



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Secretaria dos Recursos Hídricos

Frecheirinha



Contrato N° 03/SRH/CE/2017

Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará

Etapa A2 - Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem

Volume II - Anteprojeto da Barragem

Tomo 1B - Memória de Cálculo





**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria dos Recursos Hídricos

**SERVIÇOS DE CONSULTORIA PARA A ELABORAÇÃO
DOS ESTUDOS DE VIABILIDADE, ESTUDOS AMBIENTAIS
(EIA-RIMA), LEVANTAMENTO CADASTRAL, PLANO DE
REASSENTAMENTO E PROJETO EXECUTIVO DA
BARRAGEM FRECHEIRINHA NO MUNICÍPIO DE
FRECHEIRINHA, NO ESTADO DO CEARÁ.**

ETAPA A2 - ESTUDOS BÁSICOS E ANTEPROJETO DA BARRAGEM

VOLUME II - ANTEPROJETO DA BARRAGEM

TOMO 1B - MEMÓRIA DE CÁLCULO



APRESENTAÇÃO

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66



APRESENTAÇÃO

A empresa **TPF Engenharia Ltda.** e a **Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE)** celebraram o contrato nº 03/SRH 2017, que tem como objetivo a “Contratação de Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará, cujo objetivo principal é a criação de um reservatório no rio Caiçara com o intuito de promover o controle dos recursos hídricos da bacia do rio Coreaú, atendendo as demandas de água da região, proporcionando um aproveitamento racional da água acumulada tendo como finalidade principal o abastecimento humano e o dessedentação animal.

As fases para o desenvolvimento do projeto executivo da barragem Frecheirinha são as seguintes:

- **FASE A – ESTUDO DE VIABILIDADE**

- ETAPA A1 – Estudos de Alternativas de Localização da Barragem – Relatório de Identificação de Obra – RIO - e Viabilidade Ambiental (EVA)
 - ✓ Volume I – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA
 - Tomo 1 – Estudo de Alternativas de Localização da Barragem
 - Tomo 1A – Desenhos
 - Tomo 1B – Anexos
 - Tomo 2 – Estudos de Viabilidade Ambiental
- **ETAPA A2 - Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem**
 - ✓ Volume I – Estudos Básicos
 - Tomo 1 – Relatório Geral
 - Tomo 2 – Cartografia (Textos)



- Tomo 2A – Cartografia (Desenhos)
- Tomo 2B – Cartografia - Memória de Cálculo (Croquis e Fotos)
- Tomo 2C – Estudos Topográficos
- Tomo 3 – Hidrologia (Textos)
- Tomo 4 – Geologia e Geotecnia (Textos)
- Tomo 4 A – Geologia e Geotecnia (Anexos) - Partes I, II, III e IV
- ✓ **Volume II - Anteprojeto da Barragem**
 - Tomo 1 – Relatório de Concepção do Anteprojeto
 - Tomo 1A – Desenhos
 - ☑ **Tomo 1B - Memória de Cálculo**
 - ETAPA A3 – Relatório Final de Viabilidade Técnico, econômico e Financeiro - RFV
 - ✓ Volume I – Relatório Final de Viabilidade Técnico, Econômico e Financeiro da Barragem
- **FASE B – ESTUDOS AMBIENTAIS, LEVANTAMENTOS CADASTRAIS E PLANO DE REASSENTAMENTO**
 - ETAPA B1 – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA-RIMA)
 - ✓ Volume I – Relatório EIA/RIMA
 - Tomo 1 – Estudos dos Impactos Ambientais (EIA)
 - Tomo 2 – Relatório dos Impactos no Meio Ambiente
 - Tomo 3 – Relatório de Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica
 - ETAPA B2 – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento
 - ✓ Volume I – Levantamento Cadastral
 - Tomo 1 – Relatório Geral



- Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação
- Tomo 3 – Levantamento Topográfico
- ✓ Volume II – Relatório de Reassentamento
 - Tomo 1 – Diagnóstico
 - Tomo 2 – Detalhamento do Projeto de Reassentamento
 - Tomo 3 – Relatório Final de Reassentamento
- **FASE C - PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**
 - ETAPA C1 – Projeto Executivo da Barragem
 - ✓ Volume I – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem
 - ETAPA C2 – Instruir a elaboração do Certificado de Avaliação da sustentabilidade de Obra Hídrica – CERTOH
 - ✓ Volume I – Instruir a elaboração do Certificado de Avaliação da sustentabilidade de Obra Hídrica – CERTOH

O presente relatório, denominado **Tomo 1B - Memória de Cálculo do Volume II - Anteprojeto da Barragem**, é parte integrante da **Etapa A2 - Volume 1- Estudos Básicos** e diz respeito à **Barragem Frecheirinha**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no rio Caiçara, afluente do rio Coreau.

O presente documento aborda os seguintes capítulos:

- Introdução
- Localização e acesso
- Características Técnicas da Barragem Frecheirinha
- Descrição do Anteprojeto
- Memória de Cálculo
- Quantitativos do Projeto



ÍNDICE

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	2
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS.....	11
1 - INTRODUÇÃO	13
1.1 - OBJETIVOS DESTE RELATÓRIO.....	14
1.2 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS	14
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	16
3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	19
3.1 - FICHA TÉCNICA	20
3.2 - CURVA COTA X VOLUME DO BARRAGEM FRECHEIRINHA	23
4 - DESCRIÇÃO DO ANTEPROJETO	25
4.1 - CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ESCOLHA DO PROJETO	26
4.1.1 - ESCOLHA DO EIXO E ARRANJO GERAL DA OBRA.....	26
4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E DO VERTEDOIRO	28
4.1.3 - LOCAL DE BOTA-FORA	31
4.1.4 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	31
4.2 - SEÇÃO TIPO DO MACIÇO PRINCIPAL E DIQUES.....	31
4.3 - VERTEDOIRO.....	39
4.4 - TOMADA D'ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROMECAÑICOS.....	41
4.5 - TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO.....	42
4.6 - INTERFERÊNCIAS COM OBRAS EXISTENTES	42
4.7 - DESENHOS.....	42
5 - MEMÓRIA DE CÁLCULO	43
5.1 - CÁLCULO DA FOLGA.....	44
5.2 - CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO	46
5.3 - CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO.....	47
5.4 - ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES	48
5.5 - DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO DE MONTANTE (RIP-RAP E TRANSIÇÃO).....	49
5.6 - ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO PELA BARRAGEM E FUNDAÇÃO.....	52
5.6.1 - VAZÃO PELO MACIÇO	52
5.6.2 - VAZÃO PELA FUNDAÇÃO	55
5.6.3 - VAZÃO TOTAL PELO MACIÇO E PELA FUNDAÇÃO:	57

5.7 - DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL	58
5.8 - DIMENSIONAMENTO DO FILTRO HORIZONTAL	59
5.9 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA BARRAGEM DE TERRA	62
5.9.1 - MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO	64
5.9.2 - PROGRAMA SLOPE/W	64
5.9.3 - RESULTADOS OBTIDOS.....	65
5.10 - REDE DE FLUXO DA BARRAGEM	66
5.11 - COTA DO VOLUME MORTO	76
5.12 - TOMADA D'ÁGUA	76
5.12.1 - DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA	77
5.13 - DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO	82
5.13.1 - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DESCARGAS.....	82
5.13.2 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA NO CANAL DE APROXIMAÇÃO	83
5.13.3 - CHEIAS MILENAR E DECAMILENAR	84
5.13.4 - VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO (VA)/CARGA CINÉTICA (HA)	84
5.13.5 - PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE ENTRADA NOS ÁBACOS.....	86
5.13.6 - COORDENADAS DO PONTO C.....	88
5.13.7 - RAIOS DOS CÍRCULOS A MONTANTE DA CRISTA.....	88
5.13.8 - PONTO DE ORIGEM DA CURVA CIRCULAR – PONTO B	89
5.13.9 - DO CANAL DE APROXIMAÇÃO.....	90
5.13.10 - CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO CANAL RÁPIDO	91
5.13.11 - DA BACIA DE DISSIPAÇÃO.....	93
5.13.12 - VERIFICAÇÃO DA ALTURA DOS MUROS LATERAIS DA BACIA DE DISSIPAÇÃO E RÁPIDO	95
5.13.13 - DIMENSIONAMENTO DOS CHUMBADORES	96
6 - QUANTITATIVOS DO PROJETO	98
ANEXO: CURVA-CHAVE RIO CAIÇARA.....	101



LISTA DE FIGURAS

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DO ESTUDO.....	18
FIGURA 3.1 – GRÁFICO DA COTA X ÁREA X VOLUME DO AÇUDE FRECHEIRINHA	24
FIGURA 4.1 – LAYOUT DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	27
FIGURA 4.2 – ARRANJO GERAL DA BARRAGEM.....	27
FIGURA 4.3 – LOCAÇÃO DOS FUROS DAS SONDAgens.....	29
FIGURA 4.4 – SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM.....	32
FIGURA 4.5 – GRANULOMETRIA DA JAZIDA 10	33
FIGURA 4.6 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DO RIP-RAP E DA TRANSIÇÃO DE MONTANTE	35
FIGURA 4.7 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DA TRANSIÇÃO DE JUSANTE.....	36
FIGURA 4.8 – GRANULOMETRIA DA AREIA GROSSA, BRITA E ENROCAMENTO DO ROCK-FILL	38
FIGURA 4.9 – GRANULOMETRIA DO SOLO DA JAZIDA 10, AREIA GROSSA E BRITA	39
FIGURA 4.10 – VISTA SUPERIOR DO VERTEDOURO	40
FIGURA 4.11 – VISTA LATERAL DO PERFIL DO VERTEDOURO TIPO CREAGER	40
FIGURA 5.1 – PARÁBOLA DE KOZENY – SEÇÃO TRANSFORMADA	53
FIGURA 5.2 – ESQUEMA DE FLUXO PELA FUNDAÇÃO.....	56
FIGURA 5.3 – VALORES λ EM FUNÇÃO DE B / Z.....	57
FIGURA 5.4 – ESQUEMA DO FILTRO VERTICAL.....	58
FIGURA 5.5 – ESQUEMA DO FILTRO HORIZONTAL	59
FIGURA 5.6 – DETALHE DO DRENO HORIZONTAL TIPO SANDUÍCHE	61
FIGURA 5.7 – ESQUEMA HIDRÁULICO DA GALERIA	77
FIGURA 5.8 – GRÁFICO COTA X VAZÃO.....	81
FIGURA 5.9 – CÁLCULO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DO CREAGER (USBR)	82
FIGURA 5.10 – GRÁFICO COM COEFICIENTE DE DESCARGA (C_0) NO SISTEMA MÉTRICO	83
FIGURA 5.11 – PARÂMETRO GEOMÉTRICOS K E N DE CÁLCULO DO CREAGER	86
FIGURA 5.12 – PARÂMETRO GEOMÉTRICOS X_C , Y_C , R_1 E R_2 DE CÁLCULO DO CREAGER	87
FIGURA 5.13 – COORDENADAS DOS PONTOS DO PERFIL CREAGER	91
FIGURA 5.14 – PERFIL HIDRÁULICO DO CANAL DE DESCARGA PARA $Q= 987,39 \text{ M}^3/\text{S}$	93
FIGURA 5.15 – PARÂMETROS DE CÁLCULO DA BACIA DE DISSIPACÃO E RESSALTO HIDRÁULICOS.....	94
FIGURA 5.16 – RESULTADOS DOS CÁLCULO DA BACIA DE DISSIPACÃO E RESSALTO HIDRÁULICO.....	94
FIGURA 5.17 – ÁBACO PARA CÁLCULO DA BACIA DE DISSIPACÃO E RESSALTO HIDRÁULICO (USBR)	95



LISTA DE QUADROS

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66



LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1 - COTA X ÁREA X VOLUME	23
QUADRO 4.1 – GRANULOMETRIA DA JAZIDA 10	33
QUADRO 4.2 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DO RIP-RAP (ENROCAMENTO).....	34
QUADRO 4.3 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DA TRANSIÇÃO DE MONTANTE (BRITA) ...	34
QUADRO 4.4 – GRANULOMETRIA DO MATERIAL DA TRANSIÇÃO DE JUSANTE (BRITA)	35
QUADRO 4.5 – GRANULOMETRIA DA AREIA GROSSA	36
QUADRO 4.6 – GRANULOMETRIA DA BRITA DA TRANSIÇÃO DO ROCK-FILL	37
QUADRO 4.7 – GRANULOMETRIA DO ENROCAMENTO DO ROCK-FILL	37
QUADRO 5.1 – INCLINAÇÃO DOS TALUDES – BUREAU OF RECLAMATION	48
QUADRO 5.2 – INCLINAÇÃO DOS TALUDES - TERZAGHI	48
QUADRO 5.3 – INCLINAÇÃO DOS TALUDES – PAULO T. CRUZ.....	49
QUADRO 5.4 – PARÂMETROS GEOTÉCNICOS ADOTADOS	64
QUADRO 5.5 – FATORES DE SEGURANÇA DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE ESTÁTICA	65
QUADRO 5.6 – FATORES DE SEGURANÇA DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE SÍSMICA	66
QUADRO 5.7 – CURVA-CHAVE DA TOMADA D'ÁGUA	81
QUADRO 5.8 – CHEIAS MILENAR E DECAMILENAR	84
QUADRO 5.9 – PARÂMETRO DE CÁLCULO DO CREAGER	85
QUADRO 5.10 – COORDENADAS DA SOLEIRA DO VERTEDOIRO	90
QUADRO 5.11 – CÁLCULO DA CURVA DE REMANSO DO CANAL RÁPIDO	92



1 - INTRODUÇÃO

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66



1 - INTRODUÇÃO

1.1 - OBJETIVOS DESTE RELATÓRIO

Este relatório denominado **Tomo 1B - Memória de Cálculo do Volume II - Anteprojeto da Barragem** compõe um dos produtos da **Etapa A2 - Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem Frecheirinha**, a ser construída no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará, objeto do Contrato nº 03/SRH 2017, que tem como objetivo a “Contratação de Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha, no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará, firmado entre a SRH-Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a Empresa TPF Engenharia Ltda, como decorrência da citada empresa ter sido vencedora do processo licitatório previsto no Edital de Concorrência Pública Nº 20160001/SRH/CCC.

A finalidade dele é fazer a apresentação à SRH da Memória de Cálculo das estruturas componentes do Anteprojeto da Barragem Frecheirinha, baseados principalmente nos Estudo Hidrológicos, Estudos Geológicos e Geotécnicos realizados, a qual servirá de base para a Elaboração do Projeto Executivo.

1.2 - ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A bacia do rio Coreaú, situada na porção noroeste do estado do Ceará, com uma área total de 10.634 km², foi objeto de estudos para o aproveitamento de seus recursos hídricos, que tiveram início na década de 70. Naquela ocasião a bacia possuía apenas duas barragens de grande porte: Tucunduva (Ano 1919 - 40,2 hm³) e Várzea da Volta (Ano 1919 - 12,5 hm³).

No final da década de 80 foram construídos os açudes Martinópole (Ano 1984 - 23,2 hm³) e Diamante (Ano 1988 - 13,2 hm³), porém a bacia continuava com um grande vazio hídrico. Dentro deste cenário, o DNOCS contratou a empresa Sirac - Serviços Integrados de Assessoria e Consultoria Ltda para desenvolver o Estudo de Viabilidade do Vale do Coreaú, cujas conclusões reforçaram a necessidade de implantação de reservatórios na referida bacia. Nesse mesmo estudo, foi identificado



um boqueirão no rio Caiçara que se revelava adequado para a implantação de um barramento com potencial de acumular cerca de 100 hm³.

Em dezembro de 1988 a Sirac apresentou ao DNOCS a documentação técnica referente ao “Anteprojeto da Barragem Frecheirinha”, no rio Caiçara, com uma capacidade de 85 hm³ e uma vazão de regularização de 0,62 m³/s (90% de garantia) e 0,50 m³/s (95% de garantia), objetivando a irrigação e o abastecimento de água para as cidades circunvizinhas.

Atualmente a bacia apresenta um total de nove reservatórios gerenciados pela COGERH. Complementando os quatro reservatórios citados anteriormente, temos ainda as barragens Trapiá III (Ano 1961 – 5,5 hm³), Premuoca (Ano 1981 – 5,2 hm³), Angicos (Ano 1998 – 56,0 hm³), Gangorra (Ano 1999 – 62,5 hm³) e Itauna (Ano 2001 – 77,5 hm³).

O vale do rio Caiçara, dentro da bacia do rio Coreaú, tem esta denominação até a confluência com o rio Ubajara, a partir de onde passa a ser denominado de rio Coreaú. Nascendo na encosta da serra da Ibiapaba, no município de Ibiapina, atinge o litoral após percorrer 130 km desde sua nascente.

O anteprojeto da SIRAC serviu de subsídio aos estudos atuais pois foram realizados novos Estudos Básicos, novo Estudo de Alternativas e novo ANTEPROJETO e, a partir deste, é que será realizado o PROJETO EXECUTIVO.

O objetivo deste barramento, que era de aproveitar as águas oriundas da represa, em irrigação das manchas de solo existentes a jusante desta, hoje é de promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Coreaú, examinando detalhadamente o atendimento às demandas de águas das regiões de influência. Também tem como objetivo o aproveitamento racional da água acumulada neste reservatório com a finalidade de abastecimento humano e animal, lazer, piscicultura, e, como objetivo secundário, a irrigação.



2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66

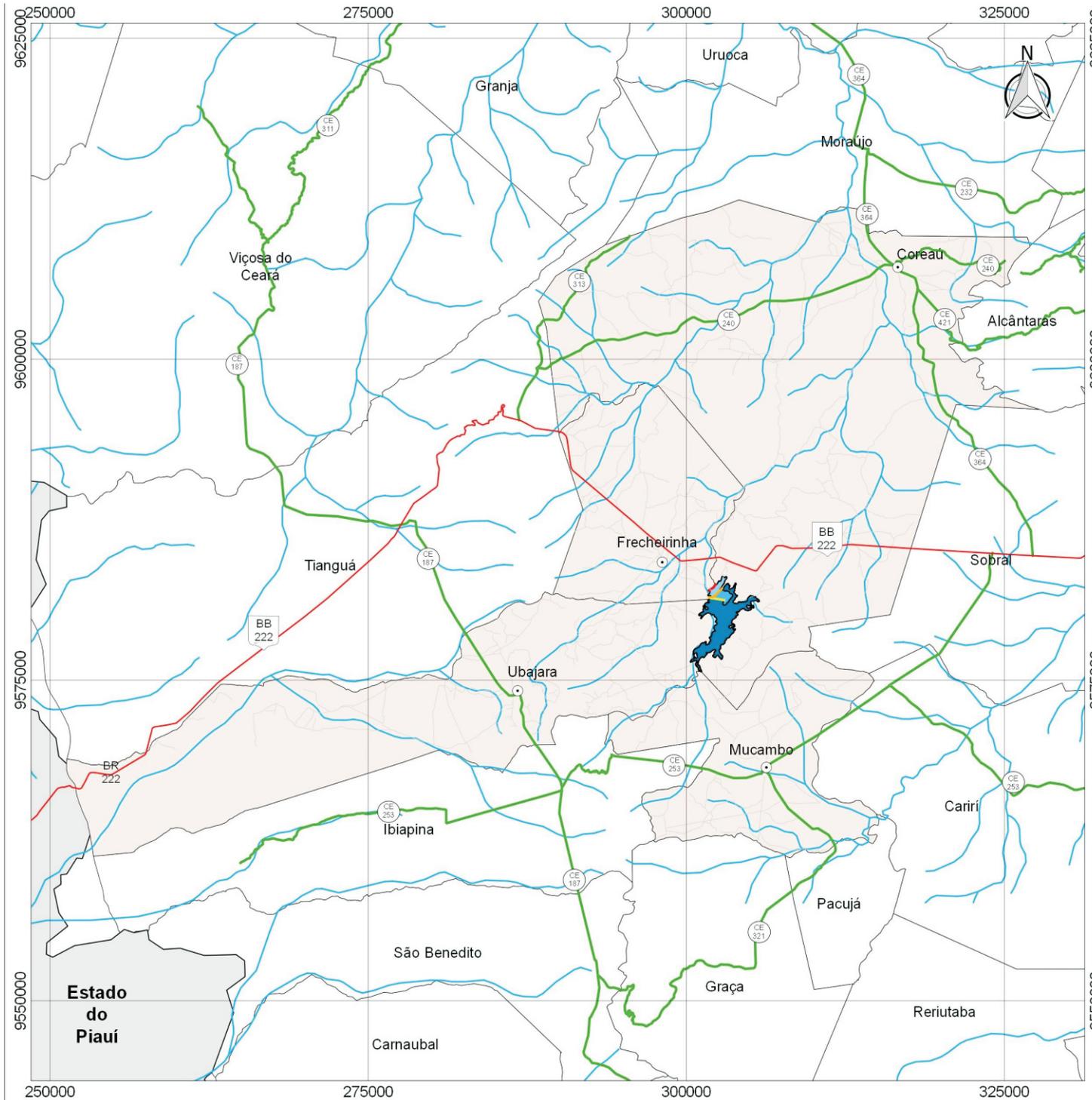


2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Frecheirinha será formada pelo barramento do riacho Caiçaras, afluente do rio Coreaú, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Frecheirinha, Coreaú, Ubajara e Mucambo. A barragem fechará o boqueirão existente nas imediações da localidade de Caiçara de Cima, no município de Frecheirinha, distando 4,2 km da sede deste município.

Desde Fortaleza o acesso a área do empreendimento pode ser feito através da BR-222, passando pelas cidades de Caucaia, Croatá, São Luís do Curu, Umirim, Itapajé, Irauçuba, Forquilha, Sobral até atingir a cidade de Frecheirinha, 1º acesso, percorrendo-se cerca de 290,0 km. A partir daí, por ruas revestidas por asfalto e pedras e depois por estrada de terra percorre-se 4,2 km até a localidade de Caiçara de Cima, local do eixo do barramento.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Coreaú, Sobral e São Benedito, a partir de onde têm-se que direcionar para a BR-222 até atingir a cidade de Frecheirinha. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado na **Figura 2.1**.



- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Convenções | Legenda |
| ○ Sede Municipal | □ Área de Influência Indireta |
| — Hidrografia | |
| — Rodovias Federais | |
| — Rodovias Estaduais | |
| — Rodovias Municipais | |
| □ Limites Municipais | |
| □ Estado do Piauí | |
| — Eixo 01 | |
| — Eixo 02 | |
| — Eixo 03 | |
| ■ Área Espelho d'Água (Eixo 01) | |
| ■ Área Espelho d'Água (Eixo 02) | |
| ■ Área Espelho d'Água (Eixo 03) | |



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha
Estudo de Viabilidade Ambiental

Figura 2.1: Mapa de localização e acesso da Área de abrangência do Estado

SISTEMA DE COORDENADAS: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S PROJEÇÃO: Transverse Mercator DATUM: SIRGAS 2000	ESCALA	1 : 300.000
	DATA	Junho/2017



3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66



3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA

3.1 - FICHA TÉCNICA

A seguir é mostrado a Ficha Técnica da Barragem Frecheirinha onde se discrimina os principais elementos técnicos.

FICHA TÉCNICA

Identificação

Denominação: Barragem Frecheirinha

Estado:..... Ceará

Município: Frecheirinha

Rio Barrado:..... Rio Caiçara

Proprietário: Governo do Estado de Ceará/SRH

Autor do Projeto: TPF Engenharia

Data do Projeto: Maio/2019

Bacia Hidrográfica

Área: 198,5 km²

Perímetro da bacia hidrográfica:..... 82,1 km

Comprimento do rio: 28,9 km

Cota do talvegue a montante:..... 900 m

Cota do talvegue a jusante: 120 m

Declividade média do rio:..... 26,99 m/km

Características do Reservatório

Área da bacia Hidráulica (cota 131,00m):..... 1101,546 ha

Volume acumulado – soleira (cota 131,00 m):..... 82,177 hm³

Volume morto do reservatório / mínimo operacional (cota 116,00m): 2,849 hm³

Volume útil p/ vazão sanitário (cota 112,00 a 116,00): 2,806 hm³



Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos): 912,21 m³/s
 Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos) 111,96 m³/s
 Vazão afluente max. de verificação (TR=10.000anos) 1.118,10 m³/s
 Vazão max. de verificação amortecida (TR=10.000anos) 147,42 m³/s
 Nível d'água max. maximorum (TR=1.000anos):..... 131,92 m
 Nível d'água max. maximorum (TR=10.000anos):..... 132,11 m

Barragem de Terra

Tipo:.....Homogênea de Terra
 Localização:..... estaca 1+7,50 a 31+0,50 m
 Altura máxima:.....27,00 m
 Largura do coroamento:.....7,00 m
 Extensão pelo coroamento:593,00 m
 Cota do coroamento: 134,00 m

Diques

Tipo:.....Homogênea de Terra
 Quantidade: 03 unidades
 Altura máxima (dique 01):.....4,00 m
 Extensão pelo coroamento (dique 01): 192,10 m
 Altura máxima (dique 02):.....3,30 m
 Extensão pelo coroamento (dique 02): 50,38 m
 Altura máxima (dique 03):.....3,10 m
 Extensão pelo coroamento (dique 03): 54,80 m
 Largura do coroamento:.....4,00 m
 Cota do coroamento: 134,00 m



Vertedouro

Tipo: creager, com canal de restituição revestido, muros e bacia de dissipação

Localização (eixo da barragem):..... Estaca 54+7,28 m

Comprimento total: 489,50 m

Cota do canal de aproximação (escavado em rocha): 129,00 m

Cota da soleira:..... 131,00 m

Cota do canal de restituição (muros laterais e fundo revestido:variável

Material:creager: concreto massa / canal de restituição e muros: concreto armado

Largura do creager: 60,00 m

Altura do total do creager:..... 6,00 m

Altura do paramento de montante (útil):.....2,00 m

Tomada de água

Tipo: tubo de aço carbono ASTM A-36

Localização (eixo da barragem):..... Estaca 29+10,00 m

Revestimento:..... envelopado em concreto e junta fungebond

Diâmetro: 500 mm

Comprimento da galeria:..... 115,00 m

Cota do eixo da tubulação: 114,00 m

Controle de montante: Comporta Stop-Log com Acionamento Manual

Controle de jusante

Registro de gaveta flageado com volante (FoFo): 500 mm

Válvula borboleta flangeada (FoFo):..... 500 mm

3.2 - CURVA COTA X VOLUME DO BARRAGEM FRECHEIRINHA

Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no **Quadro 3.1** e as curvas são mostradas na **Figura 3.1**.

Quadro 3.1 - Cota x Área x Volume

cota (m)	Área (ha)	Volume Acumulado (hm ³)
107,000	0,000	0,000
108,000	0,536	0,003
109,000	1,155	0,011
110,000	5,194	0,043
111,000	8,424	0,111
112,000	18,618	0,246
113,000	37,608	0,527
114,000	63,891	1,035
115,000	89,253	1,801
116,000	120,473	2,849
117,000	156,016	4,232
118,000	194,933	5,986
119,000	234,302	8,133
120,000	309,193	10,850
121,000	355,168	14,172
122,000	394,369	17,919
123,000	448,692	22,135
124,000	516,515	26,961
125,000	580,425	32,446
126,000	660,436	38,650
127,000	725,851	45,581
128,000	823,881	53,330
129,000	903,362	61,966
130,000	1018,610	71,576
131,000	1101,546	82,177
132,000	1248,117	93,925
133,000	1361,456	106,973
134,000	1498,665	121,274
135,000	1631,253	136,923
136,000	1766,142	153,910

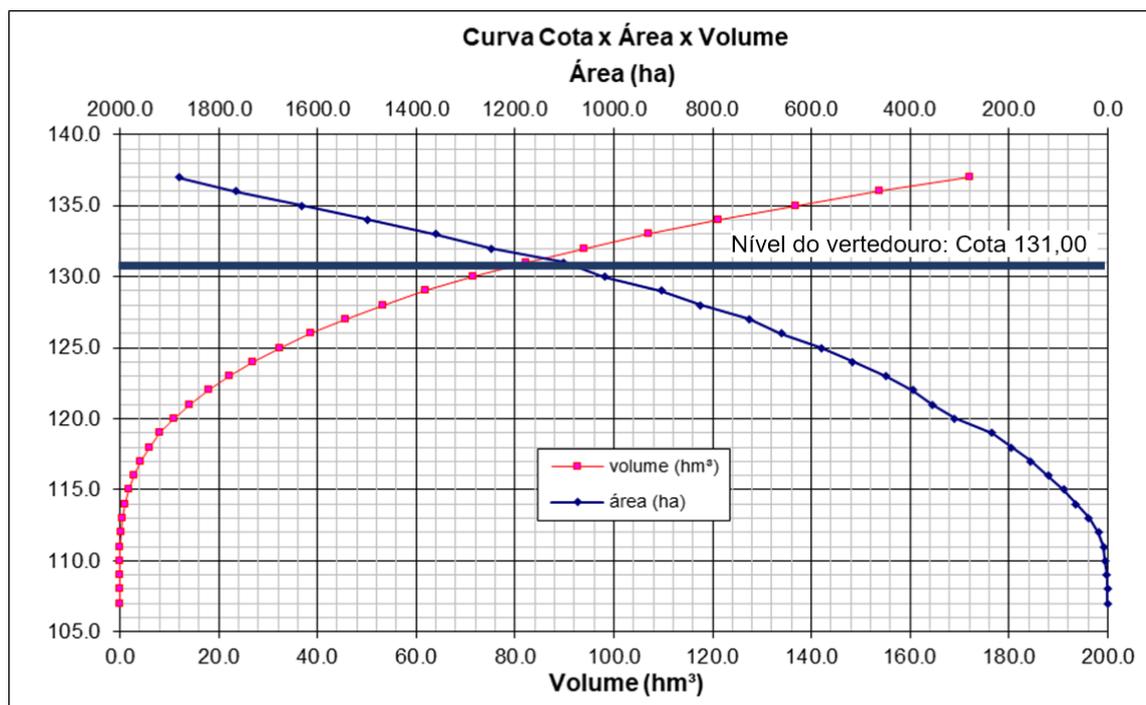


Figura 3.1 – Gráfico da Cota x Área x Volume do Açude Frecheirinha



4 - DESCRIÇÃO DO ANTEPROJETO



4 - DESCRIÇÃO DO ANTEPROJETO

A escolha da Alternativa 01 do eixo da Barragem Frecheirinha, conforme detalhado no estudo de alternativas, foi realizada com base nos dados dos estudos e das investigações de campo realizadas e seu arranjo final ficou composto por uma barragem de terra homogênea (principal), três pequenos diques de terra de fechamento, um vertedouro escavado na ombreira direita, com soleira tipo creager e canal de restituição revestido de concreto e uma tomada de água com galeria envelopada na ombreira direita (estaca 29+10,00), conforme mostram os desenhos do Tomo 1A do Volume II - Anteprojeto da Barragem.

