

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos
BARRAGEM GERMINAL E ADUTORA DE PALMÁCIA
Município de Palmácia - Ceará

FASE B: DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO
ETAPA B3: Projeto Executivo da Barragem Germinal

Tomo 3 – Memória de Cálculo

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.
000	JULHO/2011	Apresentação - Edição Preliminar	JM Eng. Cons. Ltda	Tadeu
001	JULHO/2012	Apresentação - Edição Final	JM Eng. Cons. Ltda	Tadeu
002	JULHO/2013	Apresentação - Edição Final (Reformulado Devido aos Novos Estudos Hidrológicos)	JM Eng. Cons. Ltda	Tadeu

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO:.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM DE CCR.....	10
2.1 CÁLCULO DA FOLGA DA BARRAGEM OU BORDA LIVRE.....	10
2.2 CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO.....	11
2.3 CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO.....	11
2.4 TALUDES DA BARRAGEM.....	12
2.4.1 Talude de Montante.....	12
2.4.2 Talude de Jusante.....	12
2.5 SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA.....	12
3 DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO EM PERFIL CREAGER.....	13
3.1 DIMENSIONAMENTO.....	13
3.2 DADOS DO PROJETO.....	13
3.3 CÁLCULO DA LARGURA DO SANGRADOURO.....	14
3.4 CÁLCULO DA COTA DA SOLEIRA DO SANGRADOURO.....	14
3.5 DETERMINAÇÃO DA CRISTA VERTENTE.....	14
3.5.1 Paramento de Montante.....	16
3.5.2 Paramento de Jusante.....	19
3.5.3 Determinação do Ponto A de tangência.....	20
3.5.4 Determinação da Equação da Reta Tangente à Exponencial Calculada, no Ponto de Tangência A.....	21
3.6 PROJETO DOS DEGRAUS NO PARAMENTO DE JUSANTE.....	22
3.6.1 Verificação do Regime do Fluxo.....	23
3.7 BACIA DE DISSIPÇÃO.....	25
3.7.1 Dados de Projeto.....	26
3.7.2 Parâmetros de Cálculo.....	26
3.7.3 Cálculo do Comprimento da Bacia de Dissipação.....	28
3.7.4 Determinação da Altura dos Muros Laterais.....	28

3.8	DETERMINAÇÃO DOS DEGRAUS DO PARAMENTO DE JUSANTE DO VERTEDOIRO	29
4	DIMENSIONAMENTO DA TOMADA D'ÁGUA	32
4.1	LOCALIZAÇÃO	32
4.2	DIMENSIONAMENTO	32
4.2.1	<i>Cota de Jusante e Montante da Tomada d'água</i>	32
4.2.2	<i>Descarga através da Galeria</i>	32
4.2.3	<i>Determinação do Diâmetro da Tubulação</i>	33
4.3	NÍVEL MÍNIMO DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO - COTA DO PORÃO	33
4.4	COTA DE ASSENTAMENTO DA GALERIA DA TOMADA D'ÁGUA	35
4.5	VERIFICAÇÃO DO DIÂMETRO DA GALERIA EM FUNÇÃO DAS PERDAS DE CARGA	35
4.5.1	<i>Cálculo das Perdas de Carga Distribuídas: ΔH_{fd}</i>	35
4.5.2	<i>Cálculo das Perdas de Carga Localizadas: ΔH_{FL}</i>	36
4.5.3	<i>Cálculo da Perda de carga Total</i>	37
4.5.4	<i>Cálculo do Diâmetro Necessário para a Descarga Regularizada</i>	37
4.6	DETERMINAÇÃO DA DESCARGA PARA O DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA DISPERSORA	38
4.7	DIMENSIONAMENTO DA BOCA DE ENTRADA DA GALERIA DA TOMADA	38
4.8	DIMENSIONAMENTO DO TUBO DE AERAÇÃO	40
4.8.1	<i>Considerações Gerais</i>	40
4.8.2	<i>Cálculo da Espessura da Veia Líquida (e)</i>	40
4.8.3	<i>Cálculo da Carga Hidráulica Sobre a Veia Líquida na Tubulação da Tomada D'água (h)</i>	41
4.8.4	<i>Cálculo da Velocidade Máxima da Água na Tubulação da Tomada D'água (v)</i>	41
4.8.5	<i>Cálculo do Número de Froude (F)</i>	41
4.8.6	<i>Determinação da Demanda de Água na Tubulação da Galeria: (Q_w)</i>	42

4.8.7	Determinação da Demanda de Ar na Tubulação: Q_A	43
4.8.8	Determinação da Área de Ar na Tubulação (A_{ar})	44
4.8.9	Determinação do Diâmetro do Tubo de Aeração (D_{ar})	44
5	ANÁLISE DA ESTABILIDADE	44
5.1	SEÇÕES ANALISADAS.....	45
5.2	CRITÉRIOS DE PROJETO.....	45
5.2.1	CRITÉRIOS DE PROJETO DE USINAS HIDRELÉTRICAS ELETROBRÁS/CBDB (OUTUBRO 2003)	45
5.2.2	“GENERALIDADES”	46
5.2.2.1	CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO NORMAL (CCN).....	47
5.2.2.2	CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL (CCE).....	47
5.2.2.3	CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO LIMITE (CCL).....	48
5.2.2.4	CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO DE CONSTRUÇÃO (CCC).....	48
5.2.2.5	COMBINAÇÃO DE AÇÕES.....	49
5.2.3	Casos de Carregamentos	50
5.2.3.1	RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA - DRENOS OPERANDO - SEM SISMO (RC-CD-SS, CASO 11).....	50
5.2.3.2	RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA - DRENOS OPERANDO - COM SISMO (RC-CD-CS, CASO 12).....	50
5.2.3.3	RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA – DRENOS INOPERANTES - SEM SISMO (RC-SD-SS, CASO 13).....	51
5.2.3.4	RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA - DRENOS INOPERANTES - COM SISMO (RC-SD-CS, CASO 14).....	51
5.2.3.5	NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA - DRENOS OPERANDO - SEM SISMO (PE-CD-SS, CASO 21).....	52
5.2.3.6	NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA – DRENOS OPERANDO – COM SISMO (PE-CD-CS, CASO 22).....	52
5.2.3.7	NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA - DRENOS INOPERANTES - SEM SISMO (PE-SD-SS, CASO 23).....	52
5.2.3.8	NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA - DRENOS INOPERANTES - COM SISMO (PE-SD-CS, CASO 24).....	53
5.2.3.9	FINAL DE CONSTRUÇÃO - DRENOS INOPERANTES - COM SISMO (FC-SD-CS, CASO 31).....	53
5.2.4	PROPRIEDADES DOS MATERIAIS E SISMO DE PROJETO	54
5.2.4.1	MACIÇO.....	54
5.2.4.2	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ROCHA DE FUNDAÇÃO E DO CONTATO CCR-FUNDAÇÃO.....	54
5.2.4.3	SISMO DE PROJETO.....	54

5.2.5	COEFICIENTES DE SEGURANÇA ADMISSÍVEIS.....	54
5.2.5.1	RC-CD-SS, CASO 11 (CCN).....	54
5.2.5.2	RC-CD-CS, CASO 12 (CCE 1).....	54
5.2.5.3	RC-SD-SS, CASO 13 (CCE 2).....	55
5.2.5.4	RC-SD-CS, CASO 14 (CCL 1).....	55
5.2.5.5	PE-CD-SS, CASO 21 (CCE 3).....	55
5.2.5.6	PE-CD-CS, CASO 22 (CCL 2).....	55
5.2.5.7	PE-SD-SS, CASO 23 (CCL 3).....	55
5.2.5.8	PE-SD-CS, CASO 24 (CCD).....	55
5.2.5.9	FC-SD-CS, CASO 31 (CCC).....	55
5.2.5.10	TENSÃO DE TRAÇÃO NO PÉ DE MONTANTE.....	55
5.3	RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE.....	56
5.3.1	Apresentação dos Resultados.....	56
5.3.2	SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M.....	56
5.3.2.1	SANGRADOURO COM LAJE IMPERMEABILIZANTE DE MONTANTE DE 10M DE COMPRIMENTO.....	56
5.3.3	SEÇÃO MÁXIMA DO MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M E COM MÍSULA DE MONTANTE DE 10M DE LARGURA.....	59
5.4	CONCLUSÕES.....	61
6	FIGURAS 14 E 15.....	63
6.1	FIGURA 14 - SEÇÃO TIPO (MÁXIMA) – SUBMERSÍVEL.....	64
6.2	Figura 15: Seção tipo (Máxima) - Insubmersível.....	66

LUIZ HERNANI DE CARVALHO

Engenheiro Civil

ÍNDICE DAS TABELAS

TABELA 1 -	VALORES DE V_A E H_A	16
TABELA 2 -	PONTOS DO TRECHO EXPONENCIAL.....	21
TABELA 3 -	POSIÇÃO DOS PONTOS DO PERFIL VERTENTE DO SANGRADOURO....	30
TABELA 4 -	DIAGRAMA COTA X ÁREA X VOLUME.....	34
TABELA 5 -	SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 44,8^\circ$ E $C' = 0,0T/M^2$	57
TABELA 6 -	SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 40^\circ$ E $C' = 2,3T/M^2$	58
TABELA 7 -	SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 35^\circ$ E $C' = 4,4T/M^2$	58
TABELA 8 -	SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 30^\circ$ E $C' = 6,8T/M^2$	59
TABELA 9 -	MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) SEÇÃO MÁXIMA COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 39,3^\circ$ E $C' = 0,0T/M^2$	60
TABELA 10 -	MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) SEÇÃO MÁXIMA COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 35^\circ$ E $C' = 2,6T/M^2$	60
TABELA 11 -	MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) SEÇÃO MÁXIMA COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 30^\circ$ e c'	

ÍNDICE DAS FIGURAS

FIGURA 1 -	ELEMENTOS DA CRISTA VERTENTE.....	15
FIGURA 2 -	ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO PARAMENTO DE MONTANTE.....	17
FIGURA 3 -	ESQUEMA DO TRECHO DE MONTANTE DO SANGRADOURO.....	18
FIGURA 4 -	ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO PARAMENTO DE JUSANTE DO SANGRADOURO.....	19
FIGURA 5 -	ÁBACO – REGIME DE FLUXO.....	24
FIGURA 6 -	ESBOÇO DA BACIA DE DISSIPÇÃO DO SANGRADOURO.....	26
FIGURA 7 -	ÁBACO PARA O DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPÇÃO.....	27
FIGURA 8 -	DIMENSÕES ADOTADAS PARA A BACIA DO SANGRADOURO.....	28
FIGURA 9 -	SEÇÃO TRANSVERSAL DA TOMADA D'ÁGUA.....	35
FIGURA 10 -	CURVAS DE ENTRADA DA TUBULAÇÃO.....	39
FIGURA 11 -	COEFICIENTE DE DESCARGA – TOMADA D'ÁGUA.....	40
FIGURA 12 -	DEMANDA DE AR NA TUBULAÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE FROUDE.....	43
FIGURA 13 -	ESTABILIDADE DO SANGRADOURO.....	62
FIGURA 14 -	SEÇÃO TIPO (MÁXIMA) – SUBMERSÍVEL.....	65
FIGURA 15 -	Seção tipo (Máxima) - Insubmersíve.....	67

APRESENTAÇÃO:

Os serviços executados pela empresa JM Engenheiros Consultores Ltda, no âmbito do Contrato nº 10/ SRH/CE/2010, assinado em 30/04/2010 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a **Elaboração dos Estudos Básicos e Concepção, EIA/RIMA, Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento, Detalhamento do Projeto Executivo, Avaliação Econômica e Financeira Referentes a Barragem Germinal e a Adutora de Palmácia, no Estado do Ceará.**

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Fases, Etapas, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

FASE A - ESTUDOS DE VIABILIDADE

- ❖ **ETAPA A1** - Relatório de Identificação de Obras - RIO
 - **VOLUME I** - Relatório de Identificação de Obras - RIO
- ❖ **ETAPA A2** - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal
 - **VOLUME I** - Estudos Básicos
 - *Tomo 1 - Levantamentos Topográficos*
 - *Tomo 2 - Estudos Cartográficos*
 - *Tomo 3 - Estudos Hidrológicos*
 - *Tomo 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos*
 - **VOLUME II** - Concepção Geral do Projeto da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Relatório de Concepção Geral*
 - *Tomo 1A - Desenhos*
 - *Tomo 1B - Memória de Cálculo*
- ❖ **ETAPA A3** - Estudos Básicos e a concepção da Adutora de Palmácia

- **VOLUME I** - Estudos Básicos
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Estudos Topográficos*
 - *Tomo 3 - Estudos Geotécnicos*
- **VOLUME II** - Relatório Técnico Preliminar (RTP) da Adutora
 - *Tomo 1 - Relatório de Concepção Geral*
 - *Tomo 1A - Desenhos*
 - *Tomo 1B - Memória de Cálculo*

FASE B - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

- ❖ **ETAPA B1** - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA-RIMA)
 - **VOLUME I** - Relatório do EIA/RIMA da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia
 - *Tomo 1 - Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA) da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia*
 - *Tomo 2 - Relatório dos Impactos no Meio Ambiente (RIMA) da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia*
 - *Tomo 3 - Relatório de Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica*
- ❖ **ETAPA B2** - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento da Barragem Germinal e Adutora de Palmácia
 - **VOLUME I** - Levantamento Cadastral
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Laudos Individuais de Avaliação*
 - *Tomo 3 - Levantamentos Topográficos*
 - **VOLUME II** - Plano de Reassentamento da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Diagnóstico*
 - *Tomo 2 - Detalhamento do Projeto de Reassentamento*
 - *Tomo 3 - Relatório Final de Reassentamento*
- ❖ **ETAPA B3** - Projeto Executivo da Barragem
 - **VOLUME I** - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Germinal
 - *Tomo 1 - Memorial Descritivo do Projeto*
 - *Tomo 2 - Desenhos*
 - *Tomo 3 - Memória de Cálculo*
 - *Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medições e Pagamentos*
 - ✓ *Tomo 4.1 – Serviços Gerais*
 - ✓ *Tomo 4.2 – Concretos CCV e CCR*
 - ✓ *Tomo 4.3 – Equipamentos Hidromecânicos.*
 - *Tomo 5 - Quantitativos e Orçamentos*
 - *Tomo 6 - Relatório Síntese*
 - *Tomo 7 – Manual de Operação e Manutenção;*
- ❖ **ETAPA B4** - Projeto Executivo da Adutora de Palmácia

- **VOLUME I** - Detalhamento do Projeto Executivo da Adutora
 - *Tomo 1 - Relatório Geral*
 - *Tomo 2 - Memória de Cálculo*
 - *Tomo 3 - Quantitativos e Orçamentos*
 - *Tomo 4 - Especificações Técnicas e Normas de Medições e Pagamentos*
 - *Tomo 5 - Desenhos*
- ❖ **ETAPA B5** - Avaliação Econômica e Financeira do Sistema (Barragem e Adutora)
 - **VOLUME I** - Avaliação Econômica e Financeira do Sistema - Barragem Germinal e Adutora de Palmácia

A documentação ora apresentada compreende Tomo 3 – Memória de Cálculo do Volume I da Etapa B3: Projeto Executivo da Barragem.

1 INTRODUÇÃO

A Memória de Cálculo apresentada a seguir, reproduzirá todas as operações de dimensionamento da barragem e obras complementares.

2 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM DE CCR

A Barragem Germinal foi projetada do tipo gravidade, em Concreto Compactado a Rolo (CCR), entre as estacas F+5,00m (ombreira esquerda) e 7+5,00m (ombreira direita) com altura máxima de 34,00m a partir da fundação e 28,45m a partir do terreno natural, possuindo trechos submersível e insubmersível, apresentando paramento de montante na vertical com mísula de talude 1(H) e 1(V).

O seu dimensionamento está baseado nos estudos de campo e escritório, bem como nas características dos concretos a serem adotados para a construção do maciço, cujos parâmetros estão contidos nas Especificações Técnicas, no Tomo 4 da Etapa B3 referente ao Projeto Executivo da Barragem.

2.1 CÁLCULO DA FOLGA DA BARRAGEM OU BORDA LIVRE

A folga da barragem (F) foi dimensionada em função da ação dos ventos sobre a superfície da água, influenciando na velocidade (v_0) e altura das ondas (h_0) que se formam no lago.

Sendo a diferença entre a cota do coroamento e a cota do nível da lâmina máxima de sangria no lago, a folga é uma altura determinada pela seguinte equação empírica:

$F = 0,75h_0 + \frac{v_0^2}{2g}$, onde: h_0 = altura das ondas(m), dada pela fórmula:

$h_0 = 0,75 + 0,34\sqrt{f} - 0,26\sqrt[4]{f}$, onde f é o fetch do açude = 1,00km

$h_0 = 0,75 + 0,34\sqrt{1,00} - 0,26\sqrt[4]{1,00}$

$h_0 = 0,83m$

v_0 = velocidade das ondas (m/s), dada por:

$v_0 = 1,5 + 2h_0$

$v_0 = 1,5 + 2 \times 0,83$

$v_0 = 3,16 m/s$

Então:

$F = 0,75 \times 0,83 + \frac{(3,16)^2}{2g}$

$F = 1,13m$

A folga adotada para a barragem foi de **0,40m**, devido a limitação do coroamento na cota 358,00, para evitar o alagamento da rodovia estadual CE-115 existente.

