



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**

*Procuradoria Geral do Estado*

**BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO  
E DESENVOLVIMENTO - BIRD (BANCO MUNDIAL)**

**Ministério da Integração Nacional - MI  
Programa Nacional de Desenvolvimento  
dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL -  
Acordo de Empréstimo N.º.: 7420-BR - BID**

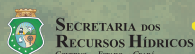
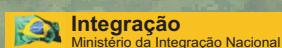
**Governo do Estado do Ceará  
Projeto de Gestão Integrada dos  
Recursos Hídricos PROGERIRH II  
Acordo de Empréstimo N.º.: 7630-BR**

**ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO  
DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS  
BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA  
PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH.**

**ETAPA B3 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM INHUÇU**

**VOLUME 2 - PROJETO EXECUTIVO**

**Tomo 6 - Relatório Síntese**



**consórcio**

Revisão : Abril/2013

**Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/Ce (Para Construção das Barragens Lontras e Inhuçu, do Canal/Túnel e da Penstock/Pequena Central Hidrelétrica - PCH)**

**Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Inhuçu**

**Tomo 6: Relatório Síntese**

*Revisão Abril de 2013*

---

## ÍNDICE

## ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS</b> .....	<b>9</b>
<b>3 FICHA TÉCNICA</b> .....	<b>12</b>
<b>4 RELAÇÃO DE DESENHOS</b> .....	<b>18</b>
<b>5 DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO</b> .....	<b>25</b>
5.1 GENERALIDADES .....	26
5.2 ESCOLHA DO EIXO BARRADO .....	26
5.3 ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM .....	29
FUNDAÇÃO .....	29
MACIÇO DA BARRAGEM .....	41
INSTRUMENTAÇÃO.....	46
SANGRADOURO .....	48
TOMADA D'ÁGUA .....	50
DESCARGA DE FUNDO .....	51
ETAPAS CONSTRUTIVAS.....	52
<b>6 CRONOGRAMA FÍSICO</b> .....	<b>57</b>
<b>7 RESUMO DOS INVESTIMENTOS</b> .....	<b>60</b>

## ÍNDICE FIGURA

### Páginas

Figura 2.1 Mapa de Localização da Barragem Inhuçu .....	11
Figura 5.1: Altura máxima da barragem x volume de maciço de terra para as alternativas Inhuçu .....	28
Figura 5.2: Seção tipo da barragem Inhuçu .....	33
Figura 5.3 Nível de água no interior dos furos de sondagem .....	38
Figura 5.4: Seção tipo instrumentada .....	47
Figura 6.1: Cronograma Físico.....	59

## ÍNDICE QUADRO

	<b>Páginas</b>
Quadro 5.1- faixa granulométrica do enrocamento .....	43
Quadro 5.2- faixa granulométrica do filtro vertical .....	44
Quadro 5.3- Faixa Granulométrica De Transição Final .....	45
Quadro 5.4- Faixa Granulométrica De Transição Grossa.....	45

---

## 1 INTRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo geral da Política Estadual dos Recursos Hídricos do Ceará é promover o uso racional dos recursos hídricos e gerenciar os mesmos de uma maneira integrada e descentralizada. Neste contexto se insere o Eixo de Integração da Ibiapaba, o qual se constitui em um dos projetos empreendidos pelo Governo do Estado do Ceará para alcançar as metas de aproveitamento integrado dos recursos hídricos.

O Eixo de Integração da Ibiapaba, então concebido pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, está localizado na região noroeste semi-árida do Estado do Ceará. Neste sistema, estão compreendidas as Bacias dos Rios Acaraú, Coreaú e Poti, sendo que esta última se estende também ao Estado do Piauí, onde constitui uma parte da Bacia do Parnaíba. Diferencia-se por ser o primeiro sistema complexo deste tipo a ser estudado, sendo que nele se prevê a transferência de águas da Bacia do Rio Poti (Parnaíba) para as Bacias dos Rios Acaraú e Coreaú.

O documento aqui apresentado integra os serviços de consultoria para ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE (PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU DO CANAL/TÚNEL E PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH), objeto do contrato 02/PROGERIRH 2011 firmado entre o Consórcio ENGESOFT/IBI e a SRH/CE.

Referidos estudos visam promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Inhuçu.

Conforme estabelecem os Termos de Referência contratuais, a finalidade principal com o desenvolvimento dos estudos contratados é aprofundar mais detalhadamente o atendimento às demandas de água das regiões de influências; proporcionar um aproveitamento racional das águas acumuladas nos reservatórios, para o abastecimento urbano e rural, para uso com o desenvolvimento da irrigação em áreas aptas a este tipo de atividade e para a geração de energia elétrica, caso se mostre viável.

O estudo é composto pelas seguintes Fases e Etapas:

- FASE A: ESTUDO DE VIABILIDADE
  - Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras - RIO



- Etapa A2 - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA do Sistema (Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH)
  - Etapa A3 - Estudos Básicos e Concepções Gerais dos Projetos das Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH
  - Etapa A4 - Relatório Final de Viabilidade - RFV.
- FASE B: PROJETO EXECUTIVO
- Etapa B1 - Estudos de Impactos no Meio Ambiente EIA / RIMA
  - Etapa B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento das Barragens Lontras e Inhuçu,
  - Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu e Perímetro de Irrigação
  - Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
  - Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema – Barragens e Perímetro de Irrigação.

O presente documento faz parte da **Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Inhuçu.**

O Projeto da **Barragem Inhuçu** é constituído de dois volumes, como discriminado a seguir:

- **Volume 1 – Estudos Básicos**
  - Tomo 1: Relatório Geral;
  - Tomo 2: Estudos Cartográficos;
  - Tomo 2A: Estudos Cartográficos - Desenhos;
  - Tomo 3: Estudos Hidrológicos;
  - Tomo 4: Estudos Geológicos e Geotécnicos;
  - Tomo 4A: Estudos Geológicos e Geotécnicos - Anexos;
  - Tomo 5: Estudos Pedológicos;
- **Volume 2 – Projeto Executivo**
  - Tomo 1: Relatório de Concepção Geral;
  - Tomo 2: Desenhos;
  - Tomo 3: Memória de Calculo;

Tomo 3A: Memória de Calculo estrutural;

Tomo 4: Especificações técnicas e normas de medição e pagamento;

Tomo 5: Quantitativos e Orçamento;

Tomo 5A: Calculo de Quantitativos;

**Tomo 6: Relatório Síntese;**

O presente documento é nomeado como **Tomo 6: Relatório Síntese** e aborda os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos
- Ficha Técnica
- Relação de Desenhos
- Descrição Geral do Projeto
  - Generalidades;
  - Escolha do Tipo da Barragem;
  - Escolha do tipo de Seção;
  - Fundação;
  - Maciço da Barragem;
  - Instrumentação;
  - Sangradouro;
  - Tomada D'água;
  - Descarga de Fundo;
  - Etapas Construtivas.
- Cronograma Físico
- Resumo dos Investimentos

## 2 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

---

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Barragem Inhuçu é parte integrante do Eixo de Integração da Ibiapaba, localizando-se na bacia do rio Inhuçu/Macambira. As obras integrantes da referida barragem de integração encontram-se integralmente inseridas no território da sub-bacia do Poti, afluente de primeira ordem do rio Parnaíba, mais especificamente na sua região de alto curso, no Estado do Ceará.

A Barragem Inhuçu será formada pelo barramento do rio homônimo, afluente do Poti, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Croatá e Guaraciaba do Norte. A barragem fechará o boqueirão existente imediatamente a montante da localidade de Barra do Sotero, no município de Croatá, distando 11,7 km da sede deste município.

Desde Fortaleza o acesso à área do empreendimento pode ser feito através da BR-222, percorrendo-se nesta cerca de 297,0 km até a cidade de Tianguá. A partir daí toma-se a CE-187, rodovia pavimentada que permite o acesso às sedes dos municípios de Guaraciaba do Norte e Ipueiras (104,0 km). O acesso a cidade de Croatá pode ser feito tomando-se a CE-327, no entroncamento desta com a CE-187, em Guaraciaba do Norte, percorrendo-se nesta 35,0 km.

Outra opção de percurso pode ser feita a partir de Fortaleza tomando-se a BR-020 até a cidade de Canindé (113,0 km). Toma-se, então, a rodovia CE-257 por cerca de 181,0 km até a bifurcação com a CE-187, situada 17,0 km ao norte da cidade de Ipueiras e 26,0km ao sul da cidade de Guaraciaba do Norte e do entroncamento com a CE-327, que permite o acesso a Croatá.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Ipueiras, Ipu, Tianguá e Hidrolândia. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado na **Figura 2.1**.

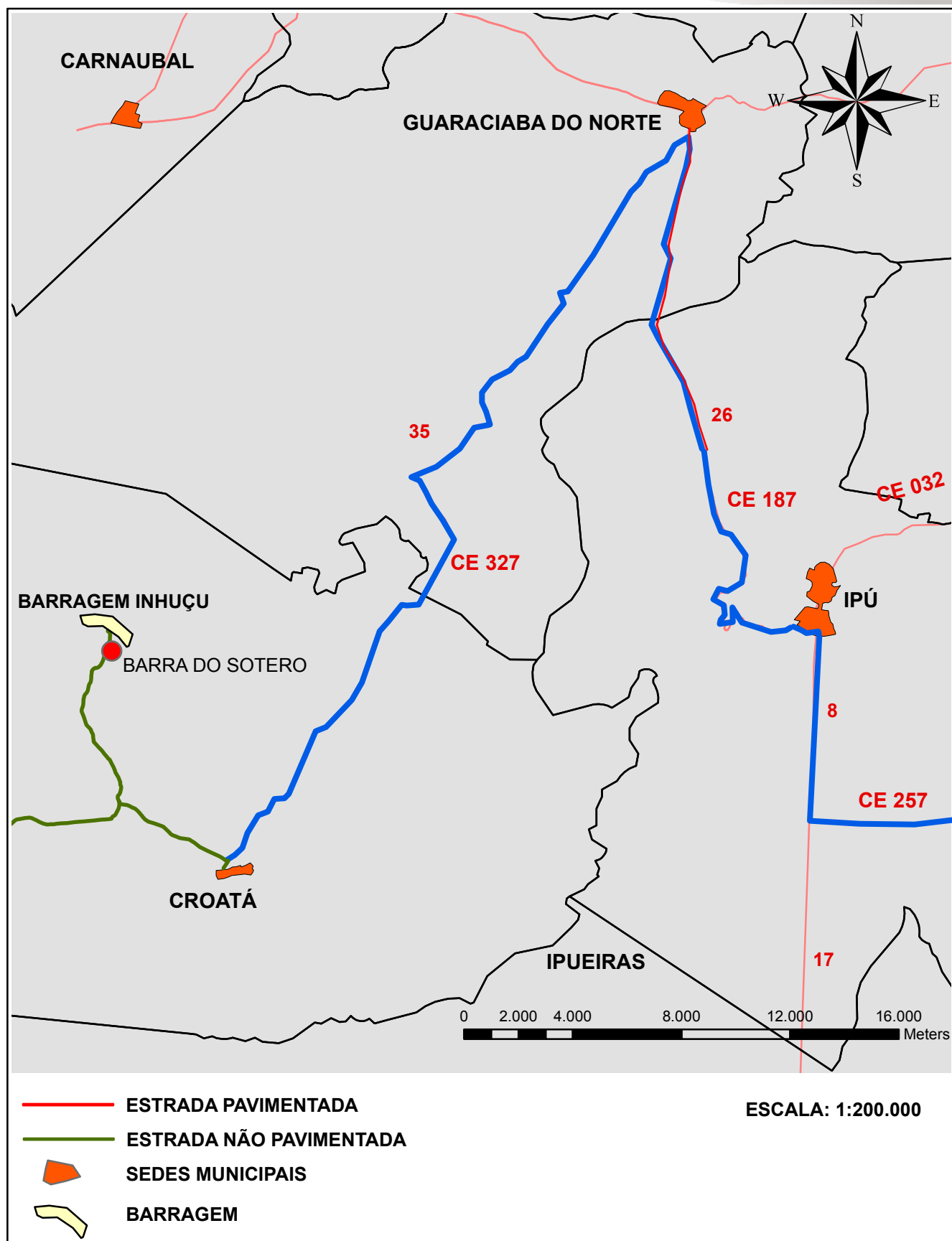


Figura 2.1 - Mapa de localização (contexto municipal)

### 3 FICHA TÉCNICA

---

### 3. FICHA TÉCNICA

A ficha técnica da Barragem Inhuçu é apresentada a seguir, mostrando as principais características da obra:

A curva Cota x Área x Volume e a Tabulação dos seus dados são apresentados a seguir:

