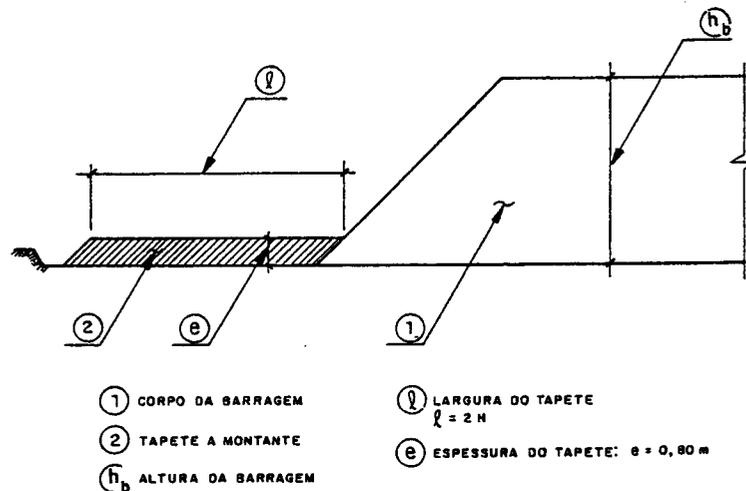
Caso a fundação seja de um material mais permeável que o material do corpo da barragem, deverá ser escavada na parte central da fundação uma trincheira com dimensões constantes da FIGURA 5.2.1/4. Esta trincheira deverá ser preenchida com material de baixa permeabilidade, podendo ser o do corpo da barragem.



TRINCHEIRA EM FUNDAÇÃO MUITO PERMEÁVEL

FIGURA 5.2.1/4

- Caso o material de fundação seja mais permeável que o corpo da barragem e tenha mais de 3 m de espessura, deve ser usado, em substituição a trincheira, um tapete colocado a montante da barragem. As dimensões do tapete estão na FIGURA 5.2.1/5. O material e as condições de compactação do tapete são as mesmas do corpo da barragem. Após compactado, o tapete não deverá ficar exposto ao sol, devendo ser protegido por material solto.



TAPETE EM FUNDAÇÃO MUITO PERMEÁVEL

FIGURA 5.2.1/5

- Na fundação do lado de jusante, deverá ser lançada, para a barragem homogênea, uma camada de areia (colchão) com 0,20 m de espessura, até o pé do talude de jusante. A compactação do colchão deverá ser executada manualmente, através de apiloamento e eventualmente com auxílio de água.

2 - Lançamento, Espalhamento e Compactação do Material

- O material da barragem deverá ser lançado com caminhões basculantes e espalhado com trator de esteiras ou motoniveladora, caso sejam disponíveis na região e, em caso negativo, manualmente.
- Os solos a serem compactados devem ter umidade próximas da umidade ótima e apresentar aspecto plástico. Materiais muito secos com aspecto pulverulento não devem ser usados. O limite máximo de umidade deverá ser aquele em que o solo permita fácil tráfego de equipamentos, sem que estes ato -

lem ou prendam materiais em suas partes.

- . A compactação de solos deverá ser executada em camadas lançadas de 20 cm de espessura, através de trator de esteiras ou agrícola, rebocando um rolo compactador (4 toneladas) dando cerca de 6 passadas sobre o material. Caso o rolo não seja disponível, esta compactação poderá ser feita por caminhões carregados com o próprio material do aterro, circulando no sentido transversal ao rio (paralelamente ao eixo da barragem), percorrendo toda a área que está sendo aterrada, e passando no mínimo seis vezes no mesmo lugar. Nos locais não houver possibilidade de se efetuar compactação mecânica com equipamentos, esta deverá ser executada manualmente, através de apiloamento vigoroso.

3 - Proteção das Barragens

- . Talude de montante - o talude deverá ser protegido contra o efeito erosivo de águas de chuvas e pequenas ondulações da água do reservatório. O método a ser utilizado consistirá da aplicação de materiais granulares graúdos (enrocamento fino, cascalho ou mistura de britas) na face do talude, com espessura mínima de 30 cm.
- . Talude de jusante - o talude será protegido com materiais granulares até uma altura mínima de $h/3$, sendo h a profundidade da água do reservatório junto a barragem. Caso o nível d'água normal de jusante exceda a altura $h/3$, essa proteção deverá ser executada no mínimo até a cota máxima prevista para o N.A. de jusante.
- . O talude será protegido por cobertura de 3 camadas distintas, sendo a primeira de areia, com 15 a 20 cm de espessura; a segunda, de uma mistura de brita 1, 2 e 3 ou cascalho, com distribuição de tamanhos semelhantes; a terceira, será uma camada de pedra com espessura aproximada de 40 cm, sendo que os espaços entre as pedras devem ser preenchidos com brita ou cascalho.

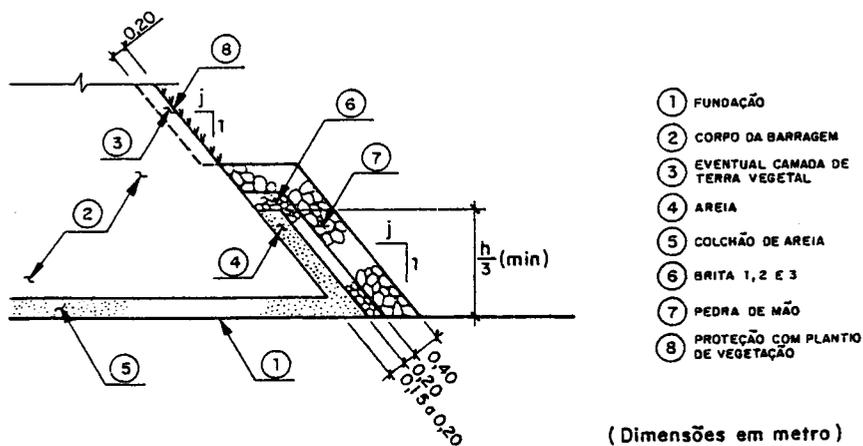
A proteção será executada acompanhando o alteamento do terreno, isto é, após a compactação de cada camada de solo serão lançadas as camadas de proteção e, em seguida, compactadas.

Acima desta altura, o talude deve ser protegido com o plantio de vegetação existente na região, como, por exemplo, grama e erva cidreira.

Caso os solos do corpo de barragem não sejam apropriados para este fim, deverá ser lançada sobre o talude uma camada de terra vegetal com 20 cm de espessura, na qual será feito o plantio.

O plantio de vegetação deve ser feito de preferência no período pouco anterior ao início das chuvas no decorrer do ano. Concluído o plantio, o talude deverá ser molhado regularmente até que a vegetação tenha-se enraizado definitivamente. Nas ombreiras, onde ocorram grandes contribuições de água de chuva, estas deverão ser desviadas através do emprego de canaletas.

A FIGURA 5.2.1/6 indica como deverá ficar a proteção do talude de jusante.



PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

FIGURA 5.2.1/6

A) Considerações Sobre o Tipo

As barragens de alvenaria de pedra argamassada são recomendáveis para vales relativamente estreitos, onde o represamento requer pouca altura, com boas fundações e onde a construção de um canal extravasor lateral é problemática. A largura do vale deve situar-se em torno dos 100 m, com altura da barragem com cerca de 3 m, fundações em rocha e encostas íngremes e rochosas ou com rocha situada a pouca profundidade.

A decisão de construir, ainda nesses casos, uma barragem de alvenaria de pedra argamassada ou de concreto, deve ser tomada após comparação com base em:

- . condições locais;
- . dimensões;
- . tempo de construção.

Embora a construção de uma barragem de alvenaria de pedra argamassada seja mais demorada que a de uma barragem de concreto, nas regiões ricas em pedra e para barragens com pouco volume de material, a solução em alvenaria pode vir a ser mais econômica.

B) Adequabilidade do Local do Aproveitamento

Para ser viável a adoção de barragem de pedra argamassada, o local escolhido para o aproveitamento deve ter as seguintes características:

- . disponibilidade, nas proximidades do local, de pedras em quantidade suficiente, com dimensões de 15 cm a 30 cm, forma semi-regular, com pelo menos duas faces paralelas;
- . facilidade em conseguir areia e cimento na região;
- . a largura do vale na cota da crista da barragem deve ser a menor existente no trecho do curso d'água em que se deseja instalar o aproveitamento;
- . as ombreiras ou encostas e as fundações devem ser resistentes, de preferência de rocha pouco fraturada. Se a fundação for recoberta por uma camada de aluvião, esta não deve ser muito espessa, ou seja, deve ser de, no máximo, 1 m a 2 m, visto ser necessária a sua remoção; caso contrário é preferível construir uma barragem de terra;
- . disponibilidade de acessos para transporte do material e equipamentos, ou facilidade para construção dos mesmos;

C) Seção Típica e Suas Características

A seção típica recomendada para barragens de alvenaria de pedra é a seguinte:

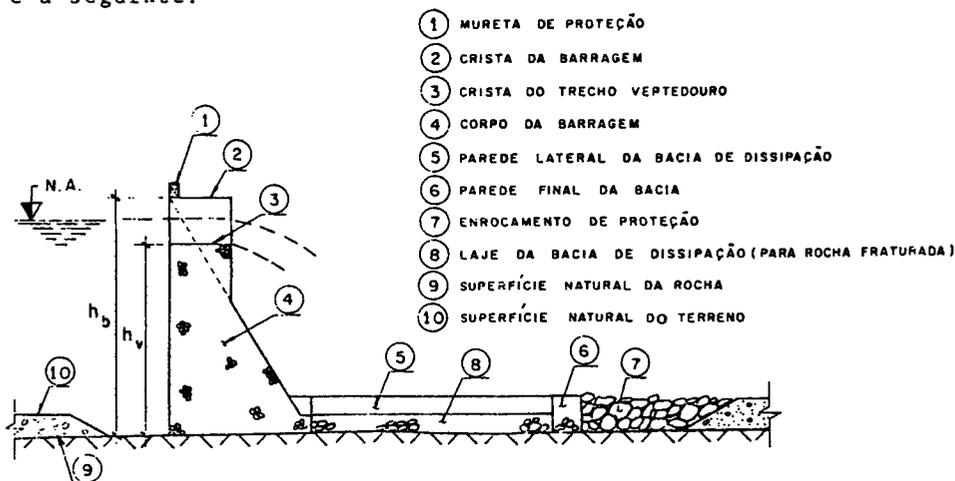


FIGURA 5.2.2/1

Neste tipo de barragem, que consiste em um muro de peso, deverá ser feito um tanque ou bacia de dissipação, com a mesma largura do vertedouro, que amortecerá o impacto da água que verte pela crista do trecho rebaixado (vertedouro).

Caso a rocha de fundação seja pouco resistente, fraturada ou facilmente erodível, será feita uma laje de fundo em pedra argamassada, jogando-se externamente, ao redor das paredes do tanque, uma camada de pedra de proteção para evitar que a água que transborda do tanque danifique a superfície da rocha.

D) Dimensões Básicas

1 - Cota da Crista da Barragem

Toda a cota da crista da barragem, inclusive em seu trecho de ombreira, exceto na parte vertente, deve estar 1 m acima da cota do nível d'água normal previsto no reservatório.

Como a máxima altura da lâmina d'água admitida sobre a crista do trecho vertente é de 1 m, a proteção contra as eventuais ondas no reservatório, quando o nível d'água atingir o máximo previsto, será feita por uma mureta construída junto ao paramento de montante. Esta mureta deverá ter uma altura mínima de 0,3 m e largura de 0,2 m e poderá ser construída de alvenaria de tijolo maciço.

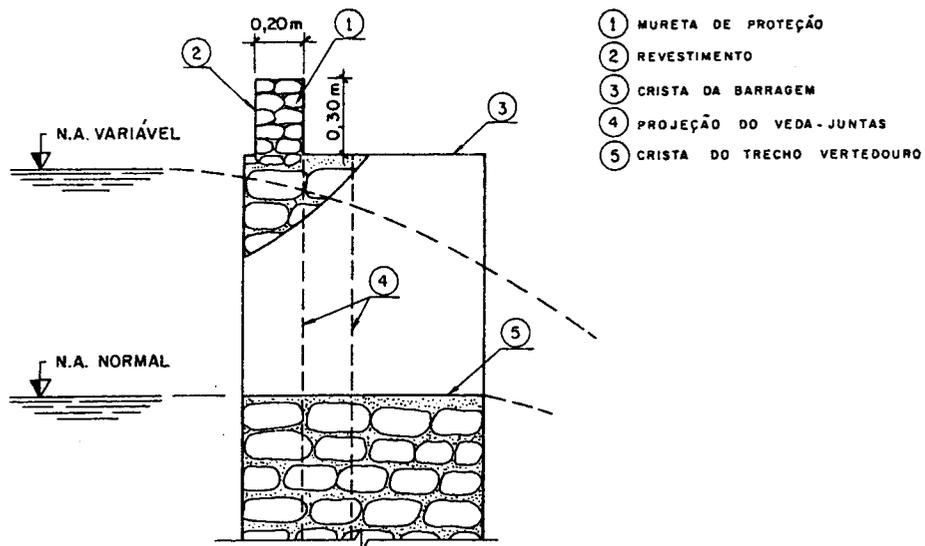


FIGURA 5.2.2/2

2 - Dimensões da Barragem, do Vertedouro e da Bacia de Dissipação

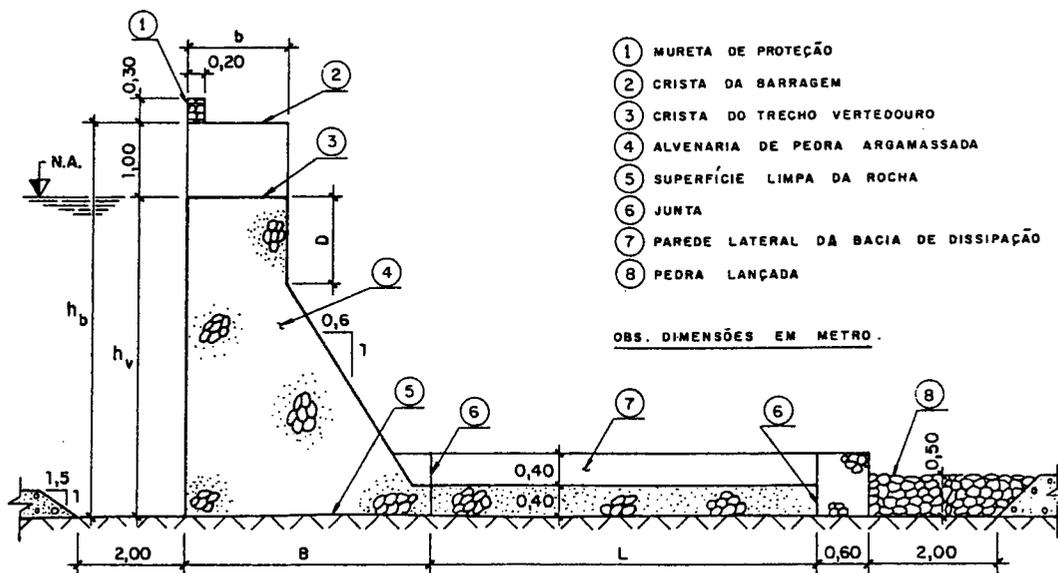


FIGURA 5.2.2/3

As dimensões principais das estruturas constam da tabela abaixo

TABELA 5.2.2/I

BARRAGEM E VERTEDOURO - DIMENSÕES					
h_b (m)	h_v (m)	B (m)	b (m)	D (m)	L (m)
2	1	1,2	0,6	0	5,3
3	2	1,8	0,6	0	5,4
4	3	2,4	0,9	0,5	5,5

A largura do trecho vertente deverá ser calculada conforme o item 5.2.5 - Vertedouro. É conveniente ressaltar que esses cálculos poderão indicar uma largura que ocupe toda extensão do vale.

3 - Distância entre as Juntas

As juntas entre os blocos da barragem devem estar distantes entre si 25 m no máximo, para evitar rachaduras no corpo da estrutura e não ocorrer vazamento pelas mesmas.

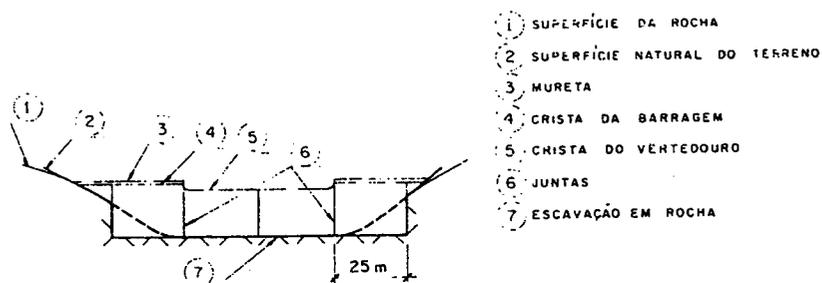


FIGURA 5.2.2/4

E) Detalhes Construtivos Principais

1 - Preparo da Fundação e Ombreiras

- . A área que estará situada sob a barragem e na qual a estrutura se apoiará deverá ser limpa, incluindo o desmatamento, destocamento e a remoção das camadas superficiais de solo, até ser atingida a superfície da rocha.
- . A superfície da rocha deverá ser limpa, livre de matações soltos, detritos ou outros materiais.
- . A área a ser limpa deverá ser igual à largura da base da estrutura, com uma folga de 2 m para jusante e para montante, tanto nas fundações das estruturas do trecho central, como nas fundações de ombreiras.
- . Após a limpeza, caso haja algum olho d'água, este deverá ser tamponado e drenado, conforme especificado no item 5.2.1.E - Barragem de Terra.

2 - Construção de Alvenaria

Os serviços serão executados com pedra extraída de pedreira e/ou com material proveniente da escavação da rocha de fundação, ou ainda pedras existentes no leito do rio. As pedras deverão ter uma dimensão máxima de 30 cm, sendo colocadas cuidadosamente em camadas, de tal forma que cada pedra seja envolvida completamente pela argamassa a ser utilizada, cujo traço deverá ser: cimento: 1 saco de 50kg; areia: 165 litros; água: 32,5 litros, no caso de uso de areia fina e 30 litros, no caso de uso de areia grossa. Antes da colocação final, as pedras serão prévia e fortemente molhadas.

A alvenaria será executada em camadas respaldadas, horizontalmente, com o necessário travamento, formando um todo maciço sem vazios. A primeira fiada será constituída de pedras grandes, cuidadosamente escolhidas, colocadas sobre um leito de concreto magro.

As camadas horizontais executadas num dia de trabalho não deverão ultrapassar a altura de mais ou menos 1 m, a fim de permitir o endurecimento da argamassa e impedir o aparecimento de trincas.

A superfície externa será bem acabada. O trecho vertente deverá ter um revestimento superficial de argamassa com espessura mínima de 5 cm, utilizando-se a mesma argamassa empregada no assentamento das pedras.

As juntas verticais entre os blocos serão tipo "junta seca", construídas de modo a permitir absoluta liberdade de movimento entre os blocos. Para que isso aconteça, uma das faces de contato deverá ser bem acabada, não apresentando reentrâncias ou saliências que possam funcionar como engastamento. Para maior segurança recomenda-se aplicar nesta face acabada uma pintura asfáltica.

Para minimizar as perdas de água pelas juntas de dilatação, está sendo prevista uma vedação entre os blocos, de acordo com a figura a seguir apresentada.

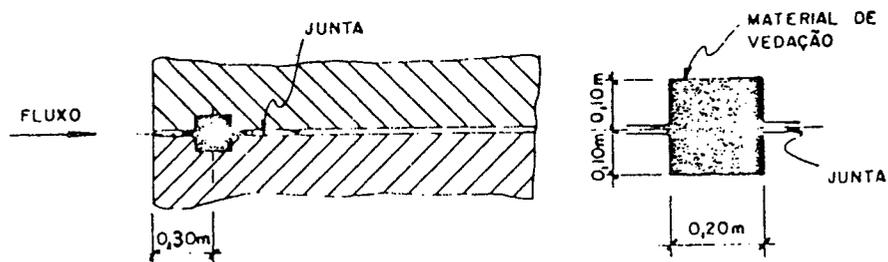


FIGURA 5.2.2/5

Como material de vedação, será utilizada uma mistura plástica, moldável com a mão, de argila com pó de serra, convenientemente homogeneizada. O material deverá ser colocado na ranhura em camadas de aproximadamente 20 cm, recebendo uma leve compactação superficial. Antes de seu enchimento, a ranhura deverá ser umedecida.

Alternativamente poderá ser utilizado asfalto para preenchimento do orifício de vedação da junta.

3 - Reforço da Fundação

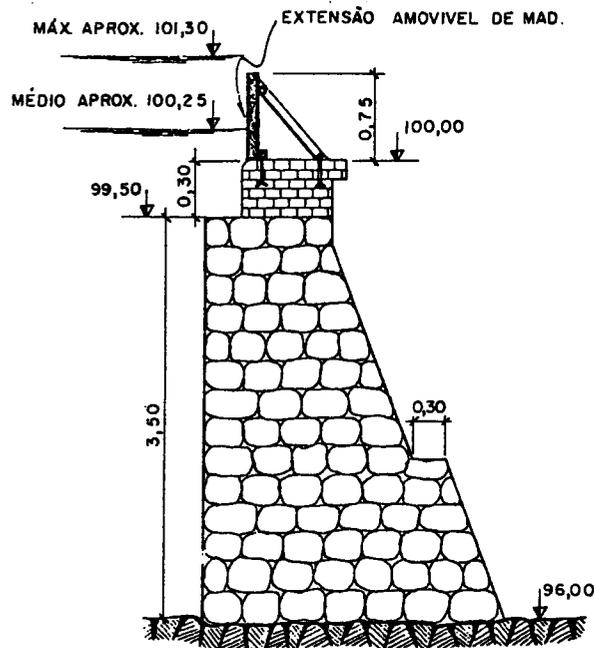
A jusante da barragem, ao redor da bacia de dissipação, deverá ser lançada uma camada de pedras com 0,5 m de espessura e diâmetro de pedra igual ou superior a 0,2 m. O lançamento será feito em uma faixa de 2 m de largura, através de caminhão basculante e o espalhamento será executado através de trator de esteiras e quipado com lâmina.

F) Nos desenhos a seguir são apresentados alguns exemplos de barragens de alvenaria de pedra argamassada construídas e que possuem características semelhantes às das estruturas descritas neste capítulo.

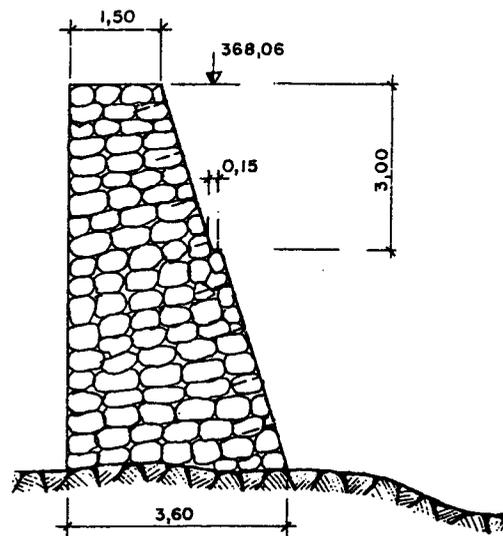
NOTA: Devido aos muitos pontos em comum e para esclarecimentos adicionais que permitam a comparação com a barragem de concreto, o usuário deste Manual deve ler o item 5.2.4 - Barragem de Concreto.

5.2.2/A

ANEXO

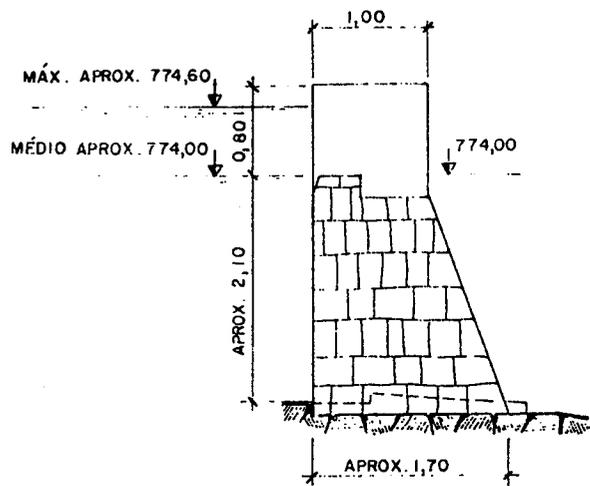


U.H.E DE SÃO JOAQUIM

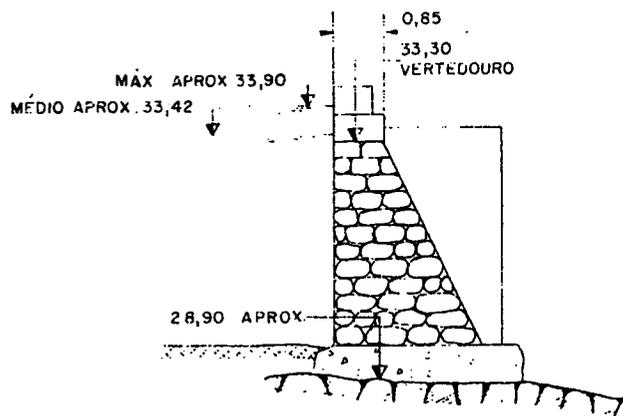


U.H.E DE PIABANHA

DIMENSÕES EM METRO



U.H.E. DE BURITIS



U.H.E. DE DOIS CÓRREGOS

DIMENSÕES EM METRO

5.2.3 Barragem Ambursen

A) Considerações Sobre o Tipo

A barragem tipo Ambursen consiste de uma estrutura aliviada, em que a estabilidade é assegurada pelo peso da água sobre o paramento inclinado, de madeira ou eventualmente de peças pré-moldadas de concreto armado, que transmite os esforços à fundação através dos contrafortes de concreto ou alvenaria de pedra argamassada.

As pranchas de madeira são encaixadas em ranhuras existentes nas faces laterais dos contrafortes.

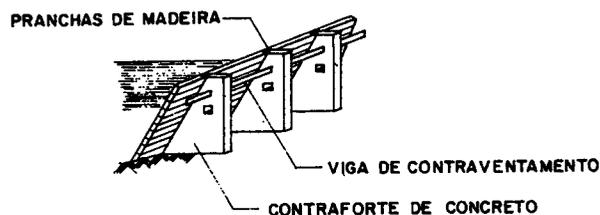


FIGURA 5.2.3/1

Possui um trecho central rebaixado, o vertedouro, geralmente coincidente com a parte central da calha do rio, destinado a permitir a passagem das águas excedentes do reservatório.

Este tipo de barragem é recomendável para vales relativamente estreitos, com cerca de 100 m de largura, onde o represamento requer alturas em torno de 3 m, com boas fundações em rocha pouco fraturada, e onde a construção de um canal extravasor lateral é problemática devido a encostas íngremes e rochosas.

As principais vantagens deste tipo de barragem em relação à barragem de concreto são:

- . volume de concreto cerca de 4 a 5 vezes menor;
- . maiores facilidades no desvio do rio;
- . a subpressão ou pressão das águas de percolação é praticamente eliminada;
- . as pressões transmitidas à fundação são mínimas;

- . a própria água contribui para a estabilidade da estrutura;
- . em caso de necessidade, permite a restituição do rio à sua situação original, através da retirada das pranchas de madeira do paramento de montante.

Os principais inconvenientes deste tipo de barragem são:

- . vida útil reduzida das pranchas de madeira do paramento de montante, embora em certos casos, para alturas maiores e vales com larguras reduzidas, possam ser usados pranchões de concreto armado, pré-moldados;
- . perda significativa de volume pela passagem de água entre as junções dos pranchões que constituem o paramento de montante.

B) Adequabilidade do Local do Aproveitamento

Para ser viável a adoção da barragem Ambursen, o local escolhido para o aproveitamento deve ter as seguintes características:

- . a largura do vale, na cota da crista da barragem, deve ser a mais estreita do trecho aproveitável do rio;
- . no caso de trechos com corredeiras, o barramento deve ser feito no topo ou início da corredeira;
- . disponibilidade, nas proximidades do local, de pedreiras para obtenção da brita, jazidas de areia facilmente exploráveis e madeira de lei para fabricação das pranchas;
- . facilidade de conseguir, na região, cimento em quantidade suficiente;
- . as fundações e ombreiras ou encostas, no local da barragem, devem ser de rocha resistente, pouco fraturada. Se as fundações forem recobertas por uma camada de aluvião, esta não deve ser muito espessa, não atingindo mais de 2 m, para não encarecer a obra com os trabalhos de remoção da mesma;

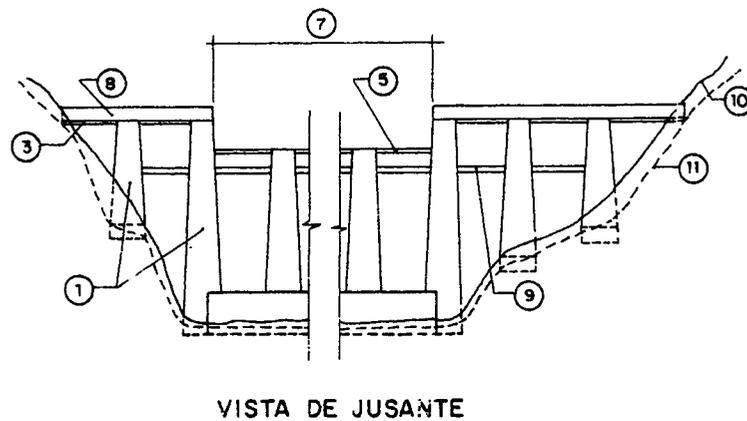
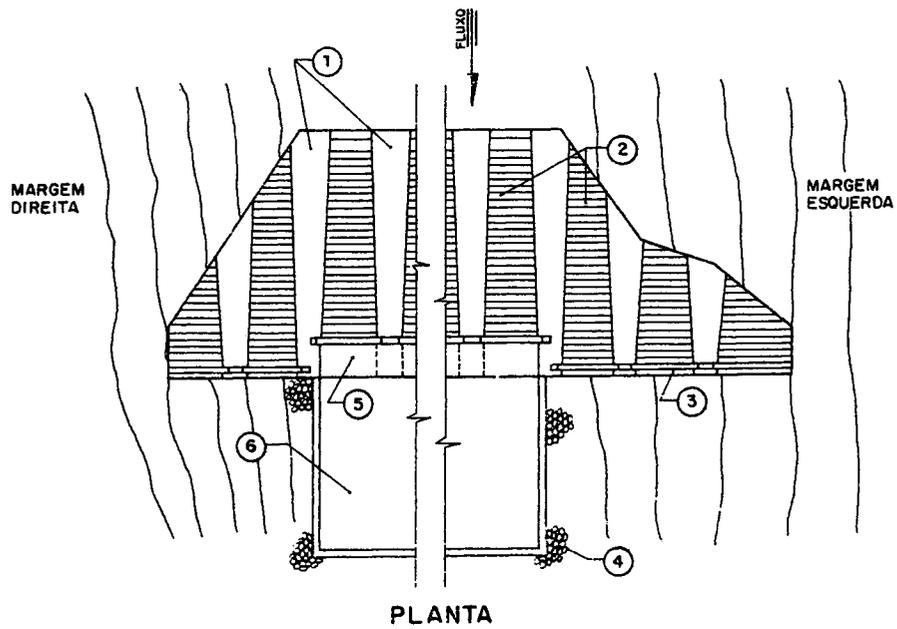
C) Seção Típica e suas Características

- . a seção típica recomendada para as barragens tipo Ambursen consta dos ANEXOS 5.2.3/A e 5.2.3/B.
- . neste tipo de barragem, os contrafortes deverão estar assentados em rocha sã, livre de defeitos, fraturas, etc. Caso a superfície da rocha seja boa, plana, ou em aclive de montante para jusante, o engaste torna-se desnecessário, devendo ser apicoada a superfície da rocha para torná-la áspera e satisfatória para a aderência do concreto.

- . no trecho situado a jusante da barragem deverá ser feita uma bacia de dissipação, ou tanque, cuja função é amortecer o impacto da água que cai pela crista do trecho rebaixado. O tanque deverá ter a mesma largura do vertedouro, e no seu fundo deverá ser feita uma laje de alvenaria de pedra argamassada, para proteger a rocha contra erosão. Ao redor do tanque será jogada uma camada de pedra de proteção para evitar que a água que transborda do tanque danifique a superfície da rocha.
- . na crista do trecho não vertente deverá ser construída uma mureta de proteção contra ondas, em concreto ou alvenaria de tijolos maciços.
- . os contrafortes serão contraventados através de vigas de concreto armado, e possuirão ainda aberturas para aeração a fim de evitar a rarefação no interior da estrutura.
- . na crista do vertedouro será executada uma laje em concreto armado e no trecho não vertente da barragem deverá ser construída uma passarela, também em concreto armado.

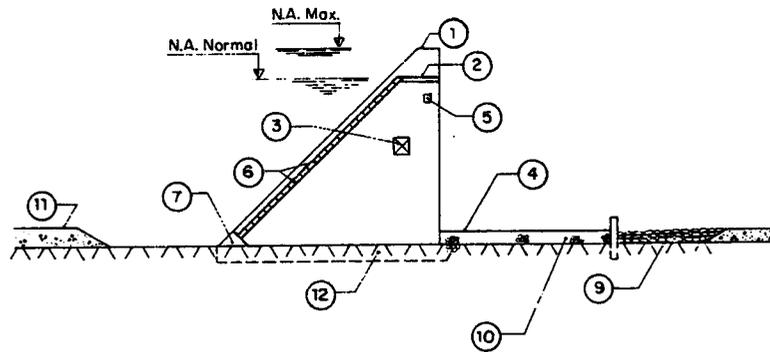
Legenda:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ① - Contraforte de concreto | ⑦ - vertedouro |
| ② - Pranchas de madeira | ⑧ - Mureta |
| ③ - Passarela da crista da barragem | ⑨ - viga de contraventamento |
| ④ - Enrocamento da proteção | ⑩ - Superfície natural do terreno |
| ⑤ - Laje da crista do vertedouro | ⑪ - Superfície natural da rocha |
| ⑥ - Bacia de dissipação | |

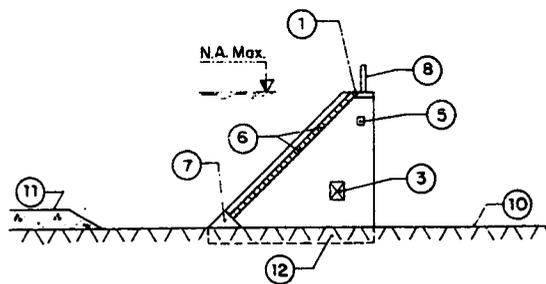


Legenda:

- | | |
|------------------------------|--|
| ① - Crista da barragem | ⑦ - Cunho de apoio das pranchas |
| ② - Crista do vertedouro | ⑧ - Mureta de proteção |
| ③ - Abertura de aeração | ⑨ - Enrocamento de proteção |
| ④ - Bacia de dissipação | ⑩ - Superfície natural da rocha |
| ⑤ - viga de contraventamento | ⑪ - Superfície natural do terreno |
| ⑥ - Pranchas de madeira | ⑫ - Engaste do contraforte na fundação do terreno (eventual) |



CORTE PELO VERTEDEURO



CORTE PELA BARRAGEM

D) Dimensões Básicas

1 - Cota da Crista da Barragem

A cota da crista da barragem e as dimensões da mureta de proteção deverão ser estipuladas da mesma forma que para a barragem de concreto (ver item 5.2.4).

2 - Dimensões da Barragem, do Trecho Vertedouro e da Bacia de Dissipação

As dimensões da barragem, do trecho vertedouro e das pranchas de madeira encontram-se tabeladas a seguir. As letras correspondentes às dimensões estão consignadas nos desenhos em anexo, bem como as dimensões fixas independentes da altura da barragem.

As dimensões da bacia de dissipação deverão ser estipuladas da mesma forma que para a barragem de alvenaria de pedra argamassada (ver item 5.2.2).

TABELA 5.2.3/I
BARRAGEM TIPO AMBURSEN
DIMENSÕES BÁSICAS

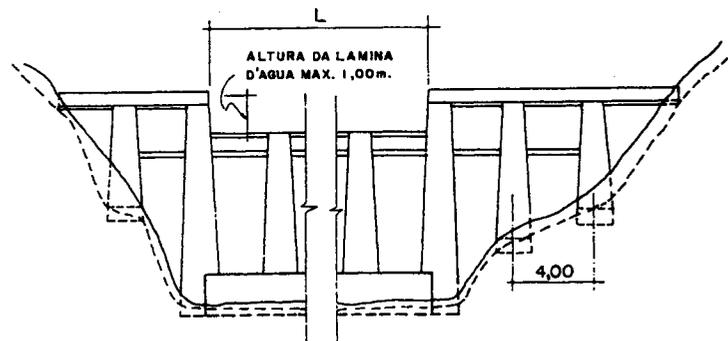
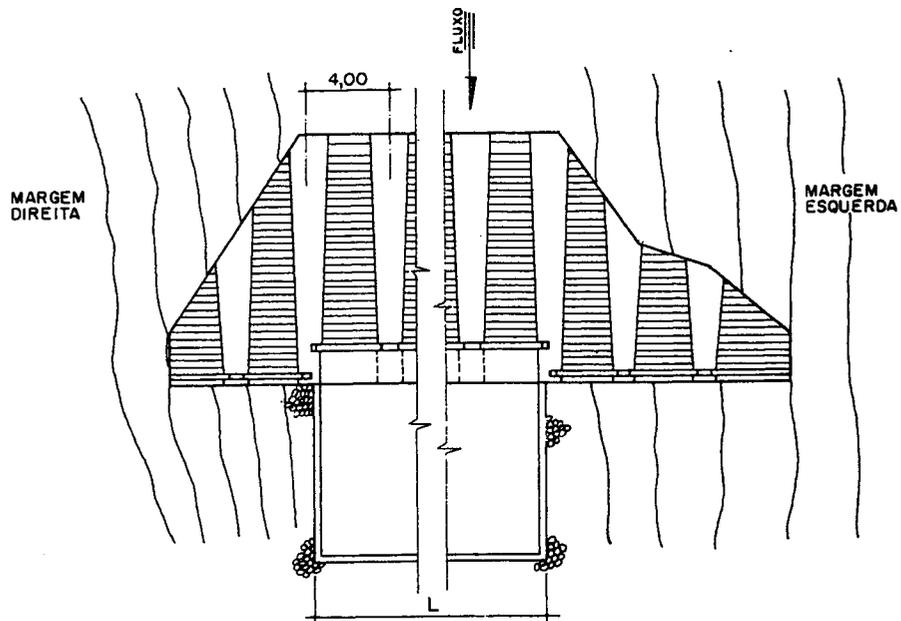
Altura da barragem (h _b)	Altura do vertedouro (P)	Largura da base (B)	Espessura inferior do contraforte (T)	Seção da prancha de madeira	Posição do eixo da viga de contraventamento (K)
2,00	1,00	2,80			
2,50	1,50	3,30	1,00	0,20 x 0,20	0,40
3,00	2,00	3,80			
3,50	2,50	4,30			

E) Detalhes Construtivos Principais

Os detalhes construtivos referentes a marcação das obras, limpeza das áreas, escavação, preparo de fundação e ombreiras, concretagem dos contrafortes e construção da bacia de dissipação são os mesmos descritos no item 5.2.4-E - Barragem de Concreto, com as devidas adaptações aos contrafortes, com exceção dos parágrafos relativos a juntas de dilatação. Os detalhes construtivos específicos da barragem tipo Ambursen são descritos a seguir.

5.2.3/C

ANEXO



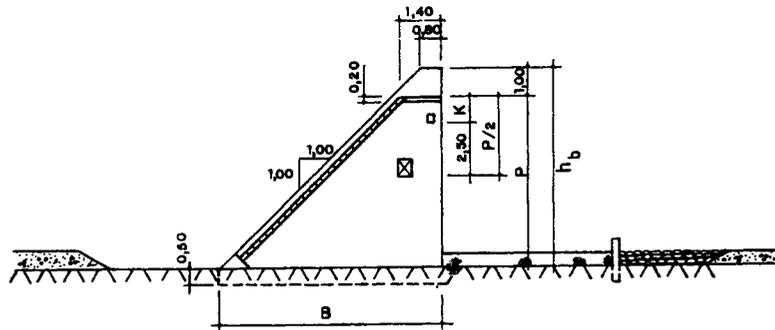
VISTA DE JUSANTE

Notas:

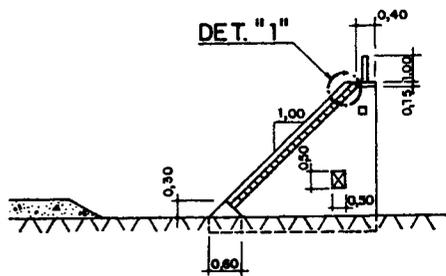
- 1- As dimensões estão em metro.
- 2- A largura do vertedouro "L", deverá ser calculada conforme item 5.2.5 - vertedouro.

Nota:

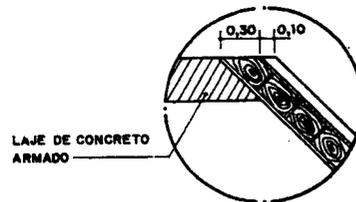
1-As dimensões estão em metro.



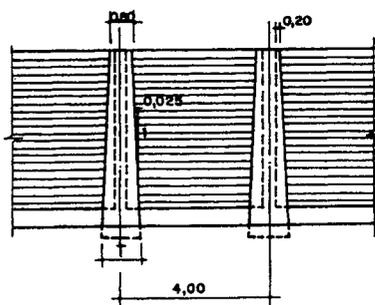
CORTE PELO VERTEDOIRO



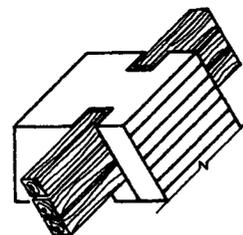
CORTE PELA BARRAGEM



DETALHE "1"



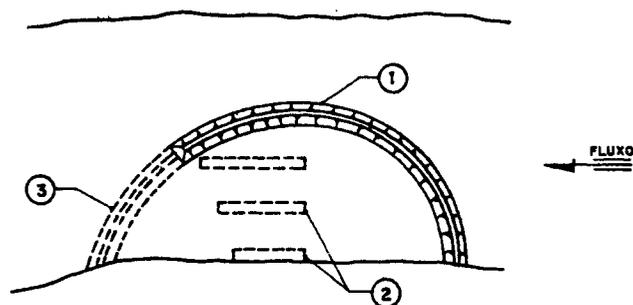
DIMENSÕES DO CONTRAFORTE



PERSPECTIVA DO ENCAIXE DAS PRANCHAS NAS RANHURAS DOS CONTRAFORTES

1 - Desvio do Rio

O desvio do rio é feito normalmente em duas fases. Na 1.ª fase a enseadeira estreita parcialmente o rio e são construídos os primeiros contrafortes. Caso a barragem seja prevista no topo de uma corredeira, a enseadeira de jusante é desnecessária, se houver um desnível suficiente. Em um dos vãos, entre os contrafortes construídos, de preferência na parte mais profunda do vale, deverá ser deixada uma passagem para a água escoar na época do fechamento dos vãos. A passagem deverá estar abaixo do nível previsto para assentar a 1.ª prancha do referido vão.



DESVIO 1ª FASE

Legenda:

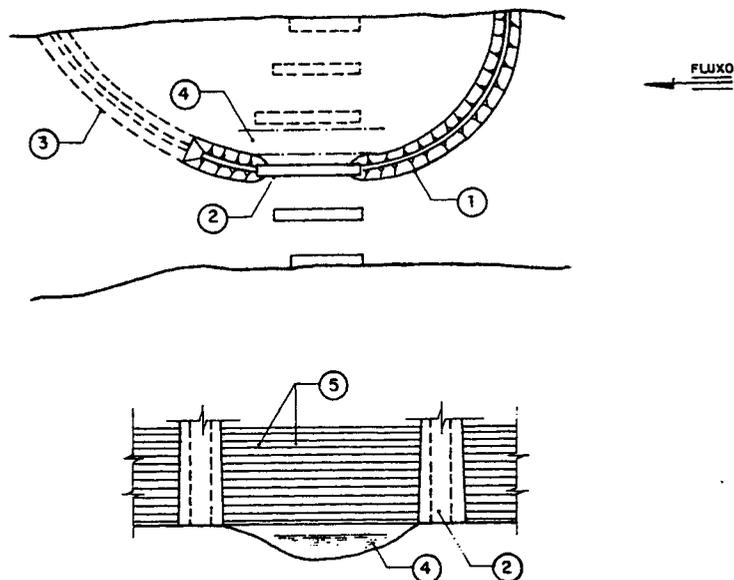
① - Enseadeira

③ - Trecho de jusante (eventual)

② - Contraforte

FIGURA 5.2.3/2

Na 2a. fase, a ensecadeira é removida e reconstruída no trecho restante, passando a água entre os contrafortes já construídos. Após terminados os contrafortes, a ensecadeira é removida, e tem início a colocação a seco das pranchas de madeira, passando a água pela passagem deixada na 1a. fase. Após a colocação das pranchas, a passagem será fechada através de entulho pelo lado de montante e de concreto pelo lado de jusante.



DESVIO 2ª FASE

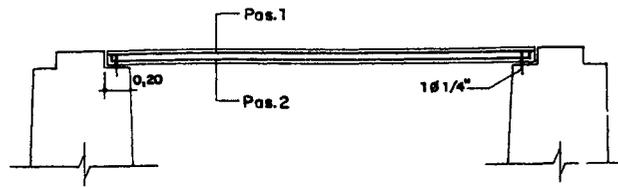
Legenda:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| ① - Ensecadeira | ④ - Passagem temporária para água |
| ② - Contraforte | ⑤ - Pranchas de madeira |
| ③ - Trecho de jusante (eventual) | |

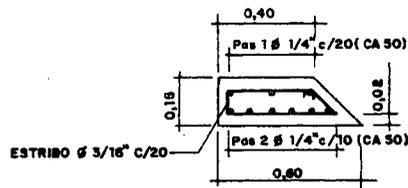
FIGURA 5.2.3/3

2 - Armação das Lajes da Passarela

As lajes da passarela deverão ser armadas conforme detalhe a seguir:



SEÇÃO LONGITUDINAL



SEÇÃO TRANSVERSAL

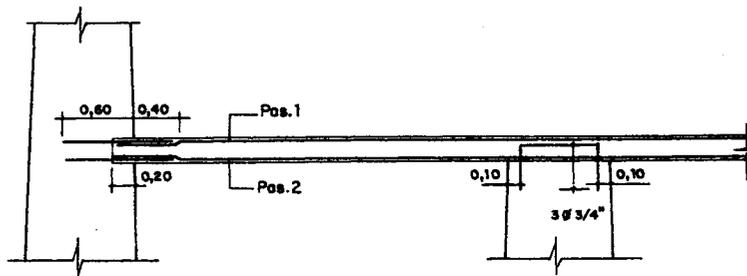
Nota:

1-As dimensões estão em metro, exceto onde indicado de outra forma.

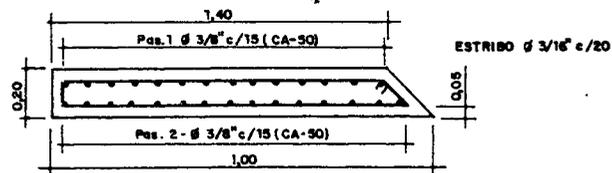
FIGURA 5.2.3/4

3 - Armação das Lajes na Crista do Vertedouro

As lajes da crista do vertedouro deverão ser armadas conforme detalhe abaixo.



SEÇÃO LONGITUDINAL



SEÇÃO TRANSVERSAL

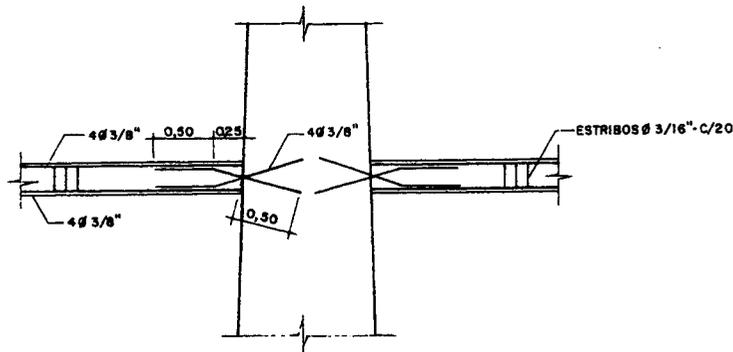
Nota:

1-As dimensões estão em metro, exceto onde indicado de outra forma.

FIGURA 5.2.3/5

4 - Armação das Vigas de Contraventamento

As vigas de contraventamento deverão ser armadas conforme de talhe abaixo.



SEÇÃO LONGITUDINAL

Nota:

1-As dimensões estão em metro, exceto onde indicado de outra forma.

FIGURA 5.2.3/6

5 - Composição do Concreto para Fabricação das Lajes e Vigas de Contraventamento

As quantidades de materiais, para obter 1 metro cúbico de concreto, são as seguintes:

- . Cimento: 250 kg, ou seja, 5 sacos de 50 kg cada
- . Água: 120 a 150 litros, ou seja, 20 a 22 litros para cada saco de cimento
- . Agregados: as quantidades de areia e brita são dadas no quadro a seguir. Para areias finas, médias ou grossas, são fornecidas as quantidades, em litros, de brita 1 ou brita 2. O número entre parêntesis refere-se ao número de padiolas (0,50 m x 0,35 m x 0,30 m) para obter 1 metro cúbico de concreto.

TABELA 5.2.3/II

Areias		Pedra 1 atê 19 mm	Pedra 2 atê 25 mm
Fina atê 2,4 mm	470 (10)	470 (10)	470 (10)
Média e grossa atê 4,8 mm	710 (15)	470 (10)	470 (10)

- . Água = 120 a 150 litros por m³ de concreto, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento.
- . Exemplo: para 1 m³ de concreto, utilizar 5 sacos de cimento, 15 padiolas de areia grossa, 10 padiolas de pedra 1, 10 padiolas de pedra 2 e 120 a 150 litros de água.

6 - Preparo e Colocação das Pranchas de Madeira

As pranchas devem ser preferencialmente de madeira resistente e pouco deformável, como ipê tabaco, ipê amarelo, ipê roxo, ipê preto, gonçalo alves, arueira do sertão, ou outros tipos similares.

A madeira deve ser homogênea, sem nós e sem alburnos, ou seja, sem a camada externa, mais nova e mole da madeira.

Antes da colocação das pranchas, as ranhuras devem ser lubrificadas com graxa ou óleo queimado para facilitar a descida das mesmas.

Junto às ombreiras, nos trechos inclinados, o contato da madeira com a rocha deve ser rejuntado com argamassa de cimento e areia, desde o lado de jusante.

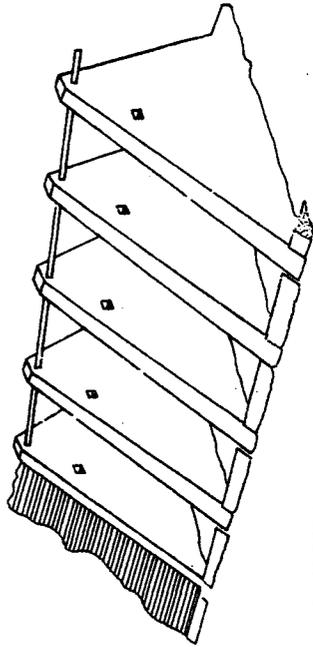
F) Exemplo

No desenho a seguir é apresentado exemplo de barragem tipo Ambursen executada no Paranã, e que tem características semelhantes às das obras a que se refere este item.

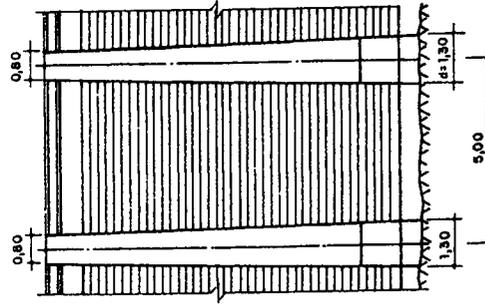
Usina Hidrelétrica Tapirapuam
Barragem Vertedouro

5.2.3/E

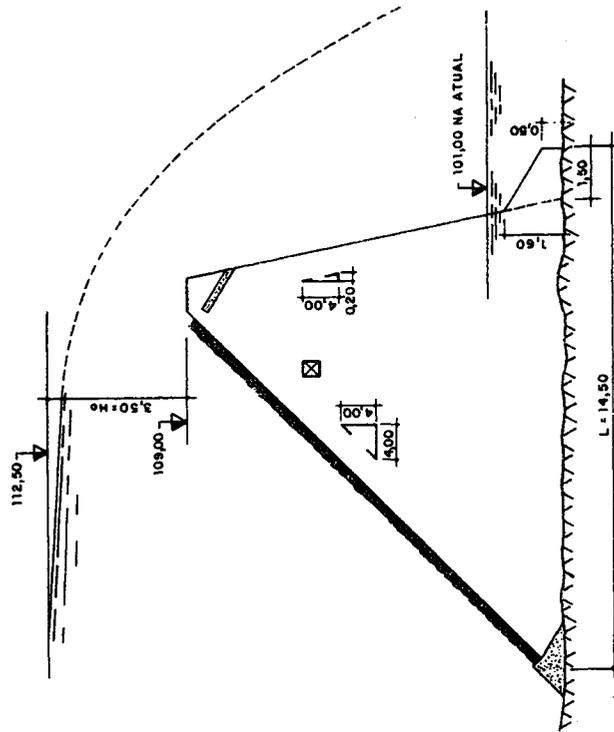
ANEXO



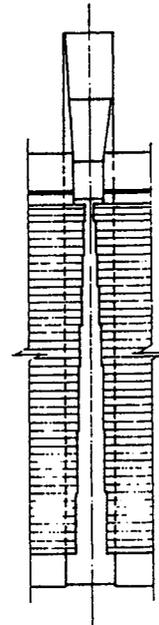
PERSPECTIVA



VISTA DE JUSANTE



PERFIL TIPO DO PILAR DA BARRAGEM VERTEDOURO



PLANTA DO PILAR

A) Considerações Sobre o Tipo

A barragem de concreto cogitada neste Manual é a do tipo gravidade, e consiste de um muro, cuja seção transversal se aproxima de um triângulo retângulo, e que resiste através do seu peso próprio à pressão da água do reservatório e à subpressão das águas que se infiltram pelas fundações. Possui um trecho central rebaixado, o vertedouro, de preferência coincidente com a parte central do vale, onde corre o rio, destinado a permitir a extravasão das águas excedentes.

Este tipo de barragem é recomendável para vales relativamente estreitos, com aproximadamente 100 m de largura, onde o represamento requer alturas próximas a 3 m, com boas fundações em rocha pouco fraturada, e onde a construção de um vertedouro lateral é problemática devido a encostas íngremes e rochosas.

A decisão de construir uma barragem de concreto deve ser tomada após uma análise conscienciosa das condições da fundação, disponibilidade de materiais e equipamentos apropriados para construção.

B) Adequabilidade do Local para o Aproveitamento

Para a adoção da barragem de concreto para o aproveitamento, o local deve possuir as seguintes características:

- . a largura do vale na cota da crista da barragem deve ser a mais estreita do trecho aproveitável do rio;
- . disponibilidade de pedreiras para obtenção da brita e jazidas de areia facilmente exploráveis nas proximidades do local;
- . facilidade de conseguir cimento em quantidade suficiente na região;
- . as fundações e ombreiras devem ser de rocha resistente e pouco fraturada; caso as fundações possuam uma camada superficial de aluvião, esta não deve ser muito espessa, isto é, não deve ter mais de 2 m, para não encarecer a obra com os trabalhos de remoção da mesma;
- . facilidades para construção de acessos.

C) Seção Típica e suas Características

A seção típica recomendada para barragens de concreto é a seguinte:

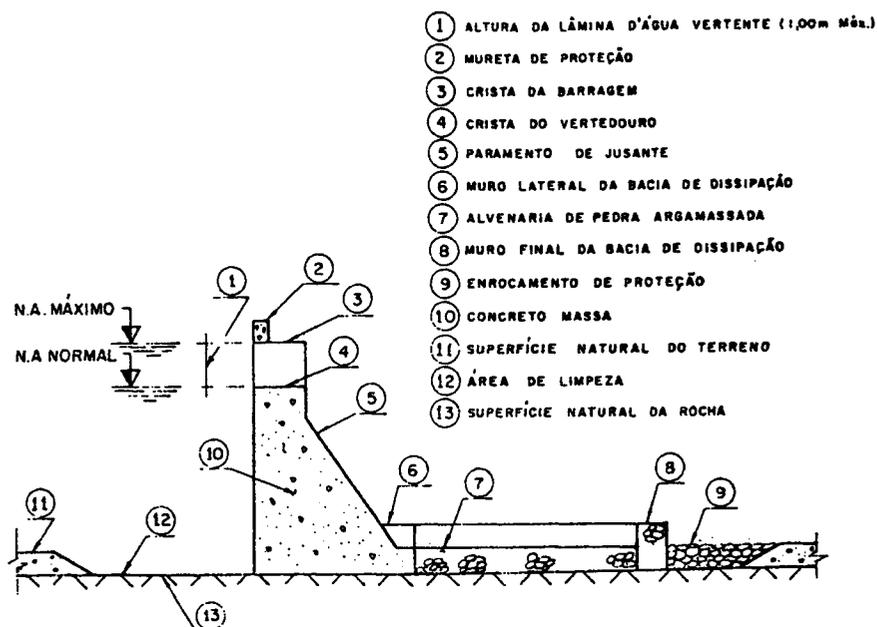


FIGURA 5.2.4/1

- 1 ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA VERTENTE (1,00m MÍN.)
 - 2 MURETA DE PROTEÇÃO
 - 3 CRISTA DA BARRAGEM
 - 4 CRISTA DO VERTEDOURO
 - 5 PARAMENTO DE JUSANTE
 - 6 MURO LATERAL DA BACIA DE DISSIPACÃO
 - 7 ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA
 - 8 MURO FINAL DA BACIA DE DISSIPACÃO
 - 9 ENROCAMENTO DE PROTEÇÃO
 - 10 CONCRETO MASSA
 - 11 SUPERFÍCIE NATURAL DO TERRENO
 - 12 ÁREA DE LIMPEZA
 - 13 SUPERFÍCIE NATURAL DA ROCHA
- . no trecho situado a jusante da barragem deverá ser feita uma bacia de dissipação ou tanque, cuja função é amortecer o impacto da água extravasada pelo trecho vertedouro; o tanque deverá ter a mesma largura do vertedouro e, no seu fundo, caso a rocha seja pouco resistente ou fraturada, deverá ser feita uma laje de alvenaria de pedra argamassada para proteger a rocha contra erosão; caso a rocha seja boa, é desnecessária a construção dessa laje para proteção do fundo da bacia de dissipação;
 - . ao redor do tanque, externamente, será jogada uma camada de pedra de proteção para evitar que a água que transborda do tanque danifique a superfície da rocha, principalmente quando esta não for de boa qualidade,
 - . a barragem será construída em blocos, entre os quais deverão existir juntas verticais, devidamente vedadas contra vazamentos;
 - . na crista da barragem, no trecho não vertedouro, deverá ser construída uma mureta de proteção contra ondas.

D) Dimensões Básicas

1 - Cota da Crista da Barragem

A cota da crista da barragem em seu trecho de ombreiras, trecho não vertedouro, deve estar 1 m acima da cota do nível d'água normal prevista no reservatório.

Como a máxima altura da lâmina d'água admitida sobre a crista do trecho vertedouro é de 1 m, a proteção contra as eventuais ondas no reservatório, quando o nível d'água atingir o máximo previsto, será feita por uma mureta construída junto ao paramento de montante. Esta mureta deverá ter uma altura mínima de 0,3 m e largura de 0,2 m e poderá ser construída de alvenaria de tijolo maciço ou de concreto.