Como a Barragem Germinal foi projetada do tipo Concreto Compactado a Rolo (CCR), essa folga é perfeitamente aceitável quanto a segurança da obra.

2.2 CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

Sendo a cota do coroamento definida por:

$C_c = C_s + H_0 + F$, onde:

C_s = cota da soleira do sangradouro.....354,00m

H_0 = Lâmina máxima de sangria (TR= 10.000 anos).....3,60m

F = Folga.....0,40m

Assim: $C_c = 354,00 + 3,60 + 0,40 = 358,00$

No projeto, adotou-se a cota 358,00 para o coroamento da barragem.

2.3 CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

A largura do coroamento da barragem foi calculada com base na fórmula de Preece, racionalizada por Carvalho:

$B = \sqrt{H} + 1$, onde:

H = altura máxima da barragem, dada por:

$H = C_c - C_{tn}$, sendo:

C_c = Cota do coroamento:.....358,00

C_{tn} = cota terreno natural na seção máxima:329,55

Assim: $H = 358,00 - 329,55 = 28,45\text{m}$

$B = \sqrt{28,45} + 1 = 6,33\text{m}$

No projeto, foi adotada uma largura de 6,00m para o coroamento da barragem.

2.4 TALUDES DA BARRAGEM

2.4.1 TALUDE DE MONTANTE

O talude de montante foi definido, de acordo as análises de estabilidade da seção máxima do sangradouro (trecho submersível) e da seção máxima do maciço (trecho insubmersível) da barragem de CCR apresentadas neste Tomo 3.

Conforme detalhado nos desenhos apresentados no Tomo 2, o talude de montante dos trechos submersível e insubmersível, possui paramento vertical até a cota 334,00, seguindo com uma mísula de talude 1(H): 1(V) até a fundação.

2.4.2 TALUDE DE JUSANTE

O talude de jusante da barragem segue a diretriz com declividade 0,80(H): 1,0(V), sendo escalonado em degraus de 0,60m de espelho, correspondendo a duas camadas de 0,30m, com patamares de 0,48m.

2.5 SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

Para o alívio de possíveis subpressões e inspeção do maciço, o sistema de drenagem interna da barragem será constituído por uma galeria com um sistema de furos a partir de seu piso.

A galeria percorrerá longitudinalmente a barragem desde a estaca 1+5,00m na ombreira direita até a estaca 5+15,00m na ombreira esquerda. As cotas são variáveis, desde os acessos até do piso da galeria, conforme o perfil topográfico.

Nos trechos das ombreiras, entre as cotas 346,00m até a cota 338,00m, a drenagem será feita através de uma caixa de brita contínua, direcionando as

águas colhidas para a calha da galeria. Na ombreira esquerda, a caixa de brita começa na estaca 0+10,00m e se estende até o acesso 1 da galeria, à estaca 1+5,00m. Na ombreira direita, a caixa de brita percorre a barragem da estaca 6+10,00m até a estaca 5+15,00m onde encontra-se o acesso 2.

A galeria contará com dois drenos feitos de tubos de 200mm, nas estacas 2 e 5, ambos na cota 331,00.

Os desenhos do Tomo 2, detalham o sistema de drenagem, apresentando a galeria, caixas de brita, acesso, tubos de drenagem, dentre outras obras complementares.

3 DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOIRO EM PERFIL CREAGER

Para o vertedouro da Barragem Germinal, inserido no trecho central da barragem, entre as estacas 1+10m e 5+10m (eixo da barragem), será dimensionado um perfil, onde a crista vertente foi projetada segundo recomendações do U.S.B.R.

O paramento de montante foi definido, de acordo com os estudos de estabilidade, tendo um trecho vertical até a cota 334,00, seguido por uma mísula de talude 1(H): 1(V).

O talude de jusante foi projetado em degraus, objetivando o amortecimento da sangria, seguindo a geratriz calculada pelas recomendações do Bureau.

Foi projetada uma bacia de dissipação do tipo “piscina”, estudada em laboratório por Forster e Skrinde, utilizada na barragem de Monksville, nos EUA. e de Upper Stillwater, do US. Bureau of Reclamation, além de barragens projetadas e construídas no Nordeste brasileiro.

3.1 DIMENSIONAMENTO

O vertedouro de serviço da Barragem Germinal, está dimensionado com base nos moldes do U.S.B.R, com perfil que se aproxima o máximo possível da lâmina d’água caindo de um vertedouro de parede delgada, através da equação:

$$Q = C_0 LH^{3/2}, \text{ onde:}$$

Q = descarga através do sangradouro

C_o = coeficiente de descarga

L = Largura do sangradouro

H_o = lâmina máxima de sangria

3.2 DADOS DO PROJETO

No cálculo, foram considerados os seguintes dados, de acordo com os estudos hidrológicos:

- Descarga Total de Projeto (decamilena):.....Q = 1.137,40m³/s
- Lâmina Máxima de Sangria (H_o).....3,60m
- Coeficiente descarga para sangradouro (parede delgada):..... $C_o = 2,18m^{1/2}/s$
- Cota do coroamento da barragem:..... $C_c = 358,00$
- Cota do leito do rio na seção do sangradouro:..... $C_{TW} = 329,55$
- Folga adotada:1,10m

3.3 CÁLCULO DA LARGURA DO SANGRADOURO

Sendo: $Q = C_o L H_o^{3/2}$

$$L = \frac{Q}{C_o H_o^{3/2}}, \text{ onde:}$$

Vazão Decamilena: $Q_{\text{decamilena}} = 1.137,40 \text{ m}^3/\text{s}$

Lâmina de Sangria: $H_o = 3,60\text{m}$

Coeficiente de Descarga - $C_o = 2,18m^{1/2}/s$

$$\text{Assim, } L = \frac{1.137,40}{2,18 \times 3,60^{3/2}} \cong 80,00\text{m}$$

Adotou-se para o sangradouro da Barragem Germinal uma largura de 80,00m.

3.4 CÁLCULO DA COTA DA SOLEIRA DO SANGRADOURO

A cota da soleira será definida em função da cota do coroamento, determinada de acordo com a topografia do local, da folga da barragem e da lâmina de sangria.

O coroamento será na cota 358,00, a folga da barragem adotada foi 0,40m e a lâmina de sangria de 3,60m.

Assim:

$$C_s = C_c - F - H_0$$

$$C_s = 358,00 - 0,40 - 3,60$$

$$C_s = 354,00$$

3.5 DETERMINAÇÃO DA CRISTA VERTENTE

Para o dimensionamento do perfil vertente, seguiram-se as recomendações do U.S. Bureau of Reclamation, resultando que a soleira será composta de duas curvas circulares à montante e uma exponencial à jusante dos eixos coordenados, cuja origem está na cota da soleira do sangradouro.

Os parâmetros estão indicados na Figura 1 a seguir:

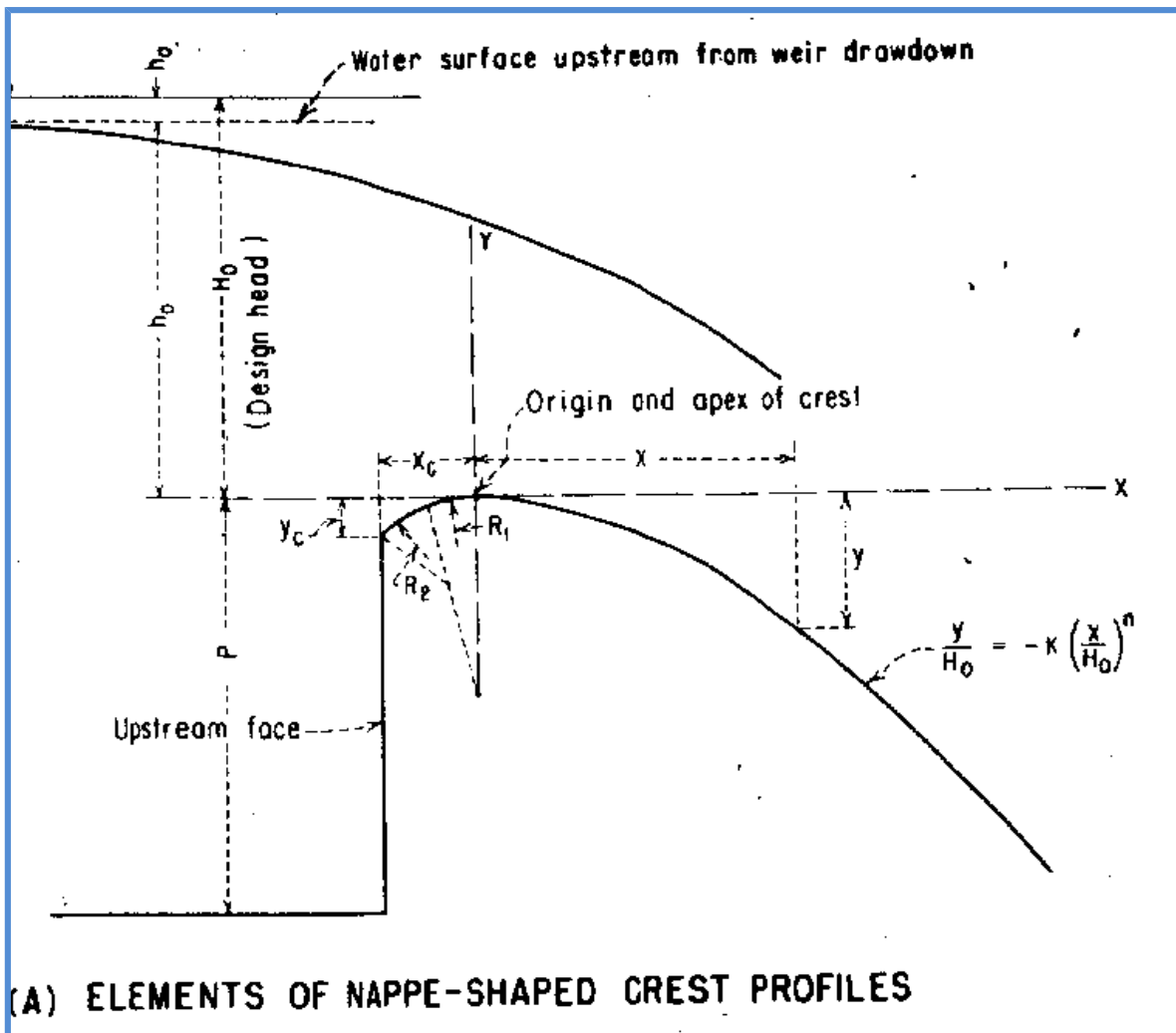


FIGURA 1 - ELEMENTOS DA CRISTA VERTENTE

$p + H_0 = p + h_0 + h_a$, sendo:

$$h_a = \frac{V_a^2}{2g}, \text{ onde } q \text{ é a descarga unitária no sangradouro}$$

$$V_a = \frac{q}{p+h_0}$$

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{1.137,40}{80,00} = 14,22 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

e p, a profundidade do canal de acesso, dada por:

$$p = C_s - C_{tn}$$

$$p = 354,00 - 329,55 = 24,45 \text{ m}$$

Assim :

$$V_a = \frac{14,22}{24,45 + h_0}$$

$$24,45 + H_0 = 24,45 + h_a + h_0$$

$$H_0 = h_a + h_0$$

Admitindo-se valores para h_0 , obtêm-se os valores de v_a e h_a , na Tabela 1 a seguir:

TABELA 1 - VALORES DE V_a e h_a

H_0	$p+H_0$	V_a	h_a	$p+H_0+h_a$
0,00	24,45	0,581	0,01723	24,467
1,00	25,45	0,559	0,01591	25,466
2,00	26,45	0,538	0,01473	26,465
3,00	27,45	0,518	0,01367	27,464
3,60	28,05	0,507	0,01309	28,063
4,00	28,45	0,500	0,01273	28,463

Então:

$$H_0 = 3,60 \text{ m}$$

$$v_a = 0,507 \text{ m/s}$$

$$h_a = 0,01309 \text{ m}$$

A partir da relação $\frac{h_a}{H_0}$ e da inclinação do paramento de montante, encontram-se

os parâmetros que definem as curvas que compõem a soleira vertente.

$$\frac{h_a}{H_0} = \frac{0,01309}{3,60} = 0,00362 \text{ (coeficiente para entrada nos gráficos dos parâmetros$$

geométricos da soleira para talude de montante).

Paramento de montante: vertical com mísula. Para entrada no ábaco, adotou-se a inclinação vertical.

3.5.1 PARAMENTO DE MONTANTE

Os parâmetros que determinam o trecho de montante dos eixos coordenados, foram obtidos através do ábaco da Figura 2.

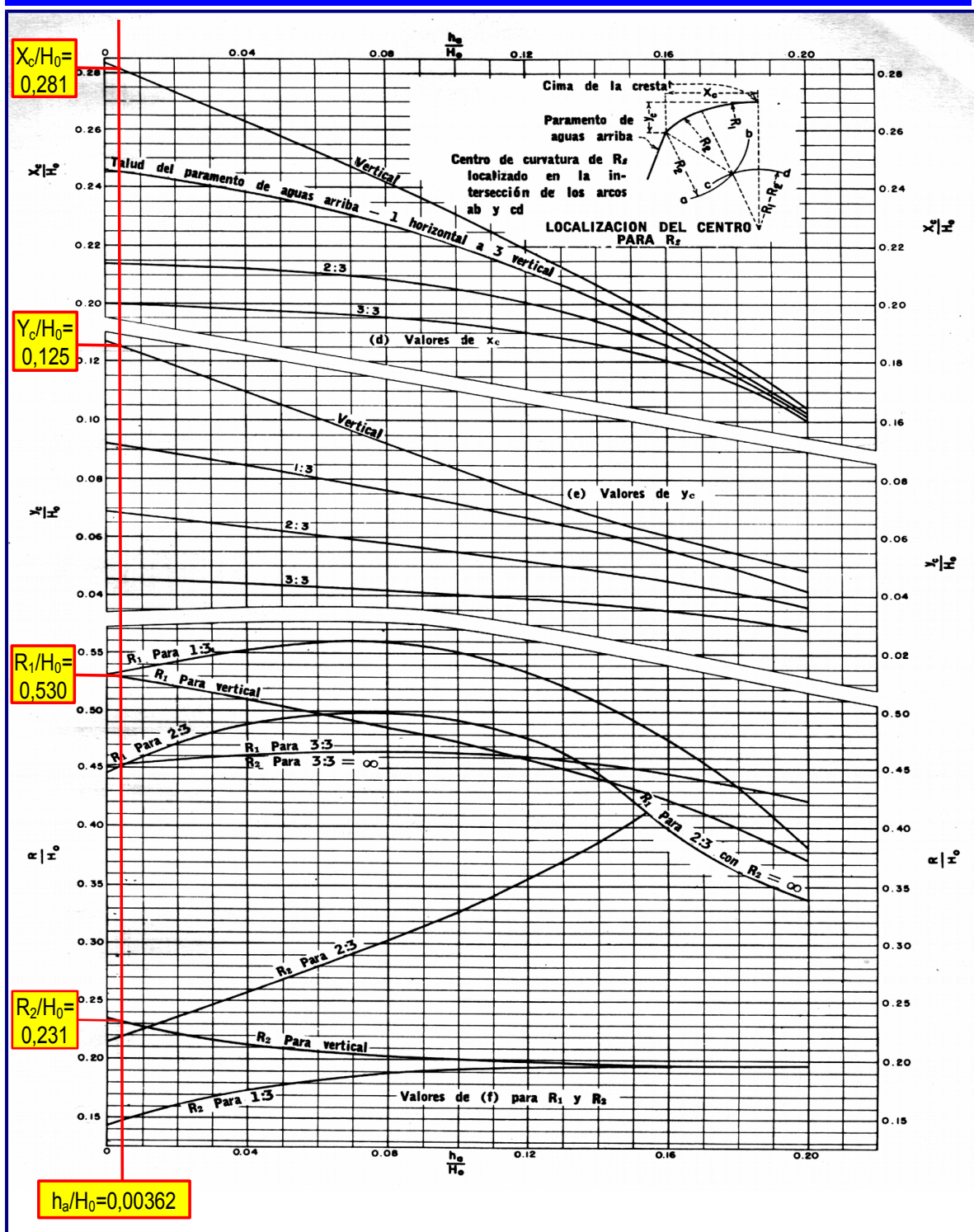


FIGURA 2 - ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO PARAMENTO DE MONTANTE