<b>FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM INHUÇU</b>	
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	
Denominação:	Barragem Inhuçu
Estado:	Ceará
Município:	Croatá
Coordenadas UTM:	284.089E/ 9.520.965N
Sistema:	Rio Poti
Rio Barrado:	Inhuçu
Proprietário:	Estado do Ceará/SRH
Autor do Projeto:	Consórcio Engesoft/IBI
Data do Projeto:	Dezembro/2011
<b>BACIA HIDROGRÁFICA</b>	
Área:	847 km <sup>2</sup>
Precipitação Média Anual:	729 mm
Evaporação Média Anual:	1775 mm
<b>CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO</b>	
Área da Bacia Hidráulica (cota 601,00 m):	321,4 ha
Volume Acumulado (Cota 601,00 m):	40,8 hm <sup>3</sup>
Volume Afluente Médio Anual:	116,8 hm <sup>3</sup>
Volume Morto do Reservatório (Cota 578,00 m):	3,0 hm <sup>3</sup>
Volume de Alerta (Cota 580,00 m):	4,2 hm <sup>3</sup>
Vazão Regularizada (90%):	1,05 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Afluente de Projeto ( TR=1.000 anos)	1.646,8 m <sup>3</sup> /s
Vazão Max. De Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):	1.534,9 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Afluente de Verificação ( TR=10.000 anos)	2321,1 m <sup>3</sup> /s
Vazão Max. De Verificação Amortecida (TR=10.000	2171,3 m <sup>3</sup> /s

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM INHUÇU

anos):

Nível D'Água Max. Normal: 601,00 m

Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos): 603,70 m

Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos): 604,40 m

#### **BARRAGEM PRINCIPAL**

Tipo: Enrocamento com núcleo central argiloso

Altura Máxima: 45,4 m

Largura do Coroamento: 8,0 m

Extensão pelo Coroamento: 1.520 m

Cota do Coroamento: 605,50 m

Volume de Escavação (Fundação): 663.668 m<sup>3</sup>

Volume do Maciço e Cut-Off: 3.535.534 m<sup>3</sup>

Volume do Enrocamento: 1.786.223 m<sup>3</sup>

Volume de Transições de brita: 108.304 m<sup>3</sup>

Volume de Areia : 266.310 m<sup>3</sup>

Volume de Transições Grossas: 294.910 m<sup>3</sup>

Talude de Montante: 1,0 (V) : 2,0 (H)

Talude de Jusante: 1,0 (V) : 2,0 (H)

#### **SANGRADOURO**

Tipo: Canal revestido de concreto, com perfil Creager, rápidos e bacias de dissipação

Largura: 150 m

Cota de Sangria: 601,00m

Extensão Total do primeiro Canal Rápido (EST J01+5,27 à J11+18,55): 214,22m

Extensão Total do segundo Canal Rápido (EST J18+18,55 à J41+1,20): 443,19m

Vazão Máxima Prevista ( TR=1.000 anos ) 1534,9 m<sup>3</sup>/s

Vazão Máxima Prevista (TR=10.000 anos): 2171,3 m<sup>3</sup>/s

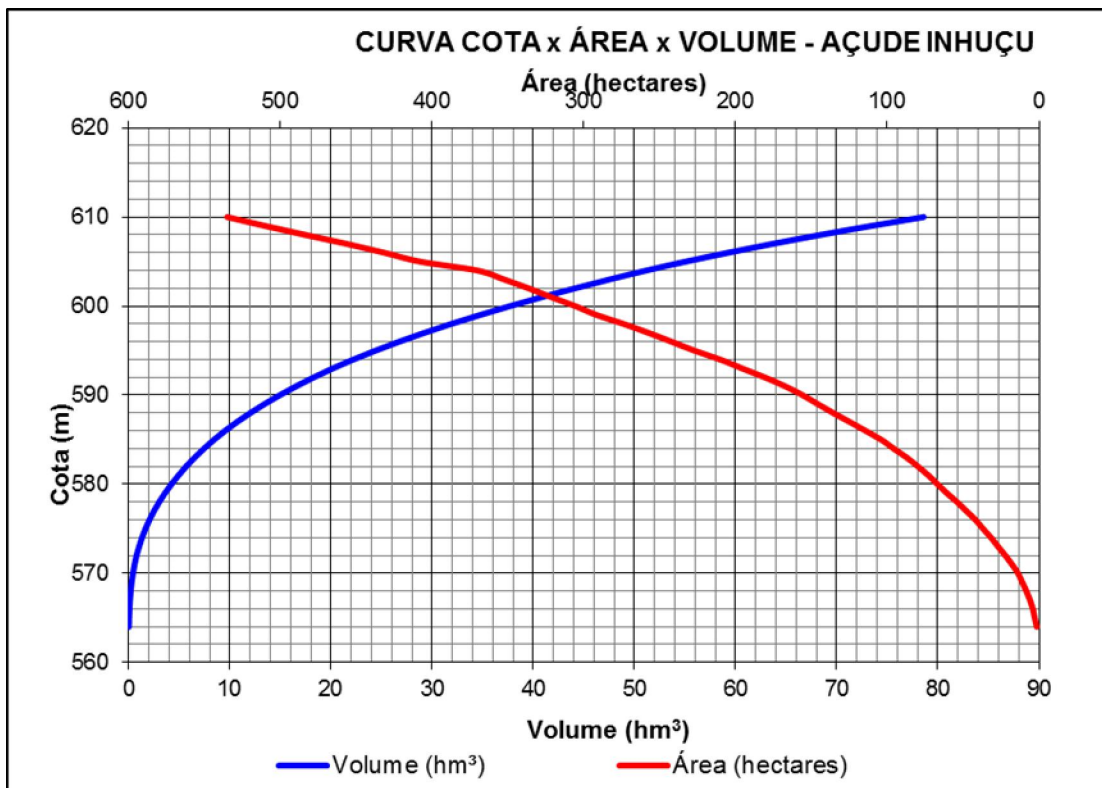
Lâmina Máxima Prevista (TR=1.000 anos): 2,70 m

Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos): 3,40 m



<b>FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM INHUÇU</b>	
Borda Livre:	1,80 m
Volume de Escavação	1.004.853 m <sup>3</sup>
<b>TOMADA D'ÁGUA</b>	
Tipo:	Tubo de Aço Envolto em Concreto
Localização:	Ombr. Direita / Est. 34+00
Número de Condutos:	1 (um)
Diâmetro:	800 mm
Comprimento do Conduto:	122,0 m
Cota da Geratriz Inferior à Montante:	578,00 m
Cota da Geratriz Inferior à Jusante:	578,00 m
<b>DESCARGA DE FUNDO</b>	
Tipo:	Tubo de Aço Envolto em Galeria de Concreto
Localização:	Leito do rio Inhuçu / Est. 46+00
Número de Condutos:	2 (dois)
Diâmetro:	1800 mm
Comprimento do Conduto:	189,80 m
Cota da Geratriz Inferior à Montante:	563,40 m
Cota da Geratriz Inferior à Jusante:	563,40 m

Tabela de Cota x Área x Volume da Bacia				
Cota (m)	Área		Volume Fração (hm <sup>3</sup> )	Volume Acumulado (hm <sup>3</sup> )
	Km <sup>2</sup>	ha		
564	0,01	1,48	0,007	0,007
565	0,03	2,80	0,021	0,029
566	0,04	4,05	0,034	0,063
567	0,06	5,95	0,050	0,113
568	0,08	8,30	0,071	0,184
569	0,11	11,04	0,097	0,281
570	0,14	13,83	0,124	0,405
571	0,18	17,77	0,158	0,563
572	0,22	22,19	0,200	0,763
573	0,27	26,96	0,246	1,009
574	0,32	31,59	0,293	1,302
575	0,37	36,87	0,342	1,644
576	0,42	41,83	0,393	2,037
577	0,48	47,93	0,449	2,486
578	0,54	53,92	0,509	2,995
579	0,61	60,71	0,573	3,569
580	0,67	66,93	0,638	4,207
581	0,73	72,92	0,699	4,906
582	0,80	79,88	0,764	5,670
583	0,87	87,21	0,835	6,505
584	0,96	95,75	0,915	7,420
585	1,04	103,96	0,999	8,419
586	1,14	114,31	1,091	9,510
587	1,25	124,78	1,195	10,706
588	1,36	135,57	1,302	12,007
589	1,46	145,78	1,407	13,414
590	1,56	155,77	1,508	14,922
591	1,67	167,29	1,615	16,537
592	1,81	180,68	1,740	18,277
593	1,96	195,62	1,881	20,159
594	2,10	210,11	2,029	22,187
595	2,27	227,05	2,186	24,373
596	2,42	242,14	2,346	26,719
597	2,57	257,47	2,498	29,217
598	2,74	273,80	2,656	31,873
599	2,92	291,56	2,827	34,700
600	3,06	305,61	2,986	37,686
601	3,21	321,39	3,135	40,821
602	3,36	336,38	3,289	44,110
603	3,53	352,74	3,446	47,555
604	3,70	370,28	3,615	51,171
605	4,08	408,05	3,892	55,062
606	4,32	431,60	4,198	59,260
607	4,57	456,69	4,441	63,702
608	4,84	483,70	4,702	68,404
609	5,10	509,95	4,968	73,372



#### 4 RELAÇÃO DE DESENHOS

---

#### 4. RELAÇÃO DE DESENHOS

Os desenhos que compõem o Projeto Executivo da barragem Inhuçu são relacionados a seguir:

DESCRIÇÃO	NÚMERO
<b>01 - GERAL</b>	
Barragem Inhuçu - Localização e Acessos	BI-PE-01-01/13
Barragem Inhuçu - Bacia Hidráulica e Cota x área x Volume	BI-PE-01-02/13
Barragem Inhuçu – Planta de Locação dos Eixos das Obras	BI-PE-01-03/13
Barragem Inhuçu - Perfil Longitudinal Topográfico do Eixo da Barragem	BI-PE-01-04/13
Barragem Inhuçu – Arranjo Geral das Obras	BI-PE-01-05/13
Barragem Inhuçu – Planta de Locação das Sondagens	BI-PE-01-06/13
Barragem Inhuçu – Perfil Geotécnico da Barragem	BI-PE-01-07/13
Barragem Inhuçu – Mapa de Localização Geral das Jazidas	BI-PE-01-08/13
Barragem Inhuçu – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo 06	BI-PE-01-09/13
Barragem Inhuçu – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo 07	BI-PE-01-10/13
Barragem Inhuçu – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo 09	BI-PE-01-11/13
Barragem Inhuçu – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo 10	BI-PE-01-12/13
Barragem Inhuçu – Planta e Dados Principais dos Areais	BI-PE-01-13/13
<b>02 - MACIÇO</b>	
Barragem Inhuçu – Planta de Escavação da Fundação da Barragem	BI-PE-02-01/27
Barragem Inhuçu – Seção Máxima e Detalhes	BI-PE-02-02/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 18 a 29	BI-PE-02-03/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 30 a 35	BI-PE-02-04/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 36 a 41	BI-PE-02-05/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 42 a 43	BI-PE-02-06/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 44 a 45	BI-PE-02-07/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 46 a 47	BI-PE-02-08/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 48 a 49	BI-PE-02-09/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 50 a 55	BI-PE-02-10/27

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 56 a 61	BI-PE-02-11/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 62 a 67	BI-PE-02-12/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 68 a 71	BI-PE-02-13/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 72 a 77	BI-PE-02-14/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 78 a 83	BI-PE-02-15/27
Barragem Inhuçu – Seções Transversais – Estacas 84 a 92	BI-PE-02-16/27
Barragem Inhuçu – Locação dos Furos de Injeção – Planta baixa e perfil	BI-PE-02-17/27
Barragem Inhuçu – Locação dos Furos de Injeção – Perfil e detalhes	BI-PE-02-18/27
Barragem Inhuçu – Locação dos Furos de Injeção – Trechos 9+13,3 – 28 e 80-92+19,6	BI-PE-02-19/27
Barragem Inhuçu – Locação dos Furos de Injeção – Trechos 28 a 80	BI-PE-02-20/27
Barragem Inhuçu – Instrumentação – Planta Baixa	BI-PE-02-21/27
Barragem Inhuçu – Instrumentação – Estacas 28, 32, 38 e 42	BI-PE-02-22/27
Barragem Inhuçu – Instrumentação – Estacas 45 e 69	BI-PE-02-23/27
Barragem Inhuçu – Instrumentação – Estacas 50,55 e 63	BI-PE-02-24/27
Barragem Inhuçu – Instrumentação – Estacas 72, 75 e 80	BI-PE-02-25/27
Barragem Inhuçu – Instrumentação – Perfil – Piezômetros e Medidor de NA	BI-PE-02-26/27
Barragem Inhuçu – Drenagem Superficial	BI-PE-02-27/27
<b>03 - ETAPAS CONSTRUTIVAS</b>	
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Fase 1	BI-PE-03-01/07
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Fase 2	BI-PE-03-02/07
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Fase 3	BI-PE-03-03/07
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Fase 4	BI-PE-03-04/07
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Fase 5	BI-PE-03-05/07
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Fase 6	BI-PE-03-06/07
Barragem Inhuçu – Etapas Construtivas- Detalhes	BI-PE-03-07/07
<b>04 - SANGRADOURO</b>	