As principais características das obras e das estruturas que compõem este Anteprojeto da Barragem Frecheirinha são apresentadas a seguir:

4.1 - CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ESCOLHA DO PROJETO

Os principais critérios técnicos e as conceituações, que foram usadas no desenvolvimento do Anteprojeto da Barragem Frecheirinha, são apresentados a seguir com objetivo de um perfeito entendimento de sua evolução, bem como de todos os procedimentos e metodologias aqui empregadas.

4.1.1 - ESCOLHA DO EIXO E ARRANJO GERAL DA OBRA

A escolha do local do barramento do Barragem Frecheirinha (Alternativa 01) e do local para a formação de seu lago, propriamente dito, teve como condicionantes o relevo da região, as condições geomorfológicas, geológicas e geotécnicas, as informações emanadas dos estudos hidrológicos e a existência de obras e edificações ao longo do vale, além de garantir o máximo volume acumulável sem causar minimamente interferência com as torres da CHESF existentes as margens da bacia hidráulica que se formará.

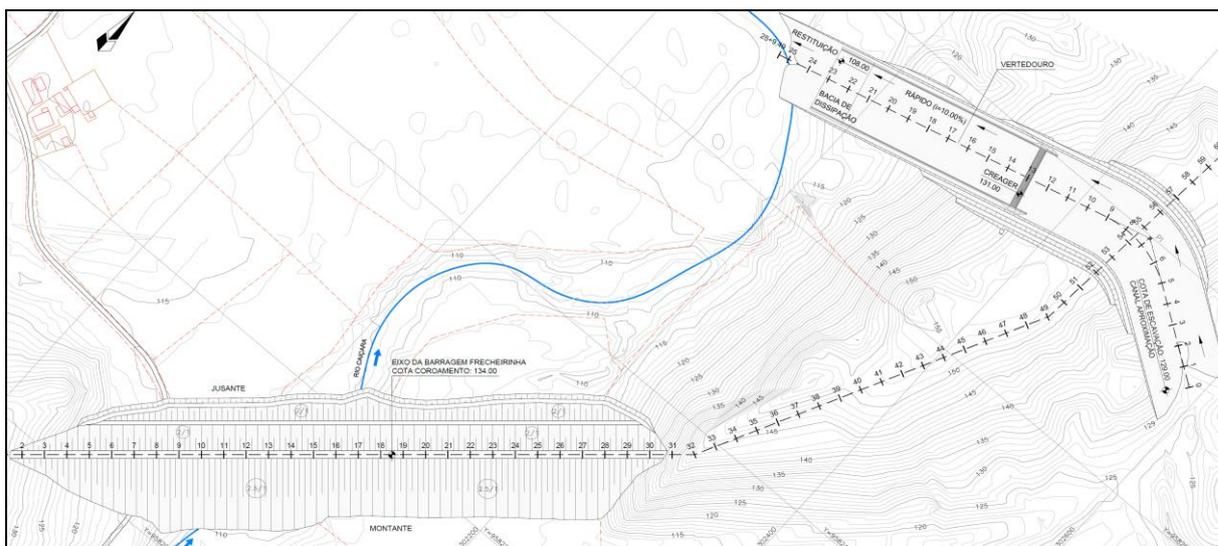


Figura 4.1 – Layout da Barragem Frecheirinha

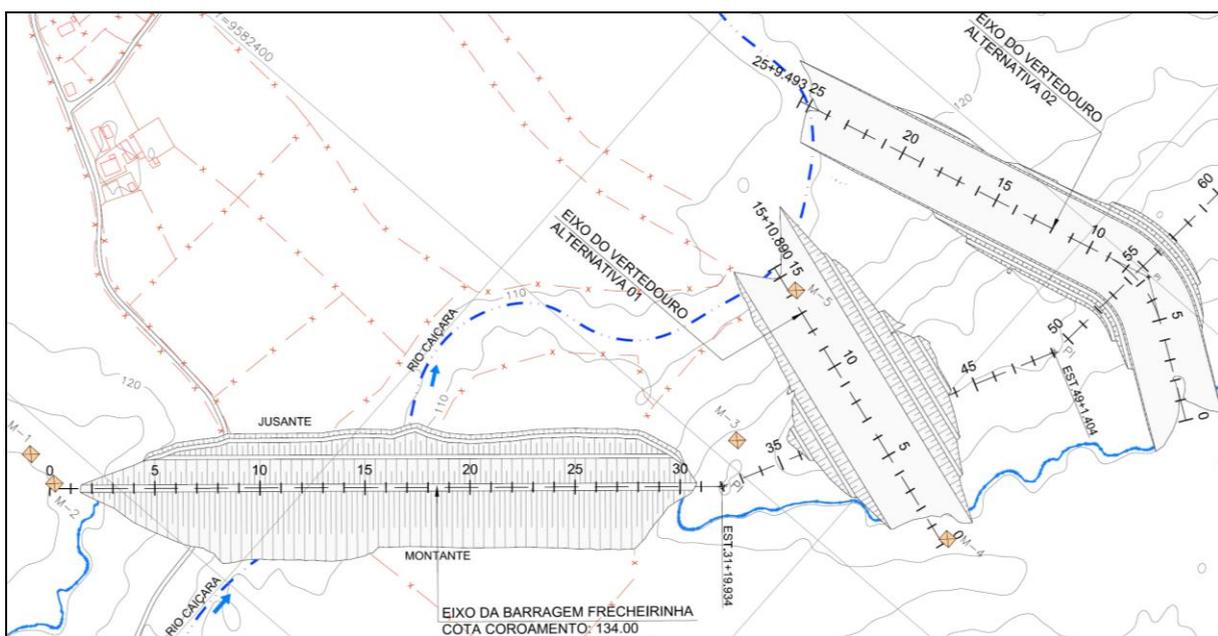


Figura 4.2 – Arranjo Geral da Barragem com as Alternativas Estudadas do Vertedouro

As características básicas das fundações, em seus aspectos geológicos e geotécnicos, balizaram o tipo de barragem escolhida e a sua fundação, tendo sido definida a implantação de uma barragem de terra homogênea com sistemas de drenos vertical e horizontal.



Além da barragem principal, foram previstos três pequenos diques de fechamento com seção composta de terra homogênea.

A região onde ficou localizada a bacia hidráulica apresenta uma topografia pouco suavizada com solos rasos nas encostas e uma calha do rio encaixada e profunda.

Os **desenhos 02 e 11 do Tomo 1A, Volume II**, mostram, respectivamente, a planta da bacia hidrográfica e a seção tipo da barragem.

Os **desenhos 06 a 08 do Tomo 1A, Volume II**, mostram os perfis geológico e geotécnico do eixo do barramento e dos vertedouros estudados.

4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E DO VERTEDOIRO

Visando fazer a análise da formação geológica das camadas onde serão assentes o maciço da barragem e o Vertedouro, foi elaborada uma campanha de sondagens geotécnicas a percussão e mista, de forma que o exame desses perfis individuais associadas a uma seção geotécnica do subsolo permitiu fazer um entendimento do subsolo local.

Para caracterização da fundação do eixo do barramento (alternativa 01 do relatório dos estudos de alternativas) foram realizadas 15 sondagens, sendo 6 sondagens à percussão, 7 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa) e 2 sondagens mistas inclinadas (com inclinação de 45°), conforme mostra os **desenhos 06 a 08 do Tomo 1A, Volume II** e a Figura 4.3 a seguir.

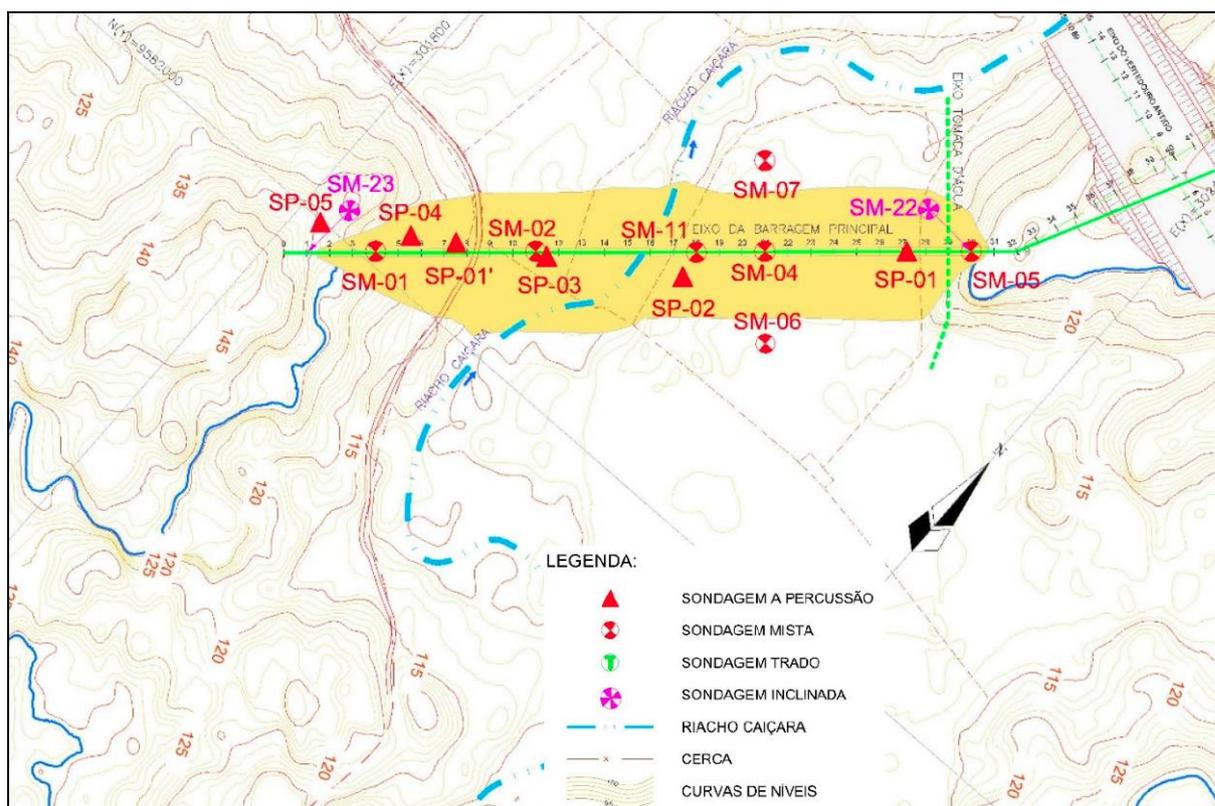


Figura 4.3 – Localização dos Furos das Sondagens no Eixo da Barragem

Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em furos de sondagens no eixo da barragem. No trecho onde foram realizadas perfurações com sonda rotativa, estes testes consistiram de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon).

A partir dessas sondagens foi preparado o perfil geotécnico do subsolo do eixo barrável. Desta forma, foi definido uma linha de escavação obrigatória e uma linha de aprofundamento do cut-off que podem ser vistas nos **desenhos 09 a 21 do Tomo 1A, Volume II**.

Tomou-se o cuidado de garantir que a base do cut-off penetre pelo menos 50cm dentro do solo residual ou da rocha decomposta.

A trincheira de vedação (cut-off) será executada abaixo da linha das escavações obrigatórias, nos locais e nas profundidades mostradas nas seções



transversais da barragem e no perfil geológico do eixo barrável. A largura do cut-off foi definida baseado nos estudos desenvolvidos pelo U.S. Bureau of Reclamation.

A escavação obrigatória tem a finalidade de garantir que os espaldares fiquem assentes em solo com SPT>10 golpes/30cm para a zona com altura superior a 20,00m e SPT>7 golpes/30cm para as demais zonas da barragem.

No eixo do vertedouro (alternativa 01) foram realizadas 3 sondagens mistas e no eixo do vertedouro (alternativa 02) também foram realizadas 3 sondagens mistas, conforme mostra os **desenhos 06 a 08 do Tomo 1A, Volume II**.

Apesar das sondagens no eixo do vertedouro (alternativa 01) não terem mostrado a existência de afloramento de quartizito e apresentarem um perfil composto predominantemente por ardósia, um mapeamento superficial mostra a sua existência. Foi estudado um segundo local para o posicionamento (alternativa 02), o qual têm as mesmas características geológicas da alternativa original, ou seja, uma predominância de ardósia desde a superfície do terreno natural, mas este além de situar-se mais afastado do eixo do barramento e possibilitar com isso um menor risco a segurança, também possui um canal de restituição que é menos inclinado (cerca de 10% de declividade) e sua saída na bacia de dissipação está na direção favorável do rio, minimizando os efeitos de retorno das vazões efluentes em direção ao talude de jusante da barragem (ver **desenhos 05 a 08 do Tomo 1A, Volume II**). Diante destes aspectos foi a escolhida e detalhada a alternativa 2 do vertedouro neste Anteprojeto.

Na fase de detalhamento do projeto executivo devem ser realizadas novas sondagens mistas de modo a serem confirmadas as cotas finais de escavação comum e em 3ª categoria, bem como dirimir quaisquer dúvidas quanto ao posicionamento das estruturas de controle e bacia de dissipação e da necessidade de ancoragem das lajes estruturais em concreto.

Caso seja determinada a realização de sondagens no início da construção, deverão ser quantificadas e orçadas na planilha da obra.



Os resultados destas sondagens realizadas e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Tomo 4A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

4.1.3 - LOCAL DE BOTA-FORA

Todos os materiais das escavações da obra e que não tiverem destino na construção da barragem, tornar-se-ão resíduos e, portanto, devem receber um destino. Os organismos que tratam da preservação do meio ambiente têm recomendado que este material ocupe uma parte da bacia hidráulica.

4.1.4 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Para a definição das Seção Tipo dos barramentos foram estudadas 10 áreas de empréstimos (jazidas) denominadas de J-01, J-02, J-03, J-04, J-05, J-06, J-07, J-08, J-09 e J-10, que apresentam um potencial de exploração de 1.240.000 m³. Estas jazidas de solos são compostas, em geral, de materiais SC (areia argilosa).

Para fonte de material pétreo destinado aos espaldares de enrocamentos e concretos, foi identificado um afloramento de rocha granítica sã, de coloração acinzentada, na localidade de Roça do Mato, próxima a Serra do Carmutim, com distância média de transporte de 7,37 Km à montante do eixo da barragem.

Nos estudos geotécnicos foram identificados 04 areais a montante e jusante do eixo da barragem, os quais são necessários para suprir os volumes para construção dos filtros de drenagem interna e confecção dos concretos das estruturas.

Quando do início das escavações obrigatórias do vertedouro, deverá ser caracterizado os materiais a serem removidos, de forma a verificar a possibilidade de aplicação destes no maciço da barragem.

O **desenho 23 do Tomo 1A, Volume II**, mostra a localização das áreas de empréstimos, dos 04 areais identificados e da pedreira 01.

4.2 - SEÇÃO TIPO DO MACIÇO PRINCIPAL E DIQUES

Com base nas condições locais da geotecnia, da geometria do boqueirão e da disponibilidade dos materiais de construção, foi projetado um maciço de terra

homogêneo com a aplicação de material de jazida na zona de montante da seção e a possibilidade de uso de material proveniente das escavação do vertedouro, no caso um material do tipo ardósia, após realização de ensaios de caracterização para atestar sua aplicação no corpo da barragem na seção de jusante após o filtro vertical, conforme o **desenho 11 do Tomo 1A, Volume II** e a Figura 4.4 abaixo.

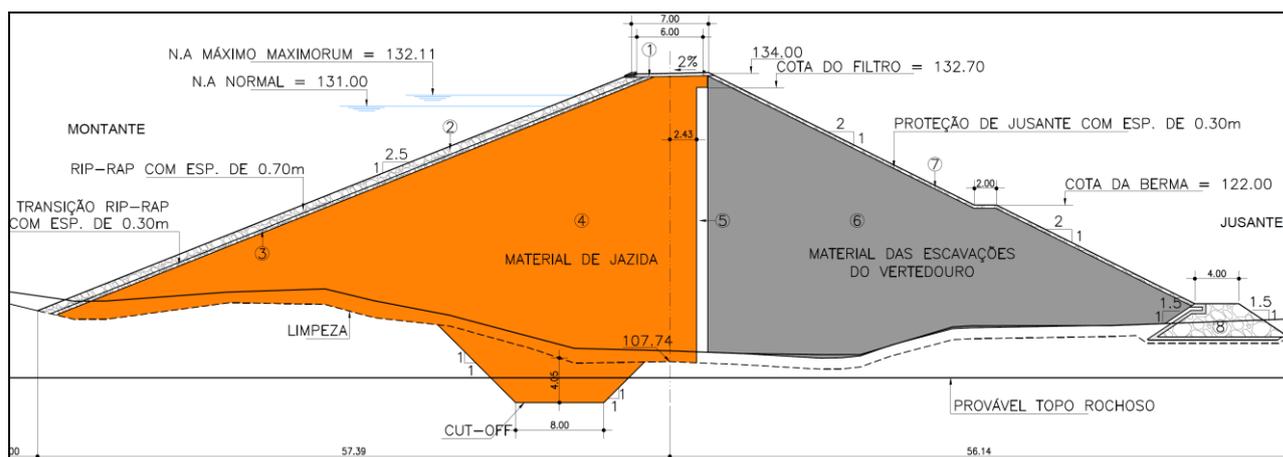


Figura 4.4 – Seção Tipo da Barragem

A barragem de terra se desenvolve entre as estacas 1+7,50 a 31+0,50, com a crista do coroamento na cota 134,00 m, largura do coroamento igual a 7,00 m e altura máxima de 27,00 m. O maciço da barragem de terra homogênea será executado com solos das jazidas J-08, J-09, J-10 (maior volume disponível, conforme mostra o relatório do Tomo 4A), J-03, J-02 e J-04, nessa sequência hierárquica de utilização de material devido a sua distância média ao eixo da barragem, na parte da seção a montante do filtro vertical, inclusive cut-off, já a parte da seção a jusante do filtro vertical será executada prioritariamente com material oriundo das escavações obrigatórias do vertedouro, como dito acima.

Os três diques de terra serão executados prioritariamente com solos de uma ou mais das jazidas J-08, J-09, J-10, J-03, J-02 e J-04, com coroamento na cota 134,00 m, largura do coroamento igual a 4,00 m e altura máxima de 4,00 m.

Os materiais a serem empregados na construção do maciço e suas características granulométricas são apresentados a seguir:

O solo compactado do maciço apresenta a seguinte granulometria dos materiais da Jazida 10, mostrado no **Quadro 4.1** e na **Figura 4.5** a seguir:

Quadro 4.1 – Granulometria da Jazida 10

Peneira		Faixa Granulométrica (% passando)
#	mm	
2"	50,8	100
1"	25,4	93 - 100
3/8"	9,5	77 - 92
Nº 4	4,76	63 - 85
Nº 10	2,00	50 - 80
Nº 40	0,42	33 - 67
Nº 200	0,075	26 - 43

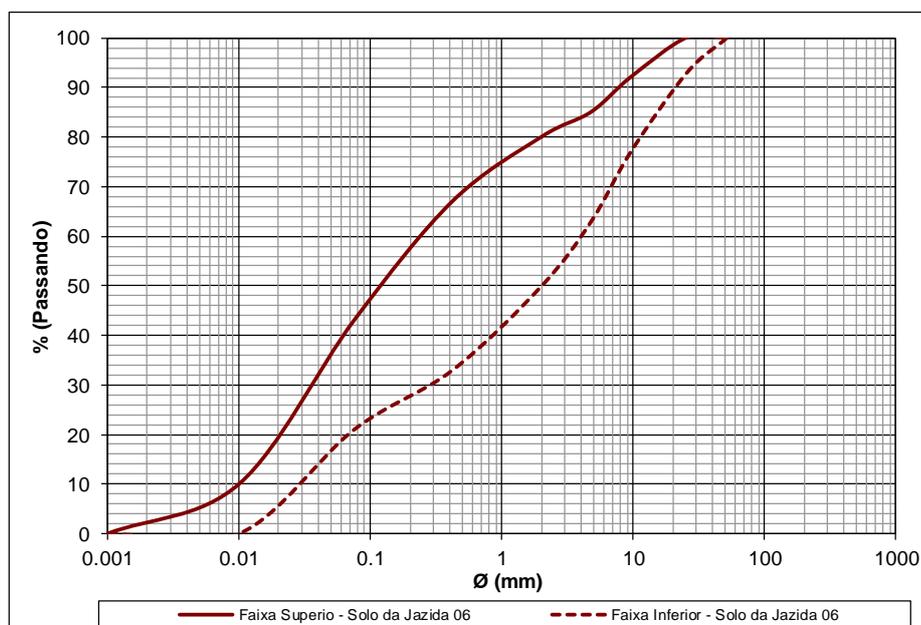


Figura 4.5 – Granulometria da Jazida 10

Na camada final da crista, com 0,20 m de espessura, será utilizado com cascalho natural argiloso ou produto de britagem, com caimento de 2% para montante e nos limites dos bordos colocados meios-fios com abertura para montante.

Para a seção da barragem o talude de montante terá inclinação de 1,0 (V): 2,5 (H) e o talude de jusante 1,0 (V): 2,0 (H), já para os diques os taludes de montante e jusante são iguais a 1,0 (V): 2,0 (H). O talude de montante será

protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um Rip-Rap formado por uma camada de 0,70 m de espessura, de blocos de rocha sã da pedreira P-01, assentes sobre uma camada de transição com 0,30 m de espessura, formada por produtos de britagem.

O Rip-Rap a ser usado no talude de montante apresenta a granulometria, mostrada no **Quadro 4.2** e na **Figura 4.6**.

Quadro 4.2 – Granulometria do Material do Rip-Rap (Enrocamento)

Peneira (mm)	Faixa Granulométrica (% passando)
700mm	100
500mm	74-98
300mm	20-58
100mm	-

A camada de transição, entre o Rip-Rap e o maciço, tem a granulometria mostrada no **Quadro 4.3** e na **Figura 4.6**.

Quadro 4.3 – Granulometria do Material da Transição de Montante (Brita)

Peneira		Faixa Granulométrica (% passando)
#	mm	
-	200	100
-	100	100
2"	50,8	90-100
1"	25,4	70-82
3/8"	9,5	42-54
Nº 4	4,76	14-42
Nº 10	2,00	0-18
Nº 40	0,42	-

Na **Figura 4.6** a seguir são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do Rip-Rap e Transição do talude de montante.

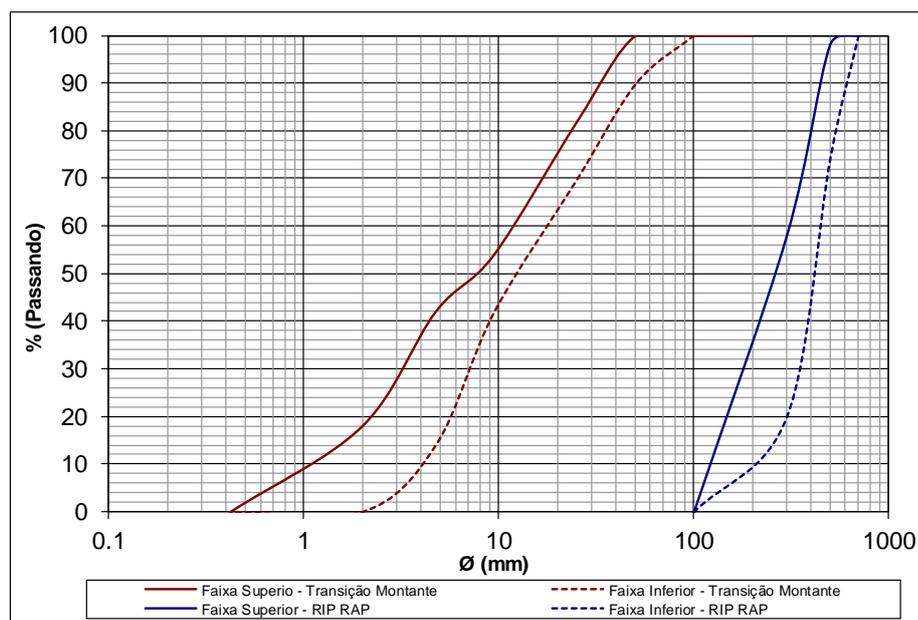


Figura 4.6 – Granulometria do Material do Rip-Rap e da Transição de Montante

O talude de jusante será protegido por uma camada de 0,30 m de espessura de material britado (bica corrida), em toda sua extensão, conforme a granulometria mostrada no quadro abaixo.

Quadro 4.4 – Granulometria do Material da Transição de Jusante (Brita)

Peneira (mm)	Faixa Granulométrica (% passando)
300	100
1" (25,4)	48 – 100
3/8" (9,5)	28 – 74
Nº 4 (4,8)	12 – 50
Nº 10 (2,0)	-

Na **Figura 4.7** a seguir é mostrada a faixa granulométrica do material constituinte da proteção do talude de jusante.

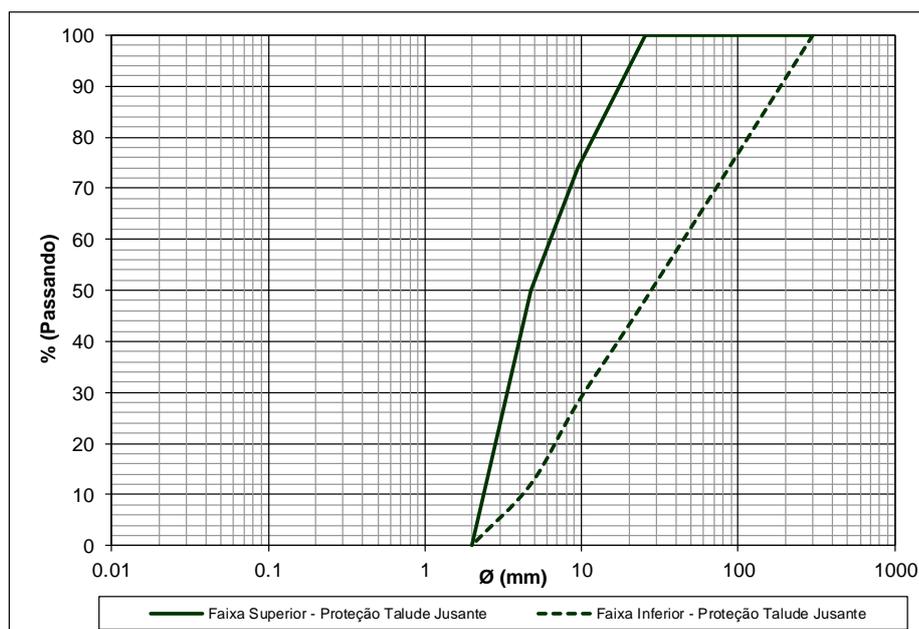


Figura 4.7 – Granulometria do Material da Transição de Jusante

Para o sistema de drenagem interna do maciço da barragem foi previsto um filtro vertical e um tapete drenante, complementado por uma trincheira drenante. O filtro vertical tipo chaminé terá 1,00 m de espessura e será executado com areia do areal A-01 e ficará com o topo na cota 132,70 m, 1,70 m acima da cota da soleira.

O filtro horizontal (dreno tipo sanduíche) possui espessura total de 1,00 m e consiste na superposição de três camadas drenantes composta por duas camadas inferior e superior de areia grossa, extraída do areal A-01, com espessura de 0,30m cada, e por uma camada intermediária de brita na espessura de 0,40m tendo as mesmas características granulométricas da brita da transição do enrocamento de pé.

No **Quadro 4.5** a seguir é mostrada a faixa granulométrica da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da Barragem.

Quadro 4.5 – Granulometria da Areia Grossa

Peneira		Faixa Granulométrica (% passando)
#	mm	
1/2 pol	12.5	100
3,8 pol	9.5	98 - 99
Nº 04	4.8	94 - 98
Nº 10	2	65 - 93
Nº 16	1.2	40 - 82
Nº 30	0.6	15 - 57

Peneira		Faixa Granulométrica (% passando)
#	mm	
Nº 40	0.42	4 - 28
Nº 80	0.18	0 - 8
Nº 100	0.15	-

A proteção no pé no talude de jusante será formada por uma camada de enrocamento (Rock-Fill) no leito do rio, com seção trapezoidal de 4,0 m de largura, taludes de 1:1,5 (V:H) e topo fixado na cota 113,00 m, a partir daí em direção às ombreiras está previsto a execução de filtro de pé.

Para a transição, entre o dreno de areia e esta proteção de enrocamento, está prevista a colocação de uma camada de transição composta de uma brita e uma camada de bica corrida, semelhante ao material usado na proteção do talude de jusante, com espessura de 0,50 m.

As granulometrias da brita e do material do enrocamento do Rock-Fill são mostradas a seguir nos **Quadros 4.6 e 4.7**.

Quadro 4.6 – Granulometria da Brita da Transição do Rock-Fill

PENEIRA (mm)	FAIXA GRANULOMÉTRICA (% passando)
2" (50,8)	100
1" (25,4)	40 – 90
¾" (19,0)	30 – 72
½" (12,7)	18 – 50
3/8" (9,2)	12 – 34
Nº 4	0 – 15
Nº 10	-

Quadro 4.7 – Granulometria do Enrocamento do Rock-Fill

PENEIRA (mm)	FAIXA GRANULOMÉTRICA (% passando)
1000	100
700	80 – 98
500	46 – 98
300	31 – 93
200	22 – 88
100	10 – 64
2" (50,8)	0 – 26
1" (25,4)	0 – 10
¾" (19,0)	0 – 6

PENEIRA (mm)	FAIXA GRANULOMÉTRICA (% passando)
1/2" (12,7)	-
3/8" (9,5)	-

Na **Figura 4.8** são apresentadas as granulometrias da areia grossa, brita e do material do enrocamento do Rock-Fill.

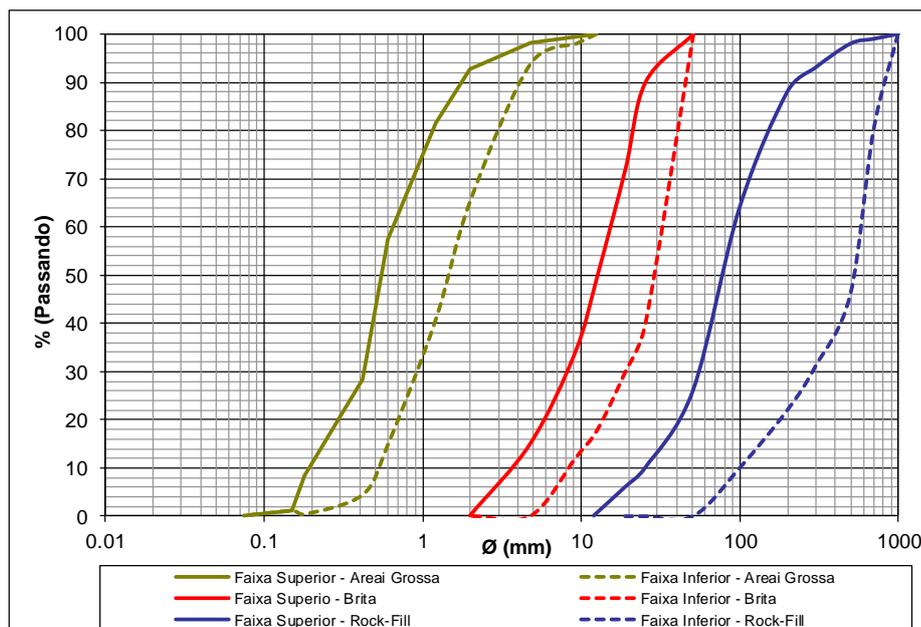


Figura 4.8 – Granulometria da Areia Grossa, Brita e Enrocamento do Rock-Fill

Na figura acima são apresentadas as faixas granulométricas dos materiais que formam o sistema de drenagem interna.