Assim, obtêm-se os seguintes valores:



$$\frac{X_c}{H_0} = 0,281 \rightarrow X_c = 0,281 \times 3,60 = 1,01 \cong 1,00\text{m}$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,125 \rightarrow Y_c = 0,125 \times 3,60 = 0,45 \cong 0,50\text{m}$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,530 \rightarrow R_1 = 0,530 \times 3,60 = 1,91 \cong 1,90\text{m}$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,231 \rightarrow R_2 = 0,231 \times 3,60 = 0,83 \cong 0,80\text{m}$$

$$R_1 - R_2 = 1,90 - 0,80 = 1,10\text{m}$$

O esquema do trecho de montante da crista vertente é mostrado na Figura 3 a seguir:

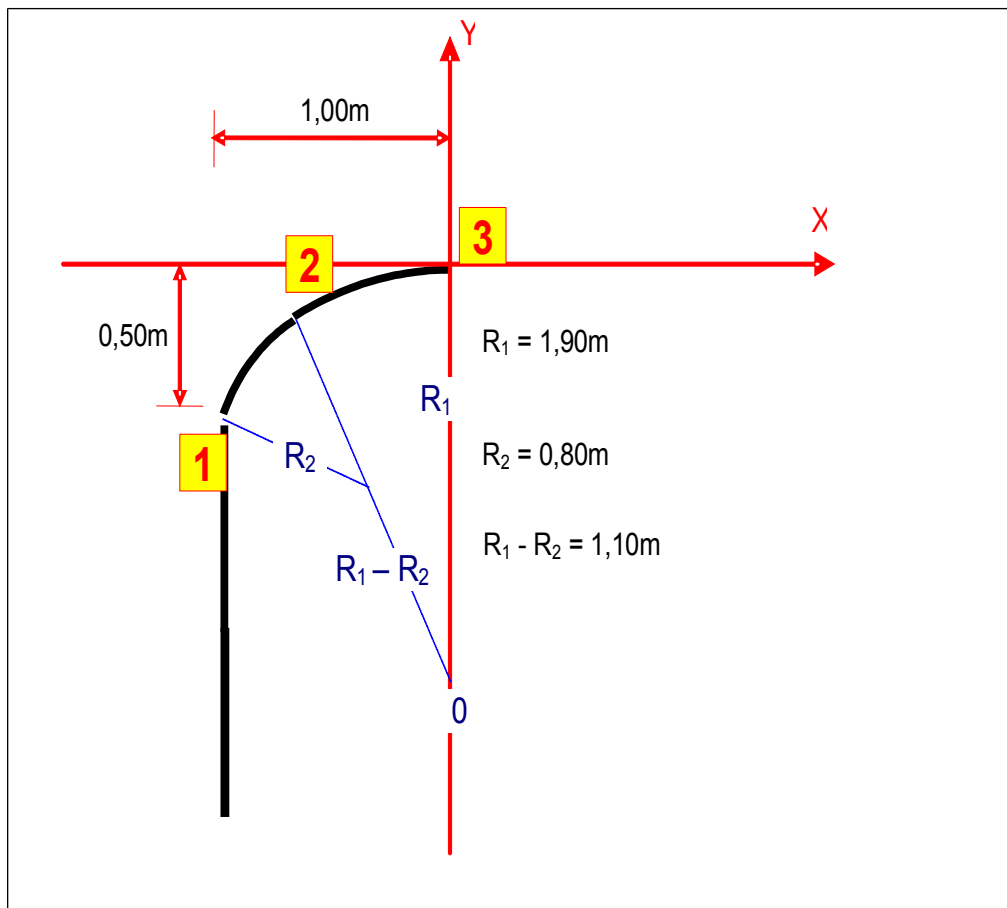


FIGURA 3 - ESQUEMA DO TRECHO DE MONTANTE DO SANGRADOURO

3.5.2 PARAMENTO DE JUSANTE

Os parâmetros que definem a curva exponencial de jusante dos eixos coordenados, foram obtidos através do ábaco da Figura 4 apresentada a seguir.

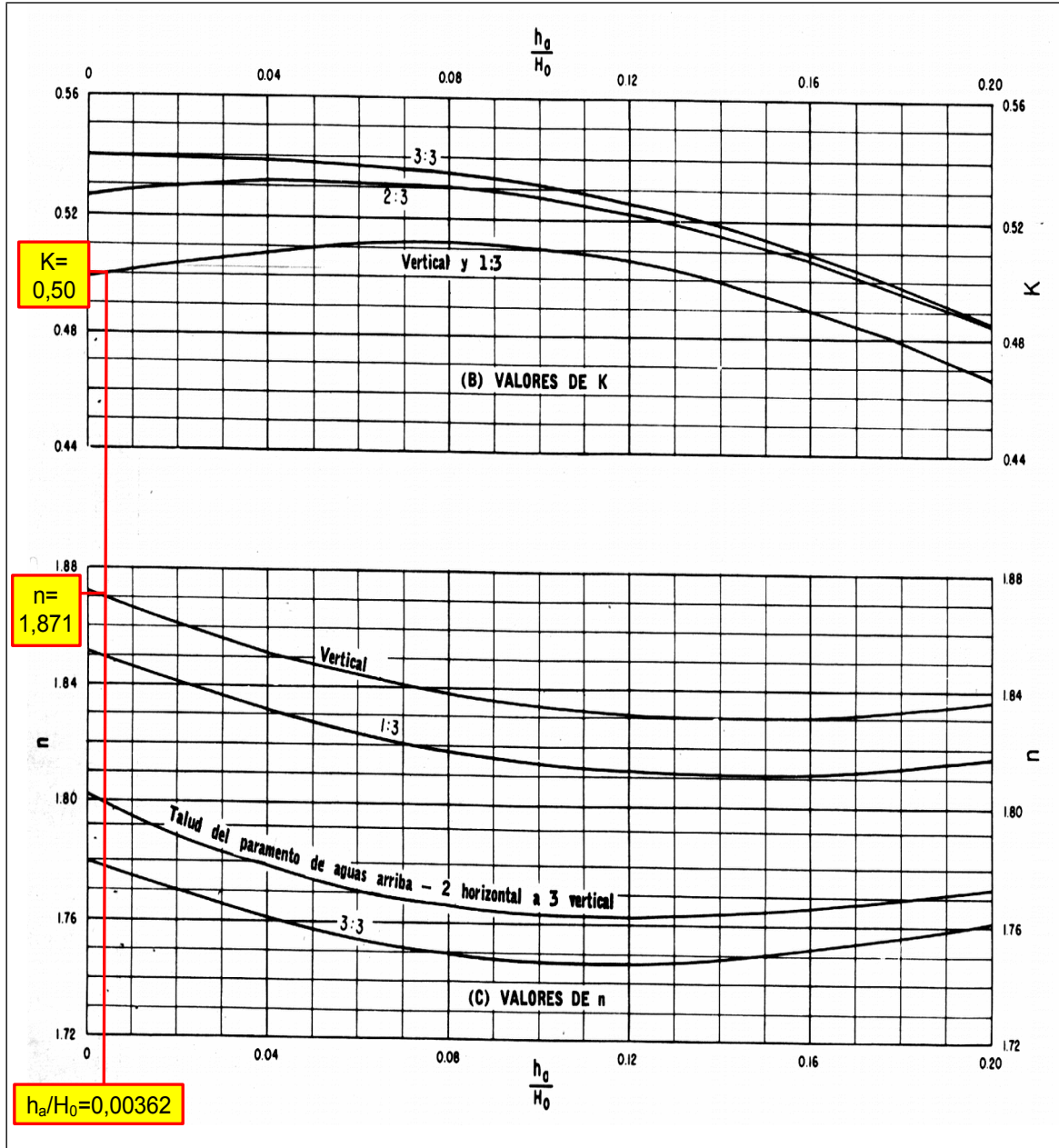


FIGURA 4 - ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO PARAMENTO DE JUSANTE DO SANGRADOURO

Assim, temos:

$$k = 0,50$$

$$n = 1,871$$

A exponencial à jusante dos trechos circulares segue a equação:

$$\frac{Y}{H_0} = -k \left(\frac{X}{H_0} \right)^n$$

$$Y = -0,50 \times 3,60 \times \left(\frac{X}{3,60} \right)^{1,871}$$

$$Y = -0,164 \times X^{1,871}$$

A exponencial calculada deverá concordar com a reta de coeficiente angular igual a -1,25, ou seja, talude 1,00(V):0,80(H), no ponto A (X_A; Y_A), de tangência.

3.5.3 DETERMINAÇÃO DO PONTO A DE TANGÊNCIA

Sendo:

$$\frac{d_y}{d_x} = -1,25$$

$$y = -0,164X^{1,871}$$

$$-1,25 = -0,164 \times 1,871 \times X_A^{0,871}$$

$$X_A \cong 5,02$$

$$Y_A = -0,164 X_A^{1,871}$$

$$Y_A = -0,164 \times (5,02)^{1,871}$$

$$Y_A = -3,36$$

Então: **Ponto A (5,02 ; -3,36)**

Assim, o trecho exponencial, a partir da origem (0,00; 0,00) ao ponto de tangência A (5,02; -3,36), tem suas coordenadas calculadas na Tabela 2 a seguir.

TABELA 2 - PONTOS DO TRECHO EXPONENCIAL

X	Y	X	Y
---	---	---	---

0,00	0,000		2,60	-0,980
0,10	-0,002		2,70	-1,052
0,20	-0,008		2,80	-1,126
0,30	-0,017		2,90	-1,202
0,40	-0,030		3,00	-1,281
0,50	-0,045		3,10	-1,362
0,60	-0,063		3,20	-1,445
0,70	-0,084		3,30	-1,531
0,80	-0,108		3,40	-1,619
0,90	-0,135		3,50	-1,709
1,00	-0,164		3,60	-1,802
1,10	-0,196		3,70	-1,896
1,20	-0,231		3,80	-1,994
1,30	-0,268		3,90	-2,093
1,40	-0,308		4,00	-2,194
1,50	-0,350		4,10	-2,298
1,60	-0,395		4,20	-2,404
1,70	-0,443		4,30	-2,512
1,80	-0,493		4,40	-2,623
1,90	-0,545		4,50	-2,735
2,00	-0,600		4,60	-2,850
2,10	-0,657		4,70	-2,967
2,20	-0,717		4,80	-3,086
2,30	-0,779		4,90	-3,208
2,40	-0,844		5,00	-3,331
2,50	-0,911		5,02	-3,356

3.5.4 DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DA RETA TANGENTE À EXPONENCIAL CALCULADA, NO PONTO DE TANGÊNCIA A

A reta que contém o ponto A (5,02; -3,36) e coeficiente angular $\frac{dy}{dx} = -1,25$, terá a seguinte equação:

$$\frac{Y - Y_A}{X - X_A} = \frac{d_y}{d_x}$$

$$Y - (-3,36) = -1,25 (X - 5,02)$$

$$Y + 3,36 = -1,25X + 6,28$$

$$Y + 1,25X - 2,92 = 0$$

O trecho de jusante do perfil vertente, a partir do ponto de tangência, obedecerá a essa equação, até encontrar a bacia de dissipação projetada, com o topo da laje na cota 330,00.

3.6 PROJETO DOS DEGRAUS NO PARAMENTO DE JUSANTE

Para diminuir a energia da descarga através do vertedouro, e em consequência, a velocidade do fluxo ao longo do paramento de jusante, optou-se pela adoção de degraus no paramento de jusante do vertedouro.

A partir das equações das curvas que definem os perfis, calcularam-se os degraus do paramento de jusante baseado nos estudos em modelo reduzido para as barragens de UPPER STILLWATER, STAGE COACH e MILLTOWN HILL, pertencentes ao U.S.B.R., bem como da barragem de MONKSVILLE, USA. e a Barragem ANTÔNIO GOUVEIA NETO, em Pernambuco, Brasil.

Na solução em degraus, ficou comprovado, em laboratório, que a velocidade a partir do topo do vertedouro cresce até um determinado ponto e daí em diante permanece constante até a bacia de dissipação. Esta velocidade é chamada velocidade terminal.

O cálculo desta velocidade, baseia-se nos estudos efetuados por Sorensen(1985), desenvolvidos por Rajaratman e Cristodoulou nas Universidades de Alberta no Canadá e Atenas, na Grécia, que desenvolveram fórmulas empíricas com as quais determinaram também a espessura da lâmina, dada pela expressão:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gy_0 \text{sen}\alpha}{C_f}}, \text{ onde:}$$

y_0 = tirante que se estabiliza ao longo do paramento, dado por:

$$y_0 = \sqrt[3]{\frac{C_f q^2}{2g \text{sen}\alpha}} \text{ (m)}$$

C_f = coeficiente de atrito dos fluídos, adotado como 0,18 para a água;

$$q = \text{descarga específica na seção: } q = \frac{Q}{L} = \frac{1.137,40}{80,00} = 14,22 \text{ m}^3/\text{s/m};$$

α = ângulo da geratriz do paramento de jusante com a horizontal:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{0,80}\right) = \arctan 1,25 \Rightarrow \alpha = 51,34^\circ$$

Então:

$$y_0 = \sqrt[3]{\frac{0,18 \times 14,22^2}{2 \times 9,81 \times 0,78}}$$

$$y_0 = 1,33\text{m}$$

A velocidade terminal é dada por:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gy_0 \text{sen}\alpha}{c_f}}, \text{ então:}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1,33 \times 0,78}{0,18}} = 10,64 \text{ m/s}$$

3.6.1 VERIFICAÇÃO DO REGIME DO FLUXO

O tipo de fluxo é comandado pelo fator $\frac{y_c}{h}$, onde h é a altura dos degraus e y_c é o tirante crítico, segundo os estudos de Cristodoulou, dado por:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(14,22)^2}{9,81}} = 2,74\text{m}$$

Assim, considerando uma altura média constante para os degraus $h=0,60\text{m}$:

$$\frac{y_c}{h} = \frac{2,74}{0,60} = 4,57$$

Estudos experimentais, desenvolvidos por Sorensen e reanalisados por M.R.Chamani e N.Rajaratnan, com base em dados de várias pesquisas

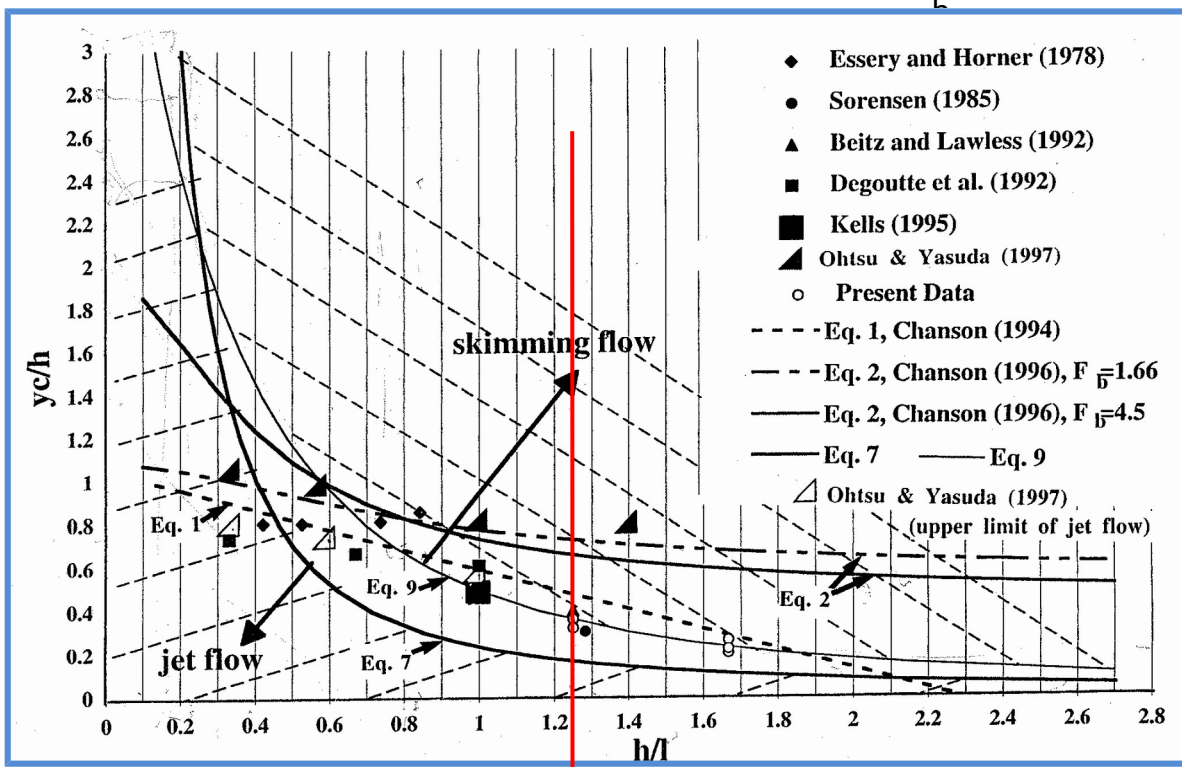


FIGURA 5 - ÁBACO – REGIME DE FLUXO

No caso do vertedouro da Barragem Germinal:

$$\frac{y_c}{h} = \frac{2,74}{0,60} = 4,57 \gg \gg 0,40$$

Sendo o valor de $\frac{y_c}{h}$ muito maior que 0,40, assegura-se um regime do tipo “SKIMMING FLOW”, escoamento em cascata, ficando a estrutura livre de erosões indesejáveis.