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>NÚMERO</b>
Sangradouro- Arranjo Geral	BI-PE-04-01/24
Sangradouro- Cortes Transversais AA, BB e CC	BI-PE-04-02/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal do Muro Lateral Direito	BI-PE-04-03/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal do Muro Lateral Esquerdo	BI-PE-04-04/24
Sangradouro- Vista do Muro Lateral Direito	BI-PE-04-05/24
Sangradouro- Vista do Muro Lateral Esquerdo	BI-PE-04-06/24
Sangradouro- Cortes dos Muros Laterais e Detalhes	BI-PE-04-07/24
Sangradouro- Planta de Escavação	BI-PE-04-08/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal Do Sangradouro Pelo Eixo	BI-PE-04-09/24
Sangradouro- Perfil Creager e Detalhes	BI-PE-04-10/24
Sangradouro- Detalhe das Juntas	BI-PE-04-11/24
Sangradouro- Detalhe dos Cumbadores	BI-PE-04-12/24
Sangradouro- Detalhe da Drenagem	BI-PE-04-13/24
Sangradouro- Planta de Detalhes	BI-PE-04-14/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Montante (M0-M2)	BI-PE-04-15/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Montante (M3-M8)	BI-PE-04-16/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Montante (M9-M15)	BI-PE-04-17/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Montante (M16-M21+1,515)	BI-PE-04-18/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J0-J7)	BI-PE-04-19/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J8-J17)	BI-PE-04-20/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J18-J28)	BI-PE-04-21/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J29-J37)	BI-PE-04-22/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J38-J45)	BI-PE-04-23/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J46-J55)	BI-PE-04-24/24
<b>05 - TOMADA D'ÁGUA</b>	
Tomada D' Água – Planta e Perfil - Escavação	BI-PE-05-01/22

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>NÚMERO</b>
Tomada D' Água – Seções de Escavação do Canal de Aproximação	BI-PE-05-02/22
Tomada D' Água – Seções de Escavação da Galeria	BI-PE-05-03/22
Tomada D' Água – Seções de Escavação do Canal de Restituição	BI-PE-05-04/22
Tomada D' Água – Canal de Restituição- Enrocamento	BI-PE-05-05/22
Tomada D' Água – Perfil das Estrutura Planta e Seções da Galeria	BI-PE-05-06/22
Tomada D' Água – Boca de Montante e Detalhes	BI-PE-05-07/22
Tomada D' Água – Torre de Comando da Comporta e Detalhes	BI-PE-05-08/22
Tomada D' Água – Casa de Comando da Comporta e Detalhes	BI-PE-05-09/22
Tomada D' Água – Casa de Comando das Válvulas e Detalhes	BI-PE-05-10/22
Tomada D' Água – Equipamentos Hidromecânicos	BI-PE-05-11/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Torre-Cortes-Escada	BI-PE-05-12/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Torre-Armadura Das Sapatas	BI-PE-05-13/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água -Torre-Armadura Pilares	BI-PE-05-14/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Torre-Armadura Patamar2	BI-PE-05-15/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Torre-Armadura Patamar3	BI-PE-05-16/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Torre-Armad-Patamar1 1-Superior	BI-PE-05-17/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Torre-Armadura Do Forro-Patamar1	BI-PE-05-18/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Galeria	BI-PE-05-19/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Casa De Válvula-Formas	BI-PE-05-20/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Casa De Válvula-Armaduras	BI-PE-05-21/22
Projeto Estrutural Da Tomada D'água - Casa De Válvula-Armaduras Do Tanque	BI-PE-05-22/22



DESCRIÇÃO	NÚMERO
<b>06 - DESCARGA DE FUNDO</b>	
Descarga De Fundo- Planta E Perfil - Escavação	BI-PE-06-01/23
Descarga De Fundo- Canal De Aproximação E Restituição - Escavação	BI-PE-06-02/23
Descarga De Fundo- Seções - Escavação	BI-PE-06-03/23
Descarga De Fundo- Canal De Aproximação - Enrocamento	BI-PE-06-04/23
Descarga De Fundo- Planta - Perfil E Secoes	BI-PE-06-05/23
Descarga De Fundo- Boca De Montante E Detalhes	BI-PE-06-06/23
Descarga De Fundo- Torre De Comando Da Comporta E Detalhes	BI-PE-06-07/23
Descarga De Fundo- Casa De Comando Da Comporta E Detalhes	BI-PE-06-08/23
Descarga de Fundo- Casa de Comando das Válvulas- Planta e Corte	BI-PE-06-09/23
Descarga de Fundo- Casa de Comando das Válvulas- Planta e Cortes e Detalhes	BI-PE-06-10/23
Descarga de Fundo- Casa de Comando das Válvulas- Drenagem e Detalhes	BI-PE-06-11/23
Descarga de Fundo- Equipamentos Hidromecânicos	BI-PE-06-12/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre De Comando Da Comporta	BI-PE-06-13/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre: Armadura Vigas Do N1 Ao N6	BI-PE-06-14/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre: Armadura Vigas Do N7 Ao N12	BI-PE-06-15/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre : Armadura Da Laje 13 E 15 E Vigas Do N13 Ao 15	BI-PE-06-16/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre: Armadura Dos Pilares E Bloco De Fundação	BI-PE-06-17/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre: Forma Da Escada	BI-PE-06-18/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Torre: Armadura Da Escada	BI-PE-06-19/23

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Galeria - Seção E Armadura	BI-PE-06-20/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Boca De Montante - Planta E Armadura	BI-PE-06-21/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Boca De Jusante, Armadura Da Laje, Pilar E Parede	BI-PE-06-22/23
Descarga De Fundo - Projeto Estrutural - Boca De Jusante: Armadura Das Vigas, Lajes E Blocos De Apoio Da Tubulação	BI-PE-06-23/23
<b>07 - CANTEIRO DE OBRAS</b>	
Canteiro De Obras - Arranjo Geral	BI-PE-07-01/09
Canteiro De Obras - Prédio Administração	BI-PE-07-02/09
Canteiro De Obras - Oficina	BI-PE-07-03/09
Canteiro De Obras - Refeitório	BI-PE-07-04/09
Canteiro De Obras - Portaria / Chaperia	BI-PE-07-05/09
Canteiro De Obras - Ambulatório	BI-PE-07-06/09
Canteiro De Obras - Alojamento Administrativo	BI-PE-07-07/09
Canteiro De Obras - Alojamento Dos Engenheiros	BI-PE-07-08/09
Canteiro De Obras - Sanitários E Vestiários	BI-PE-07-09/09

## 5 DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

---

## 5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

### 5.1 GENERALIDADES

Neste capítulo é apresentado o memorial descritivo do projeto da Barragem Inhuçu no município de Croatá que será construída barrando o rio Inhuçu no ponto de coordenadas N=9.520,965 e E=284.089. O eixo localiza-se imediatamente a montante da zona urbana do distrito de Barra do Sotero e cruza o ponto de desembocadura do rio Piau, importante afluente pela margem esquerda do rio Inhuçu.

O desenvolvimento deste item é feito abordando os seguintes tópicos:

Escolha do Eixo Barrado;

Escolha do Tipo de Barragem;

Fundação da Barragem;

Maciço da Barragem;

Sangradouro;

Tomada D'água;

Descarga de Fundo;

Etapas Construtivas.

### 5.2 ESCOLHA DO EIXO BARRADO

Selecionou-se cinco locais possíveis de abrigar o eixo do barramento Inhuçu, ordenados no sentido montante, a partir da sede de Croatá, sendo:

Inhuçu 1

Inhuçu 2

Inhuçu 3

Inhuçu- Montgomery Watson/Engesoft

Inhuçu/Sotero

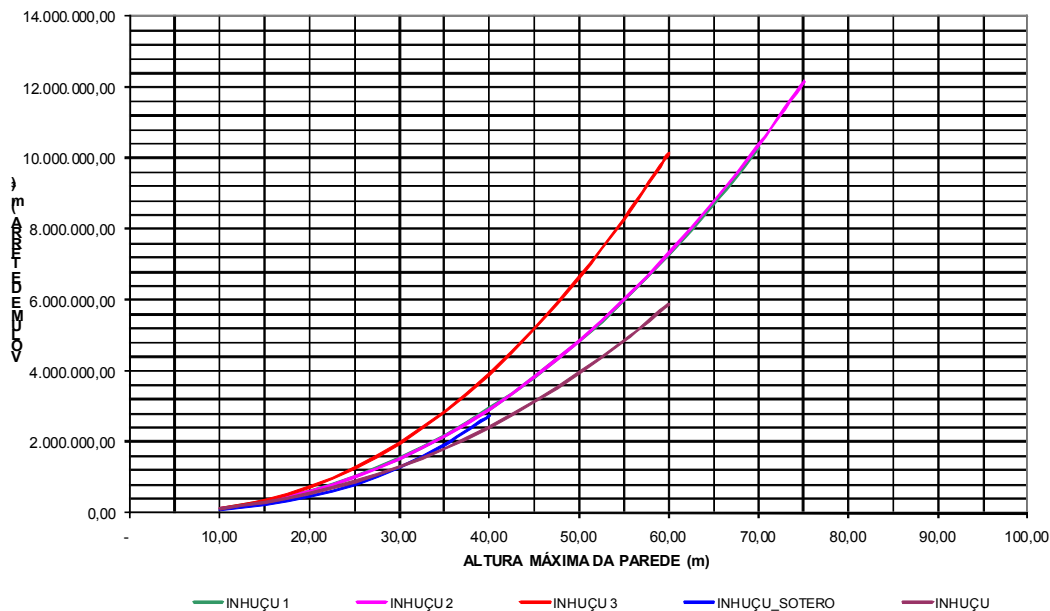
Todos os eixos alternativos, com exceção do Inhuçu/Sotero, transcorrem por vales do tipo U alongado, ou seja, uma extensa planície aluvionar ladeada de elevações montanhosas escarpadas. Esta configuração impossibilita a concepção de estruturas de sangria através de escavações nas ombreiras, principalmente pelas dimensões necessárias para escoar as vazões projetadas. No entanto, para as

alternativas Inhuçu 3, 2 e 1 é possível localizar a estrutura do sangradouro em uma depressão situada no divisor de águas da bacia, aproximadamente nas coordenadas E 280.584 e N 9.514.430. O caudal a ser vertido nesse local cairia no riacho Saco dos Bois, que segue na direção Sudoeste até desembocar no rio Poti, já em terras do estado do Piauí.

O eixo Inhuçu, original do Estudo de Viabilidade elaborado pela Montgomery Watson/Engesoft, apresenta na ombreira direita uma sela topográfica com possibilidades de receber uma estrutura de sangria. As vazões descarregadas nesse ponto voltariam ao rio Inhuçu, por meio de um riacho afluente, no local denominado Volta do Rio, situado a cerca de 2 km a jusante do eixo.

A alternativa Inhuçu/Sotero, com eixo imediatamente a montante da zona urbana de Barra de Sotero apresenta, na ombreira direita, um contraforte com uma região mais suave que aparentemente pode comportar uma estrutura de sangria. O caudal vertido nesse local retorna ao rio Inhuçu, por meio de um talvegue. Embora ao longo deste talvegue as construções sejam em número reduzido, faz-se necessário estudar uma proteção da margem esquerda do rio para evitar erosões que atinjam as casas da cidade.

Um estudo, apresentado no relatório RIO, que avaliou o volume do maciço em cada alternativa pesquisada para o eixo Inhuçu, para um mesmo tipo de seção transversal, apontou que o volume necessário para a implantação do maciço no eixo Inhuçu/Soteros, é competitivo com as demais alternativas até a altura do maciço de 40 metros. A seguir representa-se, na **Figura 5.1**, o gráfico que endossa essa conclusão.



**Figura 5.1: Altura máxima da barragem x volume de maciço de terra para as alternativas Inhuçu**

Como as condições geológicas na região são relativamente homogêneas, os problemas de escavação dos sangradouros e a resistência da rocha ao caudal de vertimento não apresentam diferenças significativas entre as alternativas. Apenas as condições do relevo topográfico podem proporcionar diferenças volumétricas nas escavações do sangradouro e nas condições de restituição do caudal ao rio.

Considerou-se o eixo Inhuçu/Sotero como o mais apropriado, pois, além de ser a única alternativa que preserva o distrito de Barra do Sotero, com aproximadamente 542 habitantes (censo 2010), preserva integralmente as zonas aluvionares agricultáveis que ocorre entre este distrito e a sede do município de Croatá (cerca de 980 há de terras irrigáveis). Nesse eixo as condições topográficas permitem a implantação de uma estrutura de sangria, na ombreira direita, com uma escavação volumetricamente aproveitável no maciço da barragem.