A granulometria dos materiais foi definida com base nos critérios de Terzaghi, por forma a constituírem uma defesa contra a erosão interna do maciço da barragem e da fundação e, em simultâneo, funcionarem como dreno, conforme a **Figura 4.9** a seguir e os cálculos dos critérios de Terzaghi.

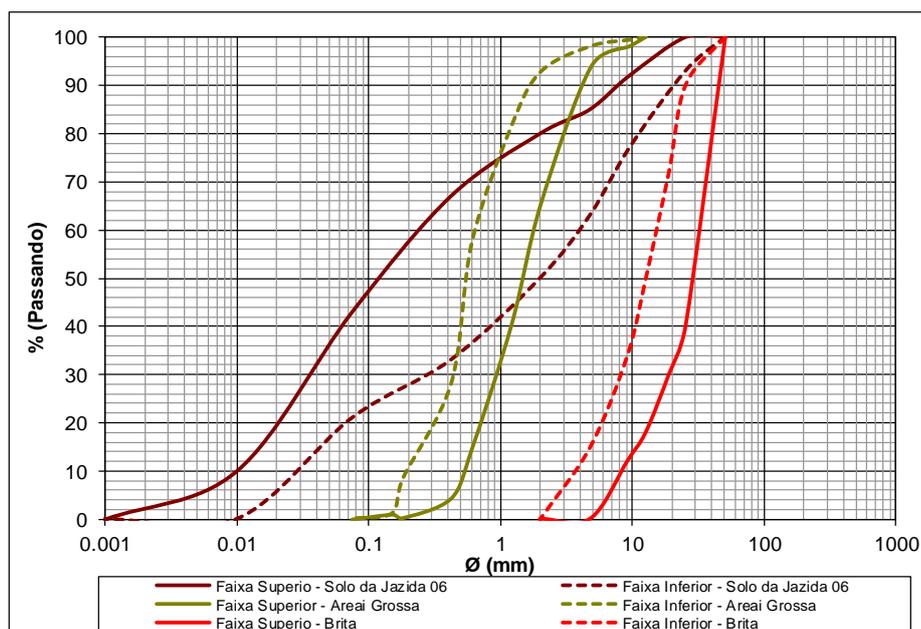


Figura 4.9 – Granulometria do Solo da Jazida 10, Areia Grossa e Brita

Os materiais solo/areia atendem aos seguintes critérios:

$$\frac{D_{15(\text{areia})}}{D_{85(\text{solo})}} < 4 \therefore \frac{0,40\text{mm}}{9,20\text{mm}} = 0,04 < 4 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$\frac{D_{15(\text{areia})}}{D_{15(\text{solo})}} > 5 \therefore \frac{0,40\text{mm}}{0,03\text{mm}} = 13,33 > 5 \Rightarrow \text{OK!}$$

Os materiais areia/brita atendem aos seguintes critérios:

$$\frac{D_{15(\text{brita})}}{D_{85(\text{areia})}} < 4 \therefore \frac{7,00\text{mm}}{2,30\text{mm}} = 3,04 < 4 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$\frac{D_{15(\text{brita})}}{D_{15(\text{areia})}} > 5 \therefore \frac{7,00\text{mm}}{0,40\text{mm}} = 17,5 > 5 \Rightarrow \text{OK!}$$

4.3 - VERTEDOURO

O vertedouro da Barragem Frecheirinha (alternativa 2 escolhida e detalhada, como foi dito no item 4.1.2 deste relatório) foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo

do local, o qual estará localizado na ombreira direita, afastado cerca de 470m do maciço da barragem.

O eixo longitudinal do canal vertedouro possui uma extensão de 509,49 m, estando estaqueado de 20 em 20 metros. As estacas estão nomeadas em metros.

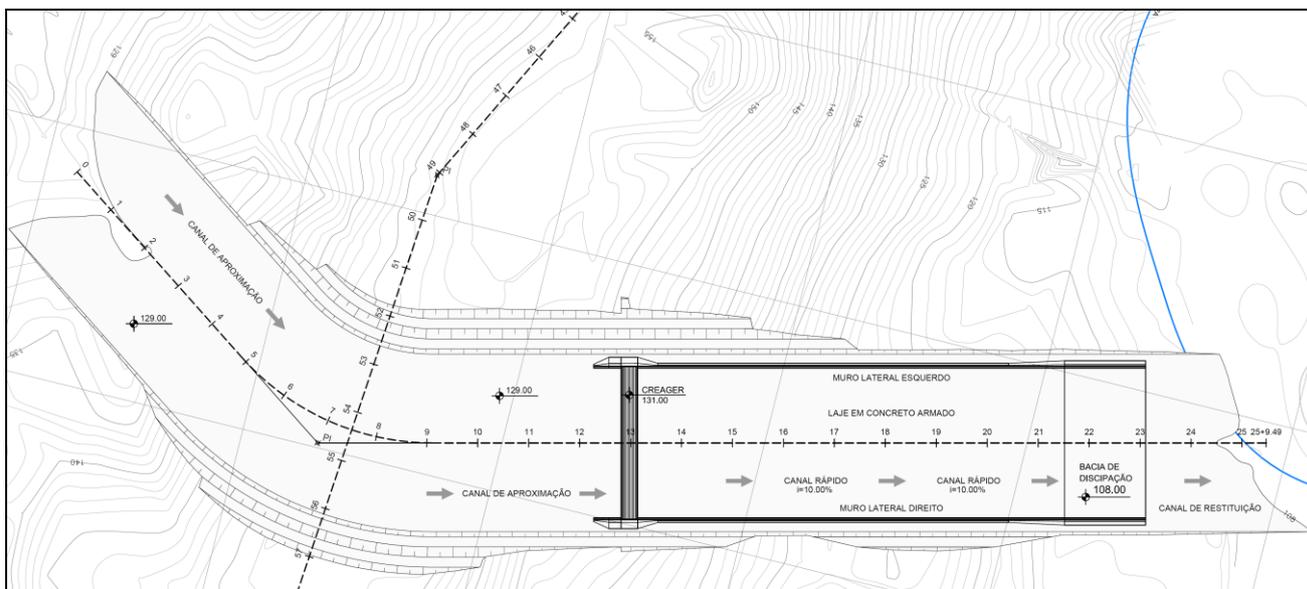


Figura 4.10 – Vista Superior do Vertedouro

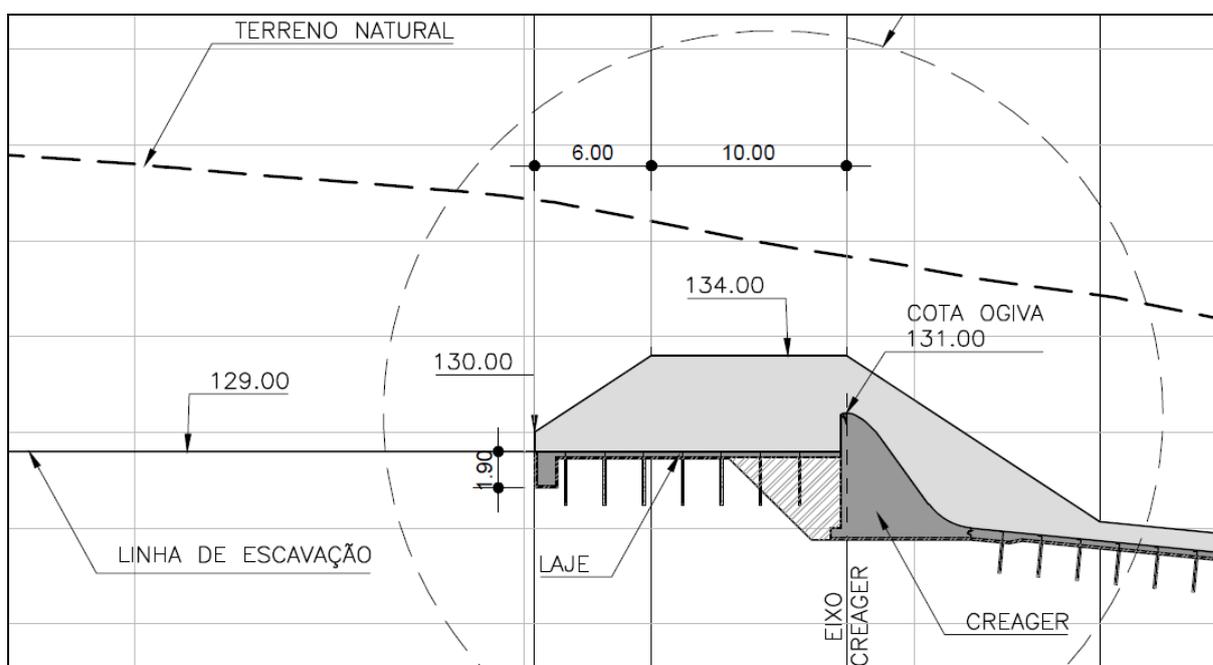


Figura 4.11 – Vista Lateral do Perfil do Vertedouro Tipo Creager



O canal de aproximação do vertedouro será escavado na cota 129,00 m, com largura de base de 60,00 m, com muro vertical na cota 134,00 m (mesma cota do coroamento da barragem) no entorno do creager que tem crista na cota 131,00 m. O canal de restituição do vertedouro preserva a mesma largura, é revestido com laje em concreto armado e muro que tem altura variável até o final.

Nos **desenhos 06 a 08 do Tomo 1A, Volume II**, pode ser observado os detalhes das estruturas e das proteções da bacia de amortecimento e do canal de restituição.

4.4 - TOMADA D'ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS

A tomada d'água será implantada na estaca 29+10,00 m do eixo barrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 115,00 m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro $\phi=0,500\text{m}$ em aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 114,00 m. O corpo do tubo será envolvido em concreto estrutural (envelopamento).

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto armado, com grade de barra de ferro chato de malha #100mm x 100mm. No lado de jusante será construída uma caixa de concreto armado com três células para abrigo dos equipamentos hidromecânicos, dissipação da energia cinética e posicionamento de um tanque tranquilizador com uma saída que dispõe de vertedouro triangular isósceles que permite pela sua equação que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

A Barragem será operada entre os níveis de cota 131,00 m e 114,00 m, onde os volumes são de 82,177 hm³ que corresponde a 100,0% de capacidade e 1,035 hm³ que corresponde a 1,26% da capacidade, respectivamente.

As escavações obrigatórias atingirão as cotas que permite a implantação da tomada d'água de acordo com as cotas projetadas.

Os **desenhos 31 a 34 do Tomo 1A, Volume II**, mostram os detalhes da estrutura da Tomada D`Água.



4.5 - TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

Em função dos resultados das sondagens e dos ensaios de perda de água realizados no maciço rochoso da fundação, foi previsto a realização de uma cortina de injeção ao longo da barragem, da tomada d'água e do vertedouro, os quais serão detalhados no projeto executivo.

Os furos localizados no eixo da barragem de terra terão uma profundidade de 12,00 m, a partir da linha de rocha e será executada no trecho da Barragem. Será executado inicialmente os furos primários denominados de exploratórios, espaçados a cada 12,0 m. Os furos exploratórios serão executados com sonda rotativa diâmetro ϕ_{nx} (75,3 mm) e em todos os furos primários (exploratórios) serão executados ensaios de perda d'água de cinco estágios, em segmentos de 3,0 em 3,0 metros.

Em seguida serão executados os furos secundários espaçados a cada 6,0 m e na sequência serão injetados os furos terciários, espaçados a cada 3,00 m, que serão executados com equipamento roto-percussor com (rock-drill) de diâmetro de 3" (76,2 mm). Caso se qualquer um dos furos terciários apresentar um consumo de calda superior a 20 kg/m de cimento, serão executados dois furos de ordem superior ao lado deste a meia distância entre os furos adjacente e assim sucessivamente.

4.6 - INTERFERÊNCIAS COM OBRAS EXISTENTES

As interferências existentes no Projeto da Barragem Frecheirinha que são as redes de transmissão de energia elétrica da CHESF foram identificadas e cadastradas topograficamente para avaliar se as fundações das bases destas torres situam-se em cotas inferiores aos níveis operacionais do reservatório.

Diante da análise das cotas das bases e níveis operacionais (cheias milenar e decamilenar), verificou-se que nenhuma torre será atingida. O **desenho 23 do Tomo 1A, Volume II**, mostra a bacia hidráulica e localização das torres da CHESF.

4.7 - DESENHOS

Os desenhos do Anteprojeto da Barragem Frecheirinha são apresentados no **Tomo 1A, Volume II**.



5 - MEMÓRIA DE CÁLCULO

tpfe.com.br

Rua Irene Ramos de Matos, 176
51011-530 - Recife
Fone: +55 81 3316-0700
CNPJ 12285.441/0001-66



5 - MEMÓRIA DE CÁLCULO

O objetivo deste capítulo é apresentar a Memória de Cálculo de todos os segmentos do Anteprojeto da Barragem Frecheirinha. A referida memória é desenvolvida a seguir abordando os seguintes tópicos:

- Cálculo da Folga;
- Cálculo da Cota de Coroamento;
- Cálculo da Largura do Coroamento;
- Escolha da Inclinação dos Taludes;
- Dimensionamento do Rip-rap;
- Determinação da Linha Freática;
- Dimensionamento do Filtro Vertical;
- Dimensionamento do Tapete Horizontal;
- Especificações dos Materiais do Enrocamento de Pé;
- Análise da Estabilidade;
- Cota do Volume Morto;
- Tomada d'Água;
- Dimensionamento do Vertedouro;
- Quantitativos do Projeto.

5.1 - CÁLCULO DA FOLGA

Na determinação da folga da Barragem Frecheirinha foram levados em consideração diversos parâmetros, abordados sempre de forma conservativa, no sentido de preservar a segurança global da barragem, tais como:

- A ação do vento sobre o reservatório, que provoca sobreelevações temporárias do nível de água e ondulações em função da magnitude, duração, orientação e distribuição sazonal;



- A ocorrência simultânea de ventos e cheias de projeto;
- A velocidade do vento sobre o reservatório e a altura das ondas geradas, as quais são condicionadas pela localização da barragem e pela topografia da bacia de acumulação - fatores considerados na avaliação através do fetch efetivo;
- O espraiamento da onda sobre a barragem, que depende da inclinação e da rugosidade da superfície de montante;
- O recalque da barragem e da fundação, sendo que no caso da Barragem Frecheirinha, como serão removidos os materiais superficiais de características mecânicas inferiores, o maciço de concreto será apoiado em maciço rochoso competente, o que fará com os recalques sejam de pequeno significado.

Considerando essas premissas, a determinação da folga foi realizada de acordo com os cálculos a seguir.

A folga da barragem é a diferença de cota entre o coroamento e o nível máximo das águas. A folga é dada pela expressão:

$$f = 0,75h + \frac{V^2}{2g}$$

Onde h é a altura da onda formada pela ação dos ventos sobre o espelho d'água do lago, enquanto h é dado por:

$$h = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4} (m) \quad \text{para } F < 18 \text{Km}$$

$$h = 0,34F^{1/2} (m) \quad \text{para } F > 18 \text{Km}$$

Onde:

F = distância máxima (em km) em linha reta entre qualquer extremidade do lago e um ponto qualquer sobre o barramento (fetch).

V = Velocidade da onda em m/s dado pela fórmula:



$$V = 1,5 + 2h(m/s)$$

Para o lago da Barragem Frecheirinha tem-se $F = 5,00$ km, logo:

1. Cálculo da altura de onda:

$$F = 5,0 \text{ km} \rightarrow h = 0,75 + 0,34 * (5,0)^{1/2} - 0,26 * (5,0)^{1/4}$$

$$h = 1,14 \text{ m} \rightarrow h = 1,20 \text{ m (adotado)}$$

2. Cálculo da velocidade da onda:

$$V = 1,5 + 2 * (1,20) \rightarrow V = 3,90 \text{ m/s}$$

3. Cálculo da folga:

$$f = 0,75 * (1,20) + (3,90)^2 / (2 * 9,81)$$

$$f = 1,68 \text{ m}$$

5.2 - CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

A cota do Coroamento da Barragem é dada pela expressão:

$$C_c = C_s + L + F$$

Onde:

$$C_c = \text{Cota do Coroamento}$$

$$C_s = \text{Cota da Soleira} = 131,00 \text{ m}$$

$$L_{1.000} = \text{Lâmina vertente na cheia milenar} = 0,92 \text{ m}$$

$$L_{10.000} = \text{Lâmina vertente na cheia milenar} = 1,11 \text{ m}$$

$$f = 1,68 \text{ m (folga)}$$

- Definição da cota do coroamento – verificação pela cheia milenar.

$$C_c = C_s + L_{1.000} + f$$

$$C_c = 131,00 + 0,92 + 1,68 \rightarrow C_c = 133,60 \text{ m}$$



$C_c = 134,00$ m (cota do coroamento adotado)

- Verificação para a cheia decamilenar.

$$C_c - C_{10.000} =$$

Onde:

$C_{10.000}$ = Cota da cheia decamilenar = 132,11 m.

$$C_c - C_{10.000} = 134,00 - 132,11 = 1,89 \text{ m} > 0,50 \text{ m (OK!)}$$

Como a cota do coroamento menos a cota do $NA_{decamilenar}$ é maior do que 0,50 m, logo atende aos critérios de segurança adotados.

5.3 - CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

Adotando-se a fórmula de Preece à seção de terra de maior altura tem-se:

$$L_c = 1,10\sqrt{H_b} + 0,9(m)$$

Onde:

L_c = Largura da barragem (m);

H_b = Altura da barragem (m).

Para a seção da Estaca 16+0,00 tem-se $H_b = 26,30$ m:

$$L_c = 1,10 * (26,30)^{1/2} + 0,90$$

$$L_c = 6,54 \text{ m}$$

Adotou-se por questões construtivas $L_c = 7,00$ m.

Para os três diques de fechamento, devido às suas pequenas alturas, foi adotado a largura do coroamento $L_c = 4,00$ m.

5.4 - ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

A fixação dos taludes foi resultado de análise da estabilidade. Entretanto foi necessário se fazer uma escolha inicial para em seguida se fazer a análise de estabilidade.

O Bureau of Reclamation sugere as inclinações de taludes, reproduzidas no **Quadro 5.1**:

Quadro 5.1 – Inclinação Dos Taludes – Bureau Of Reclamation

Caso	Sujeito a esvaziamento rápido	Classificação dos solos	Montante	Jusante
A	NÃO	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	2,5:1	2:1
		CL, ML	3:1	2,5:1
		CH, MH	3,5:1	2,5:1
B	SIM	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	3:1	2:1
		CL, ML	3,5:1	2,5:1
		CH, MH	4:1	2,5:1

Terzaghi apresentou, para efeito de Projeto, as inclinações aconselháveis que são mostrados no **Quadro 5.2**:

Quadro 5.2 – Inclinação dos taludes - Terzaghi

Tipo de Material	Taludes	
	Montante	Jusante
Seção Homogênea – Solo bem graduado	1:2,5	1:2
Seção Homogênea – Silte grosso	1:3	1:2,5
Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura menor que 15m	1:2,5	1:2
Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura maior que 15m	1:3	1:2,5
Areia ou Pedregulho e Areia com núcleo de argila	1:3	1:2,5
Areia ou Pedregulho com cortina de concreto armado	1:2,5	1:2

O engenheiro Paulo Teixeira da Cruz em sua obra 100 Barragens Brasileiras sugere os seguintes taludes preliminares que são mostrados no **Quadro 5.3**:

Quadro 5.3 – Inclinação dos taludes – Paulo T. Cruz

Tipo de material	Montante	Jusante
Solos Compactados	2:5(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V)	2:0(H) : 1,0(V)
Solos Compactados Argilosos	2:0(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V)	2:0(H) : 1,0(V) 2,5(H) : 1,0(V)
Solos Compactados Siltosos	3,5(H) : 1,0(V)	3,0(H) : 1,0(V)
Enrocamentos	1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V)	1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V)

Portanto, analisando as tabelas juntamente com os materiais que serão usados na construção, adotou-se para análise os taludes de montante com inclinação de 1:2,5 (V:H) e jusante com inclinação de 1:2,0 (V:H), usando um multiplicador da aceleração da gravidade de 1,05 para verificação da análise sísmica.

Os solos das jazidas pesquisadas e estudadas que formarão o maciço são compostas basicamente de solos SC (areia argilosa), portanto, analisando as tabelas juntamente com os materiais que serão usados na construção adotou-se para a barragem de terra o talude de montante 2,5:1,0 (H:V) e talude de jusante 2,0:1,0 (H:V), esta última inclinação será adotada nos taludes das seções dos diques de terra.

5.5 - DIMENSIONAMENTO DA PROTEÇÃO DE MONTANTE (RIP-RAP E TRANSIÇÃO)

Adotando a fórmula recomendado pelo Tennessee Valley Authority (TVA)

tem-se:

$$e = CV^2$$

Onde:

e = Espessura do rip-rap (m);

C = Coeficiente, função da inclinação do talude e da densidade da rocha;

V = Velocidade da onda (m/s).



Tem-se:

$$V = 3,90 \text{ m/s}$$

$$C = 0,030m$$

$$e = 0,030 \cdot 3,90^2 \rightarrow e = 0,46 \text{ m} \rightarrow \text{Será adotado } e = 0,70m.$$

a) Os blocos empregados na construção do rip-rap devem ter no mínimo 50% de pedras com peso igual a:

$$P_{50\%} = 0,52 \cdot \gamma \cdot e^3$$

Onde:

$P_{50\%}$ = Peso do bloco de rocha que compõem 50% do rip-rap (tf);

γ = Peso específico da rocha = 2,50 tf/m³;

e = Espessura do rip-rap em (m).

Portanto tem-se:

$$P_{50\%} = 0,52 \times 2,5 \times 0,70^3 = 0,45tf$$

b) Os blocos de enrocamento do rip-rap devem ter no mínimo 50% de pedras com o diâmetro igual a:

$$D_{50\%} = \left(\frac{P_{50\%}}{0,75\gamma} \right)^{1/3}$$

Onde:

$D_{50\%}$ = diâmetro do bloco de rocha que compõem 50% do rip-rap

Logo:



$$D_{50\%} = \left(\frac{0,45}{0,75 \times 2,50} \right)^{1/3} \therefore D_{50\%} = 0,62m$$

c) O diâmetro e o peso do bloco mínimo:

$$P_{\min} = 0,25P_{50\%} = 0,25 \times 0,45 \therefore P_{\min} = 0,11tf$$

$$D_{\min} = \left(\frac{P_{\min}}{0,75\gamma} \right)^{1/3} = \left(\frac{0,11}{0,75 \times 2,50} \right)^{1/3} \therefore D_{\min} = 0,39mm$$

d) O diâmetro e o peso máximo do bloco.

$$P_{\max} = 4P_{50\%} = 4 \times 0,45 \therefore P_{\max} = 1,80tf$$

$$D_{\max} = \left(\frac{P_{\max}}{0,75\gamma} \right)^{1/3} = \left(\frac{1,80}{0,75 \times 2,50} \right)^{1/3} \therefore D_{\max} = 0,99m$$

Como D_{\max} calculado foi maior do que a espessura, será adotado

$D_{\max} = e = 0,70m$. Assim sendo:

$$P_{\max} = 0,75\gamma D_{\max}^3 = 0,75 \times 2,50 \times (0,70)^3 \therefore P_{\max} = 0,64tf$$

O rip-rap será assente sobre uma camada de transição com 0,30 m de espessura obtida de produto de britagem, atendendo aos seguintes requisitos:

- Material filtrante x Solo Compactado

$$(D_{15})_{filtrro} \leq 5 \times (D_{85})_{solo}$$

- Material filtrante x Rip-rap

Bourdeaux (1979) recomenda para altura de onda variando de 0 e 1,2 m deve-se ter: $D_{85}(filtrro) > 5,1cm$.

- Apresentar curvas granulométricas aproximadamente paralelas.



As curvas granulométricas e a verificação dos critérios de Terzaghi destes materiais são apresentadas no capítulo 4 deste relatório.

5.6 - ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO PELA BARRAGEM E FUNDAÇÃO

Nessa fase de Projeto Básico, cabe o uso de parâmetros médios de resistência, coesão, ângulo de atrito interno e coeficientes de permeabilidades dos diversos materiais, obtidos de pesquisas reconhecidas mundialmente por Órgãos ou Instituições que cuidam de projetos e construções de barragens. Para a barragem Frecheirinha adotou-se os estudos realizados pelo Bureau Of Reclamation, dos Estados Unidos da América do Norte, constante na 3ª edição de 1987 do Livro Design Of Small Dams, páginas 96 a 98.

5.6.1 - VAZÃO PELO MACIÇO

Para a definição da vazão pelo maciço, o coeficiente de permeabilidade do Solo tipo SC, conforme página 98, Figura 5-14, os Estudos de Casa Grande e Fadum, de 1940, adotado nesse Projeto Básico foi de: $K_y = 10^{-6} \text{ cm/s} = 10^{-8} \text{ m/s}$.

As vazões que percolam, pelo maciço da Barragem e são coletadas pelo filtro vertical, são limitadas superiormente pela linha freática cujo posicionamento é indefinido. Para contornar esse problema foi associada a linha freática à parábola de KOZENY que corresponde à percolação de água através de um solo, com coeficiente de permeabilidade K , apoiado sobre uma camada impermeável $K = 0$ e desaguando num dreno $K = \infty$. A camada impermeável será a base da Barragem.

Colocando-se um sistema de eixos cartesiano x e y , com y coincidindo com o paramento de montante do filtro vertical e x com a base da Barragem, ou seja, fundo do tapete horizontal. A origem desse sistema cartesiano será o ponto de interseção do paramento de montante do filtro vertical com a base do tapete horizontal, como pode ser visto na figura abaixo:

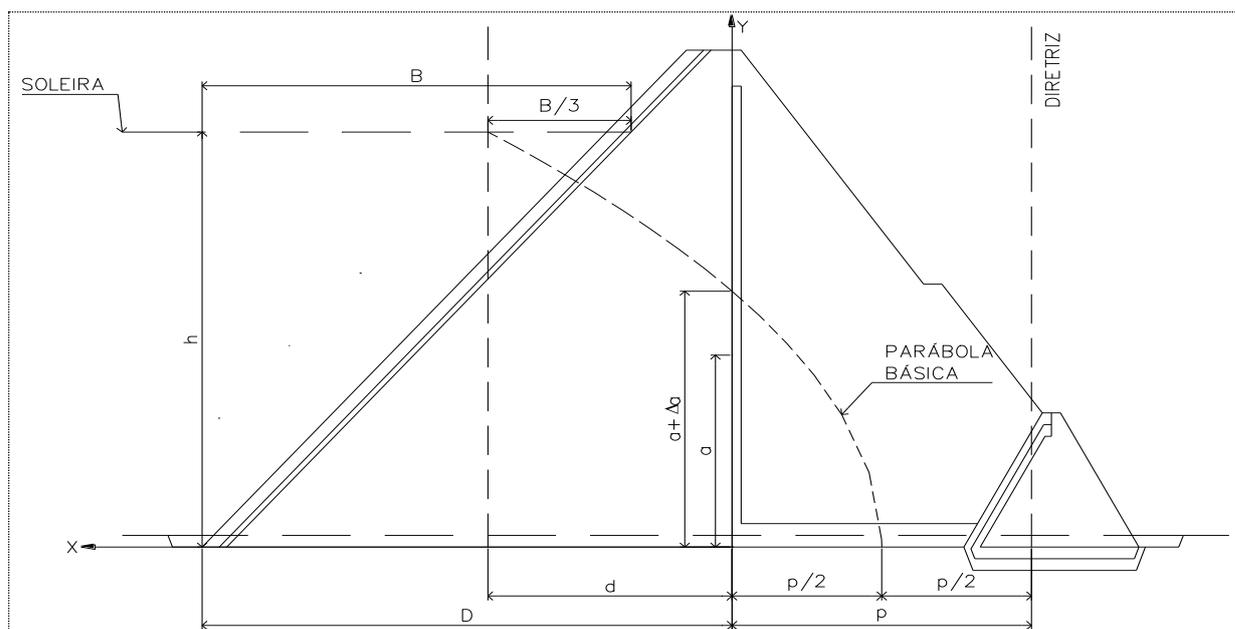


Figura 5.1 – Parábola de Kozeny – seção transformada

Os estudos de KOZENY verificaram que o fluxo no maciço é limitado por uma curva parabólica traçada no sistema cartesiano $x \cdot y$ pela linha pontilhada com foco na origem dos eixos e equação da parábola dada pela seguinte expressão:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = x + p$$

Onde:

(x, y) = ponto da curva

p = o dobro da distância do foco ao vértice.

Sabendo-se que o meio poroso é anisotrópico com relação à permeabilidade e admitindo:

$$\frac{K_y}{K_x} = \frac{1}{9}$$

Para uso desta equação é necessário fazer a transformação de uma das ordenadas.



Fazendo-se a transformação no eixo x , tem-se:

$$X_t = x \cdot \sqrt{\frac{K_y}{K_x}}$$

Onde:

X_t = Abscissa transformada

X = Abscissa real

K_x = Permeabilidade na direção horizontal

K_y = Permeabilidade na direção vertical

Sendo assim:

$$X_t = d_t = d \cdot \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{d}{3}$$

Portanto a equação abaixo:

$$P = \sqrt{x^2 + y^2} - x$$

Se transformada em:

$$P = \sqrt{\left(\frac{x}{3}\right)^2 + y^2} - \frac{x}{3}$$

O valor de P pode ser calculado aplicando-se a equação ao ponto (d, h) .



$$P = \sqrt{\left(\frac{d}{3}\right)^2 + h^2} - \frac{d}{3}$$

Para $d = 11,76m$ e $h = 24,39m$, têm-se $P = 20,78m$.