Para atingir o valor crítico de $\frac{y_c}{h} = 0,40$, a descarga por metro linear deveria ser:

$$\frac{y_c}{h} = 0,40$$

$$y_c = 0,40 \times 0,60 = 0,24$$

Então:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$q = \sqrt{g y_c^{1/3}}$$

$$q = \sqrt{9,81 \times 0,24^{1/3}}$$

$$q = 2,47 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

A descarga crítica através do sangradouro seria:

$$Q = q \times L$$

Sendo $L = 80,00\text{m}$

$$\text{Então: } Q = 2,47 \times 80$$

$$Q = 197,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sabendo-se que:

$Q = C_0 L H^{3/2}$, a lâmina a partir da qual ocorre o “SKIMMING FLOW”, será:

$$H = \left(\frac{Q}{C_0 L} \right)^{2/3} = \left(\frac{197,60}{2,18 \times 80,00} \right)^{2/3} = 1,09\text{m}$$

Assim, para lâminas inferiores a 1,09m, parte do fluxo se dará em regime lamelar, atingindo o patamar do batente.

Para combater erosões indesejáveis, no projeto, é previsto um revestimento dos degraus com concreto de f_{ck} semelhante àquele adotado para o concreto de face.

3.7 BACIA DE DISSIPACÃO

Foi projetada uma bacia de dissipação do tipo “piscina”, estudada em laboratório por Forster e Skrinde, utilizada na barragem de Monksville, nos EUA. e de Upper Stillwater, do US. Bureau of Reclamation.

A bacia de dissipação encontra-se à cota 330,00, possui uma largura de 80,00m e um comprimento de 12,00m, conforme dimensionamento apresentado a seguir. O esboço da bacia de dissipação com os dados calculados no decorrer deste item encontra-se apresentado na Figura 6.

Os estudos foram desenvolvidos com base na teoria dos ressaltos hidráulicos, provida uma elevação abrupta no fundo do canal, seção mais a jusante.

Os referidos autores, concluíram que existe uma correlação entre o número de Froude e as características geométricas da bacia de dissipação, de modo a fornecer a definição do desenvolvimento horizontal da piscina e as lâminas d’água no pé do vertedouro e após a elevação do canal, y_1 e y_3 , respectivamente.

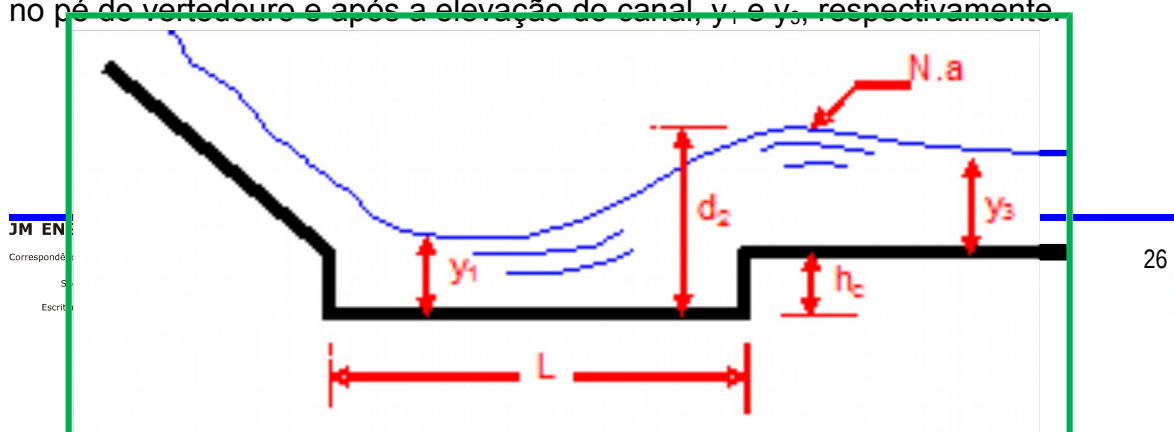


FIGURA 6 - ESBOÇO DA BACIA DE DISSIPACÃO DO SANGRADOURO

3.7.1 DADOS DE PROJETO

Os dados para o projeto utilizados, serão os calculados para o sangradouro em degraus, ou seja:

- Tirante normal : $y_0 = 1,33\text{m}$
- Velocidade terminal: $v_0 = 10,64\text{m/s}$
- Largura da bacia de dissipação: $80,00\text{m}$
- Declividade da rampa do perfil do vertedouro: $0,60(\text{V}) : 0,48(\text{H})$

Então $\phi = \arctan\left(\frac{0,60}{0,48}\right) = \arctan(1,25) = 51,34^\circ$

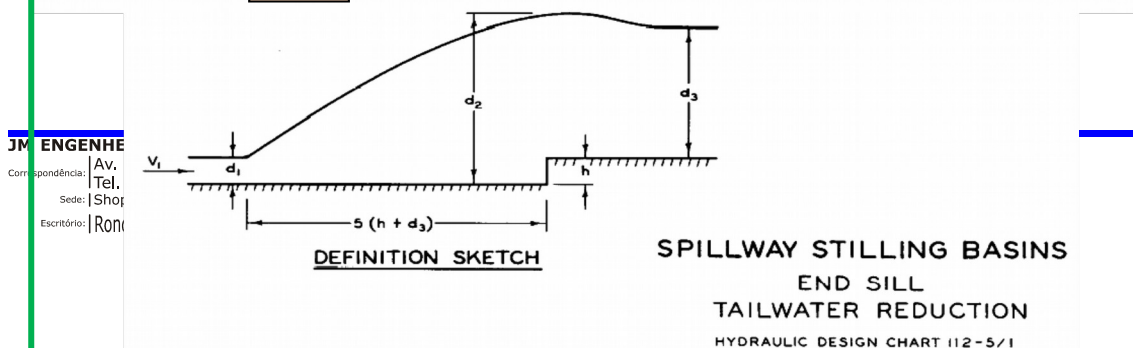
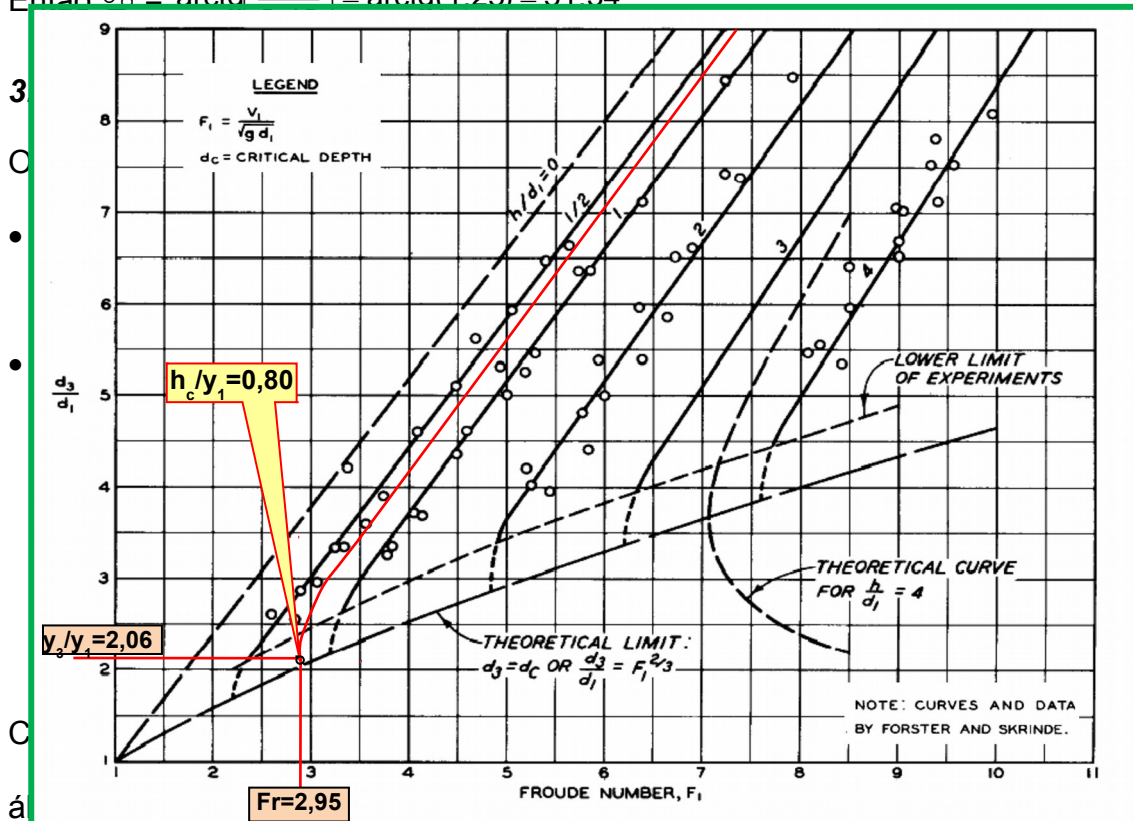


FIGURA 7 - ÁBACO PARA O DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO

$$\left. \begin{array}{l} \frac{y_3}{y_1} = \frac{1,71}{0,83} = 2,05 \\ F = 2,95 \end{array} \right\} \frac{h_c}{y_1} = 0,80$$

Então: $h_c = 0,80 \times y_1$

$h_c = 0,80 \times 0,83 \cong 0,70$, sendo h_c a altura da borda de jusante da bacia de dissipação.

3.7.3 CÁLCULO DO COMPRIMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO

Sabendo-se que o tirante total após a transição (d_2) é igual a altura da borda de jusante da bacia (h_c) acrescida do tirante de saída (y_3), o comprimento da bacia de dissipação é dado pela fórmula:

$$L = 5,00 \times (d_2)$$

$$L = 5,00 \times (h_c + y_3)$$

$$\text{Então : } L = 5,00 \times (0,70 + 1,71)$$

$$L = 12,05\text{m}$$

Adotou-se, no projeto, a bacia de dissipação com um comprimento, no sentido do fluxo igual a 12,00m.

O esquema apresentado na Figura 8 retrata as dimensões adotadas no projeto para a bacia do sangradouro:

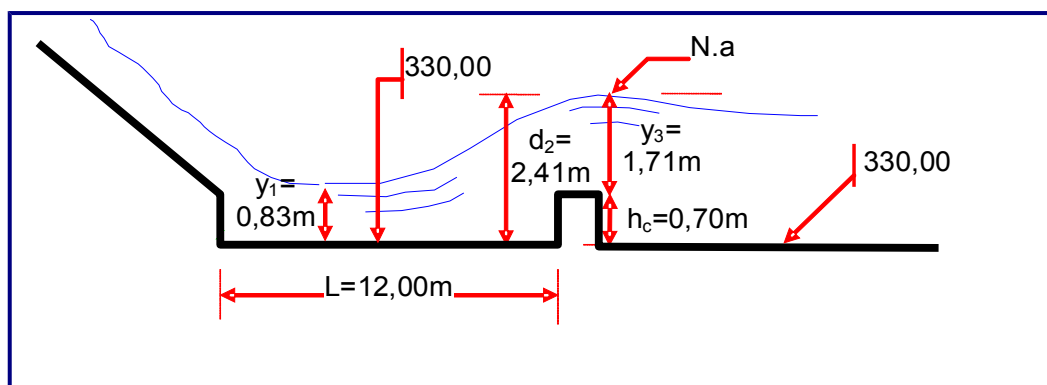


FIGURA 8 - DIMENSÕES ADOTADAS PARA A BACIA DO SANGRADOURO

3.7.4 DETERMINAÇÃO DA ALTURA DOS MUROS LATERAIS

Para determinação da altura dos muros laterais, utilizaram-se as seguintes expressões:

$$F = 0,1 \times (d_2 + y_1)$$

$$H_L = F + d_2, \text{ onde:}$$

F: Folga calculada;

H_L : Altura do muro lateral.

$$H_L = 0,1 \times (2,41 + 0,83) + 2,41 = 2,73\text{m}$$

Adotou-se, no projeto, a altura dos muros laterais de 3,00m. Desta forma, recomenda-se que seja escavado um canal de restituição com os muros laterais citados anteriormente até as imediações da Estação de Tratamento de Água existente, como forma de proteger a plataforma da mesma contra possíveis inundações advindas das cheias vertidas pela Barragem Germinal.

3.8 DETERMINAÇÃO DOS DEGRAUS DO PARAMENTO DE JUSANTE DO VERTEDOURO

Os degraus começarão à cota 352,26 ou seja, 1,39m abaixo da soleira.

A partir dos dados calculados e da seção máxima definida, projetou-se os 38 degraus da seguinte forma, considerando o perfil ogiva e a diretriz do talude de jusante:

- primeiro degrau: altura de 0,35m e patamar de 0,40m;
- segundo degrau: altura de 0,39m e patamar de 0,40m;
- terceiro degrau: altura de 0,42m e patamar de 0,40m;
- quarto degrau: altura de 0,46m e patamar de 0,40m;
- quinto degrau: altura de 0,59m e patamar de 0,48m;
- sexto ao trigésimo oitavo: altura de 0,60m e patamar de 0,48m, chegando à cota 330,00 da bacia de dissipação com 12,00m de comprimento.

Assim, a Tabela 3 apresentada a seguir, apresenta a posição de cada ponto do perfil vertente.

TABELA 3 - POSIÇÃO DOS PONTOS DO PERFIL VERTENTE DO SANGRADOURO

BARRAGEM GERMINAL

Município de Palmácia - Ceará

Descrição	Patamar	Espelho	Ponto	Coordenadas		COTA	
				X	Y		
Localização							
Trecho de Montante	-	-	1	-1,00	-0,50	353,50	
	-	-	2	-0,47	-0,06	353,94	
Y = -0,164X^{0,871} Trecho de Jusante Exponencial:	soleira	-	3	0,00	0,00	354,00	
	curva	-	4	0,77	-0,10	353,90	
	curva	-	5	1,11	-0,20	353,80	
	curva	-	6	1,38	-0,30	353,70	
	curva	-	7	1,61	-0,40	353,60	
	curva	-	8	1,81	-0,50	353,50	
	curva	-	9	2,00	-0,60	353,40	
	curva	-	10	2,17	-0,70	353,30	
	curva	-	11	2,33	-0,80	353,20	
	curva	-	12	2,48	-0,90	353,10	
	curva	-	13	2,63	-1,00	353,00	
	curva	-	14	2,77	-1,10	352,90	
	curva	-	15	2,90	-1,20	352,80	
	curva	-	16	3,02	-1,30	352,70	
	curva	-	17	3,14	-1,391	352,61	
	1º Degrau	0,40	0,35	18	3,14	-1,74	352,26
		-	-	19	3,54	-1,74	352,26
	2º Degrau	0,40	0,39	20	3,54	-2,13	351,87
		-	-	21	3,94	-2,13	351,87
	3º Degrau	0,40	0,42	22	3,94	-2,55	351,45
	-	-	23	4,34	-2,55	351,45	
4º Degrau	0,40	0,46	24	4,34	-3,01	350,99	
(Trecho curvo)	-	-	25	4,74	-3,01	350,99	
Y = 2,92 - 1,25X Trecho de Jusante reto tangente:	5º Degrau	0,48	0,59	26	4,74	-3,60	350,40
	(Trecho Reto)	-	-	27	5,22	-3,60	350,40
	6º Degrau	0,48	0,60	28	5,22	-4,20	349,80
		-	-	29	5,70	-4,20	349,80
	7º Degrau	0,48	0,60	30	5,70	-4,80	349,20
		-	-	31	6,18	-4,80	349,20
	8º Degrau	0,48	0,60	32	6,18	-5,40	348,60
		-	-	33	6,66	-5,40	348,60
	9º Degrau	0,48	0,60	34	6,66	-6,00	348,00
		-	-	35	7,14	-6,00	348,00
	10º Degrau	0,48	0,60	36	7,14	-6,60	347,40
		-	-	37	7,62	-6,60	347,40
	11º Degrau	0,48	0,60	38	7,62	-7,20	346,80
		-	-	39	8,10	-7,20	346,80
	12º Degrau	0,48	0,60	40	8,10	-7,80	346,20
		-	-	41	8,58	-7,80	346,20
	13º Degrau	0,48	0,60	42	8,58	-8,40	345,60
		-	-	43	9,06	-8,40	345,60
	14º Degrau	0,48	0,60	44	9,06	-9,00	345,00
		-	-	45	9,54	-9,00	345,00
	15º Degrau	0,48	0,60	46	9,54	-9,60	344,40
		-	-	47	10,02	-9,60	344,40
	16º Degrau	0,48	0,60	48	10,02	-10,20	343,80
		-	-	49	10,50	-10,20	343,80
	17º Degrau	0,48	0,60	50	10,50	-10,80	343,20
	-	-	51	10,98	-10,80	343,20	
	18º Degrau	0,48	0,60	52	10,98	-11,40	342,60
		-	-	53	11,46	-11,40	342,60
		-	-	54	11,46	-11,40	342,60