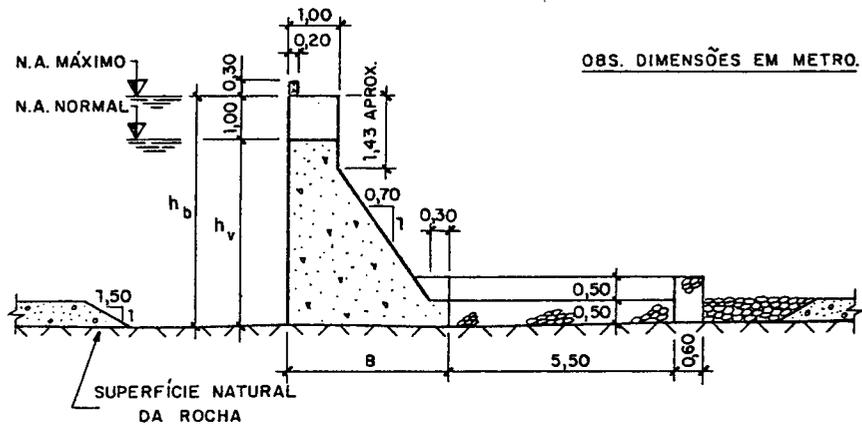


FIGURA 5.2.4/2

2 - Dimensões da Barragem, do Trecho Vertedouro e da Bacia de Dissipação

As dimensões principais das estruturas constam da tabela a baixo. A largura do trecho vertente deverá ser calculada conforme o item 5.2.5, sendo que os cálculos poderão indicar uma largura que ocupe toda extensão do vale, ou seja, toda a barragem será vertedoura.

TABELA 5.2.4/I

BARRAGEM DE CONCRETO - DIMENSÕES EM m		
h_b	h_v	B
2,00	1,00	1,40
2,50	1,50	1,25
3,00	2,00	2,10
3,50	2,50	2,45
4,00	3,00	2,80
4,50	3,50	3,15

3 - Distância entre as Juntas

As juntas entre os blocos da barragem devem ser distantes entre si no máximo 15 m, para evitar rachaduras no corpo da estrutura, através das quais possa haver vazamentos.

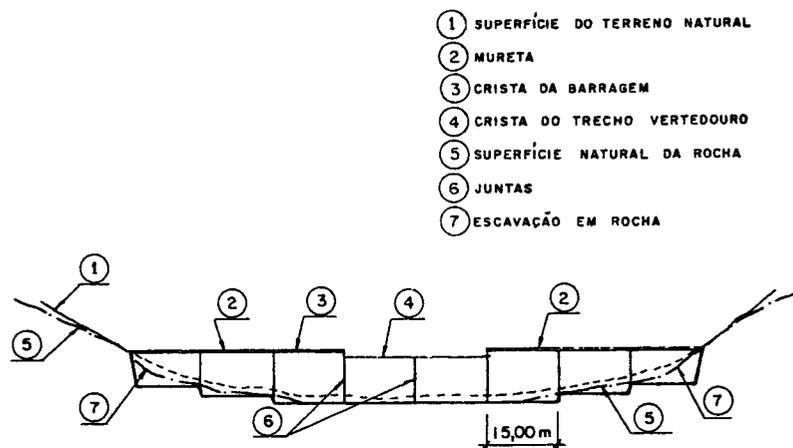


FIGURA 5.2.4/3

E) Detalhes Construtivos Principais

1 - Marcação das Obras

Os eixos de referência, alinhamentos e pontos característicos das obras deverão ser assinalados no terreno por meio de marcos cuidadosamente protegidos, de modo a ficarem bem definidos.

2 - Limpeza das Áreas

Os serviços de limpeza compreenderão as operações de desmatamento, capina ou roçado e destocamento das áreas que serão ocupadas pelas construções. As áreas desmatadas e destocadas estender-se-ão por 5 m além do perímetro externo das obras permanentes.

3 - Escavações

Na faixa em que se assentará a barragem, deverá ser feita a remoção de todo e qualquer material terroso ou rocha decomposta, até ser atingida, em todos os pontos, a zona onde a rocha seja apropriada para fundação. Entende-se neste caso, por rocha apropriada, a rocha que apresente boas condições de impermeabilidade, ou pouco fraturamento, e possa suportar o peso da barragem sem grandes deformações.

A escavação em rocha será feita de preferência "a frio", através de cunhagem, procurando-se evitar o uso de explosivos, por se tratar de pequenos volumes de escavação, ou seja, apenas das grandes saliências.

A escavação deverá ser conduzida de tal modo que a superfície da rocha, depois de concluída a escavação, se apresente bem rugosa e plana.

Os trabalhos de escavação só deverão ser dados por concluídos depois que o local estiver limpo e desimpedido de fragmentos de rocha, lama ou detritos de qualquer natureza.

Os materiais extraídos das escavações deverão ser depositados em áreas fora do local da obra e do reservatório.

4 - Preparo das Fundações e Ombreiras

Deverão ser drenados os olhos d'água porventura encontrados na área das fundações, conforme especificado no item 5.2.1-E - Preparo de Fundações e Ombreiras da Barragem de Terra.

Nas ombreiras todos os matacões e pedras soltas deverão ser removidos; todas as irregularidades da superfície da rocha que formem taludes negativos ou balanços serão eliminados com remoção do material ou por enchimento com concreto.

5 - Concretagem das Estruturas

a) Materiais

- O concreto será composto de cimento Portland, água e agregados, estes últimos constituídos de areia e brita ou cascalho. Os sacos de cimento deverão ser de 50 kg e serão empregados na ordem cronológica em que forem colocados na obra. Cada lote de cimento ensacado deverá ser armazenado de modo a ser facilmente determinável

sua data de chegada ao canteiro, devendo ser tomado todo o cuidado no sentido de protegê-lo da deterioração, e ser armazenado em pilhas de, no máximo, 10 sacos, durante um período nunca superior a 90 dias, em locais fechados e convenientemente ventilados.

. A água destinada à preparação do concreto deverá ser limpa e não deverá conter sais, óleos, ácidos, álcalis e substâncias orgânicas. Caso não haja condições de verificação, deverá ser utilizada água potável.

. A origem dos agregados graúdos deverá ser de pedreiras ou de depósitos, ou de cascalheira proveniente do leito do rio. As areias deverão ser provenientes de bancos situados no próprio leito do rio, em quantidade suficiente para permitir a execução das obras. Os agregados miúdo e graúdo deverão atender os requisitos granulométricos estabelecidos na Norma NBR-7211 para as graduações indicadas a seguir:

- areia fina, média ou grossa
- pedra 1, 2 ou 3

Os agregados deverão ser estocados em montes com um sistema de drenagem eficiente e provido de dispositivos que impeçam a introdução de materiais estranhos e misturas com modificação da granulometria.

b) Composição do Concreto

As quantidades de materiais, para obter 1 m³ de concreto, serão as seguintes:

- . cimento = 250 kg, ou seja, 5 sacos de 50 kg cada;
- . agregados = as quantidades de areia e pedra são dadas no quadro a seguir, em litros; o número entre parênteses refere-se ao número de padiolas de 0,45 x 0,35 m de base e 0,30 m de altura;

TABELA 5.2.4/II

Areia		Pedra 1 até 19 mm	Pedra 2 até 25 mm	Pedra 3 até 38 mm
Fina até 2,4 mm	470 (10)	470 (10)	240 (5)	240 (5)
Média e grossa até 4,8 mm	710 (15)	470 (10)	240 (5)	240 (5)

. água = 120 a 150 litros, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento.

Exemplo: para 1 m³ de concreto, utilizar: 5 sacos de cimento; 15 padiolas de areia grossa; 10 padiolas de pedra 1; 5 padiolas de pedra 2; 5 padiolas de pedra 3; 120 a 150 litros de água.

c) Mistura e Transporte de Concreto

A dosagem dos materiais componentes de cada mistura será feita de acordo com o item b, isto é, o cimento medido por número inteiro de sacos; a pedra, a areia e a água, por volume.

Os componentes deverão ser introduzidos gradualmente na betoneira, podendo parte da água ser colocada depois de terminada a carga dos outros elementos da mistura.

O transporte dos componentes, já dosados, para a betoneira, deverá atender aos seguintes requisitos:

- . o cimento deverá ser colocado em recipiente separado dos agregados;
- . não deve ser permitido o contato do cimento com os agregados, a não ser na ocasião da mistura.

O tempo de mistura na betoneira não deverá ser inferior ao fornecido pela tabela seguinte.

TABELA 5.2.4/III

Capacidade de mistura da betoneira	Tempo mínimo de mistura
até 1,00 m ³	1 1/2 minutos
até 2,00 m ³	2 minutos

As betoneiras deverão descarregar diretamente nos recipientes de transporte do concreto.

O equipamento para transporte do concreto deverá ser do tipo que não possibilite a segregação dos agregados, perda da água de amassamento ou variação da trabalhabilidade da mistura, entre a saída da betoneira e a chegada ao local da concretagem.

d) Lançamento do Concreto

Todo lançamento de concreto deverá ser efetuado com dia claro. Seu lançamento, em qualquer peça da obra, só será iniciado quando puder ser completado nessas condições, a não ser que tenha sido instalada iluminação adequada. Deverá ser evitada a concretagem nos períodos quentes, quando a temperatura ambiente for maior que 32°C.

Não deverá ser lançado concreto enquanto o preparo e tratamento das fundações, as fôrmas e os escoramentos não tiverem sido acabados e inspecionados.

A colocação do concreto será contínua e conduzida de forma a não haver interrupções superiores a duas horas, sendo que todo concreto deverá ser adensado por vibração. No caso de ser necessária uma junta de construção, imprevista devido a chuvas inesperadas, defeitos de equipamentos ou outra situação anormal, as seguintes precauções devem ser tomadas:

- . deverá ser formada imediatamente uma rampa suave de, aproximadamente, 4:1 (horizontal: vertical), na camada que está sendo concretada, para escoamento da água;
- . todo agregado solto deve ser removido;
- . se o lançamento for reiniciado até 3 horas após a interrupção, nenhum tratamento para a junta será necessário; se o lançamento for reiniciado após 3 horas, a superfície deverá ser varrida intensamente com escova de aço e lavada após, para retirada do pó e dos resíduos.

O concreto não será exposto à ação de água de cura antes que tenha endurecido o suficiente, para que não seja danificado pelo umedecimento da superfície.

Todo o concreto deverá ser lançado de uma altura inferior a 2 m, para evitar segregação de seus componentes.

O concreto será lançado o mais próximo possível de sua posição final, não sendo depositado em grande quantidade em determinados pontos, para depois ser espalhado ou manipulado ao longo das fôrmas.

A concretagem do maciço será executada em lances independentes, de 1,5 m de altura. Cada lance será concretado, em princípio, por faixas de 2 m de largura, paralelas ao eixo, e em camadas de 0,5 m de altura até perfazer 1,5 m de altura.

A camada superior deverá ser densada antes que a inferior tenha endurecido. No caso de emprego de vibrador de imersão, este deverá penetrar profundamente na parte superior da camada subjacente.

As camadas que forem concluídas num dia de trabalho ou que tiverem sido concretadas pouco antes de se interromperem temporariamente as operações, serão limpas logo que a superfície tiver endurecido o suficiente, retirando-se toda nata de cimento e todos os materiais estranhos.

As superfícies de concreto deverão permanecer úmidas até os sete dias de idade. O meio empregado para a cura poderá ser a cobertura dessas superfícies com areia molhada, rega ou qualquer método que as mantenha continuamente molhadas.

As superfícies de concreto destinadas a ficarem aparentes e que não estiverem em contato com moldes durante a concretagem deverão ser alisadas enquanto o concreto ainda estiver fresco.

A superfície do concreto será protegida adequadamente da ação direta do sol e da chuva, de águas em movimento e de agentes mecânicos, e deverá ser mantida úmida desde o lançamento até pelo menos 7 dias após. A água utilizada para cura deverá ser potável. As fôrmas de madeira que permaneçam no local deverão ser mantidas úmidas até o final da cura, para evitar ressecamento da superfície de concreto.

Quando a concretagem for suspensa por períodos de tempo superior àquele em que se iniciou a pega, o ponto onde tiver sido suspensa será considerado uma junta de concretagem. A localização das juntas de concretagem deverá ser planejada antecipadamente e a concretagem será contínua, de junta a junta.

No caso de se ter juntas de concretagem, a superfície que servirá de junta deverá ser varrida intensamente com escova de aço, no período de 3 a 6 horas após a concretagem.

Para unir concreto fresco com outro já endurecido, a superfície da parte já endurecida deverá ser raspada para retirar a argamassa superficial, o material solto e os corpos estranhos. Esta superfície, lavada e limpa com escovas de aço, deverá ser molhada e conservada assim até o reinício da concretagem.

As juntas verticais entre os blocos serão do tipo "junta seca" e deverão ser construídas de modo a permitir absoluta liberdade de movimento entre os blocos.

Para minimizar as perdas de água pelas juntas de contração, está prevista uma vedação entre os blocos, de acordo com a figura abaixo.

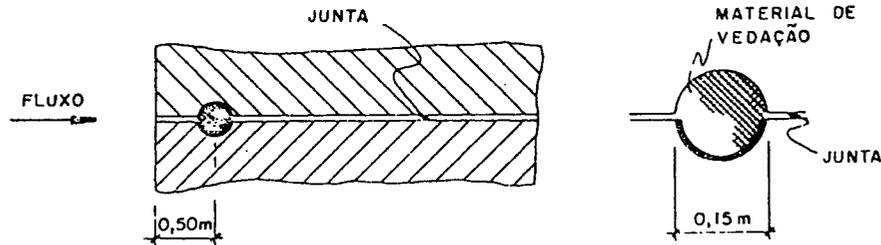


FIGURA 5.2.4/4

Para construção da ranhura será utilizada meia cana de tubo PVC de diâmetro mínimo de 15 cm.

Após a concretagem do primeiro bloco, a meia cana poderá ser retirada, ficando, entretanto, perdida na concretagem do bloco adjacente.

Como material de vedação será utilizada uma mistura plástica, moldável com a mão, de argila com pó de serragem, convenientemente homogeneizada. Alternativamente, poderá ser utilizado asfalto para preenchimento do orifício de vedação da junta.

O material deverá ser colocado na ranhura em camadas de aproximadamente 20 cm, recebendo uma leve compactação superficial. Antes de seu enchimento, a ranhura deverá ser umedecida.

Toda a madeira empregada nas fôrmas será isenta de furros, nós, fendas, curvaturas e outros defeitos que prejudiquem a sua resistência ou a aparência da superfície terminada do concreto; a madeira empregada na construção de fôrmas, depois de aparelhada, deverá ter pelo menos 2 cm de espessura.

As fôrmas de madeira serão molhadas até a saturação, antes do lançamento do concreto.

As fôrmas só deverão ser retiradas depois de 14 dias, sendo que a retirada dos suportes será feita lentamente, usando-se cunhas ou outros dispositivos, para que as cargas não sejam apoiadas bruscamente sobre peças novas.

6 - Construção da Bacia de Dissipação

Os serviços de alvenaria de pedra argamassada serão executados com pedra extraída de pedreira e/ou com material proveniente de escavação da rocha de fundação, ou ainda, pedras existentes no leito do rio. As pedras deverão ter uma dimensão máxima de 30 cm e deverão ser colocadas cuidadosamente em camadas, de tal forma que cada pedra seja envolvida completamente pela argamassa a ser utilizada, cujo traço, dosado em volume, será de 1:4. Antes da colocação final, as pedras serão prévia e fortemente molhadas.

A alvenaria será executada em camadas respaldadas, horizontalmente, com o necessário travamento, formando um todo maciço sem vazios. A primeira fiada será constituída de pedras grandes cuidadosamente escolhidas, colocadas sobre um leito de concreto magro.

Ao redor da bacia de dissipação, externamente, deverá ser lançada uma camada de pedras com 0,5 m de espessura, e dimensões de pedra igual ou superior a 20 cm. O lançamento será feito em uma faixa de 2 m de largura.

7 - Utilização de Concreto Ciclóxico

Alternativamente, para construção de barragem, poderá ser usado concreto ciclópico, que é um tipo de concreto que consiste na introdução, no concreto normal, de pedras de mão ou rachões com o objetivo de reduzir o consumo de cimento.

O concreto normal deve ser o concreto com agregado de diâmetro máximo 25 mm (pedra 2), obedecendo o seguinte traço, expresso em quantidade de material por m³ de concreto.

- . cimento = 300 kg, ou seja, 6 sacos de 50 kg cada.
- . agregados = as quantidades de areia e pedra são dadas no quadro a seguir, em litros

TABELA 5.2.4/IV

Areia		Pedra 1 até 19 mm	Pedra 2 até 25 mm
Fina até 2,4 mm	560 (12)	560 (12)	560 (12)
Grossa até 4,8 mm	850 (18)	560 (12)	560 (12)

. água = 140 a 180 litros, ou seja, 24 a 30 litros para cada saco de cimento;

. os números entre parênteses referem-se ao número de pedras de mão de 0,45 x 0,35 m e 0,30 m de altura.

A pedra de mão ou rachão deve ter tamanho não superior a aproximadamente 350 mm.

Na execução do concreto ciclópico deve-se inicialmente lançar e adensar uma camada de concreto normal, com espessura aproximada de 10 cm, sobre a qual serão colocadas as pedras de mão, devidamente lavadas e dispostas de forma a que haja entre elas um espaçamento de 20 cm.

A seguir, lança-se o concreto normal no espaço compreendido entre os rachões e sobre os mesmos, de forma a se ter uma cobertura com espessura de 5 a 10 cm, após o que realiza-se a operação de adensamento.

Deve-se tomar cuidado para evitar o aparecimento de rachões salientes no topo da última camada que irá se constituir na junta de concretagem.

Os cuidados para cura do concreto ciclópico e para as juntas de construção deverão ser os mesmos anteriormente descritos para o concreto comum.

5.2.5 Vertedouro (Sangradouro)

5.2.5.1 Escolha do Tipo de Vertedouro

De forma geral, dependendo do porte da obra, podem ser definidos dois tipos básicos de solução para o extravasamento do excesso de água afluente ao local do aproveitamento:

- a) extravasamento por um canal lateral, com o fundo situado em cota mais elevada em relação ao leito natural do rio;
- b) extravasamento por sobre o próprio corpo da barragem, ao longo de toda a crista ou parte dela.

A melhor solução, naturalmente, será função dos materiais disponíveis para a construção da barragem e da topogeologia local. Pode-se, todavia, fixar algumas regras gerais, a fim de nortear o encaminhamento dos estudos para a escolha da solução:

- . deverá ser cogitada sempre de início, a possibilidade de utilização de um canal lateral extravasador, sem revestimento;
- . caso não se possa construir um canal com largura adequada, deve-se insistir com a alternativa de um canal extravasador, estudando-se a proteção do fundo e dos taludes das margens contra a erosão;
- . paralelamente, deverão ser estudadas alternativas com a solução de extravasamento por sobre o próprio corpo da barragem.

São apresentados, a seguir, croquis onde se procura exemplificar a aplicação dos tipos de vertedouro descritos:

Canal extravasador lateral com largura adequada

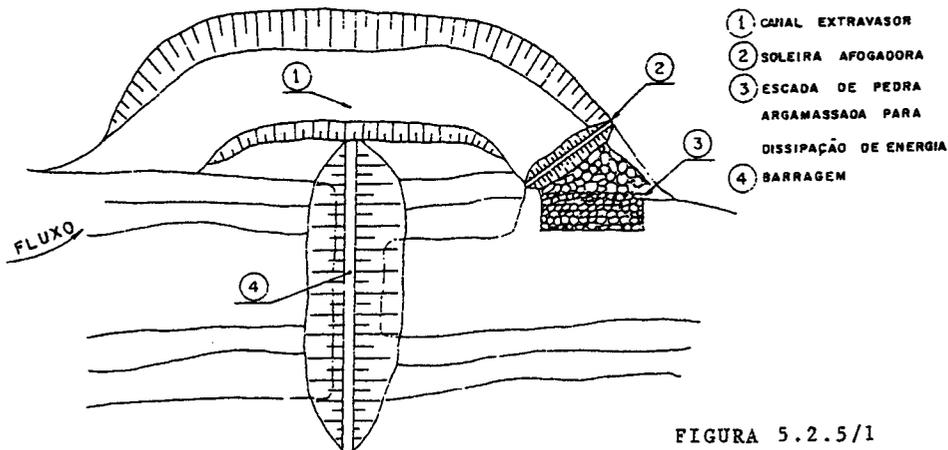


FIGURA 5.2.5/1

Alternativa de extravasamento por sobre
o próprio corpo da barragem

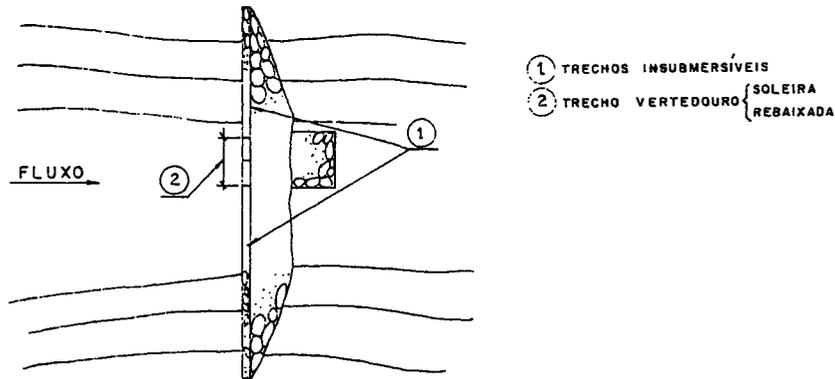


FIGURA 5.2.5/2

Deve ser ressaltado que podem ser aventadas hipóteses de soluções mistas, em que exista mais de um órgão responsável pelo extravasamento, como por exemplo, adoção de um canal extravasor lateral, prevendo-se ainda que a água possa verter por sobre a barragem.

5.2.5.2 Descarga de Projeto do Vertedouro

O vertedouro deverá ser dimensionado para a passagem de uma enchente com tempo de recorrência estimado de acordo com as recomendações do item 4.3 - Hidrologia.

5.2.5.3 Dimensionamento do Vertedouro

A) Canal Extravasor

O dimensionamento do vertedouro, inicialmente cogitado como um canal extravasor, deverá ser desenvolvido, considerando dois parâmetros básicos:

- . descarga máxima prevista de extravasamento (Q_{max}).
- . características do material natural no local onde se pretende construir o canal extravasor.

A seguinte seqüência básica de cálculo deverá ser utilizada para o dimensionamento do vertedouro:

- a) Fixar como cota de fundo de canal extravasor a do N.A. normal do reservatório.
- b) A partir das características do terreno natural no local onde se pretende construir o canal extravasor, fixar uma inclinação para os taludes que garanta a estabilidade das margens (ver TABELA 5.2.5/I).
- c) Fixar a lâmina de água máxima do canal extravasor, inicialmente, em 1 m.
- d) Fixar a velocidade máxima admissível no canal extravasor para o escoamento com o tirante de referência de 1 m, a partir das características do material natural formador do leito (ver TABELA 5.2.5/II e III).
- e) Determinar a largura necessária ao canal extravasor, a partir da descarga máxima prevista a ser extravasada, da velocidade máxima admissível, da lâmina de água máxima igual a 1m, prevista para o escoamento pelo canal e da inclinação dos taludes.

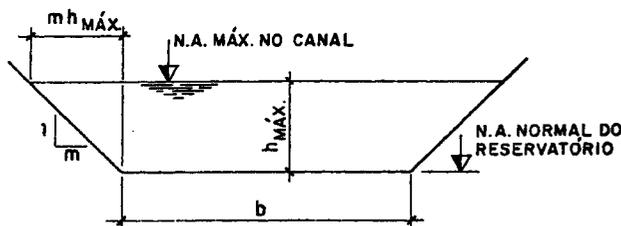


FIGURA 5.2.5/3

$$b = \frac{Q_{\max}}{v_{\max} \cdot h_{\max}} - m \cdot h_{\max}$$

- f) Verificar a viabilidade da execução do canal extravasor com a largura necessária calculada. Caso a largura necessária do canal se revele excessiva ou caso as condições topogeológicas não sejam favoráveis à execução do canal com tal largura, passa-se a cogitar das seguintes alternativas de solução na ordem a seguir:

- . verificação da possibilidade de se aumentar a lâmina de água máxima prevista no canal extravasor e assim diminuir a largura necessária, repetindo-se a seqüência de cálculo descrita para $h_{\max} = 1$ m, tendo-se o cuidado de corrigir a velocidade máxima pelas TABELAS 5.2.5/IV e V.

De uma forma geral, h_{\max} não deve ser superior a 2 m.

- verificação de hipóteses de usar larguras menores para o canal extravasor, procedendo-se então ao seu adequado revestimento com material compatível com as velocidades máximas esperadas, isto é, fixar hipótese de largura para o canal menor do que o valor anteriormente calculado, reavaliar a nova velocidade máxima prevista para o canal, com auxílio da expressão:

$$v_{\max} = \frac{Q_{\max}}{h_{\max} \cdot b + m \cdot h_{\max}^2}$$

e, em seguida, verificar através da mesma TABELA 5.2.5/II qual o material estável para o revestimento do canal.

- verificação de outras hipóteses, incluindo-se o extravasamento do excesso das descargas por sobre o próprio corpo da barragem, que está detalhado adiante.

B) Soleira Afoadora e Escada de Dissipação de Energia

Uma vez verificada a possibilidade de adoção da solução do extravasamento do excesso de descarga através de um canal lateral com uma determinada largura, é necessário proteger o local de restituição das águas vertidas ao rio. Esta proteção deverá ser realizada por uma soleira afoadora ao final do canal, seguida de uma escada de dissipação de energia construída em alvenaria de pedra argamassada.

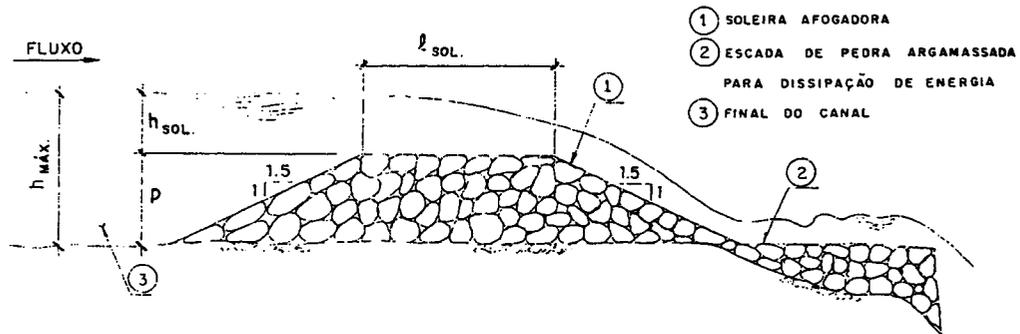


FIGURA 5.2.5/4

A altura da soleira pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$p = h_{\max} - h_{\text{sol}}$$

onde:

$$h_{\text{sol}} = \left(\frac{Q_{\max}}{1,7 \times b} \right)^{2/3}$$

p , h_{\max} , h_{sol} e b em m e Q_{\max} em m^3/s ,

Deve ser adotado para p um valor mínimo de 0,5 m

O comprimento da soleira (ver FIGURA 5.2.5/4) pode ser estimado por:

$$l_{\text{sol}} = 2,5 h_{\text{sol}} \quad (l_{\text{sol}} \text{ e } h_{\text{sol}} \text{ em m})$$

O material para a construção da soleira deve ser determinado considerando-se a velocidade média do escoamento por sobre a mesma,

$$v_{\text{sol}} = \frac{Q_{\max}}{h_{\text{sol}} \times b},$$

v_{sol} em m/s, Q_{\max} em m^3/s , h_{sol} e b em m,

e utilizando-se a mesma TABELA 5.2.5/II, para materiais não coesivos.

Faz-se notar que a soleira afogadora é permeável, uma vez que é construída com pedras soltas. Por esta razão, a cota de fundo do canal corresponde ao nível de água normal do reservatório.

Para o dimensionamento dos degraus da escada de dissipação de energia para proteção do local de restituição das águas vertidas para o rio, recomenda-se que o comprimento de cada degrau seja no mínimo igual ao dobro da altura do mesmo. Essa proteção deve acompanhar a topografia do terreno natural, conforme está mostrado nas FIGURAS 5.2.5/5 e 6.

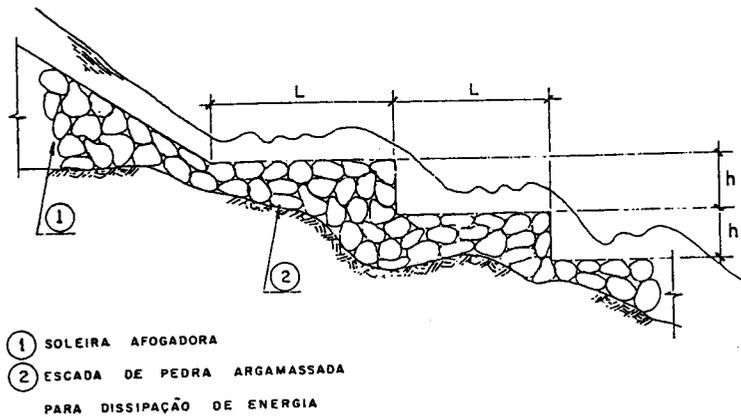


FIGURA 5.2.5/5

A escada deve ter no mínimo a mesma largura do canal extravasor, devendo ser disposta de modo a se desenvolver desde o final dele até a calha do rio, protegendo o talude da margem contra erosão. Os degraus da escada devem ser construídos em alvenaria de pedra argamassada, podendo ser cogitada a utilização de gabiões.

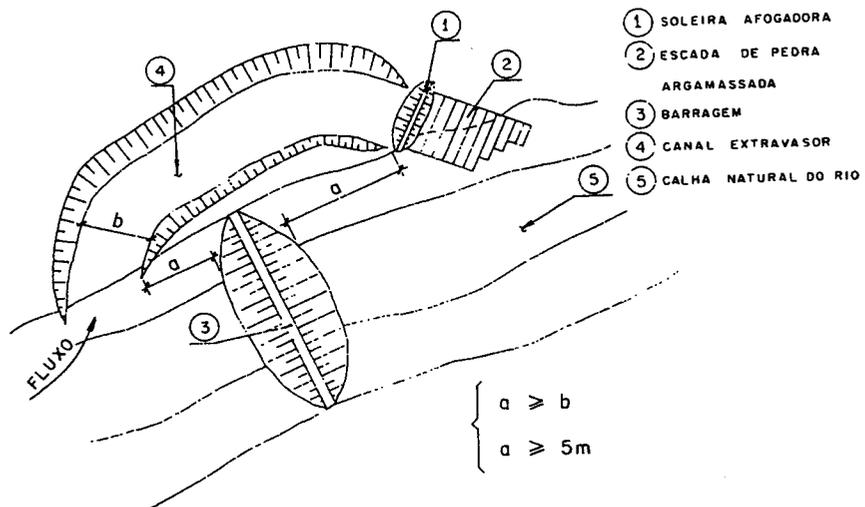


FIGURA 5.2.5/6

O canal extravasor deve ser construído sempre sem declividade, sendo que os afastamentos das bocas de entrada e de saída do canal, em relação à barragem, deverão situar-se em torno de uma vez a largura do canal, recomendando-se um mínimo de 5 m.

Em alguns casos, por necessidades construtivas, pode ser possível a utilização de escadas separando o canal extravasor em dois ou mais planos, devendo-se considerar nos cálculos as mesmas premissas adotadas anteriormente, localizando-se ao final de cada plano do canal extravasor uma soleira afogadora e a escada para mudança de plano.

Exemplo de Cálculo:

$$Q_{\max} = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

material do local: solo muito compactado, com grande quantidade de argila.

. Definição da geometria do canal.

- Da TABELA 5.2.5/I, pode-se fixar $m = 0,75$
- Da TABELA 5.2.5/III, considerando-se $h_{\max} = 1 \text{ m}$, admite-se $v_{\max} = 1,7 \text{ m/s}$

daí:

$$b = \frac{Q_{\max}}{v_{\max} \cdot h_{\max}} - m \cdot h_{\max}$$

$$b = \frac{30}{1,7 \times 1} - 0,75 \times 1 = 16,9 \text{ m}$$

Assim, a largura de fundo $b = 16,9 \text{ m}$ é adequada para o canal sem revestimento.

- Supondo que a largura calculada, por uma razão qualquer, seja excessiva para a situação local e, por exemplo, admitindo-se que a largura máxima seja 10 m, estudar-se-ia o aumento da lâmina prevista para o canal.

Experimenta-se então um $h_{\max} = 1,5 \text{ m}$.

Da TABELA 5.2.5/IV, tem-se o valor de 1,1 para a correção da velocidade admissível no canal (tendo em conta o tirante de 1,5 m).

Assim:

$$v_{\max} = 1,7 \times 1,1 = 1,87 \text{ m/s}.$$

Daí:

$$b = \frac{30}{1,87 \times 1,5} - 0,75 \times 1,5 = 9,6 \approx 10 \text{ m}$$

Observa-se assim, que o canal com 10 m de largura e tirante de 1,5 m atende às condições de estabilidade do material de fundo.

- Como alternativa pode-se verificar as condições de funcionamento do canal com largura de 10 m e tirante máximo de 1 m.

$$v'_{\max} = \frac{Q_{\max}}{h_{\max} \cdot b' + m \cdot h_{\max}^2} = \frac{30}{1 \times 10 + 0,75 \times 1^2}$$

$$\therefore v'_{\max} = 2,79 \text{ m/s}$$

Pela TABELA 5.2.5/II, o canal seria estável se fosse revestido com pedras de 100 a 150 mm.

. Proteção do canal de restituição das águas vertidas ao rio.

Supondo-se que se adote a solução $b = 10 \text{ m}$, $h_{\max} = 1,5 \text{ m}$, dimensiona-se a soleira afogadora ao final do canal extravasor:

Altura de água sobre a soleira:

$$h_{\text{sol}} = \left(\frac{Q_{\max}}{1,7 \times b} \right)^{2/3} = \left(\frac{30}{1,7 \times 10} \right)^{2/3}$$

$$h_{\text{sol}} = 1,46 \text{ m}$$

Altura da soleira:

$$p = h_{\max} - h_{\text{sol}} = 1,50 - 1,46 = 0,04 \text{ m}$$

Adota-se o valor mínimo $p = 0,5 \text{ m}$ e o canal terá o tirante máximo igual a:

$$h_{\max} = p + h_{\text{sol}} = 0,50 + 1,46 = 1,96 \text{ m}$$

Extensão da soleira:

$$l_{sol} = 2,5 h_{sol} = 2,5 \times 1,46 = 3,65 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento sobre a soleira:

$$v_{sol} = \frac{Q_{max}}{h_{sol} \times b} = \frac{30}{1,46 \times 10} = 2,05 \text{ m/s}$$

Pela TABELA 5.2.5/II, verifica-se que o material adequado para a construção da soleira é cascalho grosso com diâmetro de 40 a 75 mm.

Note-se que, neste caso, ter-se-ia que recalcular o canal extravasor, partindo-se de $h_{max} = 1,96 \text{ m}$.

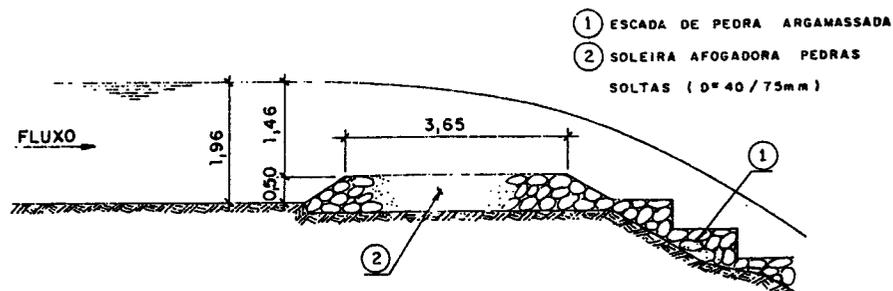


FIGURA 5.2.5/7

C) Barragem Vertedoura

Dois tipos de soluções se apresentam:

Tipo 1 - Construção da barragem em alvenaria de pedra argamassada, com um trecho vertedouro para extravasamento das descargas.

Tipo 2 - Construção da barragem em concreto, com um trecho vertedouro para extravasamento das descargas.

A escolha definitiva de um dos tipos deverá ser feita no final, através de confronto de custos, e dependerá basicamente da quantidade de pedra disponível no local.

Tipo 1 - O primeiro tipo de solução resume-se basicamente na construção de uma barragem de alvenaria de pedra argamassada onde se permite o extravasamento das descargas através de uma soleira rebaixada.

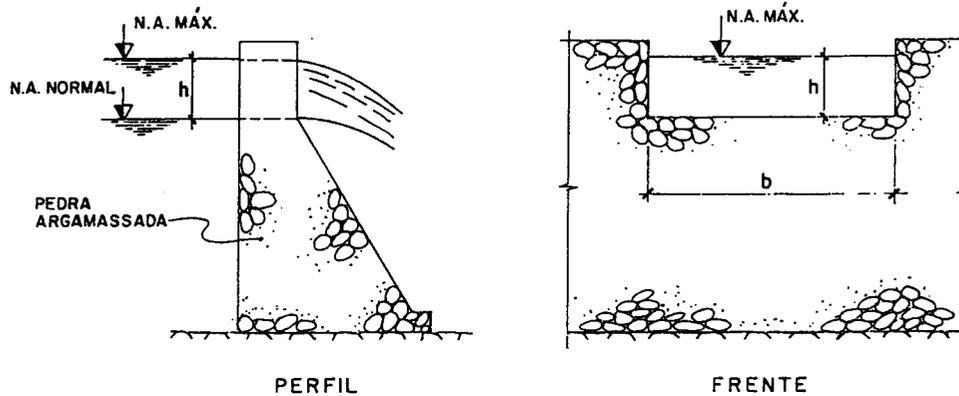


FIGURA 5.2.5/8

A largura do vertedouro pode ser calculada pela fórmula:

$$b = \frac{Q_{\max}}{1,7 \times h^{3/2}}$$

onde:

b = largura do vertedouro, em m

Q_{\max} = descarga em m^3/s

h = altura da lâmina d'água, em m, que será fixada com base no cotejo entre os vários pares de valores de h e b .

Recomenda-se que o valor de h não ultrapasse 1 m.

Para barragens de altura acima de 2 m, deverá ser construída uma bacia de dissipação de pedra argamassada a jusante da soleira, de forma e dimensionamento descritos no item 5.2.2 relativo a Barragens de Alvenaria de Pedra Argamassada.

A solução da barragem em pedra argamassada tem sua utilização indicada nos casos em que o local disponha de grandes quantidades de pedra.

Tipo 2 - Mesmo roteiro de cálculo hidráulico do vertedouro: ver detalhes construtivos no item 5.2.4 - Barragem de Concreto.

5.2.5.4 Considerações Sobre os Métodos Construtivos

A escolha definitiva da solução mais adequada para o extravasamento do excesso das descargas deve ser guiada pelo confronto de custos entre as alternativas possíveis. Aqui foram estabelecidas algumas regras com o objetivo de organizar uma seqüência de passos para o encaminhamento do estudo e para a conceituação de alternativas compatíveis com as condições locais.

Convém lembrar, todavia, que o tipo de mão-de-obra e dos equipamentos eventualmente disponíveis, as quantidades e facilidades de obtenção dos materiais no local da obra e outros fatores podem modificar o quadro apresentado. Torna-se assim importante que seja aplicado o Manual a mais de uma alternativa do conjunto vertedouro/barragem, não só do ponto de vista das quantidades de material, como dos métodos construtivos, a fim de que o confronto de custos entre elas indique claramente a melhor solução.

De uma forma geral, os equipamentos a serem utilizados para a construção do vertedouro serão os mesmos utilizados na construção da barragem. Por exemplo, o material escavado do canal extravasador deverá ser usado na construção da barragem, utilizando-se nas duas operações o mesmo equipamento. Quando da não utilização do canal extravasador, o vertedouro se confunde com a própria barragem, devendo ser observada também a metodologia descrita no item 5.2.2 para construção da barragem de alvenaria de pedra argamassada.

ESTABILIDADE DE CANAIS - INCLINAÇÃO DOS TALUDES

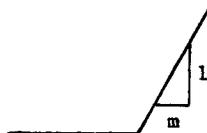


TABELA 5.2.5/I

NATUREZA DOS TALUDES	INCLINAÇÃO m
Rocha dura, alvenaria comum, con - creto	0 a 0,50
Rocha fissurada, alvenaria de pe - dra seca	0,50
Argila dura	0,75
Aluviões compactos	1,00
Cascalho grosso	1,50
Enrocamento, terra, areia grossa	2,00
Terra mexida, areia normal	3,00

TABELA 5.2.5/II

ESTABILIDADE DE CANAIS

Velocidades Máximas Admissíveis

(Para Canais com Lâmina de 1 m)

1. MATERIAIS NÃO COESIVOS

MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)
Lodo	0,005 a 0,05	0,15 a 0,20
Areia fina	0,05 a 0,25	0,20 a 0,30
Areia média	0,25 a 1,00	0,30 a 0,55
Areia grossa	1,00 a 2,50	0,55 a 0,65
Pedrisco fino	2,50 a 5,00	0,65 a 0,80
Pedrisco médio	5,00 a 10,00	0,80 a 1,00
Pedrisco grosso	10,00 a 15,00	1,00 a 1,20
Cascalho fino	15,00 a 25,00	1,20 a 1,40
Cascalho médio	25,00 a 40,00	1,40 a 1,80
Cascalho grosso	40,00 a 75,00	1,80 a 2,40
Pedra fina	75,00 a 100,00	2,40 a 2,70
Pedra média	100,00 a 150,00	2,70 a 3,50
Pedra grossa	150,00 a 200,00	3,50 a 3,90
Pedra grande (bloco)	200,00 a 300,00	3,90 a 4,50

Nota: Ao menor diâmetro da faixa que caracteriza o material corresponde o menor valor da faixa de velocidades.

TABELA 5.2.5/III

ESTABILIDADE DE CANAIS - VELOCIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS, EM m/s

II. MATERIAIS COESIVOS

MATERIAL	GRAU DE COMPACTAÇÃO	MUITO POUCO COMPACTADO		POUCO COMPACTADO		MUITO COMPACTADO	
		2.0* i.v. 1.2	2.0* i.v. 1.2	1.2 i.v. 0.6	1.2 i.v. 0.6	0.6 i.v. 0.3	0.6 i.v. 0.3
Argila arenosa (percentagem de areia inferior a 50%)		0,45	0,45	0,90	0,90	1,30	1,60
Solos com grande quantidade de argilas		0,40	0,40	0,85	0,85	1,25	1,70
Argilas		0,35	0,35	0,80	0,80	1,20	1,65
Argilas muito finas		0,32	0,32	0,70	0,70	1,05	1,35

* i.v. = índice de vazios

Nota: Para canais com lâmina diferente de 1 m, ver TABELA 5.2.5/IV para correção dos valores das velocidades máximas admissíveis.

ESTABILIDADE DE CANAIS
Fatores Corretivos das Velocidades
Máximas Admissíveis

TABELA 5.2.5/IV

I. FATOR CORRETIVO PARA LÂMINA D'ÁGUA DIFERENTE DE 1,00 m

Tirante médio (m)	0,3	0,5	0,75	1,0	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

TABELA 5.2.5/V

II. FATOR CORRETIVO PARA CANAIS COM CURVAS

Grau de Sinuosidade	Retilíneo	Pouco Sinuoso	Moderadamente Sinuoso.	Muito Sinuoso
Fator Corretivo	1,00	0,95	0,87	0,78

5.2.6 Desvio do Rio

5.2.6.1 Objetivo

Neste item são propostas soluções básicas para desvios de rios nos locais de construção das barragens.

Na execução de várias barragens (homogênea de terra, concreto), que exigem construção a seco, o desvio do rio assume elevada importância nos locais que podem ser atingidos pelas águas do rio.

Recomenda-se, para complementação das informações contidas neste item, a leitura do exposto no item 5.2.5.3 - Dimensionamento do Vertedouro - Canal Extravasor.

5.2.6.2 Descarga de Desvio

A decisão quanto à descarga de desvio será tomada conforme exposto no item 4.3 - "Hidrologia".

5.2.6.3 Projetos Típicos de Desvio

São apresentadas a seguir, duas soluções típicas de desvio para vales relativamente abertos:

- Caso 1 - Tipos de barragens construídas a seco.
- Caso 2 - Barragens vertedouras.

A) Caso 1 - Tipos de barragem, construídas a seco

No caso de barragens de concreto e alvenaria, que exijam construção a seco, existem fases distintas e obras de desvio do rio. Neste caso está inserido também o de barragem de solo compactado (tipo homogênea).

A seqüência de construção está descrita a seguir:

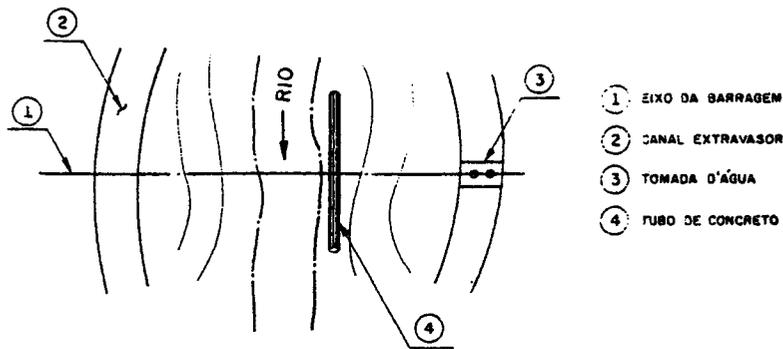


FIGURA 5.2.6/1

- ETAPA 1 (FIGURA 5.2.6/1)

- . Implantação da tubulação (tubo de concreto) para desvio. O tubo deverá ser colocado sobre um "berço" de material compactado, ou concreto, após pequena escavação para acomodá-lo sem desvios.
- . Execução das demais obras e serviços previstos nesta etapa, ou seja, escavação do canal para implantação da tomada d'água ou do sistema de captação, conforme item 5.1, e escavação do canal extravasor para implantação do vertedouro, conforme item 5.2.5.

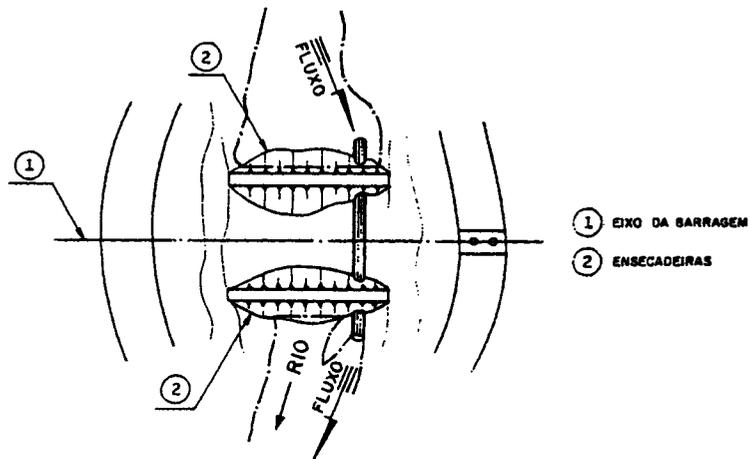


FIGURA 5.2.6/2

- ETAPA 2 (FIGURA 5.2.6/2)

- Construção de duas ensecadeiras transversais ao fluxo, de preferência com os materiais escavados nos canais da ETAPA 1, desviando o fluxo do rio através da tubulação de desvio.

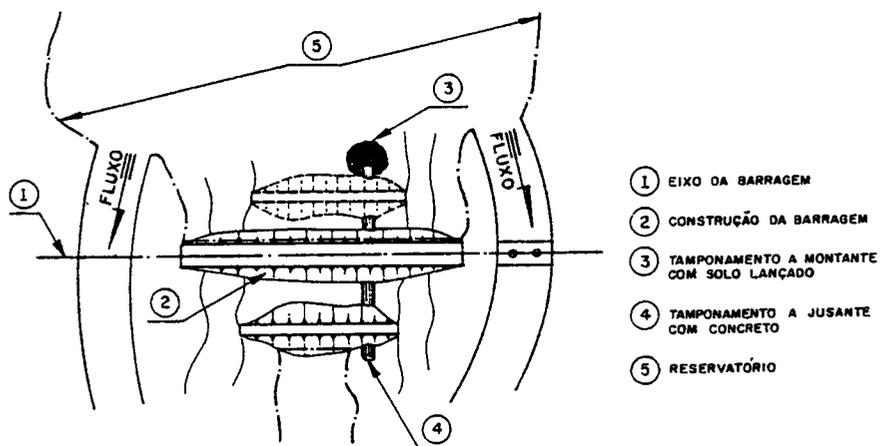


FIGURA 5.2.6/3

- ETAPA 3 (FIGURA 5.2.6/3)

- Com o leito natural do rio ensecado executa-se a barragem, fechando-se em seguida a tubulação de desvio, através de entupimento com uma mistura de brita, areia e argila pela boca de montante e tamponamento com concreto na boca de jusante.

B) Caso 2 - Barragem vertedoura

A seqüência de construção está descrita a seguir:

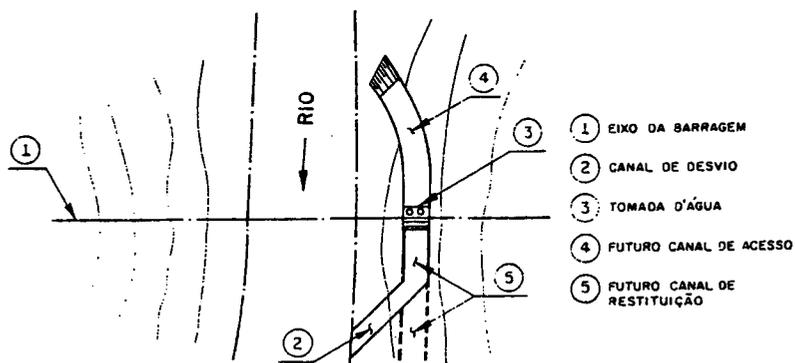


FIGURA 5.2.6/4

- ETAPA 1 (FIGURA 5.2.6/4)

- . Escavação do canal lateral, a seco, e construção da estrutura da tomada d'água, no eixo da barragem.

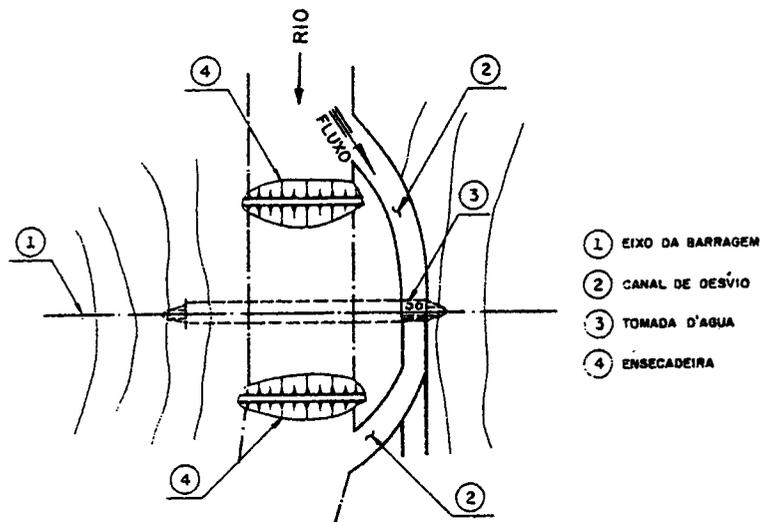


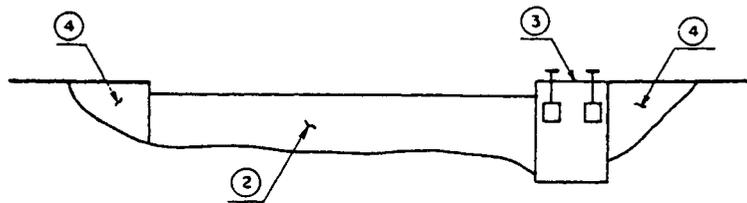
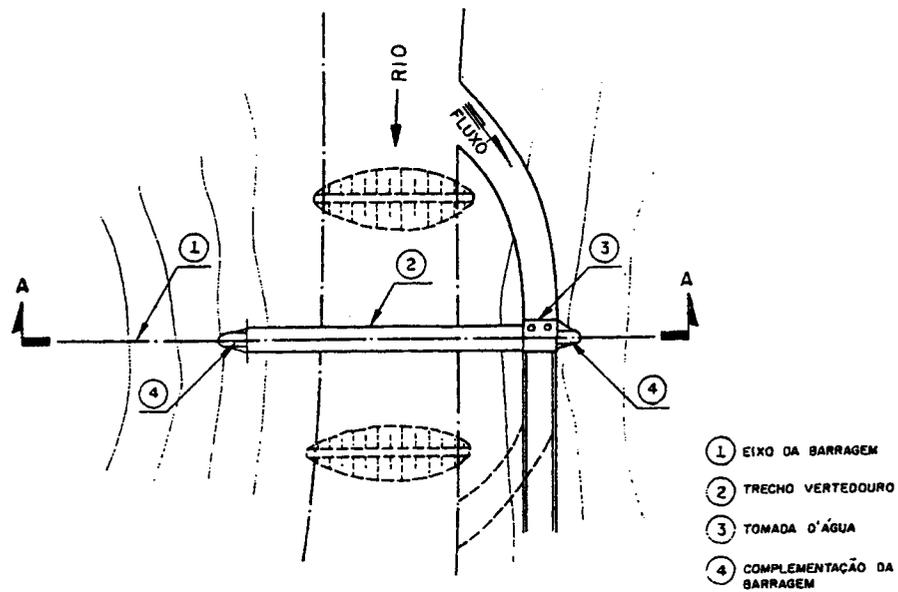
FIGURA 5.2.6/5

- ETAPA 2 (FIGURA 5.2.6/5)

- . Construção das ensecadeiras no leito do rio, que é desviado pelo canal lateral, fazendo com que as águas voltem ao leito natural através do canal de desvio.

- ETAPA 3 (FIGURA 5.2.6/6)

- . Na área ensecada, procede-se à construção da barragem vertedoura.
- . Após a construção da barragem vertedoura, procede-se ao fechamento do canal de desvio, liberando o canal de restituição. Ao mesmo tempo procede-se à remoção das ensecadeiras, sendo que, no caso da de montante, só se esta puder trazer implicações na tomada d'água.



CORTE A - A

FIGURA 5.2.6/6

5.2.6.4 Tubulação de desvio - Dimensionamento

Recomenda-se a tabela abaixo para dimensionamento da tubulação de desvio a ser empregada no caso 1.

Em todas as situações a declividade mínima para assentamento do tubo deve ser $i \geq 2\%$.

TABELA 5.2.6/I
CAPACIDADE DE VAZÃO DE TUBOS CIRCULARES DE CONCRETO

Q_v (m ³ /s)	* ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA SOBRE A SOLEIRA DO TUBO (m)					
	D= 0,75m	D= 1,00m	D= 1,25m	D= 1,50m	D= 1,75m	D= 2,00 m
0,4	0,61	0,55	0,51	0,48	0,47	0,45
0,6	0,79	0,70	0,62	0,60	0,60	0,55
0,8	1,00	0,82	0,73	0,69	0,67	0,64
0,9	1,17	0,88	0,76	0,74	0,72	0,69
1,0	1,33	0,94	0,82	0,78	0,76	0,73
1,1	1,51	1,00	0,86	0,82	0,79	0,77
1,2	1,72	1,06	0,91	0,87	0,82	0,81
1,4	2,19	1,17	1,00	0,93	0,89	0,89
1,6	2,69	1,37	1,09	1,00	0,96	0,93
1,8		1,59	1,16	1,08	1,03	0,99
2,0		1,80	1,26	1,15	1,09	1,05
2,2		2,04	1,33	1,21	1,14	1,11
2,5		2,47	1,43	1,30	1,23	1,19
3,0			1,86	1,47	1,37	1,30
3,5			2,24	1,63	1,51	1,41
4,0			2,66	1,75	1,66	1,53
4,5			3,26	2,07	1,75	1,65
5,0				2,38	1,87	1,75
5,5				2,67	1,98	1,86
6,0				2,99	2,08	1,97
6,5				3,32	2,38	2,06
7,0					2,67	2,16
7,5					2,87	2,26
8,0					3,12	2,34
8,5					3,36	2,38
9,0					3,60	2,56
9,5						2,86
10,0						3,07
11,0						3,46
12,0						3,83

* ver FIGURA 5.2.6/7

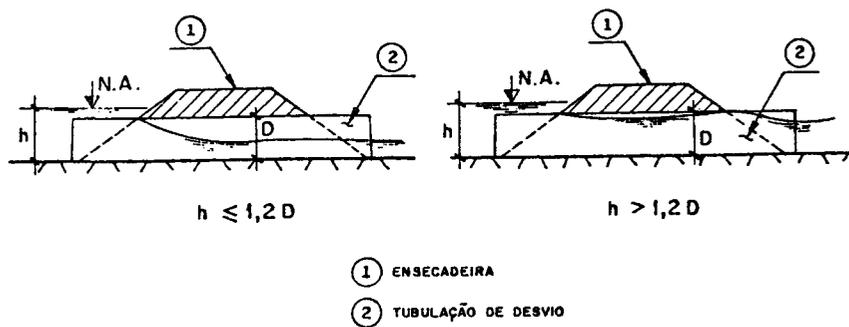


FIGURA 5.2.6/7

Nota:

Para $h \leq 1,2D$, os tubos trabalharão como canal, desafogados.

Para $h > 1,2D$, os tubos trabalharão sob pressão, afogados.

Q_v = vazão do rio (m^3/s)

D = diâmetro do tubo (m)

h = altura da lâmina d'água sobre a soleira do tubo (m)

5.2.6.5 Seção Típica das ensecadeiras

Recomendam-se as seguintes seções típicas para execução das ensecadeiras.

Seção A - Usada onde há disponibilidade do solo predominantemente argiloso (ver FIGURA 5.2.6/8).

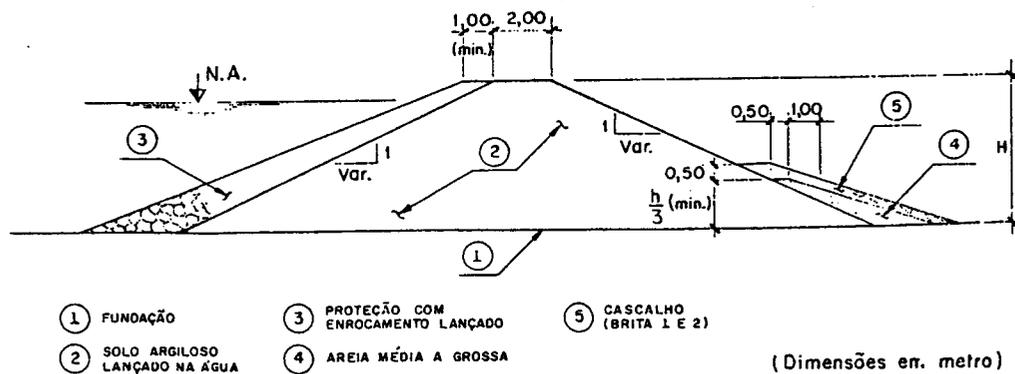


FIGURA 5.2.6/8

- . Os taludes serão aqueles estáveis naturalmente para o material lançado submerso.
- . A proteção do talude é de enrocamento não selecionado, simplesmente jogado.

Seção B - Usada onde há disponibilidade de rocha para enrocamento ou onde for inviável o fechamento em solo (ver FIGURA 5.2.6/9).

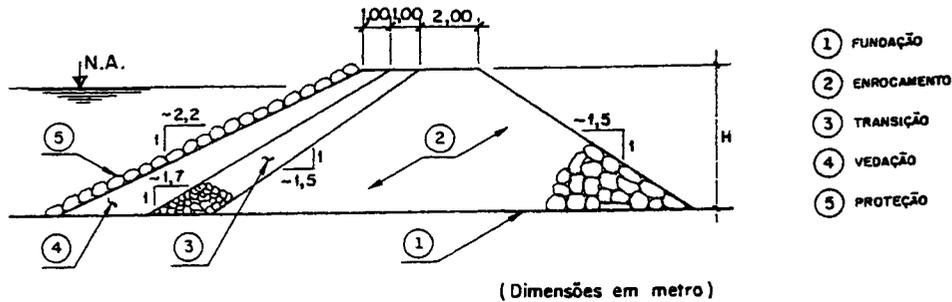


FIGURA 5.2.6/9

Transição - enrocamento fino, cascalho ou mistura de britas.

Vedação - material argiloso.

Proteção - enrocamento não selecionado, simplesmente jogado.

A proteção a montante é opcional e poderá ser feita, ou não dependendo do tempo de operação da enseadeira.

Seção C - (Alternativa) - Eventualmente, em enseadeiras de altura não superiores a um metro, poderão ser usados sacos cheios de terra para compor as enseadeiras, tomando-se o devido cuidado de vedar o contato dos sacos com a fundação, ombreiras ou tubos de concreto para desvio. A FIGURA 5.2.6/10 mostra uma seção típica com utilização de sacos para construção de enseadeira.