Obtido o valor de P obtém-se a vazão de percolação pelo maciço que é dada pela expressão:

$$Q_M = K \cdot P$$

$$\text{Com: } K = \sqrt{K_x \cdot K_y} = 3 \cdot K_y.$$

Conforme apresentado no início deste item:

$$K_y = 10^{-6} \text{ cm/s} = 10^{-8} \text{ m/s}.$$

$$Q_M = 6,23 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s/m} \text{ (vazão no maciço)}.$$

5.6.2 - VAZÃO PELA FUNDAÇÃO

Na fundação as linhas de fluxo são predominantemente horizontais, conforme Milton Vargas em seu livro *Introdução à Mecânica dos Solos*, Editora McGraw-Hill do Brasil, capítulo VI – Percolação D'água nos Solos, página 155.

Portanto, será adotada para o cálculo da vazão pela fundação a permeabilidade $k_f = k_h$, onde $k_h = 5 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$.

O cálculo da vazão específica de percolação pela fundação pode ser obtido considerando as fórmulas aproximadas de Terzaghi:

$$q = \frac{K_f \cdot h}{0,88 + \frac{B}{z}}, \text{ quando } B > 2z$$

$$q = \frac{K_f \cdot h}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{2z}{B} - 1}, \text{ quando } B < 2z$$

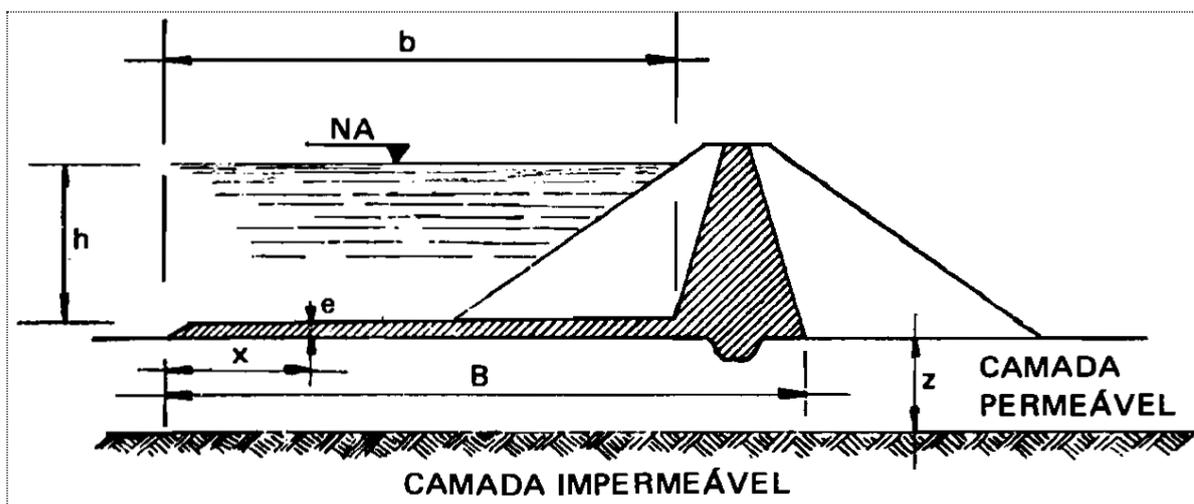


Figura 5.2 – Esquema de Fluxo Pela Fundação

Na prática as duas fórmulas podem ser substituídas pela fórmula única:

$$q = \lambda \cdot K_f \cdot h$$

Onde:

q = Vazão por metro

K_f = Coeficiente de permeabilidade

h = Carga hidráulica (m) igual a 24,39m

λ = Coeficiente dado em função de B/Z

Z = Espessura do maciço permeável ($Z = 20,00\text{m}$)

B = Extensão da zona impermeável de montante

λ é obtido do gráfico abaixo

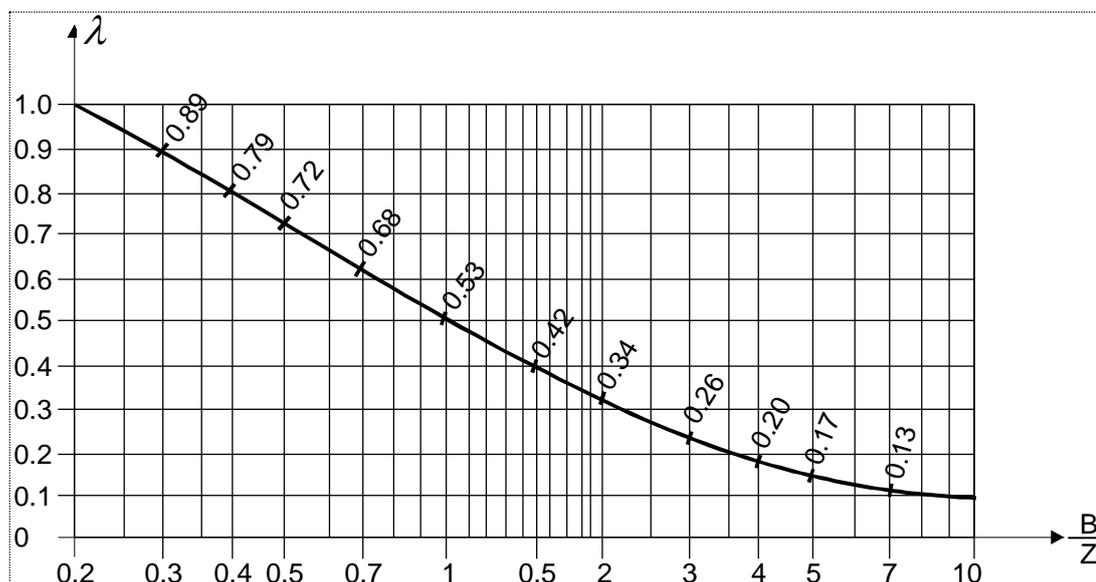


Figura 5.3 – Valores λ em função de B/Z

$$K_f = 5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$$

Para: $B = 120,00 \text{ m}$

$$\frac{B}{Z} = \frac{120,00}{20} = 6,0$$

$\lambda = 0,15 \rightarrow$ (obtido do gráfico)

$$q_f = 0,15 \times 5,0 \times 10^{-8} \times 24,39$$

$$q_f = 1,83 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

5.6.3 - VAZÃO TOTAL PELO MACIÇO E PELA FUNDAÇÃO:

$$Q_m + q_f = (6,23 + 1,83) \times 10^{-7}$$

$$Q_m + q_f = 8,06 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

5.7 - DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL

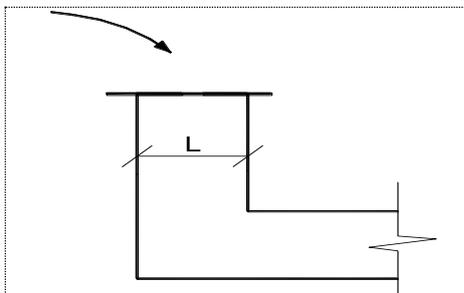


Figura 5.4 – Esquema do Filtro Vertical

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$A = L \times 1,0\text{m}$$

$$i = 1,0$$

Como o filtro vertical será construído com areia grossa, o seu coeficiente de permeabilidade adotado foi $K = 1,0 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \therefore (K = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m/s})$. A vazão pelo maciço é de $Q_M = 6,23 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

Logo:

$$Q = K \cdot i \cdot L$$

$$L = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{6,23 \times 10^{-7}}{1,0 \times 10^{-4} \times 1,0} \therefore L = 0,0062\text{m}$$

Adotou-se $L = 1,0\text{m}$ por questões construtivas, principalmente porque indica-se a construção do filtro através da escavação de camada de solo já executada.

O material do filtro vertical (areia grossa) atende aos seguintes requisitos de Bertram (1940):

$$\frac{D_{15(areia)}}{D_{85(solo)}} < 4 \therefore \frac{0,40mm}{9,20mm} = 0,04 < 4 \Rightarrow OK!$$

$$\frac{D_{15(areia)}}{D_{15(solo)}} > 5 \therefore \frac{0,40mm}{0,03mm} = 13,33 > 5 \Rightarrow OK!$$

As curvas granulométricas são apresentadas nas figuras do item 4 deste relatório.

5.8 - DIMENSIONAMENTO DO FILTRO HORIZONTAL

O filtro horizontal foi dimensionado com base no Livro Seepage, Drainage, and Flow Nets (3ª Ed.), do autor Harry R. Cedergren. O cálculo da lâmina foi efetuado em uma seção no final do tapete, na entrada do rockfill.

Considerando um filtro executado plenamente com areia grossa, limpa, de boa qualidade, coeficiente de permeabilidade $k = 10^{-4}m/s$ e que sua espessura mínima não poderá estar completamente saturada. Então o dimensionamento será a pesquisa dessa espessura mínima que garante a não saturação devido as águas que chegam do maciço e da fundação.

A vazão nas seções finais do filtro é de $8,06 \times 10^{-7}m^3/s/m$, resultante da soma das vazões pelo maciço e pela fundação, conforme item anterior.

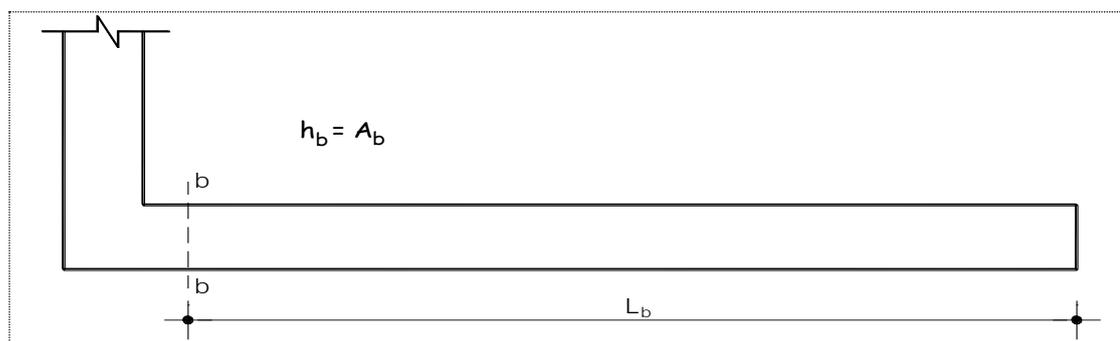


Figura 5.5 – Esquema do Filtro Horizontal

$$L_b = 41,00m$$



$$K_b = \frac{Q}{i \cdot A_b}$$

$$h_b = A_A$$

$$i = \frac{h_b}{L_b}$$

$$K_b = \frac{Q_b}{\left(\frac{h_b}{L_b}\right) \cdot A_b} = \frac{Q_b \cdot L_b}{h_b^2}$$

$$h_b^2 = \frac{Q_b \cdot L_b}{K_b} \times C$$

onde C=10 é o coeficiente de segurança recomendado pelo Dr. Paulo Cruz.

Substituindo os valores na equação anterior, tem-se:

$$h_b = 1,82m \gg 1$$

Como o valor h_b encontrado acima foi bem superior a 1,0m, não se optou pela solução com tapete horizontal drenante composto apenas por areia grossa.

Diante desta situação foi adotada uma solução com dreno tipo 'sanduíche', conforme recomendações do Eng.º Guy H. R. M. Bourdeaux contidas no livro Projeto de Barragens de Terra e Enrocamento. As camadas adotadas para o dreno tipo 'sanduíche', após algumas verificações de suas espessuras, foram adotadas de acordo com a seguinte configuração:

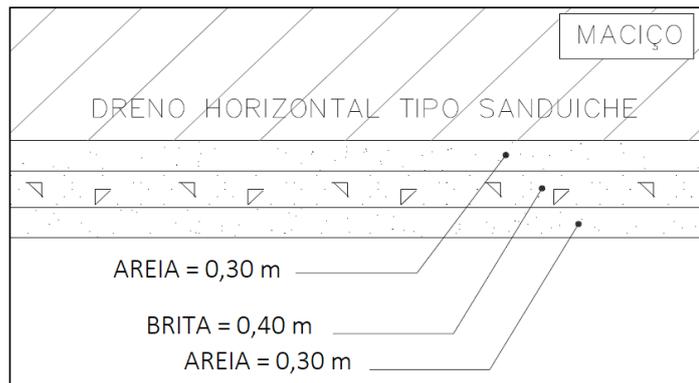


Figura 5.6 – Detalhe do Dreno Horizontal Tipo Sanduíche

Foi considerada a permeabilidade da brita igual a 1,00 m/s ($K_{BRITA}=1,00\text{m/s}$), logo a permeabilidade média dreno ‘sanduíche’ é a seguinte:

$$K_{Dreno_Sand} = (0,30 \times K_{Areia} + 0,40 \times K_{Brita} + 0,30 \times K_{Areia}) / (0,30 + 0,40 + 0,30)$$

$$K_{Dreno_Sand} = (0,30 \times 10^{-4} + 0,40 \times 1,00 + 0,30 \times 10^{-4}) / (1,00)$$

$$K_{Dreno_Sand} = 0,40 \text{ m/s}$$

Com isso, a capacidade de vazão do dreno ‘sanduíche’ é igual a:

$$Q_b = \frac{K_b \times h_b^2}{L_b \times C'} = \frac{0,40 \times 1,00^2}{41,00 \times 10} = 9,76 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} (\text{Ok!!})$$

valor bem superior ao encontrado para a vazão total do maciço e da fundação.

A areia grossa a ser utilizada no dreno horizontal tipo ‘sanduíche’ atende os seguintes requisitos de Bertram (1940).

$$\frac{D_{15(areia)}}{D_{85(solo)}} < 4 \therefore \frac{0,40\text{mm}}{9,20\text{mm}} = 0,04 < 4 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$\frac{D_{15(areia)}}{D_{15(solo)}} > 5 \therefore \frac{0,40\text{mm}}{0,03\text{mm}} = 13,33 > 5 \Rightarrow \text{OK!}$$

A brita utilizada neste dreno tem as mesmas características granulométricas da brita da transição do enrocamento de pé, como mostra o item a seguir.



As curvas granulométricas são apresentadas nas figuras do item 4 deste relatório.

Foi adotado 1,00m de espessura para o filtro drenante.

O material do brita/areia atende aos seguintes critérios:

$$\frac{D_{15(\text{brita})}}{D_{85(\text{areia})}} < 4 \therefore \frac{7,00\text{mm}}{2,30\text{mm}} = 3,04 < 4 \Rightarrow OK!$$

$$\frac{D_{15(\text{brita})}}{D_{15(\text{areia})}} > 5 \therefore \frac{7,00\text{mm}}{0,40\text{mm}} = 17,50 > 5 \Rightarrow OK!$$

O dimensionamento das transições foi desenvolvido em atendimento aos critérios de filtro e transições, conforme mostrado no capítulo 4 deste relatório.

As curvas granulométricas de todos os materiais empregados na barragem são apresentadas no capítulo 4 deste relatório.

5.9 - ANÁLISE DE ESTABILIDADE DA BARRAGEM DE TERRA

A análise de estabilidade da Barragem de Terra foi feita utilizando-se Método de Bishop Modificado e o programa Geo-Slope/W.

A geometria da barragem de terra da Barragem Frecheirinha foi avaliada de duas maneiras, a saber: a análise de estabilidade estática e sísmica.

A análise da estabilidade estática foi realizada recorrendo-se ao método de equilíbrio limite, proposto por Bishop implementado automaticamente através do programa de cálculo SLOPE/W.

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção mais condicionante no que concerne a estabilidade da barragem, ou seja, a seção de maior altura, tendo sido analisado as seguintes situações.

- Final de Construção – taludes de montante e jusante;
- Reservatório Cheio (a longo prazo) – talude de jusante;
- Rebaixamento Rápido – talude de montante.



A análise da estabilidade sísmica foi efetuada através de um método pseudo-estático recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado pelo programa SLOPE/W.

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de final de construção, regime permanente e rebaixamento rápido, um coeficiente sísmico de 0,05.

Quanto à obtenção das pressões neutras adotaram-se os seguintes procedimentos:

a) Adoção do Coeficiente R_u

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente R_u . Este coeficiente é definido como a relação entre a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto através da expressão $R_u = U/\sigma_1$. Esse coeficiente é função do tipo do material. Para materiais de elevada permeabilidade nos quais a dissipação das pressões intersticiais é quase instantânea, o coeficiente toma valores próximos de zero. No limite, o coeficiente R_u pode atingir 0,50 caso se esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

b) Definição da Linha Piezométrica

Para os casos de regime permanente e rebaixamento rápido, as pressões neutras foram obtidas a partir do traçado da linha piezométrica cujos pontos determinou-se associando a linha freática à parábola de Kozeny teórica fazendo as correções de contorno.

A anisotropia do solo foi contemplada considerando uma relação igual a 9 entre os coeficientes de permeabilidade horizontal/vertical.

c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

O Quadro a seguir, indica os valores dos Parâmetros Geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

Quadro 5.4 – Parâmetros Geotécnicos Adotados

Material	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (graus)	R_u
Rip-Rap	21,5	0,00	40°	0,00
Maciço/Cut-Off	18,4	20,0	27,0°	0,10
Filtro/Tapete	19,5	0,00	35°	0,00
Rock-Fill	21,5	0,00	40°	0,00
Aluvião	19,5	0,00	30°	0,10
Topo Rochoso	-	-	-	-

5.9.1 - MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

Em 1955 Bishop generalizou o método das fatias para levar em conta o efeito dos empuxos e cisalhamento ao longo das faces laterais das fatias.

Nesse método é feito, também, o equilíbrio dos momentos em torno do centro do círculo de ruptura.

O coeficiente de segurança é dado pela expressão:

$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \sec \alpha} \times \Sigma \cdot C' \cdot \Delta X + tg \varphi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{tg \varphi' \cdot tg \alpha}{S_0}}$$

Onde:

C' = coesão efetiva.

φ' = ângulo de atrito interno efetivo.

5.9.2 - PROGRAMA SLOPE/W

O SLOPE/W é um programa computacional que utiliza a Teoria do Estado do Limite de Equilíbrio para calcular o fator de segurança dos taludes de solos e de rochas.

Este Software possui a capacidade de determinar o fator de segurança dos problemas de estabilidade de taludes, por uma variedade de métodos a saber: Feldenius, Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Spencer, Mongenstern-Price, Corps of Engineers, GLE (Limite de Equilíbrio Geral) e Elementos Finitos.



Ele pode ser usado para modelar uma ampla variação de geometria de taludes e estratigrafia tal como múltiplos tipos de solos, parcialmente submerso em água, várias espessuras e substrato descontínuo camadas de solos impermeáveis e secos ou saturados, tensões de ruptura. As tensões de quebra podem ser modeladas especificando a linha de tensão de ruptura ou o máximo ângulo de inclinação da superfície de escorregamento.

Este software usa uma grade para os centros de rotação e um campo para os raios, para modelos de superfície de escorregamento circulares ou compostos.

O SLOPE/W possui algumas opções para especificar a pressão neutra, a saber: Coeficiente da pressão neutra; Superfície Piezométrica; Parâmetros de Pressão Neutra em Locais Específicos; Isolinhas de Pressão Neutra.

5.9.3 - RESULTADOS OBTIDOS

Após o processamento do programa SLOPE/W foram obtidos os seguintes resultados:

a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no quadro a seguir:

Quadro 5.5 – Fatores de Segurança da Análise de Estabilidade Estática

Simulação	C.S. Mínimo	Fator de Segurança
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,91
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,70
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,54
Rebaixamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,24

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.



b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no quadro a seguir:

Quadro 5.6 – Fatores de Segurança da Análise de Estabilidade Sísmica

Simulação	C.S. Mínimo	Fator de Segurança
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,48
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,36
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,24
Rebaixamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,00

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

São apresentados a seguir as figuras com os dados e resultados obtidos das simulações com o Slope/W.

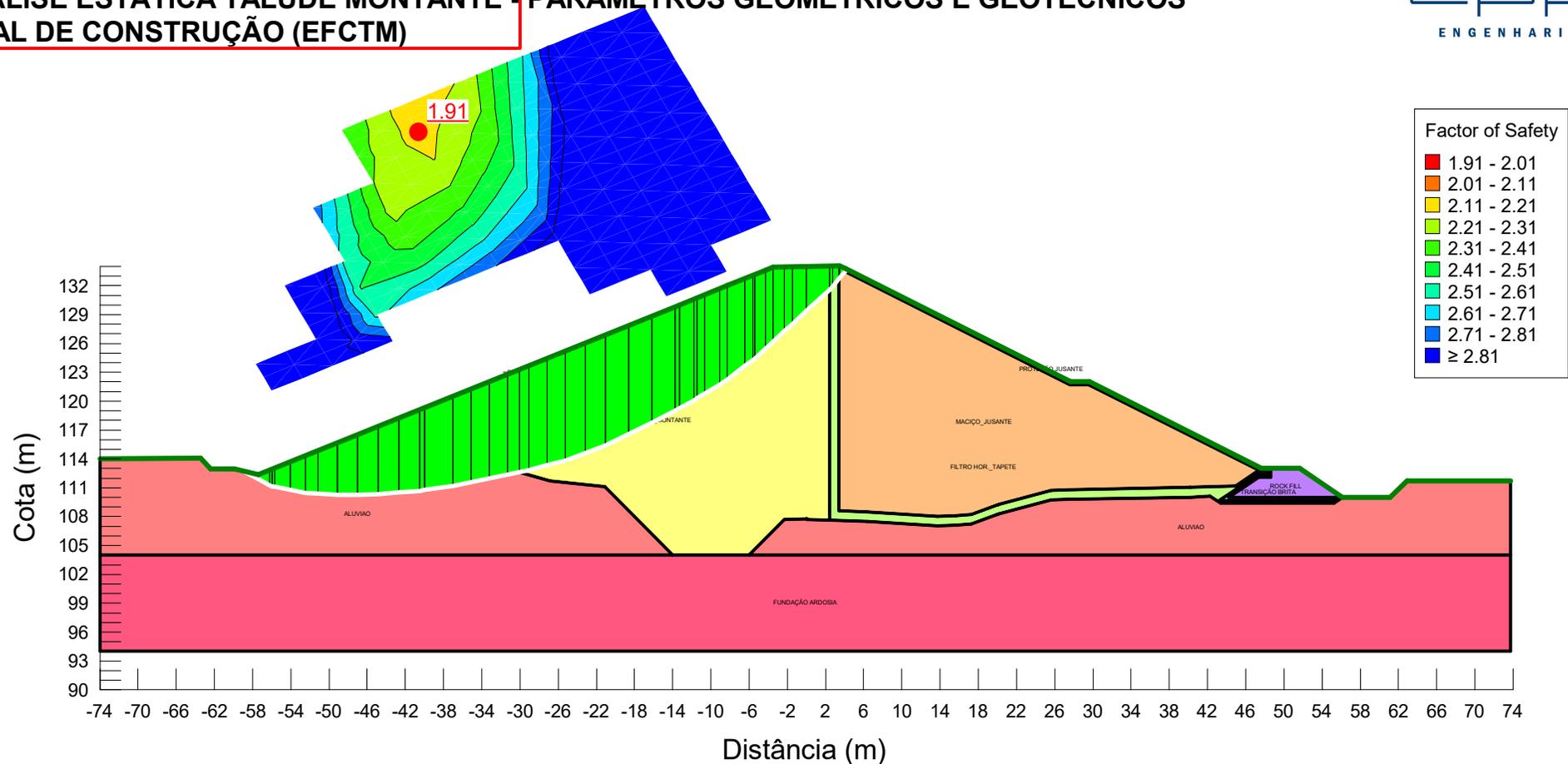
5.10 - REDE DE FLUXO DA BARRAGEM

Para determinar a rede de fluxo foi analisada a seção máxima da barragem.

Foi usado o Método dos Elementos Finitos através do soft SEEP/W do pacote Geostudio/2012.

Os dados utilizados e resultados obtidos são exibidos na figura da rede de fluxo a seguir.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE ESTÁTICA TALUDE MONTANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 FINAL DE CONSTRUÇÃO (EFCTM)



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

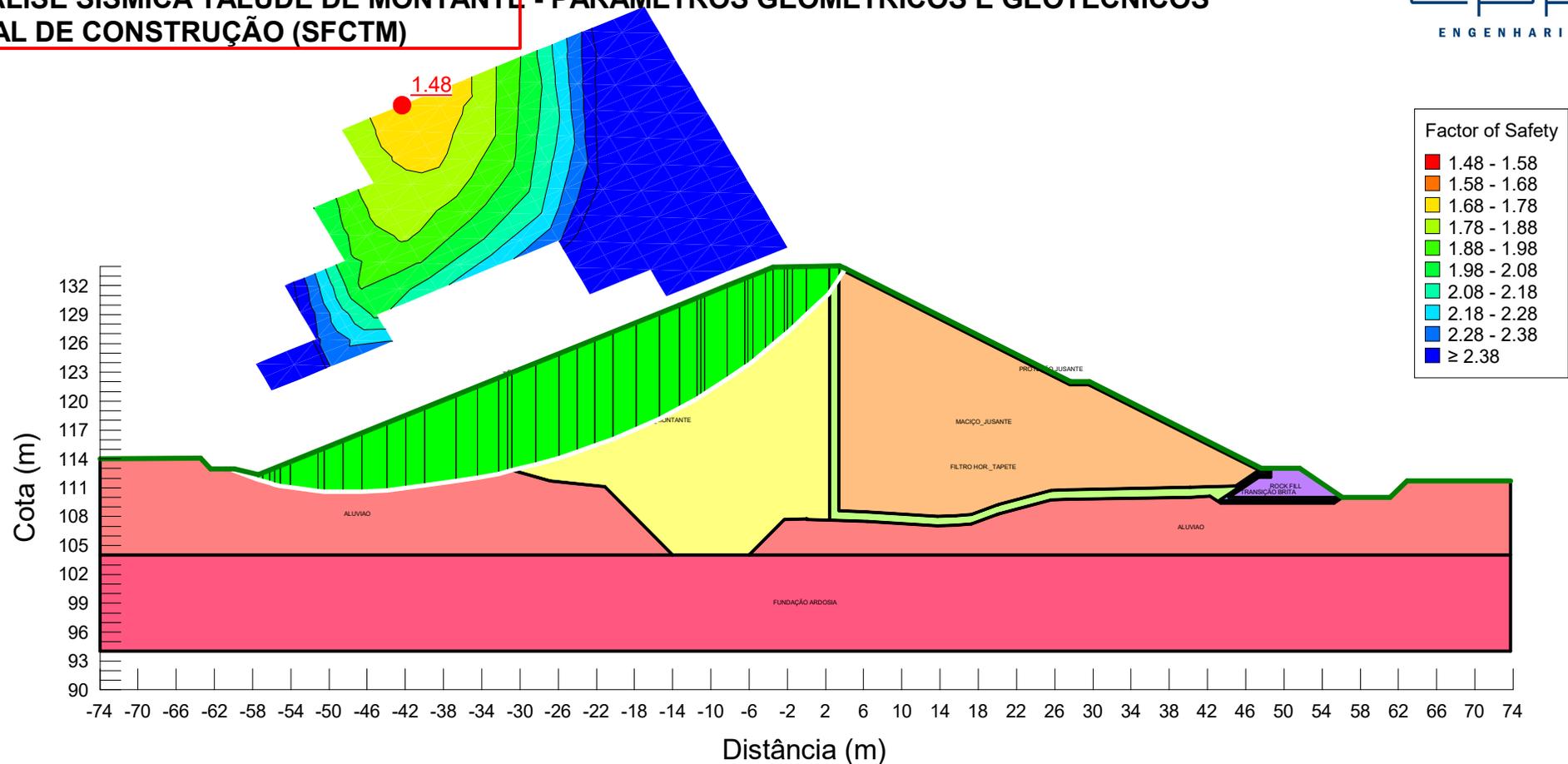
Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE SÍSMICA TALUDE DE MONTANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 FINAL DE CONSTRUÇÃO (SFCTM)



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

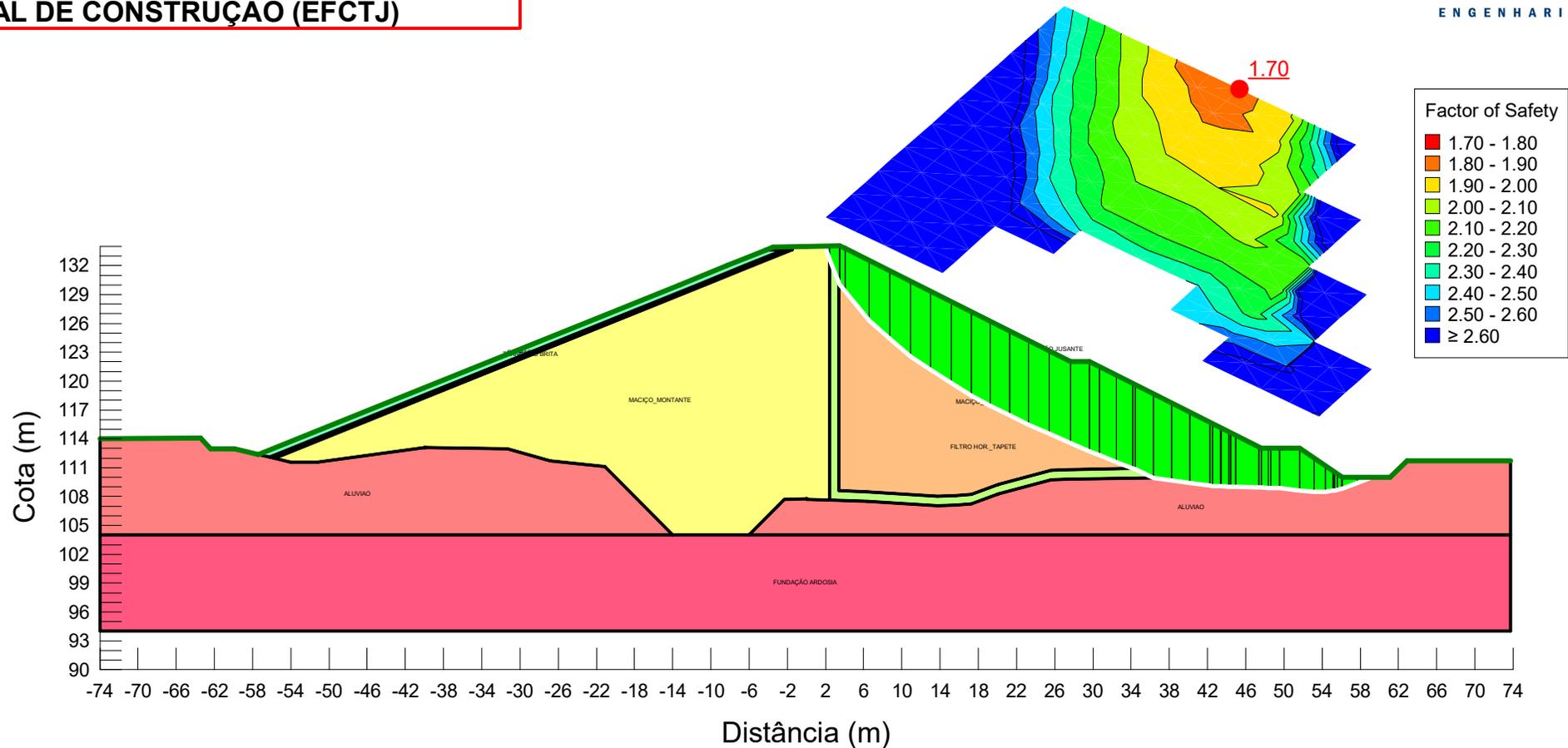
Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE ESTÁTICA TALUDE DE JUSANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 FINAL DE CONSTRUÇÃO (EFCTJ)