O eixo implantado topograficamente apresenta uma deflexão voltada para montante, para evitar que o caudal de sangria atinja o maciço da barragem. Durante o desenvolvimento do projeto, com o avanço dos estudos hidrológicos, definição do volume ideal do reservatório e dimensionando o sangradouro e seu canal de restituição, o eixo implantado no levantamento topográfico sofreu pequenas adequações locais para melhor ajuste do conjunto das obras.

### 5.3 ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM

Na eleição do tipo de barragem mais apropriado para o local escolhido constatou-se que o condicionante mais relevante diz respeito aos aspectos geológicos/geotécnicos da região.

Estes aspectos se traduzem na disponibilidade quase exclusiva de solos arenosos finos, com ausência ou muito baixa plasticidade, e rochas areníticas com grande variabilidade no grau de coerência. Solos areno argilosos são raros e normalmente distantes da área da barragem, areias com granulometria média ou grossa são praticamente inexistentes, assim como rochas graníticas ou gnaissicas. Neste cenário concluiu-se a inviabilidade financeira de adoção de um maciço de gravidade em CCR, devida a necessidade de grandes distâncias de transportes para os agregados (areia entre 62 e 85 km e brita a 56 km).

Uma comparação entre os custos de escavações rochosas e transporte de solos coesivos levou a concepção de algumas alternativas de maciços mistos, com combinações de uso de solo areno argiloso e enrocamento ao longo do maciço da barragem.

A seção alternativa que se mostrou mais apropriada técnica e economicamente foi a que adota espaldares de montante e jusante de enrocamento, proveniente das escavações obrigatórias do sangradouro, e zona central de solo areno argiloso.

Esta seção, assim com as demais alternativas, levaram em consideração as características do maciço rochoso de fundação, com elevada condutibilidade hidráulica e presença de intercalações de argilitos e siltitos.

#### FUNDAÇÃO

A análise das condições geológicas do maciço de fundação da Barragem de Inhuçu, detalhadamente descritas no capítulo de estudos básicos, conduziu à conclusão que se trata de um maciço sedimentar constituído essencialmente por arenitos coerentes a pouco coerentes, com alguns níveis de siltitos e argilitos incoerentes a pouco coerentes intercalados, frequentemente muito fraturados, em resultado da atividade tetônica que afetou esses terrenos ou da decompressão superficial do maciço. Os arenitos pouco coerentes ou incoerentes e os siltitos e argilitos têm no geral comportamento friável.

A realização de ensaios de perda de água no interior das sondagens executadas ao longo do eixo do barramento e a posição dos níveis freáticos nessas sondagens permitem concluir que o maciço rochoso exhibe em geral elevada permeabilidade,

não compatível com o seu bom comportamento quando do enchimento do reservatório. Essa permeabilidade deverá, essencialmente, resultar da maior ou menor abertura das fraturas que ocorrem até às profundidades estudadas e não da porosidade dos níveis litológicos que compõem o maciço.

Toda a informação geológica e hidrogeológica sub-superficial que serviu de base à interpretação feita resultou da análise dos testemunhos e dos resultados dos ensaios de perda de água de um número limitado de sondagens e de ensaios, tendo-se, no entanto, usado na campanha de sondagens todos os quantitativos contratados para o projeto. Com efeito, ao longo dos 1.500 metros de extensão do coroamento foram apenas executadas 10 sondagens rotativas, o que corresponde a uma distância média entre furos de 150 metros, sendo que entre algumas delas a distância atingiu cerca de 200 metros. Acresce que todas elas foram concluídas com cerca de 30 metros de comprimento tendo sido realizados cerca de 75 ensaios de perda de água, já que não foi possível obturar alguns trechos ou ocorreu perda de água total em outros. A heterogeneidade do maciço rochoso furado, quer em termos da estrutura tectónica do terreno e do fraturamento associado quer em termos de comportamento hidráulico, leva a recomendar a execução de uma campanha de sondagens complementar, no início da obra visando conseguir fazer algum zoneamento geotécnico do maciço rochoso, que permita ajustar o projeto do tratamento antes de ser dado o seu início.

Assim, a viabilização do empreendimento em termos hidráulicos e de segurança exige que seja feito o tratamento do maciço de fundação, visando essencialmente reduzir significativamente as vazões pelo maciço rochoso e a possibilidade da percolação provocar fenômenos de erosão interna nos níveis mais friáveis.

Atendendo ao modelo geológico, sucintamente descrito acima, fez-se uma ponderação sobre os procedimentos e técnicas que seriam mais adequadas neste caso, para se atingirem os objetivos pretendidos. Nessa ponderação foi levado em conta que a barragem terá 1.500 metros de extensão e 43,5 metros de altura máxima.

A primeira consideração teve a ver com a possibilidade de se considerar uma seção para a barragem que diminuísse significativamente a velocidade de percolação pela sua fundação, através da redução do gradiente hidráulico que se virá a instalar com o enchimento do reservatório. Analisada a disponibilidade de solos finos nas jazidas estudadas, situadas a uma distância aceitável (até cerca de 20 Km), considerou-se que a seção mais favorável seria a de perfil misto, com o maciço de



montante constituído integralmente pelo solo impermeável encostando ao filtro chaminé com uma inclinação de 2:1 (v:h), e o maciço de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de arenito coerente a muito coerente, em parte resultante dos produtos da escavação prevista para a instalação do sangradouro e em parte explorado em pedreira próxima. Atendendo, no entanto, a que o material fino disponível para a construção da barragem de Inhuçu terá que ser também utilizado na construção de um núcleo impermeável na barragem de Lontras, em virtude da escassez de material adequado nas jazidas prospectadas nas imediações desta obra, foi decidido alterar a seção, passando a barragem de Inhuçu a ser uma barragem de enrocamento, com taludes 1(v); 2,0(h), dotada de um núcleo delgado, com taludes 1(v); 0,35(h), prolongado por tapete interno impermeável, construídos com o solo das jazidas J-06; J-07, J-09 e J-10.

Na **Figura 5.1** está representada esquematicamente a seção-tipo concebida e que foi utilizada no projeto.

O gradiente hidráulico máximo resultante dessa seção é de cerca de 0,37.

Na situação de pleno armazenamento, a velocidade de percolação da água através do maciço de fundação será moderada, daí resultando uma menor possibilidade para a ocorrência de fenômenos de erosão interna afetando os níveis mais friáveis. No entanto, considerou-se indispensável incorporar na seção da barragem, com o mesmo objetivo de impedir fenômenos de erosão interna, um sistema de filtro e dreno, com as respectivas camadas dimensionadas (granulometria e espessura) de forma a impedir o arrastamento de partículas finas desses níveis mais friáveis, mantendo a integridade do maciço de fundação, assegurando assim a sua estabilidade.

Apesar dessas medidas incorporadas na seção da barragem, considerou-se que seria ainda indispensável estudar um sistema de tratamento do maciço de fundação que atuasse no sentido de diminuir o seu grau de permeabilidade.

Para o efeito, fez-se uma listagem de tecnologias que poderiam ser utilizadas com esse objetivo, tendo-se considerado, para além do tratamento mais convencional com cortinas de injeção de caldas cimentícias, a realização de parede diafragma com uso de hidrofresa, a execução de cortina de estacas secantes não armadas e ainda cortina com colunas de jetgrouting.

Atendendo aos resultados das investigações geotécnicas, e tendo em atenção as considerações feitas sobre o número reduzido de sondagens e ensaios de perda de

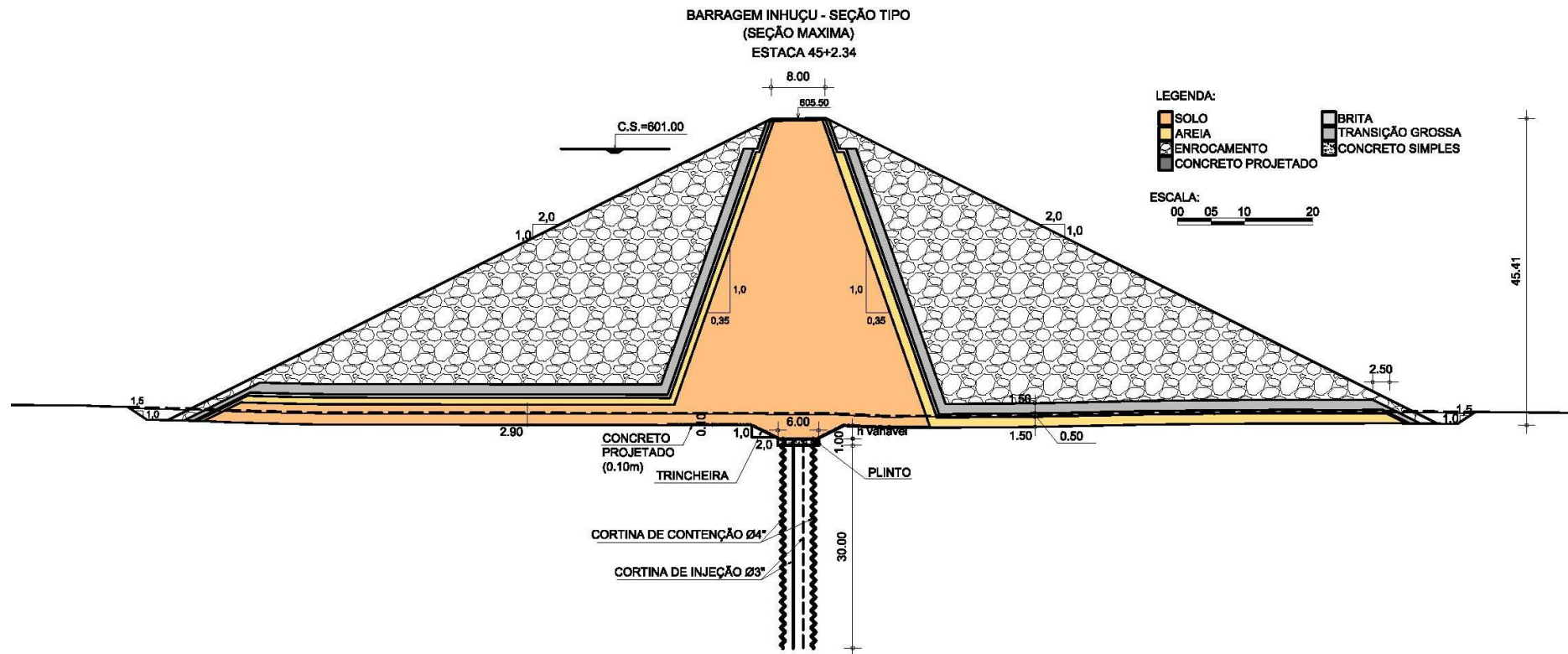
água, face à extensão da barragem, concluiu-se que, qualquer que fosse a solução tecnológica, o tratamento teria que ser feito ao longo de toda a fundação e pelo menos até cerca de 30 metros de profundidade, em grande parte da sua extensão.

Em relação à realização de uma parede diafragma com recurso a hidrofresa capaz de cortar uma trincheira com um mínimo de 0,6 m de largura, teríamos uma parede com uma área total de cerca de 50.000 m<sup>2</sup> e um volume de concreto de cerca de 30.000 m<sup>3</sup>. Trata-se de equipamento e tecnologia introduzidos no Brasil nos últimos anos, existindo já algumas empresas especializadas equipadas para executarem esse serviço. Dadas as dimensões da obra, essa solução teria um custo desproporcionado ao custo de construção do aproveitamento, atendendo a que o custo unitário de uma parede diafragma construída em rocha com recurso a hidrofresa é cerca de 5 a 6 vezes superior ao custo de uma parede diafragma construída em maciço terroso. Por essa razão não se considerou essa solução para conter a percolação da água através do maciço rochoso de fundação, embora ela fosse a que desse maior garantia de eficácia.

A solução de cortina de estacas secantes não armadas parece ser igualmente de preço desproporcionado em relação ao custo total da obra. Considerando estacas de 1,20 metros de diâmetro e os mesmos 30m de comprimento no maciço rochoso, a cortina exigiria cerca de 1.500 estacas com um comprimento total de 50.000 metros. Acresce que a garantia de não passagem de água através da cortina não é total como no caso da parede diafragma, em virtude de poder haver desvios da vertical que podem atingir 2%, deixando então janelas na estrutura que permitem a passagem.