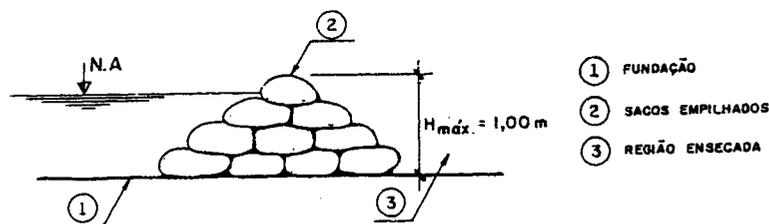


FIGURA 5.2.6/10

5.3

Sistema de Adução em Baixa Pressão

Nos casos dos aproveitamentos por derivação, quando é aproveitada a conformação topográfica de uma queda natural e a barragem tem por objetivo apenas garantir o afogamento da boca da estrutura de captação, torna-se geralmente necessária a utilização de um canal de adução ou de uma tubulação ligando a tomada d'água de captação até à câmara de carga, a qual por sua vez acopla-se à tubulação forçada.

5.3.1

Canal de Adução

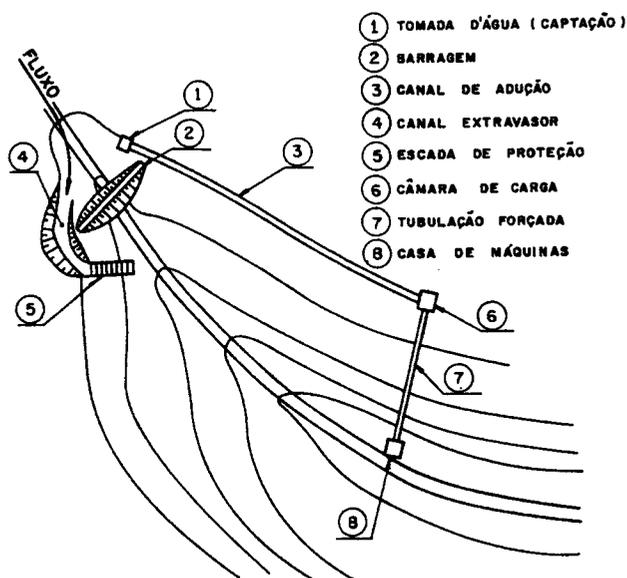


FIGURA 5.3/1

A declividade do canal de adução deve ser mínima e constante, sendo fixada de forma prática em 0,4/1.000, ou seja, o fundo do canal deve descer em torno de 4 mm em cada 10 m de extensão. O canal de adução em geral deve desenvolver-se acompanhando os contornos de uma determinada curva de nível do terreno.

Dependendo da geologia do local, o canal de adução pode ser construído em solo natural (ou rocha, se for o caso) ou revestido com enrocamento, pedra argamassada, concreto ou outro material, sendo que a escolha da solução mais adequada deve basear-se na comparação dos custos entre alternativas a serem fixadas.

5.3.1.1 Canal sem Revestimento (natural)

Uma vez identificado o material natural no local previsto para o corte do canal de adução, pode-se, através da TABELA 5.3/I, estabelecer a inclinação m do talude que garanta a estabilidade do mesmo. Nota-se que canais retangulares correspondem à situação em que $m = 0$, conforme prevê a tabela.

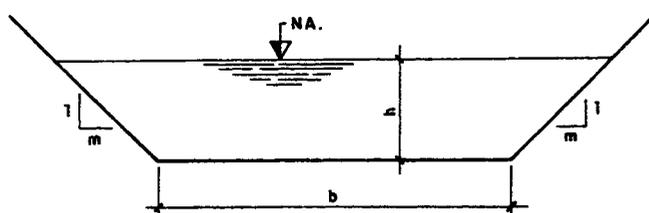


FIGURA 5.3/2

Com a TABELA 5.3/II obtém-se o valor de K correspondente ao material onde será escavado o canal.

Fixando-se um valor para a largura da base b do canal e entrando na TABELA 5.3/III na coluna correspondente ao coeficiente K do material, obtém-se um valor de C_1 . Dividindo-se a vazão total normal turbinada Q pelo coeficiente C_1 , obtém-se o coeficiente C_2 . Com este valor e com o valor da inclinação m dos taludes do canal pode-se, através da TABELA 5.3/IV (interpolar se necessário), obter o valor da relação h/b e assim, o valor do tirante normal h do canal.

Caso o valor de C_2 obtido não se encontre na referida tabela, devem ser calculados novos valores de C_1 e C_2 , para outro valor de b , até encontrar um valor de C_2 tabelado.

Convém observar que, nos casos mais comuns, o valor h a ser adotado para b não deve ser inferior a 0,80 m, tendo em vista facilitar a construção do canal.

. Resumo Esquemático da Seqüência de Cálculo

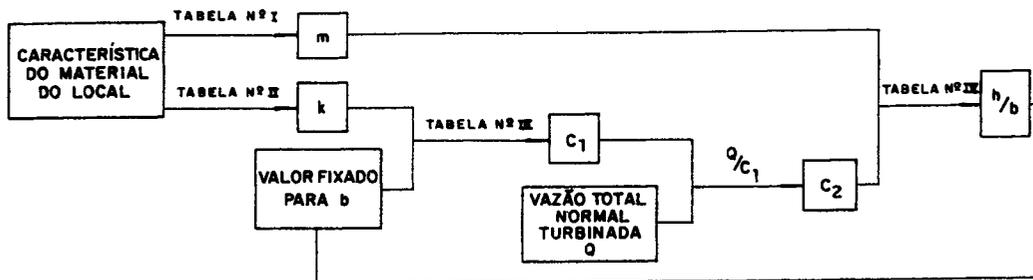


FIGURA 5.3/3

Calculadas as dimensões do canal, deve ser verificado se a velocidade do escoamento da água apresenta-se compatível com o material da superfície do canal. Para tal, calcula-se o valor de v pela fórmula:

$$v = \frac{Q}{h (b + mh)}$$

A velocidade máxima admissível (v_1) é determinada em função da característica do material, espessura da lâmina d'água e desenvolvimento do canal (reto, sinuoso, etc...), utilizando-se as TABELAS 5.2.5 II a V. Para ser compatível, o valor de v deverá ser no máximo igual a v_1 .

Devem ser levantadas alternativas de pares de valores h e b , pesquisando-se o par mais adequado que atenda às razões de economia, incluindo-se nesta análise eventuais restrições que a topografia imponha aos métodos construtivos ou à própria geometria da seção transversal. Caso não se observem restrições à forma da seção, deve ser dada preferência à seção transversal onde se pode inscrever perfeitamente um semicírculo.

5.3.1.2 Canal com Revestimento

No caso de o canal projetado em solo não ser compatível com a velocidade de escoamento, deverá ser cogitada a hipótese do seu revestimento.

O dimensionamento hidráulico deve ser efetuado simplesmente escolhendo-se alternativas para o revestimento e procedendo-se à mesma seqüência de cálculo apresentada.

A TABELA 5.3/II apresenta também os valores de K para diversos tipos de revestimentos. Para cada tipo deve ser revisto o valor de m da inclinação dos taludes, de acordo com a TABELA 5.3/I

Os revestimentos mais comuns a serem cogitados devem limitar-se normalmente a enrocamento, alvenaria de tijolo maciço ou de pedra e, eventualmente, concreto. Os revestimentos de enrocamento podem ter suas velocidades admissíveis de escoamento estabelecidas pelas TABELAS 5.2.5/II, III e IV, enquanto que os revestimentos de tijolo maciço, de pedra argamassada e de concreto resistem a qualquer velocidade que se possa obter dentro do tipo de cálculo proposto para o canal.

5.3.1.3 Extravasor de Excessos no Canal

O canal de adução deverá ser dotado de um extravasor lateral que permita o vertimento, com segurança, de excessos de descarga de pequena monta devido à ocorrência de oscilações de nível d'água.

Este extravasor deve ser instalado o mais próximo possível da câmara de carga e, de preferência, fazer escoar o excesso da vazão por um talvegue natural, que deverá ser protegido por pedras de mão.

A cota de crista do extravasor deve coincidir com o nível d'água máximo do reservatório (ver ANEXO 5.3/A), e o seu comprimento de soleira pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$B = 3,3 \times Q$$

onde Q é a vazão normal turbinada, em m^3/s .

5.3.1.4 Aspectos Construtivos

O tirante d'água normal no canal, que corresponde ao nível d'água normal no canal de adução e ao nível d'água máximo no reservatório sem a ocorrência de extravasamento, não deve ser superior a 2,00 m.

Quando da afluência de vazões em excesso ao local da barragem, o reservatório pode sobrelevar até seu nível máximo, de acordo com o tirante d'água calculado no canal extravasor (ou sobre a crista do vertedouro) para a passagem da cheia máxima considerada.

A altura das paredes do canal de adução deve ser definida de modo a acomodar esta variação de nível d'água, adicionada a uma altura de folga de 0,30 m (ver ANEXO 5.3/B).

A) Canais sem Revestimento

O método para escavação do canal poderá variar desde a utilização de técnicas mais simples, através de ferramentas manuais como picareta, enxada e pá, até a utilização de equipamento convencional, como retroescavadeira ou tratores com lâmina.

Deverá ser sempre efetuada compactação simples do leito e taludes do canal, o que poderá ser conseguido com aplicação de pilões de blocos de concreto ou madeira.

Quando for o caso, a compactação poderá ser efetuada através da passagem das próprias máquinas utilizadas na escavação (em torno de 6 passagens de trator ou caminhão).

B) Canais com Revestimento

- Revestimento de Pedra Solta

O revestimento de pedra deverá ser assentado sobre uma camada contínua de base executada com pedra de diâmetro inferior ao da pedra do revestimento externo. Esta camada intermediária deverá apresentar uma espessura de aproximadamente 10 cm, enquanto que a camada externa de proteção deverá ter uma espessura de três vezes o diâmetro médio da pedra escolhida para o revestimento. No caso de a pedra de revestimento se apresentar com diâmetro até 5 cm, poderá ser dispensada a camada de base.

Desta forma, os limites para escavação do canal deverão prever a espessura para o material de revestimento, de forma que a superfície interna do canal se apresente com as dimensões previstas pelos cálculos hidráulicos.

- Revestimento de Alvenaria de Tijolo ou de Pedra

No revestimento de alvenaria de tijolo, deverão ser utilizados tijolos maciços de barro cozido ou de concreto, também maciços. Os tijolos deverão ser posicionados de modo que, ao serem argamassados, apresentem uma espessura de camada de 6 cm, fixada com base nas dimensões padrão do tijolo mais comum de barro de 6 cm x 11,5 cm x 21 cm.

Antes da colocação, os tijolos ou as pedras deverão ser fortemente molhados.

A alvenaria, no caso dos tijolos, deverá ser executada do tipo mata-junta.

As peças ao serem argamassadas não deverão entrar em contato direto com o solo, sendo colocadas sobre uma camada de argamassa mais pobre, em torno de 5 cm, que nivelará as eventuais saliências do leito e taludes escavados.

- Revestimento de Concreto

O revestimento de concreto deverá ser executado normalmente sem armaduras, com uma espessura de camada de 15 cm, sobreposta a uma base de brita disposta em uma camada de 5 a 10 cm.

A cada 10 m deverá ser posicionada uma junta de dilatação com espessura de 1 cm, que será preenchida com pixe ou asfalto, após o endurecimento do concreto.

A execução do revestimento deverá ser controlada de modo a não se produzirem vazios, sendo executado o acabamento superficial com desempenadeira sobre guias.

O traço a ser utilizado na preparação do concreto deverá obedecer aos seguintes parâmetros:

. cimento	= 1 saco (50 kg)
. brita 1 ou cascalho	= 220 litros
. areia	= 100 litros
. água	= 35 litros, no caso de uso de areia grossa, ou 40 litros no caso de uso de areia fina.

5.3.2 Tubulação de Adução (ver Ítem 5.5 - "Tubulação")

TABELA 5.3/I

VALORES DE m PARA INCLINAÇÃO DE TALUDES DO CANAL DE ADUÇÃO

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

TABELA 5.3/II

VALORES DE K PARA OS DIVERSOS REVESTIMENTOS

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

TABELA 5.3/III
VALORES DE C_1 EM FUNÇÃO DE b e K

b (m) \ K	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	1,2213	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	1,8131	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	2,2322	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	5,7532	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

(Continua)

TABELA 5.3/III
VALORES DE C_1 EM FUNÇÃO DE b e K

(Continuação)

b (m) \ K	85	80	75	70	60	50	40
2,45	18,5449	17,4540	16,3632	15,2723	13,0905	10,3088	8,7270
2,50	19,5714	18,4202	17,2689	16,1176	13,8131	11,5126	9,2101
2,55	20,6127	19,4190	18,2053	16,9916	14,5643	12,1369	9,7095
2,60	21,7292	20,4510	19,1729	17,8947	15,3382	12,7819	10,2255
2,65	22,6615	21,5167	20,1719	18,8271	16,1375	13,4479	10,7533
2,70	24,0299	22,6164	21,2029	19,7853	16,9623	14,1352	11,3082
2,75	25,2350	23,7506	22,2661	20,7877	17,8129	14,8441	11,8753
2,80	26,4771	24,9195	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	45,1823	42,3584	39,5345	33,8867	28,2389	22,5911
3,60	51,7514	48,7072	45,6630	42,6188	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	68,8794	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	91,7849	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	128,094	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	170,489	159,123	136,391	113,659	90,9275
5,00	202,078	190,191	178,304	166,417	142,643	118,869	95,0955

Exemplo: Para $b = 4,40$ m e $K = 75$, encontra-se $C_1 = 77,9767$

TABELA 5.3/17

VALORES DE h/b EM FUNÇÃO DE m e 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

(Continua)

TABELA 5.3/IV

VALORES DE h/b EM FUNÇÃO DE m e C₂

(Continuação)

$\begin{matrix} m \\ h/b \end{matrix}$	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	0,2091	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

(Continua)

TABELA 5.3/IV

VALORES DE h/b EM FUNÇÃO DE m e C₂

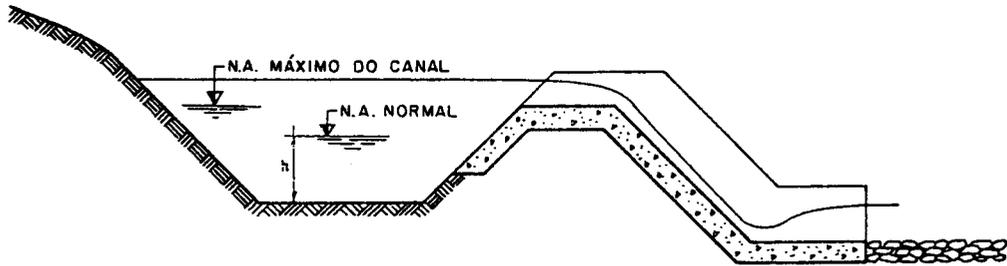
(Continuação)

$\begin{matrix} m \\ h/b \end{matrix}$	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

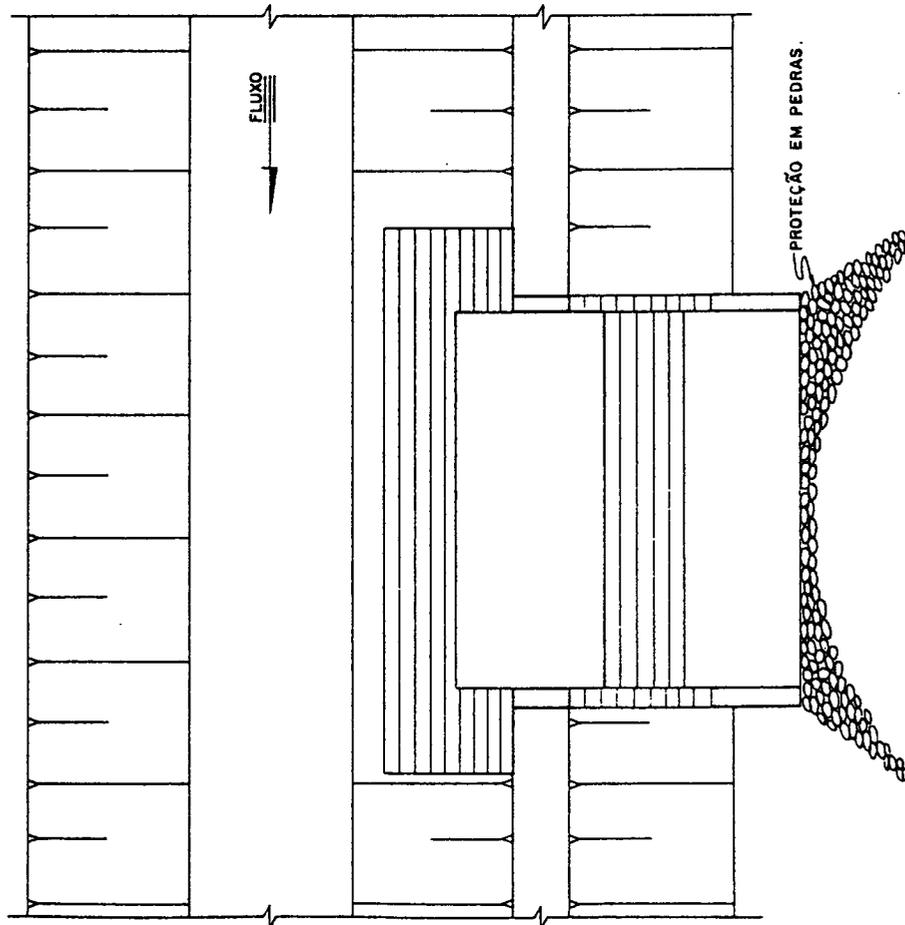
Exemplo: Para C₂ = 3,090 e m = 0,5

encontra-se h/b = 1,95

EXTRAVASOR DE EXCESSOS NO CANAL DE ADUÇÃO

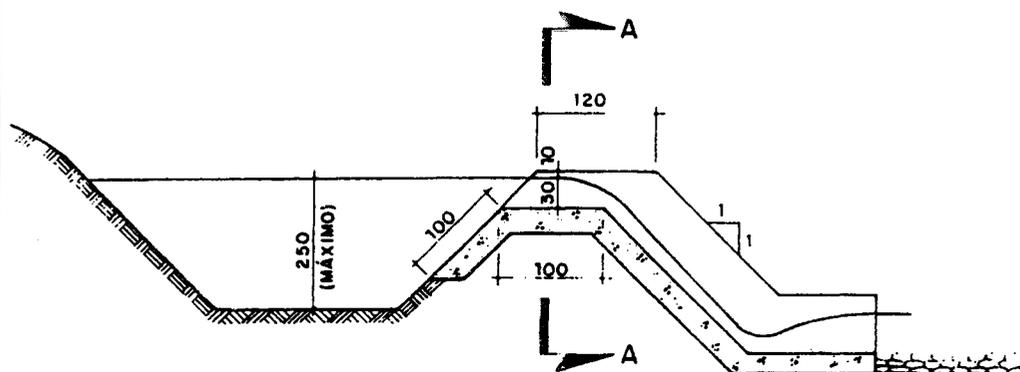


SEÇÃO TRANSVERSAL

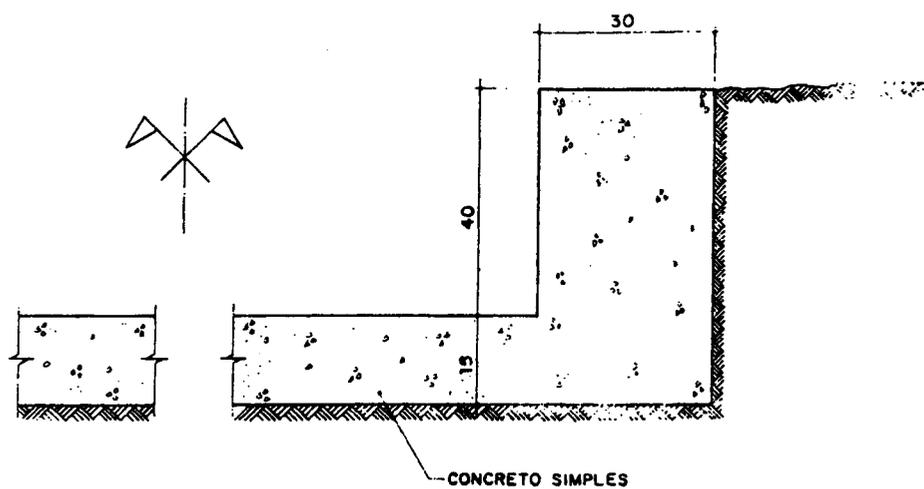


PLANTA

EXTRAVASOR DE EXCESSOS NO CANAL DE ADUÇÃO (DETALHES CONSTRUTIVOS)



SEÇÃO TRANSVERSAL



SEÇÃO A-A

Nota:

1-As dimensões estão em centímetro.

Dependendo das condições topogeológicas do terreno, a tomada d'água, que capta no rio a água necessária para movimentar a turbina, pode descarregar a água em um canal aberto de adução (ver ANEXOS 5.1/A e 5.1/C) ou em uma tubulação de baixa pressão (ver ANEXO 5.1/B), que conduzem a água até o ponto mais conveniente para a instalação da tubulação forçada.

Quando a solução escolhida for um canal a céu aberto de adução, a transição entre o canal e a tubulação forçada é efetuada através de uma estrutura semelhante à tomada d'água, chamada câmara de carga ou, popularmente, castelo d'água.

A câmara de carga tem a finalidade, o dimensionamento de sua estrutura e os equipamentos mecânicos de proteção e fechamento iguais à tomada d'água. Por isso, não serão repetidas as explanações desses assuntos, já apresentadas no item 5.1 - "Tomada d'água".

Deve-se atentar apenas para o detalhe das transições, em planta e em perfil, entre o canal de adução escavado em solo e a estrutura de concreto da câmara de carga.

As paredes laterais, em planta, devem abrir-se em ângulo de 45°, e a transição entre o fundo do canal e o fundo da câmara de carga deve ser efetuada em rampa não superior a 1V:2H.

Ressalta-se que o afogamento mínimo do nível d'água normal em relação ao teto da tomada d'água na seção da comporta, calculado no exemplo do item 5.1, deve ser, também aqui, respeitado.

O nível d'água normal em frente à câmara de carga deve ser estimado da seguinte forma:

$$NA_{cc} \text{ normal} = NA_{Res} \text{ normal} = L \times 0,0004,$$

onde:

$NA_{cc} \text{ normal}$ = Nível d'água normal em frente à câmara de carga.

$NA_{Res} \text{ normal}$ = Nível d'água normal no reservatório, que corresponde à cota de fundo do canal extravasor, ou à cota da crista do vertedouro (sangradouro).

L = Extensão do canal de adução, medida em metros.

Após a comporta, o conduto deve receber uma transição em concreto, de modo a se adaptar ao diâmetro fixado para a tubulação forçada.

O topo da estrutura da câmara de carga deve ser construído a um nível aproximado de 0,3 m acima do nível da água do reservatório.

Quando a adução em baixa pressão for projetada através de uma tubulação, a câmara de carga será apenas um recipiente de transição à tubulação forçada, não sendo equipada com comporta e desarenador. O desempenho dessas estruturas ficará a cargo da tomada d'água.

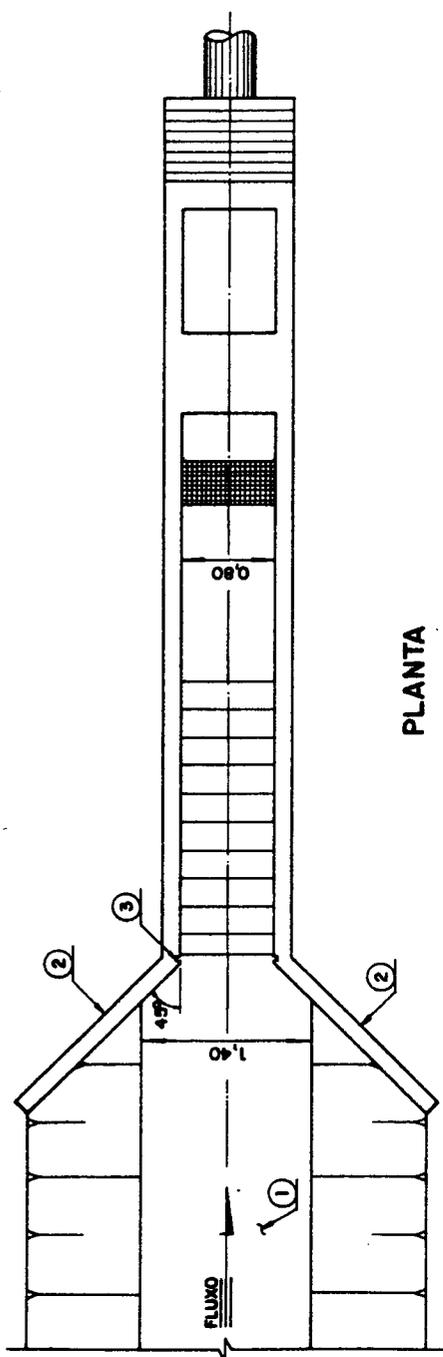
O tipo de câmara de carga considerada neste Manual poderá sofrer um transbordamento em caso do retorno da água, proveniente de um golpe de aríete, e, para isso, deve-se prever um pequeno sangradouro em uma de suas paredes laterais, com uma área de sangramento dimensionada do mesmo modo que o extravasor previsto para um canal de adução (ver item 5.3.1). Os ANEXOS 5.4/A e 5.4/B apresentam câmaras de carga com adução em baixa pressão feita através, respectivamente, um canal a céu aberto e uma tubulação.

Deve-se prever que a água extravasada para o terreno seja escoada de volta ao rio, sem provocar erosão nas fundações da própria câmara de carga, dos blocos de ancoragem e das selas da tubulação forçada ou de outras estruturas vizinhas.

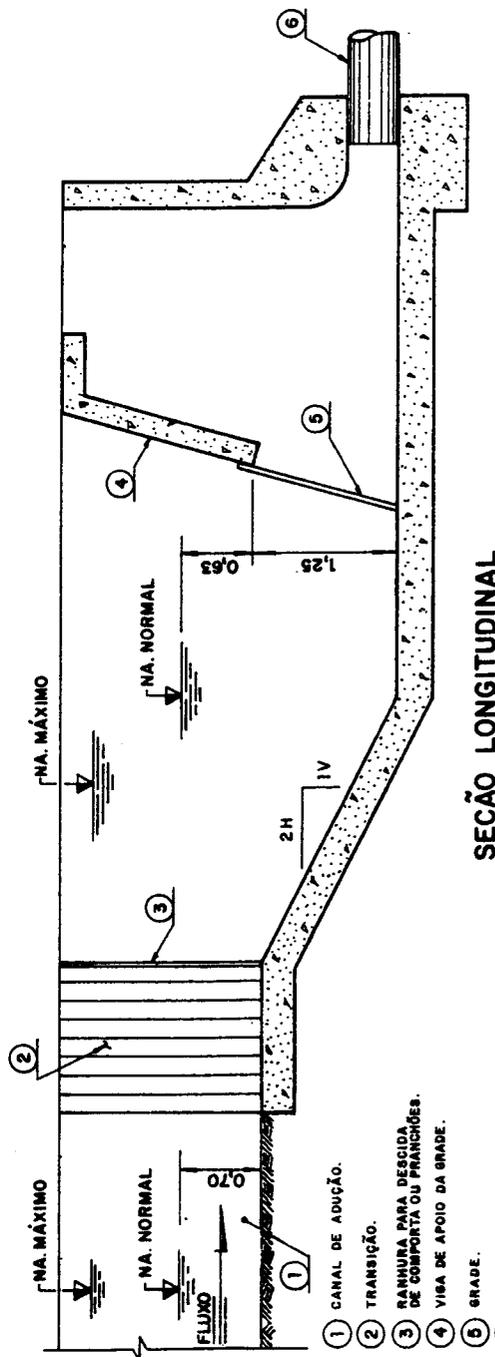
5.4/A

ANEXO

CÂMARA DE CARGA



PLANTA

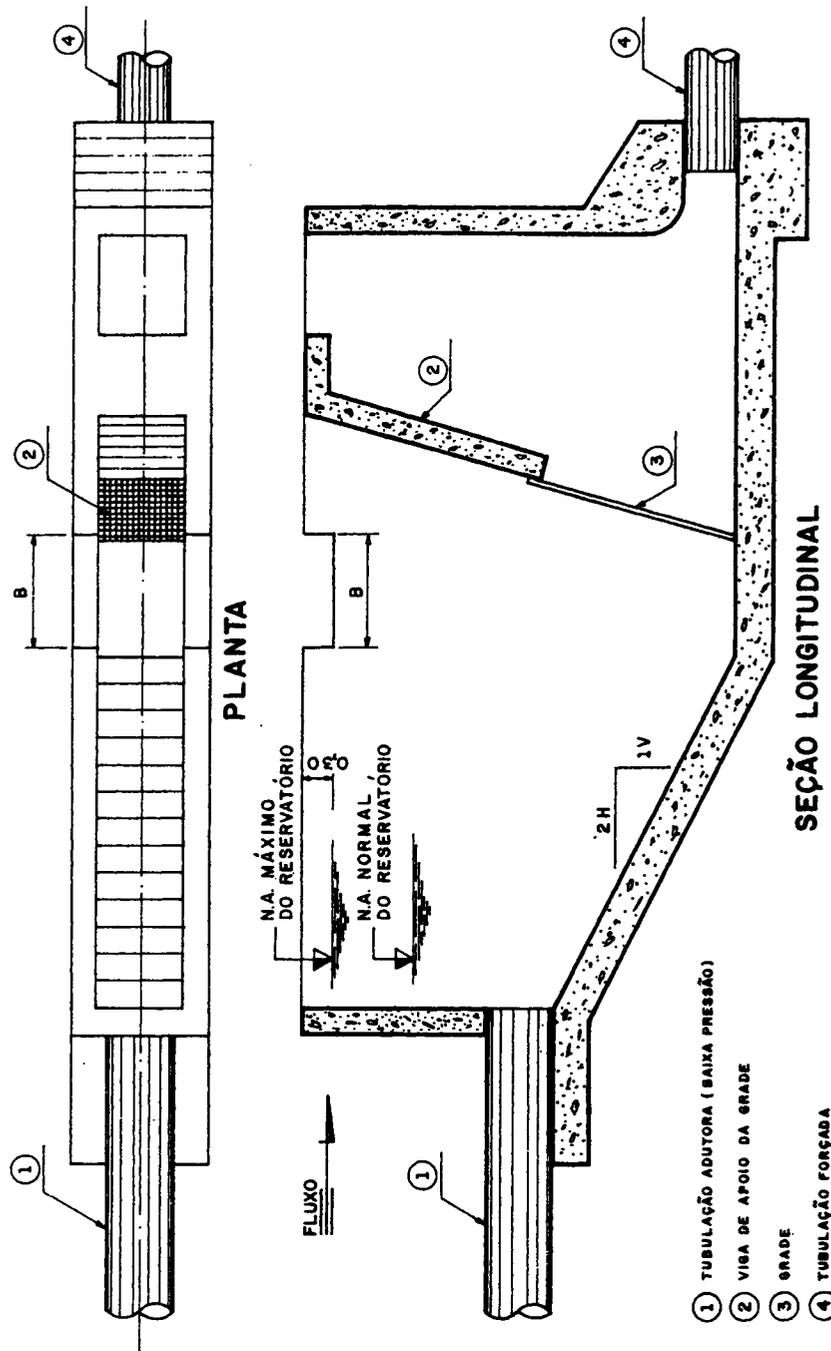


SEÇÃO LONGITUDINAL

- 1) CANAL DE ADUÇÃO.
- 2) TRANSIÇÃO.
- 3) RANHURA PARA DESCIDA DE COMPORTA OU FRANCHÕES.
- 4) VIGA DE APOIO DA GRADE.
- 5) GRADE.
- 6) TUBULAÇÃO FORÇADA.

CÂMARA DE CARGA

CASO DE ADUÇÃO ATRAVÉS DE TUBULAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO



Dois tipos de tubulação são usados nos projetos de centrais hidrelétricas: tubulação em baixa e tubulação em alta pressão ou forçada.

Sempre que for possível, por motivo de economia, deve ser utilizado um canal a céu aberto para conduzir a água desde a tomada d'água junto ao rio até a câmara de carga. Todavia, quando as condições topográficas e/ou geológicas não forem favoráveis à construção de um canal a céu aberto, o recurso é levar a água através de uma tubulação em baixa pressão, que tem a função de transferir a carga hidráulica existente na tomada d'água para a câmara de carga, sob o princípio dos "vasos comunicantes". Quando for necessária a utilização de uma tubulação em baixa pressão, a câmara de carga deve ter uma altura pelo menos igual à altura da tomada d'água.

Já para conduzir a água entre a câmara de carga e a turbina na casa de máquinas, sempre será necessário uma tubulação submetida a uma maior pressão, por isso chamada de tubulação forçada.

Para ambos os tipos de tubulação descritos acima, a metodologia para o projeto é a seguinte:

5.5.1 Determinação do Diâmetro Interno da Tubulação

Pode-se determinar o valor dos diâmetros internos para os dois mencionados tipos de tubulação sob pressão, através da fórmula a baixo:

$$D = K Q^{0,388} \frac{L^{0,204}}{H^{0,204}}$$

onde:

Q = descarga de projeto, em m³/s (vazão para o projeto)

D = diâmetro interno da tubulação, em cm

L = comprimento da tubulação, em m

H = altura da queda d'água bruta, em m

Os valores de K estão apresentados a seguir, e os valores $Q^{0,388}$, $L^{0,204}$ e $H^{0,204}$ estão tabelados para facilidade de cálculo (vide TABELAS 5.5.1/II à 5.5.1/IV).

TABELA 5.5.1/I

VALORES DE K PARA DIVERSOS MATERIAIS			TIPO DE TUBULAÇÃO
AÇO	CIMENTO AMIANTO	CONCRETO ARMADO	
66,069	66,911	68,447	BAIXA PRESSÃO
52,815	-	54,669	FORÇADA

Outros materiais, como o PVC e fibra de vidro empregnada com resina, têm sido empregados na fabricação de tubulações. Estes materiais têm pouca resistência a impactos e ao calor, razão por que devem ser enterrados, o que dificulta a manutenção e reparações. Em tubulações fabricadas com estes materiais têm aparecido, com o decorrer do tempo, pequenas trincas (polimização) e as junções com peças metálicas como válvulas, flanges, etc., são difíceis, observando-se vazamentos em alguns casos. Desta forma, estes materiais apresentam um risco maior, em contrapartida ao atrativo das diferenças de custos em relação às tubulações de chapa de aço, cimento amianto e concreto.

- Exemplo

Determinar o diâmetro de uma tubulação forçada de aço de 80 m de comprimento, sob a pressão de uma coluna d'água de 20 m e tendo a vazão de 0,5 m³/s.

Dados:

$$Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 80 \text{ m}$$

$$H = 20 \text{ m}$$

$$K = 52,815 \text{ (vide TABELA 5.5.1/I)}$$

$$D = 52,815 \times 0,5^{0,388} \times \frac{80^{0,204}}{20^{0,204}}$$

$$0,5^{0,388} = 0,7642 \text{ (vide TABELA 5.5.1/II)}$$

$$20^{0,204} = 1,8425 \text{ (vide TABELA 5.5.1/III)}$$

$$80^{0,204} = 0,5974 \text{ (vide TABELA 5.5.1/IV)}$$

$$D = 52,815 \times 0,7642 \times \frac{2,4447}{1,8425} = \underline{53,5} \text{ cm}$$

A aquisição de uma tubulação com o diâmetro acima encontrado pode ser feita sob encomenda de fabricação ou, o que é aconselhável, por ser de menor custo, através da compra de uma tubulação de diâmetro padronizado, de dimensão próxima à desejada, fornecida por fabricantes que tenham linha de fabricação padronizada. Para o diâmetro acima, a padronização do mercado é de 508 mm (20").

- Verificação da Velocidade da Água no Interior da Tubulação

Conhecidos o diâmetro D e a vazão Q na tubulação, calcula-se a velocidade de escoamento v pela expressão:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{3,1416 D^2}$$

sendo:

A = área interna da seção transversal da tubulação, em m²

Q = em m³/s e, D em m, resultando v em m/s.

Deve ser verificado se foram respeitadas as velocidades máximas admissíveis para cada tipo de tubulação que, para o caso de microcentrais hidrelétricas, são:

- Tubulação em Aço $v_{\max} = 5 \text{ m/s}$

- Tubulação em Concreto $v_{\max} = 3 \text{ m/s}$

VALORES DE $Q^{0,388}$

TABELA 5.5.1/II

Q (m ³ /s)	FRAÇÃO CENTESIMAL DE Q (m ³ /s)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,0000	0,1675	0,2192	0,2565	0,2868	0,3128	0,3357	0,3564	0,3753	0,3929
0,10	0,4093	0,4247	0,4393	0,4531	0,4663	0,4790	0,4911	0,5028	0,5141	0,5250
0,20	0,5355	0,5458	0,5557	0,5654	0,5748	0,5840	0,5929	0,6017	0,6102	0,6186
0,30	0,6268	0,6348	0,6427	0,6504	0,6580	0,6654	0,6727	0,6799	0,6870	0,6940
0,40	0,7008	0,7076	0,7142	0,7208	0,7272	0,7336	0,7399	0,7461	0,7522	0,7582
0,50	0,7642	0,7701	0,7759	0,7817	0,7874	0,7930	0,7985	0,8040	0,8095	0,8149
0,60	0,8202	0,8255	0,8307	0,8359	0,8410	0,8461	0,8511	0,8561	0,8610	0,8659
0,70	0,8708	0,8756	0,8803	0,8851	0,8897	0,8944	0,8990	0,9036	0,9081	0,9126
0,80	0,9171	0,9215	0,9259	0,9303	0,9346	0,9389	0,9432	0,9474	0,9516	0,9558
0,90	0,9599	0,9641	0,9682	0,9722	0,9763	0,9803	0,9843	0,9883	0,9922	0,9961
1,00	1,0000	1,0039	1,0077	1,0115	1,0153	1,0191	1,0229	1,0266	1,0303	1,0340
1,10	1,0377	1,0413	1,0450	1,0486	1,0522	1,0557	1,0593	1,0628	1,0663	1,0698
1,20	1,0733	1,0768	1,0802	1,0836	1,0870	1,0904	1,0938	1,0972	1,1005	1,1038
1,30	1,1072	1,1105	1,1137	1,1170	1,1203	1,1235	1,1267	1,1299	1,1331	1,1363
1,40	1,1395	1,1426	1,1457	1,1489	1,1520	1,1551	1,1582	1,1612	1,1643	1,1673
1,50	1,1704	1,1734	1,1764	1,1794	1,1824	1,1854	1,1883	1,1913	1,1942	1,1971
1,60	1,2000	1,2030	1,2058	1,2087	1,2116	1,2145	1,2173	1,2202	1,2230	1,2258
1,70	1,2286	1,2314	1,2342	1,2370	1,2397	1,2425	1,2453	1,2480	1,2507	1,2534
1,80	1,2562	1,2589	1,2616	1,2642	1,2669	1,2696	1,2722	1,2749	1,2775	1,2802
1,90	1,2828	1,2854	1,2880	1,2906	1,2932	1,2958	1,2984	1,3009	1,3035	1,3060
2,00	1,3086	1,3111	1,3136	1,3162	1,3187	1,3212	1,3237	1,3262	1,3286	1,3311
2,10	1,3336	1,3360	1,3385	1,3409	1,3434	1,3458	1,3482	1,3507	1,3531	1,3555
2,20	1,3579	1,3603	1,3627	1,3650	1,3674	1,3698	1,3721	1,3745	1,3768	1,3792
2,30	1,3815	1,3838	1,3861	1,3885	1,3908	1,3931	1,3954	1,3977	1,3999	1,4022
2,40	1,4045	1,4068	1,4090	1,4113	1,4135	1,4158	1,4180	1,4203	1,4225	1,4247
2,50	1,4269	1,4291	1,4313	1,4335	1,4357	1,4379	1,4401	1,4423	1,4445	1,4466
2,60	1,4488	1,4510	1,4531	1,4553	1,4574	1,4596	1,4617	1,4638	1,4659	1,4681
2,70	1,4702	1,4723	1,4744	1,4765	1,4786	1,4807	1,4828	1,4848	1,4869	1,4890
2,80	1,4911	1,4931	1,4952	1,4972	1,4993	1,5013	1,5034	1,5054	1,5075	1,5095
2,90	1,5115	1,5135	1,5155	1,5176	1,5196	1,5216	1,5236	1,5256	1,5276	1,5295

Exemplo: Para $Q = 1,64 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q^{0,388} = 1,2116$

VALORES DE $H^{0,204}$

TABELA 5.5.1/III

H (m)	FRAÇÃO DECIMAL DE H (m)									
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	1,0000	1,0196	1,0379	1,0550	1,0711	1,0862	1,1006	1,1143	1,1274	1,1399
2	1,1519	1,1634	1,1745	1,1852	1,1955	1,2055	1,2152	1,2246	1,2337	1,2426
3	1,2512	1,2596	1,2678	1,2758	1,2836	1,2912	1,2986	1,3059	1,3130	1,3200
4	1,3268	1,3335	1,3401	1,3466	1,3529	1,3591	1,3652	1,3712	1,3771	1,3829
5	1,3886	1,3943	1,3998	1,4052	1,4106	1,4159	1,4211	1,4263	1,4313	1,4363
6	1,4413	1,4461	1,4509	1,4557	1,4604	1,4650	1,4696	1,4741	1,4785	1,4829
7	1,4873	1,4916	1,4959	1,5001	1,5043	1,5084	1,5125	1,5165	1,5205	1,5245
8	1,5284	1,5323	1,5361	1,5399	1,5437	1,5474	1,5511	1,5548	1,5584	1,5620
9	1,5655	1,5691	1,5726	1,5761	1,5795	1,5829	1,5863	1,5896	1,5930	1,5963
10	1,5996	1,6028	1,6060	1,6092	1,6124	1,6156	1,6187	1,6218	1,6249	1,6279
11	1,6310	1,6340	1,6370	1,6399	1,6429	1,6458	1,6487	1,6516	1,6545	1,6573
12	1,6602	1,6630	1,6658	1,6686	1,6713	1,6741	1,6768	1,6795	1,6822	1,6848
13	1,6875	1,6901	1,6928	1,6954	1,6980	1,7005	1,7031	1,7057	1,7082	1,7107
14	1,7132	1,7157	1,7182	1,7206	1,7231	1,7255	1,7279	1,7303	1,7327	1,7351
15	1,7375	1,7398	1,7422	1,7445	1,7468	1,7492	1,7514	1,7537	1,7560	1,7583
16	1,7605	1,7628	1,7650	1,7672	1,7694	1,7716	1,7738	1,7760	1,7781	1,7803
17	1,7824	1,7846	1,7867	1,7888	1,7909	1,7930	1,7951	1,7972	1,7992	1,8013
18	1,8033	1,8054	1,8074	1,8094	1,8114	1,8134	1,8154	1,8174	1,8194	1,8214
19	1,8233	1,8253	1,8272	1,8292	1,8311	1,8330	1,8349	1,8368	1,8387	1,8406
20	1,8425	1,8444	1,8463	1,8481	1,8500	1,8518	1,8537	1,8555	1,8573	1,8591
21	1,8609	1,8627	1,8645	1,8663	1,8681	1,8699	1,8717	1,8734	1,8752	1,8769
22	1,8787	1,8804	1,8822	1,8839	1,8856	1,8873	1,8890	1,8907	1,8924	1,8941
23	1,8958	1,8975	1,8992	1,9008	1,9025	1,9041	1,9058	1,9074	1,9091	1,9107
24	1,9123	1,9140	1,9156	1,9172	1,9188	1,9204	1,9220	1,9236	1,9252	1,9267

Exemplo: Para $H = 12,80m$, $H^{0,204} = 1,6822$

VALORES DE $L^{0,204}$

TABELA 5.5.1/IV

L (m)	UNIDADES DE L (m)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,0000	1,0000	1,1519	1,2512	1,3268	1,3886	1,4413	1,4873	1,5284	1,5655
10	1,5996	1,6310	1,6602	1,6875	1,7132	1,7375	1,7605	1,7824	1,8033	1,8233
20	1,8425	1,8609	1,8787	1,8958	1,9123	1,9283	1,9438	1,9588	1,9734	1,9876
30	2,0014	2,0148	2,0279	2,0407	2,0532	2,0653	2,0772	2,0889	2,1003	2,1114
40	2,1224	2,1331	2,1436	2,1539	2,1640	2,1740	2,1837	2,1934	2,2028	2,2121
50	2,2212	2,2302	2,2391	2,2478	2,2564	2,2648	2,2732	2,2814	2,2895	2,2975
60	2,3054	2,3132	2,3209	2,3284	2,3359	2,3433	2,3506	2,3579	2,3650	2,3721
70	2,3790	2,3859	2,3927	2,3995	2,4062	2,4128	2,4193	2,4257	2,4321	2,4385
80	2,4447	2,4509	2,4571	2,4632	2,4692	2,4751	2,4811	2,4869	2,4927	2,4985
90	2,5042	2,5098	2,5154	2,5210	2,5265	2,5320	2,5374	2,5427	2,5481	2,5533
100	2,5586	2,5638	2,5689	2,5741	2,5791	2,5842	2,5892	2,5941	2,5991	2,6040
110	2,6088	2,6136	2,6184	2,6232	2,6279	2,6326	2,6372	2,6419	2,6465	2,6510
120	2,6555	2,6600	2,6645	2,6690	2,6734	2,6777	2,6821	2,6864	2,6907	2,6950
130	2,6993	2,7035	2,7077	2,7119	2,7160	2,7201	2,7242	2,7283	2,7323	2,7364
140	2,7404	2,7444	2,7483	2,7523	2,7562	2,7601	2,7639	2,7678	2,7716	2,7754
150	2,7792	2,7830	2,7867	2,7905	2,7942	2,7979	2,8015	2,8052	2,8088	2,8125
160	2,8161	2,8196	2,8232	2,8267	2,8303	2,8338	2,8373	2,8408	2,8442	2,8477
170	2,8511	2,8545	2,8579	2,8613	2,8647	2,8680	2,8713	2,8747	2,8780	2,8813
180	2,8845	2,8878	2,8910	2,8943	2,8975	2,9007	2,9039	2,9071	2,9102	2,9134
190	2,9165	2,9197	2,9228	2,9259	2,9289	2,9320	2,9351	2,9381	2,9412	2,9442
200	2,9472	2,9502	2,9532	2,9562	2,9591	2,9621	2,9650	2,9680	2,9709	2,9738
210	2,9767	2,9796	2,9824	2,9853	2,9882	2,9910	2,9938	2,9967	2,9995	3,0023
220	3,0051	3,0078	3,0106	3,0134	3,0161	3,0189	3,0216	3,0243	3,0270	3,0297
230	3,0324	3,0351	3,0378	3,0405	3,0431	3,0458	3,0484	3,0510	3,0537	3,0563
240	3,0589	3,0615	3,0641	3,0666	3,0692	3,0718	3,0743	3,0769	3,0794	3,0819

Exemplo: Para $L = 118m$, $L^{0,204} = 2,6465$

5.5.2 Determinação da Espessura de Parede de uma Tubulação sob Pressão

A fórmula para a determinação de espessura de parede de uma tubulação de aço submetida à pressão interna, considerando uma sobre pressão de 35%, resistência do aço à tração igual a 1400 kgf/cm^2 , uma eficiência de junta de solda igual a 0,8, desprezando-se a depressão, é a seguinte:

$$e = \frac{HD}{16600} + e_s$$

onde:

e = espessura de parede, em mm

D = diâmetro interno, em mm

H = pressão estática (altura da coluna d'água sobre a tubulação), em m

e_s = sobre espessura para corrosão = 1 mm

O valor assim obtido não deve ser inferior à espessura mínima de parede para tubulação em aço, que é determinada pela fórmula a seguir:

$$e_{\min} = \frac{D + 508}{400} \geq 4,76 \text{ mm (3/16")}$$

- Exemplo

Determinar a espessura de parede de uma tubulação de aço com 900 mm de diâmetro interno, na parte sujeita a uma pressão estática hidráulica de 25 m.

$$D = 900 \text{ mm}$$

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

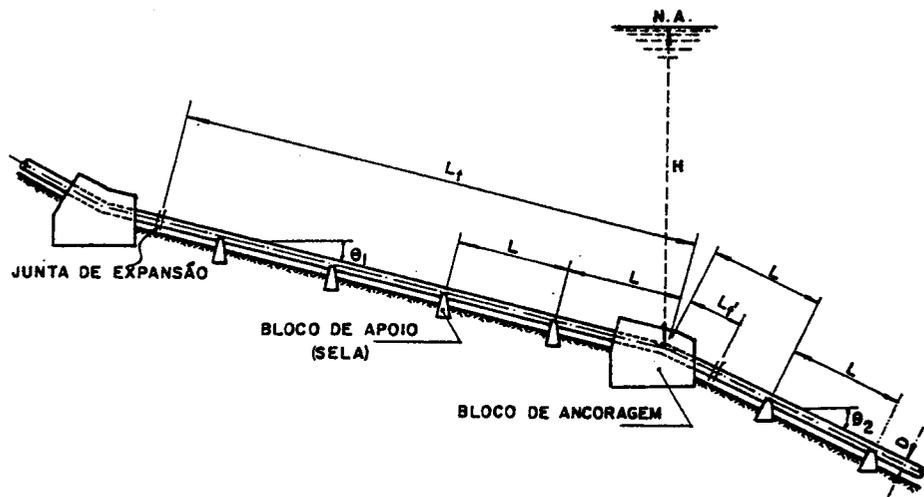
$$e = \frac{H \cdot D}{16600} + e_s = \frac{25 \times 900}{16600} + 1 = 2,35 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = \frac{D + 508}{400} = \frac{900 + 508}{400} = 3,52 \text{ mm}$$

Tendo em vista que a espessura mínima admitida para tubulação é de 4,76 mm (3/16"), esta espessura deve ser adotada.

5.5.3 Blocos de Apoio e de Ancoragem

A tubulação que conduz a água desde a tomada d'água até às máquinas, quando fabricada em aço, deve ser instalada sobre blocos de apoio e de ancoragem. Os blocos de apoio dão o necessário apoio à tubulação, permitindo seu deslizamento livre sobre eles e são geralmente construídos com espaçamentos iguais entre si. Os blocos de ancoragem têm a função de absorverem os esforços longitudinais desenvolvidos na tubulação e são construídos em trechos retos longos e, principalmente, em pontos de mudanças de direção, e imediatamente antes da casa de máquinas.



DIMENSÕES BÁSICAS

FIGURA 5.5.3/1

O dimensionamento dos blocos de apoio e de ancoragem foram feitos para terrenos que tenham uma resistência mínima à compressão de $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ e para tubulação em chapa de aço com $1/4"$ de espessura. Estes terrenos estão especificados na TABELA 4.4/II- "Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno".

1 - Blocos de Apoio ou Selas

A) Dimensionamento do Bloco de Apoio (sela)

Foram dimensionadas 220 selas para tubulação de aço com 0,15 m

a 1,20 m de diâmetro, de 0,05 m em 0,05 m de intervalos, com inclinações entre 0° e 45° e variação de 5° em 5°, em 3 tipos diferentes.

O ANEXO 5.5.3/A apresenta os tipos e as dimensões das selas e a TABELA 5.5.3/I dá os valores dos espaçamentos das mesmas.

B) Aspectos Construtivos

Os blocos de apoio deverão ser construídos de concreto, atendendo às especificações apresentadas no item 5.2.4 relativo a barragens de concreto.

O concreto deverá ser lançado sobre uma camada de aproximadamente 15 cm de brita 3, previamente apiloada.

A tubulação de aço não deve ser apoiada diretamente sobre a superfície de concreto da sela. Esta superfície deve estar separada da tubulação, de preferência, com papelão grafitado, ou outro material que permita à tubulação deslizar sobre o bloco.

As tubulações com 0,80m de diâmetro ou mais, devem ter as suas paredes reforçadas na parte inferior, na área total de contato com a sela, com um pedaço de chapa de aço de 1/4" de espessura, soldada em todo o seu contorno, a fim de evitar um possível amassamento do corpo da tubulação na zona de apoio sobre a sela.

BLOCOS DE APOIO (SELAS) ESPAÇAMENTO ENTRE SELAS

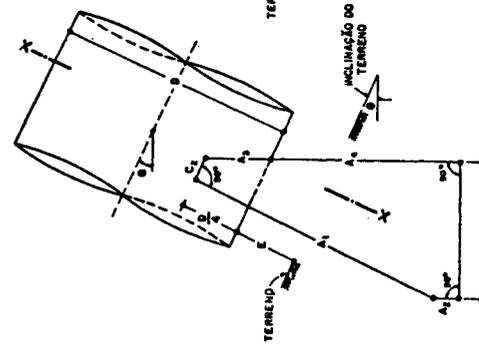
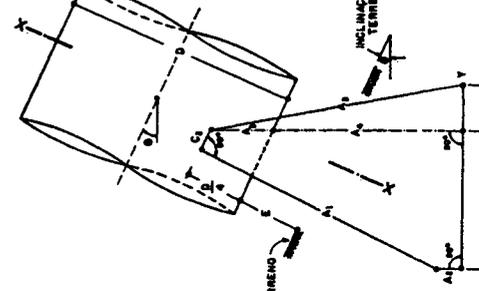
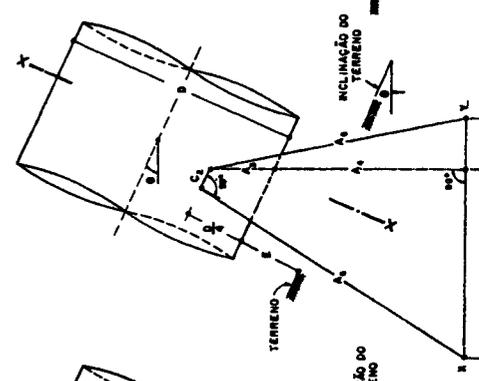
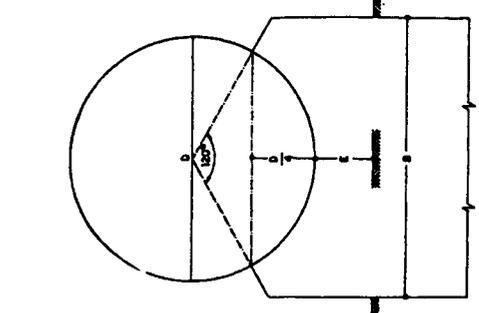
TABELA 5.5.3/I

DIÂMETRO D (m)	ESPAÇAMENTO L (m)	DIÂMETRO D (m)	ESPAÇAMENTO L (m)	DIÂMETRO D (m)	ESPAÇAMENTO L (m)
0,15	3,00	0,55	5,50	0,95	6,80
0,20	3,50	0,60	5,70	1,00	6,90
0,25	3,90	0,65	5,90	1,05	7,10
0,30	4,20	0,70	6,00	1,10	7,20
0,35	4,50	0,75	6,20	1,15	7,30
0,40	4,80	0,80	6,40	1,20	7,40
0,45	5,00	0,85	6,50	-	-
0,50	5,30	0,90	6,70	-	-

TIPO III = 10° ≥ θ ≥ 0°

TIPO II = 25° ≥ θ ≥ 10°

TIPO I = 45° ≥ θ ≥ 25°



$$C_1 = (0,25 \operatorname{tg} \theta + 0,076) D + 0,029$$

$$A = 0,476D + 0,329$$

$$A_1 = 0,5 (C_1 + A \cdot \operatorname{tg} \theta) \operatorname{tg} \theta + A + \frac{D}{4}$$

$$A_2 = 0,5 (C_1 + A \cdot \operatorname{tg} \theta) \operatorname{sen} \theta$$

$$A_3 = \frac{D}{4 \cos \theta}$$

$$A_4 = \frac{A}{\cos \theta}$$

$$C_2 = 0,076D + 0,029$$

$$E = 0,238D + 0,114$$

$$B = 1,048D + 0,143$$

$$L_2 = \frac{C_1 + A \cdot \operatorname{tg} \theta}{2} \left(\frac{1}{\cos \theta} + \cos \theta \right)$$

$$A_5 = \frac{\frac{D}{2} + A}{\cos \theta \cos(25^\circ - \theta)}$$

$$L'_2 = \frac{\frac{D}{2} + A}{\cos \theta} \operatorname{tg}(25^\circ - \theta)$$

$$A_6 = (2A_1 - A - \frac{D}{4}) \frac{\cos \theta}{\cos 15^\circ}$$

$$L'_3 = (2A_1 - A - \frac{D}{4}) \frac{\operatorname{sen}(15^\circ - \theta)}{\cos 15^\circ} + (A_1 - A - \frac{D}{4}) \operatorname{sen} \theta + L_2$$

DIMENSÕES BÁSICAS: D e θ
 D em metro
 θ em grau

NOTAS:
 Os valores de $\operatorname{sen} \theta$, $\cos \theta$ e $\operatorname{tg} \theta$ são obtidos através das TABELAS 5.5.3/VI e VIII.
 As arestas nos pontos X e Y devem ser chanfradas durante a construção.

BLOCO DE APOIO (SELA)
 DIMENSIONAMENTO

C) Tubulação de Concreto

As tubulações de concreto poderão ser assentadas em valas, diretamente sobre o terreno, como mostra a FIGURA 5.5.3/2.

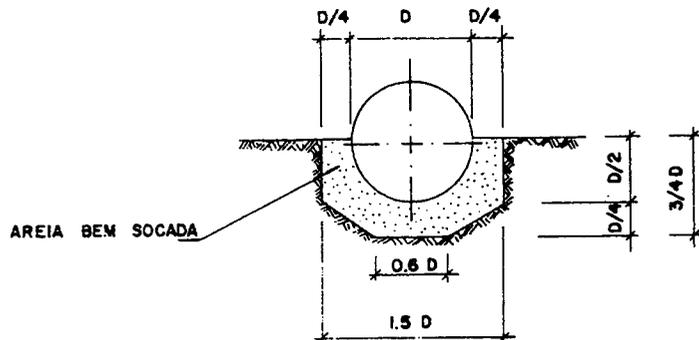


FIGURA 5.5.3/2

2 - Blocos de Ancoragem

Os blocos de ancoragem devem ser utilizados em longos trechos retos de tubulação, com espaçamento máximo entre si de 80 m, nos pontos de mudança de direção do alinhamento do eixo da tubulação, e imediatamente antes da casa de máquinas.

A) Dimensionamento do Bloco de Ancoragem

Os ANEXOS 5.5.3/B e 5.5.3/C permitem calcular as dimensões dos blocos de ancoragem, respectivamente, para $\theta_1 < \theta_2$ (convexo) e $\theta_1 > \theta_2$ (côncavo e reto) em função dos parâmetros D , θ_1 , θ_2 e C_1 , que aparecem na figura.

Os blocos de ancoragem dimensionados dessa forma estarão de acordo com as especificações para cálculo de estabilidade e terão mínimos os seus volumes de concreto, pois os valores de C_1 tabelados foram otimizados por computador, para isso.

As TABELAS 5.5.3/II a 5.5.3/V dão os valores do comprimento C_1 em função dos parâmetros básicos D , θ_1 , θ_2 , H e L_t .

As TABELAS 5.5.3/VI a 5.5.3/VIII dão os valores de senos, cossenos e tangentes para o cálculo das dimensões dos blocos de ancoragem através das fórmulas contidas nos ANEXOS 5.5.3/B e 5.5.3/C.