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

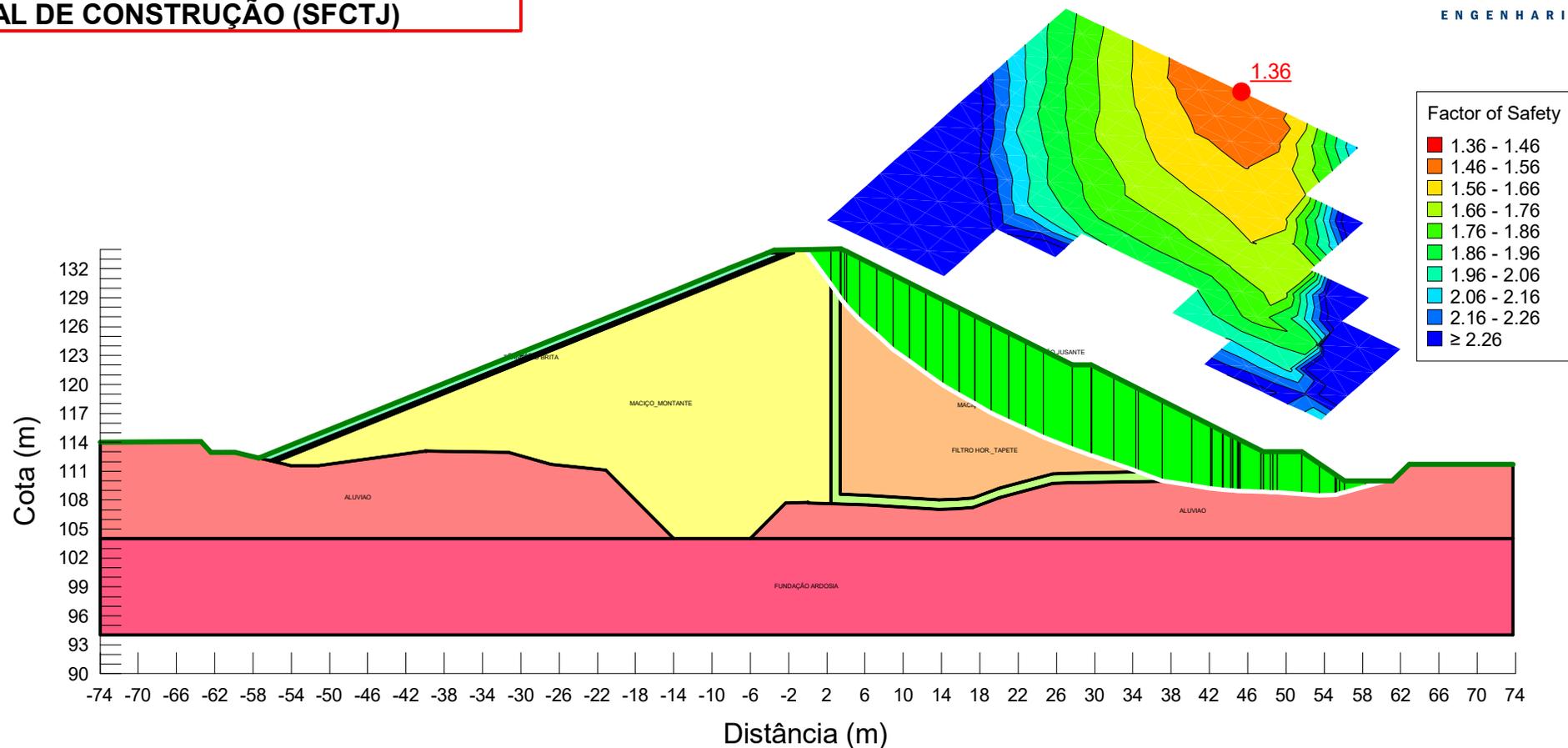
Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE SÍSMICA TALUDE DE JUSANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 FINAL DE CONSTRUÇÃO (SFCTJ)



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

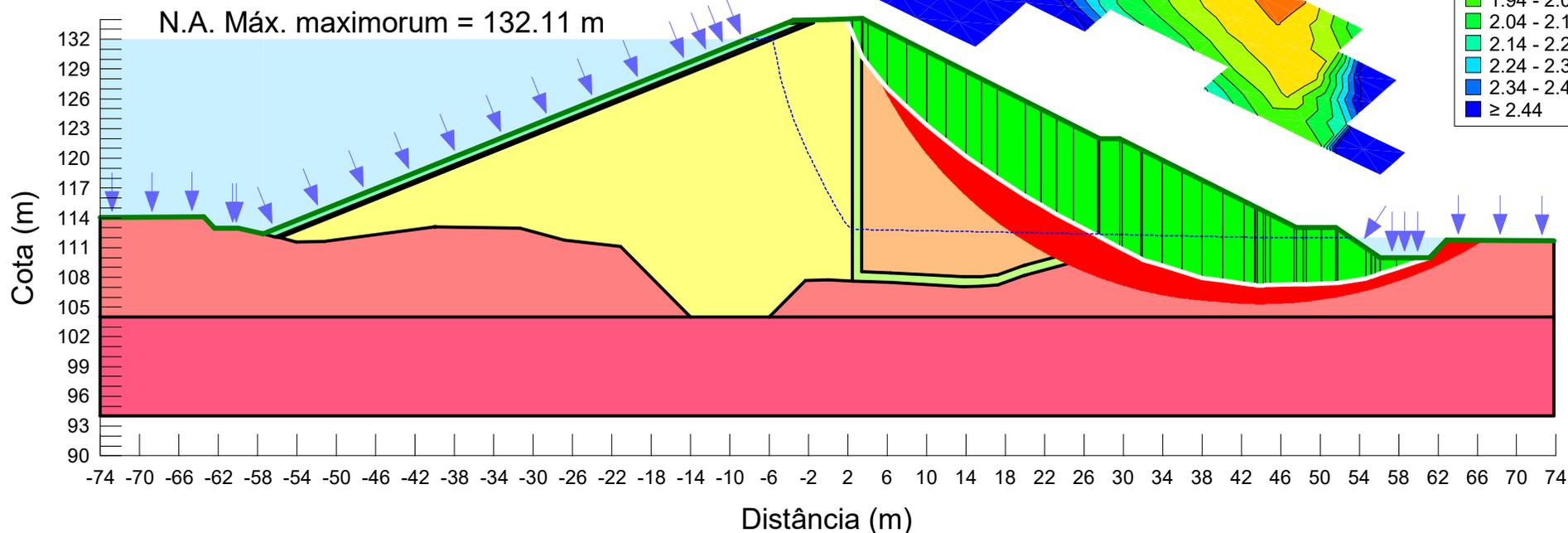
Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE ESTÁTICA TALUDE DE JUSANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 RESERVATÓRIO CHEIO (ERCTJ)



VAZÃO ESPECÍFICA POR METRO: 0,143 litros/min/m



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

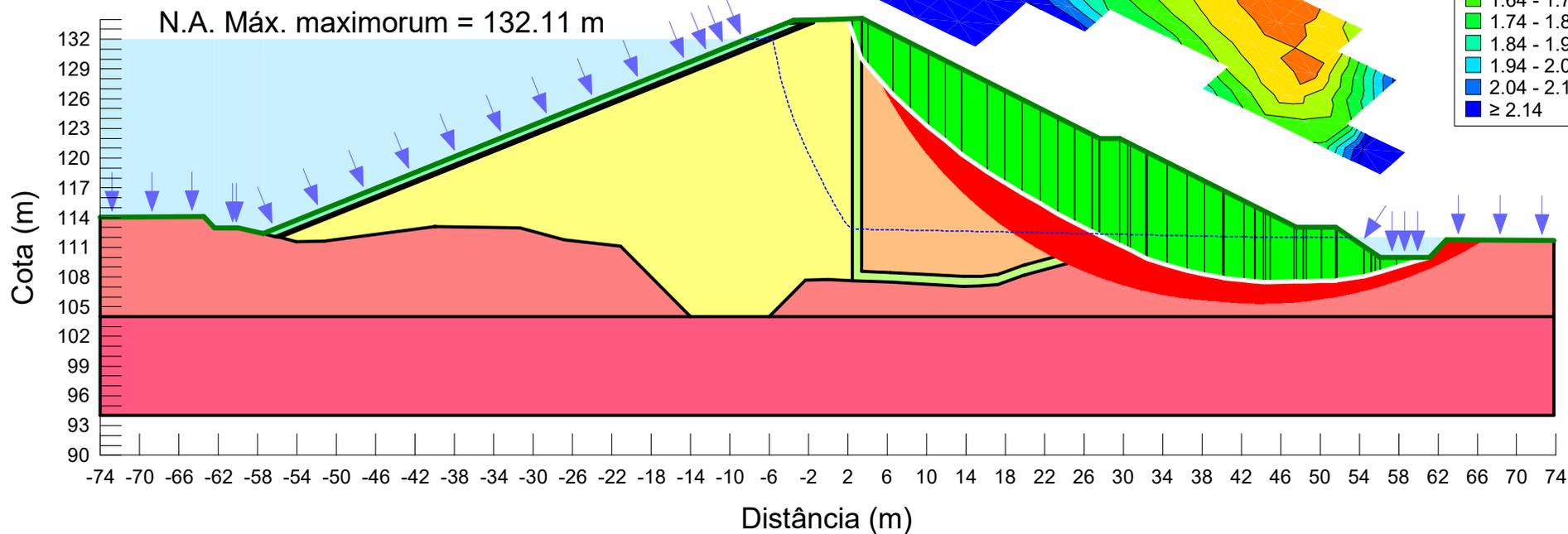
Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE SÍSMICA TALUDE DE JUSANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 RESERVATÓRIO CHEIO (SRCTJ)



VAZÃO ESPECÍFICA POR METRO: 0,143 litros/min/m



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

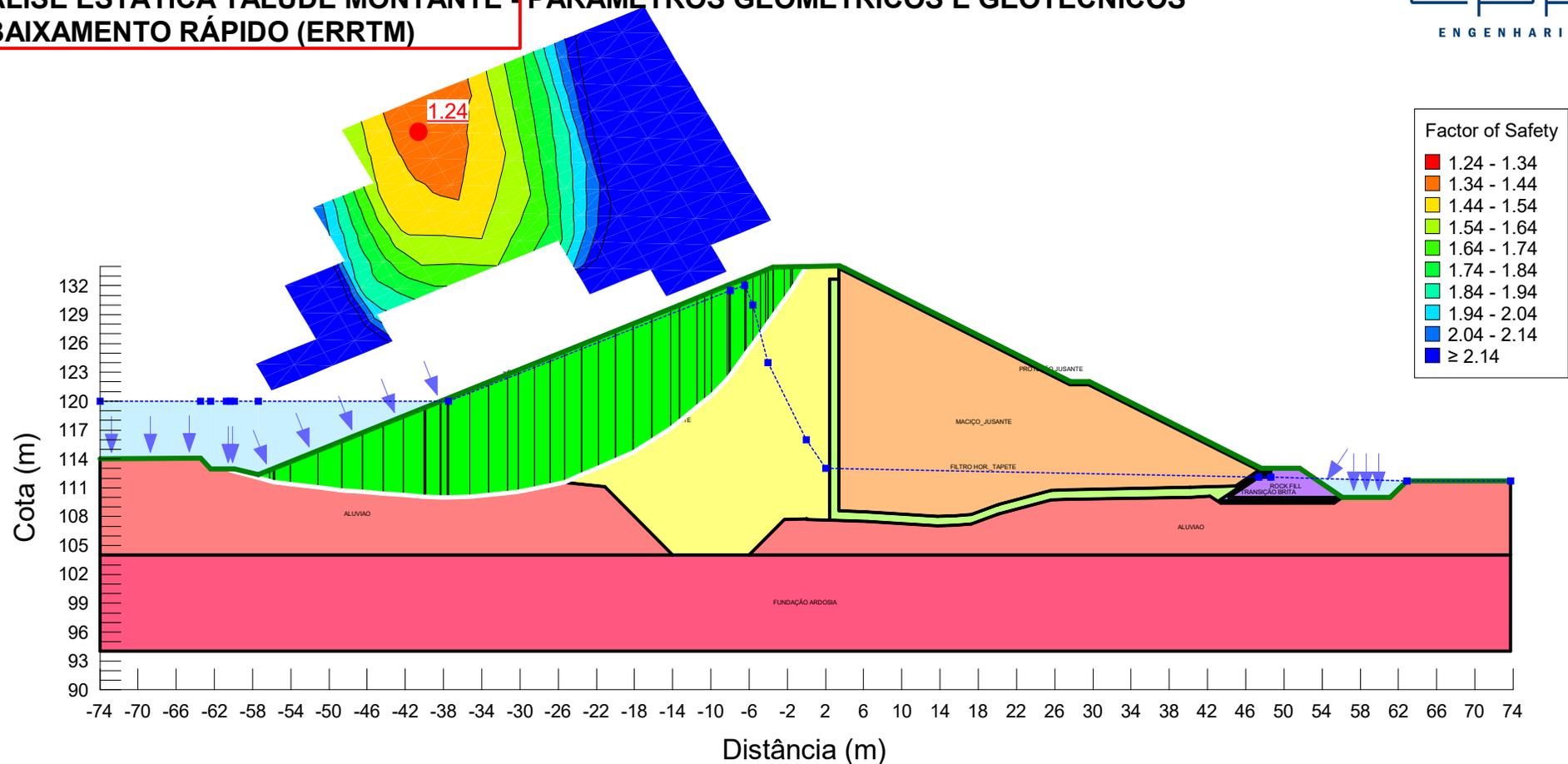
Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE ESTÁTICA TALUDE MONTANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 REBAIXAMENTO RÁPIDO (ERRTM)



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

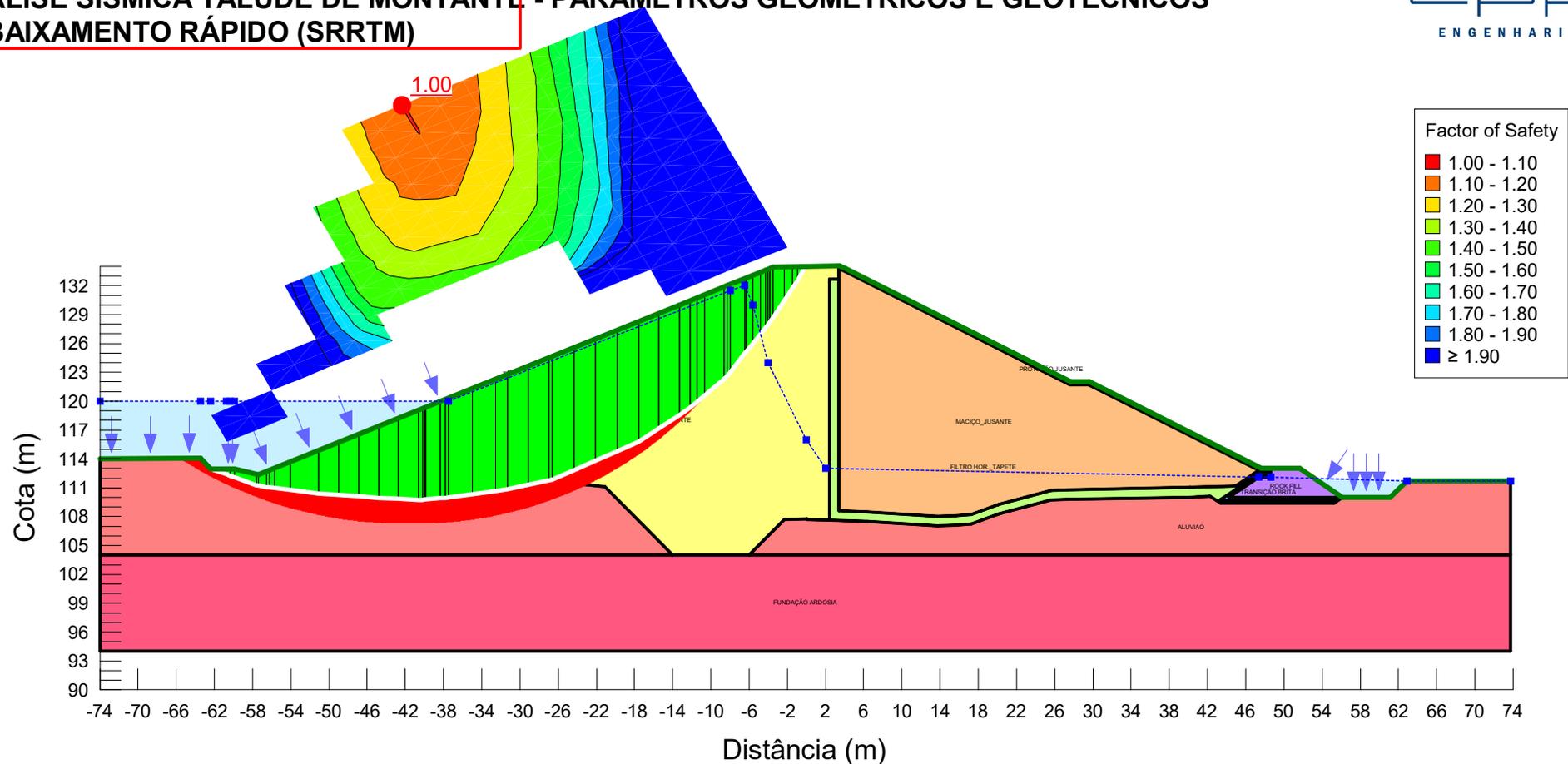
Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
 ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
 ANÁLISE SÍSMICA TALUDE DE MONTANTE - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS
 REBAIXAMENTO RÁPIDO (SRRTM)



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19 kN/m³
 Cohesion': 15 kPa
 Phi': 29 °
 Phi-B: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18.4 kN/m³
 Cohesion': 20 kPa
 Phi': 27 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Bedrock (Impenetrable)

Name: RIP RAP
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 30 °
 Phi-B: 0 °

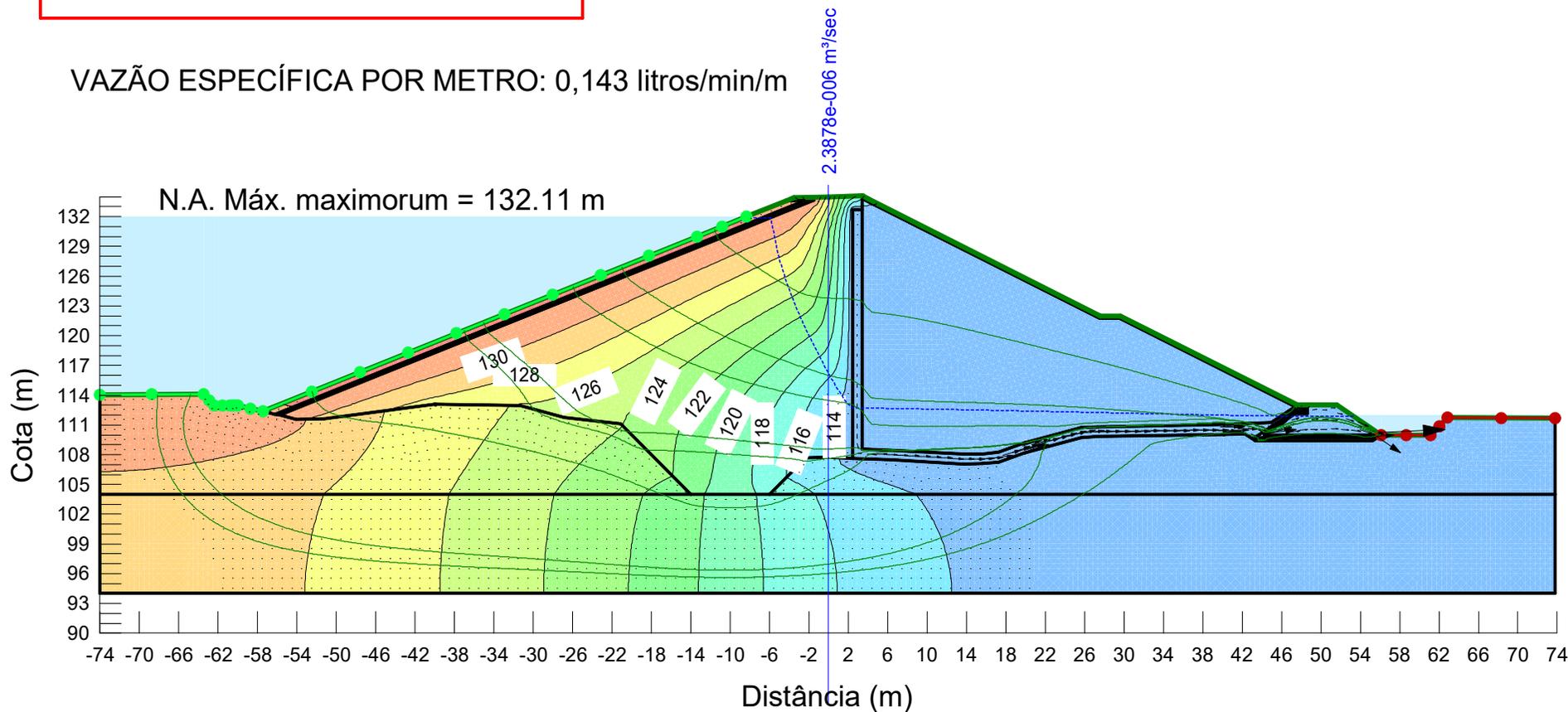
Name: PROTEÇÃO JUSANTE
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 35 °
 Phi-B: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21.5 kN/m³
 Cohesion': 0 kPa
 Phi': 40 °
 Phi-B: 0 °

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
ANTEPROJETO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - FRECHEIRINHA/CEARÁ
REDE DE FLUXO (CHEIA 10.000ANOS) - PARAMETROS GEOMÉTRICOS E GEOTÉCNICOS



VAZÃO ESPECÍFICA POR METRO: 0,143 litros/min/m



Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: MACIÇO
 Ky'/Kx' Ratio: 0.3
 Rotation: 0 °

Name: MACIÇO_MONTANTE
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: MACIÇO
 Ky'/Kx' Ratio: 0.3
 Rotation: 0 °

Name: FILTRO HOR._TAPETE
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: DRENO
 Ky'/Kx' Ratio: 1
 Rotation: 0 °

Name: FUNDAÇÃO ARDOSIA
 Model: Saturated Only
 Sat Kx: 5e-007 m/sec
 Ky'/Kx' Ratio: 1
 Rotation: 0 °

Name: RIP RAP
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: ENROCA
 Ky'/Kx' Ratio: 1
 Rotation: 0 °

Name: TRANSIÇÃO BRITA
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: DRENO
 Ky'/Kx' Ratio: 1
 Rotation: 0 °

Name: FILTRO VERTICAL
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: FILTRO
 Ky'/Kx' Ratio: 1
 Rotation: 0 °

Name: ALUVIAO
 Model: Saturated Only
 Sat Kx: 5e-007 m/sec
 Ky'/Kx' Ratio: 0.3
 Rotation: 0 °

Name: MACIÇO_JUSANTE
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: MACIÇO
 Ky'/Kx' Ratio: 0.3
 Rotation: 0 °

Name: ROCK FILL
 Model: Saturated / Unsaturated
 K-Function: ENROCA
 Ky'/Kx' Ratio: 1
 Rotation: 0 °



5.11 - COTA DO VOLUME MORTO

A cota do volume morto foi definida em 116,00 m (NA mínimo operacional) acumulando 2,849 hm³ correspondente a cerca 3,47% do volume máximo que é de 82,177 hm³, conforme Figura 3.1.

5.12 - TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 29+10,00 m do eixo barrrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 115,00 m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro $\phi=0,500\text{m}$ em aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 114,00 m. O corpo do tubo será envolvido em concreto estrutural (envelopamento). A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de 20,67 hm³/ano ou 0,655 m³/s (655 l/s – vazão regularizada com 95,00% de garantia).

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto armado, com grade de barra de ferro chato de malha #100mm x 100mm.

No lado de jusante será construída uma caixa de concreto armado com três células. Na primeira célula serão colocados os equipamentos hidromecânicos de controle da vazão que são constituídos de um registro de gaveta e uma válvula borboleta. As águas que passarem por esses equipamentos chegarão na segunda célula que tem a função de dissipar a energia cinética. Finalmente, a terceira célula é um tanque tranquilizador com uma saída que dispõe de vertedouro triangular isósceles que permite pela sua equação que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

Após a caixa de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com enrocamento com a finalidade de evitar erosões provocadas pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água.

A Barragem será operada entre os níveis de cota 131,00 m e 114,00 m, onde os volumes são de 82,177 hm³ que corresponde a 100,0% de capacidade e 1,035 hm³ que corresponde a 1,26% da capacidade, respectivamente.

As escavações obrigatórias atingirão as cotas que permite a implantação da tomada d'água de acordo com as cotas projetadas.

O trecho da tomada d'água a jusante do filtro vertical será todo envolvido por areia grossa do tapete drenante. Da mesma forma o dreno de pé no local da tomada d'água será construído envolvendo a galeria.

NO PROJETO EXECUTIVO SERÁ ESTUDADA A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA DESCARGA DE FUNDO PARA Esvaziar O RERSERVATÓRIO NO MENOR TEMPO POSSÍVEL.

5.12.1 - DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA

Considerando a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos (**Figura 5.7**). Considerando o nível mínimo de operação, cota 116,00 m, e a vazão a ser regularizada de 0,655m³/s (20,67 hm³/ano) com 90% de garantia, dimensiona-se o tubo para passar metade dessa vazão com velocidade de 2,0m/s.

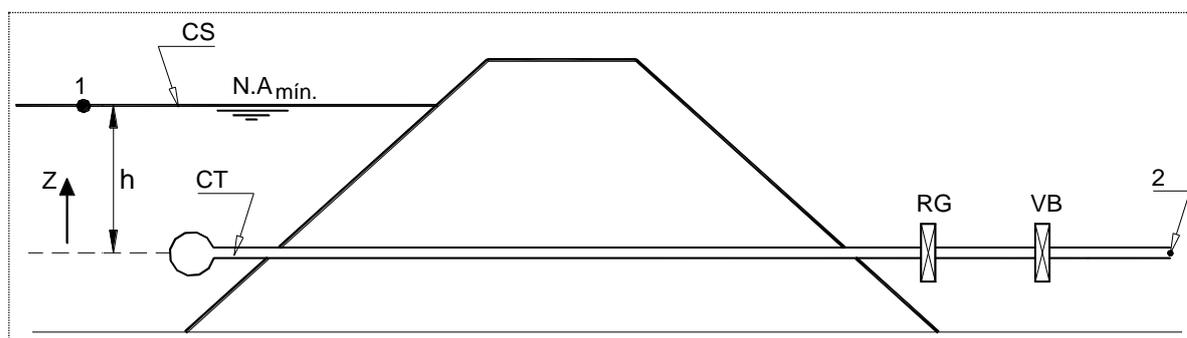


Figura 5.7 – Esquema Hidráulico da Galeria

$$Q = V \cdot S$$

$$S = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$



$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,3275}{\pi \times 2,0}} = 0,457m$$

Será adotado $D=500mm$.

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 0,50^2}{4} = 0,196$$

A velocidade para a vazão será:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,3275}{0,196} \cong 1,67m/s$$

Determinação das vazões e velocidade para as cotas de 131,00m a 114,00m com a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos.

Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + h + \frac{\overline{V_1^2}}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + 0 + \frac{\overline{V_2^2}}{2g} + h_f + h_L$$

tem-se:

$$P_1 = P_2 = P_{atm}$$

$$V_1 \cong 0$$

h_f = perda de carga por fricção

h_L = perda de carga localizada.

h_f é determinada pela expressão de Darcy-Weisbach dada por:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_L = \sum Ki \frac{V_2^2}{2g}$$

Ki = coeficiente de perda de carga localizada.

$$K_1 = \text{Grade} = 1,45$$



$$K_3 = \text{Válvula Borboleta} = 0,36$$

$$K_4 = \text{Registro de Gaveta} = 0,10$$

$$K_5 = \text{Saída} = 1,0$$

$$h_t = h_f + h_L$$

$$h_t = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \sum K_i \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_t = f \cdot \frac{120}{0,50} \cdot \frac{V_2^2}{19,62} + 2,91 \cdot \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_t = 12,23 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,15 \cdot V_2^2$$

Substituindo na equação de Bernoulli, obtém:

$$z = 0,15V_2^2 + 12,23fV_2^2$$

$$V_2 = \left[\frac{z}{(0,15 + 12,23f)} \right]^{1/2}$$

Tem-se a velocidade como função de f . O processo de resolução deste problema é pelo método da convergência. Atribui-se valor a f e determina-se V_2 . Com V_2 calcula f e determina-se novamente V_2 . O processo prossegue até a convergência.

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Onde:

Re = Número de Reynold

ν = Viscosidade Cinemética

Para a água a 30° tem-se:

$$\nu = 8,04 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$$



Do ábaco de Rugosidade Relativa x Diâmetro tem-se para a tubulação de $D=500\text{mm}$, $\frac{e}{D} = 0,00018$.

Para $z = 9,00\text{m}$, adotando $f = 0,03$, tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{9,00}{0,15 + 12,23 \times 0,03} \right]^{1/2} = 4,17\text{m/s}$$

Para $V_2 = 4,17\text{m/s}$

$$Re = \frac{4,17 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} = 2,58 \times 10^6$$

Para $Re = 2,58 \times 10^6$ e $\frac{e}{D} = 0,00018$

Do ábaco de Moody tira-se:

$$f = 0,0137$$

Para $f = 0,0137$ tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{9,00}{0,15 + 12,23 \times 0,0137} \right]^{1/2} = 5,32\text{m/s}$$

$$Re = \frac{5,32 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} = 3,30 \times 10^6$$

Para $Re = 3,30 \times 10^6$, tira-se $f = 0,0138$

Para $f = 0,0138$ tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{9,00}{0,15 + 12,23 \times 0,0138} \right]^{1/2} = 5,31\text{m/s}$$

$$Re = \frac{5,31 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} \therefore Re = 3,29 \times 10^6$$

Do Ábaco de Moody tira-se $f \cong 0,0138$ OK!