BARRAGEM GERMINAL							
Município de Palmácia - Ceará							
Descrição	Patamar	Espelho	Ponto	Coordenadas		COTA	
				X	Y		
Localização							
Y=2,92 -1,25XTrecho de Jusante reto tangente:	19° Degrau	0,48	0,60	46	11,46	-12,00	342,00
		-	-	47	11,94	-12,00	342,00
	20° Degrau	0,48	0,60	48	11,94	-12,60	341,40
		-	-	49	12,42	-12,60	341,40
	21° Degrau	0,48	0,60	50	12,42	-13,20	340,80
		-	-	51	12,90	-13,20	340,80
	22° Degrau	0,48	0,60	52	12,90	-13,80	340,20
		-	-	53	13,38	-13,80	340,20
	23° Degrau	0,48	0,60	54	13,38	-14,40	339,60
		-	-	55	13,86	-14,40	339,60
	24° Degrau	0,48	0,60	56	13,86	-15,00	339,00
		-	-	57	14,34	-15,00	339,00
	25° Degrau	0,48	0,60	58	14,34	-15,60	338,40
		-	-	59	14,82	-15,60	338,40
	26° Degrau	0,48	0,60	60	14,82	-16,20	337,80
		-	-	61	15,30	-16,20	337,80
	27° Degrau	0,48	0,60	62	15,30	-16,80	337,20
		-	-	63	15,78	-16,80	337,20
	28° Degrau	0,48	0,60	64	15,78	-17,40	336,60
		-	-	65	16,26	-17,40	336,60
	29° Degrau	0,48	0,60	66	16,26	-18,00	336,00
		-	-	67	16,74	-18,00	336,00
	30° Degrau	0,48	0,60	68	16,74	-18,60	335,40
		-	-	69	17,22	-18,60	335,40
	31° Degrau	0,48	0,60	70	17,22	-19,20	334,80
		-	-	71	17,70	-19,20	334,80
	32° Degrau	0,48	0,60	72	17,70	-19,80	334,20
		-	-	73	18,18	-19,80	334,20
	33° Degrau	0,48	0,60	74	18,18	-20,40	333,60
		-	-	75	18,66	-20,40	333,60
	34° Degrau	0,48	0,60	76	18,66	-21,00	333,00
		-	-	77	19,14	-21,00	333,00
	35° Degrau	0,48	0,60	78	19,14	-21,60	332,40
		-	-	79	19,62	-21,60	332,40
	36° Degrau	0,48	0,60	80	19,62	-22,20	331,80
		-	-	81	20,10	-22,20	331,80
	37° Degrau	0,48	0,60	82	20,10	-22,80	331,20
		-	-	83	20,58	-22,80	331,20
38° Degrau	0,48	0,60	84	20,58	-23,40	330,60	
	-	-	85	21,06	-23,40	330,60	
BACIA DE DISSIPAÇÃO	12,00	0,60	86	21,06	-24,00	330,00	
	-	-	87	33,06	-24,00	330,00	
	-	-0,70	88	33,06	-23,30	330,70	

4 DIMENSIONAMENTO DA TOMADA D'ÁGUA

O dimensionamento da tomada d'água da Barragem Germinal teve como parâmetro principal a vazão a ser regularizada, calculada nos estudos

hidrológicos, tomando-se o período mais crítico, ou seja, o reservatório com a sua cota mínima de água, para os prolongados períodos de estio.

4.1 LOCALIZAÇÃO

Foi projetada uma tomada d'água para a Barragem Germinal, situada na ombreira esquerda, na estaca 1+8,00m no eixo da barragem, composta por uma tubulação de 600mm de diâmetro perpendicular ao eixo do maciço. A tubulação terá um comprimento aproximado de cerca de 36,50m.

Sua localização foi determinada em função das características locais de topografia e geotecnia. Sua implantação se dará assente sobre uma base de concreto de regularização.

A tubulação possui, na entrada, uma grade de proteção, seguida mais para jusante de uma comporta acionada por meio de dispositivo hidromecânico.

O controle das vazões é feito através de um registro de gaveta e uma válvula do tipo Howell-Bunger de diâmetro igual a 600mm, colocada na extremidade de jusante, a fim de permitir uma descarga dissipada na área a jusante do maciço da barragem. Uma casa de comando abrigará o dispositivo de acionamento da válvula.

4.2 DIMENSIONAMENTO

4.2.1 COTA DE JUSANTE E MONTANTE DA TOMADA D'ÁGUA

A cota de jusante do eixo da tubulação será a mesma cota do eixo a montante, ou seja, 335,00.

4.2.2 DESCARGA ATRAVÉS DA GALERIA

De acordo com os estudos hidrológicos, a vazão regularizada com garantia de 90%, calculada para a Barragem Germinal, no Rio Pacoti foi de 368,00 l/s.

Assim, temos: $Q = \text{vazão regularizada} = 0,368 \text{ m}^3/\text{s}$ (90% de garantia).

4.2.3 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO

O cálculo do diâmetro será desenvolvido em função da vazão regularizada, utilizando-se a fórmula do diâmetro econômico, então desenvolvida por Lencastre (1983), que tem a seguinte expressão:

$$D = 0,95 \times Q^{0,43}, \text{ onde:}$$

D = diâmetro em metros

Q = vazão regularizada (m³/s)

Então:

$$D = 0,95 \times (0,368)^{0,43}$$

$$D = 0,62\text{m}$$

No projeto foi adotada para a galeria da tomada d'água, uma tubulação de 600mm de diâmetro, controlada por uma comporta de montante do tipo plana com navalha e entrada de ar no corpo da comporta, conforme desenhos apresentados no Tomo 2.

O controle de jusante poderá ser realizado através da comporta de montante ou válvula dispersora do tipo Howell-Bunger, precedida por uma registro de gaveta para eventuais medidas de reparos e manutenção.

4.3 NÍVEL MÍNIMO DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO - COTA DO PORÃO

O nível mínimo de operação deverá corresponder à cerca de 10% da capacidade máxima do reservatório, com o objetivo de preservar a qualidade da água do açude, considera-se esse percentual do volume total de acumulação para o volume mínimo acumulado no reservatório.

Sendo a capacidade de acumulação de cerca de 2.000.000,00m³, o volume permitido para a reserva intangível do reservatório será em torno de 200.000,00m³, correspondendo aproximadamente à cota 340,00, conforme Tabela 4 a seguir, que apresenta cota x área x volume.

TABELA 4 - DIAGRAMA COTA x ÁREA X VOLUME

BARRAGEM GERMINAL		
Município de Palmácia - CE		
DIAGRAMA COTA x ÁREA x VOLUME (Levantamento da Bacia Hidráulica)		
COTA (m)	ÁREA (m ²)	VOLUME ACUMULADO (m ³)
330	155,77	77,89
331	678,76	495,15
332	1.850,65	1.759,86
333	3.809,34	4.589,85
334	7.180,79	10.084,92
335	13.046,84	20.198,73
336	22.819,61	38.131,96
337	30.601,90	64.842,71
338	37.981,14	99.134,23
339	44.543,80	140.396,70
340	51.840,65	188.588,93
341	60.038,13	244.528,32
342	67.899,81	308.497,29
343	75.681,95	380.288,17
344	84.112,27	460.185,28
345	95.979,42	550.231,12
346	100.989,55	648.715,61
347	122.745,05	760.582,90
348	138.219,95	891.065,40
349	154.730,79	1.037.540,77
350	166.332,13	1.198.072,23
351	186.043,03	1.374.259,81
352	203.086,07	1.568.824,36
353	221.836,14	1.781.285,47
354	244.447,37	2.014.427,22
355	269.211,11	2.271.256,46
356	297.341,77	2.554.532,90
357	332.142,25	2.869.274,91

Observa-se que a cota do eixo da tubulação na entrada da tomada d'água (335,00), está abaixo 5,00 m do nível mínimo de operação (cota 340,00), que é a cota do porão do reservatório. O controle deste nível deverá ser feito através do registro de gaveta.

4.4 COTA DE ASSENTAMENTO DA GALERIA DA TOMADA D'ÁGUA

A localização da tomada d'água na ombreira esquerda, estaca 1+8,00m no eixo da barragem, foi feita em função das condições geotécnicas e topográficas. Observadas as condições de locação, definiu-se a cota 335,00 para o eixo da tubulação de 600 mm, de acordo com a Figura 9.

A obra em questão, terá como metas principais, a regularização do rio a jusante e abastecimento d'água das cidades circunvizinhas a área da barragem.

O desenho da Figura 9 a seguir, mostra o esquema da seção transversal da tomada d'água:

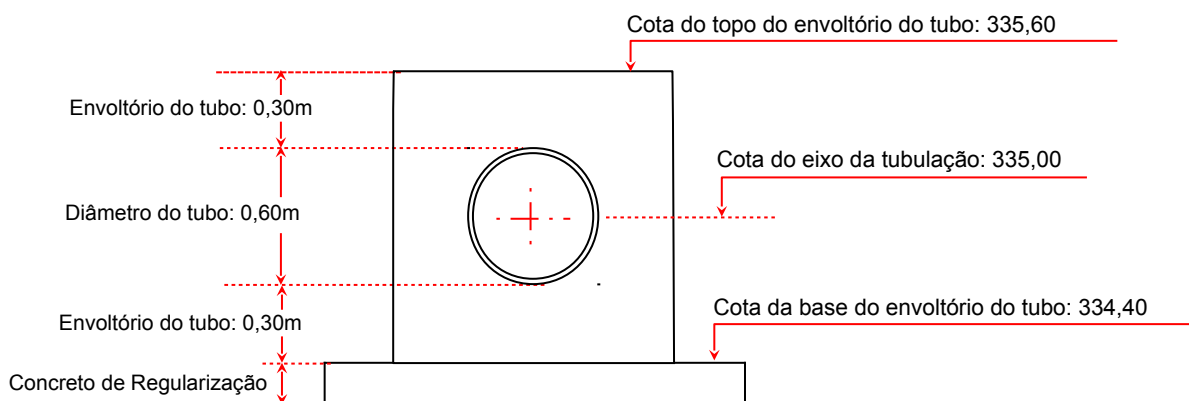


FIGURA 9 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA TOMADA D'ÁGUA

Observa-se que a cota do eixo da galeria da tomada d'água (335,00) encontra-se abaixo da cota do porão do reservatório, cota 340,00. O controle deste nível deverá ser feito através da comporta de montante ou válvula dispersora a jusante.

4.5 VERIFICAÇÃO DO DIÂMETRO DA GALERIA EM FUNÇÃO DAS PERDAS DE CARGA

4.5.1 CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA DISTRIBUÍDAS: ΔH_{FD}

A perda de carga distribuída para tubulação é calculada através da equação:

$\Delta H_{FD} = JxL$, onde:

L é o comprimento da tubulação (m)

J é a perda de carga unitária (m/m), dada pela equação de Hanzen-Willians:

$$J = \frac{10,643 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} , \text{ sendo:}$$

Q = descarga regularizada para a tubulação (90% de garantia):.....0,368m³/s

D = diâmetro da tubulação.....600mm

C = coeficiente do material, no caso, aço..... 120,00

L = comprimento da tubulação..... \cong 36,50 m

Assim:

$$J = \frac{10,643 \times 0,368^{1,85}}{120^{1,85} \times 0,60^{4,87}} = 2,87 \times 10^{-3} \text{ m/m}$$

Então:

$$\Delta H_{FD} = 0,00287 \times 36,5 = 0,1048\text{m}$$

4.5.2 CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS: ΔH_{FL}

Adotando-se a expressão geral para perda de carga localizada, tem-se:

$$\Delta H_{FL} = \sum k \frac{V^2}{2g} , \text{ onde:}$$

Σk = somatório das perdas de cada peça (m)

V = velocidade em m/s;

g = aceleração da gravidade (m/s²)

Assim, tem-se:

Perdas a serem consideradas pelas seguintes peças:

- a) Entrada na tubulação.....k = 0,50
- b) Comportak = 2,50
- c) Registro de gaveta.....k = 0,20
- d) Válvula dispersora $\phi = 600$ mm.....k = 2,50

Então:

$$\Sigma k = 5,70$$

Sabe-se que: $v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{0,368}{\pi \times (0,3)^2} = 1,30 \text{ m/s}$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(1,30)^2}{2g} = 0,086 \text{ m}^3/\text{s}$$

Então: $\Delta H_{FL} = 5,70 \times 0,086 = 0,49 \text{ m}$

4.5.3 CÁLCULO DA PERDA DE CARGA TOTAL

$$\Delta H_{TOTAL} = \Delta H_{FD} + \Delta H_{FL} = 0,1048 + 0,49 = 0,5948 \text{ m}$$

Adota-se: $\Delta H_{TOTAL} = 0,5948 \text{ m}$

4.5.4 CÁLCULO DO DIÂMETRO NECESSÁRIO PARA A DESCARGA REGULARIZADA

Dados:

- Cota da boca de montante: $C_{bm} = 335,00$
- Cota da boca de jusante: $C_{bj} = 335,00$
- Cota da soleira: $C_s = 354,00$
- Descarga na tubulação: $Q = 0,368 \text{ m}^3/\text{s}$
- Perda de carga total admitida: $\Delta H_{TOTAL} = 0,5948 \text{ m}$

De acordo com a equação: $Q = \sqrt{2ghx} \frac{\pi D^2}{4}$, onde:

$$h = C_s - C_{bm} - \Delta H_{TOTAL} = 354,00 - 335,00 - 0,5948 = 18,4052$$

$$0,368 = \sqrt{2g \times 18,4052} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,368}{\pi \times \sqrt{18,4052 \times 2 \times g}}} = 0,157 \text{ m}$$

Observa-se que para a descarga pretendida de projeto, seria necessário um tubo de 0,157m. A tubulação adotada de 0,60m satisfaz ao projeto.

4.6 DETERMINAÇÃO DA DESCARGA PARA O DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA DISPERSORA

A válvula dispersora será dimensionada em função do diâmetro adotado e da altura máxima do nível da água no reservatório.

Dados:

- Diâmetro da tubulação:D = 0,60m
- Cota da soleira do sangradouro:C_s = 354,00

Assim: $Q = \sqrt{2ghx} \frac{\pi D^2}{4}$, com $h = C_s - C_{bm} - \Delta H_{TOTAL}$

$$h = 354,00 - 335,00 - 0,5948 = 18,4052m$$

$$\text{Então: } Q = \sqrt{2gx \cdot 18,4052} \times \frac{\pi(0,60)^2}{4} = 5,37m^3/s$$

A válvula dispersora deverá ter capacidade para uma vazão próxima de 5,37 m³/s.

4.7 DIMENSIONAMENTO DA BOCA DE ENTRADA DA GALERIA DA TOMADA

As curvas recomendadas pelo Bureau of Reclamation para a entrada da tomada d'água de forma retangular, são mostradas na Figura 10 apresentada a seguir:

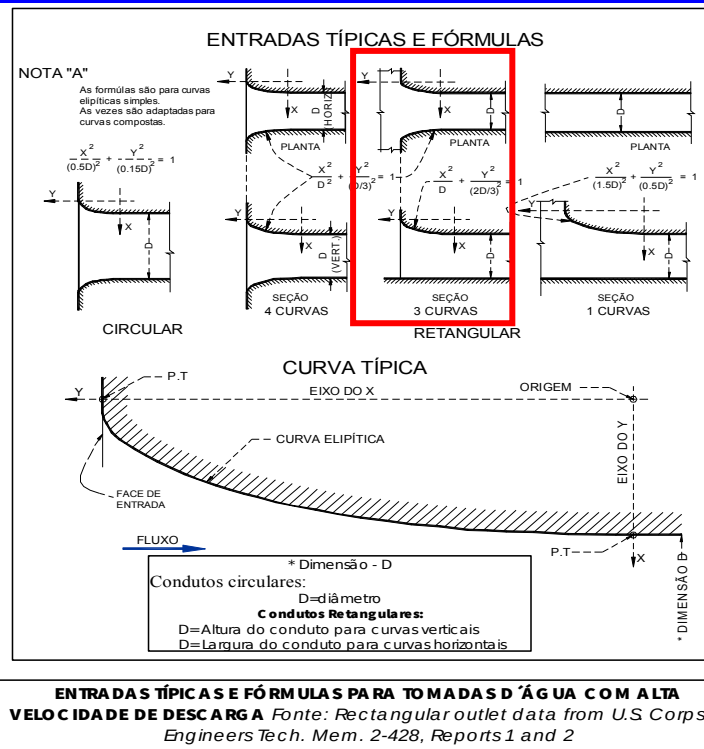


FIGURA 10 - CURVAS DE ENTRADA DA TUBULAÇÃO

No projeto, adotou-se a entrada do tipo 3, cujas curvas de transição seguem as seguintes equações:

a) Para as laterais: (curva horizontal)

$$\frac{X^2}{D^2} + \frac{Y^2}{\left(\frac{D}{3}\right)^2} = 1$$

sendo D = 0,60m

$$\frac{X^2}{(0,60)^2} + \frac{Y^2}{\left(\frac{0,60}{3}\right)^2} = 1$$

$$2,78X^2 + 25Y^2 = 1$$

X	Y
0,00	0,2000
0,05	0,1993
0,10	0,1972
0,15	0,1936
0,20	0,1886
0,25	0,1818
0,30	0,1732
0,35	0,1624
0,40	0,1491
0,45	0,1323
0,50	0,1106
0,55	0,0799
0,60	0,000

b) Para a parte superior: (curva vertical)

X	Y
0,00	0,4000
0,05	0,3986
0,10	0,3944
0,15	0,3873
0,20	0,3771
0,25	0,3636
0,30	0,3464
0,35	0,3249
0,40	0,2981
0,45	0,2646
0,50	0,2211
0,55	0,1599
0,60	0,0000



$$\frac{X^2}{D^2} + \frac{Y^2}{\left(\frac{2D}{3}\right)^2} = 1$$

sendo $D = 0,60\text{m}$

$$\frac{X^2}{(0,60)^2} + \frac{Y^2}{\left(\frac{2,00 \times 0,60}{3}\right)^2} = 1$$

$$2,78X^2 + 6,25Y^2 = 1$$

4.8 DIMENSIONAMENTO DO TUBO DE AERAÇÃO

4.8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O dimensionamento do tubo de aeração baseou-se no roteiro - Air Demand Design Criteria, calculando a demanda de ar na tubulação.