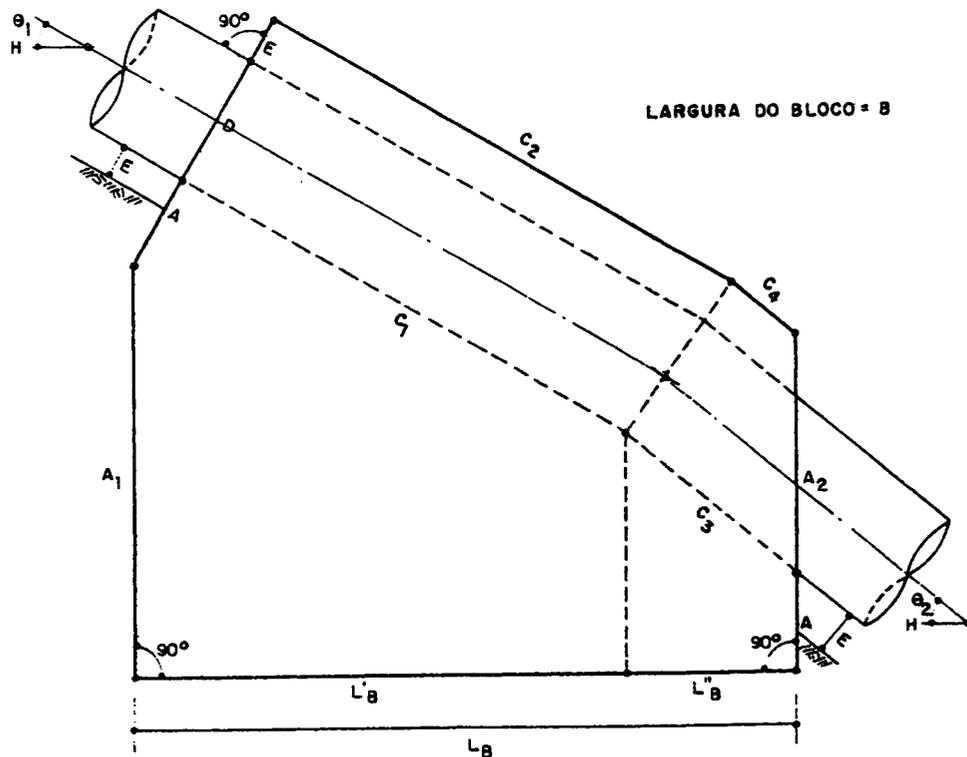
BLOCO DE ANCORAGEM CONVEXO

$$\theta_1 < \theta_2$$

DIMENSIONAMENTO

5.5.3/B

ANEXO



DIMENSÕES BÁSICAS:

D, θ_1 e θ_2 (D em metros)

C_1 = Valor dado nas TABELAS

$$A = 0,476 D + 0,329$$

$$E = 0,238 D + 0,114$$

$$B = D + 2 E$$

$$C_3 = 1,381 D + 0,243$$

$$A_1 = C_1 \operatorname{sen} \theta_1 + C_3 \operatorname{sen} \theta_2 + A (1 - \cos \theta_1)$$

$$A_2 = \frac{D + E}{\cos \theta_2}$$

$$C_2 = C_1 + (D + E) \operatorname{tg} \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}$$

$$C_4 = C_3 - (D + E) (\operatorname{tg} \theta_2 - \operatorname{tg} \frac{\theta_2 - \theta_1}{2})$$

$$L'_B = C_1 \cos \theta_1 + A \operatorname{sen} \theta_1$$

$$L''_B = C_3 \cos \theta_2$$

$$L_B = L'_B + L''_B$$

NOTA: Os valores de sen, cos e tg são obtidos através das TABELAS 5.5.3/VI a 5.5.3/VIII

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 30$ m

TABELA 5.5.3/II

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$								$\theta_1 = 5^\circ$	
		$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	0,79	0,82	0,86	0,91	0,96	1,01	1,07	1,13	0,87	0,91
	0,4	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,29	1,38	1,47	1,02	1,09
	0,6	0,97	1,06	1,15	1,25	1,35	1,45	1,57	1,69	1,05	1,14
	0,8	0,92	1,05	1,17	1,29	1,42	1,55	1,69	1,84	1,00	1,13
	1,0	0,83	0,99	1,14	1,29	1,44	1,60	1,77	1,95	0,91	1,07
	1,2	0,69	0,89	1,07	1,25	1,43	1,62	1,82	2,03	0,79	0,99
10	0,2	0,80	0,84	0,89	0,93	0,99	1,05	1,11	1,17	0,88	0,93
	0,4	0,97	1,05	1,12	1,20	1,28	1,36	1,45	1,55	1,05	1,13
	0,6	1,03	1,14	1,24	1,35	1,46	1,57	1,69	1,82	1,10	1,21
	0,8	1,01	1,16	1,30	1,43	1,57	1,71	1,86	2,02	1,09	1,24
	1,0	0,95	1,14	1,31	1,48	1,64	1,81	1,99	2,18	1,03	1,22
	1,2	0,85	1,08	1,29	1,48	1,68	1,88	2,09	2,31	0,94	1,17
15	0,2	0,81	0,85	0,90	0,96	1,01	1,07	1,16	1,26	0,89	0,94
	0,4	1,00	1,08	1,16	1,25	1,33	1,42	1,54	1,68	1,08	1,16
	0,6	1,08	1,20	1,32	1,43	1,55	1,67	1,79	1,96	1,15	1,28
	0,8	1,09	1,26	1,41	1,55	1,70	1,85	2,01	2,17	1,16	1,33
	1,0	1,06	1,27	1,45	1,63	1,81	1,99	2,17	2,37	1,13	1,34
	1,2	0,99	1,24	1,47	1,68	1,88	2,09	2,31	2,53	1,06	1,32
20	0,2	0,82	0,87	0,92	0,98	1,04	1,13	1,24	1,35	0,90	0,95
	0,4	1,03	1,12	1,20	1,29	1,38	1,52	1,67	1,83	1,10	1,19
	0,6	1,13	1,26	1,38	1,50	1,62	1,76	1,96	2,16	1,20	1,33
	0,8	1,16	1,34	1,50	1,66	1,81	1,96	2,17	2,41	1,23	1,41
	1,0	1,16	1,38	1,58	1,77	1,95	2,14	2,33	2,61	1,22	1,45
	1,2	1,11	1,39	1,62	1,84	2,06	2,27	2,49	2,76	1,18	1,46
25	0,2	0,83	0,88	0,94	0,99	1,09	1,20	1,36	1,54	0,91	0,96
	0,4	1,05	1,15	1,24	1,33	1,47	1,63	1,86	2,13	1,13	1,22
	0,6	1,17	1,31	1,44	1,57	1,70	1,92	2,13	2,38	1,24	1,38
	0,8	1,23	1,42	1,59	1,75	1,90	2,12	2,38	2,64	1,29	1,49
	1,0	1,24	1,48	1,69	1,88	2,07	2,27	2,57	2,87	1,30	1,55
	1,2	1,22	1,51	1,76	1,98	2,21	2,43	2,72	3,06	1,28	1,58
30	0,2	0,84	0,89	0,95	1,03	1,15	1,35	1,55	1,75	0,92	0,98
	0,4	1,08	1,18	1,27	1,39	1,57	1,88	2,18	2,49	1,15	1,25
	0,6	1,21	1,36	1,50	1,62	1,84	2,08	2,45	2,83	1,28	1,43
	0,8	1,29	1,49	1,66	1,83	2,03	2,30	2,58	2,98	1,35	1,55
	1,0	1,32	1,57	1,79	1,98	2,18	2,48	2,80	3,12	1,38	1,63
	1,2	1,32	1,62	1,88	2,11	2,34	2,62	2,98	3,34	1,38	1,69
35	0,2	0,85	0,90	0,96	1,07	1,29	1,51	1,74	1,96	0,93	0,99
	0,4	1,10	1,20	1,30	1,48	1,82	2,16	2,51	2,85	1,17	1,28
	0,6	1,25	1,41	1,54	1,72	2,02	2,44	2,86	3,28	1,31	1,47
	0,8	1,34	1,55	1,73	1,90	2,19	2,53	3,01	3,49	1,40	1,61
	1,0	1,39	1,65	1,87	2,08	2,35	2,68	3,05	3,57	1,45	1,71
	1,2	1,41	1,72	1,98	2,22	2,47	2,85	3,22	3,60	1,46	1,78
40	0,2	0,85	0,91	0,99	1,19	1,43	1,68	1,93	2,17	0,93	1,00
	0,4	1,12	1,23	1,35	1,68	2,07	2,45	2,83	3,21	1,19	1,30
	0,6	1,29	1,44	1,59	1,86	2,33	2,80	3,27	3,73	1,35	1,51
	0,8	1,39	1,61	1,79	2,03	2,41	2,95	3,48	4,00	1,45	1,67
	1,0	1,46	1,73	1,95	2,17	2,52	2,98	3,56	4,13	1,51	1,79
	1,2	1,49	1,81	2,08	2,32	2,67	3,06	3,56	4,18	1,54	1,87

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

$L_t = 30$ m

(continuação)

TABELA 5.5.3/II

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 5^\circ$					$\theta_1 = 10^\circ$				
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$
5	0,2	0,96	1,01	1,06	1,12	1,18	*	*	*	*	*
	0,4	1,16	1,23	1,31	1,40	1,49	*	*	*	*	*
	0,6	1,24	1,34	1,45	1,56	1,68	*	*	*	*	*
	0,8	1,26	1,39	1,53	1,67	1,82	*	*	*	*	*
	1,0	1,23	1,39	1,56	1,73	1,91	*	*	*	*	*
	1,2	1,18	1,37	1,56	1,76	1,97	*	*	*	*	*
	1,2	1,18	1,37	1,56	1,76	1,97	*	*	*	*	*
10	0,2	0,98	1,03	1,08	1,15	1,21	0,95	1,00	1,05	1,11	1,17
	0,4	1,20	1,29	1,37	1,47	1,56	1,11	1,19	1,28	1,37	1,46
	0,6	1,32	1,44	1,56	1,68	1,81	1,16	1,28	1,40	1,52	1,65
	0,8	1,38	1,53	1,68	1,83	1,99	1,14	1,30	1,46	1,61	1,78
	1,0	1,40	1,58	1,76	1,94	2,13	1,08	1,29	1,48	1,67	1,86
	1,2	1,38	1,59	1,80	2,02	2,24	1,00	1,24	1,47	1,69	1,92
	1,2	1,38	1,59	1,80	2,02	2,24	1,00	1,24	1,47	1,69	1,92
15	0,2	0,99	1,05	1,11	1,17	1,24	0,96	1,01	1,07	1,13	1,19
	0,4	1,25	1,34	1,43	1,52	1,63	1,14	1,23	1,32	1,42	1,52
	0,6	1,40	1,52	1,64	1,77	1,91	1,21	1,34	1,47	1,60	1,74
	0,8	1,49	1,64	1,80	1,96	2,13	1,21	1,39	1,56	1,73	1,90
	1,0	1,54	1,73	1,92	2,11	2,31	1,18	1,41	1,62	1,82	2,03
	1,2	1,56	1,78	2,00	2,23	2,46	1,12	1,39	1,64	1,88	2,12
	1,2	1,56	1,78	2,00	2,23	2,46	1,12	1,39	1,64	1,88	2,12
20	0,2	1,01	1,07	1,13	1,20	1,31	0,97	1,02	1,08	1,15	1,22
	0,4	1,29	1,38	1,48	1,59	1,75	1,16	1,26	1,36	1,46	1,57
	0,6	1,46	1,59	1,72	1,86	2,04	1,25	1,40	1,54	1,68	1,82
	0,8	1,58	1,75	1,91	2,08	2,27	1,28	1,47	1,66	1,83	2,01
	1,0	1,66	1,86	2,06	2,26	2,46	1,27	1,51	1,74	1,95	2,17
	1,2	1,71	1,94	2,17	2,41	2,65	1,23	1,52	1,79	2,04	2,29
	1,2	1,71	1,94	2,17	2,41	2,65	1,23	1,52	1,79	2,04	2,29
25	0,2	1,02	1,08	1,16	1,27	1,38	0,98	1,04	1,10	1,17	1,24
	0,4	1,32	1,42	1,54	1,70	1,87	1,18	1,29	1,39	1,50	1,61
	0,6	1,52	1,65	1,79	2,00	2,21	1,29	1,45	1,59	1,74	1,89
	0,8	1,66	1,83	2,01	2,21	2,47	1,34	1,55	1,74	1,92	2,11
	1,0	1,77	1,97	2,18	2,39	2,68	1,35	1,61	1,84	2,07	2,29
	1,2	1,84	2,08	2,32	2,56	2,85	1,33	1,64	1,92	2,18	2,44
	1,2	1,84	2,08	2,32	2,56	2,85	1,33	1,64	1,92	2,18	2,44
30	0,2	1,04	1,10	1,21	1,35	1,54	0,98	1,05	1,11	1,18	1,26
	0,4	1,35	1,45	1,63	1,85	2,13	1,21	1,32	1,43	1,54	1,69
	0,6	1,57	1,71	1,91	2,14	2,41	1,33	1,49	1,65	1,80	1,98
	0,8	1,74	1,91	2,12	2,39	2,67	1,40	1,61	1,81	2,01	2,20
	1,0	1,86	2,08	2,29	2,59	2,91	1,43	1,70	1,94	2,17	2,40
	1,2	1,95	2,21	2,45	2,74	3,11	1,42	1,75	2,04	2,31	2,58
	1,2	1,95	2,21	2,45	2,74	3,11	1,42	1,75	2,04	2,31	2,58
35	0,2	1,05	1,14	1,29	1,50	1,71	0,99	1,06	1,13	1,20	1,31
	0,4	1,38	1,53	1,79	2,11	2,43	1,23	1,34	1,46	1,59	1,78
	0,6	1,62	1,79	2,04	2,38	2,78	1,36	1,53	1,70	1,86	2,11
	0,8	1,80	1,98	2,27	2,56	2,94	1,45	1,67	1,88	2,08	2,35
	1,0	1,95	2,17	2,45	2,79	3,12	1,49	1,77	2,03	2,27	2,54
	1,2	2,06	2,32	2,58	2,97	3,35	1,51	1,85	2,14	2,42	2,70
	1,2	2,06	2,32	2,58	2,97	3,35	1,51	1,85	2,14	2,42	2,70
40	0,2	1,06	1,20	1,43	1,65	1,87	1,00	1,07	1,14	1,23	1,40
	0,4	1,41	1,66	2,02	2,37	2,71	1,25	1,37	1,48	1,67	1,96
	0,6	1,66	1,90	2,28	2,71	3,14	1,40	1,57	1,74	1,96	2,22
	0,8	1,86	2,11	2,42	2,88	3,37	1,50	1,73	1,94	2,18	2,50
	1,0	2,03	2,26	2,62	2,97	3,48	1,56	1,85	2,11	2,35	2,71
	1,2	2,16	2,42	2,78	3,18	3,58	1,59	1,94	2,24	2,53	2,89
	1,2	2,16	2,42	2,78	3,18	3,58	1,59	1,94	2,24	2,53	2,89

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS
TABELA 5.5.3/II

$L_t = 30$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 10^\circ$	$\theta_1 = 15^\circ$					$\theta_1 = 20^\circ$				
		$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	1,24	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	*	*	*	*	
	0,4	1,56	1,16	1,25	1,35	1,45	1,55	*	*	*	*	
	0,6	1,78	1,20	1,33	1,47	1,60	1,74	*	*	*	*	
	0,8	1,94	1,19	1,36	1,53	1,70	1,87	*	*	*	*	
	1,0	2,06	1,13	1,34	1,55	1,76	1,97	*	*	*	*	
	1,2	2,15	1,04	1,30	1,55	1,79	2,04	*	*	*	*	
15	0,2	1,26	1,01	1,07	1,14	1,20	1,27	1,06	1,13	1,20	1,28	
	0,4	1,62	1,19	1,29	1,39	1,50	1,61	1,24	1,35	1,46	1,58	
	0,6	1,88	1,25	1,40	1,54	1,69	1,83	1,30	1,46	1,61	1,77	
	0,8	2,08	1,26	1,45	1,64	1,82	2,01	1,30	1,51	1,71	1,91	
	1,0	2,24	1,23	1,47	1,69	1,92	2,14	1,27	1,53	1,78	2,02	
	1,2	2,36	1,17	1,45	1,72	1,98	2,24	1,21	1,52	1,81	2,09	
20	0,2	1,29	1,02	1,09	1,15	1,22	1,30	1,07	1,15	1,22	1,30	
	0,4	1,68	1,21	1,32	1,43	1,54	1,66	1,26	1,38	1,50	1,63	
	0,6	1,96	1,30	1,45	1,61	1,76	1,92	1,34	1,52	1,69	1,85	
	0,8	2,19	1,33	1,53	1,73	1,93	2,12	1,37	1,60	1,81	2,02	
	1,0	2,38	1,32	1,57	1,82	2,05	2,28	1,36	1,64	1,90	2,16	
	1,2	2,54	1,28	1,59	1,87	2,15	2,42	1,32	1,66	1,97	2,26	
25	0,2	1,32	1,03	1,10	1,17	1,24	1,32	1,08	1,16	1,24	1,32	
	0,4	1,77	1,24	1,35	1,47	1,59	1,71	1,29	1,42	1,54	1,67	
	0,6	2,07	1,34	1,51	1,67	1,83	1,99	1,39	1,57	1,75	1,92	
	0,8	2,30	1,39	1,61	1,82	2,02	2,22	1,43	1,67	1,90	2,12	
	1,0	2,52	1,40	1,67	1,93	2,17	2,41	1,44	1,74	2,02	2,28	
	1,2	2,70	1,38	1,71	2,01	2,29	2,57	1,42	1,78	2,10	2,41	
30	0,2	1,38	1,04	1,11	1,18	1,26	1,34	1,09	1,17	1,25	1,34	
	0,4	1,87	1,26	1,38	1,50	1,62	1,75	1,31	1,45	1,58	1,71	
	0,6	2,21	1,38	1,55	1,72	1,89	2,06	1,43	1,62	1,81	1,99	
	0,8	2,48	1,44	1,68	1,89	2,10	2,31	1,49	1,74	1,98	2,21	
	1,0	2,69	1,47	1,76	2,02	2,28	2,53	1,52	1,83	2,12	2,40	
	1,2	2,86	1,47	1,82	2,13	2,42	2,71	1,52	1,89	2,23	2,55	
35	0,2	1,47	1,05	1,12	1,20	1,28	1,36	1,10	1,19	1,27	1,36	
	0,4	2,05	1,28	1,41	1,53	1,66	1,84	1,33	1,48	1,61	1,75	
	0,6	2,35	1,41	1,60	1,78	1,95	2,17	1,46	1,67	1,86	2,05	
	0,8	2,65	1,49	1,74	1,96	2,18	2,43	1,54	1,81	2,06	2,29	
	1,0	2,89	1,54	1,84	2,11	2,38	2,64	1,59	1,92	2,21	2,50	
	1,2	3,09	1,55	1,91	2,24	2,54	2,84	1,61	1,99	2,34	2,67	
40	0,2	1,61	1,06	1,13	1,21	1,29	1,41	1,11	1,20	1,28	1,37	
	0,4	2,29	1,30	1,43	1,56	1,72	1,92	1,35	1,50	1,65	1,79	
	0,6	2,63	1,45	1,64	1,82	2,03	2,29	1,50	1,71	1,91	2,11	
	0,8	2,81	1,54	1,80	2,03	2,26	2,58	1,59	1,87	2,13	2,37	
	1,0	3,07	1,60	1,92	2,20	2,46	2,81	1,65	1,99	2,30	2,59	
	1,2	3,30	1,63	2,01	2,34	2,65	3,00	1,69	2,09	2,45	2,79	

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

TABELA 5.5.3/II

$L_t = 30$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$			$\theta_1 = 30^\circ$		$\theta_1 = 35^\circ$				
		$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$				
5	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
10	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
15	0,2	1,11	1,19	1,27	1,16	1,25	*				
	0,4	1,28	1,41	1,54	1,34	1,48	*				
	0,6	1,34	1,52	1,69	1,39	1,59	*				
	0,8	1,35	1,58	1,80	1,40	1,65	*				
	1,0	1,31	1,60	1,87	1,36	1,68	*				
	1,2	1,25	1,59	1,90	1,30	1,74	*				
20	0,2	1,12	1,20	1,29	1,18	1,27	1,23				
	0,4	1,31	1,45	1,58	1,37	1,52	1,43				
	0,6	1,39	1,58	1,77	1,45	1,66	1,51				
	0,8	1,42	1,67	1,90	1,47	1,75	1,54				
	1,0	1,41	1,71	2,00	1,46	1,80	1,53				
	1,2	1,37	1,73	2,07	1,42	1,82	1,66				
25	0,2	1,14	1,22	1,31	1,19	1,28	1,25				
	0,4	1,34	1,48	1,62	1,40	1,56	1,46				
	0,6	1,44	1,64	1,84	1,50	1,72	1,57				
	0,8	1,48	1,75	2,00	1,54	1,83	1,62				
	1,0	1,49	1,82	2,12	1,55	1,91	1,63				
	1,2	1,48	1,86	2,22	1,53	1,95	1,74				
30	0,2	1,15	1,23	1,33	1,20	1,30	1,26				
	0,4	1,37	1,52	1,66	1,43	1,59	1,49				
	0,6	1,48	1,70	1,90	1,54	1,78	1,62				
	0,8	1,54	1,82	2,08	1,61	1,92	1,69				
	1,0	1,57	1,91	2,23	1,64	2,01	1,72				
	1,2	1,57	1,98	2,35	1,64	2,08	1,81				
35	0,2	1,16	1,25	1,34	1,21	1,32	1,27				
	0,4	1,39	1,55	1,70	1,45	1,63	1,52				
	0,6	1,52	1,75	1,96	1,59	1,84	1,67				
	0,8	1,60	1,89	2,16	1,67	1,99	1,75				
	1,0	1,65	2,00	2,33	1,72	2,11	1,81				
	1,2	1,67	2,09	2,47	1,74	2,20	1,87				
40	0,2	1,17	1,26	1,36	1,22	1,33	1,29				
	0,4	1,41	1,58	1,74	1,48	1,66	1,55				
	0,6	1,56	1,79	2,01	1,63	1,89	1,71				
	0,8	1,66	1,96	2,24	1,73	2,06	1,82				
	1,0	1,72	2,09	2,42	1,79	2,20	1,89				
	1,2	1,75	2,19	2,58	1,83	2,31	1,93				

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS
TABELA 5.5.3/III

$L_t = 60$ m

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$								$\theta_1 = 5^\circ$	
		$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	1,34	1,36	1,38	1,41	1,45	1,49	1,54	1,60	*	*
	0,4	1,75	1,78	1,82	1,87	1,92	1,98	2,06	2,13	*	*
	0,6	1,99	2,04	2,09	2,16	2,23	2,32	2,41	2,52	*	*
	0,8	2,14	2,20	2,28	2,36	2,46	2,57	2,68	2,81	*	*
	1,0	2,22	2,31	2,40	2,50	2,62	2,75	2,89	3,05	*	*
	1,2	2,26	2,36	2,48	2,60	2,74	2,89	3,06	3,24	*	*
10	0,2	1,34	1,36	1,38	1,41	1,45	1,50	1,55	1,60	1,43	1,46
	0,4	1,75	1,78	1,82	1,87	1,93	2,00	2,07	2,16	1,82	1,86
	0,6	2,00	2,05	2,11	2,19	2,27	2,36	2,46	2,57	2,05	2,11
	0,8	2,16	2,24	2,32	2,41	2,52	2,63	2,76	2,89	2,20	2,29
	1,0	2,26	2,36	2,47	2,58	2,71	2,85	3,00	3,16	2,29	2,41
	1,2	2,32	2,44	2,57	2,71	2,86	3,02	3,20	3,39	2,35	2,49
15	0,2	1,34	1,35	1,38	1,41	1,45	1,50	1,55	1,63	1,43	1,45
	0,4	1,75	1,78	1,83	1,88	1,94	2,01	2,09	2,19	1,82	1,86
	0,6	2,01	2,07	2,13	2,21	2,30	2,39	2,50	2,61	2,06	2,13
	0,8	2,18	2,27	2,36	2,46	2,57	2,69	2,82	2,96	2,22	2,32
	1,0	2,30	2,41	2,53	2,65	2,79	2,93	3,09	3,26	2,33	2,46
	1,2	2,37	2,51	2,65	2,80	2,96	3,13	3,32	3,52	2,40	2,55
20	0,2	1,33	1,35	1,38	1,41	1,45	1,56	1,70	1,84	1,43	1,45
	0,4	1,75	1,79	1,83	1,89	1,95	2,04	2,25	2,46	1,82	1,87
	0,6	2,02	2,08	2,15	2,23	2,32	2,42	2,57	2,75	2,07	2,15
	0,8	2,21	2,30	2,39	2,50	2,62	2,74	2,88	3,09	2,24	2,35
	1,0	2,33	2,45	2,58	2,71	2,85	3,01	3,17	3,37	2,37	2,50
	1,2	2,42	2,57	2,72	2,88	3,05	3,23	3,42	3,62	2,45	2,61
25	0,2	1,33	1,37	1,38	1,41	1,57	1,72	1,88	2,05	1,42	1,45
	0,4	1,75	1,79	1,84	1,89	2,09	2,33	2,57	2,82	1,82	1,87
	0,6	2,03	2,09	2,17	2,25	2,35	2,56	2,86	3,16	2,08	2,16
	0,8	2,23	2,32	2,43	2,54	2,66	2,81	3,05	3,30	2,26	2,38
	1,0	2,37	2,50	2,63	2,77	2,91	3,07	3,31	3,59	2,40	2,54
	1,2	2,46	2,63	2,79	2,96	3,13	3,32	3,54	3,85	2,49	2,67
30	0,2	1,33	1,34	1,37	1,53	1,71	1,89	2,07	2,26	1,42	1,45
	0,4	1,75	1,79	1,84	2,07	2,34	2,61	2,89	3,18	1,82	1,87
	0,6	2,04	2,11	2,18	2,27	2,58	2,92	3,26	3,61	2,09	2,17
	0,8	2,24	2,35	2,45	2,57	2,72	3,03	3,42	3,82	2,28	2,40
	1,0	2,40	2,53	2,67	2,82	2,97	3,22	3,51	3,90	2,43	2,58
	1,2	2,51	2,68	2,85	3,02	3,20	3,43	3,76	4,09	2,53	2,73
35	0,2	1,32	1,34	1,46	1,65	1,85	2,05	2,26	2,47	1,42	1,45
	0,4	1,75	1,79	1,97	2,28	2,59	2,90	3,21	3,53	1,82	1,88
	0,6	2,05	2,12	2,20	2,52	2,90	3,28	3,67	4,06	2,10	2,19
	0,8	2,26	2,37	2,48	2,60	3,01	3,44	3,89	4,33	2,30	2,43
	1,0	2,42	2,57	2,71	2,86	3,09	3,49	3,97	4,46	2,46	2,62
	1,2	2,55	2,73	2,91	3,09	3,29	3,62	3,97	4,50	2,57	2,77
40	0,2	1,32	1,34	1,55	1,77	2,00	2,22	2,45	2,68	1,42	1,44
	0,4	1,75	1,80	2,14	2,49	2,83	3,18	3,54	3,89	1,83	1,88
	0,6	2,05	2,13	2,36	2,78	3,21	3,64	4,08	4,51	2,11	2,20
	0,8	2,28	2,39	2,51	2,88	3,37	3,86	4,35	4,85	2,32	2,45
	1,0	2,45	2,60	2,75	2,92	3,40	3,94	4,48	5,02	2,48	2,65
	1,2	2,58	2,78	2,96	3,14	3,45	3,93	4,51	5,09	2,61	2,82

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

(continuação)

TABELA 5.3/III

 $L_t = 60m$

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 5^\circ$					$\theta_1 = 10^\circ$				
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	1,49	1,53	1,57	1,62	1,68	*	*	*	*	*
	0,4	1,91	1,97	2,04	2,12	2,20	*	*	*	*	*
	0,6	2,19	2,27	2,37	2,47	2,58	*	*	*	*	*
	0,8	2,39	2,49	2,61	2,74	2,88	*	*	*	*	*
	1,0	2,53	2,66	2,81	2,96	3,13	*	*	*	*	*
	1,2	2,63	2,79	2,96	3,14	3,33	*	*	*	*	*
15	0,2	1,49	1,53	1,57	1,62	1,68	1,50	1,54	1,58	1,62	1,68
	0,4	1,92	1,98	2,05	2,13	2,22	1,87	1,93	2,00	2,07	2,15
	0,6	2,21	2,30	2,40	2,50	2,62	2,10	2,19	2,28	2,38	2,49
	0,8	2,43	2,54	2,67	2,80	2,95	2,25	2,37	2,49	2,62	2,76
	1,0	2,59	2,73	2,88	3,05	3,22	2,35	2,50	2,65	2,81	2,98
	1,2	2,71	2,88	3,06	3,25	3,46	2,42	2,59	2,77	2,96	3,16
20	0,2	1,49	1,53	1,57	1,63	1,69	1,50	1,54	1,58	1,63	1,68
	0,4	1,92	1,99	2,07	2,15	2,24	1,88	1,94	2,01	2,08	2,17
	0,6	2,23	2,32	2,43	2,54	2,66	2,11	2,20	2,30	2,41	2,53
	0,8	2,46	2,59	2,72	2,86	3,01	2,28	2,40	2,53	2,67	2,82
	1,0	2,64	2,80	2,96	3,13	3,31	2,39	2,55	2,71	2,88	3,06
	1,2	2,79	2,97	3,16	3,35	3,56	2,47	2,66	2,85	3,05	3,26
25	0,2	1,48	1,53	1,58	1,71	1,85	1,50	1,54	1,58	1,63	1,69
	0,4	1,93	2,00	2,08	2,24	2,47	1,88	1,94	2,02	2,10	2,19
	0,6	2,25	2,35	2,45	2,57	2,77	2,13	2,22	2,33	2,44	2,56
	0,8	2,50	2,63	2,76	2,91	3,11	2,30	2,43	2,57	2,71	2,87
	1,0	2,69	2,85	3,02	3,20	3,39	2,42	2,59	2,76	2,94	3,13
	1,2	2,85	3,04	3,24	3,45	3,66	2,51	2,72	2,92	3,13	3,35
30	0,2	1,48	1,53	1,69	1,85	2,02	1,50	1,54	1,58	1,63	1,69
	0,4	1,94	2,01	2,24	2,50	2,76	1,88	1,95	2,02	2,11	2,20
	0,6	2,27	2,37	2,49	2,79	3,11	2,14	2,24	2,35	2,46	2,59
	0,8	2,53	2,66	2,80	3,02	3,27	2,32	2,46	2,60	2,75	2,91
	1,0	2,74	2,91	3,08	3,29	3,58	2,45	2,63	2,81	3,00	3,19
	1,2	2,92	3,11	3,32	3,53	3,84	2,55	2,77	2,99	3,21	3,43
35	0,2	1,48	1,63	1,82	2,00	2,18	1,50	1,54	1,58	1,63	1,76
	0,4	1,94	2,18	2,47	2,75	3,04	1,89	1,96	2,03	2,12	2,35
	0,6	2,28	2,39	2,75	3,11	3,47	2,15	2,25	2,37	2,49	2,64
	0,8	2,56	2,70	2,90	3,28	3,69	2,34	2,49	2,64	2,79	2,96
	1,0	2,78	2,95	3,15	3,45	3,80	2,49	2,67	2,86	3,05	3,25
	1,2	2,97	3,18	3,38	3,70	4,04	2,60	2,82	3,05	3,27	3,51
40	0,2	1,54	1,74	1,94	2,15	2,35	1,50	1,54	1,58	1,68	1,87
	0,4	2,04	2,37	2,68	3,00	3,32	1,89	1,96	2,04	2,25	2,55
	0,6	2,30	2,63	3,03	3,43	3,83	2,16	2,27	2,39	2,51	2,87
	0,8	2,59	2,75	3,19	3,65	4,11	2,36	2,51	2,67	2,83	3,07
	1,0	2,83	3,00	3,29	3,75	4,25	2,51	2,71	2,90	3,10	3,35
	1,2	3,03	3,24	3,51	3,88	4,32	2,63	2,87	3,10	3,34	3,58

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

TABELA 5.5.3/III

$L_t = 60$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 10^\circ$	$\theta_1 = 15^\circ$					$\theta_1 = 20^\circ$			
		$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	1,74	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	2,24	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	2,61	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	2,91	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	3,16	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	3,37	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	1,74	1,57	1,61	1,66	1,72	1,78	*	*	*	*
	0,4	2,26	1,93	2,00	2,09	2,18	2,27	*	*	*	*
	0,6	2,65	2,15	2,26	2,38	2,50	2,63	*	*	*	*
	0,8	2,97	2,31	2,45	2,60	2,76	2,92	*	*	*	*
	1,0	3,25	2,41	2,59	2,78	2,97	3,17	*	*	*	*
	1,2	3,48	2,49	2,70	2,92	3,14	3,38	*	*	*	*
25	0,2	1,75	1,57	1,61	1,67	1,72	1,79	1,63	1,69	1,75	1,82
	0,4	2,28	1,94	2,01	2,10	2,19	2,29	1,99	2,09	2,19	2,29
	0,6	2,69	2,17	2,28	2,40	2,53	2,67	2,22	2,35	2,49	2,63
	0,8	3,03	2,33	2,48	2,64	2,81	2,98	2,37	2,55	2,73	2,91
	1,0	3,32	2,45	2,64	2,84	3,04	3,24	2,48	2,70	2,92	3,14
	1,2	3,58	2,53	2,76	3,00	3,23	3,47	2,55	2,81	3,07	3,33
30	0,2	1,80	1,57	1,62	1,67	1,73	1,79	1,64	1,69	1,75	1,82
	0,4	2,39	1,94	2,02	2,11	2,21	2,31	2,00	2,10	2,20	2,31
	0,6	2,74	2,18	2,30	2,43	2,56	2,70	2,23	2,37	2,52	2,67
	0,8	3,08	2,36	2,52	2,68	2,85	3,03	2,40	2,58	2,77	2,96
	1,0	3,39	2,48	2,69	2,89	3,10	3,31	2,52	2,75	2,98	3,21
	1,2	3,67	2,58	2,82	3,07	3,31	3,56	2,61	2,89	3,16	3,43
35	0,2	1,93	1,57	1,62	1,67	1,73	1,80	1,64	1,69	1,76	1,83
	0,4	2,62	1,95	2,03	2,12	2,22	2,33	2,01	2,11	2,22	2,33
	0,6	2,96	2,20	2,32	2,45	2,59	2,74	2,25	2,40	2,55	2,70
	0,8	3,22	2,38	2,55	2,72	2,90	3,08	2,43	2,62	2,81	3,01
	1,0	3,52	2,52	2,73	2,94	3,16	3,38	2,56	2,80	3,04	3,28
	1,2	3,77	2,62	2,88	3,13	3,39	3,64	2,66	2,95	3,23	3,51
40	0,2	2,06	1,57	1,62	1,67	1,74	1,80	1,64	1,70	1,76	1,84
	0,4	2,85	1,95	2,04	2,13	2,24	2,42	2,02	2,12	2,23	2,35
	0,6	3,25	2,21	2,34	2,48	2,62	2,78	2,27	2,42	2,57	2,73
	0,8	3,47	2,40	2,58	2,75	2,94	3,13	2,45	2,65	2,85	3,06
	1,0	3,68	2,55	2,77	2,99	3,21	3,44	2,59	2,84	3,09	3,34
	1,2	3,95	2,66	2,93	3,19	3,45	3,72	2,70	3,00	3,30	3,59

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CONVEXOS

TABELA 5.5.3/III

$L_t = 60$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$			$\theta_1 = 30^\circ$		$\theta_1 = 35^\circ$				
		$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$	$\theta_2 = 45^\circ$				
5	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
10	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
15	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
20	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
25	0,2	*	*	*	*	*	*				
	0,4	*	*	*	*	*	*				
	0,6	*	*	*	*	*	*				
	0,8	*	*	*	*	*	*				
	1,0	*	*	*	*	*	*				
	1,2	*	*	*	*	*	*				
30	0,2	1,70	1,77	1,84	1,77	1,85	*				
	0,4	2,07	2,18	2,30	2,14	2,27	*				
	0,6	2,29	2,45	2,62	2,36	2,55	*				
	0,8	2,45	2,66	2,87	2,52	2,76	*				
	1,0	2,57	2,83	3,09	2,70	3,01	*				
	1,2	2,82	3,12	3,45	3,30	3,67	*				
35	0,2	1,71	1,77	1,85	1,78	1,86	1,86				
	0,4	2,08	2,19	2,32	2,15	2,29	2,24				
	0,6	2,31	2,48	2,65	2,38	2,58	2,47				
	0,8	2,48	2,70	2,92	2,55	2,80	2,63				
	1,0	2,61	2,88	3,15	2,69	3,00	3,17				
	1,2	2,81	3,10	3,43	3,29	3,65	3,87				
40	0,2	1,71	1,78	1,86	1,78	1,87	1,86				
	0,4	2,09	2,21	2,33	2,16	2,30	2,25				
	0,6	2,33	2,51	2,68	2,41	2,61	2,50				
	0,8	2,51	2,74	2,97	2,58	2,85	2,67				
	1,0	2,65	2,93	3,21	2,71	3,03	3,17				
	1,2	2,79	3,09	3,41	3,28	3,64	3,86				

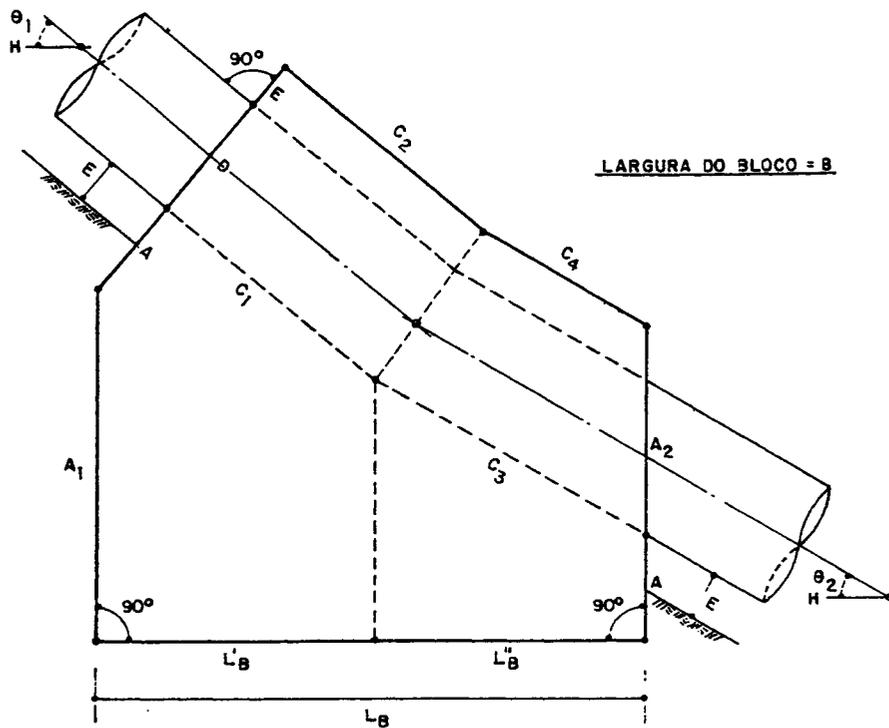
BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVO E RETO

$$\theta_1 > \theta_2 \text{ E } \theta_1 = \theta_2$$

DIMENSIONAMENTO

5.5.3/C

ANEXO



DIMENSÕES BÁSICAS:

D, θ_1 e θ_2 (D em metros)

C_1 = Valor dado nas TABELAS

$$A = 0,476 D + 0,329$$

$$E = 0,238 D + 0,114$$

$$B = D + 2 E$$

$$C_3 = \frac{C_1}{\cos \theta_2}$$

$$A_1 = C_1 \sin \theta_1 + C_3 \sin \theta_2 + A(1 - \cos \theta_1)$$

$$A_2 = \frac{D + E}{\cos \theta_2}$$

$$C_2 = C_1 - (D + E) \operatorname{tg} \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$$

$$C_4 = C_3 - (D + E) \left(\operatorname{tg} \theta_2 + \operatorname{tg} \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right)$$

$$L'_B = C_1 \cos \theta_1 + A \sin \theta_1$$

$$L''_B = C_3 \cos \theta_2 = C_1$$

$$L_B = L'_B + L''_B$$

NOTA: Os valores de sen, cos e tg são obtidos através das TABELAS

5.5.3/VI a 5.5.3/VIII

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

TABELA 5.5.3/IV

$L_t = 30m$

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$		$\theta_1 = 5^\circ$		$\theta_1 = 10^\circ$			$\theta_1 = 15^\circ$			
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	
5	0,2	0,60	0,62	0,64	*	*	*	*	*	*	*	
	0,4	0,80	0,81	0,83	*	*	*	*	*	*	*	
	0,6	0,95	0,96	0,98	*	*	*	*	*	*	*	
	0,8	1,08	1,09	1,11	*	*	*	*	*	*	*	
	1,0	1,20	1,20	1,22	*	*	*	*	*	*	*	
	1,2	1,31	1,31	1,33	*	*	*	*	*	*	*	
10	0,2	0,60	0,61	0,64	0,61	0,64	0,67	0,61	0,63	0,65	0,68	
	0,4	0,80	0,80	0,83	0,79	0,82	0,85	0,77	0,79	0,82	0,86	
	0,6	0,95	0,95	0,98	0,93	0,96	0,99	0,90	0,92	0,95	0,99	
	0,8	1,08	1,07	1,11	1,05	1,08	1,11	1,01	1,04	1,07	1,10	
	1,0	1,20	1,19	1,22	1,16	1,19	1,22	1,12	1,14	1,17	1,21	
	1,2	1,31	1,29	1,33	1,26	1,29	1,32	1,22	1,24	1,27	1,30	
15	0,2	0,60	0,61	0,64	0,61	0,63	0,67	0,59	0,62	0,65	0,68	
	0,4	0,80	0,79	0,83	0,77	0,81	0,85	0,74	0,78	0,81	0,86	
	0,6	0,95	0,93	0,98	0,90	0,95	0,99	0,87	0,90	0,94	0,99	
	0,8	1,08	1,06	1,11	1,02	1,06	1,11	0,98	1,01	1,05	1,10	
	1,0	1,20	1,17	1,22	1,13	1,17	1,22	1,08	1,11	1,15	1,21	
	1,2	1,31	1,28	1,33	1,23	1,27	1,32	1,23	1,21	1,25	1,30	
20	0,2	0,60	0,60	0,64	0,60	0,63	0,67	0,58	0,61	0,64	0,68	
	0,4	0,80	0,78	0,83	0,75	0,80	0,85	0,72	0,76	0,80	0,86	
	0,6	0,95	0,92	0,98	0,88	0,93	0,99	0,84	0,88	0,93	0,99	
	0,8	1,08	1,05	1,11	1,00	1,05	1,11	0,94	0,99	1,04	1,10	
	1,0	1,20	1,16	1,22	1,11	1,16	1,22	1,04	1,09	1,14	1,21	
	1,2	1,31	1,26	1,33	1,22	1,26	1,32	1,26	1,22	1,23	1,30	
25	0,2	0,60	0,60	0,64	0,59	0,62	0,67	0,57	0,60	0,64	0,68	
	0,4	0,80	0,77	0,83	0,74	0,79	0,85	0,70	0,74	0,80	0,86	
	0,6	0,95	0,91	0,98	0,86	0,92	0,99	0,81	0,86	0,92	0,99	
	0,8	1,08	1,03	1,11	0,98	1,04	1,11	0,91	0,96	1,03	1,10	
	1,0	1,20	1,15	1,22	1,08	1,14	1,22	1,06	1,06	1,12	1,21	
	1,2	1,31	1,25	1,33	1,23	1,24	1,32	1,29	1,24	1,21	1,30	
30	0,2	0,60	0,59	0,64	0,58	0,62	0,67	0,55	0,59	0,63	0,68	
	0,4	0,80	0,77	0,83	0,72	0,78	0,85	0,68	0,73	0,79	0,86	
	0,6	0,95	0,90	0,98	0,84	0,91	0,99	0,78	0,84	0,91	0,99	
	0,8	1,08	1,02	1,11	0,95	1,03	1,11	0,88	0,94	1,01	1,10	
	1,0	1,20	1,13	1,22	1,06	1,13	1,22	1,08	1,03	1,11	1,21	
	1,2	1,31	1,23	1,33	1,25	1,23	1,32	1,32	1,25	1,21	1,30	
35	0,2	0,60	0,59	0,64	0,57	0,61	0,67	0,54	0,58	0,63	0,68	
	0,4	0,80	0,76	0,83	0,71	0,77	0,85	0,66	0,71	0,78	0,86	
	0,6	0,95	0,89	0,98	0,83	0,90	0,99	0,76	0,82	0,89	0,99	
	0,8	1,08	1,01	1,11	0,93	1,01	1,11	0,88	0,91	1,00	1,10	
	1,0	1,20	1,12	1,22	1,05	1,11	1,22	1,10	1,04	1,09	1,21	
	1,2	1,31	1,22	1,33	1,27	1,21	1,32	1,34	1,27	1,21	1,30	
40	0,2	0,60	0,58	0,64	0,56	0,61	0,67	0,53	0,57	0,62	0,68	
	0,4	0,80	0,75	0,83	0,69	0,77	0,85	0,64	0,70	0,77	0,86	
	0,6	0,95	0,88	0,98	0,81	0,89	0,99	0,73	0,80	0,88	0,99	
	0,8	1,08	1,00	1,11	0,91	1,00	1,11	0,89	0,89	0,98	1,10	
	1,0	1,20	1,11	1,22	1,06	1,10	1,22	1,12	1,06	1,08	1,21	
	1,2	1,31	1,21	1,33	1,29	1,22	1,32	1,37	1,29	1,22	1,30	

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

TABELA 5.5.3/IV

$L_t = 30$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 20^\circ$					$\theta_1 = 25^\circ$				
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	0,57	0,60	0,62	0,65	0,69	0,55	0,57	0,59	0,62	0,65
	0,4	0,71	0,74	0,77	0,81	0,86	0,67	0,69	0,72	0,76	0,80
	0,6	0,82	0,85	0,88	0,93	0,98	0,77	0,79	0,82	0,86	0,91
	0,8	0,93	0,95	0,99	1,03	1,09	0,86	0,88	0,91	0,95	1,00
	1,0	1,04	1,05	1,08	1,12	1,18	1,05	1,02	1,00	1,03	1,08
	1,2	1,26	1,23	1,20	1,21	1,27	1,28	1,24	1,20	1,18	1,18
20	0,2	0,56	0,58	0,61	0,65	0,69	0,53	0,55	0,58	0,61	0,65
	0,4	0,68	0,71	0,75	0,80	0,86	0,64	0,66	0,69	0,74	0,79
	0,6	0,79	0,82	0,86	0,92	0,98	0,73	0,75	0,79	0,83	0,89
	0,8	0,88	0,91	0,96	1,01	1,09	0,87	0,84	0,87	0,92	0,98
	1,0	1,07	1,03	1,05	1,10	1,18	1,09	1,04	1,01	0,99	1,06
	1,2	1,29	1,25	1,21	1,19	1,27	1,32	1,27	1,22	1,19	1,18
25	0,2	0,54	0,57	0,60	0,64	0,69	0,51	0,53	0,56	0,60	0,64
	0,4	0,65	0,69	0,73	0,79	0,86	0,60	0,63	0,67	0,72	0,78
	0,6	0,75	0,79	0,84	0,90	0,98	0,69	0,71	0,75	0,81	0,88
	0,8	0,87	0,88	0,93	1,00	1,09	0,89	0,85	0,83	0,89	0,96
	1,0	1,09	1,05	1,02	1,09	1,18	1,12	1,07	1,02	0,99	1,04
	1,2	1,33	1,27	1,23	1,20	1,27	1,36	1,29	1,24	1,19	1,18
30	0,2	0,52	0,56	0,59	0,64	0,69	0,50	0,52	0,55	0,59	0,64
	0,4	0,63	0,67	0,72	0,78	0,86	0,57	0,60	0,64	0,70	0,77
	0,6	0,72	0,76	0,82	0,89	0,98	0,70	0,68	0,72	0,78	0,86
	0,8	0,89	0,85	0,90	0,98	1,09	0,92	0,87	0,83	0,86	0,95
	1,0	1,12	1,07	1,02	1,07	1,18	1,15	1,09	1,03	0,99	1,02
	1,2	1,37	1,30	1,24	1,20	1,27	1,41	1,32	1,25	1,20	1,18
35	0,2	0,51	0,54	0,58	0,63	0,69	0,50	0,50	0,53	0,58	0,63
	0,4	0,60	0,64	0,70	0,77	0,86	0,54	0,57	0,62	0,68	0,76
	0,6	0,69	0,73	0,79	0,88	0,98	0,71	0,67	0,69	0,76	0,85
	0,8	0,91	0,86	0,88	0,97	1,09	0,94	0,88	0,84	0,83	0,93
	1,0	1,15	1,08	1,03	1,05	1,18	1,19	1,11	1,04	1,00	1,00
	1,2	1,40	1,32	1,25	1,20	1,27	1,45	1,35	1,27	1,21	1,18
40	0,2	0,50	0,53	0,57	0,63	0,69	0,50	0,50	0,52	0,57	0,62
	0,4	0,58	0,62	0,68	0,76	0,86	0,52	0,55	0,59	0,66	0,75
	0,6	0,71	0,70	0,77	0,86	0,98	0,73	0,69	0,66	0,73	0,83
	0,8	0,94	0,88	0,85	0,95	1,09	0,97	0,90	0,85	0,81	0,91
	1,0	1,18	1,10	1,04	1,04	1,18	1,22	1,13	1,06	1,00	0,98
	1,2	1,44	1,34	1,26	1,21	1,27	1,50	1,38	1,28	1,21	1,18

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS
TABELA 5.5.3/IV

$L_t = 30$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$	$\theta_1 = 30^\circ$						$\theta_1 = 35^\circ$		
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	0,69	0,51	0,53	0,55	0,58	0,61	0,65	0,69	*	*
	0,4	0,85	0,62	0,64	0,66	0,69	0,73	0,78	0,84	*	*
	0,6	0,96	0,71	0,73	0,75	0,78	0,82	0,88	0,94	*	*
	0,8	1,06	0,85	0,82	0,83	0,86	0,90	0,95	1,03	*	*
	1,0	1,14	1,06	1,02	0,99	0,97	0,97	1,02	1,10	*	*
	1,2	1,22	1,28	1,23	1,19	1,16	1,15	1,15	1,18	*	*
20	0,2	0,69	0,50	0,51	0,53	0,56	0,60	0,64	0,69	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,58	0,60	0,63	0,67	0,71	0,77	0,84	0,53	0,54
	0,6	0,96	0,67	0,68	0,71	0,74	0,79	0,86	0,94	0,67	0,64
	0,8	1,06	0,88	0,84	0,81	0,81	0,86	0,94	1,03	0,87	0,83
	1,0	1,14	1,09	1,04	1,00	0,97	0,95	1,00	1,10	1,09	1,03
	1,2	1,22	1,33	1,27	1,21	1,17	1,14	1,15	1,18	1,32	1,25
25	0,2	0,69	0,50	0,50	0,52	0,55	0,59	0,63	0,69	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,55	0,57	0,60	0,64	0,69	0,76	0,84	0,50	0,50
	0,6	0,96	0,69	0,66	0,66	0,71	0,77	0,84	0,94	0,69	0,65
	0,8	1,06	0,90	0,86	0,82	0,79	0,83	0,92	1,03	0,90	0,85
	1,0	1,14	1,13	1,07	1,01	0,97	0,95	0,98	1,10	1,13	1,06
	1,2	1,22	1,38	1,30	1,23	1,17	1,14	1,14	1,18	1,37	1,28
30	0,2	0,69	0,50	0,50	0,50	0,53	0,58	0,63	0,69	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,52	0,53	0,57	0,61	0,67	0,75	0,84	0,50	0,50
	0,6	0,96	0,71	0,67	0,64	0,67	0,74	0,83	0,94	0,71	0,67
	0,8	1,06	0,93	0,87	0,83	0,79	0,80	0,90	1,03	0,93	0,87
	1,0	1,14	1,17	1,09	1,03	0,98	0,95	0,96	1,10	1,17	1,08
	1,2	1,22	1,43	1,33	1,24	1,18	1,14	1,14	1,18	1,43	1,31
35	0,2	0,69	0,50	0,50	0,50	0,52	0,56	0,62	0,69	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,51	0,50	0,53	0,58	0,65	0,73	0,84	0,51	0,50
	0,6	0,96	0,73	0,68	0,64	0,63	0,71	0,81	0,94	0,73	0,68
	0,8	1,06	0,96	0,89	0,84	0,79	0,77	0,88	1,03	0,96	0,89
	1,0	1,14	1,21	1,12	1,04	0,98	0,95	0,95	1,10	1,21	1,11
	1,2	1,22	1,48	1,36	1,26	1,18	1,14	1,14	1,18	1,48	1,35
40	0,2	0,69	0,50	0,50	0,50	0,50	0,55	0,62	0,69	0,50	0,50
	0,4	0,85	0,52	0,50	0,50	0,56	0,63	0,72	0,84	0,52	0,50
	0,6	0,96	0,75	0,69	0,65	0,62	0,68	0,80	0,94	0,75	0,69
	0,8	1,06	0,99	0,91	0,85	0,80	0,77	0,86	1,03	0,99	0,90
	1,0	1,14	1,25	1,14	1,05	0,99	0,95	0,95	1,10	1,25	1,13
	1,2	1,22	1,53	1,40	1,28	1,19	1,14	1,13	1,18	1,53	1,38

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

(continuação)

TABELA 5.5.3/IV

$L_t = 30m$

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 35^\circ$						$\theta_1 = 40^\circ$			
		$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	0,50	0,51	0,54	0,58	0,63	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,56	0,59	0,63	0,68	0,74	0,82	0,50	0,50	0,50	0,51
	0,6	0,62	0,65	0,69	0,75	0,82	0,91	0,66	0,63	0,60	0,57
	0,8	0,79	0,76	0,75	0,80	0,88	0,99	0,86	0,81	0,76	0,73
	1,0	0,98	0,94	0,91	0,91	0,94	1,05	1,07	1,00	0,94	0,89
	1,2	1,18	1,12	1,09	1,08	1,10	1,17	1,30	1,21	1,13	1,06
25	0,2	0,50	0,50	0,53	0,57	0,62	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,52	0,55	0,60	0,66	0,73	0,82	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,62	0,60	0,65	0,71	0,80	0,91	0,68	0,64	0,60	0,57
	0,8	0,80	0,76	0,74	0,76	0,86	0,99	0,89	0,83	0,77	0,72
	1,0	0,99	0,94	0,91	0,90	0,92	1,05	1,11	1,02	0,95	0,88
	1,2	1,20	1,13	1,08	1,07	1,09	1,17	1,35	1,24	1,14	1,05
30	0,2	0,50	0,50	0,51	0,56	0,62	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,52	0,57	0,63	0,72	0,82	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,63	0,60	0,60	0,68	0,79	0,91	0,70	0,65	0,60	0,57
	0,8	0,81	0,76	0,74	0,73	0,84	0,99	0,92	0,84	0,77	0,72
	1,0	1,00	0,94	0,90	0,89	0,91	1,05	1,15	1,05	0,95	0,88
	1,2	1,21	1,13	1,07	1,05	1,08	1,17	1,40	1,27	1,15	1,05
35	0,2	0,50	0,50	0,50	0,55	0,61	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,54	0,61	0,71	0,82	0,51	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,63	0,60	0,58	0,65	0,77	0,91	0,72	0,66	0,61	0,56
	0,8	0,82	0,77	0,73	0,72	0,82	0,99	0,95	0,86	0,78	0,71
	1,0	1,02	0,94	0,89	0,88	0,90	1,05	1,19	1,07	0,96	0,87
	1,2	1,23	1,13	1,07	1,04	1,07	1,17	1,45	1,30	1,16	1,04
40	0,2	0,50	0,50	0,50	0,53	0,60	0,68	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,51	0,59	0,69	0,82	0,52	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,64	0,60	0,57	0,62	0,75	0,91	0,74	0,67	0,61	0,56
	0,8	0,83	0,77	0,73	0,72	0,80	0,99	0,98	0,88	0,79	0,71
	1,0	1,03	0,94	0,89	0,87	0,90	1,05	1,23	1,09	0,97	0,87
	1,2	1,24	1,13	1,06	1,03	1,06	1,17	1,50	1,33	1,17	1,03

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

TABELA 5.5.3/IV

$L_t = 30$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 40^\circ$					$\theta_1 = 45^\circ$				
		$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	0,50	0,52	0,56	0,61	0,67	*	*	*	*	*
	0,4	0,54	0,58	0,64	0,71	0,80	*	*	*	*	*
	0,6	0,58	0,62	0,69	0,78	0,88	*	*	*	*	*
	0,8	0,70	0,69	0,73	0,82	0,94	*	*	*	*	*
	1,0	0,85	0,83	0,84	0,88	0,99	*	*	*	*	*
	1,2	1,01	0,98	0,98	1,03	1,14	*	*	*	*	*
25	0,2	0,50	0,50	0,55	0,61	0,67	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,55	0,62	0,70	0,80	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,55	0,58	0,66	0,76	0,88	0,66	0,61	0,57	0,53	0,50
	0,8	0,69	0,68	0,69	0,80	0,94	0,86	0,79	0,72	0,66	0,62
	1,0	0,84	0,81	0,82	0,87	0,99	1,07	0,97	0,88	0,80	0,74
	1,2	0,99	0,95	0,96	1,02	1,14	1,29	1,16	1,05	0,94	0,86
30	0,2	0,50	0,50	0,53	0,60	0,67	0,66	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,51	0,59	0,69	0,80	0,77	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,54	0,53	0,62	0,74	0,88	0,84	0,62	0,57	0,52	0,50
	0,8	0,68	0,66	0,67	0,78	0,94	0,89	0,80	0,72	0,65	0,60
	1,0	0,82	0,79	0,80	0,85	0,99	0,95	0,99	0,88	0,78	0,71
	1,2	0,97	0,93	0,94	1,00	1,14	1,11	1,19	1,05	0,92	0,83
35	0,2	0,50	0,50	0,52	0,59	0,67	0,66	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,56	0,67	0,80	0,77	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,54	0,53	0,58	0,72	0,88	0,84	0,63	0,57	0,51	0,50
	0,8	0,67	0,65	0,66	0,75	0,94	0,89	0,81	0,72	0,64	0,58
	1,0	0,81	0,77	0,78	0,84	0,99	0,95	1,00	0,88	0,77	0,75
	1,2	0,95	0,91	0,91	0,98	1,14	1,11	1,21	1,05	0,90	0,90
40	0,2	0,50	0,50	0,51	0,58	0,67	0,66	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,4	0,50	0,50	0,54	0,66	0,80	0,77	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,6	0,53	0,52	0,55	0,70	0,88	0,84	0,64	0,57	0,51	0,50
	0,8	0,66	0,63	0,64	0,73	0,94	0,89	0,82	0,72	0,64	0,64
	1,0	0,79	0,76	0,76	0,83	0,99	0,95	1,02	0,88	0,81	0,81
	1,2	0,94	0,88	0,89	0,97	1,14	1,11	1,23	1,05	0,96	0,97

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS
TABELA 5.5.3/IV

$L_t = 30$ m

(continuação)

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 45^\circ$									
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$						
5	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
10	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
15	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
20	0,2	*	*	*	*						
	0,4	*	*	*	*						
	0,6	*	*	*	*						
	0,8	*	*	*	*						
	1,0	*	*	*	*						
	1,2	*	*	*	*						
25	0,2	0,50	0,50	0,52	0,58						
	0,4	0,50	0,50	0,57	0,66						
	0,6	0,50	0,50	0,59	0,70						
	0,8	0,59	0,59	0,62	0,73						
	1,0	0,70	0,69	0,72	0,80						
	1,2	0,80	0,79	0,82	0,54						
30	0,2	0,50	0,50	0,50	0,57						
	0,4	0,50	0,50	0,54	0,65						
	0,6	0,50	0,50	0,55	0,68						
	0,8	0,57	0,57	0,59	0,70						
	1,0	0,67	0,66	0,69	0,78						
	1,2	0,78	0,74	0,78	0,54						
35	0,2	0,50	0,50	0,50	0,57						
	0,4	0,50	0,50	0,51	0,63						
	0,6	0,50	0,50	0,51	0,66						
	0,8	0,55	0,54	0,57	0,67						
	1,0	0,71	0,62	0,66	0,76						
	1,2	0,86	0,77	0,74	0,54						
40	0,2	0,50	0,50	0,50	0,56						
	0,4	0,50	0,50	0,50	0,61						
	0,6	0,50	0,50	0,50	0,64						
	0,8	0,60	0,52	0,55	0,64						
	1,0	0,77	0,68	0,63	0,74						
	1,2	0,93	0,84	0,70	0,54						