A vazão para a cota 123,00 (114,00 + 9,00) é $Q = 5,31 \times 0,196 = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (valor superior a vazão regularizada prevista).

Esse procedimento foi repetido da Cota 131,00m a 114,00m, obtendo-se o **Quadro 5.10:**

Quadro 5.7 – Curva-Chave da Tomada D'Água

Cota (m)	Vazão (m³/s)	V (m/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)	V (m/s)	Cota (m)	Vazão (m³/s)	V (m/s)
114,00	0,000	0,00	122,00	0,982	5,01	131,00	1,431	7,30
114,15	0,134	0,69	123,00	1,041	5,31			
115,00	0,347	1,77	124,00	1,098	5,60			
116,00	0,491	2,50	125,00	1,151	5,87			
117,00	0,601	3,07	126,00	1,203	6,14			
118,00	0,694	3,54	127,00	1,252	6,39			
119,00	0,776	3,96	128,00	1,299	6,63			
120,00	0,850	4,34	129,00	1,344	6,86			
121,00	0,918	4,69	130,00	1,389	7,08			

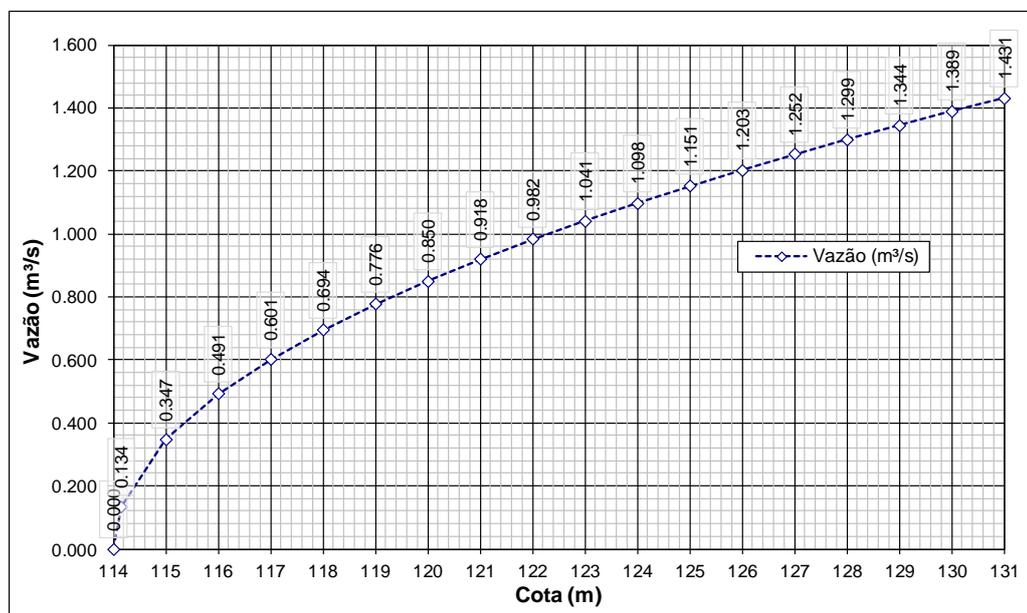


Figura 5.8 – Gráfico Cota X Vazão

5.13 - DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

O vertedouro da Barragem Frecheirinha foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local, o qual estará localizado na ombreira direita, afastado cerca de 470m do maciço da barragem.

O eixo longitudinal do canal vertedouro possui uma extensão de 509,49 m, estando estaqueado de 20 em 20 metros. As estacas estão nomeadas em metros.

O canal de aproximação do vertedouro será escavado na cota 129,00 m, com largura de base de 60,00 m, com muro vertical na cota 134,00 m (mesma cota do coroamento da barragem) no entorno do creager que tem crista na cota 131,00 m. O canal de restituição do vertedouro preserva a mesma largura, é revestido com laje em concreto armado e muro que tem altura variável até o final.

A metodologia utilizada para o cálculo dos parâmetros geométricos da seção do vertedouro é apresentada conforme os elementos da Figura 5.9 a seguir (Design of Small Dams-USBR):

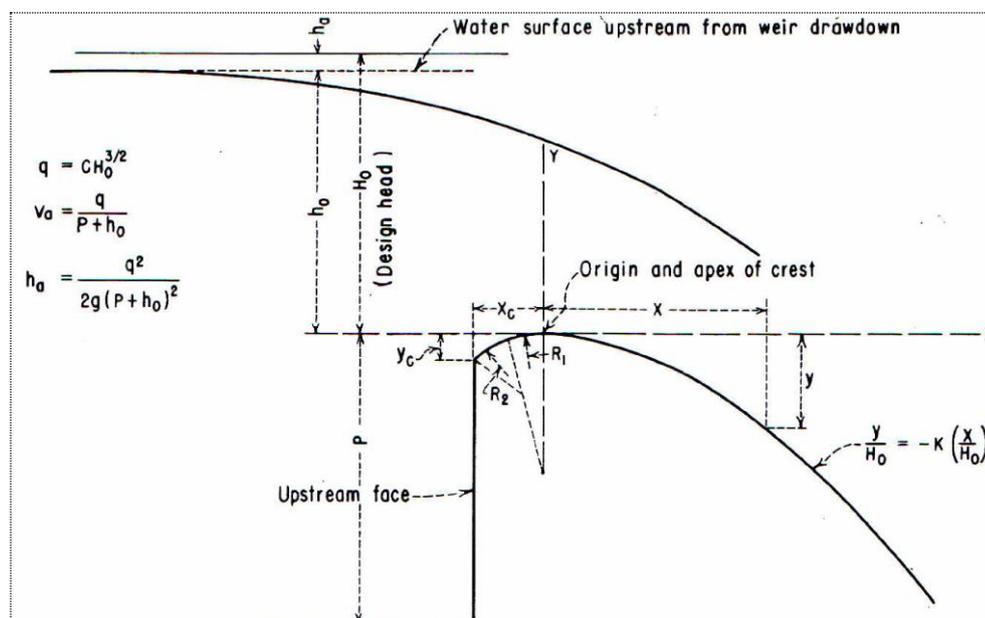


Figura 5.9 – Cálculo dos Parâmetros Geométricos do Creager (USBR)

5.13.1 - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DESCARGAS

$q = Q/L$ (Q: vazão e L: largura do vertedouro)

Vazão específica de projeto: $q = 2,457 \text{ m}^3/\text{s.m}$ (cheia decamilenar)

$Q = C_m \times LH^{3/2} \Rightarrow C_m = \sqrt{0,3048} \times C_o$, transformação do coeficiente para o sistema métrico.

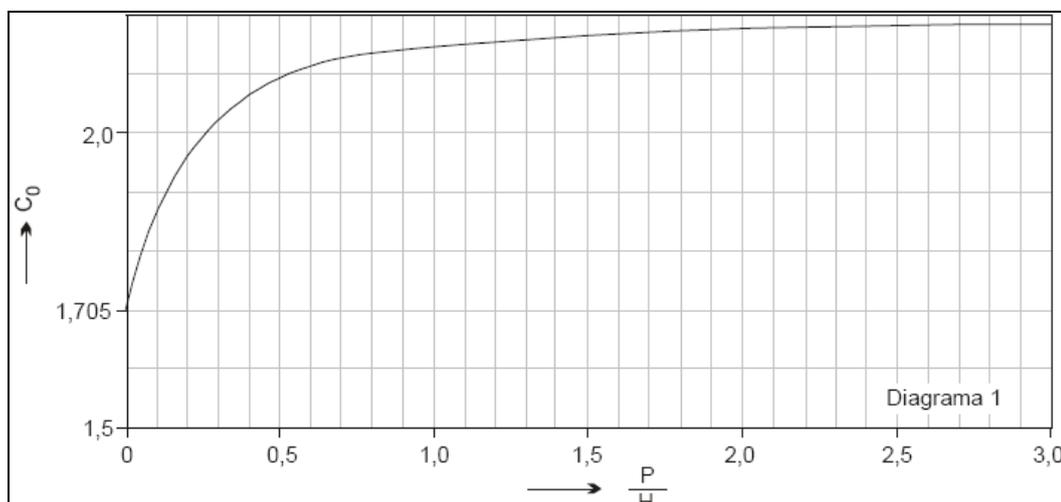


Figura 5.10 – Gráfico com Coeficiente de Descarga (C0) no Sistema Métrico

(Retirado da Figura 9.23, Pág. 370 do *Design of Small Dams-USB*)

$$\frac{P}{H} = \frac{2,0}{1,11} = 1,80 \Rightarrow C_o = 2,175 \text{ } \left(\text{ADOTADO} \Rightarrow C_o = 2,10 \right) \rightarrow a$$

adoção deste valor mais conservador, corresponde a uma redução de 3,45% na vazão calculada.

5.13.2 - CÁLCULO DA PERDA DE CARGA NO CANAL DE APROXIMAÇÃO

$$L = L' - 2(n.K_p + K_a) \cdot H$$

Onde:

L = Largura efetiva (m)

L' = Largura efetiva (L' = 60,00m)

n = número de pilares

K_p = coeficiente de forma, localização e esbeltez do pilar;

K_a = coeficiente de geometria da aproximação e ângulo formado entre o muro de aproximação e o escoamento;



H = carga sobre a soleira.

Como não existem pilares na estrutura, $n=0$. Logo a equação da largura efetiva fica igual a:

$$L = L' - 2 \cdot K_a \cdot H$$

Considerando K_a igual a 0,20, conforme critérios estabelecidos no *Design of Small Dams-USBR, Página 368*, têm-se:

$$L = 60,00 - 2 \cdot 0,20 \cdot 1,11 \rightarrow \underline{L = 59,56m}$$

Ou seja, uma perda de carga no canal de aproximação de **0,47m** (ou 0,78%), relativamente pequena e minimizada pelo coeficiente de escoamento real da soleira calculado anteriormente, além da folga para cheia decamilenar ser de 1,89m, ou seja, 1,39m superior à folga mínima comumente utiliza, que é de 0,50m.

5.13.3 - CHEIAS MILENAR E DECAMILENAR

Quadro 5.8 – Cheias Milenar e Decamilenar

Cheia	Milenar	Decamilenar
Largura do Vertedouro Creager	L=60m	
Cheia Afluente	912,21 m ³ /s	1.118,10 m ³ /s
Cheia Efluente	111,96 m ³ /s	147,42 m ³ /s
Cota da Soleira do Vertedouro	131,00 m	131,00 m
Cota de Fundo do Canal de Aproximação	129,00 m	129,00 m
Cota operacional	131,92 m	132,11 m
Lâmina	0,92 m	1,11 m
Amortecimento	87,7%	86,8%

5.13.4 - VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO (VA)/CARGA CINÉTICA (HA)

$$P + H_o = (P + h_o) + h_a, \quad \text{onde : } h_a = v_a^2 / 2g$$

$$\text{mas, } v_a = Q/A = Q / L(P+h_o) = qL / L (P + h_o)$$

$$v_a = q / P+h_o, \quad \text{logo}$$

$$h_a = q^2 / 2g(P+h_o)^2$$

Dados:



$$P = 2 \text{ m}$$

$$H_o = 1.11 \text{ m}$$

$$q = Q/L = 2.457 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$$

Arbitrando-se valores a h_o , define-se a igualdade de (I)

$$(P+H_o) = 3.11 \text{ m}$$

Quadro 5.9 – Parâmetro de Cálculo do Creager

Interações	ha (m)	q (m ³ /s/m)	P (m)	h0 (m)	Va (m/s)	P+h0 (m)	H0 (m)
1	0,034	2,457	2,000	1,000	0,819	3,000	1,034
2	0,034	2,457	2,000	1,010	0,816	3,010	1,044
3	0,034	2,457	2,000	1,020	0,814	3,020	1,054
4	0,034	2,457	2,000	1,030	0,811	3,030	1,064
5	0,033	2,457	2,000	1,040	0,808	3,040	1,073
6	0,033	2,457	2,000	1,050	0,806	3,050	1,083
7	0,033	2,457	2,000	1,060	0,803	3,060	1,093
8	0,033	2,457	2,000	1,070	0,800	3,070	1,103
9	0,032	2,457	2,000	1,080	0,798	3,080	1,112
10	0,032	2,457	2,000	1,090	0,795	3,090	1,122
11	0,032	2,457	2,000	1,100	0,793	3,100	1,132
12	0,032	2,457	2,000	1,110	0,790	3,110	1,142
13	0,032	2,457	2,000	1,120	0,788	3,120	1,152
14	0,031	2,457	2,000	1,130	0,785	3,130	1,161
15	0,031	2,457	2,000	1,140	0,782	3,140	1,171
16	0,031	2,457	2,000	1,150	0,780	3,150	1,181
17	0,031	2,457	2,000	1,160	0,778	3,160	1,191
18	0,031	2,457	2,000	1,170	0,775	3,170	1,201

Resultados:

$$va = 0,798 \text{ m/s}$$

$$ha = 0,032 \text{ m}$$

$$ho = 1,08 \text{ m}$$

5.13.5 - PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DE ENTRADA NOS ÁBACOS

ha/Ho= **0,029**

Inclinação da face de montante: **Vertical**

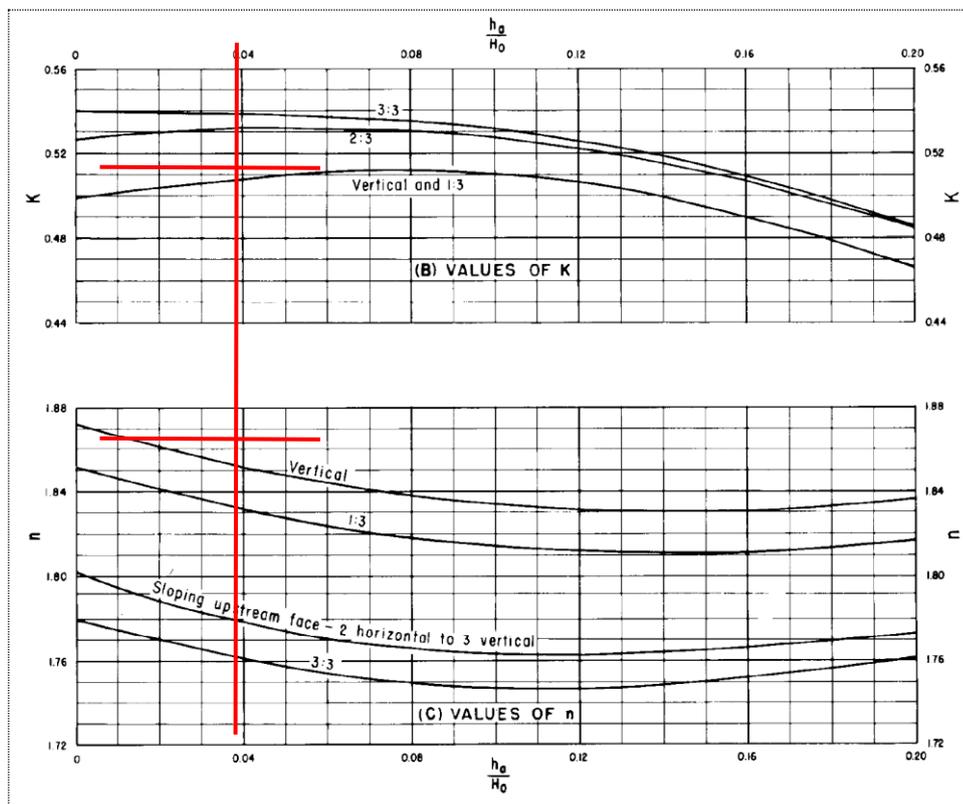


Figura 5.11 – Parâmetro Geométricos K e n de Cálculo do Creager

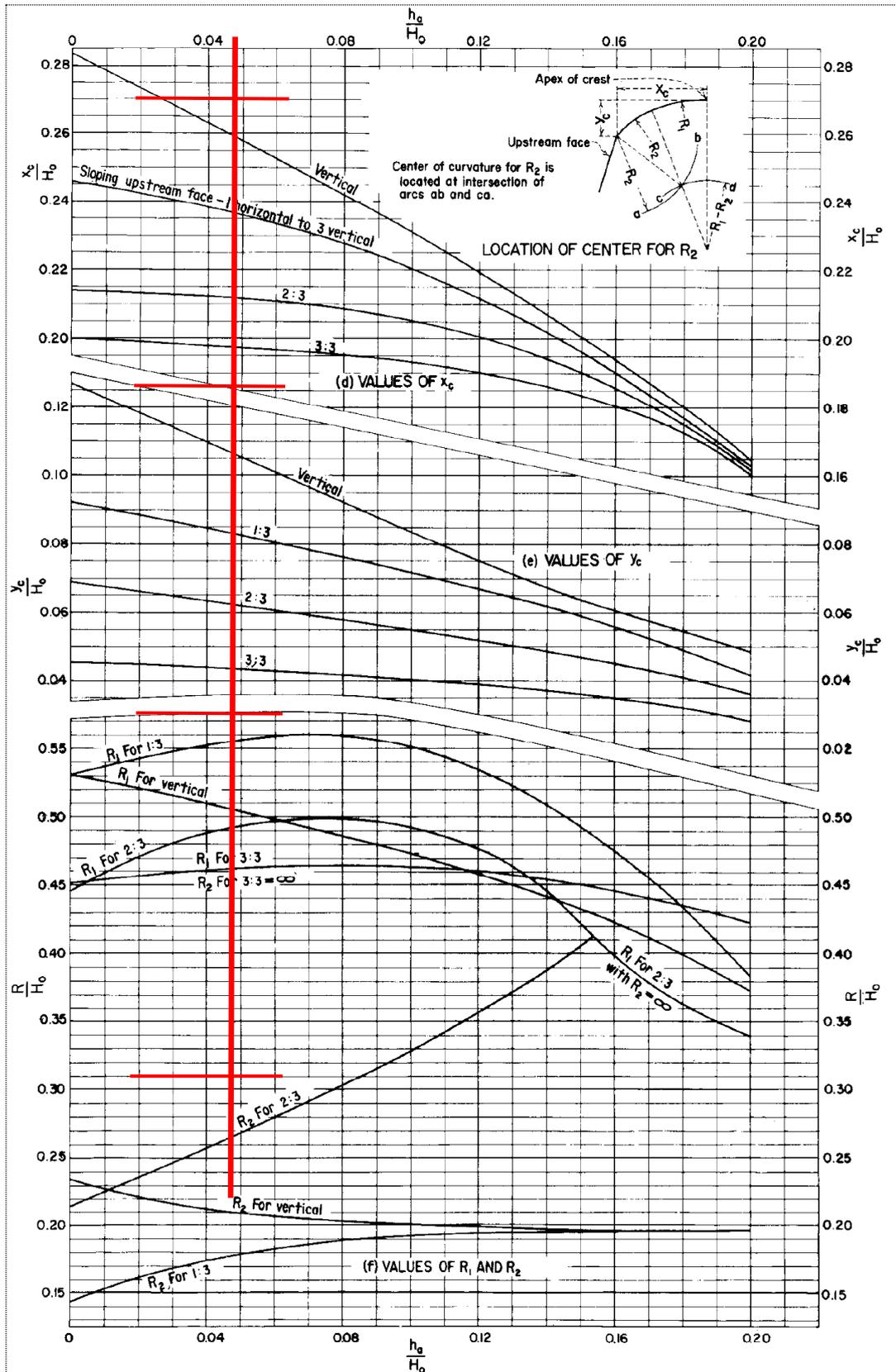


Figura 5.12 – Parâmetro Geométricos X_c , Y_c , R_1 e R_2 de Cálculo do Creager



Coeficientes de saída dos ábacos

$$X_c/H_o = 0,268$$

$$Y_c/H_o = 0,114$$

$$R_1/H_o = 0,513$$

$$R_2/H_o = 0,213$$

$$k = 0,505$$

$$n = 1,856$$

5.13.6 - COORDENADAS DO PONTO C

$$X_c = 0,298 \text{ m}; \quad Y_c = 0,127 \text{ m}$$

5.13.7 - RAIOS DOS CÍRCULOS A MONTANTE DA CRISTA

$$R_1 = 0,571 \text{ m} \quad ; \quad R_2 = 0,237 \text{ m}$$

Sendo a exponencial de jusante definida pela expressão:

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

Esta torna-se:

$$Y = -0,461 (X)^{1,856} \quad \text{(I)}$$

Determinação do ponto **T** - interseção Exponencial/Reta

Arbitrar o coeficiente angular da reta entre **T** e **B**

$$dX/dY = 1,4$$

Derivar a equação da exponencial entre **O** e **T**, equação (I)

$$dY/dX = -0,856 (X)^{0,856} \quad \text{(II)}$$

Declividade da reta

$$dY/dX = -1/1,4 \quad \text{(III)}$$

Igualando-se (II) e (III), tem-se :

$$\mathbf{X_t = 0,809 \text{ m}}$$



que substituindo em (I) , resulta

$$Y_t = -0,311 \text{ m}$$

O ponto T (X_t ; Y_t) é o final da soleira propriamente dita, perfil Creager, em forma de ogiva.

5.13.8 - PONTO DE ORIGEM DA CURVA CIRCULAR – PONTO B

Ponto de origem da curva circular na junção base do muro/ fundo do canal - ponto **B**

Equação da reta

$$X - X_t = dY/dX (Y - Y_t)$$

$$X = -1,4 Y + 1,244 \quad \text{(VI)}$$

Raio mínimo da curva reversa

$$R > 0,3048(10)^x , \text{ onde :}$$

$$x = \frac{3,291 \pm (v + 6,4H) + 16}{11,85H + 64}$$

Sendo

$$H = 1,34 \text{ m (Topo da soleira - Superfície da água dentro do canal)}$$

$$v = (2gH)^{1/2} = 5,13 \text{ m/s}$$

$$x = 0,765$$

$$R , 1,774 \text{ m } \mathbf{R_{ADOTADO} = 3 \text{ m}}$$

Quadro 5.10 – Coordenadas da soleira do vertedouro

X	Y	Pontos	Cota (m)
-0,298	-2,000	PÉ	129,000
-0,298	-0,127	Ponto C	130,873
0,000	0,000	0	131,000
0,100	-0,006	1	130,994
0,200	-0,023	2	130,977
0,300	-0,049	3	130,951
0,400	-0,084	4	130,916
0,500	-0,127	5	130,873
0,600	-0,179	6	130,821
0,800	-0,305	7	130,695
1,000	-0,461	8	130,539
1,200	-0,647	9	130,353
1,500	-0,978	10	130,022
1,800	-1,372	11	129,628
2,100	-1,827	12	129,173

Para a concordância da soleira de jusante com o canal de restituição foi definida uma curva circular de raio R igual a 3,00m, definida a partir da cota 126,04 até a cota 125,00, com uma projeção horizontal de 1,62m.

5.13.9 - DO CANAL DE APROXIMAÇÃO

O Canal de Aproximação deve ser construído em seção trapezoidal escavada em rocha com fundo horizontal na cota (129,00) e uma largura de 60m com taludes laterais inclinado (H:V) 1,5:1.

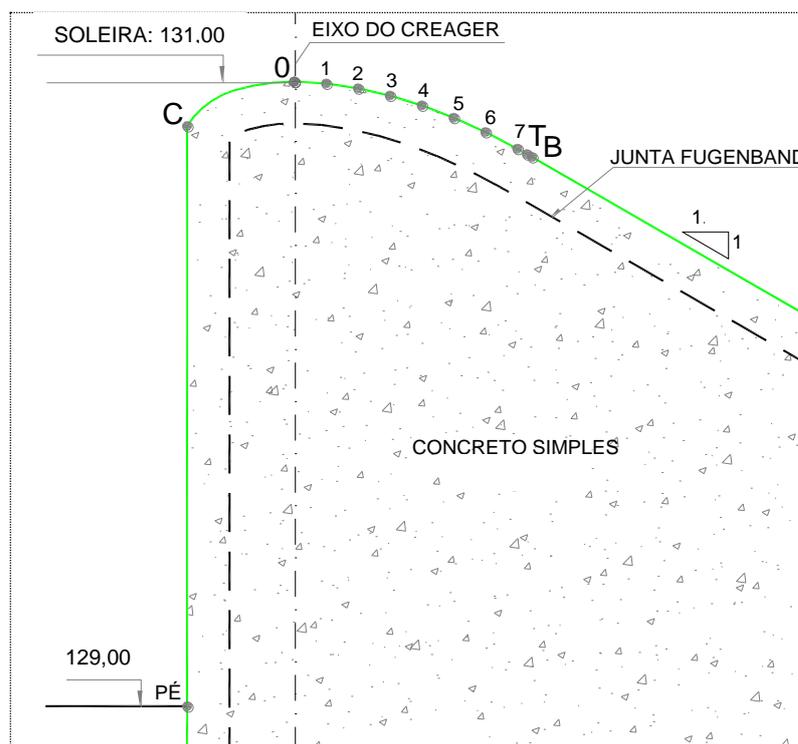


Figura 5.13 – Coordenadas dos Pontos do Perfil Creager

5.13.10 - CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO CANAL RÁPIDO

Este canal se inicia na cota (125,00), estende-se por 169,00m, com declividade igual a 10,00% e termina na cota (108,06m), com largura constante igual a 60,00m. O final do Canal de Descarga coincide com o início da Bacia de Dissipação.

No Canal de Descarga, para a vazão efluente decamilar de 147,42 m³/s, estabelece-se um escoamento do tipo supercrítico. Para o cálculo da linha d'água deste escoamento procedeu-se à construção da curva de remanso estabelecida, de montante para jusante, dada a natureza do escoamento.

Os cálculos, conforme demonstrados nos quadros a seguir, foram realizados para Coeficiente de Manning $n = 0,015$. As alturas iniciais foram calculadas para Equação da Continuidade a partir das vazões e das alturas de vertimento.

O **Quadro 5.12** mostra o cálculo da linha d'água e linha de energia, além das cotas dos NA's para a vazão decamilenar igual a 147,42m³/s. A **Figura 5.11** apresenta o gráfico com os perfis das linhas d'água e de energia.

Quadro 5.11 – Cálculo da Curva de Remanso do Canal Rápido

n		I_0 (m/m)	Q (m ³ /s)	b (m)	Z	y (m)	$y_{inicial}$ (m)																
0,015		0,1000	147,42	0,00	0,00	-0,005	0,50	y (m)	y_{med} (m)	A (m ²)	E (m)	ΔE (m)	Rh (m)	$A \cdot Rh^{(2/3)}$	lf (m/m)	Δx (m)	V (m/s)	Fr (m/s)	x (m)	y (m)	Cota Fundo (m)	Cota NA (m)	Cota Energia (m)
0,50		30,00	1,732																0,00	0,50	125,00	125,50	126,73
0,50	0,4975	29,70	1,752	0,02001	0,489	18,54	0,01423	0,23	4,96	2,25	0,23	0,50	124,98	125,48	126,73								
0,49	0,4925	29,40	1,773	0,02078	0,485	18,23	0,01471	0,24	5,01	2,29	0,48	0,49	124,95	125,44	126,72								
0,49	0,4875	29,10	1,794	0,02159	0,480	17,92	0,01522	0,25	5,07	2,32	0,73	0,49	124,93	125,42	126,72								
0,48	0,4825	28,80	1,817	0,02242	0,475	17,62	0,01575	0,27	5,12	2,36	1,00	0,48	124,90	125,38	126,72								
0,48	0,4775	28,50	1,840	0,02329	0,470	17,32	0,01630	0,28	5,17	2,40	1,28	0,48	124,87	125,35	126,71								
0,47	0,4725	28,20	1,864	0,02420	0,465	17,02	0,01688	0,29	5,23	2,43	1,57	0,47	124,84	125,31	126,70								
0,47	0,4675	27,90	1,889	0,02515	0,460	16,72	0,01749	0,30	5,28	2,47	1,87	0,47	124,81	125,28	126,70								
0,46	0,4625	27,60	1,916	0,02613	0,455	16,43	0,01812	0,32	5,34	2,51	2,19	0,46	124,78	125,24	126,70								
0,46	0,4575	27,30	1,943	0,02717	0,451	16,13	0,01878	0,33	5,40	2,56	2,53	0,46	124,75	125,21	126,69								
0,45	0,4525	27,00	1,971	0,02824	0,446	15,84	0,01948	0,35	5,46	2,60	2,88	0,45	124,71	125,16	126,68								
0,45	0,4475	26,70	2,000	0,02937	0,441	15,55	0,02021	0,37	5,52	2,64	3,24	0,45	124,68	125,13	126,68								
0,44	0,4425	26,40	2,031	0,03055	0,436	15,27	0,02098	0,39	5,58	2,69	3,63	0,44	124,64	125,08	126,67								
0,44	0,4375	26,10	2,063	0,03178	0,431	14,98	0,02178	0,41	5,65	2,73	4,04	0,44	124,60	125,04	126,66								
0,43	0,4325	25,80	2,096	0,03307	0,426	14,70	0,02263	0,43	5,71	2,78	4,46	0,43	124,55	124,98	126,65								
0,43	0,4275	25,50	2,130	0,03443	0,421	14,42	0,02352	0,45	5,78	2,83	4,92	0,43	124,51	124,94	126,64								
0,42	0,4225	25,20	2,166	0,03584	0,417	14,14	0,02445	0,47	5,85	2,88	5,39	0,42	124,46	124,88	126,63								
0,42	0,4175	24,90	2,203	0,03733	0,412	13,86	0,02544	0,50	5,92	2,93	5,89	0,42	124,41	124,83	126,61								
0,41	0,4125	24,60	2,242	0,03888	0,407	13,59	0,02647	0,53	5,99	2,99	6,42	0,41	124,36	124,77	126,60								
0,41	0,4075	24,30	2,283	0,04052	0,402	13,32	0,02757	0,56	6,07	3,04	6,98	0,41	124,30	124,71	126,58								
0,40	0,4025	24,00	2,325	0,04224	0,397	13,05	0,02872	0,59	6,14	3,10	7,57	0,40	124,24	124,64	126,57								
0,40	0,3975	23,70	2,369	0,04404	0,392	12,78	0,02993	0,63	6,22	3,16	8,20	0,40	124,18	124,58	126,55								
0,39	0,3925	23,40	2,415	0,04594	0,387	12,52	0,03122	0,67	6,30	3,22	8,87	0,39	124,11	124,50	126,53								
0,39	0,3875	23,10	2,463	0,04794	0,383	12,25	0,03257	0,71	6,38	3,28	9,58	0,39	124,04	124,43	126,50								
0,38	0,3825	22,80	2,513	0,05004	0,378	11,99	0,03401	0,76	6,47	3,35	10,34	0,38	123,97	124,35	126,48								
0,38	0,3775	22,50	2,565	0,05226	0,373	11,73	0,03552	0,81	6,55	3,42	11,15	0,38	123,89	124,27	126,46								
0,37	0,3725	22,20	2,620	0,05460	0,368	11,48	0,03713	0,87	6,64	3,49	12,02	0,37	123,80	124,17	126,42								
0,37	0,3675	21,90	2,677	0,05706	0,363	11,22	0,03883	0,93	6,73	3,56	12,95	0,37	123,71	124,08	126,39								
0,36	0,3625	21,60	2,737	0,05967	0,358	10,97	0,04064	1,01	6,83	3,63	13,95	0,36	123,60	123,96	126,34								
0,36	0,3575	21,30	2,799	0,06242	0,353	10,72	0,04255	1,09	6,92	3,71	15,04	0,36	123,50	123,86	126,30								
0,35	0,3525	21,00	2,864	0,06533	0,348	10,47	0,04459	1,18	7,02	3,79	16,22	0,35	123,38	123,73	126,24								
0,35	0,3475	20,70	2,933	0,06841	0,344	10,23	0,04675	1,28	7,12	3,87	17,50	0,35	123,25	123,60	126,18								
0,34	0,3425	20,40	3,004	0,07167	0,339	9,98	0,04906	1,41	7,23	3,96	18,91	0,34	123,11	123,45	126,11								
0,34	0,3375	20,10	3,080	0,07513	0,334	9,74	0,05151	1,55	7,33	4,05	20,46	0,34	122,95	123,29	126,03								
0,33	0,3325	19,80	3,158	0,07880	0,329	9,50	0,05413	1,72	7,45	4,14	22,18	0,33	122,78	123,11	125,94								
0,33	0,3275	19,50	3,241	0,08269	0,324	9,27	0,05692	1,92	7,56	4,23	24,10	0,33	122,59	122,92	125,83								

		n	I _o (m/m)	Q (m ³ /s)	b (m)	Z	y (m)	Y _{inicial} (m)							
		0,015	0,1000	147,42	0,00	0,00	-0,005	0,50							
y (m)	y _{med} (m)	A (m ²)	E (m)	ΔE (m)	Rh (m)	A*Rh ^(2/3)	If (m/m)	Δx (m)	V (m/s)	Fr (m/s)	x (m)	y (m)	Cota Fundo (m)	Cota NA (m)	Cota Energia (m)
0,32	0,3225	19,20	3,328	0,08684	0,319	9,04	0,05990	2,17	7,68	4,33	26,26	0,32	122,37	122,69	125,70
0,32	0,3175	18,90	3,419	0,09124	0,314	8,80	0,06309	2,47	7,80	4,44	28,73	0,32	122,13	122,45	125,55
0,31	0,3125	18,60	3,515	0,09594	0,309	8,58	0,06650	2,86	7,93	4,54	31,60	0,31	121,84	122,15	125,36
0,31	0,3075	18,30	3,616	0,10094	0,304	8,35	0,07016	3,38	8,06	4,66	34,98	0,31	121,50	121,81	125,12
0,30	0,3025	18,00	3,722	0,10629	0,299	8,12	0,07408	4,10	8,19	4,77	39,08	0,30	121,09	121,39	124,81
0,30	0,2975	17,70	3,834	0,11199	0,295	7,90	0,07830	5,16	8,33	4,90	44,24	0,30	120,58	120,88	124,41
0,29	0,2925	17,40	3,952	0,11809	0,290	7,68	0,08283	6,88	8,47	5,02	51,12	0,29	119,89	120,18	123,84
0,29	0,2875	17,10	4,077	0,12463	0,285	7,47	0,08771	10,14	8,62	5,16	61,26	0,29	118,87	119,16	122,95
0,28	0,2825	16,80	4,209	0,13164	0,280	7,25	0,09297	18,73	8,78	5,29	80,00	0,28	117,00	117,28	121,21
0,28	0,2775	16,50	4,348	0,13916	0,275	7,04	0,09865	103,38	8,93	5,44	183,38	0,28	106,66	106,94	111,01