Uma solução de cortina com recurso a colunas de jetgrout, cada vez mais utilizada para reforço de maciços terrosos, não tem aplicação apropriada no caso de maciços rochosos com significativas passagens de rochas coerentes e de elevada resistência, como é o caso. A utilização de pressões elevadas para a constituição das colunas iria conduzir ao desarranjo

Figura 5.2: Seção tipo da barragem Inhuçu



do maciço rochoso, sendo o seu efeito final de difícil controle e de problemática eficácia. Razões pelas quais também se considerou que esta não seria solução a reter.

Nessas condições, considerou-se que a solução mais adequada e de menor custo seria a mais convencional, consistindo na execução de uma cortina de furos de injeção de caldas resultantes de misturas de cimento e água e em certas situações de aditivos. O projeto de tratamento das fundações que se apresenta é assim baseado nessa solução.

Contudo, tendo em atenção a muito elevada permeabilidade exibida pelo maciço até à profundidade investigada, resultante em nossa avaliação do expressivo fraturamento do maciço rochoso, com fraturas abertas não preenchidas ou preenchidas por materiais facilmente removíveis com água injetada com alguma pressão, considerou-se que, para tornar eficiente a cortina de injeções e evitar que as caldas injetadas percorressem distâncias apreciáveis em relação ao alinhamento da cortina, seria necessário executar duas cortinas de contenção, uma de cada lado da cortina de injeção.

Essas duas cortinas de contenção, também na maior parte da sua extensão com 30 metros de profundidade, serão executadas previamente e em alinhamentos paralelos e exteriores à cortina de injeções, com recurso à injeção de caldas mais espessas, se necessário com aditivo fluidificante, mas de pega rápida. O espaçamento entre furos no alinhamento de cada cortina de contenção será o que assegura um preenchimento continuado das fraturas do maciço rochoso com as caldas injetadas.

Executadas essas cortinas exteriores de contenção, cujos alinhamentos estão afastados entre si de 4,5 m, estarão criadas as condições para se proceder à injeção das caldas da cortina de impermeabilização alinhada entre as duas de contenção. É expectável que as injeções de impermeabilização, com caldas mais fluidas e pressões mais elevadas, concentrem a penetração das caldas nas fraturas localizadas preferencialmente nessa banda, contribuindo dessa forma para uma redução drástica da permeabilidade do maciço rochoso e para um comportamento hidráulico satisfatório. Essas mesmas caldas não terão em vista penetrar nos poros das rochas mais brandas e de matriz mais fina, dado se considerar que a percolação através deles terá pouco significado para o comportamento hidráulico da fundação.

Uma consideração final relativa à eventual utilização de uma galeria de injeção a construir num cut-off escavado entre os alinhamentos das cortinas de contenção. Reconhecendo-se várias vantagens na existência de uma galeria de injeção para a construção da barragem e sua posterior inspeção na fase de operação do reservatório, considerou-se que neste caso, dada a moderada altura da barragem e, sobretudo, a sua grande extensão, o custo resultante da sua construção seria desproporcionado em relação ao custo total da obra, não a tendo considerado neste projeto.

Com base nas características geológicas e hidrogeológicas do maciço de fundação da barragem e do vertedouro, considerou-se indispensável proceder ao seu tratamento, visando reduzir significativamente a permeabilidade dos respectivos terrenos.

A descrição detalhada das condições geológicas do local do barramento encontra-se em item próprio do Relatório de Estudos Básicos. Nele figura a descrição litológica e estrutural do complexo sedimentar da Formação Serra Grande, compreendendo arenitos finos a grosseiros com intercalações de estratos de espessura reduzida de siltitos e argilitos, que constitui o maciço de fundação, bem como considerações sobre a morfologia da região.

Da análise dos dados de campo e dos testemunhos das sondagens executadas no alinhamento da barragem e dos resultados dos ensaios de perda de água, até cerca de 30 metros de profundidade, conclui-se que, no geral, os terrenos da fundação ocorrem apreciavelmente fraturados, apresentando-se fragmentados e alterados nos primeiros metros, em decorrência do intemperismo que afeta todos os níveis litológicos. Considerando-se que a matriz dos arenitos em especial dos coerentes, dos siltitos e dos argilitos exhibe reduzida permeabilidade, as elevadas perdas de água nos ensaios no interior dos furos de sondagem resultam da presença de descontinuidades com maior ou menor abertura. Neste complexo, as descontinuidades são essencialmente resultantes da estratificação, de juntas de alívio e do diaclasamento tectônico.

Os ensaios de perda de água permitem concluir que, apesar da heterogeneidade, o maciço de fundação exhibe elevada permeabilidade em toda a extensão da barragem e frequentemente até à profundidade atingida pelas sondagens. Essa constatação é também evidenciada pela posição do nível de água no interior dos furos de sondagem. Com efeito, o nível de água no maciço rochoso tem um andamento, em geral, quase horizontal e correspondente ao nível de água na calha dos rios (**Figura 5.2**). Aparentemente, haverá uma melhoria da permeabilidade entre as estacas 60 e

92, até ao topo da ombreira esquerda, mas o pequeno número de sondagens não permite ser conclusivo.

A estrutura do complexo sedimentar caracteriza-se por uma atitude em geral sub-horizontal dos estratos, com mergulhos que não ultrapassam em regra 20°, podendo atingir cerca de 40° em resultado da ocorrência em alguns estratos de estratificação cruzada e por descontinuidades em geral rugosas, orientações variadas e mergulhos mais frequentes entre 70 e 75°, por vezes 45°.

O complexo rochoso encontra-se recoberto por uma camada de solo essencialmente arenoso e por vezes siltoso e rocha muito fragmentada, com espessura variável, sendo frequente de 1 a 2 metros. Atendendo a que se trata de uma barragem de aterro de média altura, a remoção desse material com a lâmina de um trator (bulldozer) será suficiente para definir uma superfície de fundação adequada à estabilidade da obra. Nas calhas dos rios há que remover a totalidade das aluviões, incluindo os blocos areníticos de apreciáveis dimensões.

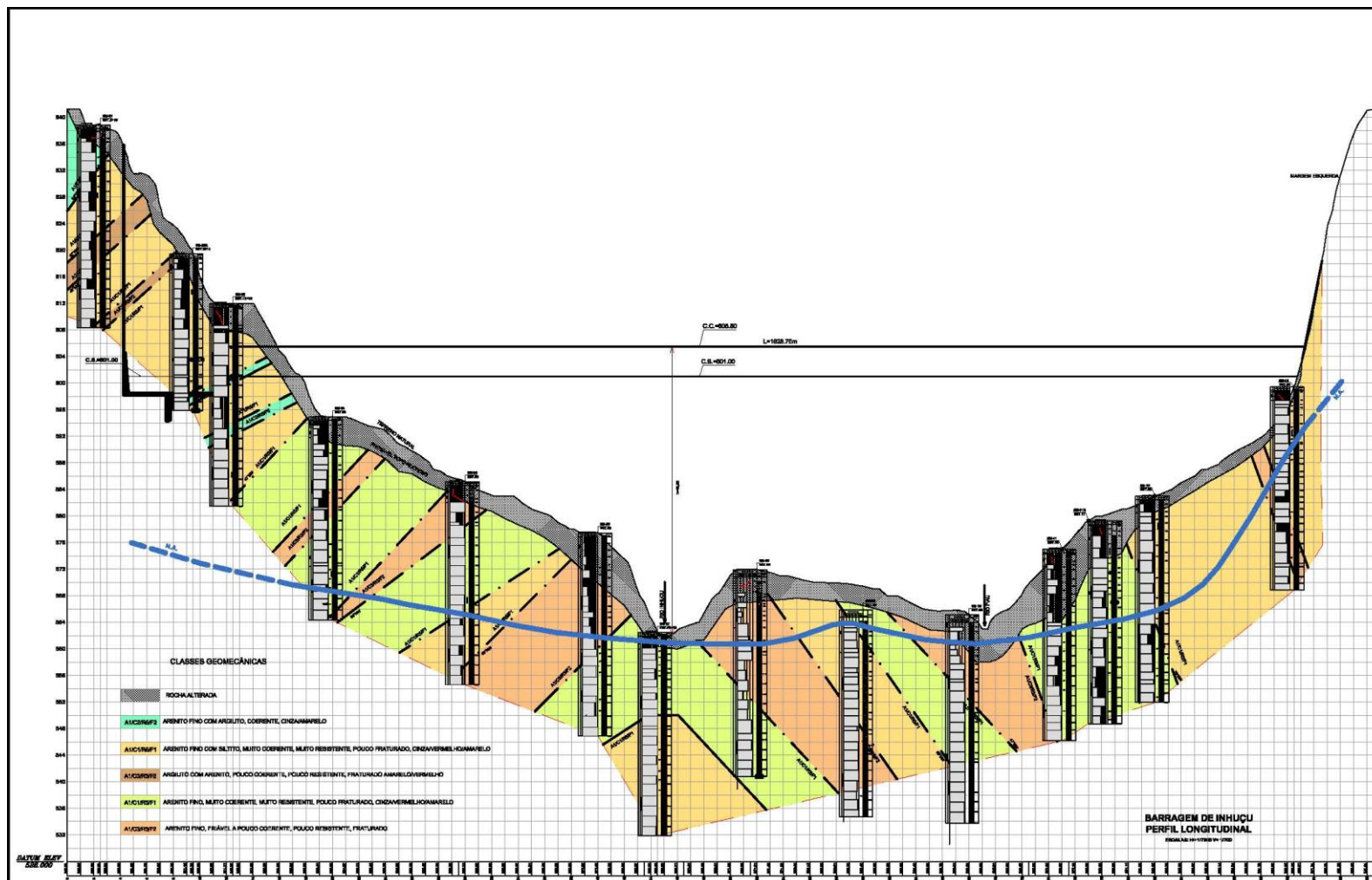
O tratamento do maciço de fundação é fundamentalmente de impermeabilização e, pelas razões apontadas nas considerações gerais, ele consistirá essencialmente na execução de uma cortina ao longo de toda a extensão da barragem e do vertedouro. As profundidades dos furos são de 30 m em grande extensão da barragem, entre as estacas 28 e 80, reduzindo-se essa profundidade até 15 m sob o vertedouro e na parte superior da ombreira esquerda, onde a altura da água será bem menor, como se mostra na **Figura 5.3** e no Tomo 2- Desenhos.

Os trabalhos iniciar-se-ão pela escavação de um cut-off na base do núcleo, na vertical do coroamento da barragem, com cerca de 2 a 3 m de profundidade e com uma largura na base de 6 m. Os taludes de escavação terão inclinação de 1:2 (v:h) para criar condições para uma boa compactação do aterro no seu interior. A escavação da rocha até essa profundidade (em geral alterada e muito fraturada) será facilmente conseguida com escarificador (ripper) não sendo necessário, em princípio, recorrer à utilização de explosivos. As superfícies dos taludes de escavação serão regularizadas com camada de 0,10 m de espessura de concreto projetado, visando assegurar boas condições para a compactação do solo no interior do cut-off.

A base da trincheira será recoberta por uma laje de concreto simples (plinto), com cerca de 1 m de espessura, cuja finalidade é permitir instalar em boas condições o

obturador usado na injeção das caldas e ainda contribuir com ligeira contra-pressão quando da injeção nos furos das cortinas.

Figura 5.3: Nível de água no interior dos furos de sondagem





A partir da base do cut-off serão executadas, numa primeira fase, duas cortinas de contenção, atingindo 30 m de profundidade na zona central da barragem, numa extensão de cerca de 1040.m, cujos alinhamentos ficam afastados entre si de 4,5 m. Essa profundidade diminui para um e outro lado, como se mostra nos desenhos do Tomo 2. Apesar da existência da laje acima mencionada a pressão de injeção das caldas a utilizar nessas cortinas nos primeiros metros de furação será moderada (2 a 3 Kg/cm<sup>2</sup>) para não contribuir para a descompressão do maciço rochoso. Os furos das cortinas de contenção serão executados com diâmetro de 4” com equipamento rotopercussivo, afastados 3m uns dos outros. Os trechos a injetar terão comprimento de 5 m. Essas caldas, à base de misturas de água e cimento, deverão ser suficientemente espessas para penetrarem nas fraturas num raio de pequena dimensão, visando constituir um anteparo (contenção) às injeções de caldas mais fluidas que posteriormente irão ser usadas na cortina de impermeabilização. No tomo das Especificações Técnicas estão indicados os tipos de caldas e as pressões a utilizar, bem como a sequência da injeção nos furos das cortinas de contenção.