No projeto, admitiu-se que a demanda máxima de ar ocorre quando a comporta estiver com 80% de abertura.

4.8.2 CÁLCULO DA ESPESSURA DA VEIA LÍQUIDA (e)

$e = k D'$, onde:

k = coeficiente de descarga em função da abertura da comporta, dado pelo seguinte ábaco:

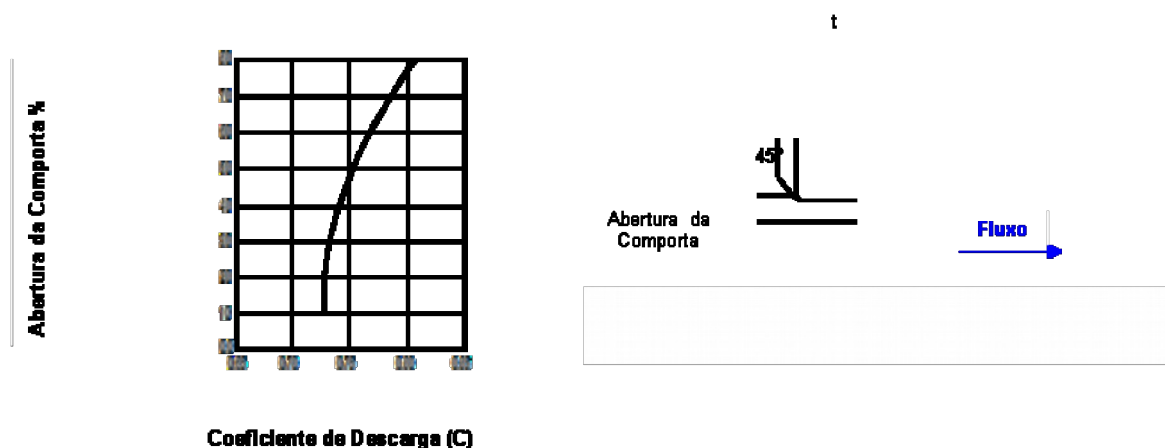


FIGURA 11 - COEFICIENTE DE DESCARGA – TOMADA D'ÁGUA

Assim, considerando a abertura = 80%, obtém-se $k = 0,805$

$D' = 80\%D$, sendo D = diâmetro da tubulação adotado em 0,60 m

$D' = 0,80 \times 0,60$ m

$D' = 0,48$ m

Então: $e = 0,805 \times 0,48$ m

$e = 0,386$ m

4.8.3 CÁLCULO DA CARGA HIDRÁULICA SOBRE A VEIA LÍQUIDA NA TUBULAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA (h)

A carga hidráulica sobre a veia líquida é dada pela expressão:

$h = C_s - C_g - e$, onde:

C_s = cota da soleira do sangradouro (354,00)

C_g = cota da base da galeria (334,70)

D = diâmetro da galeria (0,60m)

e = espessura da veia líquida (0,386m)

Então:

$h = 354,00 - 334,70 - 0,386 = 18,91$ m

4.8.4 CÁLCULO DA VELOCIDADE MÁXIMA DA ÁGUA NA TUBULAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA (v)

O cálculo da velocidade é dado por:

$v = \sqrt{2gh}$, onde:

h = carga hidráulica sobre a veia líquida (18,91m)

$v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 18,91}$

$v = 19,26$ m/s

4.8.5 CÁLCULO DO NÚMERO DE FROUDE (F)

$$F = \frac{v}{\sqrt{ge}}$$

Onde:

v = velocidade da água na tubulação (19,26m/s)

e = espessura da veia líquida (0,386m)

$$F = \frac{19,26}{\sqrt{9,81 \times 0,386}} = 9,90$$

4.8.6 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁGUA NA TUBULAÇÃO DA GALERIA: (Q_w)

$$Q_w = vA$$

Onde:

v = velocidade da água na galeria (19,26m/s)

A = área molhada, dada por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} - \left\{ \left[\frac{\pi D^2}{720} \left(\arccos \left(\frac{2e - D}{D} \right) \right) \right] - \left[\left(e - \frac{D}{2} \right) \sqrt{e(D - e)} \right] \right\}$$

onde:

D = diâmetro da galeria (0,60m)

e = espessura da veia líquida (0,386m)

Assim:

$$A = \frac{\pi(0,60)^2}{4} - \left\{ \left[\frac{\pi(0,60)^2}{720} \left(\arccos \left(\frac{2 \times 0,386 - 0,60}{0,60} \right) \right) \right] - \left[\left(0,386 - \frac{0,60}{2} \right) \sqrt{0,386(0,60 - 0,386)} \right] \right\}$$

$$A = 0,1925m^2$$

Então:

$$Q_w = 19,26 \times 0,1925$$

$$Q_w = 3,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.8.7 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE AR NA TUBULAÇÃO: Q_A

Determina-se a demanda de ar na tubulação em função do número de Froude ($F=9,90$), no ábaco da Figura 12 a seguir:

Determina-se a demanda de ar na tubulação em função do número de Froude ($F=9,90$), no ábaco da Figura 12 a seguir:

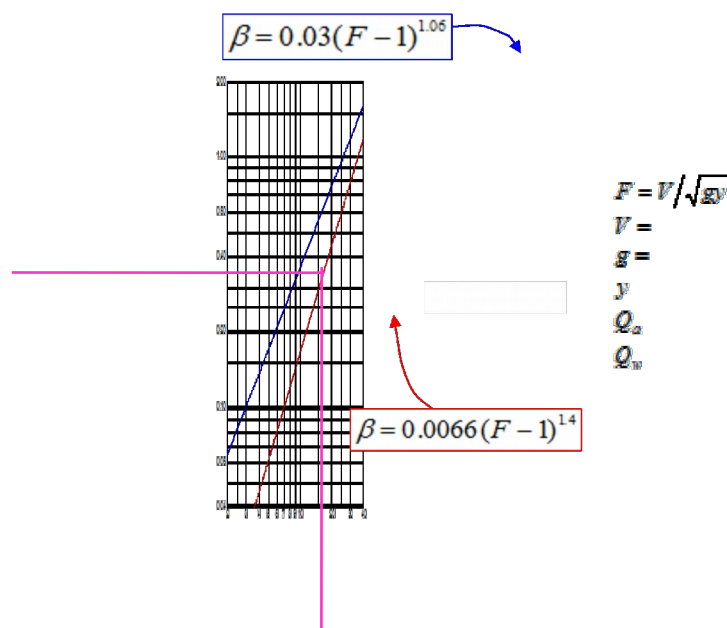


FIGURA 12 - DEMANDA DE AR NA TUBULAÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE FROUDE

Para: $F - 1 = 9,90 - 1 = 8,90$;

Usando a curva B do ábaco (U.S.Army Corps Engineers), tem-se:

$\beta = 0,31$

Sabendo-se que:

$$\beta = \frac{Q_a}{Q_w}$$

$$Q_a = \beta Q_w$$

Então:

$$Q_A = 0,31 \times 3,71$$

$$Q_A = 1,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.8.8 DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE AR NA TUBULAÇÃO (A_{AR})

$Q_{ar} = A_{ar} \times V_{ar}$, onde:

Q_{ar} = demanda de ar na tubulação (1,15m³/s)

V_{ar} = velocidade do ar na tubulação

A velocidade do ar na tubulação será admitida em até 300f/s (91,44m/s).

Então:

$$A_{ar} = \frac{1,15}{91,44}$$

$$A_{ar} = 0,013 \text{ m}^2$$

4.8.9 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DO TUBO DE AERAÇÃO (D_{AR})

$$D_{ar} = \sqrt{\frac{4A_{ar}}{\pi}}$$

$$D_{ar} = \sqrt{\frac{4 \times 0,013}{\pi}}$$

$$D_{ar} = 0,13\text{m}$$

Adotou-se, no projeto:

$$D_{ar} = 150 \text{ mm.}$$

5 ANÁLISE DA ESTABILIDADE

Neste item será apresentado os cálculos de análises de estabilidade da seção transversal máxima do sangradouro (trecho submersível) e da seção

transversal máxima (trecho insubmersível) das estruturas de CCR da barragem Germinal.

As cotas de fundação, as geometrias das seções e os níveis d'água de projeto - a montante e a jusante, com exceção do nível d'água máximo de jusante que foi estimado, a favor da segurança foram obtidos no Tomo 2 referente aos desenhos do Projeto Executivo:

- I-2-GE-13-231-00 - folha 11/22 - Etapa B3 - “Projeto Executivo da Barragem Germinal – Município de Palmácia – CE – Barragem de CCR – Seção Tipo (Máxima) – Submersível e Detalhes” e
- I-2-GE-12-31-00 – folha 10/23 – Etapa B3 – “Projeto Executivo da Barragem Germinal – Município de Palmácia – CE – Barragem de CCR – Seção Tipo (Máxima) – Insubmersível e Detalhes”.

5.1 SEÇÕES ANALISADAS

Foram analisadas duas seções, a saber, a seção do sangradouro e a seção máxima do maciço conforme descrito a seguir.

A seção transversal do sangradouro (trecho submersível) tem sua fundação na cota 323,00m e a ogiva na cota 354,00m, tendo portanto a altura (máxima) de 31,00m, conforme mostrado na figura 1.

A largura da base, desde o paramento de montante até o pé de jusante da estrutura é de 34,56m, ou seja, da ordem de 1,11 vezes a altura. Considerando a geometria da estrutura, admitiu-se que a seção se comportará como um bloco monolítico.

A seção transversal máxima do maciço (trecho insubmersível) tem sua fundação na cota 323,00m e a crista na cota 358,00m, tendo portanto a altura (máxima) de 35,00m, conforme mostrado na figura 2.

A largura da base, desde o paramento de montante até o pé de jusante do maciço é de 30,32m, ou seja, 0,87 vezes a altura. Admitiu-se que a seção se comportará como um bloco monolítico.

5.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

5.2.1 CRITÉRIOS DE PROJETO DE USINAS HIDRELÉTRICAS ELETROBRÁS/CBDB (OUTUBRO 2003)

Transcreve-se a seguir o capítulo 6: “Considerações de carregamento” do Manual de Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB (outubro 2003).

5.2.2 “GENERALIDADES”

As seguintes condições de carregamentos devem ser consideradas nos estudos de estabilidade global e respectivos cálculos dos esforços internos (tensões).

- **Condição de Carregamento Normal (CCN)**

Corresponde a todas as combinações de ações que apresentem grande probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, durante a operação normal ou manutenção de rotina da obra, em condições hidrológicas normais.

- **Condição de Carregamento Excepcional (CCE)**

Corresponde a uma situação de combinação de ações com baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura. Em geral, estas combinações consideram a ocorrência de somente uma ação excepcional, tais como, condições hidrológicas excepcionais, defeitos no sistema de drenagem, manobras de caráter excepcional, efeitos sísmicos, etc. com as ações correspondentes a condição de carregamento normal.

- **Condição de Carregamento Limite (CCL)**

Corresponde a uma situação de combinação de ações com muito baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura. Em geral, estas combinações consideram a ocorrência de mais de uma ação excepcional, tais como, condições hidrológicas excepcionais, defeitos no sistema de drenagem, manobras de caráter excepcional, efeitos sísmicos,

etc. com as ações correspondentes a condição de carregamento normal.

- **Condição de Carregamento de Construção (CCC)**

Corresponde a todas as combinações de ações que apresentem probabilidade de ocorrência durante a execução da obra. Podem ser devidas a carregamentos de equipamentos de construção, a estruturas executadas apenas parcialmente, carregamentos anormais durante o transporte de equipamentos permanentes, e quaisquer outras condições semelhantes, e ocorrem durante períodos curtos em relação à sua vida útil.

5.2.2.1 CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO NORMAL (CCN)

A condição de carregamento normal deverá incluir as seguintes cargas:

- *Peso próprio da estrutura e equipamentos;*
- *Carga acidental uniformemente distribuída, concentrada e cargas móveis;*
- *Carga relativa às atividades rotineiras de operação e manutenção da Usina;*
- *Empuxos hidrostáticos com o N.A. do reservatório e do canal de fuga variando entre os níveis máximo normal e mínimo normal, sendo que a condição mais severa de carregamento deverá ser selecionada para cada estrutura;*
- *Subpressão com drenagem operante;*
- *Empuxo de terraplenos e de assoreamento;*
- *Pressão hidrodinâmica devida a esforços hidráulicos;*
- *Pressão Intersticial;*
- *Esforços devidos ao vento;*
- *Variação de temperatura e retração do concreto;*
- *Ancoragens ativas;*
- *Esforços sobre a estrutura no primeiro estágio, em casos onde o segundo estágio da estrutura deva ser completado posteriormente, com a usina em operação.*

5.2.2.2 CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL (CCE)

A condição de carregamento excepcional deverá adicionar à condição de

carregamento normal, uma das seguintes cargas excepcionais:

- *Empuxos hidrostáticos e subpressão associada ao N.A. do reservatório e do canal de fuga variando entre os níveis d' água máximo maximorum e mínimo minimorum;*
- *Subpressão decorrente de drenagem inoperante ou de falhas no sistema de drenagem;*
- *Pressão hidrodinâmica devido a ação sísmica;*
- *Efeito de onda;*
- *Quaisquer esforços excepcionais sobre as estruturas de primeiro estágio.*

5.2.2.3 CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO LIMITE (CCL)

A condição de carregamento limite deverá adicionar à condição de carregamento normal, pelo menos duas das seguintes cargas excepcionais:

- *Empuxos hidrostáticos e subpressão associada ao N.A. do reservatório e do canal de fuga variando entre os níveis d' água máximo maximorum e mínimo minimorum;*
- *Subpressão decorrente de drenagem inoperante ou de falhas no sistema de drenagem;*
- *Pressão hidrodinâmica devido a ação sísmica;*
- *Efeito de onda;*
- *Quaisquer esforços excepcionais sobre as estruturas de primeiro estágio.*

5.2.2.4 CONDIÇÃO DE CARREGAMENTO DE CONSTRUÇÃO (CCC)

Esta condição compreende as possíveis combinações de ações atuantes durante as fases de construção, considerando equipamentos de construção, cargas temporárias para instalação e montagem de equipamentos definitivos e cimbramentos.

A seguinte lista de condições de carregamento tem caráter genérico, devendo ser analisada e completada em função de cada caso específico.

- *Condições normais de carregamento em estruturas incompletas, conforme for apropriado a cada caso em particular. Como exemplo, esforços sobre*

estruturas em 1º estágio, em casos onde o 2º estágio deva ser completado posteriormente, adufas vazias para o vertedouro, etc...;

- *Cargas de equipamentos de construção e montagem;*
- *Cargas devidas à ancoragens provisórias para guinchos, guindastes ou dispositivos de levantamentos de carga ou similares, cargas de compactação de aterros e reaterros;*
- *Cargas vivas excepcionais, devidas à movimentação e montagem de equipamentos;*
- *Cargas devidas a testes de equipamentos permanentes;*
- *Cargas hidrostáticas e subpressões anormais devidas a esvaziamentos temporários;*
- *Esforços devidos a injeções.*

5.2.2.5 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Na combinação de Ações devem ser observadas as seguintes condições:

- *Cargas variáveis serão consideradas em intensidade e direção do modo mais desfavorável;*
- *Cargas acidentais, uniformemente distribuídas ou concentradas, serão consideradas na combinação mais desfavorável em termos de intensidade, localização, direção e sentido, não se considerando qualquer redução de esforços internos por elas causada;*
- *Combinação mais desfavorável de N.A de montante e jusante com os correspondentes diagramas de subpressão;*
- *Peças e elementos estruturais na região da fundação e no interior das estruturas serão analisados com e sem subpressão;*
- *Os empuxos de terra nas estruturas levarão em conta a ocorrência de lençol freático, caso exista;*
- *No caso de sistemas de drenagem à montante e a jusante não deverão ser consideradas falhas concomitantes dos sistemas”.*

Transcreve-se a seguir o capítulo “7.4 Coeficientes de Segurança – Valores Mínimos Admissíveis” do Manual de Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB (outubro 2003).