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

TABELA 5.5.3/v

$L_t = 60m$

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 0^\circ$	$\theta_1 = 5^\circ$		$\theta_1 = 10^\circ$			$\theta_1 = 15^\circ$				
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	
5	0,2	0,88	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	1,18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	1,42	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	1,62	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	1,80	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	1,97	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	0,88	0,88	0,92	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	1,18	1,17	1,21	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	1,42	1,39	1,44	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	1,62	1,58	1,64	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	1,80	1,76	1,81	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	1,97	1,92	1,97	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	0,88	0,88	0,92	0,87	0,91	0,95	*	*	*	*	*
	0,4	1,18	1,16	1,21	1,12	1,17	1,23	*	*	*	*	*
	0,6	1,42	1,38	1,44	1,32	1,39	1,45	*	*	*	*	*
	0,8	1,62	1,57	1,64	1,51	1,57	1,63	*	*	*	*	*
	1,0	1,80	1,74	1,81	1,67	1,74	1,80	*	*	*	*	*
	1,2	1,97	1,90	1,97	1,83	1,89	1,95	*	*	*	*	*
20	0,2	0,88	0,87	0,92	0,86	0,90	0,95	0,83	0,87	0,92	0,96	
	0,4	1,18	1,15	1,21	1,10	1,17	1,23	1,05	1,11	1,17	1,23	
	0,6	1,42	1,37	1,44	1,30	1,37	1,45	1,24	1,30	1,37	1,44	
	0,8	1,62	1,56	1,64	1,48	1,56	1,63	1,40	1,47	1,54	1,62	
	1,0	1,80	1,73	1,81	1,64	1,72	1,80	1,56	1,63	1,70	1,78	
	1,2	1,97	1,89	1,97	1,80	1,87	1,95	1,73	1,77	1,84	1,92	
25	0,2	0,88	0,87	0,92	0,85	0,90	0,95	0,82	0,87	0,91	0,96	
	0,4	1,18	1,14	1,21	1,09	1,16	1,23	1,03	1,10	1,16	1,23	
	0,6	1,42	1,35	1,44	1,28	1,36	1,45	1,21	1,28	1,36	1,44	
	0,8	1,62	1,54	1,64	1,46	1,54	1,63	1,37	1,45	1,53	1,62	
	1,0	1,80	1,71	1,81	1,62	1,71	1,80	1,52	1,60	1,68	1,78	
	1,2	1,97	1,87	1,97	1,77	1,86	1,95	1,76	1,76	1,83	1,92	
30	0,2	0,88	0,86	0,92	0,84	0,89	0,95	0,81	0,86	0,91	0,96	
	0,4	1,18	1,13	1,21	1,07	1,15	1,23	1,01	1,08	1,16	1,23	
	0,6	1,42	1,34	1,44	1,26	1,35	1,45	1,18	1,26	1,35	1,44	
	0,8	1,62	1,53	1,64	1,44	1,53	1,63	1,34	1,42	1,52	1,62	
	1,0	1,80	1,70	1,81	1,59	1,69	1,80	1,49	1,57	1,67	1,78	
	1,2	1,97	1,86	1,97	1,74	1,84	1,95	1,78	1,77	1,81	1,92	
35	0,2	0,88	0,86	0,92	0,83	0,89	0,95	0,79	0,85	0,91	0,96	
	0,4	1,18	1,12	1,21	1,06	1,14	1,23	0,99	1,07	1,15	1,23	
	0,6	1,42	1,33	1,44	1,24	1,34	1,45	1,16	1,24	1,34	1,44	
	0,8	1,62	1,52	1,64	1,41	1,52	1,63	1,31	1,40	1,50	1,62	
	1,0	1,80	1,68	1,81	1,57	1,68	1,80	1,50	1,55	1,66	1,78	
	1,2	1,97	1,84	1,97	1,72	1,83	1,95	1,81	1,79	1,80	1,92	
40	0,2	0,88	0,85	0,92	0,82	0,88	0,95	0,78	0,84	0,90	0,96	
	0,4	1,18	1,11	1,21	1,04	1,13	1,23	0,97	1,05	1,14	1,23	
	0,6	1,42	1,32	1,44	1,23	1,33	1,45	1,13	1,22	1,33	1,44	
	0,8	1,62	1,50	1,64	1,39	1,51	1,63	1,28	1,38	1,49	1,62	
	1,0	1,80	1,67	1,81	1,54	1,67	1,80	1,52	1,52	1,64	1,78	
	1,2	1,97	1,83	1,97	1,74	1,81	1,95	1,84	1,81	1,79	1,92	

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

(continuação)

TABELA 5.5.3/v

$L_t = 60$ m

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 20^\circ$					$\theta_1 = 25^\circ$				
		$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
5	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	0,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	0,2	0,78	0,83	0,87	0,92	0,97	*	*	*	*	*
	0,4	0,97	1,03	1,09	1,16	1,23	*	*	*	*	*
	0,6	1,13	1,20	1,27	1,34	1,43	*	*	*	*	*
	0,8	1,28	1,35	1,42	1,50	1,59	*	*	*	*	*
	1,0	1,51	1,50	1,56	1,65	1,74	*	*	*	*	*
	1,2	1,82	1,81	1,82	1,84	1,89	*	*	*	*	*
30	0,2	0,77	0,81	0,87	0,92	0,97	0,72	0,77	0,81	0,87	0,92
	0,4	0,95	1,01	1,08	1,15	1,23	0,88	0,93	1,00	1,06	1,14
	0,6	1,10	1,17	1,25	1,33	1,43	1,02	1,07	1,14	1,22	1,31
	0,8	1,24	1,31	1,40	1,49	1,59	1,27	1,26	1,27	1,35	1,45
	1,0	1,53	1,52	1,53	1,63	1,74	1,58	1,56	1,55	1,56	1,59
	1,2	1,85	1,83	1,83	1,84	1,89	1,90	1,88	1,86	1,87	1,90
35	0,2	0,75	0,80	0,86	0,91	0,97	0,71	0,75	0,80	0,86	0,92
	0,4	0,92	0,99	1,06	1,14	1,23	0,85	0,91	0,97	1,05	1,13
	0,6	1,07	1,14	1,23	1,32	1,43	1,00	1,04	1,11	1,20	1,30
	0,8	1,26	1,28	1,37	1,48	1,59	1,30	1,28	1,27	1,33	1,44
	1,0	1,56	1,54	1,53	1,62	1,74	1,61	1,58	1,56	1,56	1,59
	1,2	1,89	1,86	1,84	1,85	1,89	1,94	1,91	1,88	1,88	1,90
40	0,2	0,74	0,79	0,85	0,91	0,97	0,69	0,74	0,79	0,85	0,91
	0,4	0,90	0,97	1,05	1,14	1,23	0,83	0,88	0,95	1,03	1,12
	0,6	1,04	1,12	1,21	1,31	1,43	1,02	1,01	1,08	1,18	1,28
	0,8	1,28	1,25	1,35	1,46	1,59	1,32	1,29	1,27	1,30	1,42
	1,0	1,59	1,56	1,54	1,60	1,74	1,64	1,60	1,58	1,57	1,59
	1,2	1,92	1,88	1,85	1,85	1,89	1,99	1,93	1,90	1,88	1,91

VALORES DE C_1 (m)

BLOCOS DE ANCORAGEM CÔNCAVOS E RETOS

(continuação)

TABELA 5.5.3/V

$L_t = 60$ m

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 25^\circ$	$\theta_1 = 30^\circ$						$\theta_1 = 35^\circ$		
		$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$
30	0,2	0,98	0,68	0,71	0,76	0,81	0,86	0,92	0,98	*	*
	0,4	1,22	0,81	0,86	0,91	0,97	1,04	1,12	1,21	*	*
	0,6	1,41	1,01	1,00	1,03	1,10	1,18	1,27	1,38	*	*
	0,8	1,56	1,30	1,28	1,27	1,27	1,30	1,41	1,52	*	*
	1,0	1,70	1,61	1,58	1,56	1,56	1,58	1,63	1,73	*	*
	1,2	1,98	1,94	1,90	1,87	1,87	1,89	1,95	2,07	*	*
35	0,2	0,98	0,66	0,70	0,74	0,79	0,85	0,91	0,98	0,60	0,64
	0,4	1,22	0,78	0,83	0,88	0,95	1,02	1,11	1,21	0,75	0,74
	0,6	1,41	1,03	1,01	1,00	1,07	1,16	1,26	1,38	1,04	1,02
	0,8	1,56	1,33	1,30	1,28	1,28	1,29	1,39	1,52	1,34	1,31
	1,0	1,70	1,64	1,61	1,58	1,57	1,58	1,63	1,73	1,66	1,61
	1,2	1,98	1,98	1,93	1,89	1,87	1,89	1,95	2,07	1,99	1,93
40	0,2	0,98	0,64	0,68	0,73	0,78	0,84	0,91	0,98	0,58	0,62
	0,4	1,22	0,75	0,80	0,85	0,92	1,01	1,10	1,21	0,76	0,75
	0,6	1,41	1,04	1,02	1,01	1,04	1,13	1,25	1,38	1,06	1,03
	0,8	1,56	1,35	1,32	1,29	1,28	1,29	1,37	1,52	1,37	1,32
	1,0	1,70	1,68	1,63	1,59	1,57	1,58	1,63	1,73	1,70	1,63
	1,2	1,98	2,03	1,96	1,91	1,88	1,89	1,94	2,07	2,04	1,96

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 35^\circ$						$\theta_1 = 40^\circ$			
		$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$
35	0,2	0,68	0,72	0,77	0,83	0,90	0,97	*	*	*	*
	0,4	0,78	0,84	0,91	0,99	1,09	1,19	*	*	*	*
	0,6	1,00	1,00	1,01	1,11	1,22	1,35	*	*	*	*
	0,8	1,28	1,26	1,27	1,30	1,36	1,48	*	*	*	*
	1,0	1,57	1,54	1,54	1,58	1,66	1,81	*	*	*	*
	1,2	1,87	1,84	1,83	1,87	1,97	2,16	*	*	*	*
40	0,2	0,66	0,70	0,76	0,82	0,89	0,97	0,53	0,55	0,58	0,62
	0,4	0,75	0,81	0,88	0,97	1,08	1,19	0,77	0,75	0,73	0,73
	0,6	1,01	1,00	1,00	1,08	1,21	1,35	1,06	1,02	0,99	0,97
	0,8	1,29	1,27	1,26	1,29	1,36	1,48	1,36	1,31	1,26	1,22
	1,0	1,58	1,55	1,54	1,57	1,65	1,81	1,68	1,60	1,54	1,49
	1,2	1,89	1,84	1,83	1,86	1,96	2,16	2,02	1,92	1,83	1,76

H (m)	D (m)	$\theta_1 = 40^\circ$					$\theta_1 = 45^\circ$				
		$\theta_2 = 20^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$	$\theta_2 = 30^\circ$	$\theta_2 = 35^\circ$	$\theta_2 = 40^\circ$	$\theta_2 = 0^\circ$	$\theta_2 = 5^\circ$	$\theta_2 = 10^\circ$	$\theta_2 = 15^\circ$	$\theta_2 = 20^\circ$
40	0,2	0,67	0,73	0,80	0,88	0,96	*	*	*	*	*
	0,4	0,75	0,83	0,93	1,04	1,17	*	*	*	*	*
	0,6	0,97	0,99	1,03	1,15	1,32	*	*	*	*	*
	0,8	1,21	1,23	1,28	1,38	1,55	*	*	*	*	*
	1,0	1,46	1,47	1,53	1,66	1,89	*	*	*	*	*
	1,2	1,73	1,74	1,80	1,96	2,25	*	*	*	*	*

VALORES DOS SENOS E COSENOS NATURAIS

TABELA 5.5.3/VI

GRAUS	Seno							θ
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,0000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454	0,01745	89
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199	0,03490	88
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943	0,05234	87
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685	0,06976	86
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426	0,08716	85
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164	0,10453	84
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898	0,12187	83
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629	0,13917	82
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356	0,15643	81
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078	0,17365	80
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795	0,19081	79
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507	0,20791	78
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212	0,22495	77
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910	0,24192	76
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601	0,25882	75
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284	0,27564	74
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959	0,29237	73
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625	0,30902	72
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282	0,32557	71
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929	0,34202	70
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565	0,35837	69
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191	0,37461	68
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805	0,39073	67
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40141	0,40408	0,40674	66
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998	0,42262	65
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575	0,43837	64
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140	0,45399	63
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690	0,46947	62
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226	0,48481	61
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748	0,50000	60
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254	0,51504	59
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745	0,52992	58
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220	0,54464	57
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678	0,55919	56
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119	0,57358	55
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543	0,58779	54
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949	0,60182	53
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337	0,61566	52
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706	0,62932	51
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056	0,64279	50
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386	0,65606	49
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697	0,66913	48
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987	0,68200	47
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256	0,69466	46
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505	0,70711	45
θ	Coseno							GRAUS
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

EXEMPLOS: sen 20° 40' = 0,35293

cos 48° 30' = 0,66262

VALORES DOS COSENO E SENOS NATURAIS
TABELA 5.5.3/VII

GRAUS	Coseno							θ
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989	0,99985	89
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949	0,99939	88
2	0,99963	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878	0,99863	87
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776	0,99756	86
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644	0,99619	85
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482	0,99452	84
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290	0,99255	83
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067	0,99027	82
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814	0,98769	81
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531	0,98481	80
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218	0,98163	79
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875	0,97815	78
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502	0,97437	77
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100	0,97030	76
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667	0,96593	75
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206	0,96126	74
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715	0,95630	73
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195	0,95106	72
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646	0,94552	71
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068	0,93969	70
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462	0,93358	69
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92935	0,92827	0,92718	68
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164	0,92050	67
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472	0,91355	66
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753	0,90631	65
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007	0,89879	64
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232	0,89101	63
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431	0,88295	62
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603	0,87462	61
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748	0,86603	60
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866	0,85717	59
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959	0,84805	58
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025	0,83867	57
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066	0,82904	56
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082	0,81915	55
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072	0,80902	54
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038	0,79864	53
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980	0,78801	52
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897	0,77715	51
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791	0,76604	50
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661	0,75471	49
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509	0,74314	48
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333	0,73135	47
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136	0,71934	46
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916	0,70711	45
θ	Seno							GRAUS
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

EXEMPLOS: $\cos 14^\circ 00' = 0,97030$

$\sen 64^\circ 10' = 0,90007$

VALORES DAS TANGENTES E COTANGENTES NATURAIS
TABELA 5.5.3/VIII

GRAUS	Tangentes							θ
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	89
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201	0,03492	88
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949	0,05241	87
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700	0,06993	86
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456	0,08749	85
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216	0,10510	84
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983	0,12278	83
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13163	0,13461	0,13758	0,14054	82
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540	0,15838	81
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333	0,17633	80
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136	0,19438	79
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952	0,21256	78
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781	0,23087	77
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624	0,24933	76
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483	0,26795	75
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360	0,28675	74
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255	0,30573	73
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171	0,32492	72
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108	0,34433	71
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068	0,36397	70
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053	0,38386	69
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065	0,40403	68
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105	0,42447	67
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175	0,44523	66
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277	0,46631	65
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414	0,48773	64
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587	0,50953	63
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798	0,53171	62
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051	0,55431	61
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348	0,57735	60
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691	0,60086	59
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083	0,62487	58
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528	0,64941	57
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028	0,67451	56
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588	0,70021	55
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211	0,72654	54
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900	0,75355	53
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661	0,78129	52
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498	0,80978	51
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415	0,83910	50
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419	0,86929	49
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515	0,90040	48
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709	0,93252	47
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008	0,96569	46
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420	1,00000	45
θ	Cotangentes							GRAUS
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

EXEMPLOS: $\text{tg } 29^\circ 20' = 0,56194$

$\text{cotg } 72^\circ 50' = 0,30891$

- Instruções para o Uso das TABELAS 5.5.3/II a 5.5.3/V

Os valores dos parâmetros D , θ_1 , θ_2 , H e L_t constantes nas tabelas acima em referência, básicos para a determinação dos valores do comprimento C_1 quase sempre não são exatamente iguais aos valores reais dos parâmetros do projeto. A fim de se obter um valor para C_1 não inferior ao valor mínimo (otimizado) desse comprimento, satisfazendo portanto, as condições de estabilidade do bloco de ancoragem, o projetista deve seguir as seguintes instruções:

- Tomar os valores de H e D mais próximos superiores dos valores desejados;
- Tomar os valores de θ_1 mais próximos dos valores desejados;
- Tomar os valores de θ_2 mais próximos superiores dos valores desejados;
- Determinar o valor de C_1 por interpolação linear (proporcional) aos valores encontrados para $L_t = 30$ m e $L_t = 60$ m.

- Exemplo

Determinar as dimensões de um bloco de ancoragem para uma tubulação em chapas de aço de 1/4" de espessura de parede, de 0,90 m de diâmetro interno, no ponto onde há uma pressão de coluna d'água de 23 m e um ângulo formado pelas inclinações de 13° e 27° das partes, respectivamente de montante e jusante. O comprimento da parte de montante da tubulação é de 40 m.

Dados de Projeto:

$$H = 23 \text{ m}$$

$$D = 0,90 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 12^\circ \quad \theta_1 < \theta_2 = \text{bloco convexo}$$

$$\theta_2 = 27^\circ$$

$$L_t = 40 \text{ m}$$

- Determinação do comprimento C_1

Valores dos parâmetros de entrada nas TABELAS 5.5.3/II e 5.5.3/III

$$\begin{aligned}H &= 25 \text{ m} \\D &= 1,0 \text{ m} \\ \theta_1 &= 10^\circ \\ \theta_2 &= 30^\circ \\ L_t &= 30 \text{ m e } 60 \text{ m}\end{aligned}$$

Da TABELA 5.5.3/II tira-se: $C_1 = 1,84 \text{ m}$ ($L_t = 30 \text{ m}$)

Da TABELA 5.5.3/III tira-se: $C_1 = 2,76 \text{ m}$ ($L_t = 60 \text{ m}$)

Por interpolação proporcional (linear) determina-se o valor de C_1 para $L_t = 40 \text{ m}$

$$\Delta C_1 = 2,76 - 1,84 = 0,92 \text{ m}$$

$$\Delta L_t = 60 - 30 = 30 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,84 + \frac{\Delta C_1}{\Delta L_t} (40-30)$$

$$C_1 = 1,84 + \frac{0,92}{30} \times 10 = 2,15 \text{ m}$$

O cálculo exato com os dados reais de projeto, feito por computador, dá 1,92 m para o valor de C_1 . O valor a ser adotado 2,15 m é 12% maior, o que dará uma tensão de compressão no terreno ligeiramente inferior a 1,5 kgf/cm².

• Determinação das Dimensões do Bloco de Ancoragem

O valor encontrado para o comprimento C_1 , juntamente com os valores de D , θ_1 e θ_2 do projeto, permite determinar as dimensões do bloco de ancoragem através das fórmulas do ANEXO 5.5.3/B, conforme abaixo:

$$A = 0,476D + 0,329 = 0,476 \times 0,90 + 0,329 = 0,76 \text{ m}$$

$$E = 0,238D + 0,114 = 0,238 \times 0,90 + 0,114 = 0,33 \text{ m}$$

$$B = D + 2E = 0,90 + 2 \times 0,33 = 1,56 \text{ m}$$

$$C_3 = 1,381D + 0,243 = 1,381 \times 0,90 + 0,243 = 1,49 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
A_1 &= C_1 \operatorname{sen} \theta_1 + C_3 \operatorname{sen} \theta_2 + A (1 - \cos \theta_1) \\
&= 2,15 \operatorname{sen} 12^\circ + 1,49 \operatorname{sen} 27^\circ + 0,76 (1 - \cos 12^\circ) \\
&= 2,15 \times 0,20791 + 1,49 \times 0,45399 + 0,76 (1 - 0,97815) = 1,14 \text{ m} \\
A_2 &= \frac{D+E}{\cos \theta_2} = \frac{0,90+0,33}{\cos 27^\circ} = \frac{0,90+0,33}{0,89101} = 1,38 \text{ m} \\
C_2 &= C_1 + (D+E) \operatorname{tg} \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \\
&= 2,15 + (0,90+0,33) \operatorname{tg} \frac{27^\circ - 12^\circ}{2} \\
&= 2,15 + (0,90+0,33) \operatorname{tg} 7^\circ 30' \\
&= 2,15 + (0,90+0,33) 0,13163 = 2,31 \text{ m} \\
C_4 &= C_3 - (D+E) (\operatorname{tg} \theta_2 - \operatorname{tg} \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}) \\
&= 1,49 - (0,90+0,33) (\operatorname{tg} 27^\circ - \operatorname{tg} \frac{27^\circ - 12^\circ}{2}) \\
&= 1,49 - (0,90+0,33) (0,50953 - 0,13163) = 1,03 \text{ m} \\
L'_B &= C_1 \cos \theta_1 + A \operatorname{sen} \theta_1 \\
&= 2,15 \cos 12^\circ + 0,76 \operatorname{sen} 12^\circ \\
&= 2,15 \times 0,97815 + 0,76 \times 0,20791 = 2,26 \text{ m} \\
L''_B &= C_3 \cos \theta_2 = 1,49 \times \cos 27^\circ = 1,49 \times 0,89101 = 1,33 \text{ m} \\
L_B &= L'_B + L''_B = 2,26 + 1,33 = 3,59 \text{ m}
\end{aligned}$$

B) Aspectos Construtivos

- Para as tubulações expostas ao tempo, não enterradas ou embutidas no concreto, sofrendo uma variação máxima de temperatura cerca de 50°C quando vazias, aconselha-se uma distância máxima de 80 m entre o bloco de ancoragem e a junta de expansão de montante. Nestas condições, haverá uma expansão linear da tubulação na junta de aproximadamente 50 cm, o que pode ser considerado como razoável para o trabalho de atrito que sofre o material vedante (geralmente corda alcatroada), resultando um longo período de funcionamento da junta de expansão sem transtornos, isto é, sem vazamentos e sem a necessidade de constantes reapertos dos seus flanges. As juntas de expansão devem ser instaladas em cada trecho entre dois blocos de ancoragem, a uma distância aproximada de $L' = 1,5 C_3$ do bloco de ancoragem de montante (vide FIGURA 5.5.3/1).
- O concreto para a construção dos blocos deverá atender às especificações apresentadas no item 5.2.4 relativo a barragens de concreto. Deverá ser assentado sobre uma base de aproximadamente 15 cm de brita 3, previamente apiloada.
- Para economizar concreto, quando o volume da parte inferior do bloco de ancoragem permitir a inclusão de pedras de mão de modo que entre elas possa ficar uma boa camada de concreto, deve-se empregar o concreto do tipo "ciclópico". A parte superior do bloco de ancoragem, que envolve a tubulação, deve ser concretada somente com o concreto referido acima.
- Para aumentar a resistência de deslizamento entre o bloco e o terreno, aconselha-se dentear a base do bloco.

5.6 Unidade Geradora

5.6.1 Introdução

A unidade geradora é o equipamento eletromecânico mais importante de uma microcentral hidrelétrica. É composta, basicamente, da turbina hidráulica e do gerador e, como equipamentos complementares principais, do regulador, válvula, quadro de comando e volante.

Na aquisição destes equipamentos, o comprador deve pedir ao fornecedor, não só o preço para o conjunto turbina/gerador, como também para os equipamentos complementares, pois, para pequenas unidades geradoras, é usual se fazer a aquisição global destes equipamentos através de um único fornecedor.

Alerta-se que, no pedido de orçamento para a mencionada aquisição, o comprador deve incluir a obrigação do fornecedor para as instruções de montagem e operação, garantias e manutenção dos equipamentos a serem adquiridos.

5.6.2 Turbinas Hidráulicas

As turbinas hidráulicas utilizadas nas microcentrais hidrelétricas devem ser selecionadas de modo a se obter facilidade de operação e manutenção, dando-se grande importância à sua robustez.

Assim sendo, na escolha de uma turbina deve-se analisar, além do seu preço, as garantias oferecidas pelo fabricante quanto à ausência de cavitação no rotor da turbina, ao imediato atendimento em caso de problemas na operação da máquina e à pronta troca de componentes danificados.

Seleção do Tipo

Uma vez obtidas a queda líquida em metros e a descarga em metros cúbicos por segundo (conforme indicado em outra parte deste Manual), pode-se encontrar o tipo de turbina recomendado para o aproveitamento em estudo. Para isto deve-se utilizar o abaco da folha ANEXO 5.6.2/A, onde estão representadas, em caráter orientativo, as faixas de utilização de cada turbina.

A potência a ser obtida do conjunto turbina-gerador também pode ser tirada do mesmo anexo, bastando para isto interpolar os valores das linhas oblíquas (valor de potência gerada em kW).

A faixa de potência unitária adotada para as microcentrais é de até 100 kW, valendo como entrada os valores de queda (até 200 m) e vazão (até 2 m³/s), conforme estabelecido nesta parte deste Manual.

Observações Importantes:

- a) A escolha da turbina, quando usado o ANEXO 5.6.2/A, é preliminar, uma vez que, na prática, não existem fronteiras bem defi

nidas entre os vários tipos de turbina. Cada caso deve ser analisado em conjunto com o fabricante da turbina, que poderá sugerir alterações.

- b) As turbinas Banki podem ser utilizadas em uma faixa de quedas e de descargas bastante ampla. O custo de uma turbina Banki é menor do que o custo de uma turbina Francis de mesma queda e potência. No entanto, atualmente as indústrias do ramo têm maior experiência com as turbinas do tipo Francis, existindo grande quantidade de centrais com este tipo em operação no país, o que não acontece com as turbinas do tipo Banki.
- c) As turbinas Pelton são muito utilizadas em aproveitamentos com altas quedas e pequenas vazões, pois nestes casos o rotor Francis apresentaria passagens muito estreitas, de difícil acabamento, o que resulta em uma turbina de baixo rendimento. O sistema de conchas da turbina Pelton evita este inconveniente.
- d) A potência da máquina indicada no ANEXO 5.6.2/A é aproximada, pois supõe rendimentos constantes de 95% para o gerador e de 77% para a turbina, sendo calculada pela expressão:

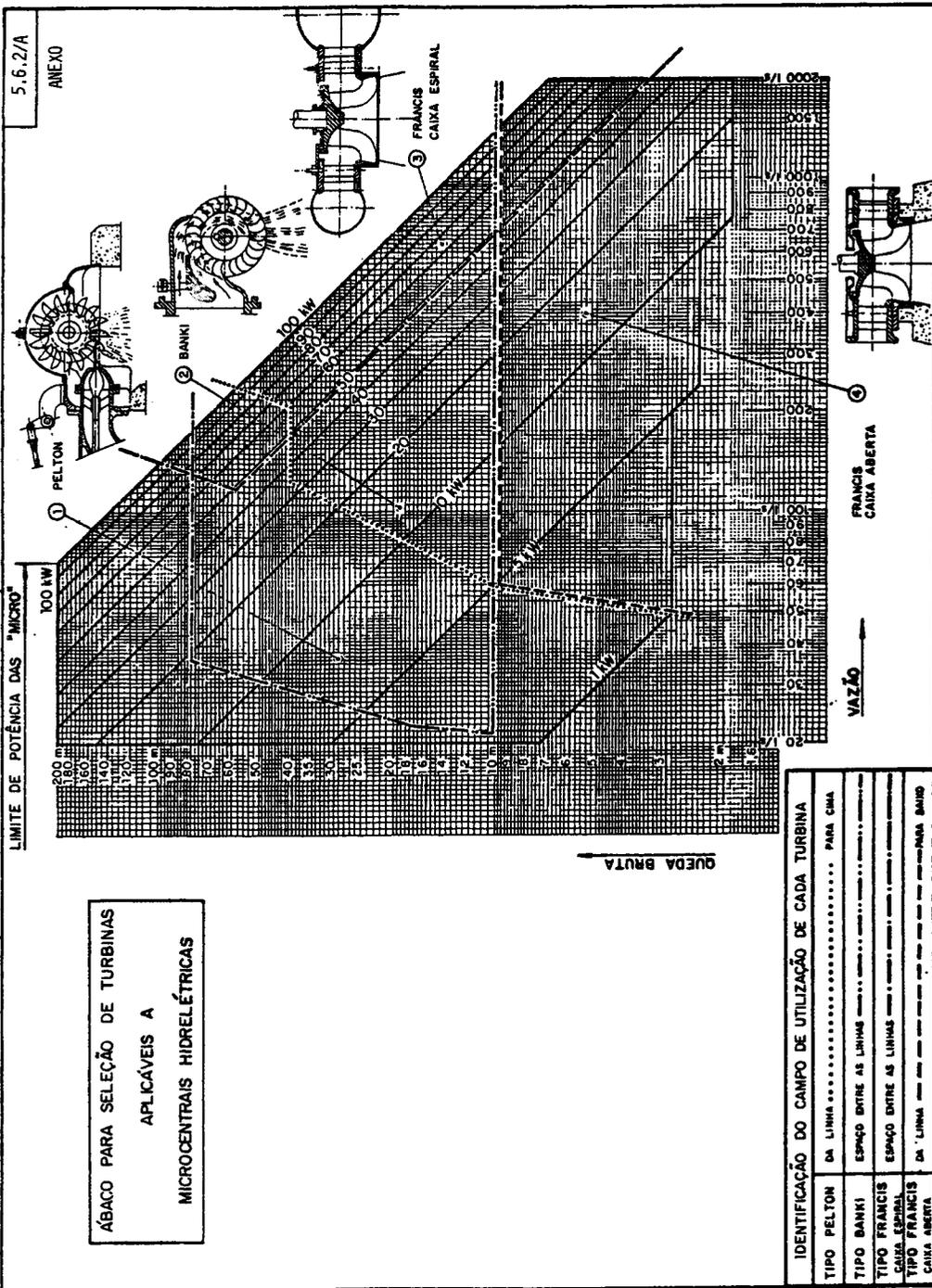
$$P = 6,80 Q.H.$$

onde:

P = potência nos bornes do gerador, em kW

Q = descarga da turbina, em m³/s

H = queda bruta, em m



5.6.2.1 Turbinas Pelton

As turbinas de ação, em cuja classificação a turbina Pelton se situa, têm por características a transformação da energia potencial de queda em energia cinética no jato injetor. Posteriormente esta energia cinética é convertida em energia mecânica no rotor da turbina.

O ANEXO 5.6.2/B mostra arranjos típicos para turbina Pelton de eixo horizontal com um e com dois injetores.

A turbina Pelton é constituída basicamente por um rotor, em torno do qual estão fixadas as pás ou conchas, por uma tubulação de adução contendo um, dois ou mais injetores e por blindagens metálicas no caminho da água.

A turbina Pelton de um jato oferece um arranjo mais simples e econômico. No entanto, a utilização da turbina Pelton de dois jatos permite uma rotação da turbina 1,4 vezes maior. Deve-se examinar em primeiro lugar a utilização da turbina de um jato. Caso a velocidade de rotação encontrada seja baixa, é aconselhável comparar os custos do conjunto turbina-gerador nas duas soluções.

Regulagem - Para microcentrais deve-se prever a regulagem da descarga da água e, conseqüentemente, da potência fornecida, por meio de uma peça móvel, colocada na parte interna do injetor e acionada por mecanismo manual ou hidráulico, denominada agulha. A regulagem por meio de um defletor, ou até mesmo uma regulagem dupla, por agulha e por defletor, só é empregada em máquinas maiores, onde o aumento de pressão na tubulação de adução durante fechamento rápido por agulha poderia causar problemas graves.

Faixa de Operação - As turbinas Pelton podem ser operadas sem quaisquer dificuldades entre 10% e 100% da potência máxima.

Roda Pelton

Baseada nos mesmos princípios da turbina Pelton, existe a chamada Roda Pelton, constituída de um rodízio de conchas, de eixo horizontal, com caixa metálica de proteção e acionada por meio de um único jato d'água através de um bocal cônico, conhecido no interior do país com a denominação de "setia". Este rodízio, com os necessários mancais e eixo, é fabricado por muitas pequenas fundições do interior e vendido em casas comerciais de equipamentos agrícolas, lojas de ferragens, cooperativas, etc., a preços atrativos. Este equipamento pode ser instalado conforme mostra o ANEXO 5.6.2/C.

Algumas oficinas mecânicas montam conjuntos compactos constituídos da roda Pelton, gerador e "setia" (já na posição correta) dentro de uma caixa metálica de proteção, com acoplamento externo ao gerador por transmissão em correia, ficando todos os citados equipamentos montados sobre um quadro construído com perfis metá-

licos, conforme ilustra no ANEXO 5.6.2/D.

Para as microcentrais hidrelétricas com potências até cerca de 30 kW é aconselhável, entre outras alternativas, um estudo para instalação de uma roda Pelton, devido ao seu baixo custo de aquisição e à sua fácil instalação.

Para o cálculo da potência gerada pelo grupo turbina/gerador, pode-se tomar o rendimento global do conjunto igual a 0,615 (61,5%) e uma perda de carga (coluna d'água) de 5%, o que levará à seguinte equação:

$$P = 5,73.Q.H$$

sendo:

P = potência instalada, em kW

Q = descarga de projeto, em m³/s

H = queda bruta, em m

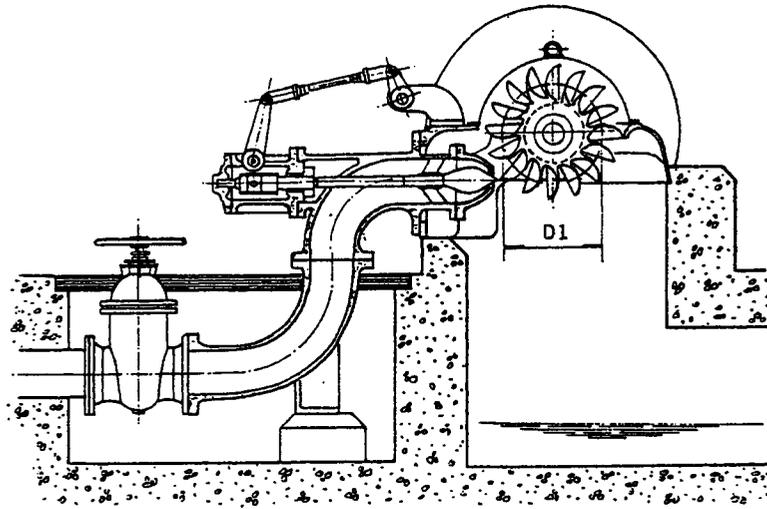
A roda Pelton de uma central deste tipo não possui regulador de engolimento (vazão). Desta forma, uma variação da carga de consumo provocaria uma variação da velocidade do grupo roda/gerador, o que não é permissível. Para manter essa velocidade constante e igual à de projeto, deve-se procurar manter a carga de consumo o mais possível sem sensíveis variações e igual à capacidade instalada na central.

Devido ao problema exposto acima, este tipo de central é quase sempre empregado para o suprimento de energia para iluminação e aparelhos eletrodomésticos de funcionamento contínuo durante longo período, como televisão, rádio, aparelhos de ar condicionado, etc., não sendo aconselhado para aparelhos de consumo intermitente, como geladeiras, chuveiros elétricos, etc., que tornam o controle da estabilidade da carga de consumo difícil sem dispositivos automáticos.

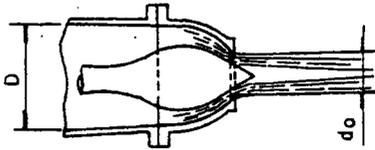
Vários fabricantes de equipamentos elétricos estão desenvolvendo projetos para a construção de dispositivos automáticos para o controle da carga elétrica de consumo. O princípio básico desses projetos é a introdução ou a retirada de resistências elétricas no circuito, mantendo a carga elétrica aproximadamente igual à potência instalada da central. Estas resistências podem ser resistências comuns que dissipam a energia elétrica em forma de calor para a atmosfera, ou resistências que aproveitam este calor para aquecimento da água em "boilers", secagem de grãos, etc.

Na falta destes dispositivos automáticos, pode-se estabilizar a carga elétrica através de lâmpadas adicionais instaladas em um pequeno quadro ou em postes de iluminação de vigia do jardim ou do terreno. Um voltímetro, ajudado em certas instalações por um relé e uma campainha de alarme, permite ao consumidor verificar a carga elétrica desejada.

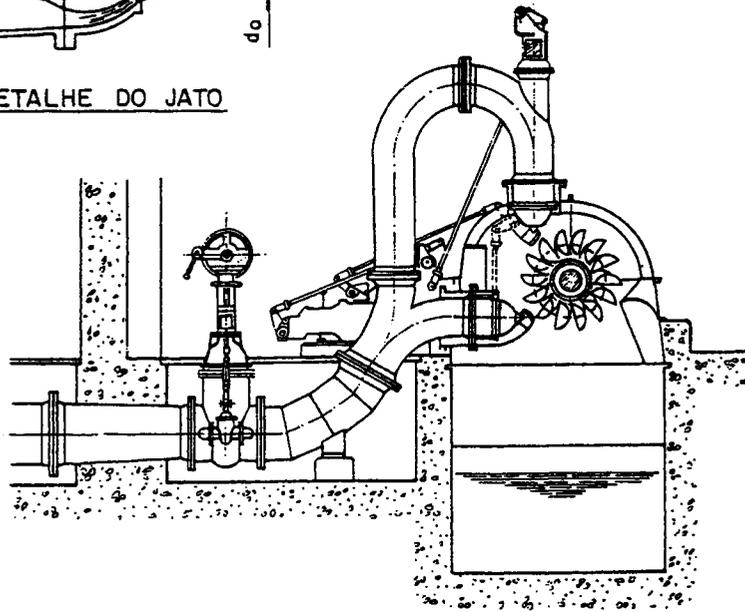
Este tipo de suprimento de energia elétrica é feito normalmente no interior do país para iluminação de consumidores autônomos, que ligam a central às 17 horas e a desligam às 6 horas do dia seguinte, deixando durante a noite a iluminação de suas residências funcionando, com exceção dos quartos dormitórios, cujo consumo deverá ser compensado pelo sistema de controle já mencionado acima.



TURBINA PELTON DE 1 JATO



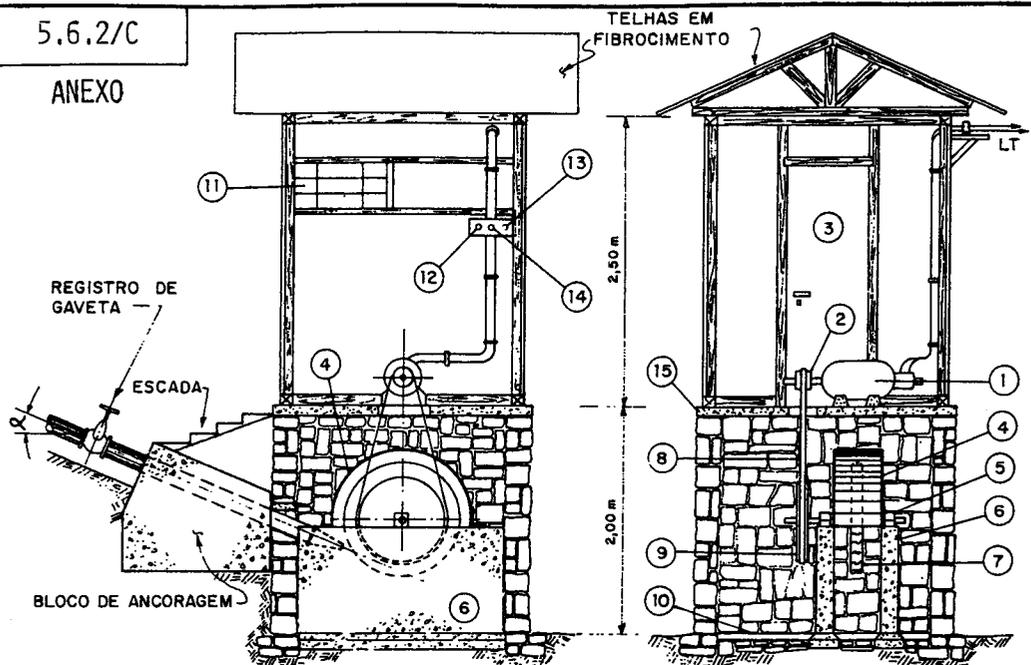
DETALHE DO JATO



TURBINA PELTON DE 2 JATOS

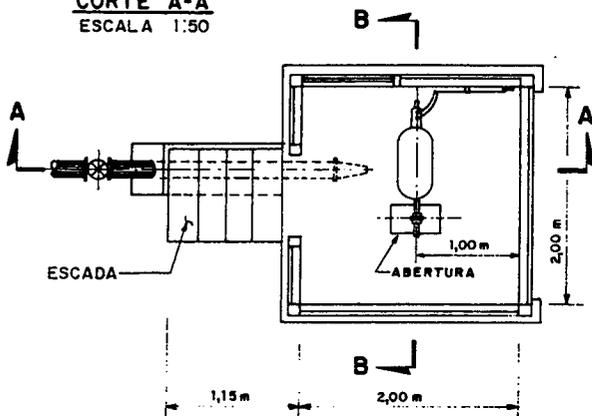
5.6.2/C

ANEXO

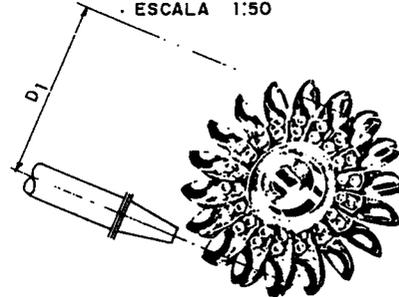


CORTE A-A
ESCALA 1:50

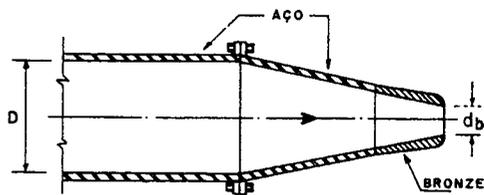
CORTE B-B
ESCALA 1:50



PLANTA
ESCALA 1:50



RODA PELTON - INSTALAÇÃO TÍPICA



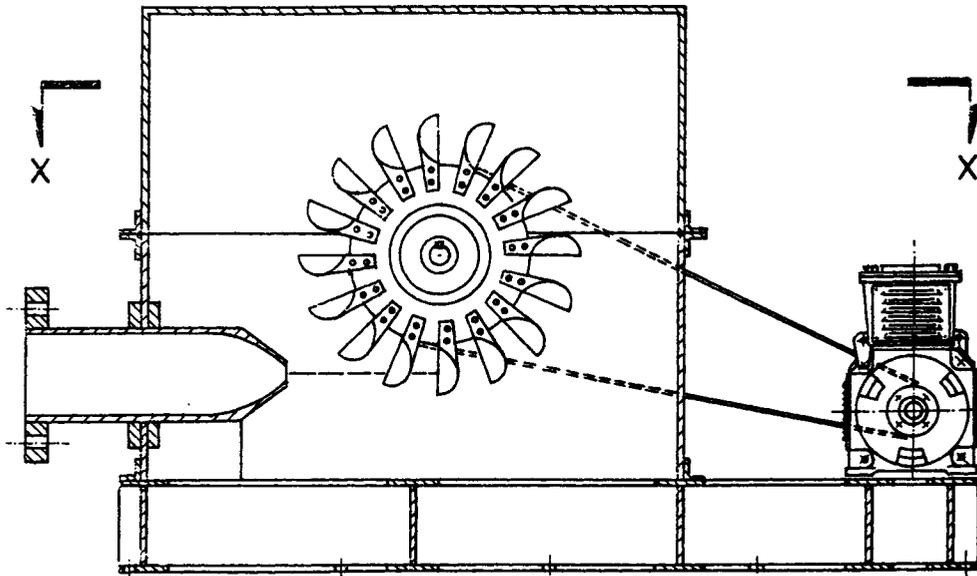
DÉTAILHE DA TUBULAÇÃO FORÇADA
SEM ESCALA

- ① GERADOR
- ② POLIA
- ③ PORTA COM 0,70 m x 2,10 m
- ④ TAMPA SEMICIRCULAR PROTETORA
- ⑤ MANCAIS
- ⑥ PAREDE DE APOIO EM CONCRETO
- ⑦ RODA PELTON
- ⑧ CORREIA
- ⑨ POLIA VOLANTE
- ⑩ PISO REVESTIDO COM CIMENTO
- ⑪ JANELA BASCULANTE 0,80 m x 0,50 m
- ⑫ CAMPAINHA DE ALARME
- ⑬ VOLTÍMETRO
- ⑭ DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO
- ⑮ LAJE DE CONCRETO ARMADO

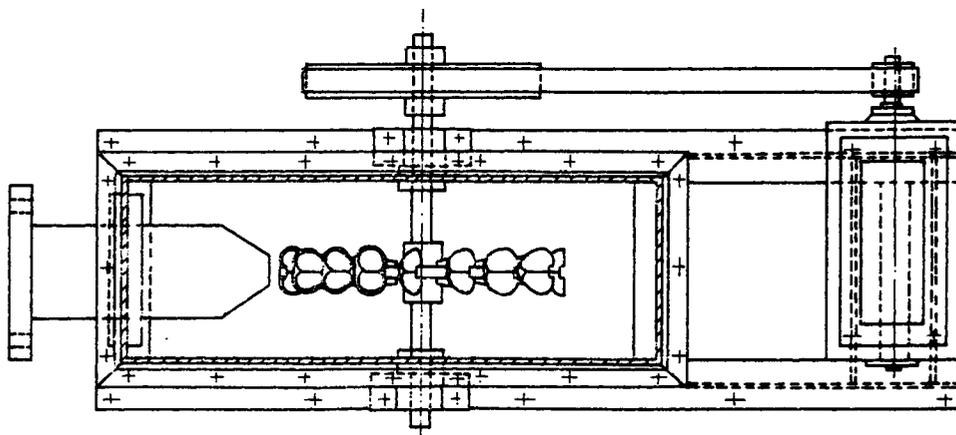
5,6.2/D

ANEXO

RODA PELTON , GERADOR E SETIA
CONJUNTO COMPACTO



PERFIL



VISTA X - X

5.6.2.2 Turbinas Francis

As turbinas Francis são utilizadas em aproveitamentos com quedas abaixo de 10 metros - Francis Caixa Aberta, e em quedas acima de 10 m - Francis Caixa Espiral.

As pequenas unidades são geralmente previstas com o eixo na posição horizontal, o que facilita a instalação e a manutenção do gerador correspondente. Por outro lado, o eixo na posição vertical apresenta a vantagem de se poder colocar o gerador acima do nível máximo da água, utilizado em alguns arranjos da turbina Francis Caixa Aberta.

A) Francis Caixa Aberta

Estas turbinas são recomendadas para aproveitamentos hidrelétricos com queda de até 10 metros. Para estas pequenas quedas a ausência da tubulação forçada e da caixa espiral simplifica a concepção e diminui o custo do equipamento.

O ANEXO 5.6.2/E dá uma idéia da disposição da turbina Francis Caixa Aberta, com o eixo horizontal e com o eixo vertical.

A-1) Turbinas Francis Caixa Aberta - Eixo Horizontal

As principais características deste tipo de turbina, quando fabricadas com rotor singelo, são:

- tubo de sucção em curva, com cone de chapa metálica;
- tampa estanque colocada na parede vertical;
- na construção e na montagem, deverão ser tomados os devidos cuidados para não haver infiltração pela tampa de vedação do eixo.

Quanto à posição da curva do tubo de sucção em relação à caixa de alimentação de água, dois tipos podem ser considerados:

- curva de sucção instalada pelo lado de dentro da caixa - FIGURA 5.6.2.2/1
- curva de sucção instalada pelo lado de fora da caixa - FIGURA 5.6.2.2/2

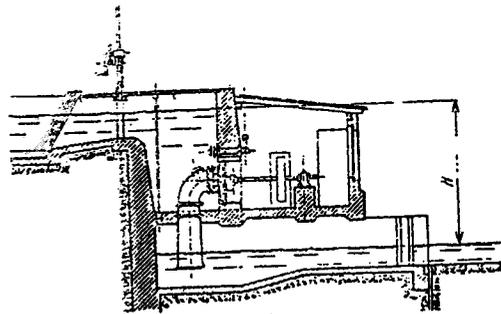


FIGURA 5.6.2.2/1

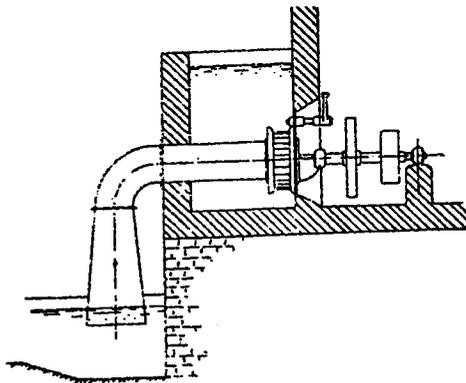


FIGURA 5.6.2.2/2

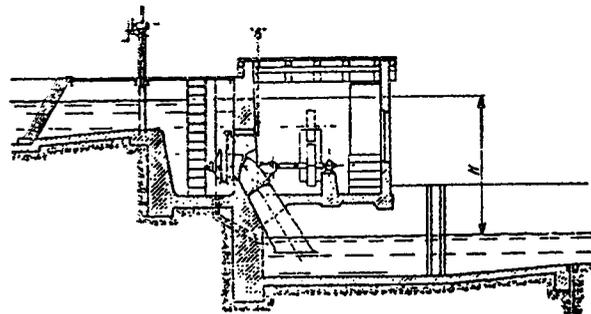


FIGURA 5.6.2.2/3

Para as turbinas que possuem rotores duplos, o tubo de sucção pode ter a forma segundo a FIGURA 5.6.2.2/4

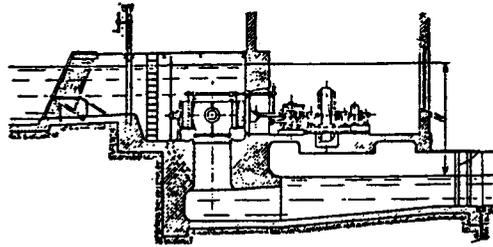


FIGURA 5.6.2.2/4

A-2) Turbinas Francis Caixa Aberta - Eixo Vertical

As principais características deste tipo de turbina são:

- tubo de sucção reto, em forma de cone blindado de chapa metálica - FIGURA 5.6.2.2/5.
- laje do piso da turbina com devida proteção contra infiltração e vedação dos eixos da turbina e hastes de manobra;
- nos casos onde não há necessidade da instalação do cone blindado na saída do rotor, a forma é feita diretamente na alveolaria, com perfil hidráulico apropriado - FIGURAS 5.6.2.2/6 a 8.

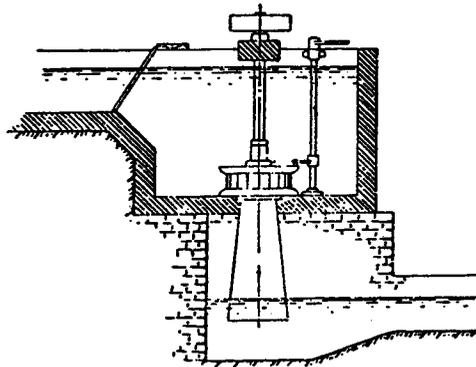


FIGURA 5.6.2.2/5

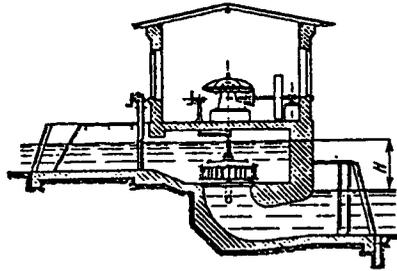


FIGURA 5.6.2.2/6

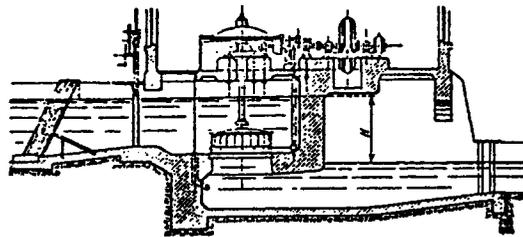


FIGURA 5.6.2.2/7

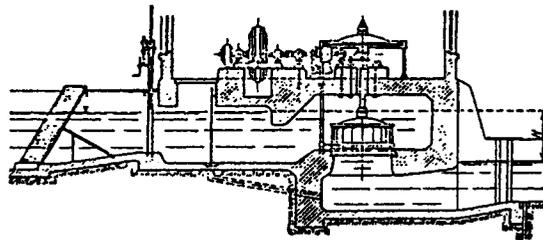


FIGURA 5.6.2.2/8

O rendimento hidráulico das turbinas Francis Caixa Aberta é inferior àquele correspondente às turbinas Francis Caixa Espiral, operando sob as mesmas quedas. Esta perda de rendimento é justificada pela maior aspereza das paredes, forma hidráulica não orientada, ocasionando vórtices localizados e maiores perdas de pressão no distribuidor, mas que é plenamente compensada pelo custo mais baixo devido à simples concepção do projeto e construção.

As turbinas Francis instaladas com caixa aberta apresentam baixas velocidades de rotação e em muitos casos há necessidade de se instalar um dispositivo multiplicador de velocidade para o acoplamento com o gerador, o que pode ser feito através de polias, coroa e pinhão. (FIGURAS 5.6.2.2/6 a 8).

B) Francis Caixa Espiral

Para quedas acima de 10 metros é recomendável que a turbina Francis possua caixa espiral, normalmente feita em chapa de aço soldada ou em ferro fundido.

O aspecto e disposição de uma turbina Francis Espiral está mostrado no ANEXO 5.6.2/F.

As letras do ANEXO 5.6.2/F indicam as dimensões básicas aproximadas, que possibilitam o dimensionamento da casa de máquinas e do canal de fuga (ver item 5.7). Todas as medidas são obtidas multiplicando-se os coeficientes da tabela pelo valor do diâmetro nominal de saída do rotor da turbina D_n , obtido através da seguinte fórmula:

$$D_n = 0,3 H^{1/8} Q + 1,05 H$$

sendo:

D_n = diâmetro interno na saída do rotor da turbina, em m

H = queda bruta, em m

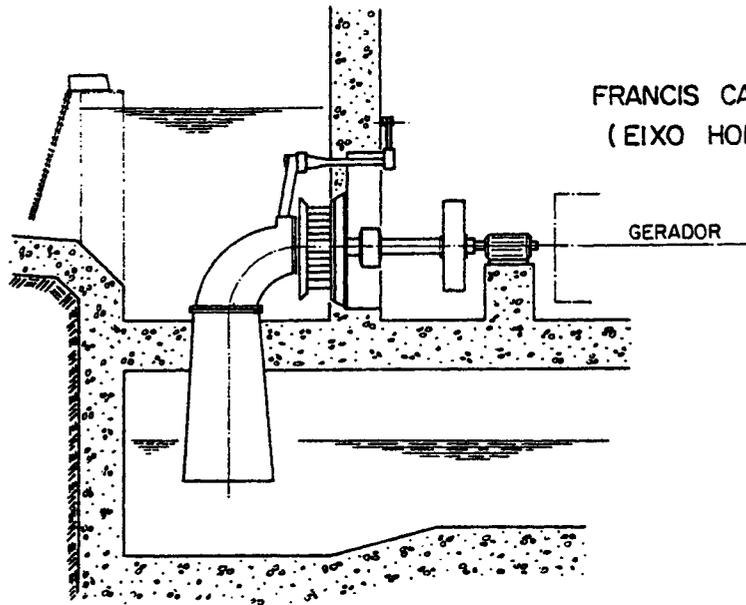
Q = vazão nominal, em m^3/s

Os valores de $H^{1/8}$ podem ser obtidos através da TABELA 5.6.2/I, para os valores mais usuais de H.

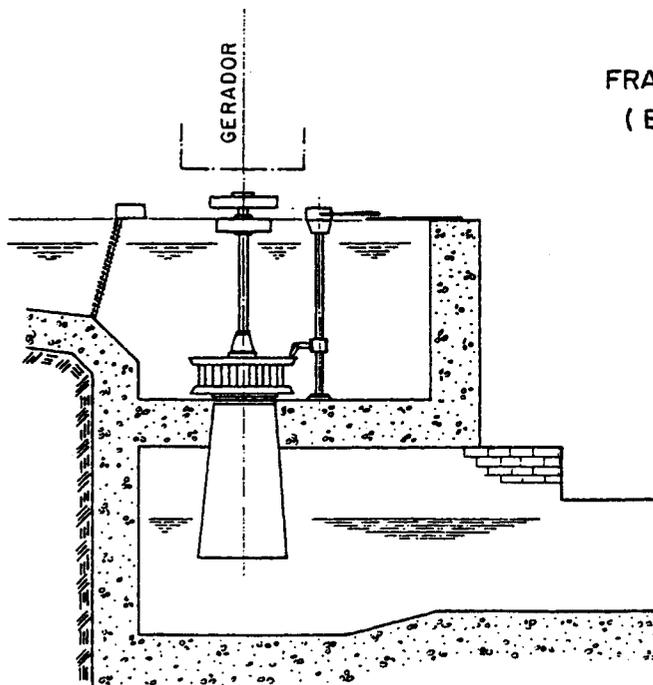
5.6.2/E

ANEXO

FRANCIS CAIXA ABERTA
(EIXO HORIZONTAL)

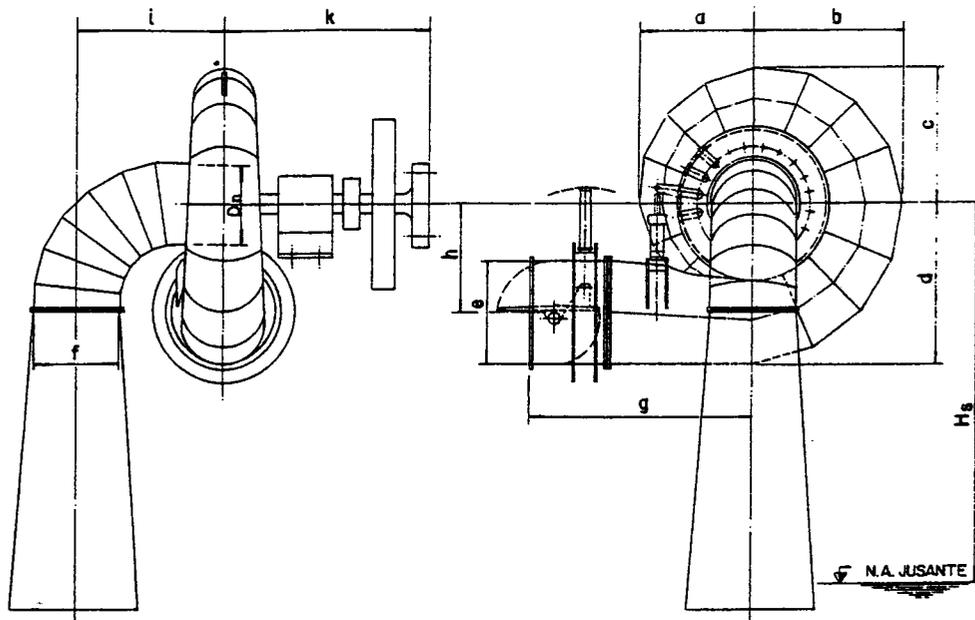


FRANCIS CAIXA ABERTA
(EIXO VERTICAL)



5.6.2/F

ANEXO



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 FRANCIS COM CAIXA ESPIRAL

VALORES DE $H^{1/8}$

TABELA 5.6.2/I

H (m)	FRAÇÃO DECIMAL DE H (m)									
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	1,0000	1,0120	1,0231	1,0333	1,0430	1,0520	1,0605	1,0686	1,0762	1,0835
2	1,0905	1,0972	1,1036	1,1097	1,1156	1,1214	1,1269	1,1322	1,1374	1,1424
3	1,1472	1,1519	1,1565	1,1610	1,1653	1,1695	1,1736	1,1777	1,1816	1,1854
4	1,1892	1,1929	1,1965	1,2000	1,2035	1,2068	1,2102	1,2134	1,2166	1,2198
5	1,2228	1,2259	1,2289	1,2318	1,2347	1,2375	1,2403	1,2430	1,2457	1,2484
6	1,2510	1,2536	1,2562	1,2587	1,2612	1,2636	1,2660	1,2684	1,2708	1,2731
7	1,2754	1,2776	1,2799	1,2821	1,2843	1,2864	1,2886	1,2907	1,2927	1,2948
8	1,2968	1,2989	1,3008	1,3028	1,3048	1,3067	1,3086	1,3105	1,3124	1,3142
9	1,3161	1,3179	1,3197	1,3215	1,3232	1,3250	1,3267	1,3285	1,3302	1,3318
10	1,3335	1,3352	1,3368	1,3385	1,3401	1,3417	1,3433	1,3448	1,3464	1,3480
11	1,3495	1,3510	1,3525	1,3541	1,3555	1,3570	1,3585	1,3600	1,3614	1,3628
12	1,3643	1,3657	1,3671	1,3685	1,3699	1,3712	1,3726	1,3740	1,3753	1,3767
13	1,3780	1,3793	1,3806	1,3819	1,3832	1,3845	1,3858	1,3870	1,3883	1,3896
14	1,3908	1,3920	1,3933	1,3945	1,3957	1,3969	1,3981	1,3993	1,4005	1,4017
15	1,4029	1,4040	1,4052	1,4063	1,4075	1,4086	1,4097	1,4109	1,4120	1,4131
16	1,4142	1,4153	1,4164	1,4175	1,4186	1,4197	1,4207	1,4218	1,4229	1,4239
17	1,4250	1,4260	1,4271	1,4281	1,4291	1,4301	1,4312	1,4322	1,4332	1,4342
18	1,4352	1,4362	1,4372	1,4382	1,4391	1,4401	1,4411	1,4420	1,4430	1,4440
19	1,4449	1,4459	1,4468	1,4478	1,4487	1,4496	1,4505	1,4515	1,4524	1,4533
20	1,4542	1,4551	1,4560	1,4569	1,4578	1,4587	1,4596	1,4605	1,4614	1,4622
21	1,4631	1,4640	1,4648	1,4657	1,4666	1,4674	1,4683	1,4691	1,4700	1,4708
22	1,4716	1,4725	1,4733	1,4741	1,4750	1,4758	1,4766	1,4774	1,4782	1,4790
23	1,4798	1,4806	1,4814	1,4822	1,4830	1,4838	1,4846	1,4854	1,4862	1,4870
24	1,4877	1,4885	1,4893	1,4900	1,4908	1,4916	1,4923	1,4931	1,4938	1,4946

Exemplo: Para $H = 15,80$, $H^{1/8} = 1,4120$

5.6.2.3 Turbinas Banki

A turbina Banki é considerada uma turbina na qual o fluxo d'água atravessa o rotor cilíndrico transversalmente com duas passagens pelas pás. (ver ANEXO 5.6.2/G)

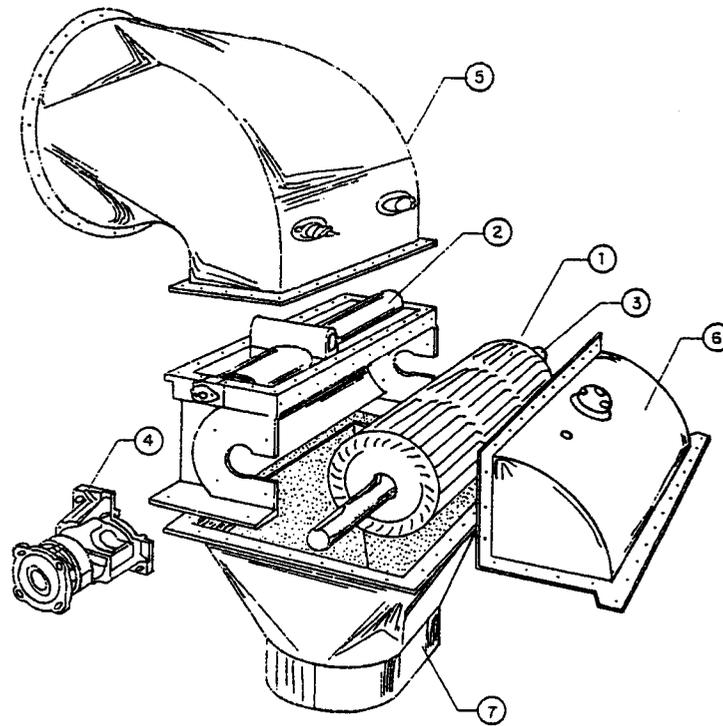
Aplicação - no ANEXO 5.6.2/A para escolha do tipo de turbina, a faixa abrangida pela turbina Banki se superpõe de um modo geral à faixa das turbinas Francis. A faixa em que a turbina Banki pode operar é muito ampla, chegando até quedas próximas a 200 m e com descargas a partir de alguns litros por segundo (10ℓ/s).