Executadas as duas cortinas de contenção, estão criadas as condições para iniciar a cortina de impermeabilização. Considerou-se que a sua eficácia será conseguida com recurso a duas linhas de injeção afastadas 1,5 m entre si e 1.5 m da correspondente cortina de contenção. Os furos serão executados em quincôncio, visando uma melhor distribuição das caldas de injeção, tal como figura nos desenhos e a sua injeção, em cada linha, será feita alternadamente usando a técnica de “split spacing”. Primeiro são injetados os furos primários, afastados 12 m uns dos outros, seguidamente os secundários, a meia distância, afastados 6 m dos primários e, se necessário, os furos terciários igualmente a meia distância dos anteriormente executados, com afastamento de 3 m em relação a eles. Os furos da cortina de impermeabilização terão também 30 m de comprimento na zona central da barragem (embora alguns ensaios de perda de água executados entre 27 e 30 m de profundidade exibam ainda grandes absorções de água a essas profundidades) e serão executados com 3” de diâmetro, sendo os primários alternados, de apenas uma das linhas de injeção, executados com sonda rotativa e barrilete duplo para obtenção de testemunhos do terreno e todos os restantes das duas linhas com equipamento rotopercussivo. Nos furos primários alternados executados com sonda rotativa serão realizados ensaios de perda de água com 3 estágios de pressão em trechos de 5 m, em toda a extensão e nos restantes esses ensaios serão realizados

apenas no último trecho. Os trechos de injeção de calda têm igualmente 5 m de comprimento. No tomo das Especificações Técnicas estão indicados os critérios para a execução dos ensaios de perda de água, bem como os tipos de caldas e as pressões a utilizar, a sequência de utilização, o recurso a aditivos, etc.

Nas Especificações Técnicas figuram ainda os critérios que devem ser seguidos para ajuizar da eficácia do tratamento de impermeabilização. As ações correspondentes devem ocorrer **na fase de execução das injeções** (redução progressiva de perda de água e de toma de cimento nos furos subseqüentes), **após serem dadas por terminadas as injeções** (através da execução de alguns furos de sondagem rotativos com orientação diferente da dos furos da cortina, acompanhados de ensaios de perda de água) e **após terminarem as obras**, na fase de enchimento do reservatório e sua posterior operação (auscultação com piezômetros hidráulicos no maciço rochoso, nas mesmas seções transversais onde serão instalados outros piezômetros para avaliação do comportamento do aterro do núcleo e com medidores de vazão localizados no pé da barragem, nas calhas dos rios Piaus e Inhuçu).

Os furos das cortinas de contenção e da cortina de impermeabilização serão verticais, o que simplifica a sua execução. Essa orientação é compatível com a estrutura geológica do maciço rochoso, caracterizado como antes referido por estratos com mergulhos em regra de 10° a 20° e famílias de diaclases com variadas orientações e mergulhos mais frequentes da ordem de 70 a 75°, por vezes 45°.

Atendendo à natureza das formações e à heterogeneidade do maciço rochoso, considera-se essencial anteceder os trabalhos do tratamento da fundação pela execução de duas cortinas experimentais, afastadas uma da outra, localizadas nos alinhamentos das cortinas, escolhidos de acordo com os resultados das sondagens realizadas. Em princípio, pelas razões anteriormente apontadas, uma dessas cortinas experimentais deverá localizar-se entre as estacas 25 e 30, zona onde o maciço parece ser mais permeável até as profundidades ensaiadas, e a outra entre as estacas 60 e 65, zona onde o maciço rochoso se exhibe bastante menos permeável em toda a profundidade ensaiada, abaixo dos 5 metros da superfície do terreno natural. Com a execução dessas cortinas experimentais pretende-se testar a penetrabilidade das várias caldas, face às pressões de injeção, o equipamento de ensaio de perda de água e de injeção das caldas, bem como outros procedimentos recomendados no projeto. Nas Especificações Técnicas figuram as indicações necessárias à boa execução dos trabalhos e aos critérios de aceitação da sua qualidade.

Em síntese pode-se relacionar os principais serviços previstos para a fundação da barragem, como:

- escavação da cobertura de solo e rochas incoerentes/pouco coerentes e muito fraturadas com lamina de trator de esteiras;
- escavação do cut-off central em rocha coerente muito fraturada com uso contínuo de escarificadores (ripper);
- construção de uma laje de concreto no fundo do cut-off (plinto) e jateamento de concreto nos taludes;
- execução de duas linhas de cortina de contenção ao longo de toda a barragem e sangradouro;
- execução de duas linhas de cortina de impermeabilização.

#### MACIÇO DA BARRAGEM

Este item tem a finalidade de descrever com detalhes a seção tipo adotada para a Barragem Inhuçu que apresenta as seguintes características:

##### a) Cota e Largura da Crista

A cota da crista foi definida com base nos estudos hidrológicos, que definiram o volume de acumulação mais apropriado para o reservatório. A cota do sangradouro foi, portanto, definida em 601,00 m, acumulando um volume de 40,8 hm<sup>3</sup>. A partir da definição da cota da soleira e das informações hidrológicas sobre as lâminas milenar e decamilenar foi determinada a altura da onda, em função do fecht, e a partir daí calculou-se a folga. Considerando a lâmina da cheia milenar obteve-se a revanche  $R = 4,15$  m, valor este que acarretou na escolha da cota de coroamento de 605,50 m. Este valor foi verificado para a cheia decamilenar acrescida de uma proteção adicional de 0,50 m e mostrou-se seguro.

A largura do coroamento foi determinada pela fórmula de Preece e se obteve um valor próximo a 8,00m, tendo este sendo adotado. A seção transversal apresenta um caimento de 2% para montante. A camada final com 0,30cm de espessura será executada com material pétreo de “fundo de pedreira”. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados “in situ” com saída d’água para montante, espaçadas de 20,00m em 20,00m.

No contato do maciço da barragem com o muro do sangradouro será implantada uma proteção do tipo guarda corpo tubular com aço inoxidável.

#### b) Zoneamento da seção da barragem

A barragem Inhuçu constitui-se de uma seção de enrocamento com um núcleo central de solo argiloso, igualmente inclinado para montante e jusante, e com um tapete impermeável unido ao núcleo e estendendo-se para montante, até próximo dos limites do talude. Ao longo de todos os contatos do núcleo e tapete impermeável interno com o enrocamento e do enrocamento com o sistema de filtro/dreno, foram previstas camadas ou zonas de transições. A Seção Tipo, no local de maior altura da barragem, é apresentada graficamente no Tomo2- Desenhos.

#### c) Materiais construtivos naturais a serem empregados

Para a execução da barragem foram indicadas três jazidas de solos J-06, J-07, J-09 e J-10, cujos solos argilosos que atenderem as regulamentações das Especificações Técnicas, formarão o núcleo central e o tapete impermeável interno.

Os espaldares de enrocamento serão realizados com as rochas areníticas provenientes das escavações obrigatórias e da exploração da pedra P-01, selecionadas de forma que atendam completamente as regulamentações das Especificações Técnicas.

Agregados britados a partir da exploração da pedra P-02, de rocha gnáissica, serão utilizados na transição fina e nos concretos previstos.

Areia extraída do leito do rio Juré e Acaraú, que atendam as imposições técnicas estabelecidas nas Especificações Técnicas, será empregada no sistema de filtros e drenos e como agregado miúdo dos concretos.

#### d) Enrocamento de Montante

O maciço de enrocamento, que forma o espaldar de montante da barragem, foi concebido com um talude contínuo com inclinação de 1:2,0 (V:H), desde o coroamento (na cota 605,50) até o nível da fundação. Este maciço se limita na parte inferior com a transição grossa e com a fundação, esta última numa faixa de 2,50 m de largura. Para jusante se limita com a transição grossa que repousa sobre o talude do núcleo central argiloso.

#### e) Núcleo Central

Como elemento de vedação do maciço da barragem, idealizou-se um núcleo central construído com material argiloso selecionado das jazidas J-06, J-07 e J-08 e em conformidade com as especificações técnicas previstas. O núcleo central tem o topo situado 0,30 m abaixo do coroamento da barragem e com uma largura de 8,0 m, ou

seja, com bordos nas mesmas verticais dos bordos finais da barragem. A partir destes bordos os taludes montante e jusante do núcleo desenvolvem-se com inclinação de 1(V):0,35(H), até os níveis da fundação. Junto a fundação e no sentido de montante, o núcleo une-se de forma monolítica com o tapete impermeável interno.

f) Enrocamento de Jusante

O maciço de enrocamento, que forma o espaldar de jusante da barragem, foi concebido com um talude contínuo com inclinação de 1:2,0 (V:H), desde o coroamento (na cota 605,50) até o nível da fundação. Este maciço se limita na parte inferior com a transição grossa que se sobrepõe ao tapete filtrante e com a fundação, esta última numa faixa de 2,50 m de largura. Para montante se limita com a transição grossa que repousa sobre o talude do núcleo central argiloso.

O material dos enrocamentos de montante e jusante deve obedecer às indicações das Especificações Técnicas, cuja faixa granulométrica é apresentada no **Quadro 5.1** a seguir:

**Quadro 5.1- faixa granulométrica do enrocamento**

DIÂMETRO/ PENEIRA	D100 (MM)	D50 (MM)	Nº 200	Nº 10
FAIXA(mm ou %)	250-600	150-250	0-10%	0-20%

g) Tapete impermeável interno

Para aumentar o caminhamento da percolação pela fundação e, portanto, diminuir o gradiente hidráulico através desta, projetou-se um tapete de 3,0 m de espessura, assente diretamente sobre a fundação tratada. Para o lado jusante este tapete une-se com o núcleo central e para montante estende-se até 5,5 m para o talude montante do enrocamento. Este tapete deverá ser executado com o mesmo material do núcleo central, ou seja, solos selecionados das jazidas J-06, J-07 J- 09 e J-10.

h) Filtro Vertical

Está prevista a execução de um filtro com inclinação de 1:0,35 (V:H) para jusante do núcleo central, como parte do sistema de drenagem interna, com 1,5 m de espessura de areia de rio até a cota 601,00 e daí até a base do revestimento com

0,5 m. Previu-se o uso neste local do material a ser retirado na calha dos rios Juré e Acarau, que se enquadre nas Especificações Técnicas e cuja granulometria se encaixe na faixa especificada no **Quadro 5.2**.

**Quadro 5.2- faixa granulométrica do filtro vertical**

PENEIRA	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
FAIXA EM % PASSANTE	100	78-100	52-100	29-95	8-79	0-43	0-5

Para impedir, no caso de um rebaixamento rápido, o fenômeno da migração dos finos do núcleo para os vazios das zonas mais graúdas de montante, deverá ser construído a montante do núcleo central, um filtro semelhante ao descrito para a zona jusante, porem com uma espessura de 1,0 m.

i) Tapete Drenante

Para receber as águas do filtro vertical e da fundação está previsto a execução de um tapete drenante de areia, com altura de 1,5 m, em todo o contato do espaldar de jusante com a fundação tratada, exceto nos seus últimos 5,5 m. Este tapete deverá se estender por toda a extensão da barragem. O material de sua confecção deverá se enquadrar na mesma faixa granulométrica do **Quadro 5.2** e obedecer às prescrições das Especificações Técnicas.

Em continuidade com o filtro vertical de montante, e sobre o tapete impermeável interno, deverá ser construído um tapete de areia com 1,0 m de altura, para integrar o sistema de transição entre o solo do tapete interno e o enrocamento do espaldar montante. Este tapete deverá obedecer às mesmas Especificações Técnicas do tapete drenante.

j) Transição Fina

Como parte do sistema de transição entre os solos do núcleo central e tapete impermeável com os espaldares de enrocamento e entre a fundação e o enrocamento de jusante, preveu-se uma camada de 0,50 m de espessura ou altura, constituída de agregado de rocha gnáissica britada com granulometria dentro da faixa discriminada no **Quadro 5.3** e que atenda as prescrições das Especificações Técnicas.

**Quadro 5.3- Faixa Granulométrica De Transição Final**

PENEIRA	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10
FAIXA EM % PASSANTE	100	55-100	0-59	0-33	0

k) Transição Grossa

Finalmente, concluindo o sistema de transição, foi prevista a execução de uma camada de transição grossa em contato com toda a superfície da transição fina, com espessura ou altura de 1,50 m. A transição grossa só não será realizada acima da cota 601,00. A prancha de Seção Tipo, apresentada no Tomo 2- Desenhos detalha a geometria desta transição.

O material que constituirá a transição grossa deve obedecer às prescrições das Especificações Técnicas e enquadrar-se na faixa granulométrica discriminada no **Quadro 5.4.**

**Quadro 5.4- Faixa Granulométrica De Transição Grossa**

PENEIRA	D <sub>MAX</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>MIN</sub>
FAIXA (MM)	80-200	30-100	10-30

l) Revestimento do Coroamento

O coroamento da barragem, em toda a sua extensão e largura, será revestido com uma espessura de 0,30 m de material de “finos de pedreira” (pó de pedra misturado com fragmentos rochosos obtidos nas escavações rochosas). Este material deverá ser umidificado e compactado de forma a propiciar uma superfície lisa e regular que suporte as cargas dos veículos de manutenção, sem deformações, afundamentos ou desagregações.