“O grau de estabilidade mínimo, requerido para as estruturas, deverá ser definido a partir dos coeficientes de segurança e das tensões admissíveis.

A seguir são indicados os fatores de redução da resistência por atrito e da coesão $FSD\phi$ e $FSDc$, bem como os valores mínimos admissíveis dos coeficientes de segurança ao tombamento FST e à flutuação FSF .

7.4.1 Fatores de Redução da Resistência do Atrito e da Coesão $FSD\phi$ e $FSDc$

Fatores de Redução	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
$FSDc$	3,0 (4,0)	1,5 (2,0)	1,3 (2,0)	2,0 (2,5)
$FSD\phi$	1,5 (2,0)	1,1 (1,3)	1,1 (1,3)	1,3(1,5)

A adoção destes valores pressupõe razoável conhecimento dos parâmetros de resistência dos materiais envolvidos.

Estes valores devem ser aumentados nos casos em que tal conhecimento é precário ou os materiais não apresentam constância de comportamento. Neste caso devem-se adotar os valores entre parênteses.

7.4.2 Fatores de Segurança ao Tombamento FST e Flutuação FSF

Coeficiente de segurança	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
Flutuação – $FSF >$	1,3	1,1	1,1	1,2
Tombamento – $FST >$	1,5	1,2	1,1	1,3

5.2.3 CASOS DE CARREGAMENTOS

5.2.3.1 RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA - DRENOS OPERANDO - SEM SISMO (RC-CD-SS, CASO 11)

- N.A de montante: máximo normal - cota 354,00m

- N.A de jusante: normal – 332,40m:
- Drenos operando - Sem sismo

Este é o caso de carregamento normal (CCN) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB

5.2.3.2 *RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA - DRENOS OPERANDO - COM SISMO (RC-CD-CS, CASO 12)*

N.A de montante: máximo normal - cota 354,00m

N.A de jusante: normal - cota 332,40m

Drenos operando - Com sismo

Este caso considera a ocorrência de somente uma ação excepcional, no caso os efeitos sísmicos, com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. Trata-se portanto de um caso de carregamento excepcional (CCE) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB sendo denominado CCE1.

5.2.3.3 *RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA – DRENOS INOPERANTES - SEM SISMO (RC-SD-SS, CASO 13)*

N.A de montante: máximo normal - cota 354,00m

N.A de jusante: normal - cota 332,40m

Drenos inoperantes - Sem sismo

Este caso considera a ocorrência de somente uma ação excepcional, no caso os drenos inoperantes com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. Trata-se portanto de um caso de carregamento excepcional (CCE) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB sendo denominado CCE2.

5.2.3.4 *RESERVATÓRIO CHEIO ATÉ A SOLEIRA - DRENOS INOPERANTES - COM SISMO (RC-SD-CS, CASO 14)*

- N.A de montante: máximo normal - cota 354,00m

- N.A de jusante: normal - cota 332,40m
- Drenos inoperantes - Com sismo

Este caso considera a ocorrência de duas ações excepcionais, no caso os drenos inoperantes e os efeitos sísmicos, com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. Trata-se, portanto de um caso de carregamento limite (CCL) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB sendo denominado CCL1.

5.2.3.5 NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA - DRENOS OPERANDO - SEM SISMO (PE-CD-SS, CASO 21)

- N.A de montante: máximo maximorum - cota 357,60m
- N.A de jusante: máximo maximorum - cota 333,50m
- Drenos operando - Sem sismo

Este caso considera a ocorrência de uma ação excepcional, no caso as condições hidrológicas excepcionais, com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. Trata-se, portanto de um caso de carregamento excepcional (CCE) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB sendo denominado CCE3.

5.2.3.6 NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA – DRENOS OPERANDO – COM SISMO (PE-CD-CS, CASO 22)

- N.A de montante: máximo maximorum - cota 357,60m
- N.A de jusante: máximo maximorum - cota 333,50m
- Drenos operando - Com sismo

Este caso considera a ocorrência de duas ações excepcionais, no caso as condições hidrológicas excepcionais e os efeitos sísmicos, com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. Trata-se, portanto de um caso de carregamento limite (CCL) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB sendo denominado CCL2.

5.2.3.7 NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA - DRENOS INOPERANTES - SEM SISMO (PE-SD-SS, CASO 23)

- N.A de montante: máximo maximorum - cota 357,60m
- N.A de jusante: máximo maximorum - cota 333,50m
- Drenos inoperantes - Sem sismo

Este caso considera a ocorrência de duas ações excepcionais, no caso as condições hidrológicas excepcionais e os drenos inoperantes, com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. Trata-se, portanto de um caso de carregamento limite (CCL) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB sendo denominado CCL3.

5.2.3.8 NA PASSAGEM DA ENCHENTE MÁXIMA - DRENOS INOPERANTES - COM SISMO (PE-SD-CS, CASO 24)

- N.A de montante: máximo maximorum - cota 357,60m
- N.A de jusante: máximo maximorum - cota 333,50m
- Drenos inoperantes - Com sismo

Este caso considera a ocorrência de três ações excepcionais, no caso as condições hidrológicas excepcionais, os drenos inoperantes e os efeitos sísmicos, com as ações correspondentes à condição de carregamento normal. A rigor, trata-se de um caso de carregamento limite (CCL) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB já que estes consideram que a condição de carregamento limite engloba todas as situações nas quais ocorrem “pelo menos duas cargas excepcionais além do carregamento normal”.

Considera-se, entretanto, que se trata de uma situação extremíssima que será denominada Caso de Cúmulo das Desgraças (CCD) e para o qual a verificação da estabilidade será feita adotando: $FSD_c = 1,00$, $FSD_\phi = 1,00$, $FSF \geq 1,00$ e $FST \geq 1,00$.

5.2.3.9 FINAL DE CONSTRUÇÃO - DRENOS INOPERANTES - COM SISMO (FC-SD-CS, CASO 31)

- N.A de montante: mínimo - cota 331,00m
- N.A de jusante: mínimo - cota 330,00m
- Drenos inoperantes - Com sismo

Este é o caso de carregamento de construção (CCC) tal como definido pelos Critérios de Projeto de Usinas Hidrelétricas ELETROBRÁS/CBDB

5.2.4 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS E SISMO DE PROJETO

5.2.4.1 MACIÇO

As propriedades dos materiais do maciço adotadas nas análises foram definidas e fornecidas pela CEC Engenharia e Consultoria S/S Ltda conforme indicado a seguir:

- Peso específico do CCR: 2.35 T/m³;

5.2.4.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ROCHA DE FUNDAÇÃO E DO CONTATO CCR-FUNDAÇÃO

O presente relatório apresenta um estudo paramétrico, variando o valor de ϕ' da rocha de fundação e do contato do concreto com a fundação na faixa de 30° a 45° determinando-se, para cada valor de ϕ' , o valor da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento e calculando, para $c' = 0$, o valor do ângulo de atrito necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento.

5.2.4.3 SISMO DE PROJETO

As acelerações horizontal e vertical do sismo de projeto adotadas são as seguintes:

aceleração vertical: 0,05g

aceleração horizontal: 0,05g

5.2.5 COEFICIENTES DE SEGURANÇA ADMISSÍVEIS

5.2.5.1 RC-CD-SS, CASO 11 (CCN)

- ao tombamento: $FST \geq 1,50$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 3,00$ e $FSDfi = 1,50$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,30$

5.2.5.2 RC-CD-CS, CASO 12 (CCE 1)

- ao tombamento: $FST \geq 1,20$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,50$ e $FSDfi = 1,10$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,10$

5.2.5.3 RC-SD-SS, CASO 13 (CCE 2)

- ao tombamento: $FST \geq 1,20$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,50$ e $FSDfi = 1,10$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,10$

5.2.5.4 RC-SD-CS, CASO 14 (CCL 1)

- ao tombamento: $FST \geq 1,10$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,30$ e $FSDfi = 1,10$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,10$

5.2.5.5 PE-CD-SS, CASO 21 (CCE 3)

- ao tombamento: $FST \geq 1,20$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,50$ e $FSDfi = 1,10$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,10$

5.2.5.6 PE-CD-CS, CASO 22 (CCL 2)

- ao tombamento: $FST \geq 1,10$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,30$ e $FSDfi = 1,10$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,10$

5.2.5.7 PE-SD-SS, CASO 23 (CCL 3)

- ao tombamento: $FST \geq 1,10$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,30$ e $FSDfi = 1,10$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,10$

5.2.5.8 PE-SD-CS, CASO 24 (CCD)

- ao tombamento: $FST \geq 1,00$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 1,00$ e $FSDfi = 1,00$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,00$

5.2.5.9 FC-SD-CS, CASO 31 (CCC)

- ao tombamento: $FST \geq 1,30$
- ao deslizamento: $FSD \geq 1,00$ (com $FSDc = 2,00$ e $FSDfi = 1,30$)
- à flutuação: $FSF \geq 1,20$

5.2.5.10 TENSÃO DE TRAÇÃO NO PÉ DE MONTANTE

Além de verificar o atendimento do critério de projeto relativo ao valor de FST (fator de segurança ao tombamento) especificado para cada caso de carregamento, verificar-se-á se a tensão de tração no pé de montante atende os critérios a seguir:

- com o reservatório cheio até a soleira (casos de carregamento 11 a 14):
sem tensão de tração no pé de montante
- na passagem da enchente máximo: (caso de carregamento 21 a 24):
tensão de tração no pé de montante não superior a $10T/m^2$ no máximo.

5.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE

5.3.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos estão resumidos nas tabelas dos itens 5.3.2 e 5.3.3 a seguir, onde:

FSD = Fator de segurança ao deslizamento,

FST = Fator de segurança ao tombamento,

FSF = Fator de segurança à flutuação,

σ'_M (T/m²) = Tensão normal efetiva no pé de montante (- indica tração) em T/m².

σ'_J (T/m²) = Tensão normal efetiva no pé de jusante em T/m² e

LT (m) = Comprimento da faixa tracionada a partir do pé de montante em metros, destacando-se em vermelho os valores que se encontram no limite e/ou abaixo do limite aceitável.

5.3.2 SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M

5.3.2.1 SANGRADOURO COM LAJE IMPERMEABILIZANTE DE MONTANTE DE 10M DE COMPRIMENTO

As Tabelas 5 a 9, a seguir, apresentam os resultados das análises de estabilidade da seção máxima do sangradouro (trecho submersível) com fundação na cota 323,00m tal como consta da figura 15 para os seguintes pares de valores de ϕ' e c' :

$\varphi' = 48^\circ$ e $c' = 0,0T/m^2$ uma vez que $48,0^\circ$ é o valor mínimo do ângulo de atrito necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $c' = 0,0T/m^2$,

$\varphi' = 45^\circ$ e $c' = 3,0T/m^2$ uma vez que $3,0T/m^2$ é o valor mínimo da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $\varphi' = 45^\circ$,

$\varphi' = 40^\circ$ e $c' = 7,2T/m^2$ uma vez que $7,2T/m^2$ é o valor mínimo da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $\varphi' = 40^\circ$,

$\varphi' = 35^\circ$ e $c' = 12,7T/m^2$ uma vez que $12,7T/m^2$ é o valor mínimo da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $\varphi' = 35^\circ$ e

$\varphi' = 30^\circ$ e $c' = 19,0T/m^2$ uma vez que $19,0T/m^2$ é o valor mínimo da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $\varphi' = 30^\circ$.

TABELA 5 - SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 44,8^\circ$ e $c' = 0,0T/m^2$

CASO	FSD	FST	FSF	$\sigma'M$ (T/m2)	$\sigma'J$ (T/m2)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,42	1,75	2,22	15,96	25,95	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,40	1,56	2,11	9,99	28,11	0,00
RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,65	1,56	1,89	12,28	23,62	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)	1,18	1,40	1,79	6,31	25,77	0,00
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,51	1,57	2,05	10,25	30,14	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,12	1,41	1,95	3,87	32,59	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,26	1,40	1,75	6,15	27,54	0,00
PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,00	1,27	1,66	-0,24	29,98	0,35

FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	9,65	3,41	4,00	29,20	16,96	0,00
-------------------------	------	------	------	-------	-------	------

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

TABELA 6 - SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 40^\circ$ e $c' = 2,3T/m^2$

CASO	FSD	FST	FSF	σ'_M (T/m ²)	σ'_J (T/m ²)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,28	1,75	2,22	15,96	25,95	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,31	1,56	2,11	9,99	28,11	0,00
RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,55	1,56	1,89	12,28	23,62	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)	1,14	1,40	1,79	6,31	25,77	0,00
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,41	1,57	2,05	10,25	30,14	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,06	1,41	1,95	3,87	32,59	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,21	1,40	1,75	6,15	27,54	0,00
PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,00	1,27	1,66	-0,24	29,98	0,35
FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	8,78	3,41	4,00	29,20	16,96	0,00

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

TABELA 7 - SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 35^\circ$ e $c' = 4,4T/m^2$

CASO	FSD	FST	FSF	σ'_M (T/m ²)	σ'_J (T/m ²)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,15	1,75	2,22	15,96	25,95	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,23	1,56	2,11	9,99	28,11	0,00
	1,47	1,56	1,89	12,28	23,62	0,00

RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,11	1,40	1,79	6,31	25,77	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)						
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,31	1,57	2,05	10,25	30,14	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,02	1,41	1,95	3,87	32,59	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,17	1,40	1,75	6,15	27,54	0,00
PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,00	1,27	1,66	-0,24	29,98	0,35
FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	8,01	3,41	4,00	29,20	16,96	0,00

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

**TABELA 8 - SEÇÃO MÁXIMA DO SANGRADOURO (TRECHO SUBMERSÍVEL)
COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE
LARGURA PARA $\varphi' = 30^\circ$ e $c' = 6,8T/m^2$**

CASO	FSD	FST	FSF	$\sigma'M$ (T/m ²)	$\sigma'J$ (T/m ²)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,06	1,75	2,22	15,96	25,95	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,18	1,56	2,11	9,99	28,11	0,00
RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,43	1,56	1,89	12,28	23,62	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)	1,11	1,40	1,79	6,31	25,77	0,00
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,26	1,57	2,05	10,25	30,14	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,01	1,41	1,95	3,87	32,59	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,17	1,40	1,75	6,15	27,54	0,00
PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,04	1,27	1,66	-0,24	29,98	0,35
FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	7,47	3,41	4,00	29,20	16,96	0,00

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

5.3.3 SEÇÃO MÁXIMA DO MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M E COM MÍSULA DE MONTANTE DE 10M DE LARGURA

As tabelas 9 a 11 a seguir apresentam os resultados das análises de estabilidade da seção máxima do sangradouro (trecho submersível) com fundação na cota 323,00m tal como consta da figura 2 para os seguintes pares de valores de ϕ' e c' :

$\phi' = 39,3^\circ$ e $c' = 0,0T/m^2$ uma vez que $39,3^\circ$ é o valor mínimo do ângulo de atrito necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $c' = 0,0T/m^2$,

$\phi' = 35^\circ$ e $c' = 2,6T/m^2$ uma vez que $2,6T/m^2$ é o valor mínimo da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $\phi' = 35^\circ$

e $\phi' = 30^\circ$ e $c' = 5,9T/m^2$ uma vez que $5,9T/m^2$ é o valor mínimo da coesão necessário para garantir o atendimento do critério de projeto relativo à estabilidade ao deslizamento em todos os casos de carregamento junto com o valor de $\phi' = 30^\circ$.