Construção - a turbina Banki é formada por um injetor ou tubulação, que contém uma ou duas palhetas diretrizes, encarregadas de regular o fluxo de água que entra na turbina. O seu rotor tem a forma de um cilindro em cuja periferia estão dispostas as pás, recebendo um duplo impulso, correspondente à entrada e à saída do fluxo d'água no rotor.

Dimensões - as dimensões definitivas serão estabelecidas pelo fabricante da turbina.

5.6.2/G

ANEXO



- 1 - ROTOR
- 2 - DISTRIBUIDOR
- 3 - TAMPA LATERAL
- 4 - MANCAL COMBINADO , DE ENCOSTO E DE APOIO
- 5 - TAMPA SUPERIOR
- 6 - EIXO
- 7 - POÇO INFERIOR DA TURBINA

5.6.2.4 Turbina Hélice

A turbina Hélice é utilizada normalmente em quedas inferiores a 12 metros. Do mesmo modo que as turbinas Francis, também pode ser instalada em caixa aberta ou no concreto com caixa do tipo semi-espiral.

Para as microcentrais hidrelétricas, o tipo convencional desta turbina não é quase empregado porque, para potências até 100 kW, cobre uma estreita faixa de aplicação e, por isso, não foi considerado neste Manual e nem apresentado no ANEXO 5.6.2/A.

Outros tipos de turbina Hélice, não convencionais, estão sendo projetados por diversas entidades para microcentrais geradoras, mas ainda com resultados não confiáveis e sem fabricação adotada no Brasil.

5.6.3 Sistema de Regulação

O sistema de regulação tem por finalidade manter a rotação e, portanto, a frequência da unidade geradora dentro dos limites considerados aceitáveis, em função da variação da demanda da rede elétrica. Nas microcentrais hidrelétricas esta função é desempenhada pelos reguladores de velocidade.

5.6.3.1 Reguladores de Velocidade

Os reguladores automáticos de velocidade geralmente empregados nas microcentrais hidrelétricas são do tipo mecânico, constituídos por um servo-mecanismo acionado por óleo pressurizado, comandado por um pêndulo centrífugo. O pêndulo detecta qualquer variação da velocidade (rotação) da unidade geradora, causada por variação da carga na rede, pondo em funcionamento o servo-mecanismo de acionamento do distribuidor da turbina. O distribuidor regula o fluxo de água através da turbina, controlando deste modo a variação da potência da mesma, de acordo com a variação da carga na unidade geradora.

Na definição da aquisição do regulador de velocidade, deve ser levado em conta o custo, a distância da central até a carga e o tipo de carga. Levando-se em conta unicamente o fator custo, recomendamos a utilização do regulador de velocidade para turbinas de potência acima de 20 kW.

Para turbinas menores quando o custo do regulador se tornar relativamente alto, a regulação da frequência poderá ser feita pelo controle manual da vazão de água e/ou de carga.

O trabalho necessário para mover o distribuidor da turbina, da posição fechada até a abertura máxima, sob queda máxima, é chamado trabalho de regulação da turbina e é medido em kgf.m. São encontrados normalmente no mercado, reguladores de 25 kgf.m. a

2500 kgf.m, o que atende a toda a faixa de microcentrais.

5.6.3.2 Volantes de Inércia

Nas unidades geradoras de pequena capacidade ocorre freqüentemente que o momento de inércia (GD^2) das massas girantes é insuficiente para garantir uma regulação estável, ou seja, o regulador não tem capacidade de atender às variações de carga na unidade geradora, dentro de certas condições de regulação previamente impostas, considerando-se apenas o GD^2 do gerador e da turbina. Torna-se necessário então recorrer ao emprego de volantes de inércia, que poderão ser fabricados em ferro fundido ou aço fundido. Estes volantes são normalmente colocados na extensão do eixo do gerador, sendo sua massa e seu diâmetro determinados pelo fabricante da turbina, em função das características da máquina oferecida.

5.6.4 Válvulas Borboleta

Deverá ser prevista a utilização de válvula borboleta nas microcentrais que tenham tubulação forçada metálica. Esta válvula tem a função de bloquear a entrada do fluxo d'água na turbina para fins de manutenção, bem como proporcionar um recurso adicional de parada da turbina em caso de falha do sistema normal.

A válvula borboleta é instalada na casa de máquinas, entre tubulação forçada e a caixa espiral da turbina, através de ligações flangeadas.

Estas válvulas são de fácil instalação e manutenção, proporcionam operação rápida e boa estanqueidade, apresentando características simples e econômicas. São facilmente encontradas no mercado nacional, desde que sejam especificadas nas dimensões padronizadas pelos fabricantes.

São operadas manualmente através de uma alavanca ou de um volante incorporado a um mecanismo de redução.

Recomenda-se que a válvula borboleta faça parte do fornecimento do fabricante da turbina, face à ligação operacional entre ambas.

5.6.5 Dispositivo de Içamento

Deverão ser estudadas com o fabricante da turbina as especificações do tipo de dispositivo de içamento mais adequado, do ponto de vista custo x benefício, para auxiliar os serviços de içamento na montagem de instalação e de manutenção das peças mais pesadas dos principais equipamentos contidos na casa de máquinas,

cais como: turbina, gerador, válvula borboleta, eixos, mancais, volante de inércia, polia, regulador de velocidade e quadros elétricos.

Roldanas, moitões e talha manual são as opções de tipos de dispositivos de içamento de uso comum em casas de máquinas de micro centrais.

A escolha mais adequada do tipo a ser empregado dependerá basicamente dos pesos dos equipamentos envolvidos na montagem.

A determinação da capacidade de levantamento do dispositivo poderá ser feita tomando-se o peso da peça mais pesada que compõe a turbina e o gerador, obtido através de informação prestada pelos respectivos fabricantes. Esse valor deverá ser acrescido de 20% (vinte por cento) como segurança da sobrecarga.

A viga I de aço, de sustentação do dispositivo, permite duas soluções, quanto à maneira de apoiá-la, a saber:

- simplesmente apoiada em suas extremidades sobre as paredes laterais da casa de máquinas, posicionada longitudinalmente por sobre a linha de centro do grupo turbina gerador, podendo ser deslocada manualmente para as laterais, para permitir a operação do dispositivo por sobre o regulador da velocidade da turbina (se houver).
- fixada em um pórtico móvel, equipado com rodas de borracha giratórias, para possibilitar sua movimentação em qualquer direção.

A escolha mais adequada do arranjo da estrutura de apoio do dispositivo deverá ser analisada em conjunto com o fabricante da turbina, com base na sua experiência e na disposição dos equipamentos da casa de máquinas.

5.6.6 Geradores Síncronos

5.6.6.1 Determinação da Potência, Tensão e Fator de Potência

A potência do gerador será determinada juntamente com a da turbina, definida no item 5.6.2.

O isolamento deverá ser classe B da ABNT.

O gerador deverá ser trifásico, com tensões de 220 ou 380 V entre fases, escolhendo-se preferencialmente a adotada na região.

O fator de potência deverá ser 0,8.

5.6.6.2 Determinação do Número de Pólos e Sobrevelocidades (60 Hz)

Nesta faixa de potência utiliza-se acionamento direto e indireto (correia ou redutor) do gerador, com velocidade e número de pólos conforme mostrado abaixo:

rpm	nº de pólos
900	8
1200	6
1800	4

O gerador deverá suportar uma velocidade de disparo de 180% da velocidade nominal, quando estiver acoplado a turbinas hidráulicas com queda entre 20 e 100 m.

O gerador deverá suportar uma velocidade de disparo de 230% da velocidade nominal, quando estiver acoplado a turbinas hidráulicas com queda abaixo de 20 m.

Esta velocidade de disparo significa que o conjunto turbina-gerador foi desligado da rede instantaneamente e o regulador não operou.

5.6.6.3 Regulação de Frequência

Na definição da aquisição do regulador de velocidade devem ser levados em conta o custo, a distância da central até a carga e o tipo de carga. Levando-se em conta unicamente o fator custo, recomenda-se a utilização do regulador de velocidade para turbinas de potência acima de 20 kW. Para turbinas menores, quando o custo do regulador se tornar relativamente alto, a regulação da frequência poderá ser feita pelo controle manual da vazão de água e/ou da carga.

5.6.6.4 Sistema de Excitação

O sistema deve ser capaz de manter a tensão nos terminais do gerador dentro de uma faixa razoável de regulação de tensão.

5.6.6.5 Aterramento

O neutro do gerador e o quadro de comando deverão ser solidamente aterrados. Uma haste de aterramento de cobre com 3 m de comprimento e 16 mm de diâmetro (alternativa-Cantoneira de aço galvanizado 2 m de comprimento) deverá ser enterrada para servir

de ponto de aterramento. Acrescentar sal grosso e/ou carvão mi
neral em volta da haste.

5.6.7 Quadros de Comando

Os instrumentos de medição e os dispositivos de controle neces-
sários para a operação do gerador devem ser montados no quadro
de comando do gerador.

No ANEXO 5.6.6/B apresenta-se um quadro de comando típico con-
tendo os equipamentos mostrados no diagrama trifilar do ANEXO
5.6.6/A.

5.6.8 Dispositivos de Proteção

Para proteção contra curto-circuito e sobrecarga recomenda - se
a utilização de disjuntor com dispositivo termomagnético, con-
forme mostrado no ANEXO 5.6.6/B.

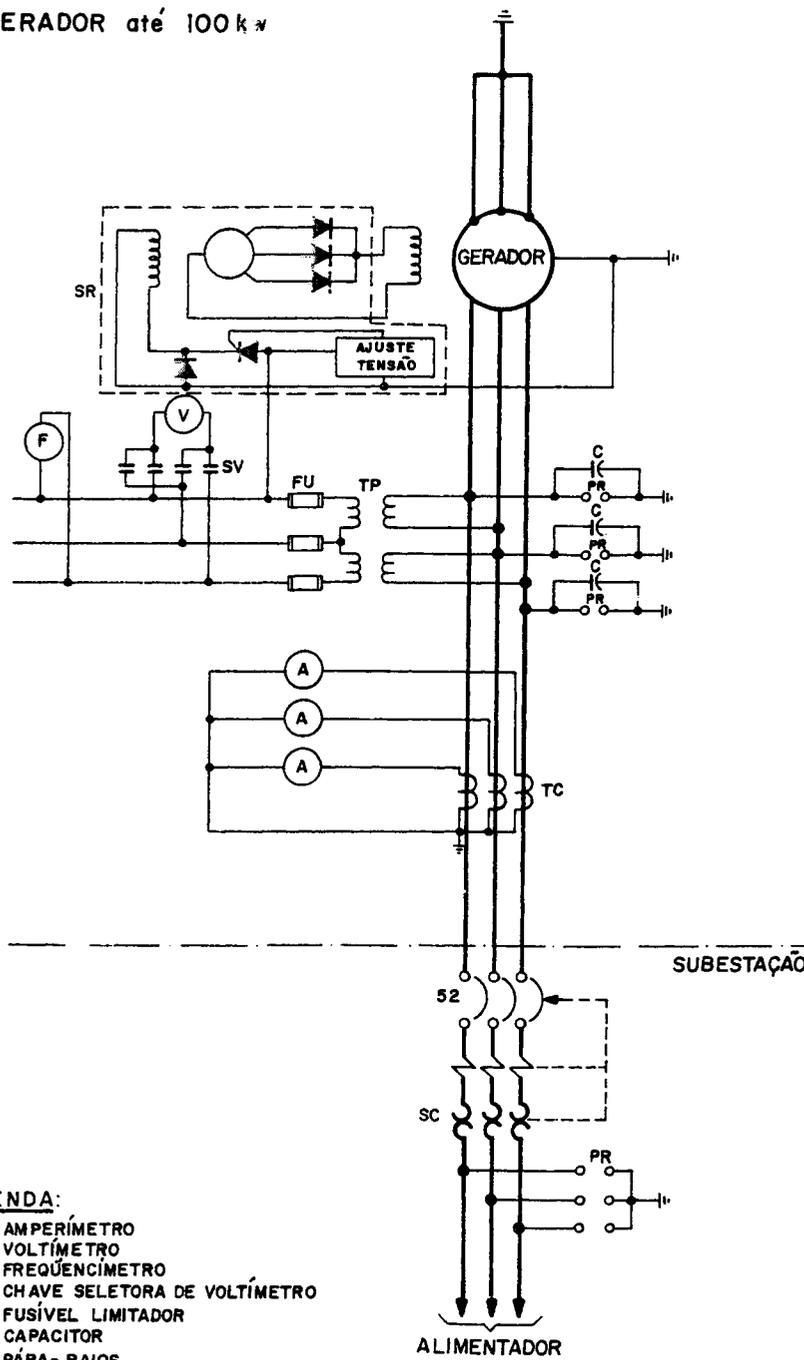
Para proteção do gerador contra sobretensões de origem atmosfé-
rica, deve-se considerar os seguintes casos:

- 1 - conexão direta do gerador à linha de transmissão;
- 2 - conexão do gerador à linha de transmissão através de trans-
formador.

No primeiro recomenda-se a instalação de pára-raios tipo distri-
bução na linha e pára-raios especiais de 650 V e capacitores
de $4 \mu F$ por fase nos terminais do gerador, conforme indicado no
ANEXO 5.6.6/C figura a. No segundo caso recomenda-se a instala-
ção de pára-raios somente junto ao transformador elevador, con-
forme mostrado no ANEXO 5.6.6/C, figura b.

Geradores não ligados a linhas aéreas não necessitam do capaci-
tor e pára-raios para sua proteção.

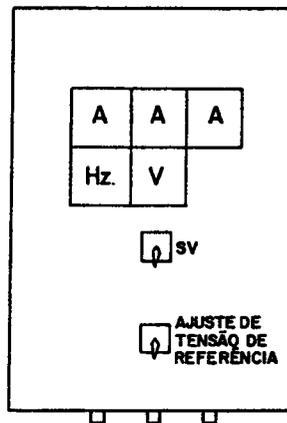
GERADOR até 100 kVA

**LEGENDA:**

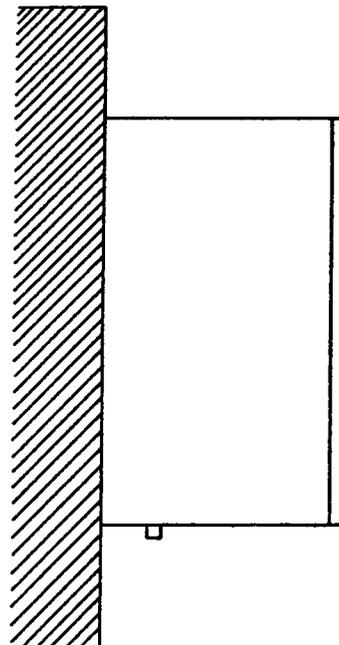
- A - AMPERÍMETRO
- V - VOLTÍMETRO
- F - FREQUÊNCÍMETRO
- SV - CHAVE SELETORA DE VOLTÍMETRO
- FU - FUSÍVEL LIMITADOR
- C - CAPACITOR
- PR - PÁRA-RAIOS
- TP - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
- TC - TRANSFORMADOR DE CORRENTE
- 52 - DISJUNTOR
- SO - PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA
- SR - SISTEMA DE EXCITAÇÃO E REGULÇÃO DE TENSÃO

VISTA FRONTAL

QUADRO DE COMANDO



VISTA LATERAL

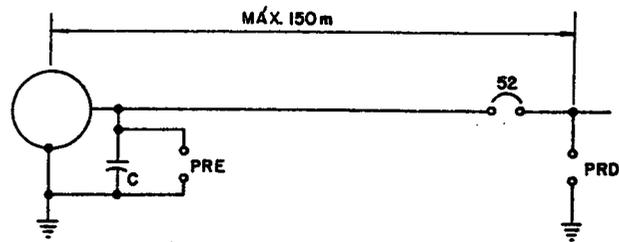


LEGENDA:

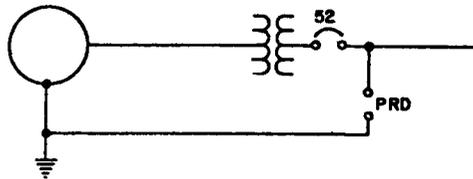
- A - AMPERÍMETRO
- Hz - FREQÜENCÍMETRO
- V - VOLTÍMETRO
- SV - SELETORA DE VOLTÍMETRO

GERADOR ATÉ 100 kW

ANEXO



a - Gerador ligado diretamente à linha



b - Gerador ligado à linha através de transformador

LEGENDA

- C - CAPACITOR
 PRE - PÁRA-RAIO TIPO ESPECIAL
 PRD - PÁRA-RAIO TIPO DISTRIBUIÇÃO

O fabricante deverá fornecer a turbina hidráulica e os equipamentos periféricos auxiliares, tais como regulador de velocidade (se houver), válvulas e inclusive o gerador (se for o caso) com respectivas chaves de comando e proteção, dentro da casa de máquinas, respeitando alguns critérios óbvios de segurança quanto à operação da máquina.

Esta segurança deverá ser observada pelo fabricante, representado pela pessoa do montador na obra, que deverá transmitir para o futuro operador da central ou proprietário, os critérios de operação, justamente para prevenir uma operação indevida da máquina, o que poderá acarretar uma falha na garantia do equipamento oferecido.

O fabricante deverá garantir, no mínimo, os seguintes valores oferecidos na sua proposta:

- potência de saída do gerador, mediante uma medida externa por meio de um watímetro, por ocasião do 1º giro da máquina;
- voltagem de saída do gerador, mediante uma medida externa por meio de um voltímetro;
- rotação da máquina, medida por meio de um aparelho externo em algum lugar do eixo principal do sistema.
- medida da rpm com a máquina "em vazio";
- medida da rpm com a máquina "à plena carga".

Esta garantia deverá proteger tanto o proprietário quanto o fabricante do equipamento.

O fabricante deverá ainda dar garantia quanto a peças de reposição dentro de um determinado período contratual, após a geração de energia, bem como mandar um representante com experiência suficiente à obra para dar apoio ao pessoal de operação dentro do período de garantia.

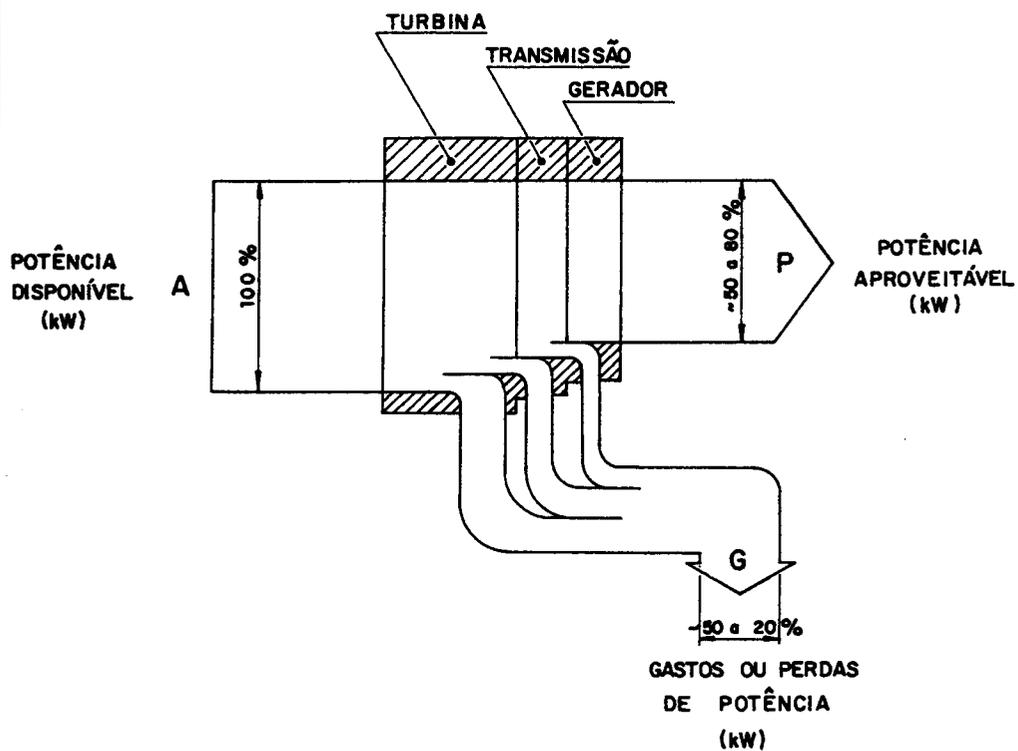
Durante algum tempo após a primeira tomada de carga deverá ser estabelecido um prazo de garantia oferecido pelo fabricante e exigido pelo proprietário para que se cumpra o devido contrato de fornecimento do equipamento. Este prazo deverá fazer parte da proposta do fabricante e, principalmente, do contrato a ser assinado pelo proprietário, para que o último seja plenamente garantido quanto ao equipamento que está sendo adquirido.

Como valor razoável para o nível de potência para microcentrais (max. de 100 kW), esta garantia pode ser de 6 (seis) meses após a primeira tomada de carga, ou seja, o fabricante deverá garantir os valores da potência, voltagem e rotação até seis meses

após a 1ª. tomada de carga do sistema.

O esquema realístico para esclarecimento do proprietário quanto à potência fornecida pelo equipamento adquirido, em termos globais da instalação, encontra-se ilustrado no ANEXO 5.6.9/A.

FLUXO DE ENERGIA EM FORMA DE ESQUEMA PARA MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS



RENDIMENTO
GLOBAL DA USINA

$$\eta = \frac{P}{A}$$

OBJETIVO FINAL DA INSTALAÇÃO É A CONVERSÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA TOTAL (A) EM ENERGIA ELÉTRICA (P), EXPRESSA COMO RENDIMENTO DA CENTRAL (η).

5.7

Casa de Máquinas e Canal de Fuga

5.7.1

Casa de Máquinas

A casa de máquinas é a edificação que abriga os grupos geradores destinados à produção de energia elétrica, bem como os equipamentos auxiliares necessários ao funcionamento da central hidrelétrica.

A posição da casa de máquinas em relação à câmara de carga e ao canal de fuga, ou seja, local onde se deve restituir as águas turbinadas ao rio, é de suma importância, devido basicamente aos custos envolvidos. Uma vez que a melhor posição da casa de máquinas seja estabelecida, deve ser também verificada com bastante cuidado a cota do seu piso, de forma a evitar ser atingido pela cheia do rio.

No caso da instalação de uma turbina do tipo Francis, se as condições topográficas do terreno forem favoráveis ao afastamento da casa de máquinas da margem do rio, tornando-a mais próxima da tomada d'água ou câmara de carga e, com isso, diminuindo o comprimento da tubulação forçada, sem perder excessivamente a altura de queda, pode-se optar por uma casa de máquinas dotada de um canal de fuga com soleira afogadora para o tubo de sucção. Neste caso, ao invés do nível natural do rio, será obtido artificialmente um nível d'água de restituição das águas turbinadas, que serão encaminhadas para o rio através de um pequeno canal aberto no terreno ou, se houver, através de um talvegue existente entre a casa de máquinas e o rio. O mesmo pode ser efetuado no caso das instalações de turbinas de impulsão (Pelton, Banki, etc) e, nesses casos, não é necessário a construção da soleira afogadora.

Definida a posição da casa de máquinas e a posição da turbina, do ponto de vista hidráulico, pode-se avaliar a disposição dos equipamentos eletromecânicos. Importante salientar que a experiência dos fabricantes de turbinas será necessária para ajudar na melhor definição da posição da casa de máquinas, bem como na disposição física, em planta e em elevação, dos equipamentos contidos na casa de máquinas.

Uma vez estudada e acertada a disposição física em planta e em elevação, deve-se então procurar uma solução compatível de espaço ao redor dos equipamentos, para efeito de montagem e possibilidade de futura manutenção (possíveis desmontagens dos equipamentos), o que então definirá o espaço útil interno da casa de máquinas.

Uma vez estabelecido o arranjo físico dos equipamentos contidos na casa de máquinas, tanto em planta como em elevação, procura-se dimensionar convenientemente a parte estrutural da mesma. Os fabricantes de turbinas fornecem desenhos onde são detalhados os dimensionamentos e posições de todas as fundações dos equipa-

mentos contidos na casa de máquinas.

O projetista deve considerar que qualquer sofisticação acarretará custos adicionais que podem não ser compatíveis com a função da casa de máquinas, onerando desnecessariamente o custo da mesma.

A) Aspectos Econômicos e Arquitetônicos

A preocupação da economia deve orientar o projeto da casa de máquinas. O método construtivo deve permitir, no menor prazo, a execução da cobertura e de um dispositivo simples de elevação e/ou movimentação das peças e acessórios mais pesados do grupo gerador, durante a fase de construção e montagem. O fabricante da turbina deverá ser consultado para definir o esquema de montagem desse equipamento.

A superestrutura deve ser construída em função dos materiais disponíveis nas proximidades da construção e nas condições mais econômicas.

Os aspectos arquitetônicos podem ser desconsiderados desde que sejam respeitadas as condições mínimas de estética. A construção de uma área de montagem específica é desnecessária, por questão de economia; a proteção e abrigo de peças e equipamentos armazenados durante o período de construção, que não possam permanecer expostos ao tempo, poderão efetuar-se em galpão coberto, situado nas imediações da casa de máquinas.

B) Estruturas

As casas de máquinas consideradas neste Manual são do tipo "exterior" cobertas.

A infra-estrutura é função do circuito hidráulico e do tipo de turbina e a superestrutura é constituída pelas áreas destinadas à instalação do equipamento eletromecânico e de um pequeno banheiro.

- Infra-estrutura

a) Fundações

O circuito hidráulico de alimentação da turbina e o de restituição das águas geralmente são dispostos no lado do talude de margem do rio; o poço do tubo de sucção da turbina pode ser revestido com pedra ou executado em concreto; o fundo, dependendo do nível de afogamento das águas, do material que compõe a fundação e da velocidade do escoamento à saída do tubo de sucção, poderá dispensar revestimento.

As fundações para as turbinas e o gerador serão em base de concreto armado, assentes sobre o piso, com as dimensões recomendadas pelos fabricantes desses equipamentos.

b) Piso

O piso da casa de máquinas deverá ser revestido com material que evite o acúmulo de poeira. Uma vez as máquinas devidamente instaladas, o piso poderá ser acabado com aplicação de lajotas, calíça assentada sobre terra batida e coberta com argamassa de cimento, ou pedras irregulares rejuntadas com argamassa de cimento e areia.

O tipo de piso deverá ser compatibilizado com a movimentação da talha, caso seja empregado um pórtico móvel equipado com rodas.

Quando o acoplamento entre turbina e gerador for por correia, existe a possibilidade de colocar o gerador em cota mais alta, sobre uma base, a fim de melhorar a proteção contra inundação.

- Superestrutura

a) Paredes

Podem ser de:

- . madeira bruta ou tratada
- . pedra de cantaria
- . alvenaria de tijolo
- . pré-moldados de concreto
- . outros

A iluminação natural interior deve ser ampla, feita com aberturas, sem fugir da estética mínima arquitetônica, o mais próximas possível do teto; não devem existir clarabóias devido ao perigo da condensação do vapor d'água. As aberturas devem auxiliar os aspectos da ventilação natural, pois o gerador cederá calor diretamente para o ambiente da casa de máquinas, podendo elevar excessivamente a temperatura do seu interior.

As dimensões da porta principal deverão ser sempre compatíveis com as dimensões do maior equipamento, ou seja, no mínimo com uma folga a mais de 0,50 m na largura e 0,30 m na altura em relação a estas dimensões do equipamento.

b) Cobertura

A cobertura da casa de máquinas deverá ser construída com materiais de baixa condutibilidade térmica, de modo a evitar a condensação de vapor e o conseqüente gotejamento. Por este motivo, deve-se evitar a utilização de materiais metálicos em regiões de clima frio. São recomendados, basicamente, os seguintes materiais:

- telha francesa, tipo canal, etc.;
- cimento amianto;
- canaleta;
- outros semelhantes.

C) Dimensionamento

a) Geral

A casa de máquinas é elemento principal da central hidrelétrica; dela partem as linhas da rede elétrica; nela estão concentrados os indicadores, dispositivos de proteção e quadro de controle e de comando necessários ao bom funcionamento da central.

Não foram consideradas as instalações para operador, além de um pequeno banheiro, nem dispositivos de comunicação à distância, como telefone ou outros, deixando-se a opção por estas facilidades operacionais por conta do proprietário.

A unidade geradora (turbina e gerador + quadro + reguladores...) são assentados em fundações de acordo com o desenho fornecido pelo fabricante da turbina. Os equipamentos são aparafusados às fundações para facilitar a remoção em caso de manutenção e reparo.

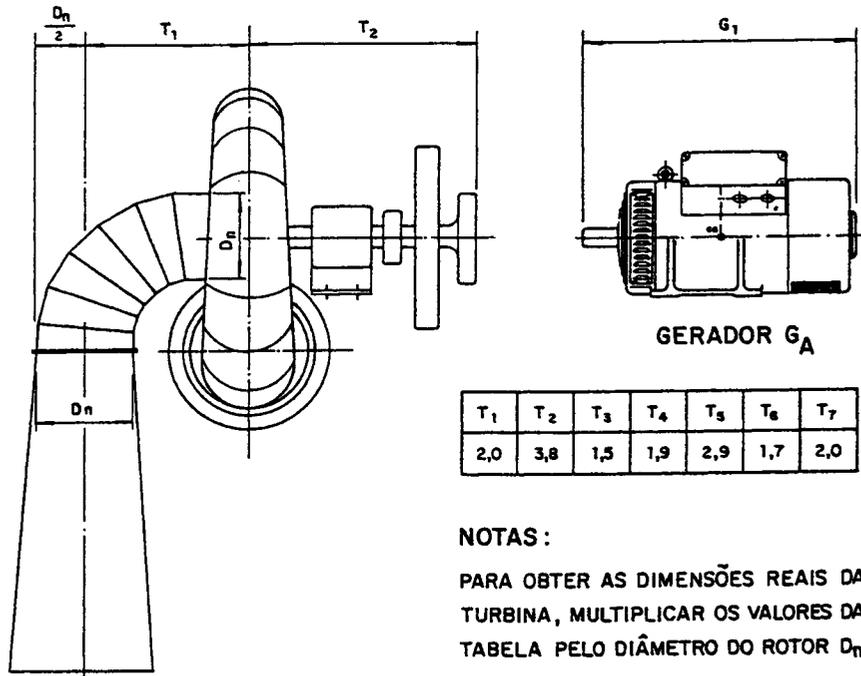
O transformador, que entrega a corrente do grupo gerador diretamente à linha de alimentação, deve ser instalado fora da casa de máquinas, devido à maior ventilação e não comprometer o equipamento eletromecânico interno em caso de incêndio.

b) Instalação Típica (Recomendável)

O dimensionamento preliminar da casa de máquinas poderá ser feito com base nos ANEXOS 5.7/A a D, nos quais indicam-se valores das áreas destinadas aos principais equipamentos e as dimensões principais da casa de máquinas típica para uma turbina Francis com caixa espiral de rotor simples. Outras variações de turbina Francis estão ilustradas nos ANEXOS 5.7/E e F. Para definição do circuito hidráulico do canal de fuga, ver o item 5.7.2.

As dimensões que estão indicadas com letras dependem das dimensões finais dos equipamentos, embora os quadros do ANEXO 5.7/D indiquem as dimensões recomendáveis. As demais são fixadas, pois elas são os valores mínimos recomendáveis para atender os requisitos de iluminação, ventilação, circulação e movimentação dos equipamentos no interior da casa de máquinas. O arranjo dos equipamentos e as dimensões finais da casa de máquinas poderão ser fornecidos pelo fabricante da turbina.

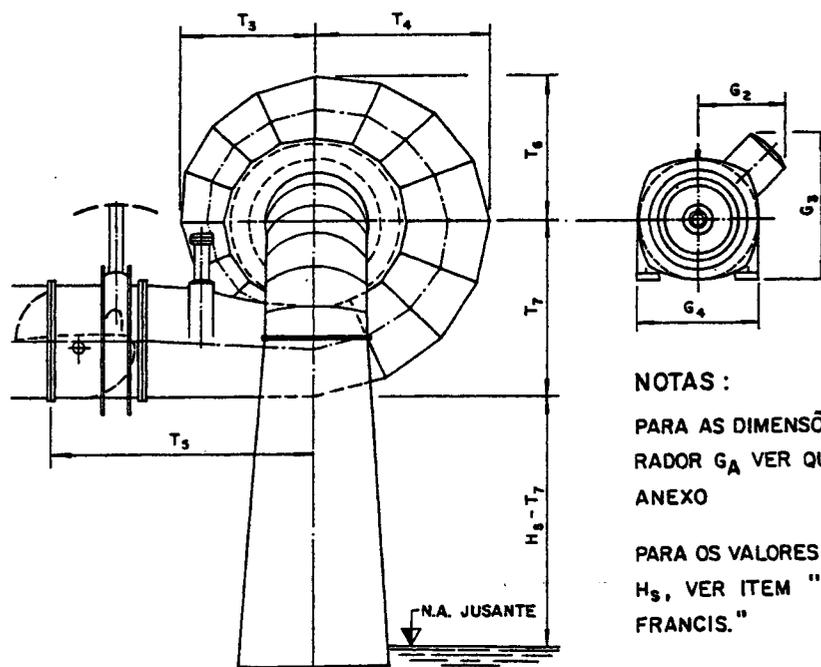
DIMENSÕES BÁSICAS DO GRUPO TURBINA FRANCIS/GERADOR PARA O DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DA CASA DE MÁQUINAS.



T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
2,0	3,8	1,5	1,9	2,9	1,7	2,0

NOTAS :

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



NOTAS :

PARA AS DIMENSÕES DO GERADOR G_A VER QUADRO DO ANEXO

PARA OS VALORES DE D_n E H_s , VER ITEM "TURBINAS FRANCIS."

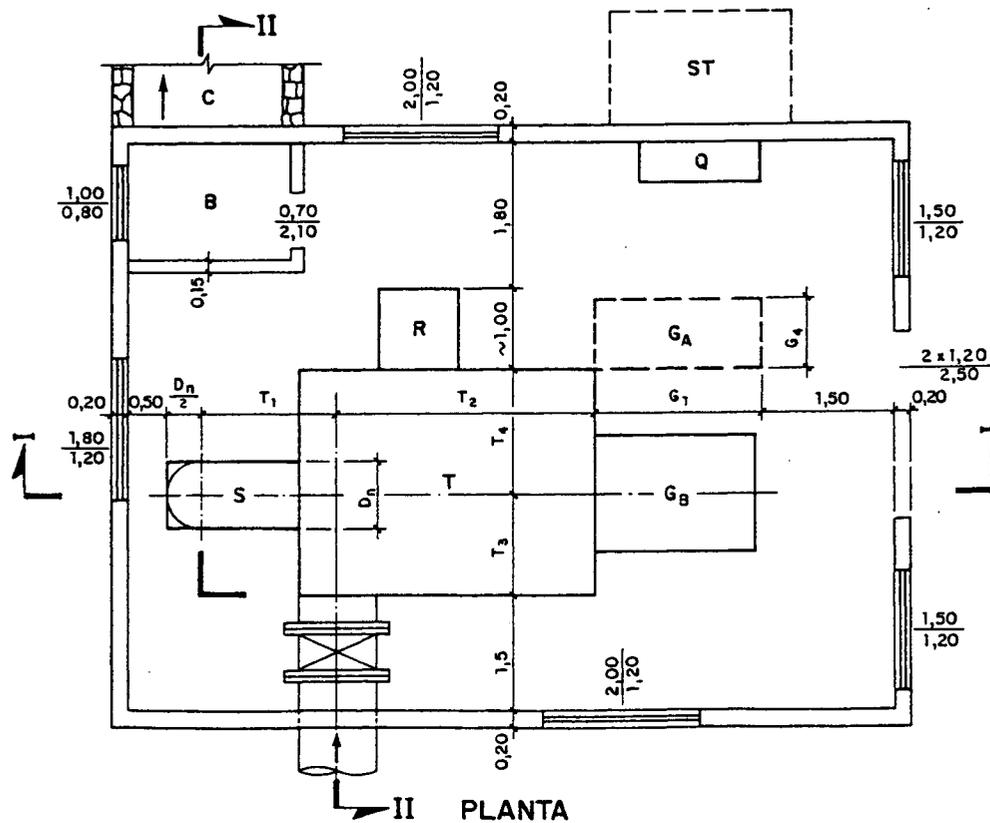
5.7/B

ANEXO

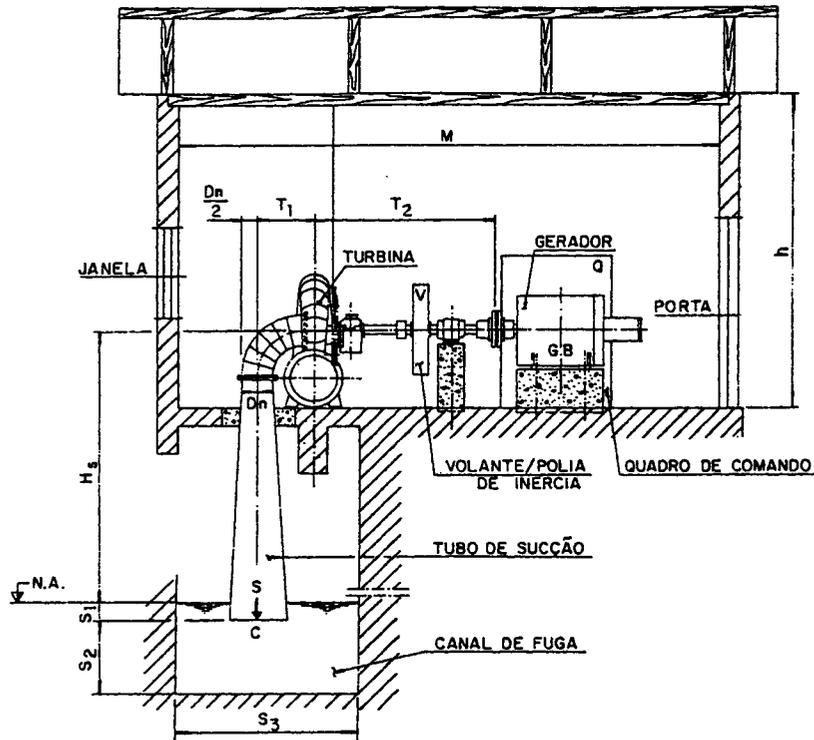
DIMENSÕES BÁSICAS DOS GERADORES G_A
 F.P. = 0,80, 4 PÓLOS, 1800 rpm^A

POTÊNCIA (kW)	G_1 (m)	G_2 (m)	G_3 (m)	G_4 (m)	POTÊNCIA (kW)	G_1 (m)	G_2 (m)	G_3 (m)	G_4 (m)
2,4	0,53	-	0,37	0,22	16	0,83	0,31	0,47	0,32
3,2	0,53	-	0,37	0,22	20	0,83	0,31	0,47	0,32
4,0	0,57	-	0,37	0,22	24	0,80	0,36	0,58	0,45
5,2	0,57	-	0,37	0,22	32	0,80	0,36	0,58	0,45
6,0	0,57	-	0,37	0,22	40	0,80	0,36	0,58	0,45
7,2	0,61	-	0,37	0,22	58	1,07	0,36	0,67	0,45
8,0	0,61	-	0,37	0,22	64	1,07	0,36	0,67	0,45
10	0,80	0,31	0,47	0,32	80	1,07	0,36	0,67	0,45
13	0,83	0,31	0,47	0,32	100	1,20	0,40	0,65	0,50

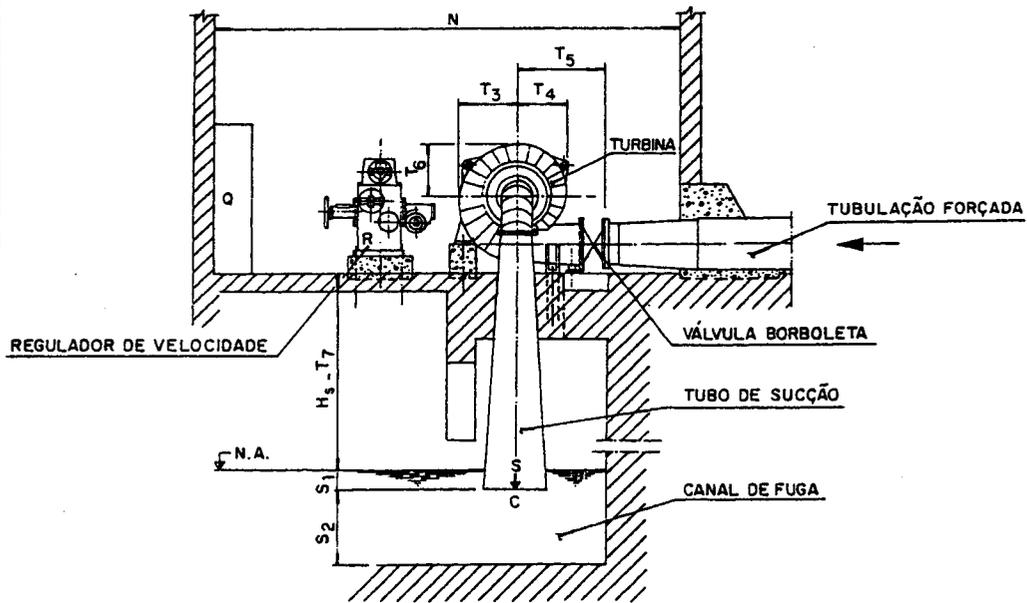
CASA DE MÁQUINAS



CASA DE MÁQUINAS - CORTES



CORTE I-I



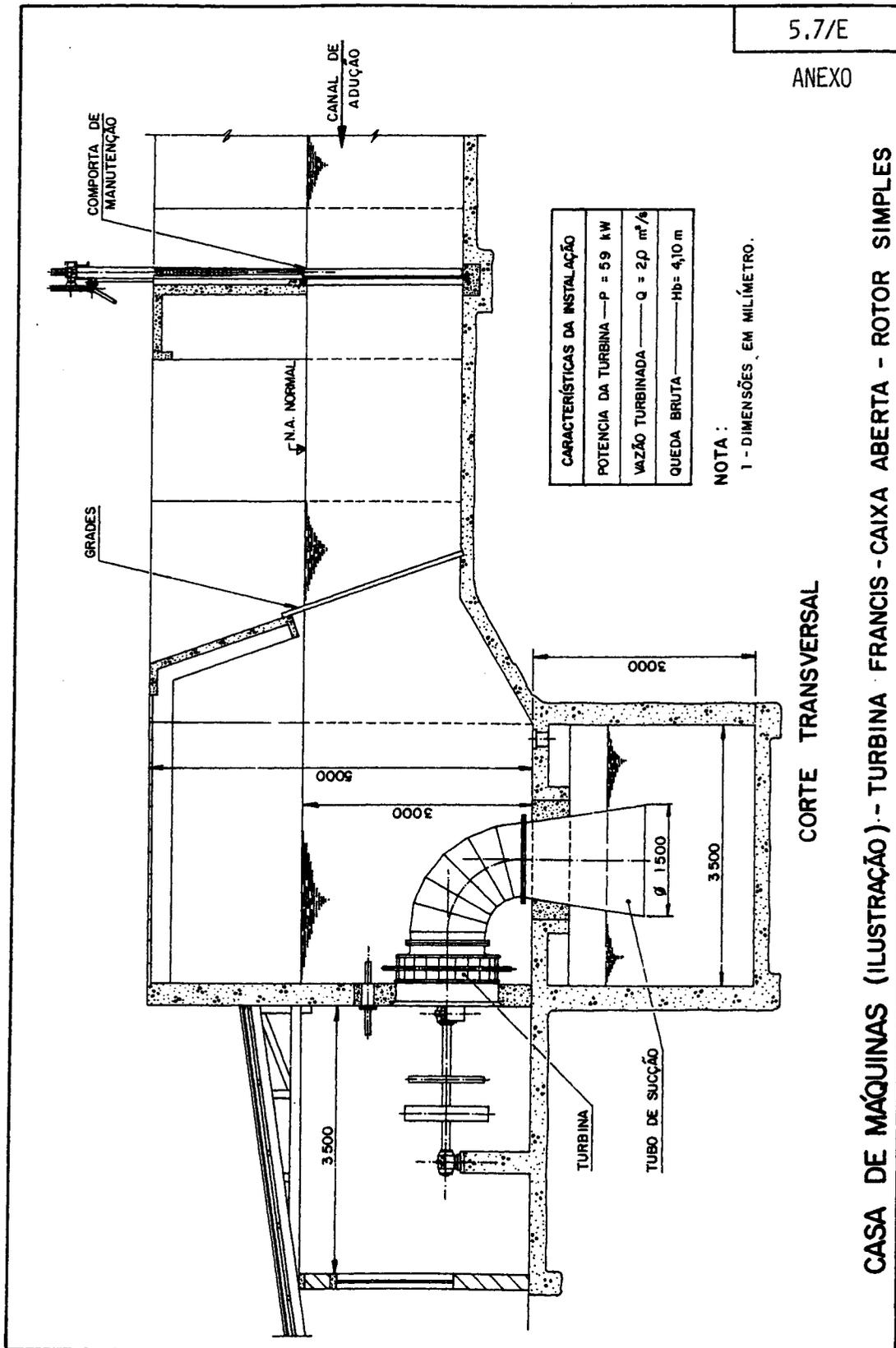
CORTE II-II

SIMBOLOGIA	DESIGNAÇÃO	OBSERVAÇÃO
T	TURBINA	FRANCIS-HORIZONTAL
V	VOLANTE/POLIA	-
R	REGULADOR DE VELOCIDADE	-
S	TUBO DE SUCÇÃO	-
C	CANAL DE FUGA	-
G _A	GERADOR COM ACOPLAMENTO INDIRETO	POR CORREIA
G _B	GERADOR COM ACOPLAMENTO DIRETO	-
Q	QUADRO DE COMANDO	-
ST	SUBESTAÇÃO	QUANDO HOUVER
B	BANHEIRO	SANITÁRIO E PIA

DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA	DIMENSÕES (m)	OBSERVAÇÃO
COMPRIMENTO	M	$\frac{D_n}{2} + T_1 + T_2 + G_1 + 2,50$	DIMENSÃO MÍNIMA
LARGURA	N	$T_3 + T_4 + 4,30$	DIMENSÃO MÍNIMA
PÉ DIREITO	h	4,50 a 5,50	-
GERADOR G _A	G ₁	-	VER ANEXO 5.7/B
GERADOR G _B	G ₂	-	CONSULTAR FABRICANTE
SUCÇÃO	H _s , S ₁ e S ₂	-	VER ITEM 5.6.2.2
SUCÇÃO	T ₇	-	VER ANEXO 5.7/A e C
CANAL DE FUGA	-	-	VER ITEM 5.7.2
SUBESTAÇÃO	-	-	CONSULTAR FABRICANTE
BANHEIRO	B	1,50 x 2,00	-

5.7/E

ANEXO



CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO

POTENCIA DA TURBINA	P = 59 kW
VAZÃO TURBINADA	Q = 20 m³/s
QUEDA BRUTA	Hb = 4,10 m

NOTA :
1 - DIMENSÕES EM MILÍMETRO.

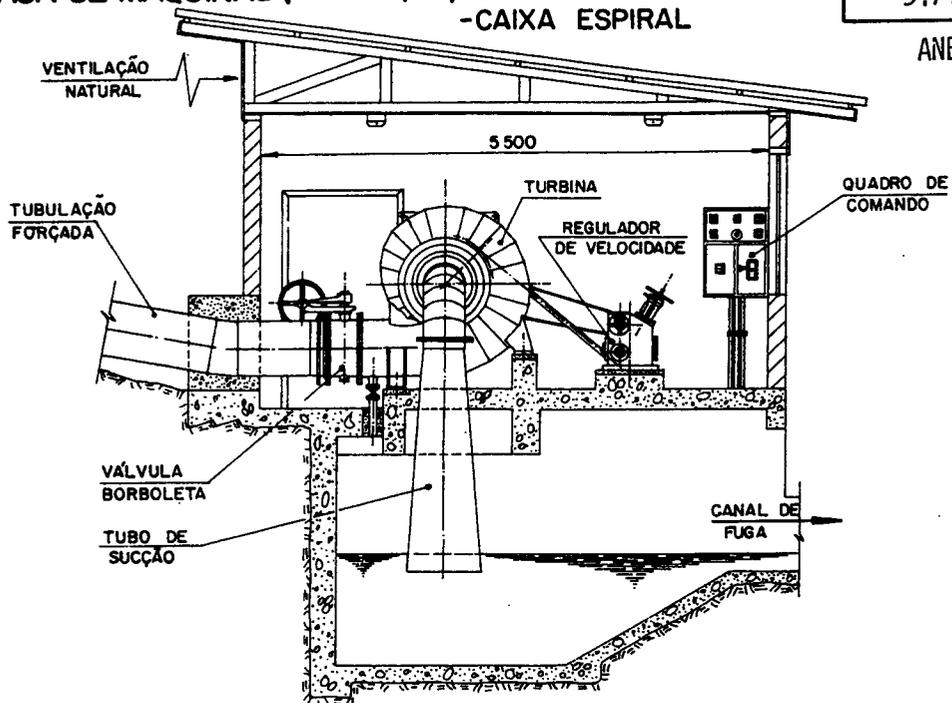
CORTE TRANSVERSAL

CASA DE MÁQUINAS (ILUSTRAÇÃO) - TURBINA FRANCIS - CAIXA ABERTA - ROTOR SIMPLES

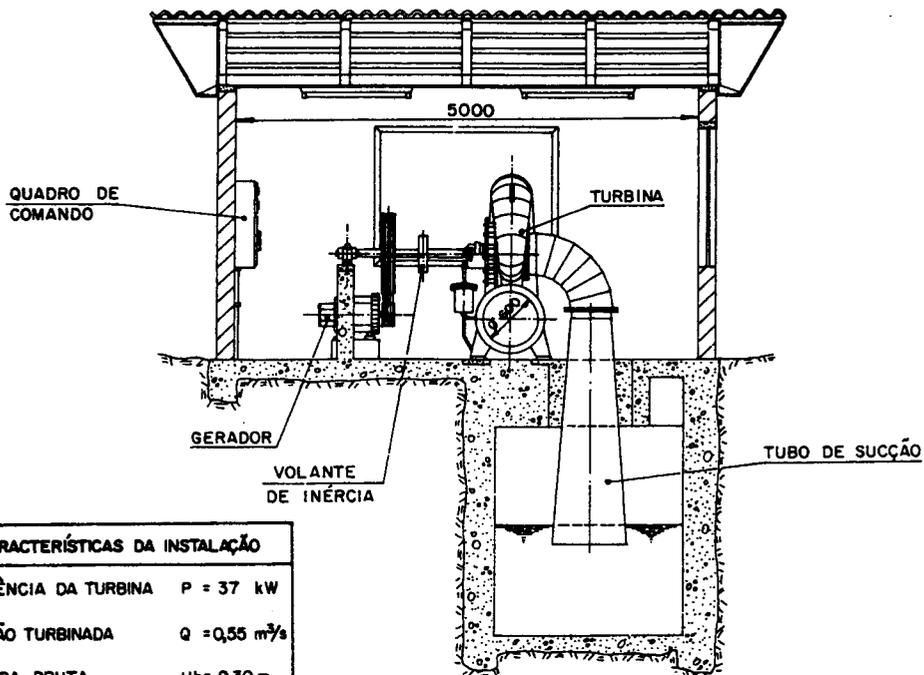
CASA DE MÁQUINAS (ILUSTRAÇÃO) - TURBINA FRANCIS -
- CAIXA ESPIRAL

5.7./F

ANEXO



CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL

CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO	
POTÊNCIA DA TURBINA	$P = 37 \text{ kW}$
VAZÃO TURBINADA	$Q = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$
QUEDA BRUTA	$H_b = 9,30 \text{ m}$

NOTA :

1 - DIMENSÕES EM MILÍMETRO.

5.7.2 Canal de Fuga

A) Dimensionamento

Canal de fuga é a estrutura que faz recondução da água ao rio após a passagem pela turbina.

Na saída da turbina, a água pode apresentar velocidade razoável e, para evitar erosões, quer no fundo do canal, quer nas paredes laterais, são apresentadas no ANEXO 5.7/G as dimensões básicas recomendadas para o canal de fuga.

No caso de turbinas que utilizem tubo de sucção, quando se deseja local a casa de máquinas afastada da margem do rio em terreno mais alto, a fim de diminuir o comprimento da tubulação forçada ou ficar fora da área de inundação, torna-se necessária a instalação de uma soleira afogadora na saída do tubo de sucção. A soleira tem como função afogar a boca do tubo de sucção com a criação de um nível d'água de restituição artificial mais alto que o nível d'água natural do rio.

A altura de afogamento do tubo de sucção deve ser fornecida pelo fabricante da turbina, que deverá também confirmar as demais medidas recomendadas pelo Manual para o canal de fuga, tendo em vista as características da turbina por ele fabricada.

B) Recomendações Construtivas

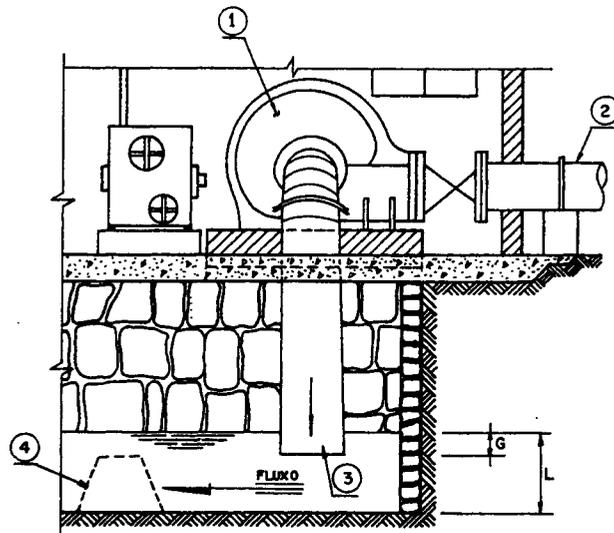
As pedras de revestimento das paredes do canal deverão ser rejuntadas com argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3 para obter revestimento de maior resistência contra erosão.

O fundo do canal, nas imediações da saída do tubo de sucção, deve ser adequadamente protegido com pedras argamassadas ou concreto, quando a área não for em rocha sã.

No caso da casa de máquinas afastada do rio, quando se tem uma soleira afogadora e o nível d'água de restituição artificial é mais alto que o nível natural, a água de restituição deve ser encaminhada ao rio através de um talvegue ou um pequeno canal adaptado ao terreno natural.

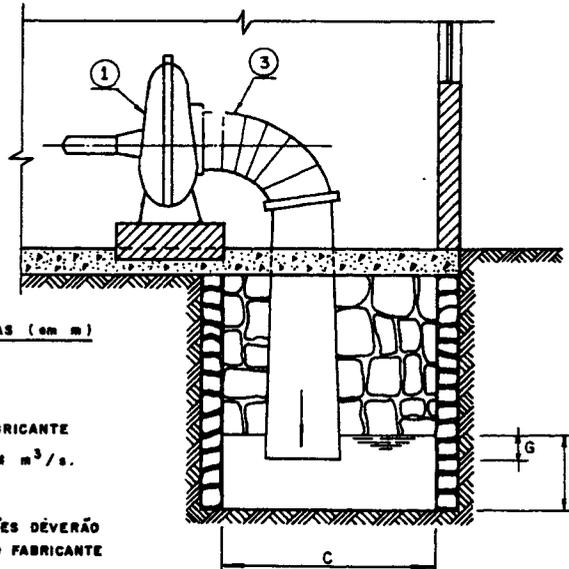
O fabricante das turbinas deverá ser consultado para indicar, em seu projeto, sobre a necessidade e o posicionamento da soleira.

CANAL DE FUGA (Dimensões básicas)



- ① TURBINA
- ② TUBULAÇÃO FORÇADA
- ③ TUBO DE SUÇÃO
- ④ SOLEIRA AFOGADORA

SEÇÃO LONGITUDINAL



DIMENSÕES RECOMENDADAS (em m)

$$L = 0,1 Q + 1,30$$

$$C = 0,05 Q + 2,30$$

G = FORNECIDO PELO FABRICANTE

Q = VAZÃO TURBINADA EM m^3/s .

OBS: TODAS AS DIMENSÕES DEVERÃO SER CONFIRMADOS PELO FABRICANTE DA TURBINA.

SEÇÃO TRANSVERSAL

OBS: AS DIMENSÕES INDICADAS, EM METRO, SÃO AS MÍNIMAS RECOMENDADAS.

5.8 Subestação e Linha de Alimentação

5.8.1 Subestação

As subestações para microcentrais hidrelétricas devem ser instaladas junto a casa de máquinas.

Para o dimensionamento do transformador recomenda-se a escolha da potência do transformador igual à potência máxima do gerador, em kVA. A tensão nominal do primário deve ser igual à tensão do gerador, e a tensão nominal do secundário igual à tensão adotada para a linha.

O transformador não deve utilizar fluido isolante que seja tóxico e poluente.