## INSTRUMENTAÇÃO

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

- Verificar as pressões neutras nas fundações da barragem;
- Verificação dos deslocamentos da barragem;
- Verificação do nível d'água no estrato rochoso da ombreira esquerda;
- Verificação do nível d'água no reservatório.
- Verificação de Vazão percolante pela fundação e maciço

Inclui-se no sistema de monitorização da barragem, instrumentos que permitam a observação do comportamento hidráulico da sua fundação, na sequência do tratamento que vai ser executado. Com esse objetivo foram considerados piezômetros hidráulicos e medidores de vazão, que deverão ser integrados no Plano de Auscultação de toda a obra.

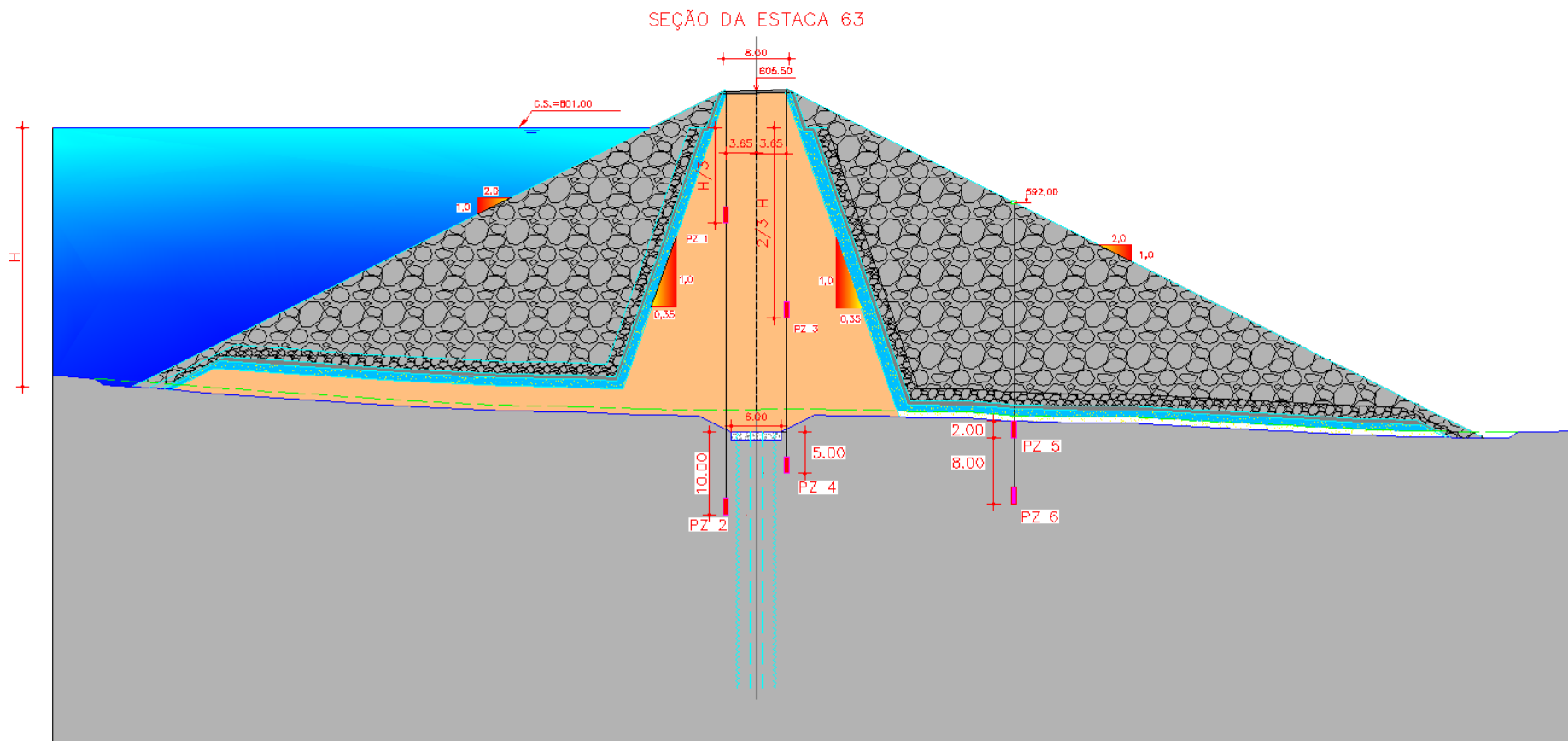
Em relação aos piezômetros, apresenta-se na **Figura 5.4** anexa um esquema da sua colocação em cada uma das seções de instrumentação, considerando os piezômetros que ficarão colocados no maciço rochoso de fundação e no interior do núcleo.

Preconiza-se a colocação de um piezômetro a montante da cortina de impermeabilização e outro a jusante, sob o núcleo, no fundo de furos onde deverão ser colocado, em cada, mais um piezômetro no interior do núcleo. Em cada seção serão colocados mais dois piezômetros no interior do mesmo furo, no maciço rochoso de fundação, um próximo do contato com o filtro horizontal e outro situado a cerca de 10 m de profundidade. Para a instalação destes piezômetros, sob o maciço estabilizador de enrocamento, deverá ser colocada tubagem de revestimento antes da colocação do enrocamento, dada a dificuldade de executar os furos através dos blocos desse maciço.

O arranjo, ilustrado na **Figura 5.4**, foi utilizado em todas as seções de instrumentação ao longo das quais deverão ser instalados os instrumentos para auscultação da barragem.



**Figura 5.4: Seção Tipo Instrumentada**



Atendendo à extensão da barragem, à sua altura e à natureza do maciço de fundação, considerou-se a necessidade do Plano de Auscultação contemplar a instrumentação de 12 seções transversais, localizadas uma em cada calha dos dois rios, três entre o rio Piau e a ombreira esquerda, três entre o rio Inhuçu e o rio Piau e quatro entre o rio Inhuçu e o Vertedouro. Portanto, as seções instrumentadas com piezômetros foram as das estacas 28,32,38,42,45,50,55,63,69,72,75 e 80.

A verificação do deslocamento superficial da barragem será feita colocando marcos superficiais amarrados a marcos de referência, para medidas de deslocamento horizontal e vertical. Os marcos superficiais serão colocados no coroamento da barragem e totalizam 31 unidades. A posição da cada marco pode ser visualizado em planta nas pranchas do Tomo 2- Desenhos.

Para a verificação de eventual percolação pelos extratos areníticos na esbelta ombreira esquerda foram indicados 03 medidores de nível d'água, sendo um localizado acima da ultima estaca da barragem e os outros 2 posicionados imediatamente a jusante da barragem. Na ombreira direita foi idealizado um único a jusante do maciço.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas linimétricas em um dos pilares da torre da tomada d'água, de forma a ser visível a partir do coroamento da barragem.

Em relação aos medidores de vazão deverão ser considerados pelo menos dois, sendo colocados à saída dos drenos, um no fundo da calha do rio Inhuçu e outro no fundo da calha do rio Piau. Se, durante no primeiro enchimento, forem detectadas surgências nos taludes a jusante da barragem deverão ser instalados medidores de vazão para seu controle.

#### SANGRADOURO

Concebeu-se o sistema de sangria composto de um canal de aproximação, um muro em perfil Creager, um primeiro trecho em rápido que descarrega em uma primeira bacia de dissipação, um segundo trecho em rápido, descarregando numa segunda bacia de dissipação e um trecho plano que desagua no leito do rio Inhuçu.

O Canal de aproximação tem em planta um desenho em curva, com 150 m de largura e extensão pelo eixo central de aproximadamente 129 m. Todo o fundo do

canal de aproximação foi previsto na cota 598,00, sendo revestido por uma laje de concreto em toda a área limitada pelos muros de contenção lateral. O muro do lado esquerdo contem o maciço da barragem e tem cerca de 67,87 m de extensão, o muro do lado direito protege o corte no terreno natural e tem uma extensão muito maior, cerca de 241,50 m.

O muro do sangradouro tem um perfil do tipo Creager, com ogiva na cota 601,00 e extensão total de 150,00 m. O muro esta previsto com fundação na cota 597,50, em rocha. O Creager estará ladeado de muros que contem o maciço da barragem e o corte do lado direito.

A partir do pé o muro Creager desenvolve-se um trecho em canal plano revestido por uma laje de concreto de 0,40 m de espessura, por uma extensão de 20 m. Em seguida e este trecho plano inicia-se o primeiro rápido, revestido com uma laje de concreto de 0,40 m de espessura, com uma declividade de 9,375% entre as estacas EST J01+5,27m à J11+18,55m, ate a primeira bacia de dissipação.

A primeira bacia compõe-se de um trecho plano (fundo) com uma extensão 50 m, seguido de uma rampa ascendente de 5% numa extensão de 40 m, que termina num trecho plano de 50 m de extensão.

A partir deste ultimo trecho plano inicia-se o segundo rápido, com uma declividade de 4,97% entre estacas EST J18+18,55m à J41+1,20m, que se conecta a segunda bacia de dissipação. Esta segunda bacia compõe-se de um trecho plano de 50 m, seguido de uma rampa ascende de 8% por uma extensão de 25 m e que termina num trecho plano de cerca de 83,93 m. Após este trecho plano segue um trecho de enrocamento de Dmed de 0,50 m, que protege o fundo do rio e as margens esquerda e direita da ação do caudal de sangria.

Do perfil Creager até o inicio do enrocamento o canal de restituição do sangradouro é revestido por laje de concreto armado, dotada de um sistema de chumbamento e drenagem e confinado por muros laterais de concreto armado, de altura variável e compatível com a altura da lamina de escoamento definida nos cálculos hidráulicos.

A necessidade de revestimento da fundação do canal do sangradouro foi evidenciada através das sondagens realizadas na área do sangradouro, que evidenciaram a presença de intercalações de argilitos pouco coerente e pouco resistente no seio do maciço de rocha arenítica. Este material não apresenta características físicas de resistência a erosão provocada por laminas d'água com

velocidade, mesmo baixa. Por esta razão houve, por motivo de segurança do sistema, a decisão de revestir o canal de restituição do sangradouro.

O canal de aproximação, por suas baixas velocidades e a formação de um lago de cerca de 3 metros de profundidade, foi revestimento em um trecho parcial para aumentar o caminhamento de possíveis percolações pela fundação e, portanto, diminuir os gradientes hidráulicos sob o muro Creager.

O sistema de chumbamento da laje do canal de restituição constitui-se de uma malha de 2,50 por 2,50 m de ferros redondos de 32 mm com profundidade de 5,5 m (nos rápidos) e de 11,5 m (nas bacias de dissipação).

Todos os detalhes dos muros laterais, laje, chumbadores, sistema de drenagem, juntas de dilatação e ferragem são apresentados graficamente no Tomo 2-Desenhos.

Importante salientar que para assegurar a preservação das condições de fraturamento atuais do maciço rochoso do sangradouro e da fundação do maciço da barragem, programou-se que será utilizada a técnica de desmonte de rocha com fogo controlado nas regiões laterais da escavação dos canais, numa largura de fundo de 10 m para cada lateral.

A região central, de 130 m de largura, deverá ser escavada com fogo de avanço, porém utilizando-se de planos de fogo que preservem o maciço rochoso remanescente.

#### TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 34+0,00. Ela consistirá de um tubo de aço ASTM-36 com diâmetro de  $\phi=800$  mm. A tubulação será envolvida por uma estrutura de concreto armado, com altura de 2,00 m e base de 2,20 m, numa extensão de 122,00 m, formando o que se denominou de galeria da tomada d'água. A montante da galeria a tubulação se insere no bloco de sustentação da torre de controle das comportas e a jusante adentra na caixa de acesso aos equipamentos de manutenção e controle e em seguida no bloco da casa de controle das válvulas. O eixo da galeria ficará na cota 578,40 m. O dimensionamento foi feito de forma que na cota 580,0 m, nível do volume de alerta, a galeria retire uma vazão de 1,0 m<sup>3</sup>/s.

A barragem na cota do volume de alerta estará acumulando um volume de 4,2 hm<sup>3</sup>, correspondente a 10,3%.

O comando será feito por jusante onde haverá uma válvula dispersora de diâmetro de 600 mm, acionada eletricamente através da casa de válvula, situada em um nível acima desta. Imediatamente a montante da casa de válvulas haverá uma caixa de acesso a equipamentos de manutenção e operação, consistindo de uma válvula borboleta de  $\phi=800$  mm, uma junta de desmontagem tipo DRESSER e um dreno da tubulação.

No limite montante da galeria haverá uma entrada por uma grade e uma redução gradual concêntrica com variação em curva parabólica, dimensionado pelos prescritos do “Bureau of Reclamation” contidos no livro “Design of Small Dams”. Para fechar a boca de montante está previsto uma comporta de aço By Pass que será operada por uma viga pescadora eletromecânica a partir de uma casa de comando, situada no ápice da torre de comando.