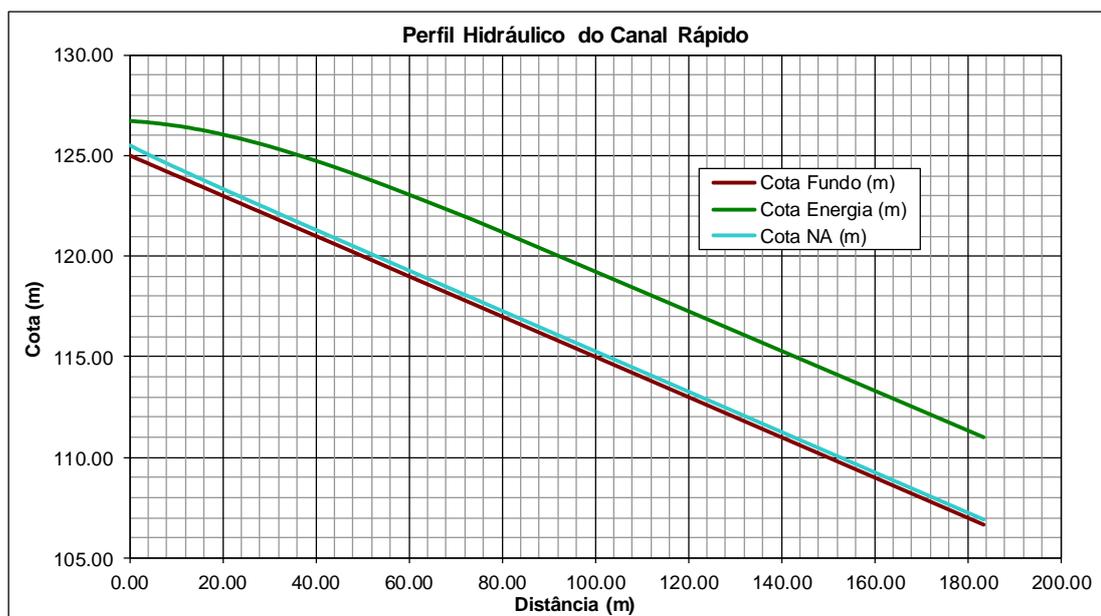


Figura 5.14 – Perfil Hidráulico do Canal de Descarga para $Q= 987,39 \text{ m}^3/\text{s}$

5.13.11 - DA BACIA DE DISSIPACÃO

Com base na curva-chave do rio Caiçara, calculada no item anterior, no final do canal do vertedouro prevê-se a execução de uma bacia de dissipação de modo a assegurar que no trecho de restituição das vazões a jusante - que será mantido nas condições naturais, provavelmente num nível superficial composto por formações aluvionares - as velocidades de circulação sejam moderadas.

A dissipação de energia será feita através da bacia de dissipação por ressalto hidráulico, com extensão de 30,05m e fundo à cota 108,06 m.

A altura da entrada (y_1) na Bacia de Dissipação e a respectiva altura conjugada (y_2) do ressalto hidráulico que se forma, foram:

- $Q = 147,42 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Largura = 60,00 m
 - $n = 0,015 \rightarrow y_1 = 0,28\text{m}$ e $y_2 = 1,96\text{m}$

Parâmetros Hidráulicos:

Profundidade jusante Y_2 (m)	1.96
Perda de carga (m)	2.16
Comprimento do ressalto (m)	11.6
Velocidade a montante (m/s)	8.78
Velocidade a jusante (m/s)	1.25
Núm. de Froude a montante	5.29
Núm. de Froude a jusante	0.29
Profundidade crítica (m)	0.85

Figura 5.15 – Parâmetros de Cálculo da Bacia de Dissipação e Ressalto Hidráulicos

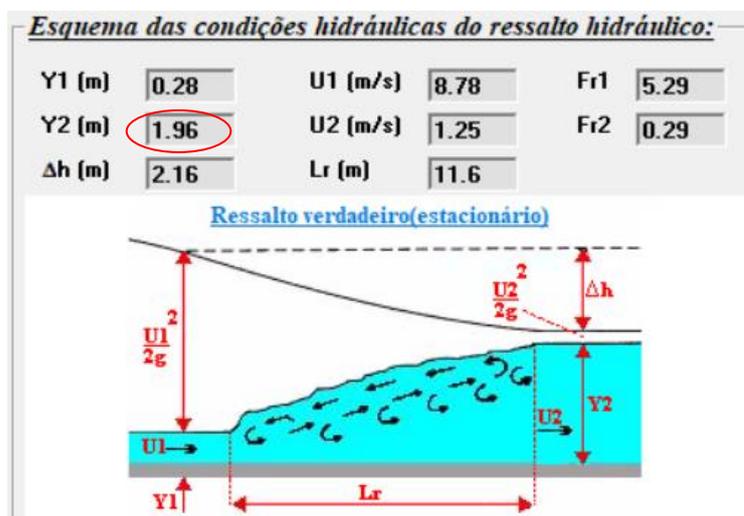


Figura 5.16 – Resultados dos Cálculo da Bacia de Dissipação e Ressalto Hidráulico

Para definição da cota da bacia de dissipação foi utilizada a metodologia descrita no Livro Design Of Small Dams do Bureal Of Reclamation dos Estados Unidos da América, a qual consiste na camporação de curvas de vazões por alturas

(cotas) conjugadas (2), elaboradas a partir de cotas fixadas na bacia e finalmente comparadas à curva-chave do rio. (VER CURVA-CHAVE DO RIO CAIÇARA EM ANEXO)

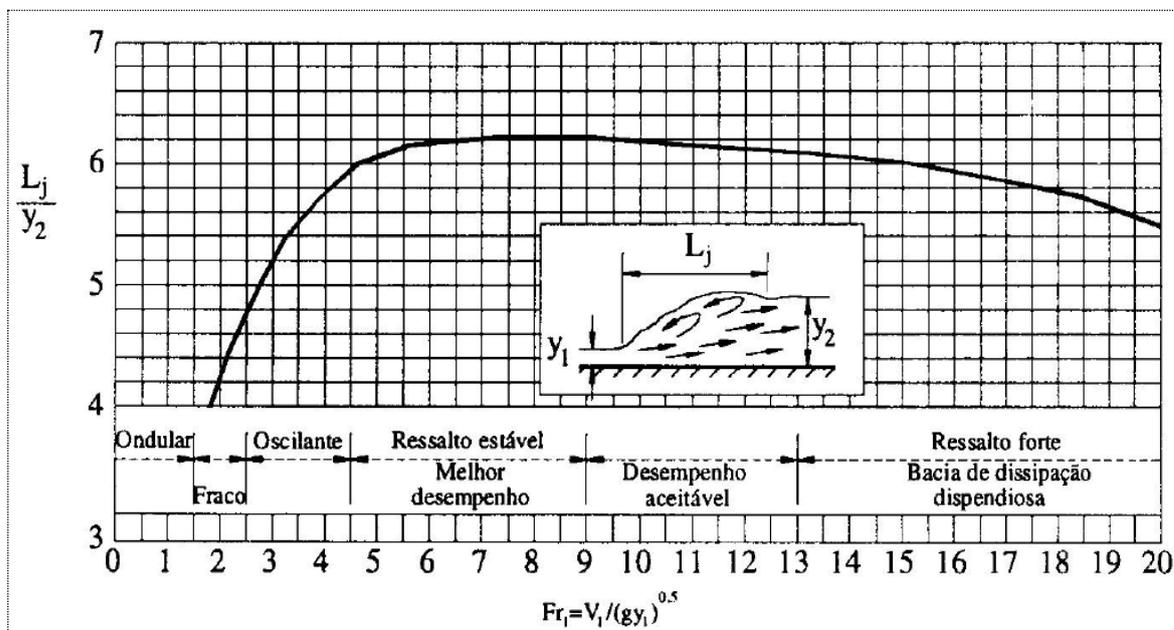


Figura 5.17 – Ábaco Para Cálculo da Bacia de Dissipação e Ressonância Hidráulica (USBR)

Do ábaco acima é possível calcular o comprimento do ressalto em função do número de Froude para seções retangulares.

$$L_j / Y_2 = 6,05 \rightarrow L_j = 6,05 \times 1,96 = 11,86 \text{ m}$$

Finalmente, adotou-se o comprimento da bacia de dissipação igual a 30,00m, projetada em concreto armado, com um “end sill” (soleira de saída) com altura igual a 0,50m.

Na saída da bacia de dissipação está prevista enrocamento para evitar erosões regressivas no pé da bacia. Este enrocamento tem espessura de 1,00m numa extensão de 17,00 m.

5.13.12 - VERIFICAÇÃO DA ALTURA DOS MUROS LATERAIS DA BACIA DE DISSIPAÇÃO E RÁPIDO

Para a Bacia de Dissipação recomenda-se adotar o critério de considerar uma folga de, pelo menos, 0,50 m em relação ao nível d’água máximo a jusante



correspondente à vazão decamilenar. Desta forma sugere-se considerar o topo do muro na cota 147,42 m.

Já para o rápido recomenda-se utilizar borda livre preconizada pelo U.S. Bureau of Reclamation, expressa pela fórmula abaixo em unidades métricas:

$$\text{Freeboard} = 0,61 + 0,0371 \cdot V \cdot H^{1/3}$$

Onde V é velocidade do fluxo e H o tirante hidráulico correspondente.

Para o caso da chegada do rápido na bacia tem-se $V = 8,93 \text{ m/s}$ e $H = 0,28 \text{ m}$, correspondendo a um Freeboard de cerca de 2,72 m (altura do muro adotado igual a 1,00 m, ou seja, o Freeboard é igual a 0,72m). Nesse caso deverá ser feita a concordância entre as elevações do muro na bacia de dissipação e na chegada do rápido adotando-se a maior cota.

5.13.13 - DIMENSIONAMENTO DOS CHUMBADORES

Para o dimensionamento dos chumbadores foi considerado a água no nível normal, ou seja, cota 131,00 e saturação do maciço de jusante.

A carga máxima é de $3,0 \text{ tf/m}^2$. A malha entre os chumbadores é de 2,0m x 2,0m, portanto, a carga máxima no chumbador é de $15,00 \text{ tf}$.

A capacidade do chumbador é dada pela expressão:

$F = \pi \times D_d \times L_s \times [C' + (\gamma \times h + \Delta P) \times tg\phi]$, conhecida como fórmula brasileira de (Nunes 1987).

F = capacidade de carga do Bulbo;

D_d = diâmetro da escavação = 0,10m

L_s = comprimento do bulbo = 5,50m

C' = adesão entre calda e solo, tomada igual à coesão efetiva do solo =

10tf/m²



γ = massa específica do terreno = 1,8tf/m³

h = profundidade do centro do bulbo = 2,75m

ΔP = parcela de aumento de pressão normal devido à pressão residual de
injeção no caso de chumbadores $\Delta P = 0,0$

φ = ângulo de atrito real do solo = 38°

Aplicando na expressão, temos:

$$F = \pi \times 0,10 \times 5,50 \times [10 + 1,80 \times 2,75 \times \text{tg}38^\circ]$$

$$F = 23,96 \Rightarrow OK!$$



6 - QUANTITATIVOS DO PROJETO



6 - QUANTITATIVOS DO PROJETO

No intuito de compor o orçamento para execução da obra, foram levantadas todas as quantidades necessárias à execução da obra. Estas quantidades foram determinadas a partir dos desenhos do projeto. Apresentamos a seguir as planilhas com o resumo e o cálculo de quantidades, e as planilhas com o cálculo de movimento de terra, proteção com brita, pedra e outros.

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - LIMPEZA

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	40.740	407.400	407.400
3+0.00	60.00	68.842	1095.820	1503.220
4+0.00	80.00	158.001	2268.430	3771.650
5+0.00	100.00	501.818	6598.190	10369.840
6+0.00	120.00	603.599	11054.170	21424.010
7+0.00	140.00	725.810	13294.090	34718.100
8+0.00	160.00	694.415	14202.250	48920.350
9+0.00	180.00	481.430	11758.450	60678.800
10+0.00	200.00	615.132	10965.620	71644.420
11+0.00	220.00	726.774	13419.060	85063.480
12+0.00	240.00	799.613	15263.870	100327.350
13+0.00	260.00	508.370	13079.830	113407.180
14+0.00	280.00	574.446	10828.160	124235.340
15+0.00	300.00	403.801	9782.470	134017.810
16+0.00	320.00	256.469	6602.700	140620.510
17+0.00	340.00	182.923	4393.920	145014.430
18+0.00	360.00	210.037	3929.600	148944.030
19+0.00	380.00	484.205	6942.420	155886.450
20+0.00	400.00	536.029	10202.340	166088.790
21+0.00	420.00	511.817	10478.460	176567.250
22+0.00	440.00	490.288	10021.050	186588.300
23+0.00	460.00	466.244	9565.320	196153.620
24+0.00	480.00	393.614	8598.580	204752.200
25+0.00	500.00	199.575	5931.890	210684.090
26+0.00	520.00	239.092	4386.670	215070.760
27+0.00	540.00	276.877	5159.690	220230.450
28+0.00	560.00	244.810	5216.870	225447.320
29+0.00	580.00	217.785	4625.950	230073.270
30+0.00	600.00	122.985	3407.700	233480.970
31+0.00	620.00	0.000	1229.850	234710.820
32+0.00	640.00	0.000	0.000	234710.820
Total Volume (m³)				234710.820

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - ESCAVAÇÃO CUT-OFF

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	0.000	0.000	0.000
3+0.00	60.00	78.310	783.100	783.100
4+0.00	80.00	77.701	1560.110	2343.210
5+0.00	100.00	17.867	955.680	3298.890
6+0.00	120.00	16.134	340.010	3638.900
7+0.00	140.00	15.351	314.850	3953.750
8+0.00	160.00	27.916	432.670	4386.420
9+0.00	180.00	69.426	973.420	5359.840
10+0.00	200.00	60.820	1302.460	6662.300
11+0.00	220.00	52.689	1135.090	7797.390
12+0.00	240.00	53.031	1057.200	8854.590
13+0.00	260.00	44.445	974.760	9829.350
14+0.00	280.00	42.541	869.860	10699.210
15+0.00	300.00	19.116	616.570	11315.780
16+0.00	320.00	44.846	639.620	11955.400
17+0.00	340.00	109.608	1544.540	13499.940
18+0.00	360.00	114.086	2236.940	15736.880
19+0.00	380.00	69.485	1835.710	17572.590
20+0.00	400.00	70.215	1397.000	18969.590
21+0.00	420.00	69.552	1397.670	20367.260
22+0.00	440.00	67.499	1370.510	21737.770
23+0.00	460.00	67.543	1350.420	23088.190
24+0.00	480.00	70.450	1379.930	24468.120
25+0.00	500.00	86.121	1565.710	26033.830
26+0.00	520.00	86.686	1728.070	27761.900
27+0.00	540.00	62.696	1493.820	29255.720
28+0.00	560.00	71.678	1343.740	30599.460
29+0.00	580.00	176.721	2483.990	33083.450
30+0.00	600.00	0.000	1767.210	34850.660
31+0.00	620.00	0.000	0.000	34850.660
32+0.00	640.00	0.000	0.000	34850.660
Total Volume (m³)				34850.660

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - MATERIAL MONTANTE (PROVENIENTE DE JAZIDAS)

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	23.660	236.600	236.600
3+0.00	60.00	186.730	2103.900	2340.500
4+0.00	80.00	345.195	5319.250	7659.750
5+0.00	100.00	552.417	8976.120	16635.870
6+0.00	120.00	696.143	12485.600	29121.470
7+0.00	140.00	842.234	15383.770	44505.240
8+0.00	160.00	908.948	17511.820	62017.060
9+0.00	180.00	944.089	18530.370	80547.430
10+0.00	200.00	1063.403	20074.920	100622.350
11+0.00	220.00	1101.131	21645.340	122267.690
12+0.00	240.00	1102.423	22035.540	144303.230
13+0.00	260.00	1046.166	21485.890	165789.120
14+0.00	280.00	1062.519	21086.850	186875.970
15+0.00	300.00	1057.788	21203.070	208079.040
16+0.00	320.00	828.420	18862.080	226941.120
17+0.00	340.00	774.426	16028.460	242969.580
18+0.00	360.00	783.812	15582.380	258551.960
19+0.00	380.00	848.774	16325.860	274877.820
20+0.00	400.00	881.995	17307.690	292185.510
21+0.00	420.00	880.115	17621.100	309806.610
22+0.00	440.00	883.214	17633.290	327439.900
23+0.00	460.00	881.828	17650.420	345090.320
24+0.00	480.00	863.706	17455.340	362545.660
25+0.00	500.00	816.422	16801.280	379346.940
26+0.00	520.00	810.393	16268.150	395615.090
27+0.00	540.00	837.701	16480.940	412096.030
28+0.00	560.00	739.249	15769.500	427865.530
29+0.00	580.00	482.398	12216.470	440082.000
30+0.00	600.00	82.366	5647.640	445729.640
31+0.00	620.00	0.000	823.660	446553.300
32+0.00	640.00	0.000	0.000	446553.300
Total Volume (m³)				446553.300

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - MATERIAL JUSANTE (PROVENIENTE DE ESCAVAÇÃO VERTEDOURO)

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	2.370	23.700	23.700
3+0.00	60.00	33.902	362.720	386.420
4+0.00	80.00	111.700	1456.020	1842.440
5+0.00	100.00	300.350	4120.500	5962.940
6+0.00	120.00	403.858	7042.080	13005.020
7+0.00	140.00	487.926	8917.840	21922.860
8+0.00	160.00	527.629	10155.550	32078.410
9+0.00	180.00	538.636	10662.650	42741.060
10+0.00	200.00	571.080	11097.160	53838.220
11+0.00	220.00	596.040	11671.200	65509.420
12+0.00	240.00	615.379	12114.190	77623.610
13+0.00	260.00	560.871	11762.500	89386.110
14+0.00	280.00	636.442	11973.130	101359.240
15+0.00	300.00	591.913	12283.550	113642.790
16+0.00	320.00	619.624	12115.370	125758.160
17+0.00	340.00	584.108	12037.320	137795.480
18+0.00	360.00	462.425	10465.330	148260.810
19+0.00	380.00	537.004	9994.290	158255.100
20+0.00	400.00	552.795	10897.990	169153.090
21+0.00	420.00	557.527	11103.220	180256.310
22+0.00	440.00	561.647	11191.740	191448.050
23+0.00	460.00	570.448	11320.950	202769.000
24+0.00	480.00	605.501	11759.490	214528.490
25+0.00	500.00	548.327	11538.280	226066.770
26+0.00	520.00	550.864	10991.910	237058.680
27+0.00	540.00	551.202	11020.660	248079.340
28+0.00	560.00	491.525	10427.270	258506.610
29+0.00	580.00	277.136	7686.610	266193.220
30+0.00	600.00	86.164	3633.000	269826.220
31+0.00	620.00	0.000	861.640	270687.860
32+0.00	640.00	0.000	0.000	270687.860
Total Volume (m³)				270687.860

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - FILTRO HORIZONTAL (AREIA)				
Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	5.395	53.950	53.950
3+0.00	60.00	17.808	232.030	285.980
4+0.00	80.00	31.210	490.180	776.160
5+0.00	100.00	50.877	820.870	1597.030
6+0.00	120.00	62.757	1136.340	2733.370
7+0.00	140.00	63.838	1265.950	3999.320
8+0.00	160.00	64.155	1279.930	5279.250
9+0.00	180.00	63.439	1275.940	6555.190
10+0.00	200.00	62.253	1256.920	7812.110
11+0.00	220.00	61.705	1239.580	9051.690
12+0.00	240.00	61.369	1230.740	10282.430
13+0.00	260.00	64.193	1255.620	11538.050
14+0.00	280.00	61.802	1259.950	12798.000
15+0.00	300.00	63.353	1251.550	14049.550
16+0.00	320.00	65.239	1285.920	15335.470
17+0.00	340.00	60.997	1262.360	16597.830
18+0.00	360.00	64.343	1253.400	17851.230
19+0.00	380.00	63.722	1280.650	19131.880
20+0.00	400.00	63.529	1272.510	20404.390
21+0.00	420.00	63.284	1268.130	21672.520
22+0.00	440.00	63.554	1268.380	22940.900
23+0.00	460.00	62.468	1260.220	24201.120
24+0.00	480.00	62.360	1248.280	25449.400
25+0.00	500.00	64.051	1264.110	26713.510
26+0.00	520.00	63.577	1276.280	27989.790
27+0.00	540.00	62.538	1261.150	29250.940
28+0.00	560.00	61.671	1242.090	30493.030
29+0.00	580.00	53.895	1155.660	31648.690
30+0.00	600.00	30.957	848.520	32497.210
31+0.00	620.00	0.000	309.570	32806.780
32+0.00	640.00	0.000	0.000	32806.780
			Total Volume (m³)	32806.780

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - RIP-RAP PROTEÇÃO DE MONTANTE (PEDRAS)				
Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	6.528	65.280	65.280
3+0.00	60.00	15.611	221.390	286.670
4+0.00	80.00	26.348	419.590	706.260
5+0.00	100.00	37.350	636.980	1343.240
6+0.00	120.00	42.691	800.410	2143.650
7+0.00	140.00	47.208	898.990	3042.640
8+0.00	160.00	55.342	1025.500	4068.140
9+0.00	180.00	51.733	1070.750	5138.890
10+0.00	200.00	51.783	1035.160	6174.050
11+0.00	220.00	53.674	1054.570	7228.620
12+0.00	240.00	54.195	1078.690	8307.310
13+0.00	260.00	51.907	1061.020	9368.330
14+0.00	280.00	51.619	1035.260	10403.590
15+0.00	300.00	47.643	992.620	11396.210
16+0.00	320.00	41.098	887.410	12283.620
17+0.00	340.00	39.044	801.420	13085.040
18+0.00	360.00	39.839	788.830	13873.870
19+0.00	380.00	42.302	821.410	14695.280
20+0.00	400.00	42.862	851.640	15546.920
21+0.00	420.00	43.819	866.810	16413.730
22+0.00	440.00	43.910	877.290	17291.020
23+0.00	460.00	43.936	878.460	18169.480
24+0.00	480.00	43.596	875.320	19044.800
25+0.00	500.00	41.599	851.950	19896.750
26+0.00	520.00	42.851	844.500	20741.250
27+0.00	540.00	43.223	860.740	21601.990
28+0.00	560.00	40.308	835.310	22437.300
29+0.00	580.00	24.590	648.980	23086.280
30+0.00	600.00	9.179	337.690	23423.970
31+0.00	620.00	0.000	91.790	23515.760
32+0.00	640.00	0.000	0.000	23515.760
Total Volume (m³)				23515.760

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - RIP-RAP PROTEÇÃO DE MONTANTE (BRITA)

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	2.745	27.450	27.450
3+0.00	60.00	6.656	94.010	121.460
4+0.00	80.00	11.259	179.150	300.610
5+0.00	100.00	16.003	272.620	573.230
6+0.00	120.00	18.316	343.190	916.420
7+0.00	140.00	20.290	386.060	1302.480
8+0.00	160.00	23.467	437.570	1740.050
9+0.00	180.00	22.237	457.040	2197.090
10+0.00	200.00	22.288	445.250	2642.340
11+0.00	220.00	23.066	453.540	3095.880
12+0.00	240.00	23.307	463.730	3559.610
13+0.00	260.00	22.320	456.270	4015.880
14+0.00	280.00	22.299	446.190	4462.070
15+0.00	300.00	20.551	428.500	4890.570
16+0.00	320.00	17.751	383.020	5273.590
17+0.00	340.00	16.752	345.030	5618.620
18+0.00	360.00	17.099	338.510	5957.130
19+0.00	380.00	18.146	352.450	6309.580
20+0.00	400.00	18.396	365.420	6675.000
21+0.00	420.00	18.821	372.170	7047.170
22+0.00	440.00	18.867	376.880	7424.050
23+0.00	460.00	18.857	377.240	7801.290
24+0.00	480.00	18.719	375.760	8177.050
25+0.00	500.00	17.844	365.630	8542.680
26+0.00	520.00	18.351	361.950	8904.630
27+0.00	540.00	18.632	369.830	9274.460
28+0.00	560.00	17.300	359.320	9633.780
29+0.00	580.00	10.596	278.960	9912.740
30+0.00	600.00	4.103	146.990	10059.730
31+0.00	620.00	0.000	41.030	10100.760
32+0.00	640.00	0.000	0.000	10100.760
Total Volume (m³)				10100.760

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - PROTEÇÃO TALUDE DE JUSANTE (BRITA CORRIDA)

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	1.569	15.690	15.690
3+0.00	60.00	2.751	43.200	58.890
4+0.00	80.00	5.442	81.930	140.820
5+0.00	100.00	8.700	141.420	282.240
6+0.00	120.00	13.521	222.210	504.450
7+0.00	140.00	14.601	281.220	785.670
8+0.00	160.00	14.601	292.020	1077.690
9+0.00	180.00	14.601	292.020	1369.710
10+0.00	200.00	14.601	292.020	1661.730
11+0.00	220.00	14.601	292.020	1953.750
12+0.00	240.00	14.601	292.020	2245.770
13+0.00	260.00	14.601	292.020	2537.790
14+0.00	280.00	14.601	292.020	2829.810
15+0.00	300.00	14.601	292.020	3121.830
16+0.00	320.00	14.601	292.020	3413.850
17+0.00	340.00	14.601	292.020	3705.870
18+0.00	360.00	14.601	292.020	3997.890
19+0.00	380.00	14.601	292.020	4289.910
20+0.00	400.00	14.601	292.020	4581.930
21+0.00	420.00	14.601	292.020	4873.950
22+0.00	440.00	14.601	292.020	5165.970
23+0.00	460.00	14.601	292.020	5457.990
24+0.00	480.00	14.601	292.020	5750.010
25+0.00	500.00	14.601	292.020	6042.030
26+0.00	520.00	14.601	292.020	6334.050
27+0.00	540.00	14.601	292.020	6626.070
28+0.00	560.00	14.601	292.020	6918.090
29+0.00	580.00	12.432	270.330	7188.420
30+0.00	600.00	7.413	198.450	7386.870
31+0.00	620.00	0.000	74.130	7461.000
32+0.00	640.00	0.000	0.000	7461.000
Total Volume (m³)				7461.000

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - ROCK-FILL PROTEÇÃO DE JUSANTE (PEDRA)				
Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	0.000	0.000	0.000
3+0.00	60.00	3.700	37.000	37.000
4+0.00	80.00	3.752	74.520	111.520
5+0.00	100.00	6.274	100.260	211.780
6+0.00	120.00	3.600	98.740	310.520
7+0.00	140.00	12.218	158.180	468.700
8+0.00	160.00	16.889	291.070	759.770
9+0.00	180.00	20.891	377.800	1137.570
10+0.00	200.00	33.056	539.470	1677.040
11+0.00	220.00	43.439	764.950	2441.990
12+0.00	240.00	52.876	963.150	3405.140
13+0.00	260.00	26.182	790.580	4195.720
14+0.00	280.00	55.291	814.730	5010.450
15+0.00	300.00	44.464	997.550	6008.000
16+0.00	320.00	29.029	734.930	6742.930
17+0.00	340.00	53.940	829.690	7572.620
18+0.00	360.00	19.261	732.010	8304.630
19+0.00	380.00	21.477	407.380	8712.010
20+0.00	400.00	23.478	449.550	9161.560
21+0.00	420.00	26.364	498.420	9659.980
22+0.00	440.00	23.728	500.920	10160.900
23+0.00	460.00	30.786	545.140	10706.040
24+0.00	480.00	34.888	656.740	11362.780
25+0.00	500.00	21.626	565.140	11927.920
26+0.00	520.00	22.865	444.910	12372.830
27+0.00	540.00	26.218	490.830	12863.660
28+0.00	560.00	19.403	456.210	13319.870
29+0.00	580.00	3.487	228.900	13548.770
30+0.00	600.00	0.000	34.870	13583.640
31+0.00	620.00	0.000	0.000	13583.640
32+0.00	640.00	0.000	0.000	13583.640
Total Volume (m³)				13583.640