A ligação do gerador e subestação deverá ser feita por meio de cabos isolados.

O disjuntor termomagnético deverá ser escolhido conforme a TABELA 5.8.1/I.

DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO

TABELA 5.8.1/I

GERADOR DE 220 V		GERADOR DE 380 V	
POTÊNCIA EM kW	CORR. NOMINAL DO DISJUNTOR EM "A"	POTÊNCIA EM kW	CORR. NOMINAL DO DISJUNTOR EM "A"
até 2	5	até 3	5
2 e 3	10	4 a 6	10
4 e 5	15	6 a 8	15
5 e 6	20	8 a 11	20
7 e 8	25	11 a 14	25
8 e 9	30	14 a 16	30
10 e 11	35	16 a 19	35
11 a 13	40	19 a 21	40
13 a 16	50	21 a 29	50
16 a 19	60	27 a 34	60
19 a 22	70	32 a 39	70
22 a 25	80	37 a 44	80
25 a 28	90	42 a 49	90
28 a 31	100	47 a 54	100
31 a 41	125	54 a 71	125
38 a 48	150	67 a 84	150
46 a 56	175	80 a 97	175
53 a 63	200	93 a 100	200
61 a 71	225		
68 a 78	250		
76 a 86	275		
83 a 93	300		
91 a 100	350		

5.8.2 Linha de Alimentação

Os elementos a serem utilizados no projeto da linha para conduzir a energia elétrica gerada até o local de consumo são apresentados a seguir:

1 - Tensão de Transmissão

A tensão de transmissão é função, além de outros parâmetros, da potência a transmitir e do comprimento da linha.

Sempre que possível, a tensão de transmissão deve ser igual à de geração. Entretanto, quando isso não for possível, devido a limites de perdas de potência ou à necessidade do emprego de cabos condutores de bitolas exageradamente grandes e de alto custo, a tensão de geração deve ser aumentada através de um transformador elevador instalado na saída da casa de força.

As tensões de geração padronizadas usadas pela maioria dos fabricantes de geradores são as de 110 V, 220 V e 380 V. Para a transmissão das potências abrangidas pelas microcentrais hidrelétricas (até 100 kW) através dos condutores considerados neste Manual (AWG nºs 6, 4, 2, 1/0 e 2/0) a tensão padrão mais elevada de transmissão será de 13800 V, dentro da classe 15 kV, padronizada pelos fabricantes de transformadores.

No passado, as tensões de 2300 V e 6600 V foram largamente empregadas em transmissão de energia elétrica e, como há ainda muito equipamento elétrico para essas tensões no interior do país, apesar de atualmente estarem fora de padronização, foram consideradas neste Manual.

2 - Escolha do Cabo Condutor

Para a escolha do cabo condutor adequado à linha a ser projetada, foram preparadas as TABELAS 5.8.2/I a 5.8.2/VII para os sistemas monofásicos e trifásicos e dentro das seguintes condições:

- Tipo de Cabo (alumínio)	ACSR ou CAA
- Bitolas de Cabo com 6 fios	Nºs 6 a 2/0
- Queda de tensão na linha	5%
- Fator de Potência	$\cos \phi = 0,8$
- Frequência da corrente	60 Hz
- Temperatura ambiente	$t = 25^{\circ}\text{C}$
- Estruturas de postes tipos "A", "B", "C" e "D", conforme ANEXOS 5.8.2/A a 5.8.2/C	

Exemplos:

- a) Dentro das condições em que foram elaboradas as TABELAS 5.8.2/I a 5.8.2/VII, determinar o tipo de sistema, tensão de transmissão e a bitola do cabo adequado à transmissão de uma potência de geração de 90 kW numa distância de 3600 m entre a central geradora e o centro de carga, através de uma linha de alimentação com cabos de alumínio do tipo ACSR ou CAA.

Dados: P = 90 kW e L = 3600 m = 3,6 km

Nas TABELAS 5.8.2/I e 5.8.2/II verifica-se que os cabos considerados não têm capacidade para transmitir essa potência na distância desejada. Dessa forma a alimentação não poderá ser feita em sistema monofásico, com as tensões de transmissão de 110 V a 220 V.

As TABELAS 5.8.2/III e 5.8.2/IV também indicam a mesma impossibilidade de alimentação em sistema trifásico e com as tensões de transmissão de 220 V e 380 V.

Continuando a pesquisa nas tabelas seguintes, para as distâncias máximas de alimentação mais próximas do comprimento da linha, encontra-se:

TABELA 5.8.2/V L = 3800 m Cabo Nº 2/0

TABELA 5.8.2/VI L = 9600 m Cabo Nº 6

TABELA 5.8.2/VII L = 41000 m Cabo Nº 6

Havendo disponibilidade de equipamentos elétricos para as tensões de 2300 V ou 6600 V (atualmente não padronizadas), deve-se elaborar um estudo econômico entre as aquisições e instalações de transformadores para essas tensões e os cabos condutores Nºs 6 e 2/0. Não havendo as citadas disponibilidades, a solução será a alimentação em sistema trifásico, em 13800 V (tensão padronizada) e com a linha de alimentação construída com cabo nº 6.

Em quaisquer das três soluções, as distâncias máximas de alimentação são maiores que o comprimento da linha de alimentação em pauta e, por isso, as quedas percentuais de tensão na linha de alimentação serão menores que a básica (5%) considerada na elaboração das tabelas.

ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO

QUEDA DE TENSÃO = 5%

SISTEMA MONOFÁSICO

FATOR DE POTÊNCIA = 0,8

TENSÃO = U = 220 V

POSTE TIPO "A": $D_m = 20\text{cm}$

CABO DE ALUMÍNIO REFORÇADO COM ALMA DE AÇO (ACSR) ou (CAA)

TABELA 5.8.2/II

P (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L (m)				
	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
2	246	368	529	738	862
3	164	245	353	492	575
4	123	184	265	369	431
5	49	147	212	295	345
6	82	123	176	246	287
7	70	105	151	211	246
8	62	92	132	184	216
9	55	82	118	164	192
10	49	74	106	148	172
11	45	67	96	134	157
12	41	61	88	123	144
13	38	57	81	113	133
14	35	53	76	105	123
15	33	49	71	98	115
16	31	46	66	92	108
17	29	43	62	87	101
18	27	41	59	82	96
19	-	39	56	78	91
20	-	37	53	74	86
21	-	35	50	70	82
22	-	33	48	67	78
23	-	32	46	64	75
24	-	31	44	61	72
25	-	29	42	59	69
30	-	-	35	49	57
35	-	-	-	42	49
40	-	-	-	37	43
45	-	-	-	-	38
50	-	-	-	-	-

ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO
 QUEDA DE TENSÃO = 5% SISTEMA TRIFÁSICO
 FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 TENSÃO = U = 220 V
 POSTE TIPO "B": $D_m = 25,2\text{cm}$
 CABO DE ALUMÍNIO REFORÇADO COM ALMA DE AÇO (ACSR) ou (CAA)

TABELA 5.8.2/III

P (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L (m)				
	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
2	490	730	1047	1452	1693
3	327	486	698	968	1129
4	245	365	523	726	846
5	196	292	419	581	677
6	163	243	349	484	564
7	140	208	299	415	484
8	122	182	262	363	423
9	109	162	233	323	378
10	98	146	209	290	339
12	82	122	174	242	282
14	70	104	150	207	242
16	61	91	131	181	212
18	54	81	116	161	188
20	49	73	105	145	169
25	39	58	84	116	135
30	33	49	70	97	113
35	-	42	60	83	97
40	-	36	52	73	85
45	-	-	47	65	75
50	-	-	42	58	68
55	-	-	-	53	62
60	-	-	-	48	56
65	-	-	-	45	52
70	-	-	-	41	48
75	-	-	-	-	45
80	-	-	-	-	42
85	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-
95	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-

ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO

QUEDA DE TENSÃO = 5%

SISTEMA TRIFÁSICO

FATOR DE POTÊNCIA = 0,8

TENSÃO = U = 2300 V

POSTE TIPO " D": $D_m = 60$ cm

CABO DE ALUMÍNIO REFORÇADO COM ALMA DE AÇO (ACSR) ou (CAA)

TABELA 5.8.2/V

P (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L (km)				
	Nº 6	Nº 4	Nº 2	Nº 1/0	Nº 2/0
2	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*
10	10,5	15,5	21,9	30,0	34,6
12	8,8	12,9	18,3	25,0	28,9
14	7,5	11,1	15,7	21,4	24,7
16	6,6	9,7	13,7	18,7	21,6
18	5,8	8,6	12,2	16,7	19,2
20	5,3	7,7	11,0	15,0	17,3
25	4,2	6,2	8,8	12,0	13,9
30	3,5	5,2	7,3	10,0	11,5
35	3,0	4,4	6,3	8,6	9,9
40	2,6	3,9	5,5	7,5	8,7
45	2,3	3,4	4,9	6,7	7,7
50	2,1	3,1	4,4	6,0	6,9
55	1,9	2,8	4,0	5,5	6,3
60	1,8	2,6	3,7	5,0	5,8
65	1,6	2,4	3,4	4,6	5,3
70	1,5	2,2	3,1	4,3	4,9
75	1,4	2,1	2,9	4,0	4,6
80	1,3	1,9	2,7	3,7	4,3
85	1,24	1,8	2,6	3,5	4,1
90	1,27	1,7	2,4	3,3	3,8
95	1,11	1,6	2,3	3,2	3,6
100	1,05	1,5	2,2	3,0	3,5

3 - Transmissão em Condutores de Aço Galvanizado

Atualmente algumas companhias concessionárias de energia elétrica, entre as quais a CEEE, vêm estudando a possibilidade de transmissão através de condutores de aço galvanizado em linhas curtas, nos mesmos moldes com que o Canadá e a Austrália vêm usando esse tipo de material. Os estudos para o fio 3,09 mm \emptyset e a cordoalha 3 x 2,25 mm \emptyset , materiais já em fabricação para o mercado brasileiro, apresentaram resultados econômicos vantajosos em relação aos condutores de cobre e alumínio e aconselham adotar as correntes máximas de 5A e 8A, respectivamente, para o fio e a cordoalha.

As TABELAS 5.8.2/VIII e 5.8.2/IX apresentam as características físicas, elétricas e mecânicas para esses condutores e a TABELA 5.8.2/X apresenta as distâncias máximas de transmissão através dos mesmos, nas condições nela especificadas.

TABELA 5.8.2/VIII

CONDUTOR TIPO	ÁREA (mm ²)	Nº FIOS	DIÂMETRO DO FIO (mm)	DIÂMETRO EXTERNO (mm)	CARGA DE RUPTURA (kgf)	PESO (kgf/km)
FIO	7,50	1	3,09	3,09	1079	59
CORDOALHA	11,93	3	2,25	4,85	1670	96

TABELA 5.8.2/IX

CONDUTOR TIPO	r_{cc} (Ω /km)	I_{max} (A)	r_a (Ω /km)	$\times 10$ (Ω /km)	RMG (cm)
FIO	25,54	5	25,54	0,3333	0,1203
CORDOALHA	16,30	8	16,30	0,3098	0,1643

ESCOLHA DA BITOLA DO CABO DA LINHA QUANTO À QUEDA DE TENSÃO
 SISTEMAS TRIFÁSICOS - FATOR DE POTÊNCIA = 0,8 - QUEDA DE TENSÃO = 5%

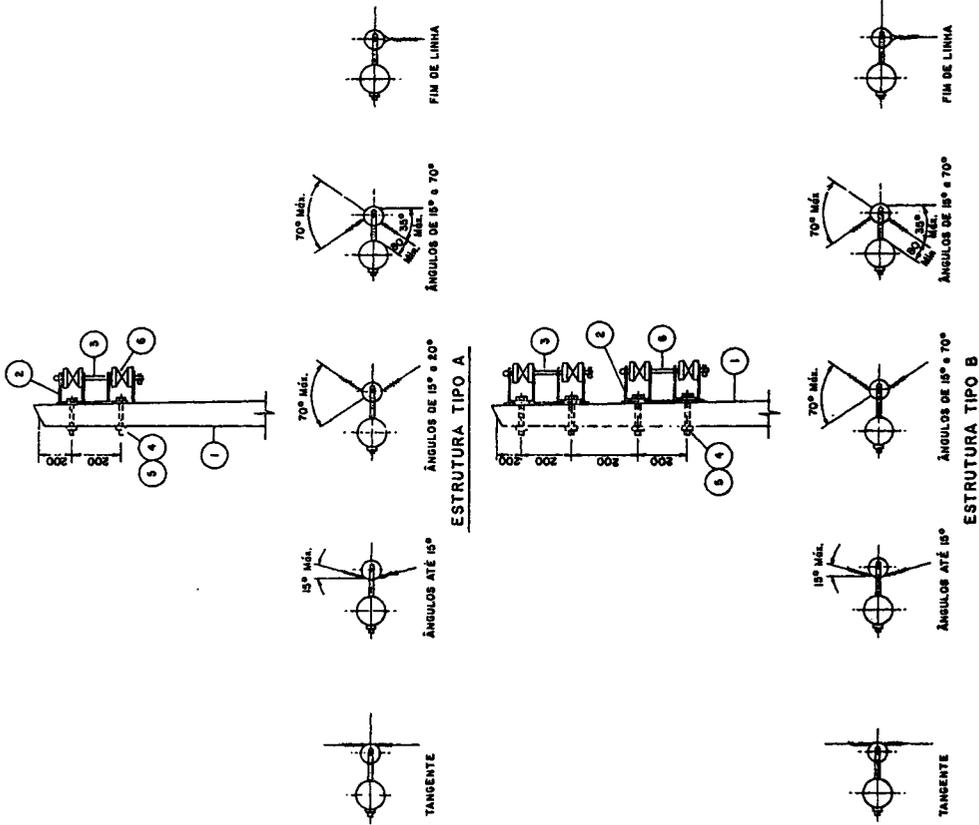
TABELA 5.8.2/X

TIPO DE CONDUTOR	FIO DE AÇO - 3,09 mm Ø			CORDALHA DE AÇO-3x2,25mm Ø		
	2300	6600	13800	2300	6600	13800
TENSÃO (V)	2300	6600	13800	2300	6600	13800
TIPO DE POSTE	"D"	"D"	"C"	"D"	"D"	"C"
^D _m (cm)	60	60	133,7	60	60	133,7
POTÊNCIA (kW)	DISTÂNCIA MÁXIMA DE TRANSMISSÃO - L					
	(m)	(km)	(km)	(m)	(km)	(km)
10	1020	8,4	36,7	1590	13,1	57,1
12	850	7,0	30,6	1325	10,9	47,6
14	730	6,0	26,2	1135	9,4	40,8
16	640	5,3	22,9	990	8,2	35,7
18	-	4,7	20,4	880	7,3	31,7
20	-	4,2	18,4	795	6,5	28,5
25	-	3,4	14,7	640	5,2	22,8
30	-	2,8	12,2	-	4,4	19,0
35	-	2,4	10,5	-	3,7	16,3
40	-	2,1	9,2	-	3,3	14,3
45	-	1,9	8,2	-	2,9	12,7
50	-	-	7,3	-	2,6	11,4
55	-	-	6,7	-	2,4	10,4
60	-	-	6,1	-	2,2	9,5
65	-	-	5,6	-	2,0	8,8
70	-	-	5,2	-	1,9	8,2
75	-	-	4,9	-	-	7,6
80	-	-	4,6	-	-	7,1
85	-	-	4,3	-	-	6,7
90	-	-	4,1	-	-	6,3
95	-	-	3,9	-	-	6,0
100	-	-	-	-	-	5,7

LISTA DE MATERIAL		QUANTIDADES	
ITEM	DESCRIÇÃO	A	B
1	POSTE DE MADEIRA	1	1
2	ARMAÇÃO SECUNDÁRIA DE 2 ESTRIBOS	1	1
3	HASTE DE # 16 x 350mm P/ARMAÇÃO SECUNDÁRIA	1	2
4	PARAFUSO DE MÁQUINA DE # 18 x COMP. ADEQUADO	2	4
5	ARRUELA C/FURO DE # 18mm	2	4
6	ISOLADOR ROLANDA	2	4

NOTAS

- 1- PARA ÂNGULOS MAIORES QUE 70°, DEVERÃO SER FEITOS DOIS FINS DE LINHA
- 2- TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETROS.



ANEXO 5.8.2/B

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADES			
		C1	C2	C3	C4
1	POSTE DE MADEIRA	1	1	1	1
2a	CRUZETA DE MADEIRA	1	2	2	2
3	MÃO FRANCESA NORMAL	2	4	4	4
4	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 13 x 125mm	2	4	4	4
5	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 16x COMP. ADEQUADO	1	3	3	3
6	PARAFUSO DE ROSCA ROVERBA	1	2	2	2
7	PORCA PARA PARAFUSO DE Ø 16mm	-	6	6	6
8	ARRUELA COM FURO DE Ø 16mm	2	4	4	4
9	ARRUELA COM FURO DE Ø 18mm	5	15	10	7
10	FINO DE CRUZETA	3	6	3	-
11	ISOLADOR DE PINO	3	6	3	-
12	OLHAL PARA PARAFUSO	-	-	6	3
13	GANCHO-OLHAL	-	-	6	3
14	GRAMPO TERMINAL	-	-	6	3
15	ISOLADOR DE SUSPENSÃO	-	-	12	6

ESTRUTURA C1

ESTRUTURA C2

ESTRUTURA C3

ESTRUTURA C4

NOTAS

1- A ESTRUTURA TIPO C1 É USADA EM TANGENTE, PODENDO, TAMBÉM, SER EMPREGADA EM ÂNGULOS ATÉ 10° NESTE CASO, A INSTALAÇÃO DOS CONDUTORES AOS ISOLADORES DEVERÁ SER FEITA LATERALMENTE.

2- A ESTRUTURA TIPO C2 É USADA EM ÂNGULOS 10° < α < 20°.

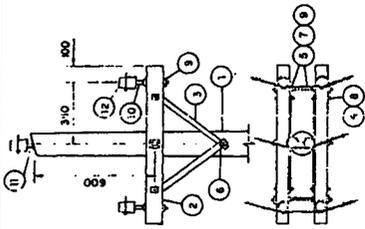
3- A ESTRUTURA TIPO C3 É USADA EM ÂNGULOS ATÉ 90°.

4- A ESTRUTURA TIPO C4 É DE FIM DE LINHA.

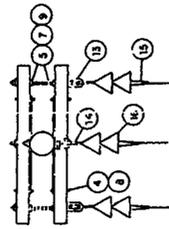
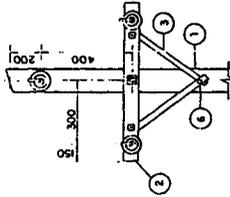
6- TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETROS

LISTA DE MATERIAL

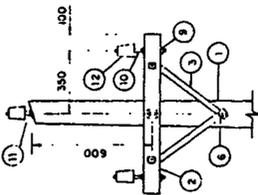
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADES			
		D1	D2	D3	D4
1	POSTE DE MADEIRA	1	1	1	1
2	CRUZETA DE MADEIRA	1	2	2	2
3	MÃO FRANCESA	2	4	4	4
4	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 13x125 mm	2	4	4	4
5	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 16x1 COMB. ADEQUADO	1	2	2	2
6	PARAFUSO DE ROSCA SOBREBA	1	2	2	2
7	PORCA PARA PARAFUSO DE Ø 16 mm	-	4	4	4
8	ARRUELA COM FURO DE Ø 16 mm	2	4	4	4
9	ARRUELA COM FURO DE Ø 18 mm	4	4	4	4
10	PINO DE CRUZETA	2	4	2	-
11	PINO DE TOPO	1	2	1	-
12	ISOLADOR DE PISO	-	-	-	-
13	ISOLADOR DE PISO	-	-	-	-
14	OLHIL PARA PARAFUSO	-	-	-	-
15	SANCHO - OLHIL	-	-	-	-
16	GRAMPO TERMINAL	-	-	-	-
17	ISOLADOR DE SUSPENSÃO	-	-	-	-



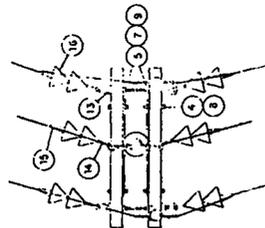
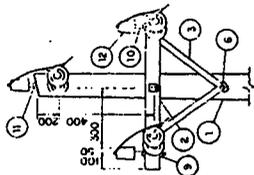
ESTRUTURA D2



ESTRUTURA D4



ESTRUTURA D1



ESTRUTURA D3

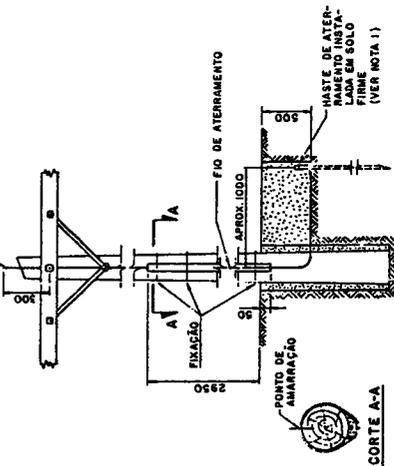
NOTAS

- 1 - A ESTRUTURA TIPO D1 É USADA EM TANGENTE. PODENDO TAMBÉM, SER EMPREGADA EM ÂNGULOS ATÉ 10°. NESTE CASO, A INSTALAÇÃO DOS CONDUTORES AOS ISOLADORES DEVERÁ SER FEITA LATERALMENTE.
- 2 - A ESTRUTURA TIPO D2 É USADA EM ÂNGULOS $10^\circ < \alpha < 20^\circ$.
- 3 - A ESTRUTURA TIPO D3 É USADA EM ÂNGULOS ATÉ 60°.
- 4 - A ESTRUTURA TIPO D4 É DE FIM DE LINHA.
- 5 - TODAS AS DIMENSÕES ESTÃO EM MILÍMETROS.

NOTAS

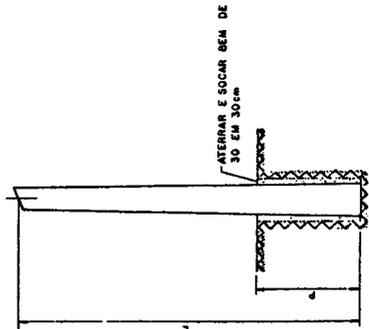
- 1- A POSIÇÃO DA MASTE DE ATERRAMENTO (DETALHE 2) EM TORNO DO POSTE NÃO É DETERMINADA. PARA SUA INSTALAÇÃO, ESCOLHER NO LOCAL O PONTO MAIS CONVENIENTE.
- 2- NO DETALHE 3, A FIGURA SUPÕE TERRENO PLANO, EM TERRENOS ACIDENTADOS, CONSERVAR CONSTANTE O ÂNGULO DE 45°
- 3- EM LINHAS QUE POSSUAM NEUTRO CONTÍNUO, É ACOISE-LHÁVEL, COMO MEDIDA DE SEGURANÇA, O ATERRAMENTO DOS ESTAIS. ESTE ATERRAMENTO, ATRAVÉS DO NEUTRO, DEVERÁ SER FEITO DA MANEIRA MAIS CONVENIENTE, DEPENDENDO DO TIPO E DAS CONDIÇÕES DO ESTAIAMENTO.
- 4- DIMENSÕES SEM INDICAÇÃO DE UNIDADE ESTÃO EM MILÍMETROS.

PRENDER OS FIOS DO CABO COM DUAS VOLTAS DE UM DELES



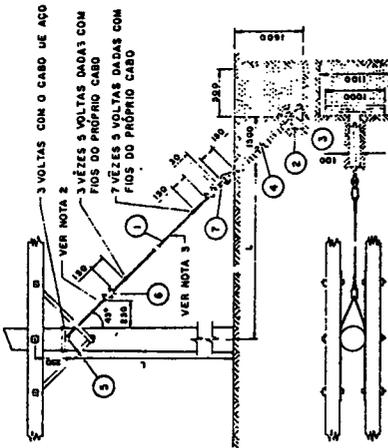
CORTE A-A

DETALHE 2
ATERRAMENTO



A PROFUNDIDADE DE ENGASTAMENTO "P" SERÁ: $p = \frac{1}{10} \times 0,60 \text{ m}$
SENDO P MIN. = 1,50 m

DETALHE 1
POSTES - ENGASTAMENTO

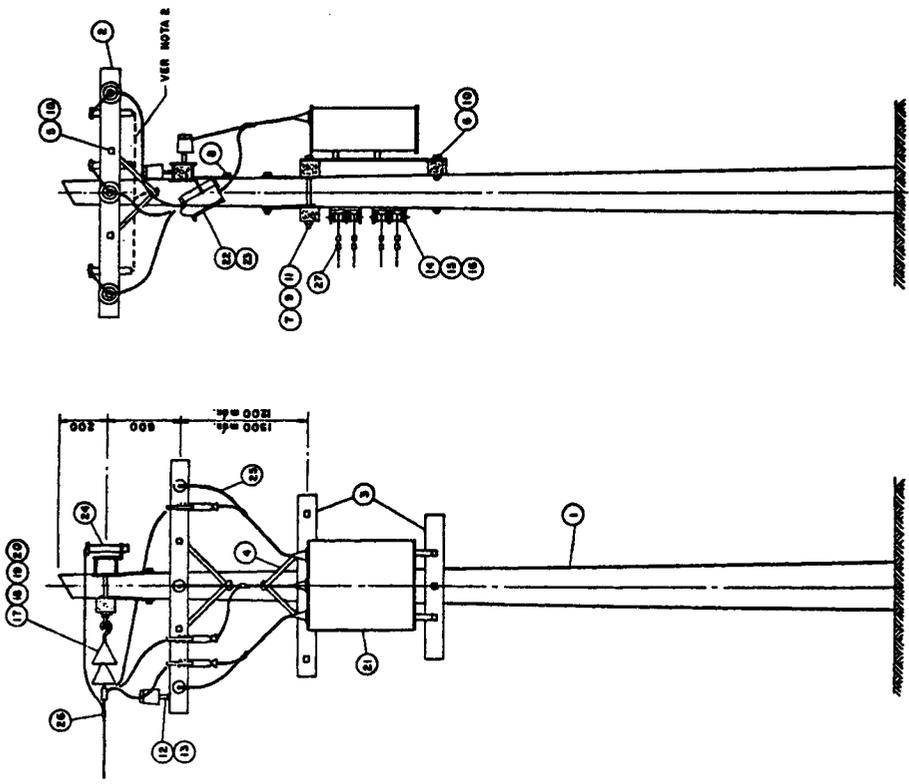


DETALHE 3
ESTAIAMENTO

LISTA DE MATERIAL

ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO
1	1	UNID. CABO DE AÇO Ø 9 mm
2	1	TORNA DE MADEIRA
3	1	ARRUELA COM FURO DE Ø 18 mm
4	1	MASTE DE ÂNCORA
5	1	PARAFUSO DE ROSCA SOBERSA
6	2	PREBER-TIO COM 3 PARAFUSOS
7	1	SARATILHA PARA CABO DE AÇO

LISTA DE MATERIAL		
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADES
1	POSTE DE MADEIRA COM 11 METROS (NO MÍNIMO)	1
2	CRUZETA DE MADEIRA COM 2,50m	3
3	CRUZETA DE MADEIRA DE COMPRIMENTO ADEQUADO	3
4	MÃO FRANCESA NORMAL	10
5	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 13 x 125mm	10
6	PARAFUSO DE MÁQUINA DE Ø 16 x 150mm	2
7	PARAFUSO DE ROSCA SOBERA Ø 13 x 100mm	6
8	ARRUELA GUARZADA COM FURO Ø 18mm	28
9	ARRUELA REDONDA COM FURO Ø 18mm	12
10	ARRUELA REDONDA COM FURO Ø 18mm	12
11	FORÇA QUADRADA DE 18mm	6
12	PINO DE CRUZETA	4
13	ISOLADOR DE PINGO	4
14	ARMADÃO SECUNDÁRIA DE 2 ESTRIBOS	4
15	MASTE DE Ø 11 x 350mm P/ARMADÃO SECUNDÁRIA	2
16	ISOLADOR ROLVA	4
17	OLHAL PARA PARAFUSO	3
18	GANCHO OLHAL	3
19	GRAMPO TERMINAL	3
20	ISOLADOR DE SUSPENSÃO	6
21	TRANSFORMADOR TRIPFÁSICO	1
22	CHAVE CORTA-CIRCUITO	3
23	ELO FURVEL	3
24	MERA-BAIO TIPO VÁLVULA	3
25	FIO DE COBRE Nº 10 CAMP	20m
26	CONECTOR PARALELO	6
27	CONECTOR TIPO PARAFUSO	14



NOTAS
 1- O TANQUE DO TRANSFORMADOR DEVERÁ, SEMPRE, SER LIGADO À TERRA.
 2- O ATERRAMENTO DEVERÁ SER EXECUTADO SEGUNDO O DETALHE 2 DO ANEXO 5.8.2/D.
 3- DIMENSÕES SEM INDICAÇÃO DE UNIDADE ESTÃO EM MILÍMETROS.

- Instalação dos Cabos

Entre as várias atividades de montagem de uma linha, apresenta-se aqui, a etapa de lançamento dos cabos sobre a pos teação.

O lançamento do cabo faz-se desenrolando o mesmo das bobinas ou rolos, depositando-o no solo ao longo da linha, após observadas precauções de revestimento do leito, nos locais onde hajam possibilidades de danos superficiais no cabo de vido à abrasão com ramos de árvores ou tocos de madeira.

O cabo será, então, erguido e colocado nos postes, sobre as cruzetas ou nas armações secundárias, protegidos nos pontos sujeitos à fricção. Depois de estendido, o cabo de verá ser grampeado de modo permanente numa das extremidades do trecho da linha a ser montado, com vários vãos, dando-se então início ao pré-tensionamento do mesmo para posterior ajuste pela flecha desejada.

O cabo será esticado até atingir o valor da flecha apresentado na TABELA 5.8.2/XI, observando a temperatura ambiente registrada no ato da montagem, as características regionais de carregamento (Linha Leve) e o vão regulador do trecho de montagem calculado pela expressão:

$$V_R = V_m + \frac{2}{3} (V_M - V_m)$$

onde:

V_R = vão regulador. Vão calculado para determinado trecho entre estruturas de ancoragem, com o qual é determinada a flecha de montagem, em função da temperatura;

V_m = vão médio. Média aritmética dos vãos existentes no trecho considerado;

V_M = vão máximo. Maior dos vãos existentes no trecho considerado.

A flecha deverá ser medida em qualquer um dos vãos do trecho da linha, entretanto, é aconselhável a escolha de um vão de comprimento aproximadamente igual ao vão regulador do trecho a ser "flechado".

Em trechos curtos, de 5 ou 6 vãos, usualmente é suficiente a verificação da flecha em um só vão, próximo ao ponto médio da seção.

Em trechos longos da linha, com mais de 6 vãos, é desejável que se verifique a flecha em no mínimo dois vãos, preferencialmente os de ancoragem do cabo.

A flecha será verificada por meio de instrumentos topográficos ou, na falta destes, expeditamente por visada direta através da instalação de alvos de referência (ex.: ripas de madeira) nos postes de extremidades do vão, com uma distância entre o alvo e o suporte do cabo igual à flecha requerida.

Durante o esticamento com o método expedito, quando o ponto mais baixo do cabo tangenciar a linha de visada entre os dois alvos, conforme ilustrado na FIGURA 5.8.2/1, a flecha desejada é obtida e o cabo deve ser grampeado, isto é, fixado no isolador.

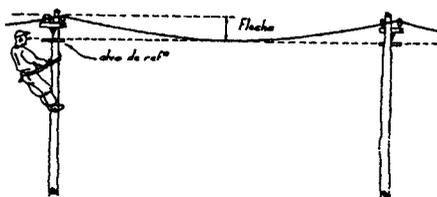


FIGURA 5.8.2/1

TABELA 5.8.2/XI

		FLECHAS EM METROS																							
		Linhas leves																							
VAOS +C	(m)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600
0	0,03	0,11	0,26	0,47	0,75	1,11	1,56	2,10	2,73	3,45	4,29	5,20	6,22	7,34	8,53	9,84	11,2	12,7	14,2	15,9	17,7	19,5	21,4	23,4	25,4
5	0,03	0,12	0,28	0,50	0,80	1,18	1,65	2,21	2,87	3,61	4,46	5,39	6,43	7,55	8,74	10,03	11,4	12,9	14,5	16,1	17,9	19,7	21,6	23,6	25,6
10	0,03	0,13	0,30	0,54	0,86	1,26	1,75	2,33	3,01	3,77	4,64	5,58	6,62	7,75	8,95	10,26	11,6	13,1	14,7	16,4	18,2	19,9	21,8	23,9	25,9
15	0,04	0,14	0,32	0,58	0,92	1,34	1,86	2,46	3,16	3,93	4,80	5,77	6,81	7,95	9,17	10,48	11,9	13,4	14,9	16,6	18,4	20,2	22,1	24,1	26,1
20	0,04	0,16	0,35	0,63	0,99	1,44	1,97	2,59	3,30	4,10	4,99	5,96	7,01	8,15	9,37	10,68	12,1	13,6	15,2	16,8	18,6	20,4	22,3	24,3	26,3
25	0,04	0,17	0,38	0,68	1,07	1,53	2,09	2,73	3,46	4,26	5,16	6,14	7,20	8,35	9,58	10,90	12,3	13,8	15,4	17,1	18,8	20,6	22,6	24,6	26,6
30	0,05	0,19	0,42	0,74	1,14	1,63	2,21	2,87	3,62	4,43	5,34	6,33	7,40	8,55	9,78	11,12	12,6	14,0	15,6	17,3	19,1	20,9	22,8	24,8	26,8
35	0,05	0,21	0,47	0,81	1,24	1,75	2,34	3,05	3,77	4,59	5,52	6,51	7,60	8,75	10,00	11,32	12,8	14,3	15,8	17,5	19,3	21,1	23,1	25,1	27,1
40	0,06	0,24	0,52	0,88	1,33	1,86	2,47	3,15	3,92	4,76	5,69	6,70	7,78	8,95	10,18	11,52	13,0	14,5	16,0	17,8	19,5	21,4	23,4	25,3	27,3
45	0,07	0,27	0,57	0,96	1,43	1,97	2,60	3,29	4,08	4,92	5,87	6,87	7,98	9,15	10,38	11,72	13,2	14,7	16,3	18,0	19,8	21,6	23,6	25,5	27,5
50	0,09	0,31	0,64	1,04	1,53	2,09	2,73	3,44	4,23	5,09	6,04	7,06	8,15	9,35	10,60	11,92	13,4	14,9	16,5	18,2	20,0	21,8	23,8	25,7	27,7

Após os dimensionamentos das estruturas civis e dos equipamentos eletromecânicos, o projetista deve preparar ou obter os seguintes desenhos:

- Estruturas Civis

- . Arranjo Geral das Obras
- . Barragem, Vertedouro e Tomada d'Água - Plantas, Cortes e Detalhes
- . Canal Adutor e Câmara de Carga ou Tubulação de Adução-Plantas, Cortes e Detalhes
- . Tubulação Forçada - Planta e Perfil
- . Casa de Máquinas - Plantas e Cortes

- Equipamentos Mecânicos

Os desenhos dos equipamentos mecânicos são obtidos com os fabricantes (se houver) ou catálogos.

- Equipamentos e Instalações Elétricas

Para circuitos isolados com um único gerador, o principal desenho a ser elaborado é:

- . Perfil da Linha de Alimentação

A) Metodologia

Os estudos e os projetos desenvolvidos de acordo com os itens anteriores especificam procedimentos que levam a um nível tecnológico julgado o mais adequado para implantação de microcentrais hidrelétricas. Foram introduzidas várias simplificações e recomendados muitos métodos expeditos para desenvolvimento desses estudos e projetos.

Em vista disso, para a elaboração do orçamento de microcentrais hidrelétricas também será recomendada a metodologia simplificada e deverá levar em conta:

1 - Que serão executadas aproveitando o máximo:

- . mão-de-obra e materiais existentes no local ou na região;
- . equipamentos de construção obtidos da maneira mais econômica dentre as diversas alternativas possíveis - alugados na região, cedidos por Órgãos Públicos, do proprietário (existentes ou adquiridos especialmente para implantação da hidrelétrica), etc.

2 - Quantidade de Serviços

Todas as quantidades de serviços deverão ser obtidas através do levantamento direto dos desenhos de projeto. Para orientar, facilitar e evitar o esquecimento de serviços, apresenta-se no ANEXO 5.10/A uma relação de todas as estruturas e itens de serviços possíveis de existirem no projeto, a serem quantificados, com as respectivas unidades para medição.

3 - Preços Unitários de Serviços

Os preços unitários a serem adotados para o orçamento da obra deverão obrigatoriamente retratar as condições específicas do local, da época da implantação do empreendimento e das características próprias do projeto.

Para tanto, os preços unitários deverão preferencialmente ser obtidos a partir de:

- Obras Cíveis

- . consulta a empreiteiro (s) da região;
- . pesquisa de preços em Órgãos do tipo Prefeitura, Bancos, Órgãos de Saneamento, DER, etc.;
- . avaliação de preço com adoção de critério adequado, quando se tratar de equipamentos de construção próprios.

- Equipamentos Permanentes (turbina, gerador, comportas, etc.)
 - . aquisição - consulta a fabricantes ou fornecedores;
 - . montagem - consulta ao próprio fabricante ou ao empreiteiro;
 - . transporte - consulta a empresas transportadoras ou ao fabricante.
- Ver MODELO de carta para solicitação de Custo de Equipamentos.

B) Preços Unitários e Cálculos

Enfatiza-se, como já foi dito anteriormente, que o orçamento deverá sempre retratar as condições específicas locais, na época dos estudos, e as características próprias do projeto. Para tanto, os preços unitários deverão ser obtidos através das pesquisas de custo de mercado, consulta a fabricantes de equipamentos, contato com empreiteiros e transportadores da região, etc.

MODELO DE CARTA PARA SOLICITAÇÃO DE CUSTOS DE EQUIPAMENTOS ELE
TROMECÂNICOS

Local e Data _____

Nome do Fabricante _____

Rua _____ nº _____

Cidade _____ Estado _____

Ref.: Custo de Equipamentos
Eletromecânicos

Prezados Senhores:

Estamos estudando a implantação de uma microcentral hidrelétrica, cujos dados são fornecidos a seguir:

- Queda líquida - H = _____ m
- Descarga - Q = _____ m³/s
- Potência Instalada = _____ kW
- Tubulação: = _____ m; L = m
- Localização do aproveitamento:
- Croquis esquemático, anexo.

Solicitamos a V.Sas. o fornecimento de informações técnicas e de custos de equipamentos, conforme relacionado a seguir:

A) Informações Técnicas

Turbina: Tipo _____; Rotação = _____ rpm
Gerador - Potência na saída : _____ kVA; Rotação = _____ rpm
Tipo de Acoplamento Turbina/Gerador:
Diferença necessária entre a cota do piso da casa de máquinas e nível d'água de jusante _____ m;
Catálogos e publicações existentes.

B) Informações Relativas a Custos

Equipamento	Peso e Custo PESO kg	CUSTO (MIL CR\$)			
		FOB	Imposto	Transporte	Montagem
Válvula Borboleta					
Turbina *					
Regulador de Velocidade					
Gerador Síncrono e Sistema de Excitação					
Quadro de Comando					
Tubulação					

A resposta deverá ser enviada para: _____

Sr. _____
Rua _____ nº _____
CEP - Cidade - Estado

Atenciosamente,

(Assinatura do Responsável)

* O custo de turbina deve englobar custos de transmissão completa e cone de sucção.

5.10.1 Preparação do Orçamento

O orçamento deverá ser preparado com base na itemização prevista na PLANILHA PADRÃO, apresentada como ANEXO 5.10/A, devendo ser observadas as seguintes recomendações:

- a) em cada estrutura não deve ser omitido nenhum item de serviço previsto na Planilha;
- b) para evitar omissão de estruturas ou serviço é aconselhável utilizar a cópia da própria Planilha e verificar cuidadosamente todas as estruturas previstas;
- c) na coluna do preço unitário devem ser adotados os valores obtidos através dos procedimentos recomendados nos itens 5.10/A e 5.10/B.

PLANILHA PADRÃO

MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA

ORÇAMENTO

NOME DO APROVEITAMENTO:

LOCALIZAÇÃO:

CARACTERÍSTICAS

Nome do Rio:

Potência Instalada: kW

Distrito de:

Altura de Queda : m

Município :

Barragem Vertedouro-tipo/material:

Estado :

comprimento:

Data :

Tubulação Forçada-extensão: m

CUSTOS REF. A PREÇOS DE:

de 19__

TAXA DE CÂMBIO ADOTADA: 1 US\$ = Cr\$

DATA:

NOME DO PROPRIETÁRIO:

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>OBRAS CIVIS</u>				
<u>Barragem de Terra</u>				
Preparo de fundação/raspagem	m ²			
Escavação, carga, transporte, lançamento, espalhamento e compactação	m ³			
Proteção da barragem:				
. c/areia, brita e pedra	m ³			
. c/grama em placa	m ²			
<u>Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada e/ou Vertedouro</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Alvenaria de pedra argamassada	m ³			
Alvenaria de tijolo maciço (e = 20 cm)	m ²			
Reforço de fundação (enrocamento)	m ³			
<u>Barragem de Concreto e/ou Vertedouro</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Concreto armado	m ³			
Bacia de dissipação:				
. laje de pedra argamassada	m ³			
. enrocamento de proteção	m ³			
Mureta de alvenaria de tijolo maciço (e = 20 cm)	m ²			
<u>Tomada d'Água</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Concreto armado	m ³			
Concreto sem armação	m ³			

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>Tomada d'Água (cont.)</u>				
Alvenaria de pedra argamassada	m ³			
<u>Canal de Adução</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Revestimentos:				
de pedra solta	m ³			
de pedra argamassada	m ³			
de tijolo maciço	m ²			
de concreto sem armação	m ³			
<u>Tubulação de Adução de Baixa Pressão</u>				
Escavação comum	m ³			
Concreto sem armação	m ³			
Tubo de aço	kg			
Tubo de concreto	m			
Tubo de cimento-amianto	m			
<u>Câmara de Carga</u>				
Escavação comum	m ³			
Concreto armado	m ³			
Tubo de aço	kg			
<u>Tubulação Forçada</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Concreto armado	m ³			
Tubo de aço	kg			
<u>Casa de Máquinas</u>				
Escavação comum	m ³			
Baldrame de pedra	m ³			
Concreto armado	m ³			
Alvenaria de tijolo				
. de 10 cm	m ²			
. de 20 cm	m ²			

DISCRMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>Casa de Máquina</u> (cont.)				
Parede de madeira	m ²			
Revestimento:				
. camada de piso	m ²			
. massa única (emboço, reboco)	m ²			
Cobertura (madeiramento + telhas)	m ²			
Esquadrias:				
. porta	gl			
. caixilho (janelas, etc.)	gl			
Pintura	m ²			
Instalação elétrica	gl			
<u>Canal de Fuga</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Revestimento:				
de pedra solta	m ³			
de pedra argamassada	m ³			
de tijolo maciço	m ²			
de concreto sem armação	m ³			
<u>Desvio do Rio</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação em rocha	m ³			
Ensecadeira (terra)	m ³			
Tubulação	m			
<u>EQUIPAMENTOS MECÂNICOS</u>				
<u>Comporta</u>				
De madeira	gl			
De aço fundido	gl			
De chapa e perfis de aço	gl			
<u>Grade</u>	m ²			
<u>Válvula Borboleta</u>	un			
<u>Turbina c/regulador de velo - <u>cidade</u></u>	un			

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES ELÉ - TRICAS</u>				
<u>Geradores Síncronos e Sistema de Excitação</u>	un			
<u>Quadro de Comando</u>	gl			
<u>Dispositivo de Proteção</u>	gl			
<u>Subestação</u>	gl			
<u>Ligação do Gerador à Subestação</u>	gl			
<u>Linha de Transmissão</u>	gl			
SUBTOTAL	gl			
<u>ADMINISTRAÇÃO DO PROPRIETÁRIO E ENGENHARIA DE PROJETO</u>	kw			
TOTAL PARCIAL	gl			
<u>EVENTUAIS</u>	%			
<u>TOTAL GERAL</u>	gl			
CUSTO ÍNDICE:				
. Em Cr\$/kW	gl			
. Em US\$/kW	gl			
<u>OBSERVAÇÕES:</u>				

6. EXEMPLO DE UM PROJETO DE MICROCENTRAL

6.1 Planilha de Campo

Apresentamos a seguir, a título de sugestão, uma relação de dados e informações a serem obtidos fora do escritório, e que tem como objetivo lembrar ao projetista os principais pontos a serem atendidos.

O projetista poderá adaptar essa relação às suas necessidades e condicionamentos, não esquecendo que ela servirá como lista de verificação.

Com o objetivo de diminuir o número de viagens ao local do aproveitamento, sugere-se que a lista seja totalmente verificada e anotados todos os resultados em uma só viagem ao local; porém, caso isto não seja possível, sugere-se que pelo menos os pontos marcados com asterisco (*) sejam atendidos na primeira ida ao local, permitindo assim maior precisão na avaliação preliminar do custo (item 2).

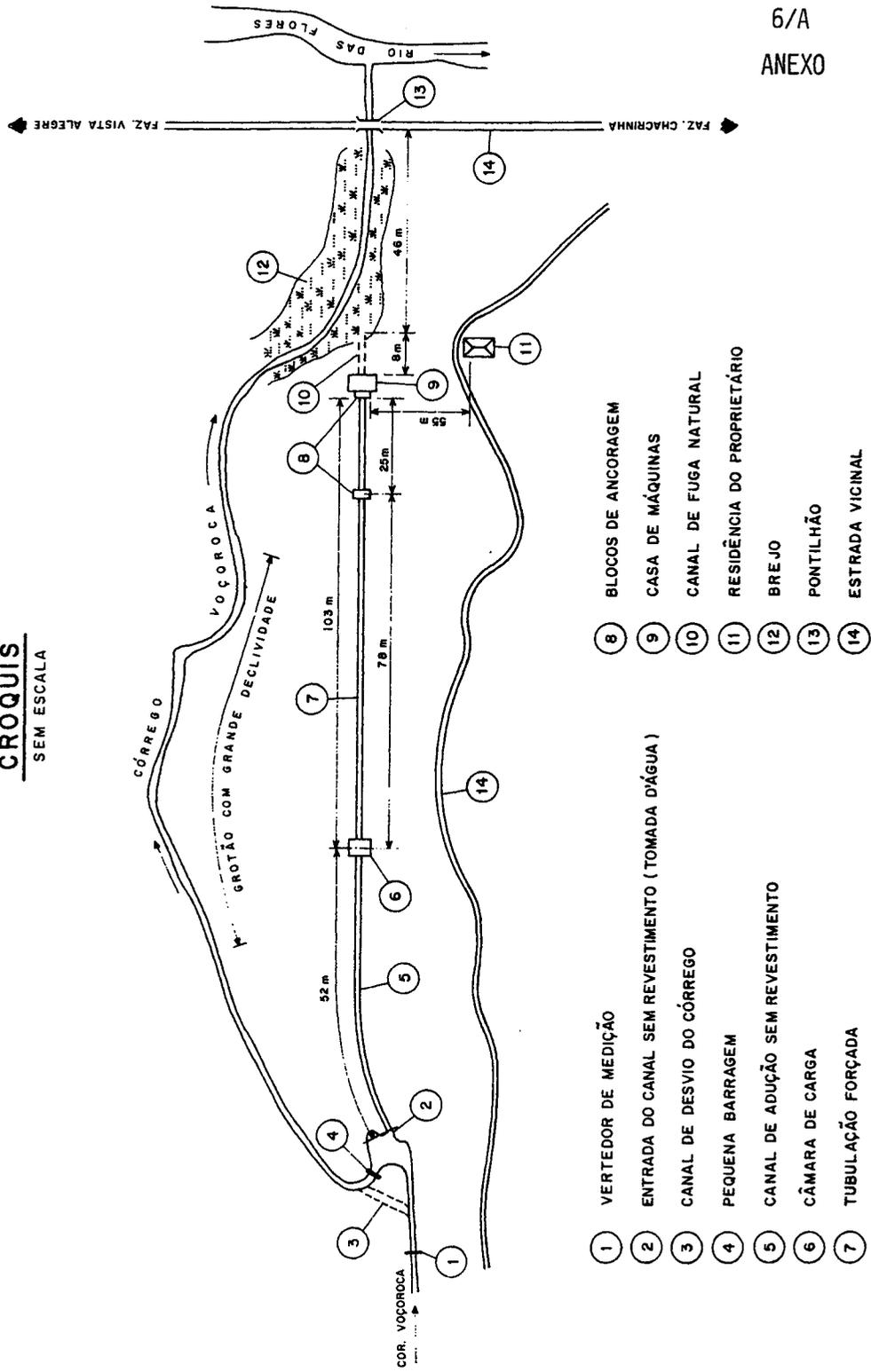
6.1.1 Identificação do Aproveitamento

- . Denominação (*): U.H.E Sítio das Furnas
- . Proprietário (*): Sr. Oswaldo Mendes de Oliveira Castro
- . Finalidade (*): serviço público uso exclusivo
- . Nome do rio ou córrego (*): Córrego Voçoroca
- . Afluente da margem Direita (*) do rio das Flores. (*)
direita ou esquerda
- . Município (s) (*): Valença - RJ.
- . Cidade mais próxima (*): Valença distância (*): 16 km
- . Coordenadas geográficas aproximadas: latitude: 22° 17'
longitude: 43° 47'
- . Tipo de acesso ao local do aproveitamento (*): Rodoviário

6.1.2 Croquis do Local e Arranjo Geral (ver item 4.1)

Em folha à parte, preparar "croquis" do local do aproveitamento em plantas e perfis, abrangendo os locais onde seriam localizadas as estruturas componentes (*), suficiente para, à medida em que a planilha for sendo completada, conter as informações previstas. Após terem sido estudados os diversos tipos de arranjos sugeridos no item 4.1, deverá ser lançado na folha o arranjo geral escolhido ou adaptado, com a indicação do tipo da barragem (*) (caso necessária) e da adução em baixa pressão (*) (se canal ou tubulação), bem como outras informações consideradas necessárias (ver ANEXO 6/A).

CROQUIS
SEM ESCALA



6/A
ANEXO

6.1.3 Dados Cartográficos e Trabalhos Topográficos
(ver item 4.2)

Registrar em folha à parte ou lançar no croquis, as seguintes informações:

- . Determinação do perfil da seção transversal do rio, no local da barragem (*):
- . Determinação do perfil do sistema de adução da água (*):
- . Localização das sondagens realizadas;
- . Localização das jazidas de materiais de construção;
- . Localização das diversas estruturas componentes (*):
- . Mapas ou cartas utilizadas.

6.1.4 Dados Hidrológicos (ver item 4.3)

Registrar em folha à parte ou lançar no croquis as seguintes informações:

- . Método utilizado para medir a vazão durante um período de estiagem (*)
- . Caso seja utilizado o método de vertedouro, localizá-lo no croquis;
- . Caso seja utilizado o método com flutuador, indicar:
 - Determinação dos perfis das seções transversais no local da medição de vazão (*);
 - Distância percorrida, pelo flutuador (*);
 - Registro dos tempos dos flutuadores (*);
- . Determinação da diferença entre o nível d'água durante a medição da vazão e o nível d'água mínimo obtido através de informações locais (*);
- . Registro dos níveis máximos, de enchentes ocorridas no passado nos locais da barragem e da casa de máquinas, obtidos através de informações locais (*);
- . Registro do nível d'água máximo durante o período de estiagem, para o desvio do rio.

6.1.5 Caracterização Geológica e Geotécnica do Terreno (ver item 4.4)

Características do local da obra

- Sofreu desmatamento (*) sim não
- Tipo de vegetação (*) baixa: rala densa
 alta: rala densa
- Topografia (*): plana ondulada acidentada
- Características dos encontros barragem/margens (ombreiras) (*):

	DIREITA	ESQUERDA
- suave: inclinação em torno de 4H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- pouco inclinada: " " " 2H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- inclinação média: " " " 1H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- muito inclinada: " " " 0,5H:1V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- íngreme: " " " 0,25H:1V	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
- rochosa aflorante	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- terrosa com desmoronamentos (quedas de barragens)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- terrosa sem desmoronamentos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
- Características do solo à superfície do terreno:
 - apresenta camada vegetal: espessura média 0,10 m
 - não apresenta camada vegetal
- Tipo de solo à superfície ou logo abaixo da camada vegetal(*)
 - turfa ou argila orgânica preta
 - arenoso
 - argiloso
 - siltoso
 - pedregulhoso
 - cascalho
- Presença de umidade no solo (abaixo da camada vegetal)
 - muito úmido
 - úmido
 - seco

- Espessura média estimada do solo (*)
 - junto ao rio: ---0,30--- m
 - na ombreira direita: -1,30--m
 - na ombreira esquerda: --1,30-- m

- Características dos materiais terrosos e granulares quanto à consistência, resistência e permeabilidade.
 - . Materiais de granulometria fina (solos argilosos/siltosos) (*)
 - teste de consistência: plasticidade/: baixa média alta
resistência
 - teste de resistência à penetração da haste metálica de $\emptyset = 1/2"$ alta baixa
 - teste de permeabilidade: fácil passagem de água
 difícil passagem de água
 - . Materiais de granulometria grossa (areias/cascalhos) (*)
 - teste de permeabilidade: fácil passagem de água
 difícil passagem de água

- Características do terreno no leito do rio (*)
 - rochoso: com rocha aflorante sim não
 - pedras de mão: espessura estimada = ----- m
(entre 8 e 30 cm)
 - pedregulhoso: " " = ----- m
(entre 0,5 cm e 8 cm)
 - cascalho: espessura estimada = -----m
 - argiloso/siltoso: " " = ----- m

Disponibilidade de materiais de construção

- Existência de jazidas/locais de ocorrência:
 - . Solos sim não

tipos	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
<input type="checkbox"/> argiloso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> argilo-siltoso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> argilo-arenoso	-----	-----	-----
<input checked="" type="checkbox"/> arenoso	<u>1000</u>	-----	-----
<input type="checkbox"/> areno-argiloso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> areno-siltoso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> siltoso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> silto-argiloso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> silto-arenoso	-----	-----	-----
<input type="checkbox"/> com pedregulhos	-----	-----	-----

areia (leito do rio ou natural proximidades da obra) sim não

tipos

areia misturada com argila (pelotas) ou materiais orgânicos

	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
<input checked="" type="checkbox"/> areia lavada com predominância de:			
<input type="checkbox"/> areia grossa	-----	-----	-----
<input checked="" type="checkbox"/> areia média	<u>1000</u>	-----	-----
<input type="checkbox"/> areia fina	-----	-----	-----

areia comercial sim não

- tipo: -----
- distância ao local da obra: ----- km
- volume aproximado necessário p/as obras ----- m³

. cascalho sim não

tipos:	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
--------	---	---------------------------	---

grãos grandes (diâmetro médio entre 4 cm e 15 cm)

50

grãos pequenos (diâmetro médio entre 0,5 cm e 4 cm)

. pedras de mão sim não
(diâmetro médio entre 8 e 30 cm)

tipo:	Distância ao local da obra (m)	Espessura média (m)	Volume aproximado (m ³)
-------	---	---------------------------	---

Gnaisse

50

. rocha sim não

tipo:	Distância ao local da obra (m)	Volume aproximado (m ³)
-------	---	---

• Camada de cobertura da rocha:

Tipo de material _____
Espessura do material _____ m

• Verificação da adequabilidade da rocha como material de fundação das obras e/ou quanto à utilização como material de construção:

. Características relativas à resistência, friabilidade e alterabilidade da rocha (*)

- quebra-se com facilidade a golpes de martelo sim não

- desfarela-se ou desagrega-se com facilidade a golpes de martelo sim não

- apresenta-se com superfície escamável (descascável) a golpes de martelo sim não

- apresenta-se com superfície fraturada sim não
- quanto ao fraturamento são: muito pouco
fraturadas fraturadas
- as fraturas estão preenchidas com algum material sim não
- o material de preenchimento das fraturas é: arenoso argiloso
- as rochas existentes no leito do rio ou nas margens apresentam desgaste pela ação das águas correntes sim não

6.1.6 Carga Elétrica (ver item 4.5)

Registrar as cargas elétricas existentes (*) e as requeridas ou cogitadas pelo proprietário (*), bem como informações necessárias. Para as cargas existentes pode ser adotada a TABELA 4.7/I:

Distância máxima da casa de máquinas aos centros de consumo de energia elétrica...0,4... km (*)

TABELA 6/I

TIPO DE CONSUMO	QUANTIDADE	POTÊNCIA	PERÍODO PROVÁVEL DE FUNCIONAMENTO
Iluminação: - Lâmpadas de vidro leitoso e claro	7	60 W cada	18 às 24 h
- Lâmpadas fluorescentes	2	20 W cada	18 às 24 h
Aparelhos Eletrodomésticos: - Fogão Elétrico	1	2400 W	11 às 13 h e 17 às 19 h
- Chuveiro Elétrico	2	2x2000 W	18 às 20 h
- Televisor	1	200 W	20 às 24 h
- Máquina de Costura	1	90 W	14 às 17 h
- Máquina de Lavar Roupas	1	408 W	8 às 11 h
- Ferro de Passar Roupas	1	1000 W	12 às 17 h
- Rádio	2	2x100 W	7 às 17 h
- Geladeira	1	408 W	0 às 0 h
Equipamentos Diversos: - Serra Circular 7½ CV	1	6582 W	7 às 11 h
- Bomba d'Água para Irrigação 10 CV	1	4390 W	0 às 7 h e 20 às 0 h
- Congelador Comercial 1 CV	1	969 W	0 às 0 h
- Criadeira de Pinto	5	5x250 W	0 às 0 h
- Forrageira Forragem Fina 7½ CV	1	6582 W	13 às 17 h

- 6.2 Croquis do Local do Aproveitamento (ver ANEXO 6/A)
- 6.3 Arranjo Geral de Aproveitamento (ver item 4.1)

As condições topo-geológicas do terreno são muito favoráveis ao arranjo geral do aproveitamento com um sistema de adução semelhante ao tipo ilustrado no ANEXO 4.1/B, porém simplificado, e ilustrado no croquis do ANEXO 6/A do Projeto.

- 6.4 Topografia e Dados Cartográficos (ver item 4.2)

- 6.4.1 Determinação da Queda Natural H_N e do Perfil da Linha de Adução

Estes dois serviços topográficos foram executados com um clinômetro do tipo e metodologia de operação descritos no item 4.2 e a execução dos mesmos teve uma duração de 4 horas, incluindo a limpeza e o estaqueamento do terreno na faixa do alinhamento. A TABELA 6/II apresenta a cópia da caderneta dos serviços de campo.

- 6.4.2 Dados Cartográficos

Para a determinação da área de drenagem e da localização geográfica do aproveitamento, foi empregado o mapa fornecido pelo IBGE, "BARRA DO PIRAI" - Folha SF23-Q-1-3, escala 1:50000, ampliado pelo proprietário para a escala de 1:10000.

- 6.5 Estudos Hidrológicos (ver item 4.3)

- 6.5.1 Determinação da Vazão de Projeto (Turbina)

A determinação da vazão, para a verificação do potencial disponível à capacidade máxima da unidade turbo-geradora a ser instalada, foi executada pelo método da medição expedita com um vertedouro retangular de madeira, de 0,60 m de comprimento, e de acordo com as instruções contidas no item 4.3.5.

A altura h do nível d'água sobre a crista do vertedouro foi de 0,15 m. Para esse valor a TABELA 4.3.5/I dá um valor para a vazão de 0,10689 m^3/s , para 1 m de comprimento de vertedouro.

Para um comprimento de vertedor de 0,60 m, teremos: $0,60 \times 0,10689 = 0,064 m^3/s$.

Tendo sido determinada a vazão com o nível do correto no seu valor mínimo, conforme informações do proprietário, adotou-se o valor da vazão encontrada como o valor da vazão mínima ocorrida.