Esta torre de comando será acessada através do lago por meio de barça. A torre possui um sistema de escadas de concreto que permite o acesso desde a base até a casa de comando.

Para combater a pulsação e cavitação após a entrada na tubulação foi dimensionado um tubo de aeração de  $\phi=150$  mm de aço ASTM A-36.

Previu-se um canal de aproximação escavado na cota 577,00, com seção trapezoidal de 6,0 m de largura de base e taludes 1(v):1(h), em uma extensão próxima de 220 m. Para a restituição do fluxo da tomada d’água à porção jusante do rio, idealizou-se um canal inicial com largura de 20,0 m e extensão de 27,0 m, que transaciona para uma seção de 6,0 m de largura, que desenvolve-se por mais 120 m até próximo do rio. Todo o canal de restituição deverá ser escavado na cota 576,50 m.

A tomada d’água é detalhada nas pranchas apresentadas no Tomo 2- Desenhos.

#### DESCARGA DE FUNDO

Com a finalidade de promover o esvaziamento rápido do reservatório em caráter emergencial, realizar limpeza dos sedimentos acumulados junto ao maciço da barragem e para a renovação das águas mais profundas, que tendem a apresentar maiores concentrações salinas, concebeu-se o projeto de uma estrutura de descarga de fundo.

Esta estrutura, posicionada ortogonalmente a estaca 46, numa extensão de 190m, constitui-se basicamente em duas células de concreto que abrigam um tubo de 1800 mm em cada, com controle de entrada por comportas do tipo “stop log”,

acionadas a partir de uma casa de comando situada no topo de uma torre de concreto armado, e controle de operação a jusante através de 04 válvulas dispersoras do tipo “Howell Bunger” de 1000 mm, cada.

O sistema de controle das comportas constitui-se de duas comportas “stop log” de 2,65 x 2,65 m, acionadas por uma viga pescadora que se desloca em um perfil metálico, situada na casa de comando. A casa de comando tem o piso na cota 605,50 m e é apoiada por uma estrutura composta de 13 níveis de vigas, a cada 2,5 m de altura, e quatro pilares, fundados em um bloco de concreto de 6,80 x 6,80 m, que por sua vez esta assente diretamente no substrato rochoso.

A casa de comando das comportas é acessada por lances de escada de concreto posicionados no lado Sul da torre. Para se alcançar estas escadas esta prevista o uso de barcaças (quando necessário o transporte de equipamentos) ou de botes e barcos (quando só transporte de operadores)

A partir do bloco desenvolvem-se para jusante duas linhas de tubos de aço de 1800 mm, com centro na cota 563,90m, que adentram células de concreto armado, que permitem a inspeção e manutenção direta dos tubos. Estas células, a partir do bloco de fundação da torre de comando das comportas, tem uma extensão de 186,85 m e terminam na caixa de acesso aos registros e dreno situados na zona jusante do maciço. Após esta caixa de acesso cada tubo apresenta uma derivação e reduções que, atravessando um bloco de concreto robusto, terminam em duas válvulas dispersoras de 1.000 mm. As quatro válvulas dispersoras são acionadas eletricamente a partir de uma casa de comando, encimada sobre o bloco de concreto.

Com o nível do reservatório na sua cota máxima de operação normal (601,00) e as quatro válvulas dispersoras totalmente abertas, o esvaziamento total do reservatório se daria em cerca de 12 dias.

O arranjo do sistema de descarga d’água, seus elementos constituintes e detalhes dos aspectos das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos são apresentados no Tomo 2- Desenhos.

#### ETAPAS CONSTRUTIVAS

O Rio Inhuçu situado na Serra da Ibiapaba, numa das zonas mais úmidas do Ceará, corre o ano inteiro, sendo que nos períodos de estiagem, de julho a dezembro, com vazão muito pequena o que permite, normalmente, que se atravesse seu leito a pé com água abaixo da altura do joelho humano. Tirando partido dessa

situação e considerando a topografia do sítio das obras, a situação das áreas de ocorrências de material e o fato do eixo ser interceptado por uma calha única do rio, foram desenvolvidos os procedimentos executivos da obra que são descritos a seguir.

A obra foi contratada para ser executada em 36 meses, ou seja, três anos, portanto, três períodos de cheia e três períodos secos.

O início das obras foi admitido como sendo realizado para o começo de uma estação chuvosa (Janeiro do ano 1). Metodologia de Execução

A logística montada para a execução da obra foi apoiada em dois fatores primordiais que são o conhecimento do projeto e prazo da obra que é de 36 meses. Na região tem-se o período chuvoso que vai de janeiro a junho e o período de estiagem vai de julho a dezembro. Desta forma, a obra será desenvolvida em seis períodos sendo três de chuvas e três de estiagem. Fazendo a análise hidrológica, baseando-se em uma série histórica fluviométricas do rio Inhuçu de 44 anos da (estação 34730000), verificou-se que uma lamina máxima de escoamento superficial no rio da ordem de 1,50 metros e uma área molhada máxima de 55 m<sup>2</sup>.

Com base nestas observações realizadas é que se estabeleceu as diretrizes construtivas da barragem e de desvio dos Rios Inhuçu e Piaus.

A seguir serão detalhadas as fases construtivas.

### **Primeiro Período - FASE 1**

A obra está prevista para iniciar em Janeiro/Ano 01 que coincide com o início de uma estação de chuvas.

Portanto o primeiro período vai de Janeiro/Ano 01 a Junho/Ano 01. Neste período será instalado o canteiro de obras e feita a mobilização dos equipamentos e mão de obra.

Os serviços acontecerão nas duas ombreiras e na região entre os rios Inhuçu e Piaus. Na ombreira direita será feito as escavações da fundação conforme pode ser visto no desenho BI-PE-03-01/07. Devem ser escavados cerca de 288.819 m<sup>3</sup> de material de 1<sup>a</sup> categoria, 9.917m<sup>3</sup> de material de 2<sup>a</sup> categoria. Os serviços nessa ombreira serão executados entre as estacas 31+7,90 e 42+00.

Na região entre rios, os serviços consistirão na escavação da fundação entre as estacas 50+00 e 63+00. Nesses serviços está previsto a escavação de 95.497 m<sup>3</sup> de material de 1<sup>a</sup> categoria, 5.246 m<sup>3</sup> de material de 2<sup>a</sup> categoria.

Na ombreira esquerda também estão previstos a escavação entre as estacas 72+00 e 81+2,03, sendo 117.555 m<sup>3</sup> de material de 1ª categoria, 8.254 m<sup>3</sup> de material de 2ª categoria.

Após a escavação e limpeza da fundação, estão previstos a execução do tratamento de fundação nos locais onde foram realizadas as escavações de fundação, nas ombreiras esquerda e direita e região entre rios.

Deve-se dar início a escavação do sangradouro, realizando-se toda a escavação de 1ª e 2ª categoria e iniciando-se as escavações com fogo a partir das extremidades dos canais, sendo escavado no período cerca de 20% de material.

Ainda nessa fase deve ser iniciada a produção e estocagem de materiais para britagem e desmonte de rocha para execução das zonas de transição e enrocamentos.

Ao final desta etapa (Junho/01) deverá ser construída uma ensecadeira no rio Inhuçu, com coroamento na cota 573,00 m e situada a uma distância aproximada de 82 metros do eixo da barragem, além de um canal de aproximadamente 518 metros, fixada na cota 519,50 e com 0% de declividade, que servirá de desvio do rio Inhuçu para o rio Piaus.

### **Segundo Período - FASE 2**

O segundo período da obra que vai de Julho/Ano 01 a Dezembro/Ano 01 tem-se uma fase de estiagem nele deverão ser iniciados e concluídos os seguintes serviços:

- Conclusão dos serviços de escavação e tratamento de fundação nos leitos dos rios (entre as estacas 42+00 e 50+00), na ombreira direita entre as estacas 17-7,78 e 31+7,90 e na ombreira esquerda entre as estacas 63+00 e 72+00.
- Deverá ser dado início a execução dos serviços de aterro do maciço nos segmentos compreendidos entre as estacas 31+7,90- 42+00; 50+00- 63+00 e 72+00- 81+2,03, alcançando a cota 580,00.
- Neste período deverá ser iniciada a construção da descarga de fundo, estando previsto a conclusão da galeria e construção de cerca de 50% da torre.
- É dada continuidade nos trabalhos no sangradouro nos serviços de escavação com fogo controlado e de avanço.

Os serviços que serão executados na fase 2 poderão ser vistos no desenho BI-PE-03-02/07.

### **Terceiro Período - FASE 3**



A fase 3 vai de Janeiro/Ano 02 a Junho/Ano 02 (período chuvoso) e nela serão executados os seguintes serviços:

- Continuarão os serviços de execução do maciço da barragem, executando-o até a cota 585,00, ficando o topo do aterro compreendido entre as seguintes estacas: 25+5,06- 39+5,70; 52+14,11- 60+5,06 e 74+14,39- 86+18,55.
- Conclusão da torre da descarga de fundo.
- Construção da tomada d'água, incluindo galeria, torre e instalação dos equipamentos hidromecânicos.
- Continuação dos serviços de escavação do sangradouro.

Os serviços que serão executados na fase 3 poderão ser vistos no desenho BI-PE-03-03/07.

#### **Quarto Período - FASE 4**

A fase 4 vai de Julho/Ano 02 a Dezembro/Ano 02. Essa fase é o segundo período seco de construção da obra. Nesta etapa serão executados os seguintes serviços:

- Continuidade dos serviços de terraplenagem, até a cota 590,00, com exceção da região do rio Piaus (entre as estacas 63+00 e 72+00). O topo do aterro ficará compreendido entre os seguintes segmentos: 19+12,65- 52+2,06 e 75+18,39- 90+2,25.
- Conclusão da escavação do sangradouro e início dos serviços de concreto.
- Início das obras em concreto armado no sangradouro.
- Desinstalação da ensecadeira 1 do rio Inhuçu, no final do período (Dezembro/02).

Os serviços que serão executados na fase 4 poderão ser vistos no desenho BI-PE-03-04/07.

#### **Quinto Período - FASE 5**

A fase 5 vai de Janeiro/Ano 03 a Junho/Ano 03 é o penúltimo período do contrato e coincide com uma estação de chuva. Nesta fase chuvosa as descargas do rio Inhuçu serão escoadas através da descarga de fundo e transpostas pelo canal para a calha do rio Piaus, que estará aberta.

- Continuidade da elevação do aterro ate a cota 595,00, com exceção da região da calha do rio Piaus. O topo do aterro ficará compreendido entre os seguintes segmentos: 18+5,44- 58+2,06 e 76+18,39- 91+11,17.
- Continuidade das obras de concreto no sangradouro, estimando o alcance de 70% da obra.

Os serviços que serão executados na fase 5 poderão ser vistos no desenho BI-PE-03-05/07.

### **Sexto Período – FASE 6**

A fase 6 vai de Julho/Ano 02 a Dezembro/Ano 02 e é a fase final do contrato. Nessa fase serão executados os seguintes serviços:

- Implantação da enscadeiras 2 no rio Piaus, com coroamento na cota 573,00 .
- Execução do aterro na zona da calha do rio Piaus, desde a fundação ate a cota 605,50, e no restante da barragem, desde a cota 595,00 ate a cora 605,50 m..
- Conclusão dos serviços no sangradouro.
- Acabamento final e entrega da obra.

Nesta fase as vazões do período seco do rio Piaus serão transpostas pelo canal ate a calha do rio Inhuçu, que estará drenado pela descarga de fundo.

Os serviços que serão executados na fase 6 poderão ser vistos no desenho BI-PE-03-06/07.

## 6 CRONOGRAMA FÍSICO

---

## 6. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Inhuçu e com as características climáticas da Região, um prazo de 36 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a seqüência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.



## 7 RESUMO DOS INVESTIMENTOS

---

## 7. RESUMO DOS INVESTIMENTOS

A Barragem Inhuçu envolverá a aplicação de **R\$ 395.127.853,65** (trezentos e noventa e cinco milhões e cento e vinte e sete mil oitocentos e cinquenta e três reais e sessenta e cinco centavos), conforme mostram os custos resumidos a seguir.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	TOTAIS R\$
1	Serviços Preliminares	26.623.106,75
2	Rede viária interna	5.853.035,61
3	Serviço de descarga de fundo e Desvio do Rio	16.370.592,61
4	Aterro da barragem	174.959.513,60
5	Instrumentação	1.346.610,61
6	Sangradouro	166.245.093,86
7	Tomada D'água	2.073.055,93
8	Instalação Elétrica	242.471,31
9	Agrovila	1.414.373,66
	<b>TOTAL GERAL</b>	<b>395.127.853,65</b>



consórcio