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - ROCK-FILL PROTEÇÃO DE JUSANTE (BRITA)

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	0.000	0.000	0.000
3+0.00	60.00	2.105	21.050	21.050
4+0.00	80.00	2.165	42.700	63.750
5+0.00	100.00	3.387	55.520	119.270
6+0.00	120.00	1.980	53.670	172.940
7+0.00	140.00	4.168	61.480	234.420
8+0.00	160.00	4.854	90.220	324.640
9+0.00	180.00	5.435	102.890	427.530
10+0.00	200.00	6.788	122.230	549.760
11+0.00	220.00	7.767	145.550	695.310
12+0.00	240.00	8.546	163.130	858.440
13+0.00	260.00	6.040	145.860	1004.300
14+0.00	280.00	8.808	148.480	1152.780
15+0.00	300.00	7.707	165.150	1317.930
16+0.00	320.00	6.469	141.760	1459.690
17+0.00	340.00	8.457	149.260	1608.950
18+0.00	360.00	4.977	134.340	1743.290
19+0.00	380.00	5.642	106.190	1849.480
20+0.00	400.00	5.754	113.960	1963.440
21+0.00	420.00	6.233	119.870	2083.310
22+0.00	440.00	5.822	120.550	2203.860
23+0.00	460.00	6.692	125.140	2329.000
24+0.00	480.00	7.149	138.410	2467.410
25+0.00	500.00	5.682	128.310	2595.720
26+0.00	520.00	5.650	113.320	2709.040
27+0.00	540.00	6.023	116.730	2825.770
28+0.00	560.00	5.340	113.630	2939.400
29+0.00	580.00	0.000	53.400	2992.800
30+0.00	600.00	0.000	0.000	2992.800
31+0.00	620.00	0.000	0.000	2992.800
32+0.00	640.00	0.000	0.000	2992.800
Total Volume (m³)				2992.800

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - ROCK-FILL PROTEÇÃO DE JUSANTE (AREIA)				
Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	0.000	0.000	0.000
3+0.00	60.00	1.712	17.120	17.120
4+0.00	80.00	1.792	35.040	52.160
5+0.00	100.00	2.967	47.590	99.750
6+0.00	120.00	1.541	45.080	144.830
7+0.00	140.00	4.182	57.230	202.060
8+0.00	160.00	4.872	90.540	292.600
9+0.00	180.00	5.458	103.300	395.900
10+0.00	200.00	6.813	122.710	518.610
11+0.00	220.00	7.792	146.050	664.660
12+0.00	240.00	8.570	163.620	828.280
13+0.00	260.00	6.063	146.330	974.610
14+0.00	280.00	8.840	149.030	1123.640
15+0.00	300.00	7.731	165.710	1289.350
16+0.00	320.00	6.504	142.350	1431.700
17+0.00	340.00	8.496	150.000	1581.700
18+0.00	360.00	4.969	134.650	1716.350
19+0.00	380.00	5.338	103.070	1819.420
20+0.00	400.00	5.779	111.170	1930.590
21+0.00	420.00	5.929	117.080	2047.670
22+0.00	440.00	5.847	117.760	2165.430
23+0.00	460.00	6.727	125.740	2291.170
24+0.00	480.00	7.184	139.110	2430.280
25+0.00	500.00	5.379	125.630	2555.910
26+0.00	520.00	5.669	110.480	2666.390
27+0.00	540.00	6.030	116.990	2783.380
28+0.00	560.00	5.017	110.470	2893.850
29+0.00	580.00	1.384	64.010	2957.860
30+0.00	600.00	1.316	27.000	2984.860
31+0.00	620.00	0.000	13.160	2998.020
32+0.00	640.00	0.000	0.000	2998.020
			Total Volume (m³)	2998.020

Anteprojeto: BARRAGEM FRECHEIRINHA



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO - COROAMENTO

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
1+0.00	20.00	0.000	0.000	0.000
2+0.00	40.00	2.113	21.130	21.130
3+0.00	60.00	2.113	42.260	63.390
4+0.00	80.00	2.113	42.260	105.650
5+0.00	100.00	2.113	42.260	147.910
6+0.00	120.00	2.113	42.260	190.170
7+0.00	140.00	2.113	42.260	232.430
8+0.00	160.00	2.113	42.260	274.690
9+0.00	180.00	2.113	42.260	316.950
10+0.00	200.00	2.113	42.260	359.210
11+0.00	220.00	2.113	42.260	401.470
12+0.00	240.00	2.113	42.260	443.730
13+0.00	260.00	2.113	42.260	485.990
14+0.00	280.00	2.113	42.260	528.250
15+0.00	300.00	2.113	42.260	570.510
16+0.00	320.00	2.113	42.260	612.770
17+0.00	340.00	2.113	42.260	655.030
18+0.00	360.00	2.113	42.260	697.290
19+0.00	380.00	2.113	42.260	739.550
20+0.00	400.00	2.113	42.260	781.810
21+0.00	420.00	2.113	42.260	824.070
22+0.00	440.00	2.113	42.260	866.330
23+0.00	460.00	2.113	42.260	908.590
24+0.00	480.00	2.113	42.260	950.850
25+0.00	500.00	2.113	42.260	993.110
26+0.00	520.00	2.113	42.260	1035.370
27+0.00	540.00	2.113	42.260	1077.630
28+0.00	560.00	2.113	42.260	1119.890
29+0.00	580.00	2.113	42.260	1162.150
30+0.00	600.00	2.113	42.260	1204.410
31+0.00	620.00	0.000	21.130	1225.540
32+0.00	640.00	0.000	0.000	1225.540
Total Volume (m³)				1225.540

Anteprojeto: VERTEDOIRO FRECHEIRINHA (ALTERNATIVA 01)



Data: MAIO/2019

QUADRO DE CUBAÇÃO (ESCAVAÇÃO) - VERTEDOIRO

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0,00	0,000	0,000	0,000
1+0.00	20,00	0,000	0,000	0,000
2+0.00	40,00	249,509	2495,089	2495,089
3+0.00	60,00	713,448	9629,566	12124,655
4+0.00	80,00	1200,124	19135,714	31260,369
5+0.00	100,00	1669,593	28697,169	59957,538
6+0.00	120,00	2020,379	36899,724	96857,262
7+0.00	140,00	2253,127	42735,060	139592,322
8+0.00	160,00	2311,088	45642,149	185234,471
9+0.00	180,00	1836,125	41472,132	226706,603
10+0.00	200,00	1375,233	32113,581	258820,184
11+0.00	220,00	939,344	23145,767	281965,951
12+0.00	240,00	817,088	17564,318	299530,269
13+0.00	260,00	764,446	15815,338	315345,607
14+0.00	280,00	643,924	14083,694	329429,301
15+0.00	300,00	291,451	9353,749	338783,050
15+10.89	310,89	0,000	1586,952	340370,002
			Total Volume (m³)	340370,002

Projeto: VERTEDOIRO FRECHEIRINHA (ALTERNATIVA 02)



Data: SET/19

QUADRO DE CUBAÇÃO (ESCAVAÇÃO) - VERTEDOIRO

Estaca	Est. Acum.	Área	Vol. Parcial (m³)	Vol. Acum.(m³)
0+0.00	0,00	119,715	0,000	0,000
1+0.00	20,00	200,677	3203,920	3203,920
2+0.00	40,00	181,169	3818,460	7022,380
3+0.00	60,00	260,053	4412,220	11434,600
4+0.00	80,00	558,437	8184,900	19619,500
5+0.00	100,00	939,328	14977,650	34597,150
6+0.00	120,00	1333,523	22728,510	57325,660
7+0.00	140,00	1641,761	29752,840	87078,500
8+0.00	160,00	1715,288	33570,490	120648,990
9+0.00	180,00	1716,890	34321,780	154970,770
10+0.00	200,00	1479,595	31964,850	186935,620
11+0.00	220,00	1232,931	27125,260	214060,880
12+0.00	240,00	1117,328	23502,590	237563,470
13+0.00	260,00	1330,547	24478,750	262042,220
14+0.00	280,00	1103,491	24340,380	286382,600
15+0.00	300,00	832,834	19363,250	305745,850
16+0.00	320,00	585,042	14178,760	319924,610
17+0.00	340,00	410,014	9950,560	329875,170
18+0.00	360,00	452,477	8624,910	338500,080
19+0.00	380,00	483,823	9363,000	347863,080
20+0.00	400,00	453,147	9369,700	357232,780
21+0.00	420,00	412,952	8660,990	365893,770
22+0.00	440,00	402,383	8153,350	374047,120
23+0.00	460,00	353,276	7556,590	381603,710
24+0.00	480,00	237,894	5911,700	387515,410
25+0.00	500,00	0,000	2378,940	389894,350
25+9.49	509,49	0,000	0,000	389894,350
			Total Volume (m³)	389894,350



ANEXO: CURVA-CHAVE RIO CAIÇARA



ANEXO:

ESTUDOS HIDRÁULICOS REFERENTE À ELABORAÇÃO DA CURVA- CHAVE DO RIO CAIÇARA A JUSANTE DA BARRAGEM FRECHEIRINHA



1 – ELABORAÇÃO DA CURVA-CHAVE DO RIO CAIÇARA A JUSANTE DA BARRAGEM FRECHEIRINHA

O objetivo da determinação de curvas-chave do trecho do riacho a jusante da barragem e do canal de restituição do sangradouro é avaliar o tail water que pode vir a interferir nas estruturas hidráulicas dimensionadas.

As seções apresentadas no presente estudo para determinação das curvas-chave foram escolhidas de acordo com as condições topográficas do rio a partir das curvas de nível disponíveis da restituição realizada – NO DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO SERÁ REALIZADA TOPOGRAFIA CONVENCIONAL NA CALHA DO RIO CAIÇARA PARA A CONFIRMAÇÃO DESTE ESTUDO.

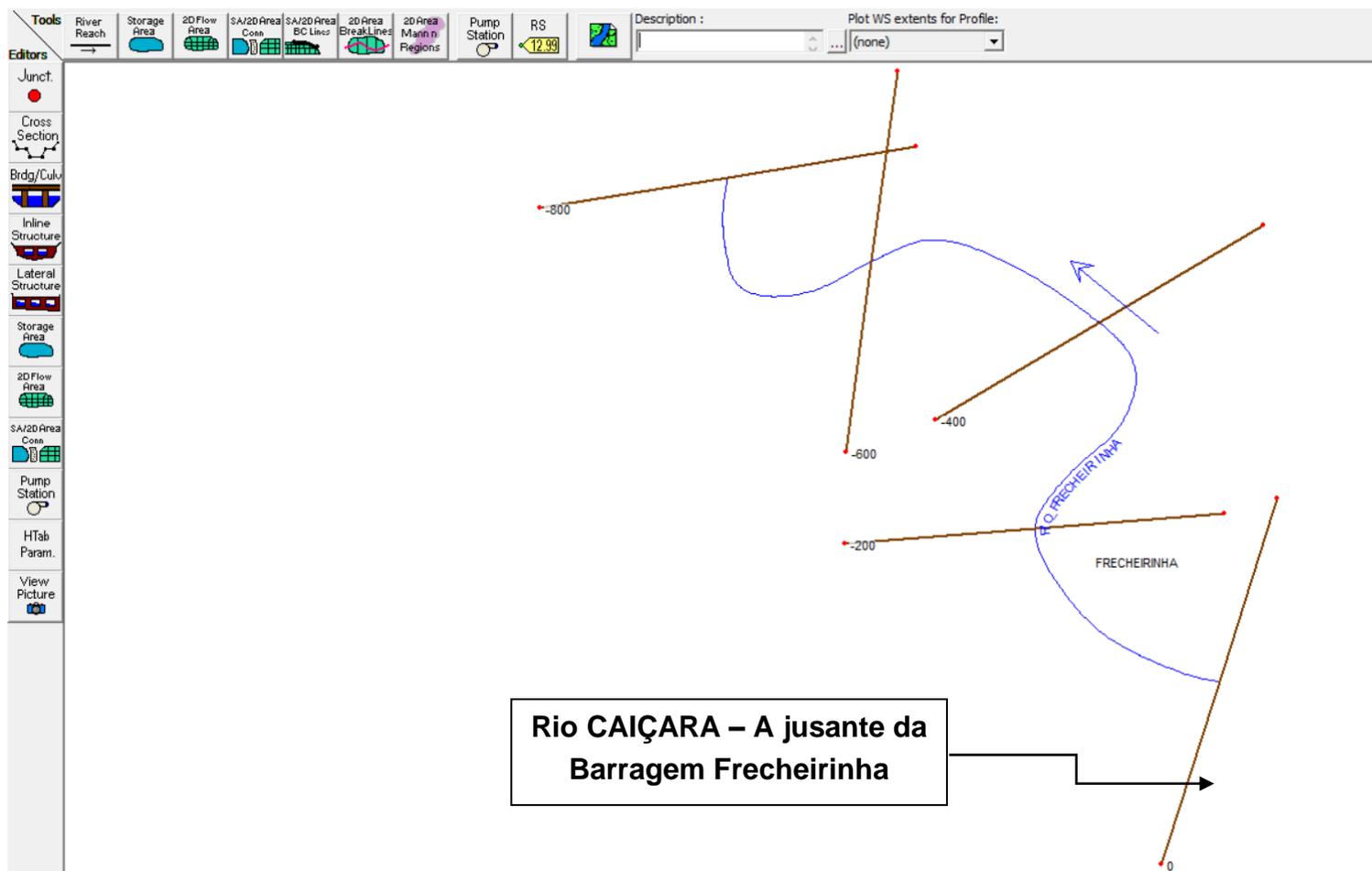
1.1 – DEFINIÇÃO DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS PARA COMPOSIÇÃO DA CURVA CHAVE

Para que se possa investigar as condições fluviais, níveis d'água no rio, é imprescindível que as seções transversais sejam definidas dentro dos seguintes critérios:

- a) Seções transversais ao riacho com o espaçamento médio entre elas condicionado ao propósito do estudo, ou seja, o menor possível para evitar perda de informação topográfica relevante entre as seções e permitir uma convergência apropriada no modelo numérico de simulação (HEC-RAS);
- b) Representação de todos os locais onde ocorrem mudanças significativas: seção crítica, vazão, declividade ou rugosidade;
- c) Sejam suficientemente extensas para revelar canais afluentes à zona de convergência do vertimento possibilitando identificar a divisão de fluxo em calhas diferentes daquela da calha natural principal;
- d) A primeira seção na calha natural do rio esteja a uma distância suficiente para representar nas seções de jusante as condições hidráulicas naturais do rio;
- e) A última seção deve estar suficientemente longe da barragem de nível (local de derivação) do Rio Caiçara para que o fluxo modelado na mesma não sofra qualquer tipo de influência da obra implantada a montante, permitindo assim descrever uma linha de remanso compatível com o regime natural fluvial anterior à execução da obra.

Com base nestes critérios foram estabelecidas 5 seções transversais na calha do Rio Caiçara, conforme se apresenta na **Figura 1.1**.

Figura 1.1 – (Tela do HEC-RAS) Seções Transversais do Rio Caiçara a Jusante da Barragem Frecheirinha





1.2 – MODELO COMPUTACIONAL EMPREGADO PARA CÁLCULO DA CURVA CHAVE

No presente trabalho, a modelagem matemática da curva chave do Riacho a Jusante da Barragem Frecheirinha foi feita a partir do emprego do software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), versão 5.0.3 de Setembro de 2016, do U.S. Army Corps of Engineers – USACE, que é um programa utilizado para a propagação do escoamento em canais ou condutos fechados considerando todos os efeitos dinâmicos e de pressão.

O modelo HEC-RAS foi concebido para ambiente windows. Tal qual o HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), faz parte da família de modelos hidrológicos e hidráulicos do U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERING, cujo uso é bastante difundido entre os profissionais da área de recursos hídricos e que produz resultados consistentes e satisfatórios.

A metodologia incorporada no modelo HEC-RAS baseia-se em algumas hipóteses simplificadoras quais sejam:

- Escoamento gradualmente variado, exceto nas estruturas hidráulicas (pontes, bueiros, comportas e vertedouros) onde o escoamento é rapidamente variado e utiliza-se a equação do momento, ou outras equações empíricas.
- Escoamento unidimensional com correção para distribuição horizontal da velocidade
- Canais com pequena declividade (menores que 1:10 ou 10%)

1.3 – CONDIÇÕES DE CONTORNO DA MODELAGEM COM O HEC-RAS

Foram definidas as envoltórias do escoamento fluvial a jusante do sangradouro da barragem Frecheirinha para as vazões de pico dos respectivos hidrogramas de cheia vertentes laminadas no reservatório, as quais foram admitidas em regime permanente, suposição esta que é bem plausível, uma vez que o pico das vazões efluentes para cada período de retorno deverá permanecer por pelo menos algumas horas tal como mostram os hidrogramas dos Estudos Hidrológicos do anteprojeto desta barragem.

1.3.1 – Vazões da Curva Chave

As vazões de referência definidas naqueles estudos hidrológicos foram somente para a cheia efluente milenar ($Q_{\text{eflu}} = 111,96 \text{ m}^3/\text{s}$) e cheia efluente decamilenar ($Q_{\text{eflu}} = 147,42 \text{ m}^3/\text{s}$).

Na prática bastariam estas duas vazões para se avaliar o **tail water** a jusante do sangradouro, porém foram empregadas também vazões de baixa recorrência para se ter uma definição mais precisa da curva-chave. O **Quadro 1.1** apresenta as vazões simuladas no HEC-RAS.

Quadro 1.1 – Vazões Simuladas

RECORRÊNCIA	VAZÕES EFLUENTES (m^3/s) Considerando amortecimento na Barragem Frecheirinha
	15,00
	40,00
	70,00
Tr=1000anos	111,96
Tr=10000anos	147,42
	175,00

1.3.2 – Coeficiente de Manning

Foram adotados no estudo os coeficientes de rugosidade de Manning iguais a 0,025 para a calha do riacho (leito normal) e 0,030 para as margens inundáveis, de acordo com o **Quadro 1.2** (CHOW, 1959).

**Quadro 1.2 – Valores (n) das fórmulas de Manning
de acordo com Chow (1959)**

Nº	Natureza das paredes	n
1	Canais de chapas com rebites embutidos, juntas perfeitas e águas limpas. Tubos de cimento e de fundição m perfeitas condições	0,011
2	Canais de cimento muito liso de dimensões limitadas, de madeira aplainada e lixada, em ambos os casos; trechos retilíneos compridos e curvas de grande raio e água limpa. Tubos de fundição usados	0,012
3	Canais com reboco de cimento liso, porém com curvas de raio limitado e águas não completamente limpas; construídos com madeira lisa, mas com curvas de raio moderado	0,013
4	Canais com reboco de cimento não completamente liso; de madeira como no nº 2, porém com traçado tortuoso e curvas de pequeno raio	0,014

N°	Natureza das paredes	n
	e juntas imperfeitas	
5	Canais com paredes de cimento não completamente lisas, com curvas estreitas e águas com detritos; construídos de madeira não-aplainada de chapas rebitadas	0,015
6	Canais com reboco de cimento não muito alisado e pequenos depósitos no fundo; revestidos por madeira não-aplainada; de alvenaria construída com esmero; de terra, sem vegetação	0,016
7	Canais com reboco de cimento incompletos, juntas irregulares, andamento tortuoso e depósitos no fundo; de alvenaria revestindo taludes não bem perfilados	0,017
8	Canais com reboco de cimento rugoso, depósito no fundo, musgo nas paredes e traçado tortuoso	0,018
9	Canais de alvenaria em más condições de manutenção e fundo com barro, ou de alvenaria de pedregulhos; de terra, bem construídos, sem vegetação e com curva de grande raio	0,02
10	Canais de chapas rebitadas e juntas irregulares; de terra, bem construídos com pequenos depósitos no fundo e vegetação rasteira nos taludes	0,022
11	Canais de terra, com vegetação rasteira no fundo e nos taludes	0,025
12	Canais de terra, com vegetação normal, fundo com cascalhos ou irregular por causa de erosões; revestidos com pedregulhos e vegetação	0,030
13	Álveos naturais, cobertos de cascalhos e vegetação	0,035
14	Álveos naturais, andamento tortuoso	0,040

1.3.3 – Declividade do Trecho a Simular e Condições de Contorno

No modelo computacional HEC-RAS, algumas condições de contorno são necessárias para que sejam estabelecidos os níveis da água a partir das extremidades do rio/riacho (montante e jusante): (I) Regime de escoamento subcrítico, as condições de contorno são necessárias apenas nas extremidades do sistema a jusante do rio. (II) No caso do regime supercrítico, as condições de contorno são necessárias apenas nas extremidades a montante do sistema fluvial. (III) Se o regime é misto, então as condições de contorno devem ser indicadas a todas as seções do sistema fluvial em estudo.

Como está sendo desejado encontrar a **curva chave do Rio Caiçara** resultante do escoamento da calha fluvial do Riacho a jusante da bacia de dissipação do sangradouro, seria inadequada estabelecer qualquer outra condição de contorno que não fosse a da profundidade normal do regime permanente.

Por não se conhecer a priori o regime de escoamento por ocasião das cheias críticas de rara frequência, simulou-se como regime misto (supercrítico, crítico e subcrítico) a partir da definição das declividades de montante e jusante.

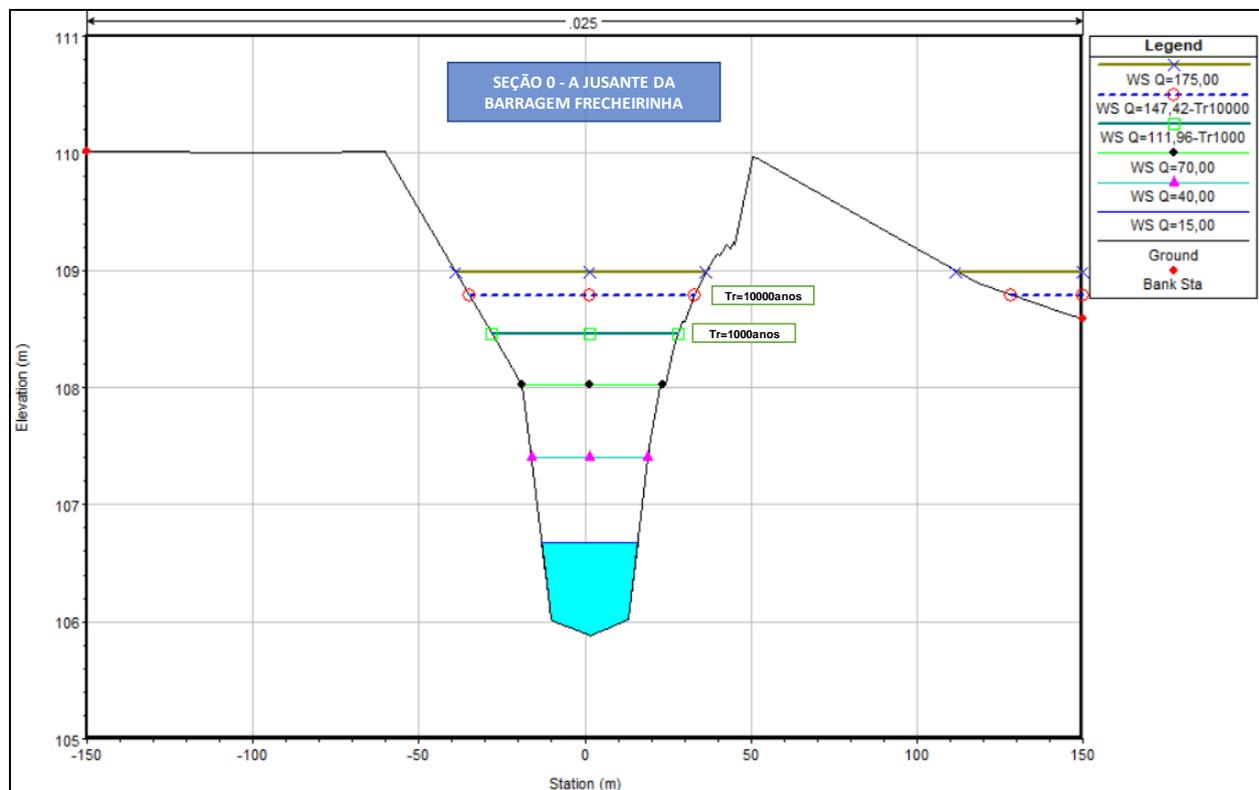
A declividade média adotada para esse trabalho com base em informação de levantamentos topográficos recentes do leito do Rio Caiçara no trecho em estudo é apresentada a seguir:

$$S_0 = 0,0005 \text{ m/m (0,50 m;km – valor relativo baixo)}$$

1.4 – RESULTADOS DA MODELAGEM NO HEC-RAS

Na **Figura 1.2** é mostrada a seção 0 imediatamente a jusante do vertedouro da Barragem Frecheirinha com as linhas d'água de cada vazão simulada para o Rio Caiçara.

Figura 1.2 – Seção 0 do Rio Caiçara a Jusante da Barragem Frecheirinha

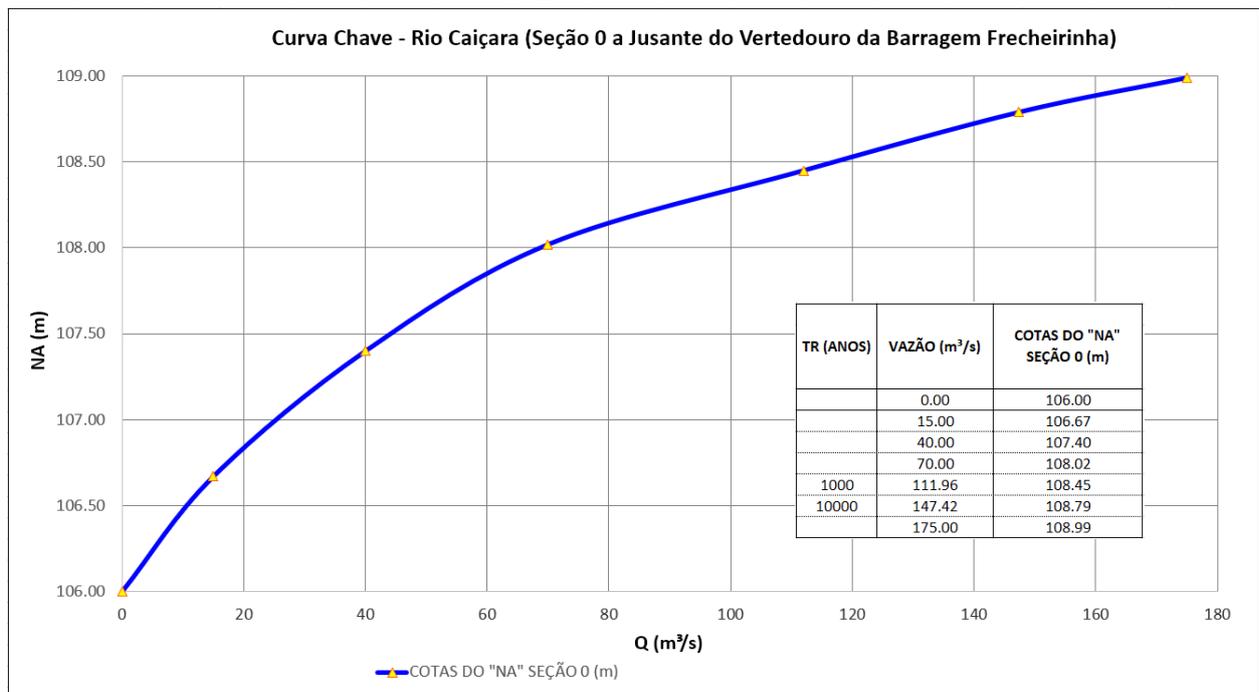


O **Quadro 1.3** apresenta o sumário dos resultados computados pelo HEC-RAS para a seção imediatamente a jusante do vertedouro da Barragem Frecheirinha.

Quadro 1.3 – Resultados Numéricos (Seção 0)

Recorrência	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		Cota do Fundo	NA	Crítico	Energia	Declividade				
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
	15.0	105.88	106.67	106.29	106.71	0.000732	0.81	18.61	28.81	0.32
	40.0	105.88	107.4	106.6	107.44	0.00046	0.96	41.77	35.11	0.28
	70.0	105.88	108.02	106.88	108.08	0.000403	1.07	65.51	42.28	0.27
Tr=1000anos	112.0	105.88	108.45	107.19	108.54	0.000584	1.29	86.95	56.11	0.33
Tr=10000anos	147.4	105.88	108.79	107.42	108.88	0.000866	1.34	110.04	89.93	0.39
	175.0	105.88	108.99	107.59	109.08	0.000945	1.34	130.5	113.66	0.40

A Figura 1.3 - Curva-Chave para a Seção 0 do Caiçara (a jusante do vertedouro da Barragem Frecheirinha)





1.5 – CONCLUSÕES

Este estudo foi desenvolvido com base nas informações do anteprojeto da Barragem Frecheirinha e das curvas topográficas da restituição disponível.

Pode-se concluir a partir dos resultados das simulações que:

- ✓ O nível d'água para o Rio Caiçara na seção 0 imediatamente a jusante do vertedouro ocorre para a cheia milenar na cota 108,45m e para a cheia decamilenar na cota 108,79m, que são estabelecidos a partir das condições naturais da calha do Rio, como pode ser visto na **Figuras 1.3**.
- ✓ A cota da bacia de dissipação foi fixada em 108,06m e, de acordo com a verificação do ressalto hidráulica, o nível da altura conjugada Y2 calculada atinge os 1,96m, o que resulta no NA (nível d'água) de saída da bacia de dissipação na cota 110,02m ($108,06 + 1,96 = 110,02$) para a cheia decamilenar.
- ✓ Como o NA de 110,02m na saída da bacia de dissipação supera o NA de 108,79m da curva chave da seção 0 do Rio Caiçara, logo pode-se assegurar que ocorrerá a restituição para a calha do rio sem a possibilidade de remanso e conseqüente comprometimento das condições das estruturas hidráulicas projetadas.