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DO TERRENO E DA QUEDA NATURAL COM O CLINÔMETRO

TABELA 6/II

ESTACAS Nº	INCLINAÇÃO θ_1 e θ_2	INCLINAÇÃO MÉDIA θ	$\text{Sin } \theta$	$\text{Cos } \theta$	L_x (m)	h_E (m)	h_F (m)	h_x (m)	r_5 (m)	h_5 (m)	L_5 (m)	COTAS TERRENO (m)
0	27°30'	27°35'	0,46304	0,88633	2,79	0,37		1,29	2,47	1,33	2,81	550,00
1	27°40'						0,33					551,33
1	25°30'	25°33'	0,43120	0,90221	10,36	0,33		4,45	9,35	4,42	10,34	551,33
2	25°35'						0,37					555,75
2	19°20'	15°35'	0,26518	0,94215	14,38	0,37		4,82	13,55	4,75	14,36	555,75
3	19°50'						0,44					560,50
3	10°40'	11°10'	0,19366	0,98107	14,11	0,44		2,73	13,84	2,78	14,12	560,50
4	11°40'						0,39					563,28
4	10°10'	10°20'	0,17937	0,98378	13,99	0,39		2,51	13,76	2,53	13,99	563,28
5	10°30'						0,37					565,81
5	9°20'	9°30'	0,16505	0,98629	13,91	0,37		2,30	13,72	2,32	13,91	565,81
6	9°40'						0,35					568,13
6	10°40'	10°45'	0,18652	0,98245	13,79	0,35		2,57	13,55	2,61	13,80	568,13
7	10°50'						0,31					570,74
7	10°10'	10°20'	0,17937	0,98378	13,75	0,31		2,47	13,53	2,45	13,75	570,74
8	10°30'						0,33					573,19
8	8°40'	8°55'	0,15500	0,98791	13,80	0,33		2,14	13,63	2,21	13,81	573,19
9	9°10'						0,26					575,40
9	11°10'	11°20'	0,19652	0,98050	14,00	0,26		2,75	13,73	2,58	13,97	575,40
10	11°30'						0,43					577,98
10	-1°10'	-0°55'	-0,01600	0,99987	14,13	0,43		-0,23	14,13	-0,14	14,13	577,98
11	-0°40'						0,34					577,84
11	-1°10'	-0°55'	-0,01600	0,99987	14,02	0,34		-0,22	14,02	-0,17	14,02	577,84
12	-0°40'						0,29					577,67
12	-1°40'	-1°25'	-0,02472	0,99969	11,54	0,29		-0,29	11,54	-0,23	11,54	577,67
13	-1°10'						0,23					577,44
13	-	-90°	-1,00000	0,00000	0,00	0,23		0,00	0,00	-0,32	0,00	577,44
N.A.							0,55					577,12

QUEDA NATURAL $H_N = \sum h_x + h_E(0) - h_F(N.A.) = 27,30 + 0,37 - 0,55 = 27,12\text{m}$ ou $H_N = 577,12 - 550,00 = 27,12\text{m}$

* MEDIÇÃO DE CAMPO

$$Q = Q_{95} = 1 \times 0,064 = 0,064 \text{ m}^3/\text{s} \quad C_q = 1$$

que é a vazão de projeto procurada.

6.5.2 Determinação da Vazão de Cheia Máxima

Não foi determinada a vazão de cheia máxima para o dimensionamento de vertedouro porque na concepção do projeto não foi previsto um vertedouro com capacidade vertente específica para esse tipo de vazão. A barragem projetada terá apenas a função de manter o nível d'água mínimo na entrada do canal de adução, ficando submersa durante os períodos de cheias do córrego.

A vazão de desvio durante a construção do barramento também não foi determinada por se tratar de um barramento muito pequeno e que deverá ser construído em apenas uma semana, durante um período de águas baixas.

6.6 Determinação da Potência Aproveitável (ver item 4.5.1)

6.6.1 Determinação da Queda Bruta H

A queda bruta, no caso presente da instalação de uma turbina Pelton, é a diferença entre o nível d'água do pequeno reservatório criado pelo barramento e o nível do eixo da turbina.

Nível d'água do reservatório	Cota 577,12 m
Nível do eixo da turbina	Cota <u>551,00</u> m
Queda bruta H	26,12 m

Nota: o nível do eixo da turbina fica 1 m acima do nível do terreno natural (550,00 m) - ver TABELA 6/II.

6.6.2 Potência Bruta Aproveitável

$$\text{Potencial} = 7,16 \cdot Q \cdot H = 7,16 \times 0,064 \times 26,12 = 11,97 \text{ kW}$$

6.7 Determinação da Potência Necessária (ver item 4.5.2)

Com os dados colhidos na Planilha de Campo - item 6.1, pode-se estimar a carga elétrica desejada e determinar a potência necessária ao seu suprimento, conforme a seguir:

a) Consumo de luz

7 lâmpadas de vidro leitoso e claro 60 W/cada
 2 lâmpadas fluorescentes 20 W/cada

Período de funcionamento: 18 às 24 h

Consumo médio horário: $(7 \times 60 + 2 \times 20) = 460$ W/h

Como as lâmpadas não ficam simultaneamente acesas, toma-se um fator de utilização de 50% para o consumo horário.

Consumo horário de luz = 50% de 460 = 230 W

b) Consumo de Aparelhos Eletrodomésticos

<u>Aparelhos</u>	<u>Quantid.</u>	<u>Capacidade Unitária (W)</u>	<u>Capacidade Total (W)</u>	<u>Período de Funcionamento</u>
Fogão elétrico de 2 bocas 15 cm Ø	1	2400	2400	11 às 13 h e 17 às 19 h
Chuveiro elétrico	2	2000	4000	18 às 20 h
Televisor	1	200	200	20 às 24 h
Máquina de costura	1	90	90	14 às 17 h
Máquina de lavar roupa	1	408	408	8 às 11 h
Ferro de passar roupa	1	1000	1000	12 às 17 h
Rádio	2	100	200	7 às 17 h
Geladeira de 2 portas	1	408	408	0 às 0 h

c) Equipamentos Elétricos

<u>Equipamentos</u>	<u>Quantid.</u>	<u>Capacidade Unitária (W)</u>	<u>Capacidade Total (W)</u>	<u>Período de Funcionamento</u>
Serra circular 7 1/2 CV	1	6582	6582	7 às 11 h

<u>Equipamentos</u>	<u>Quantid.</u>	<u>Capacidade Unitária</u> (W)	<u>Capacidade Total</u> (W)	<u>Período de Funcionamento</u>
Bomba d'água p/irrigação 10 CV	1	4390	4390	0 às 7 h e 20 às 0 h
Congelador comercial 2400 l, 1 CV	1	969	969	0 às 0 h
Criadeira de pinto	5	250	1250	0 às 0 h
FORAGEIRA-FORRA GEM FINA 7 1/2 CV 1		6582	6582	13 às 17 h

Conforme a TABELA 6/III as maiores cargas horárias ocorrem de 14 às 17 h, definindo um pico de 10499 W.

Um sistema de carga elétrica, funcionando dentro de um horário e período de consumo estabelecidos, é caracterizado por um coeficiente chamado fator de carga, que é obtido através da seguinte relação:

$$F_c = \frac{D_{\text{médio}}}{D_{\text{máx.}}}$$

onde:

F_c = fator de carga

$D_{\text{médio}}$ = demanda média (carga consumida média)

$D_{\text{máx.}}$ = demanda máxima (carga consumida máxima)

sendo as demandas (cargas) tomadas com as mesmas unidades (W, kW etc.).

Quanto maior for o fator de carga, melhor será a distribuição do consumo de energia do sistema, dentro do período considerado.

Da TABELA 6/III, tira-se:

$$D_{\text{médio}} = \frac{192268}{24} = 8011 \text{ Wh/h}$$

$$D_{\text{máx.}} = 10499 \text{ Wh/h}$$

$$F_c = \frac{8011}{10499} = 0,76 \text{ (76\%)}$$

Deste modo, a programação do horário de funcionamento, principalmente dos equipamentos elétricos, foi feita de modo a se obter um bom fator de carga.

Para a determinação mais exata do F_c , aconselha-se a deduzir o consumo de certos equipamentos elétricos, como a geladeira e o congelador, que podem funcionar apenas 15 minutos nas horas de trabalho (25%), bem como a serra circular que deve funcionar, aproximadamente, apenas 60% do período horário.

$$D_{\text{médio}} = \frac{192268 - 75\% (9792 + 23256) - 40\% (26328)}{24} = 6540 \text{ Wh/h}$$

$$F_c = \frac{6540}{10499} = 0,62 \quad (62\%)$$

A fim de facilitar a regulação da unidade geradora, programou-se de modo que a relação entre a carga horária mínima e a carga horária máxima não fosse inferior a 40%.

Carga horária mínima 5027 W

Carga horária máxima 10499 W

$$\frac{5027}{10499} = 0,48 \quad (48\%)$$

6.8

Determinação da Potência a ser Instalada
(ver item 4.5.3)

$$P_{\text{max}} = 6,80 \cdot Q.H. = 6,80 \times 0,064 \times 26,12 = 11,37 \text{ kW}$$

$$\text{Potência necessária} = 10,499 \approx 10,5 \text{ kW}$$

A potência máxima possível de ser instalada é superior à potência necessária. Contudo, não sendo econômico adquirir, sob encomenda, uma unidade geradora com a potência de 11,37 kW, escolheu-se uma unidade de fabricação padronizada mais próxima da potência necessária (10,5 kW) e que tem uma capacidade de 10 kW na saída dos bornes do gerador.

Para resolver o problema da pequena diferença a menos (0,5 kW) entre a potência da unidade geradora escolhida e a potência necessária, pode-se fazer uma reformulação na distribuição da carga horária dos aparelhos e equipamentos elétricos, a fim de diminuir o valor do "pico".

TABELA 6/III

TIPOS DE CONSUMO	HORÁRIO E CONSUMO HORÁRIO DE ENERGIA (Wh/h)																								TOTAL (Wh/dia)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
LUZ										2400	2400						2400	2400	4000	4000	230	230	230	230	1380
FOGÃO ELÉTRICO																									9600
CHUVEIRO ELÉTRICO																									8000
TELEVISOR																									800
MÁQUINA DE COSTURA																									270
MÁQ. DE LAV. ROUPA																									1224
FERRO DE PAS. ROUPA																									5030
RÁDIO																									2030
GELADEIRA	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	9792
SERRA CIRCULAR																									26328
BOMBA D'ÁGUA	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	4390	48230
CONCELADOR COMERCIAL	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	969	23256
CRIADEIRA DE PINTO	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	30000
FORAGEIRA																									26328
TOTAL	7017	7017	7017	7017	7017	7017	9409	9817	9817	9817	5227	6227	10409	10499	10499	10499	5027	9257	6857	7447	7447	7447	7447	7447	192268

O dimensionamento das estruturas deste projeto, da mesma forma que os seus demais passos de cálculo, foi feito de acordo com as instruções básicas apresentadas neste Manual. Todavia, é necessário que o projetista use a sua criatividade, em cada caso particular, a fim de executar necessárias e pequenas modificações. Em alguns casos há a possibilidade de eliminação de certas estruturas como barragem, tomada d'água, ou mesmo estruturas de proteção na entrada do canal de adução, e assim por diante, o que resulta em economia na implantação da central. Em outros, entretanto, devido às condições topogeológicas ou construtivas, as estruturas terão que ser superdimensionadas.

6.9.1 Tomada d'água (ver item 5.1)

Devido à natureza do terreno, compacto e resistente, e à baixa velocidade da água (0,32 m/s) na entrada do canal de adução, não foi considerada a construção de uma tomada d'água, transferindo-se as suas funções para a câmara de carga (castelo d'água).

O fechamento da boca do canal em casos eventuais de reparações ou limpeza, não havendo estrutura permanente para essa finalidade, será feito com sacos contendo argila, isto é, através de uma pequena ensecadeira, facilmente removível.

6.9.2 Barragem (ver item 5.2.2)

Foi projetada uma pequena barragem em pedras argamassadas (ver ANEXO 6/B) com a finalidade exclusiva de manter o nível d'água mínimo necessário à entrada da água no canal de adução. Esta barragem ficará submersa nos períodos de cheia, quando o córrego terá o seu leito livre para o escoamento da água, salvo a obstrução causada pelo pequeno barramento.

A construção da barragem foi prevista para poucos dias durante um período de águas baixas e o desvio do rio será feito através de um pequeno canal aberto na margem esquerda (ver ANEXO 6/B).

6.9.3 Sistema de Adução em Baixa Pressão (ver item 5.3)

O sistema de adução em baixa pressão será feito através de um canal, com 0,50 m de largura por 0,40 m de profundidade, aberto em terreno compacto e resistente, permitindo uma velocidade de escoamento da água de 0,32 m/s, considerada muito pequena e, por isto, não foi previsto revestimento para este canal.

A largura adotada para o canal foi a mínima compatível com o espaço necessário para a escavação manual, na profundidade exigida pelo projeto. Em decorrência disso, obteve-se uma área de escoamento maior que a necessária, resultando uma baixa velocidade da água, calculada como segue:

Vazão de escoamento $Q = 0,064 \text{ m}^3/\text{s}$
 Devido às condições mencionadas, tomou-se (fora de padrão) $m = 0$
 Altura da lâmina d'água $h = 0,40 \text{ m}$
 Largura do canal (constante) $b = 0,50 \text{ m}$

$$v = \frac{Q}{h(b+mb)} = \frac{0,064}{0,40(0,50+0 \times 0,50)} = 0,32 \text{ m/s}$$

As dimensões para um extravasor seriam:

Altura = 0,30 m
 Comprimento = $3,3Q = 3,3 \times 0,064 = 0,21 \text{ m}$

As reduzidas dimensões encontradas para o extravasor levaram à decisão de não construí-lo.

6.9.4 Câmara de Carga (Castelo d'Água) ver item 5.4

A câmara de carga, neste projeto, vai desempenhar as funções da tomada d'água inexistente, e, por isso, foi prevista a instalação de grades, desarenador e dispositivo de fechamento.

Devido às pequenas dimensões da área de escoamento do canal de adução, a boca da câmara de carga foi projetada com a mesma largura do canal (0,50 m), tornando-a também superdimensionada, mas favorecendo às condições de escoamento da água e aumentando o volume de depósito da areia na seção desarenadora. (ver ANEXO 6/B).

O dispositivo de fechamento será constituído de pranchões de madeira, ao invés de comporta, instalados sobre a parede divisória entre a seção desarenadora e o compartimento da tomada da tubulação forçada.

O desarenador terá uma pequena comporta de madeira, de 0,30 m x 0,30 m, e uma seção dissipadora de energia constituída de uma pequena escada de alvenaria de pedra argamassada.

6.9.5 Tubulação (ver item 5.5)

A) Determinação do Diâmetro Interno da Tubulação (ver item 5.5.1)

$$D = K Q^{0,388} \frac{L^{0,204}}{H^{0,204}}$$

$$K = 52,815 \quad Q^{0,388} = 0,3442$$

$$Q = 0,064 \text{ m}^3/\text{s} \quad L^{0,204} = 2,5822$$

$$L = 104,61 \text{ m} \quad H^{0,204} = 1,9456$$

$$H = 26,12 \text{ m}$$

$$D = 52,815 \times 0,3442 \frac{2,5822}{1,9456} = 24,13 \text{ cm}$$

Os diâmetros mais próximos comerciais (padronizados) de tubos sem costura são:

diâmetro nominal 8" - diâmetro interno 205 mm

diâmetro nominal 10" - diâmetro interno 257 mm

Para o diâmetro interno mais próximo (inferior), a velocidade de escoamento da água é:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0,064}{\frac{3,1416 \times 0,205^2}{4}} = 1,94 \text{ m/s}$$

Para o diâmetro interno mais próximo (superior), a velocidade de escoamento da água é:

$$v = \frac{0,064}{\frac{3,1416 \times 0,257^2}{4}} = 1,23 \text{ m/s}$$

Como para o tubo de 8" a velocidade de escoamento da água é inferior à velocidade máxima permitida para tubulações de aço (5m/s), por economia, adotou-se esse diâmetro para a tubulação do projeto.

B) Determinação da Espessura de Chapa da Tubulação (ver item 5.5.2)

$$e = \frac{HD}{16600} + e_s$$

$$H = 26,12 \text{ m}$$

$$D = 205 \text{ mm} \quad e = \frac{26,12 \times 205}{16600} + 1 = 1,32 \text{ mm}$$

$$e_s = 1 \text{ mm}$$

Verificação:

$$e_{\min} = \frac{D+508}{400} = \frac{205+508}{400} = 1,78 \text{ mm}$$

Tendo em vista que a espessura mínima adotada neste Manual é de 4,76 mm (3/16"), adotou-se este valor para a espessura de chapa da tubulação.

C) Blocos de Apoio (selas) - ver item 5.5.3 - (1)

1 - Espaçamento entre selas: 3,50 m (ver TABELA 5.5.3/I)

2 - Dimensionamento das Selas "A" (ver ANEXO 5.5.3/A)

Tipo	III
Ângulo de inclinação da tubulação	$\theta = 10^\circ$
Diâmetro interno da tubulação	$D = 0,205 \text{ m}$

$$C_1 = (0,25 \times 0,17633 + 0,076) \times 0,205 + 0,029 = 0,05 \text{ m}$$

$$A = 0,476 \times 0,205 + 0,329 = 0,43 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,5(0,05 + 0,43 \times 0,17633) \times 0,17633 + 0,43 + \frac{0,205}{4} = 0,49 \text{ m}$$

$$C_2 = 0,076 \times 0,205 + 0,029 = 0,05 \text{ m}$$

$$E = 0,238 \times 0,205 + 0,114 = 0,16 \text{ m}$$

$$B = 1,048 \times 0,205 + 0,143 = 0,36 \text{ m}$$

$$L_B = \left(\frac{0,05 + 0,43 \times 0,17633}{2} \right) \left(\frac{1}{0,98481} + 0,98481 \right) = 0,13 \text{ m}$$

$$A_5 = \frac{\frac{0,205}{4} + 0,43}{0,98481 \times 0,96593} = 0,51 \text{ m}$$

$$A_6 = \left(2 \times 0,49 - 0,43 - \frac{0,205}{4} \right) \frac{0,98481}{0,96593} = 0,51 \text{ m}$$

$$L'_B = (2 \times 0,49 - 0,43 - \frac{0,205}{4}) \frac{0,08716}{0,96593} + (0,49 - 0,43 - \frac{0,205}{4}) 0,17365 + 0,13 = 0,18 \text{ m}$$

$$L''_B = \frac{\frac{0,205}{4} + 0,43}{0,98481} \times 0,26795 = 0,13 \text{ m}$$

3 - Dimensionamento das Selas "B" (ver ANEXO 5.5.3/A)

Tipo	II
Ângulo de inclinação da tubulação	$\theta = 22^\circ$
Diâmetro interno da tubulação	$D = 0,205 \text{ m}$

$$C_1 = (0,25 \times 0,40403 + 0,076) 0,205 + 0,029 = 0,07 \text{ m}$$

$$A = 0,476 \times 0,205 + 0,329 = 0,43 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,5 (0,07 + 0,43 \times 0,40403) 0,40403 + 0,43 + \frac{0,205}{4} = 0,53 \text{ m}$$

$$A_2 = 0,5 (0,07 + 0,43 \times 0,40403) 0,37461 = 0,05 \text{ m}$$

$$C_2 = 0,076 \times 0,205 + 0,029 = 0,05 \text{ m}$$

$$E = 0,238 \times 0,205 + 0,114 = 0,16 \text{ m}$$

$$B = 1,048 \times 0,205 + 0,143 = 0,36 \text{ m}$$

$$L_B = \left(\frac{0,07 + 0,43 \times 0,40403}{2} \right) \left(\frac{1}{0,92718} + 0,92718 \right) = 0,24 \text{ m}$$

$$A_5 = \frac{\frac{0,205}{4} + 0,43}{0,92718 \times 0,99863} = 0,52 \text{ m}$$

$$L''_B = \frac{\frac{0,205}{4} + 0,43}{0,92718} \times 0,05241 = 0,03 \text{ m}$$

4 - Observações Construtivas

- Devido às suas pequenas dimensões, as selas podem ser construídas fora do local de instalação, sob a forma de pré-moldados.

D) Blocos de Ancoragem - ver item 5.5.3-(2)

1 - Dimensionamento do Bloco N° 1

<u>Dados Reais</u>	<u>Parâmetros de entrada nas TABELAS 5.5.3/II e 5.5.3/III</u>
D = 0,205 m	D = 0,20 m
$\theta_1 = 10^\circ$	$\theta_1 = 10^\circ$
$\theta_2 = 22^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$
(*) H = 577,12 - 560,90 = 16,22 m	H = 20 m
$L_t = 80$ m	$L_t = 30$ e 60 m
Tipo: $\theta_1 < \theta_2$	Convexo

*) Diferença entre o nível d'água na câmara de carga (castelo d'água) e o nível do centro do bloco de ancoragem.

- Determinação do comprimento C_1

Da TABELA 5.5.3/II tira-se $C_1 = 1,02$ m ($L_t = 30$ m)

Da TABELA 5.5.3/III tira-se $C_1 = 1,54$ m ($L_t = 60$ m)

Por extrapolação:

$$\Delta C_1 = 1,54 - 1,02 = 0,52 \text{ m}$$

$$\Delta L_t = 60 - 30 = 30 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,54 + \frac{0,52}{30} (80 - 60) = 1,89 \text{ m}$$

- Determinação das Dimensões do Bloco (ver ANEXO 5.5.3/B)

$$A = 0,476 \times 0,154 + 0,329 = 0,40 \text{ m}$$

$$E = 0,238 \times 0,154 + 0,114 = 0,15 \text{ m}$$

$$B = 0,154 + 2 \times 0,15 = 0,45 \text{ m}$$

$$C_3 = 1,381 \times 0,154 + 0,243 = 0,45 \text{ m}$$

$$A_1 = 1,89 \times 0,17365 + 0,45 \times 0,37461 + 0,40(1-0,98481) = 0,50 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{0,154 + 0,15}{0,92718} = 0,33 \text{ m}$$

$$C_2 = 1,89 + (0,154 + 0,15) \operatorname{tg} \frac{22^\circ - 10^\circ}{2} = 1,89 + 0,304 \operatorname{tg} 6^\circ =$$

$$= 1,89 + 0,304 \times 0,10510 = 1,92 \text{ m}$$

$$C_4 = 0,45 - (0,154 + 0,15) \left(\operatorname{tg} 22^\circ - \operatorname{tg} \frac{22^\circ - 10^\circ}{2} \right) =$$

$$= 0,45 - 0,304 (0,40403 - 0,10550) = 0,36 \text{ m}$$

$$L'_B = 1,89 \times 0,98481 + 0,40 \times 0,17365 = 1,93 \text{ m}$$

$$L''_B = 0,45 \times 0,92718 = 0,42 \text{ m}$$

$$L_B = 1,93 + 0,42 = 2,35 \text{ m}$$

2 - Dimensionamento do Bloco Nº 2

<u>Dados Reais</u>	<u>Parâmetros de entrada nas TABELAS 5.5.3/IV e 5.5.3/V</u>
D = 0,205 m	D = 0,20 m
$\theta_1 = 22^\circ$	$\theta_1 = 25^\circ$
$\theta_2 = 22^\circ$	$\theta_2 = 25^\circ$
(*) H = 577,12 - 552,00 = 25,12 m	H = 30 m
$L_t = 23 \text{ m}$	$L_t = 30 \text{ e } 60 \text{ m}$
Tipo = $\theta_1 = \theta_2$	Reto

(*) Diferença entre o nível d'água na câmara de carga (castelo d'água) e o nível do centro do bloco de ancoragem.

- Determinação do comprimento C_1

Da TABELA 5.5.3/IV tira-se: $C_1 = 0,69 \text{ m}$ ($L_t = 30 \text{ m}$)

Da TABELA 5.5.3/V tira-se: $C_1 = 0,98 \text{ m}$ ($L_t = 60 \text{ m}$)

Por extrapolação:

$$\Delta C_1 = 0,98 - 0,69 = 0,29 \text{ m}$$

$$\Delta L_t = 60 - 30 = 30 \text{ m}$$

$$C_1 = 0,69 - \frac{0,29}{30} (30 - 23) = 0,62 \text{ m}$$

- Determinação das Dimensões de Bloco (ver ANEXO 5.5.3/C)

$$A = 0,476 \times 0,154 + 0,329 = 0,40 \text{ m}$$

$$E = 0,238 \times 0,154 + 0,114 = 0,15 \text{ m}$$

$$B = 0,154 + 2 \times 0,15 = 0,45 \text{ m}$$

$$C_3 = \frac{0,62}{0,92718} = 0,67 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,62 \times 0,37461 + 0,67 \times 0,37461 + 0,40 (1-0,92718) = 0,51 \text{ m}$$

$$A_2 = \frac{0,154 + 0,15}{0,92718} = 0,33 \text{ m}$$

$$C_2 = 0,62 - (0,154 + 0,15) \operatorname{tg} \frac{0^\circ}{2} = 0,62 - 0 = 0,62 \text{ m}$$

$$C_4 = 0,67 - (0,154 + 0,15) (0,40403 - 0) = 0,55 \text{ m}$$

$$L'_B = 0,62 \times 0,92718 + 0,40 \times 0,37461 = 0,72 \text{ m}$$

$$L''_B = 0,67 \times 0,92718 = 0,62 \text{ m}$$

$$L_B = 0,72 + 0,62 = 1,34 \text{ m}$$

6.9.6 Unidade Geradora (ver item 5.6)

Conforme a determinação da potência a ser instalada (ver item 6.8) escolheu-se um gerador, de fabricação padronizada, com as seguintes características:

- Tipo	Alternador síncrono trifásico
- Capacidade (potência)	12,5 kVA
- Rotação	1800 rpm
- Número de pólos	4
- Tensão de saída	400 V
- Frequência	60 Hz
- Fator de potência	0,8

O tipo e a potência aproximada da turbina foram obtidos do ANEXO 5.6.2/A, para uma vazão de projeto de 64ℓ/s e uma queda bruta de 26 m, encontrando-se:

Tipo de turbina	Pelton
Potência aproximada	12 kW

A potência definitiva da turbina foi fornecida pelo fabricante deste equipamento, no valor de 14 kW, depois de determinados o seu rendimento e as perdas por transmissão no acoplamento com o gerador. Este acoplamento será feito por correias.

6.9.7 Casa de Máquinas e Canal de Fuga (ver item 5.7)

Os dimensionamentos da casa de máquinas e do canal de fuga foram baseados nas dimensões dos equipamentos eletromecânicos fornecidos pelos seus fabricantes e sob a orientação do fornecedor da turbina.

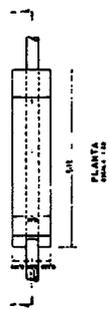
6.9.8 Subestação e Linha de Alimentação (ver item 5.8)

Devido à curta distância (400 m) entre a casa de máquinas e o centro consumidor de energia, a alimentação pode ser feita através de um sistema trifásico, em 380 V e com cabos nº 4 (CAA) montados em postes de madeira do tipo "B" (ver TABELA 5.8.2/IV e ANEXO 5.8.2/A).

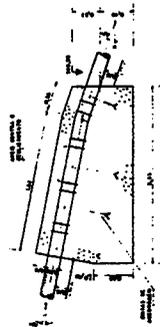
A tensão de geração de 400 V, do alternador, foi especificada pelo fabricante para a alimentação em 380 V. Desta forma, o projeto não exige a instalação de um transformador, isto é, de uma subestação elevadora de tensão.

6.9.9 Desenhos do Arranjo Geral e de Detalhes
 (ver item 5.9)

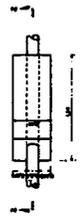
Os desenhos elaborados estão apresentados nos ANEXOS 6/B e 6/C.



VISTA 1-1
SEÇÃO 1-1



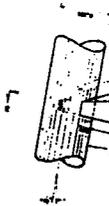
VISTA 1-1
SEÇÃO 1-1



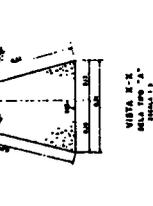
VISTA 2-2
SEÇÃO 2-2



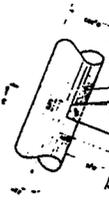
VISTA 2-2
SEÇÃO 2-2



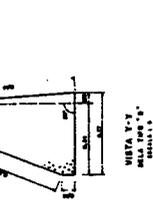
VISTA 3-3
SEÇÃO 3-3



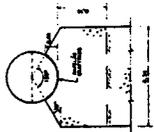
VISTA 3-3
SEÇÃO 3-3



VISTA 4-4
SEÇÃO 4-4



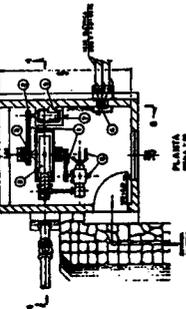
VISTA 4-4
SEÇÃO 4-4



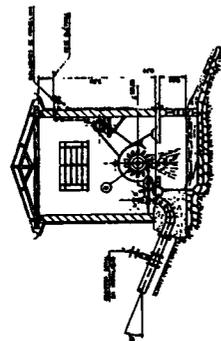
VISTA 5-5
SEÇÃO 5-5

NOTA:

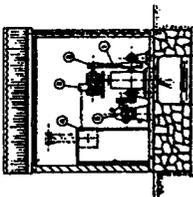
Todos os detalhes e cortes estão em metros, exceto onde indicado de outra forma.



CORTE 1-1
SEÇÃO 1-1



CORTE 2-2
SEÇÃO 2-2



CORTE 3-3
SEÇÃO 3-3

- LEGENDA:
- - Pisos de madeira
 - - Pisos de concreto
 - - Pisos de alvenaria
 - - Pisos de aço
 - - Pisos de madeira / concreto / alvenaria
 - - Pisos de concreto / alvenaria / aço
 - - Pisos de madeira / concreto / alvenaria / aço

DESENHO DE REFERÊNCIA

Câmara Vaporosa - UHE São João Formosa - Arraial do Cabo - Paraíba - Cota de Arraial do Cabo e Cota de Campo - (Folha 1 de 2)

ENGEVIX S.A. - UHE SÃO JOÃO FORMOSA	
CÂMARA VAPOROSA	
UHE SÃO JOÃO FORMOSA	
SEÇÃO DE ARRANJO	
FOLHA 1 DE 2	
Projeto	1 / 1
Desenho	1 / 1
Revisão	1 / 1
Assinatura	1 / 1
Escala	1 / 1

PLANILHA PADRÃO	
MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA	
<u>ORÇAMENTO</u>	
NOME DO APROVEITAMENTO: UHE SÍTIO DAS TORRES	LOCALIZAÇÃO:
CARACTERÍSTICAS	Nome do Rio: CÓRREGO VOÇOROCA
Potência Instalada: 110 kW	Distrito de:
Altura de Queda : 26,12 m	Município : VALENÇA
Barragem Vertedouro-tipo/material: PEDRA ARGAM, Estado : RIO DE JANEIRO	
	comprimento: L=99m; H=99m
Tubulação Forçada-extensão: 110 m	
CUSTOS REF. A PREÇOS DE: JUNHO de 1.985	
TAXA DE CÂMBIO ADOTADA: 1 US\$ = Cr\$ 5.729	
DATA: 22/06/85	NOME DO PROPRIETÁRIO: SR. OSVALDO M. O. CASTRO

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>OBRAS CIVIS</u>				
<u>Barragem de Terra</u>				
Preparo de fundação/raspagem	m ²			
Escavação, carga, transporte, lançamento, espalhamento e compactação	m ³			
Proteção da barragem:				
. c/areia, brita e pedra	m ³			
. c/grama em placa	m ²			
<u>Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada e/ou Vertedouro</u>				
Escavação comum	m ³	0,32	10.000	3.200
Escavação de rocha	m ³			
Alvenaria de pedra argamassada	m ³	0,90	200.000	180.000
Alvenaria de tijolo maciço (e = 20 cm)	m ²			
Reforço de fundação (enrocamento)	m ³			
<u>Barragem de Concreto e/ou Vertedouro</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Concreto armado	m ³			
Bacia de dissipação:				
. laje de pedra argamassada	m ³			
. enrocamento de proteção	m ³			
Mureta de alvenaria de tijolo maciço (e = 20 cm)	m ²			
<u>Tomada d'Água</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Concreto armado	m ³			
Concreto sem armação	m ³			

DISCRMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>Tomada d'Água (cont.)</u>				
Alvenaria de pedra argamassada	m ³			
<u>Canal de Adução</u>				
Escavação comum	m ³	75,2	10.000	752.000
Escavação de rocha	m ³			
Revestimentos:				
de pedra solta	m ³			
de pedra argamassada	m ³			
de tijolo maciço	m ²			
de concreto sem armação	m ³			
<u>Tubulação de Adução de Baixa Pressão</u>				
Escavação comum	m ³			
Concreto sem armação	m ³			
Tubo de aço	kg			
Tubo de concreto	m			
Tubo de cimento-amianto	m			
<u>Câmara de Carga</u>				
Escavação comum	m ³	3,4	10.000	34.000
Concreto armado	m ³	2,4	500.000	1.200.000
Tubo de aço	kg			
<u>Tubulação Forçada</u>				
Escavação comum	m ³	5,8	10.000	58.000
Escavação de rocha	m ³			
Concreto armado	m ³	2,6	500.000	1.300.000
Tubo de aço	kg	2.585	7.000	18.095.000
<u>Casa de Máquinas</u>				
Escavação comum	m ³	8,0	10.000	80.000
Baldrame de pedra	m ³	5,0	200.000	1.000.000
Concreto armado	m ³	22	500.000	1.100.000
Alvenaria de tijolo				
. de 10 cm	m ²	14,1	20.000	282.000
. de 20 cm	m ²			

DISCRMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>Casa de Máquina (cont.)</u>				
Parede de madeira	m ²			
Revestimento:				
. camada de piso - cimento	m ²	10	15.000	150.000
. massa única (emboço, reboco)	m ²	98	5.000	490.000
Cobertura (madeiramento + telhas)	m ²	20	70.000	1.400.000
Esquadrias:				
. porta	gl	1		400.000
. caixilho (janelas, etc.)	gl	1		250.000
Pintura	m ²	150	5.000	750.000
Instalação elétrica	gl			500.000
<u>Canal de Fuga</u>				
Escavação comum	m ³			
Escavação de rocha	m ³			
Revestimento:				
de pedra solta	m ³			
de pedra argamassada	m ³			
de tijolo maciço	m ²			
de concreto sem armação	m ³			
<u>Desvio do Rio</u>				
Escavação comum	m ³	3,0	10.000	30.000
Escavação em rocha	m ³			
Ensecadeira (terra) saco de terra	um	8	3.000	24.000
Tubulação	m			
<u>EQUIPAMENTOS MECÂNICOS</u>				
<u>Comporta</u>				
De madeira 0,30 x 0,30	gl	1		40.000
De aço fundido	gl			
De chapa e perfis de aço	gl			
Grade	m ²			500.000
Válvula Borboleta	un			
Turbina c/regulador de velo - cidade e Distrito Geral	un	1		10.000.000

DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	CUSTO (Cr\$)	
			UNITÁRIO	TOTAL
<u>EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES ELÉ - TRICAS</u>				
<u>Geradores Síncronos e Sistema de Excitação</u>	un	1		8.000.000
<u>Quadro de Comando</u>	gl	1		500.000
<u>Dispositivo de Proteção</u>	gl			
<u>Subestação</u>	gl			
<u>Ligação do Gerador à Subestação</u>	gl			
<u>Linha de Transmissão</u>	gl			5.000.000
SUBTOTAL	gl			
<u>ADMINISTRAÇÃO DO PROPRIETÁRIO E ENGENHARIA DE PROJETO</u>	kW	10	400.000	4.000.000
TOTAL PARCIAL	gl			56.816.200
<u>EVENTUAIS</u>	%	10		5.681.620
<u>TOTAL GERAL</u>	gl			62.497.820
CUSTO ÍNDICE:				
. Em Cr\$/kW	gl			6.249,78%
. Em US\$/kW	gl			1,074
<u>OBSERVAÇÕES:</u>				
ESTE CACALMENTO REPRESENTA A PREVI- SÃO DE INVESTIMENTO PARA: - IMPLANTACÃO DA UHE COM TODOS OS EQUI- PAMENTOS NOVOS; - OBRAS E SERVIÇOS CONTRATADOS COM TERCEI- ROS; - SEM LEVAR EM CONTA A POSSÍVEL REDUÇAO DE CUSTOS COM APROVEITAMENTO DE MATERIAIS E/OU MÃO-DE-OBRA DISPONÍVEL NA REGIÃO PARTE.				

7.

MANUTENÇÃO

A manutenção de uma microcentral hidrelétrica, conforme as observações colhidas em diversas instalações no interior do país, tem sido feita de um modo muito precário pelos seus proprietários, ou por falta de instruções técnicas, ou por não estarem convencidos da acentuada importância que a mesma tem no perfeito funcionamento e no aumento de vida dos equipamentos eletromecânicos e das estruturas civis.

As principais atividades necessárias à manutenção geral de uma central hidrelétrica estão apresentadas nas tabelas a seguir, devendo ser adaptadas às condições vigentes e aos tipos do equipamento.

TABELA 7/I - Programação dos Trabalhos de Manutenção Mensal.

TABELA 7/II - Programação dos Trabalhos de Manutenção Trimestral e Semestral.

TABELA 7/III - Programação dos Trabalhos de Manutenção Anual.

TABELA 7/IV - Programação dos Trabalhos de Manutenção Quinquenal.

As referidas tabelas não apresentam detalhes para a manutenção dos equipamentos eletromecânicos (turbinas, geradores, comportas, etc), como as especificações de óleo lubrificante, pintura, temperatura máxima de mancais, etc, porque estas informações devem ser exigidas pelos compradores aos fornecedores, durante os entendimentos para a compra desses equipamentos. Normalmente cada fabricante tem as suas especificações próprias para a manutenção de seus produtos, a fim de poder garantir o perfeito funcionamento e duração do seu equipamento, desde que essas especificações sejam seguidas pelo comprador.

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - MENSAL

TABELA 7/I

ITEM	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A REALIZAR
1	<u>Válvula de Descarga</u>	Limpeza e lubrificação dos componentes de acionamento.
2	<u>Gerador e Excitatriz</u>	Limpeza no estator e rotor.
3	<u>Painel de Controle</u>	Limpeza e verificação dos contatos elétricos.
4	<u>Transformadores de Força</u>	Inspeção visual.
5	<u>Serviços Auxiliares</u>	Inspeção visual de todos os elementos.
6	<u>Barragem</u>	Verificação de surgência de água, da situação física do extravasor, trinças, solapamentos, etc.
7	<u>Reservatório</u>	Verificação do processo e do progresso de assoreamento e de desenvolvimento de plantas aquáticas.
8	<u>Grades</u>	Limpeza de resíduos (se necessário, diminuir o período entre uma e outra limpeza).

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - TRIMESTRAL E SEMESTRAL

TABELA 7/II

ITEM	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A REALIZAR
	- <u>Inspeção Trimestral</u>	
1	<u>Válvula Borboleta</u>	Limpeza externa e lubrificação da derivação ("by pass").
2	<u>Prédio da Central</u>	Exame Geral no edifício, cercas, muros, valas e muros de arrimo. Verificar vidros, telhas (goteiras), pisos, instalações hidráulicas, etc.
	- <u>Inspeção Semestral</u>	
1	<u>Barragem</u>	Limpeza do sistema de drenagem superficial, verificação do aparecimento de trinças, de erosões superficiais e da ocorrência de recalques.

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - ANUAL

TABELA 7/III

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A REALIZAR
1	<u>Barragem</u>	Inspeção do estado geral do reservatório e respectiva limpeza; reparos e lubrificação da tomada d'água, das comportas e dos componentes de acionamento; inspeção geral de estabilidade do extravasor e serviços gerais de capinagem.
2	<u>Canal Adutor</u>	Limpeza e reparos nos bueiros para drenagem e nas paredes laterais.
3	<u>Tubulação Forçada</u>	Capina, retificação das canaletas e drenagem e rampas do leito, limpeza, reparos e ajustes dos flanges das juntas de dilatação e limpeza e lubrificação dos berços.
4	<u>Válvula Borboleta</u>	Limpeza interna, externa e reparos nas conexões da tubulação de equilíbrio de pressão. (caso exista)
5	<u>Distribuidor (Palhetas Diretrizes)</u>	Limpeza e lubrificação geral das pás diretrizes, verificação de folgas nas buchas e anéis de arrasto.
6	<u>Rotor da Turbina</u>	Verificação de desgaste.
7	<u>Tubo de Sucção</u>	Inspeção Geral no canal de fuga.
8	<u>Grupo Gerador</u>	Limpeza Geral, medição de folgas e ajuste dos mancais e inspeção geral dos anéis de vedação/grafite.
9	<u>Regulador de Velocidade</u>	Inspeção Geral da bomba de pressurização principal do óleo e bomba auxiliar, desmontagem e limpeza dos filtros de óleo lubrificante.
10	<u>Gerador e Excitatriz</u>	Inspeção, limpeza e alinhamento das escovas; resistência de isolamento de excitatriz, estator, rotor, mufas e cabos. Medições da resistência de neutro do aterramento.
11	<u>Proteção</u>	Resistência de isolamento e conexões dos transformadores de corrente e potencial; limpeza de buchas, retoque de pintura, resistência de isolamento e contato.

cont...

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - ANUAL

TABELA 7/III

(continuação)

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A REALIZAR
12	<u>Painel</u>	Verificação do alinhamento, ponto de corrosão e acúmulo de pó das estruturas; limpeza dos contatos de comando.
13	<u>Transformadores de Força</u>	Inspeção geral externa com verificação da pintura, limpeza da carcaça, radiadores, buchas e indicadores de nível do óleo, resistência de isolamento dos enrolamentos, buchas e óleo, reaperto de conexões; inspeção e, se necessário, pintura e retoque na base.
14	<u>Aterramento</u>	Limpeza e inspeção geral, verificação dos sinais de trincas e conexões de linha e terra dos para-raios, inspeção em todas as conexões de terra, tanto nos eletrodos como nos equipamentos e nas estruturas, verificando limpeza e oxidação.
15	<u>Talha (Equipamento de movimentação de cargas)</u>	Inspeccionar e verificar a necessidade de lubrificação das correntes; verificar engrenagens, dentes, chaves, pinos e contrapinos; colocar graxa nova.
16	<u>Prédio da Central</u>	Exame detalhado das chaminés e dos ventiladores; retocar pintura das paredes e das esquadrias.

PROGRAMAÇÃO DOS TRABALHOS DE MANUTENÇÃO - QÜINÜENAL

TABELA 7/IV

I T E M	EQUIPAMENTO OU ESTRUTURA	INSPEÇÃO E SERVIÇOS A EXECUTAR (5 EM 5 ANOS)
1	<u>Tomada d'Água</u>	Pinturas das comportas.
2	<u>Canal Adutor</u>	Inspeção Geral do Vertedouro e grade. Grade: pintura.
3	<u>Tubulação Forçada</u>	Inspeção Geral e retoques na pintura da superfície externa.
4	<u>Filtro de Água de Refrigeração</u>	Pintura Geral da superfície interna e externa.
5	<u>Válvula Borboleta</u>	Verificação das condições de funcionamento, possibilidade de substituição do anel de vedação.
6	<u>Caixa Espiral da Turbina</u>	Limpeza Geral e pintura da superfície interna e externa.
7	<u>Distribuidor</u>	Verificação de desgaste inferior de tampa.
8	<u>Tubo de Sucção</u>	Limpeza Geral, reparos com jateamento e pintura do revestimento.
9	<u>Grupo Gerador</u>	Desmontagem, reparos gerais, internos, externos e pintura de turbina.
10	<u>Regulador de Velocidade</u>	Substituição das telas filtrantes.

8.

NOTA SOBRE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO
DA MICROCENTRAL

Em muitos casos, pode tornar-se interessante considerar outros usos da água além de apenas a geração de energia elétrica.

Apesar de a tecnologia de baixo custo contida neste Manual não contemplar reservatórios para acumulação e regularização sensíveis, pode ser recomendável, por exemplo, estudar-se a viabilidade econômica do projeto da microcentral em conjunto com um açude para irrigação, ao mesmo tempo que se prestaria à piscicultura, criação de aves, abastecimento d'água, lazer, etc., bem como implantação de algum tipo de beneficiamento da produção local.

Neste caso, pode ser necessária uma reavaliação de todo o projeto, visando analisar-se a viabilidade dessa implantação, o que pode ser obtido com o apoio de entidades de fomento como, por exemplo, a EMATER, a SUDEPE-Superintendência de Desenvolvimento da Pesca, entidades estaduais diversas, a CAMIG (esta em Minas Gerais) e outros.

9. FINANCIAMENTO

9.1 Introdução

Difícilmente uma empresa ou um particular, que se incline a fazer o aproveitamento de recursos hídricos disponíveis para fins de geração de energia elétrica, terá condições de implementar um empreendimento desta natureza sem necessitar de financiamento de parte do capital necessário ao investimento.

Em função desta constatação, o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PNPCH, do qual este Manual é um dos instrumentos de implementação, procurou incluir aqui uma orientação para os interessados na obtenção de financiamento que facilite a implantação das centrais pretendidas. Os interessados devem sempre considerar que a presença permanente junto às entidades financiadoras e seus representantes é parte importante no processo de obtenção do financiamento.

No caso de microcentrais, onde os investimentos podem ser reduzidos, o PNPCH buscou facilitar o acesso dos interessados ao financiamento, através da participação do Banco do Brasil, o agente de financiamento no meio rural por excelência, que por intermédio de suas agências espalhadas pelo interior do País, poderá desenvolver um agenciamento mais capilar dos recursos.

Dependendo da magnitude do empreendimento, os recursos financeiros poderão também ser concedidos pelo BNDES, utilizando o concurso da Agência FINAME no financiamento de máquinas e equipamentos.

9.2 Fontes de Financiamento

O financiamento de microcentrais hidrelétricas, potência máxima de 100 kW - no meio rural, tem como principal fonte o Banco do Brasil, e os recursos disponíveis são oferecidos nas condições financeiras vigentes para o crédito rural, abaixo explicitadas:

- Limite do Financiamento

- . miniprodutores, pequenos produtores e cooperativas - 100%
- . médios produtores - 70%
- . grandes produtores - 50%

- Encargos Financeiros

- . juros - 3% a.a
- . correção monetária - projetos das áreas da SUDAM e SUDENE: 85% da variação das ORTN's (desde que comprove a substituição de derivados de petróleo).

- projetos nas demais áreas: 100% da
variação das ORTN's.

- Prazos - carência até 2 anos;
- amortização até 8 anos, após a carência.

Para o financiamento apenas das máquinas e equipamentos das microcentrais, o interessado pode também contar com a FINAME-Agência Especial de Financiamento Industrial, do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, a qual pode operar através de dois de seus Programas - PEQUENA e MÉDIA EMPRESA, e LONGO PRAZO - dependendo do porte do empreendimento ou do grupo econômico, se existente. Os critérios de pequena e média empresa considerados são os definidos pelo Banco Central do Brasil. Adicionalmente, se a empresa pertence a grupo econômico, o patrimônio líquido deverá ser inferior a 1.000.000 (hum milhão) de Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional.

A rede de agentes da FINAME abrange, além dos bancos estaduais e regionais de desenvolvimento, praticamente todos os bancos comerciais que operam no País.

São as seguintes as condições financeiras da FINAME:

PROGRAMA PEQUENA E MÉDIA EMPRESA:

- Financiamento - até 90% do preço de venda das máquinas e equipamentos, inclusive IPI.
- Juros - para a FINAME, isento. O "del credere" do Agente da FINAME é de até 3% ao ano.
- Correção Monetária - de acordo com os índices de variação das ORTN's.
- Comissão de Reserva de Capital: 0,1% ao mês.
- Prazos - carência: de 3 a 12 meses
total: de 12 a 60 meses

PROGRAMA LONGO PRAZO:

- Financiamento - até 80% do preço de venda das máquinas e equipamentos (até 90% para instalação nas regiões Norte e Nordeste)
- Juros - de 6% a 10% ao ano. "Del credere"- até 2% ao ano, acrescido à taxa de juros.
- Correção Monetária - de acordo com a variação das ORTN's
- Comissão de Reserva de Capital - 0,1% ao mês.

- Prazos - carência: de 3 a 12 meses
total: de 12 a 60 meses (até 72 meses nos projetos das regiões Norte e Nordeste).

9.3 Condições Específicas

Somente serão passíveis de apoio financeiro os proponentes que apresentem controle do capital e comando efetivamente nacionais. Também das empresas de engenharia e consultoria técnica e das em presas fabricantes das máquinas e equipamentos do projeto, serão exigidos o controle e o comando efetivamente nacionais.

Quando a implantação contemplar também linhas de alimentação e distribuição, elas poderão compor os investimentos necessários, inclusive para eventual apoio financeiro, desde que atendidas as condições estipuladas no parágrafo acima.

10. LEGISLAÇÃO

A legislação brasileira classifica os aproveitamentos hidrelétricos em dois tipos, conforme a finalidade da energia produzida:

- serviços públicos;
- uso exclusivo.

Os aproveitamentos destinados aos serviços públicos são aqueles cuja energia elétrica gerada, independentemente da potência da usina, se destina ao uso geral, sendo para isso comercializada pelo seu produtor, ou seja, a Concessionária de serviços públicos. Dependem sempre, portanto, de uma concessão outorgada pelo governo federal.

Já os aproveitamentos destinados ao uso exclusivo são aqueles cuja energia elétrica gerada se destina ao uso exclusivo de seu produtor, que no caso é denominado Autoprodutor. Podem depender simplesmente de uma notificação para fins estatísticos, ou de autorização federal, ou ainda de uma concessão federal, conforme o valor da potência instalada. A legislação vigente até o momento estabeleça as seguintes faixas de potência para tal fim:

- até 50 kW, simples notificação;
- de 50 kW até 150 kW, autorização;
- acima de 150 kW, concessão.

O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, propôs alterar estes limites de 50 kW para 100 kW e de 150 kW para 10.000 kW, estando projeto de lei neste sentido tramitando no Congresso Nacional.

Os interessados em aproveitamentos hidrelétricos para uso exclusivo deverão ter a propriedade da área onde será construída a central, inclusive as inundadas pelo eventual reservatório, ou obter uma autorização dos proprietários ribeirinhos.

A notificação acima referida é feita através de correspondência ao Diretor-Geral do DNAEE, contendo as seguintes informações:

- a. nome do notificante ou razão social e sede;
- b. localização da MICRO, definindo o rio, o Município e o Estado;
- c. fins a que se destina a energia;

- d. capital investido;
- e. data do início da geração;
- f. características da instalação;
 - 1. altura da queda utilizada (m);
 - 2. descarga máxima aproveitada (m^3/s);
 - 3. turbinas (número, tipo, potência);
 - 4. geradores (número, tipo, potência em kW e tensão em kV);
 - 5. dados da barragem (tipo, comprimento em m, altura em m);
 - 6. dados da tomada d'água e do canal adutor (tipo, comprimento em m, altura em m);
 - 7. tubulação (extensão em m, diâmetro em m, material);
 - 8. transformadores (tensão em kV, capacidade em kVA);
 - 9. tensão de linha e da rede de distribuição em kV);
- g. declaração de propriedade das terras onde se localiza a central em questão, incluindo as inundadas pela mesma; e
- h. outras observações julgadas necessárias.

Enquanto não é aprovado o projeto de lei em tramitação, os aproveitamentos hidrelétricos com potência instalada superior a 50 kW e inferior a 150 kW, para uso exclusivo dos proprietários, dependem de autorização outorgada através de portaria do Ministro das Minas e Energia.

A autorização acima referida é solicitada por meio de requerimento ao Ministro das Minas Energia, através do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, cujo endereço é Edifício Palácio do Rádio - Setor de Rádio e Televisão Sul - Brasília DF - CEP 70.000, encaminhando prova de propriedade da área, prova de idoneidade financeira, ficha técnica conforme o ANEXO 10/A e projeto em duas vias, elaborado de acordo com este MANUAL de MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS.

Para o perfeito cumprimento dos requisitos legais, deverão ser observadas as Normas para Apresentação de Estudos e de Projetos de Exploração de Recursos Hídricos para Geração de Energia Elétrica, aprovadas através da Portaria DNAEE/DC nº 125, de 17 de agosto de 1984. O escritório mais próximo, ou do DNAEE ou da EMATER, dará aos interessados toda a orientação necessária.

Caso o proprietário da central disponha de excedente de energia elétrica (potência da central superior às necessidades da propriedade), o Decreto-Lei nº 1872, de 21.05.81, regulamentado pela Portaria 84, de 22.10.81, do Diretor-Geral do DNAEE permite que este excedente seja vendido à Concessionária local, desde que ela esteja de acordo, podendo esta venda vir a contribuir para o aumento dos rendimentos do proprietário da central bem como para a melhoria da qualidade dos serviços prestados pela Concessionária à comunidade.

FICHA TÉCNICA

1. IDENTIFICAÇÃO DO APROVEITAMENTO							
Denominação:							
Proprietário:							
Finalidade: Serviço Público <input type="checkbox"/> Uso Exclusivo <input type="checkbox"/>							
2. LOCALIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO							
Bacia e Sub-Bacia Hidrográfica (DNAEE):							
Curso d'Água:							
Coord. Geog. Lat.:			Município Margem Direita:				
Long.			Município Margem Esquerda:				
3. CUSTO DE IMPLANTAÇÃO							
Potência Instalada kW):		Orçamento:		Data: / /			
Cr\$/kW:		1 Dólar: Cr\$					
4. DADOS DO PROJETO							
Área de Drenagem:						km ²	
Vazão Média (Período): ____/____)						m ³ /s	
Vazão Máx. Diária:						m ³ /s	
Vazão Mín.Média Mensal:						m ³ /s	
Vazão de Enchente (TR: ____ Anos)						m ³ /s	
Vazão Firme (95%)						m ³ /s	
Vazão Máx. Turbinada:						m ³ /s	
Queda Líquida Máxima:						m	
Nível Máx. Normal:						m	
Barragem	Tipo						
	Altura Máxima						m
	Comprimento Total de Crista						m
	Volume Total						m ³
5. DETALHE DAS UNIDADES							
Barragem	TURBINAS		GERADORES			Início de Operação	
	Tipo	Potência(CV)	Tensão(V)	Potência (kW)	F.P.		
NOTAS:							

11. PARTICIPANTES NO TRABALHO

PARTICIPANTES NO TRABALHO

O trabalho de elaboração do Manual de Estudos e Projetos de Mini centrais Hidrelétricas foi realizado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS, com o apoio técnico e administrativo da ENGEVIX, Estudos e Projetos de Engenharia, através do Contrato Nº ECE-409/85 e com a interveniência do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, mediante o Contrato-37/84 nº do DNAEE, e 184/84, nº da ELETROBRÁS, entre este Órgão e a ELETROBRÁS.

O prazo total para a execução dos serviços foi de sete (7) meses, com início em dezembro de 1984.

Foi constituído um Grupo de Estudos que participou efetivamente da elaboração do Manual de Minicentrais, formado com força tarefa da equipe técnica da ENGEVIX e com estreita participação do corpo técnico da ELETROBRÁS.

Valiosa colaboração técnica para a consecução do objetivo foi oferecido pelo próprio DNAEE, pelas Concessionárias da Energia Elétrica, pelo BNDES, pelo FINAME, pelo BANCO DO BRASIL, pela FINEP e pela EFEI, através do fornecimento de dados, informações, críticas e sugestões, tentando suprir o trabalho com o que de melhor se dispunha em matéria de tecnologia, com isso concorrendo para se obter o máximo possível de consenso entre os participantes.

Manifesta-se aqui os agradecimentos a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, tenham colaborado para a realização do presente Manual e declina-se a seguir a relação daqueles que constituíram a Supervisão e a Coordenação, bem como dos que mais diretamente participaram, através de seu comparecimento às reuniões de trabalho:

Supervisão Geral

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

Antonio Carlos Tatit Holtz - Diretor de Planejamento e Engenharia

Altino Ventura Filho - Chefe do Departamento de Geração

Cesar Augusto Lourenço Filho - Adjunto do Chefe do Departamento de Geração

Luiz Felipe Pierre - Chefe de Divisão de Engenharia de Geração

ENGEVIX S.A.-Estudos e Projetos de Engenharia

Humberto Queiroz de Souza - Diretor

Coordenação

José Carlos Ururahy Pádua - Coordenador Geral - ELETROBRÁS

Mario Mendes de Oliveira Castro - Coordenador Executivo - ENGEVIX S. A.

Participantes

CEMAT

Pedro Paulo Nogueira
Wilson Herculano L. Freitas

CEMIG

Aricelio Simões
José Sérgio P. de Siqueira

CERJ

Martinho D'Ascenção
Sérgio Ribeiro Lima

CESP

Fernando Viegas Borba
Flávio Bartolomeu S. Rago

CFLCL

Adilson Ferrari Alves
Alberico Dutra de Siqueira Filho

CHESF

Ary Pinto Ribeiro Filho
Carlos Alberto Carneiro Leão

CNPq

João Snassuna
Paulo Cesar Gonçalves Egler

DME - Poços de Caldas

Cícero Machado de Moraes
Luis Henrique B. Ottoni

DNAEE

Ciro Loureiro Rocha
Domingos do Carmo de Carvalho
José Alberto Pereira de Araújo
Nehemias Marques Cunha
Ubirajara Wense Dias
Vicente Fernandes de Moraes

EFEL

Afonso Henrique Moreira Santos
Zulcy de Souza

ELETRORÁS

Afonso Maria Furtado da Silva
Almyr Borges da Silva
Andrei Goloubeff
Arlete Rodarte Neves
Denizart do Rosário Almeida
Elinei Winston da Silva
Estêvão Leitão de Carvalho Bustamente
Fortunato Peixoto Netto
Frederico Eugênio de Oliveira
George Cals de Oliveira Filho
Joel Cardoso Natividade
José Caracciolo Peixoto de Azevedo
José Marques de Goes
Leandro Lirman
Luis Toulis
Maria Cristina Cals de Oliveira
Mário Márcio Alvarenga
Mário M. Miranda
Odemir Alves Lima
Oduvaldo Barroso da Silva
Paulo Fernando Vieira Souto Rezende
Sérgio Nilo Gomes de Faria
Sylvio Scarso Barcellos

ELETROSUL

Érico Georg
Luis Francisco Evangelista

ENERSUL

Ricardo A. Hayashida

ENGEVIX

Airton Duarte Carneiro
Antonio Joaquim Carvalho
Ana Maria P. Tassara
Augusto Vinhas
Carlos Henrique Holk
Danielita Mendes da Silva
Fernanda Pego Mendes
Fernando Antonio F. Samico
Gil Mendes Tavares
Gilberto C. A. Prazeres
Ilsa de Siqueira Ayres
Isaura de Sousa Soares
José Carlos Miranda
José Carlos C. Mendes
José Edmar F. Gomes
José Eduardo Barroso
José Moura Lima
José Renato K. Contrim

ENGEVIX (cont.)

Julio Domingos Nunes Fortes
Lucio Juventino Lima
Luiz Cláudio Orleans
Marco Augusto Siciliano
Mario Mendes de Oliveira Castro
Marcelo de Mendonça Pinto
Manuel Almeida Martins
Nelson Luiz F. Porto
Nilza Mizutani
Paulo Peter Baumotte
Regia Sueli M. Bezerra
Tsuneo Sato
Ubiraci Ferreira Santos
Wellington Coimbra Lou

ESCELSA

Geraldo Vianna de Barros
Helvécio Antônio de Mattos

FINEP

Maria Tereza Pierangelina
Roberto Viegas Reis

FURNAS

Flávio Pilz
Gastão de Almeida Rocha
Paulo Cyranha
Renato Cezar Bastos

LIGHT

Carlos Fernando Rocha Santos
Roberto Antonio Valadão Freire

CELPA

Athos Barbosa de Amorim
Eduardo Santos Pereira
João Bosco Amazonas Pedroso

CERON

Ediresa Garcia Ferreira
José Ricardo Almeida de Britto

COPPE/UFRJ

Edison Hirokazu Watanabe

FINAME

Kleber da Silva Brito
Reginas Maria V. Gutierrez

COPEL

Ruy F. Sant'Ana

UFRJ

Moacir S. Silva
Theofilo B. Ottoni Netto

IBGE

Angelo José Pavan
Paulo F. Vilarinho

COELCE

Francisco L. P. Neiva Santos

CEBRAE

Julio Cesar Rocha

IBAM

Lino Ferreira

CAEER

Raimundo Nonato Rosa

CTH

Pedro Luiz Accorri

IPT

Haydée M. A. Prado

CELPE

David Jacobonita Netto

BNDES

Eliada Seabra Teixeira Faria
Reginaldo Treiger
Roberto Silveira
Rômulo dos Santos

CEPEL

José Carlos Gomes Costa

STI/MIC

Luiz C. P. Negrão

BANCO DO BRASIL

Afonso Rodrigues de Avelar

CAERG

Ricardo Pereira Soares
Clovis Artur Rodrigues de Espínola

EMBRATER

João Vicente Feijão Neto

CNEA

Anivaldo Pedro Cobra
Fernando Falco Pruski