TABELA 9 - MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) SEÇÃO MÁXIMA COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\phi' = 39,3^\circ$ e $c' = 0,0T/m^2$

CASO	FSD	FST	FSF	$\sigma'M$ (T/m ²)	$\sigma'J$ (T/m ²)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,32	1,84	2,47	17,08	35,20	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,30	1,61	2,35	9,47	38,42	0,00
RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,63	1,69	2,17	14,39	33,06	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)	1,17	1,49	2,07	6,78	36,28	0,00
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,39	1,62	2,27	9,44	40,92	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,03	1,43	2,16	1,24	44,62	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,24	1,49	2,00	6,44	38,53	0,00
PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,00	1,33	1,90	-1,77	42,23	1,62
FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	7,35	2,75	3,21	27,71	21,94	0,00

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

TABELA 10 - MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) SEÇÃO MÁXIMA COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 35^\circ$ e $c' = 2,6T/m^2$

CASO	FSD	FST	FSF	σ'_M (T/m ²)	σ'_J (T/m ²)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,21	1,84	2,47	17,08	35,20	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,24	1,61	2,35	9,47	38,42	0,00
RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,56	1,69	2,17	14,39	33,06	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)	1,15	1,49	2,07	6,78	36,28	0,00
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,32	1,62	2,27	9,44	40,92	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,00	1,43	2,16	1,24	44,62	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,21	1,49	2,00	6,44	38,53	0,00
PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,01	1,33	1,90	-1,77	42,23	1,62
FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	6,90	2,75	3,21	27,71	21,94	0,00

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

TABELA 11 - MACIÇO (TRECHO INSUBMERSÍVEL) SEÇÃO MÁXIMA COM FUNDAÇÃO NA COTA 323,00M COM MÍSULA DE 10M DE LARGURA PARA $\varphi' = 30^\circ$ e $c' = 5,9T/m^2$

CASO	FSD	FST	FSF	σ'_M (T/m ²)	σ'_J (T/m ²)	LT (m)
RC-CD-SS, caso 11 (CCN)	1,11	1,84	2,47	17,08	35,20	0,00
RC-CD-CS, caso 12 (CCE1)	1,21	1,61	2,35	9,47	38,42	0,00
RC-SD-SS, caso 13 (CCE2)	1,51	1,69	2,17	14,39	33,06	0,00
RC-SD-CS, caso 14 (CCL1)	1,16	1,49	2,07	6,78	36,28	0,00
PE-CD-SS, caso 21 (CCE3)	1,27	1,62	2,27	9,44	40,92	0,00
PE-CD-CS, caso 22 (CCL2)	1,00	1,43	2,16	1,24	44,62	0,00
PE-SD-SS, caso 23 (CCL3)	1,21	1,49	2,00	6,44	38,53	0,00

PE-SD-CS, caso 24 (CCD)	1,05	1,33	1,90	-1,77	42,23	1,62
FC-SD-CS, caso 31 (CCC)	6,57	2,75	3,21	27,71	21,94	0,00

As planilhas de análise de estabilidade correspondentes estão apresentadas no CD-ROM em anexo.

5.4 CONCLUSÕES

A Figura 13, a seguir, mostra de forma gráfica os resultados das análises de estabilidade do sangradouro com mísula de 10m de largura a montante com fundação na cota 323,00m plotando o valor de c' necessário para garantir a estabilidade ao deslizamento em função de φ' , bem como os resultados das análises de estabilidade do maciço com mísula de 10m de largura a montante com fundação na cota 323,00m plotando, também, o valor de c' necessário para garantir a estabilidade do deslizamento em função de φ' .

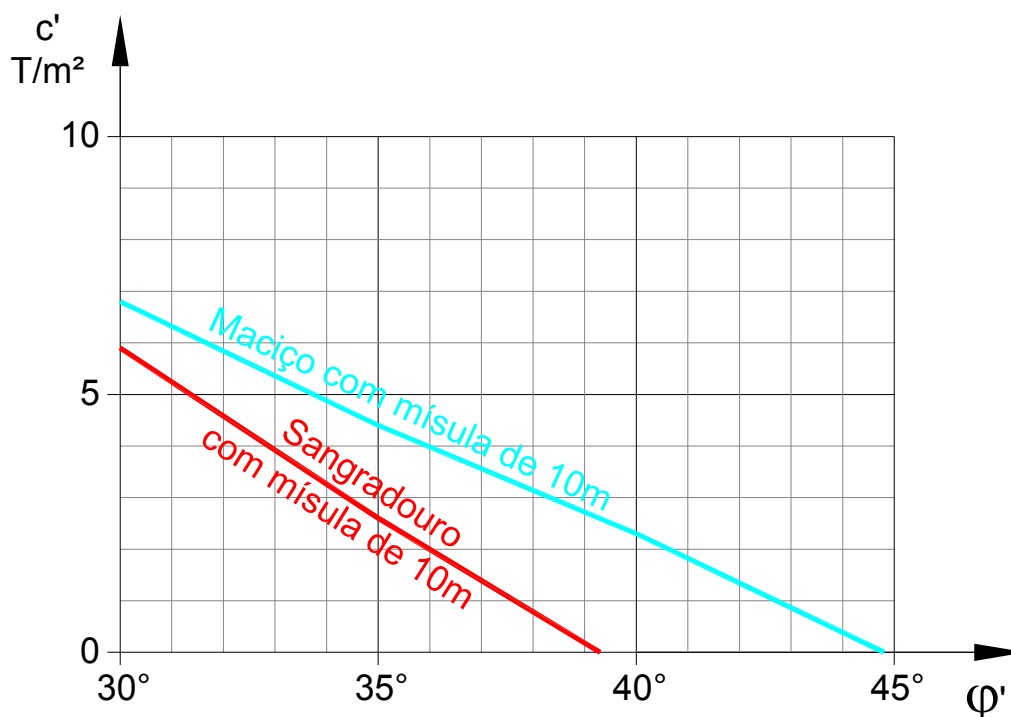


FIGURA 13 - ESTABILIDADE DO SANGRADOURO

Conforme mostrado nas análises, as mísulas indicadas nas figuras 14 e 15 são suficientes para garantir a estabilidade do sangradouro e do maciço ao tombamento e à flutuação e garantir que a tensão de tração no pé de montante seja admissível, sendo que, como se pode observar nas tabelas 5 a 11, não há tração no pé de montante em nenhum dos casos de carregamento, com exceção apenas do caso CCD no qual ocorre uma tensão de tração pequena (no máximo da ordem de $1,8T/m^2$).

No que tange à estabilidade ao deslizamento do sangradouro e do maciço, a figura 13 acima se constitui num ábaco que permite à Projetista, após estabelecer o valor de φ' de projeto, especificar o tratamento de consolidação da

rocha de fundação e do contato CCR-rocha, se necessário, que permita assegurar o valor de c' mínimo requerido para garantir a estabilidade ao deslizamento das estruturas de CCR da barragem Germinal.

Jean-Pierre Paul Rémy



LUIZ HERNANI DE CARVALHO

Engenheiro Civil

6 FIGURAS 14 E 15

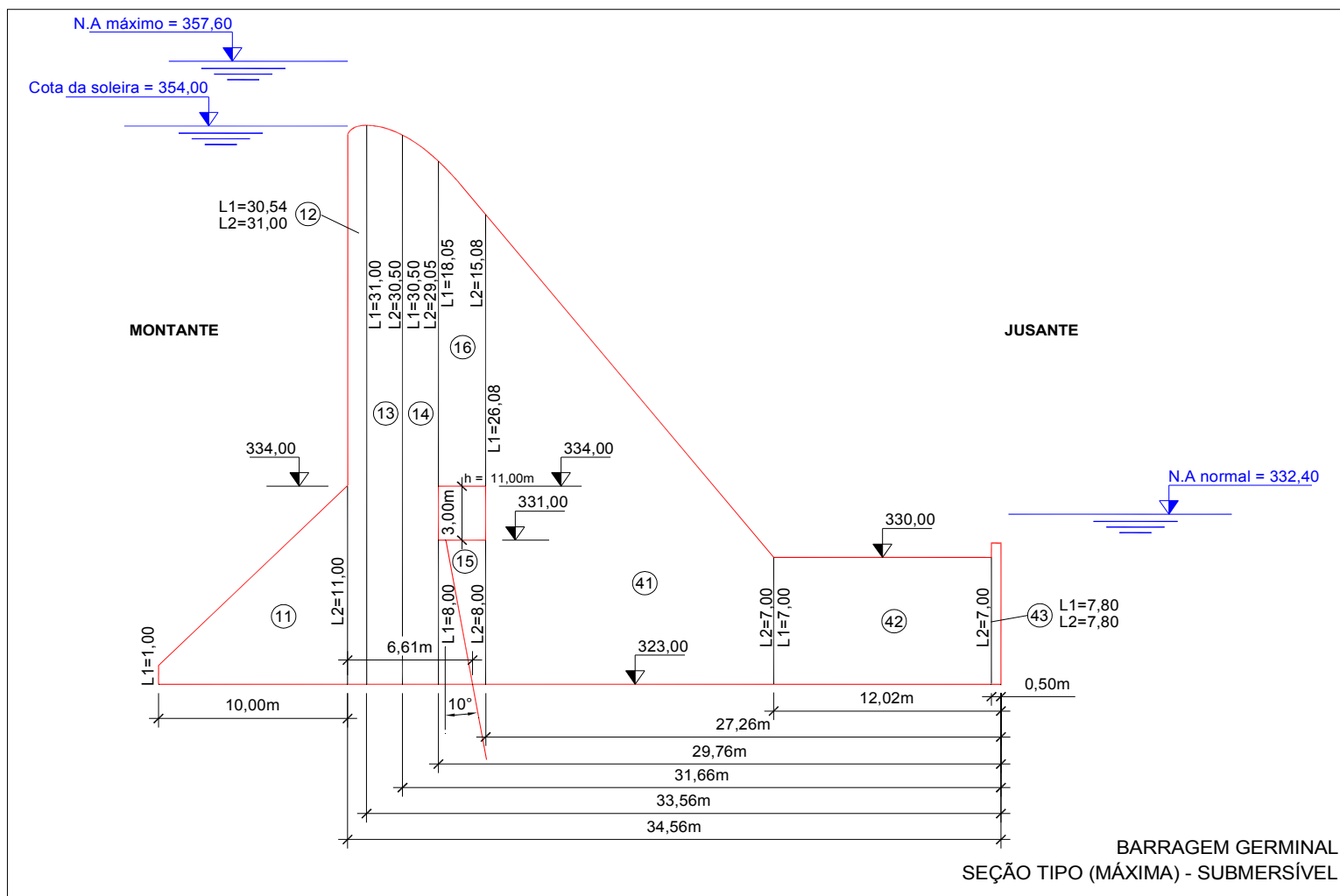
JM ENGENHEIROS CONSULTORES LTDA | CNPJ Nº. 07.321.709/0001-38

Correspondência: | Av. Senador Virgílio Távora, 1701 | salas 504 a 508 | Aldeota | Fortaleza - CE | Cep: 60.170-251
| Tel.: (85) 3244.3744 | Fax: (85) 3244.1066 | e-mail: jmconsultores@netbandalarga.com.br

Sede: | Shopping Eusébio Center | Av. Eusébio de Queiroz, 101 | sala 216 | Parnamirim | Eusébio - CE

Escritório: | Rondônia | Pará | Maranhão | Piauí | Ceará | Rio Grande do Norte | Paraíba | Pernambuco | Alagoas | Bahia | Minas Gerais

6.1 FIGURA 14 - SEÇÃO TIPO (MÁXIMA) – SUBMERSÍVEL



JM ENGENHEIROS CONSULTORES LTDA | CNPJ Nº. 07.321.709/0001-38

Correspondência: Av. Senador Virgílio Távora, 1701 | salas 504 a 508 | Aldeota | Fortaleza - CE | Cep: 60.170-251

Tel.: (85) 3244.3744 | Fax: (85) 3244.1066 | e-mail: jmconsultores@netbandalarga.com.br

Sede: Shopping Eusébio Center | Av. Eusébio de Queiroz, 101 | sala 216 | Parnamirim | Eusébio - CE

Escritório: Rondônia | Pará | Maranhão | Piauí | Ceará | Rio Grande do Norte | Paraíba | Pernambuco | Alagoas | Bahia | Minas Gerais



FIGURA 14 - SEÇÃO TIPO (MÁXIMA) – SUBMERSÍVEL

6.2 FIGURA 15: SEÇÃO TIPO (MÁXIMA) - INSUBMERSÍVEL

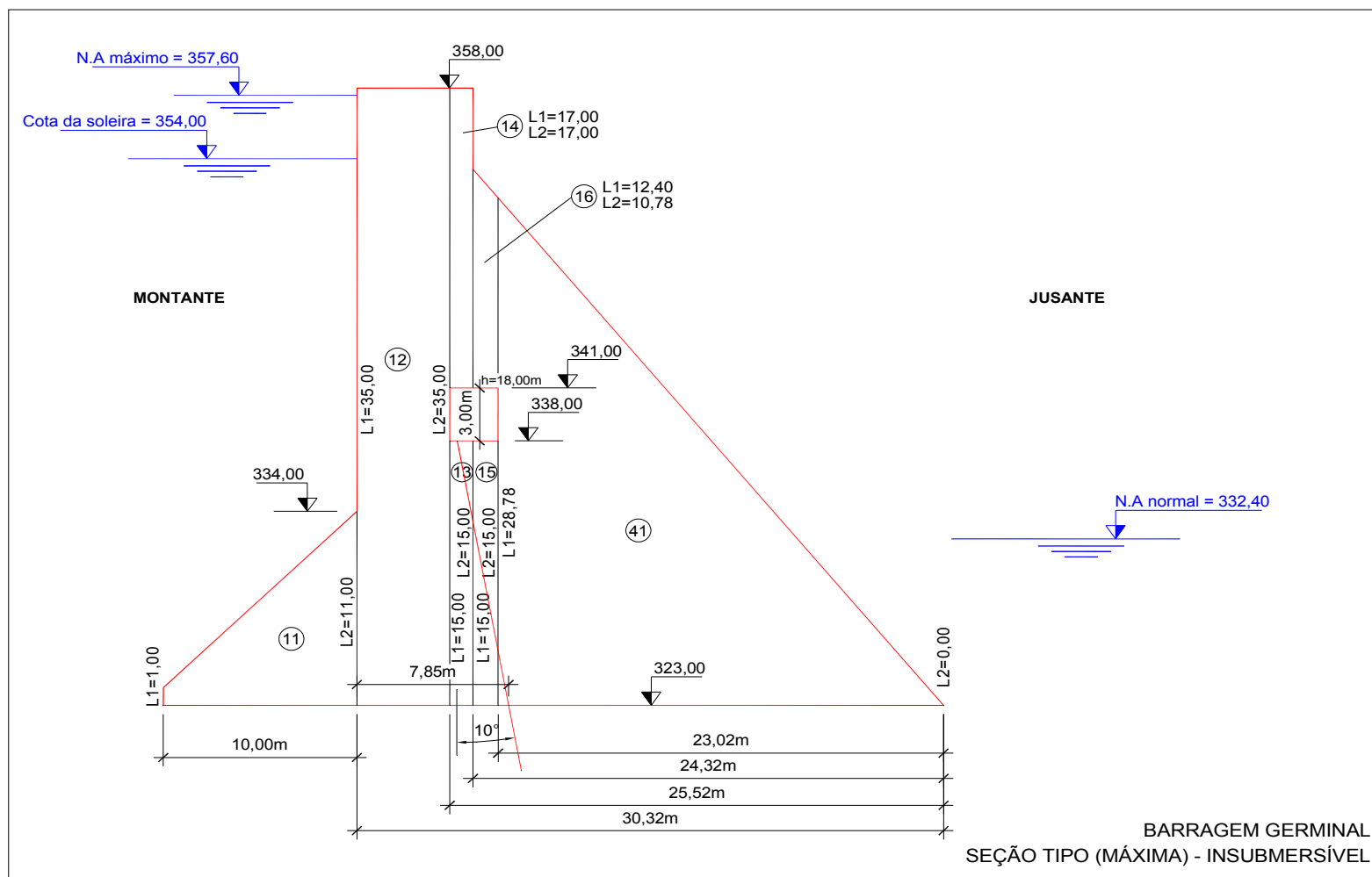
JM ENGENHEIROS CONSULTORES LTDA | CNPJ Nº. 07.321.709/0001-38

Correspondência: Av. Senador Virgílio Távora, 1701 | salas 504 a 508 | Aldeota | Fortaleza - CE | Cep: 60.170-251

Tel.: (85) 3244.3744 | Fax: (85) 3244.1066 | e-mail: jmconsultores@netbandalarga.com.br

Sede: Shopping Eusébio Center | Av. Eusébio de Queiroz, 101 | sala 216 | Parnamirim | Eusébio - CE

Escritório: Rondônia | Pará | Maranhão | Piauí | Ceará | Rio Grande do Norte | Paraíba | Pernambuco | Alagoas | Bahia | Minas Gerais


JM ENGENHEIROS CONSULTORES LTDA | CNPJ Nº. 07.321.709/0001-38

Correspondência: Av. Senador Virgílio Távora, 1701 | salas 504 a 508 | Aldeota | Fortaleza - CE | Cep: 60.170-251

 Tel.: (85) 3244.3744 | Fax: (85) 3244.1066 | e-mail: jmconsultores@netbandalarga.com.br

Sede: Shopping Eusébio Center | Av. Eusébio de Queiroz, 101 | sala 216 | Parnamirim | Eusébio - CE

Escritório: Rondônia | Pará | Maranhão | Piauí | Ceará | Rio Grande do Norte | Paraíba | Pernambuco | Alagoas | Bahia | Minas Gerais



FIGURA 15 - SEÇÃO TIPO (MÁXIMA) - INSUBMERSÍVE