



**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 1 - ESTUDOS BÁSICOS**

**Tomo 1 - Relatório Geral**



**Integração**  
Ministério da Integração Nacional



**SECRETARIA DOS  
RECURSOS HÍDRICOS**  
Governo do Estado do Ceará



**PROÁGUA  
NACIONAL**



**BANCO  
MUNDIAL**



**EngeSoft**  
Engenharia e Consultoria Ltda.



**Yibi**  
ENGENHARIA  
CONSULTIVA S/S.

**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**

**Volume 01 – ESTUDOS BÁSICOS**

**Tomo 1 - Relatório Geral**

## ÍNDICE

---

## ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>1</b>
<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS .....</b>	<b>19</b>
2.1 TRABALHOS CARTOGRÁFICOS .....	20
2.1.1 <i>Transporte de Cotas e de coordenadas.....</i>	22
2.2 LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA.....	29
2.2.1 <i>Aerotriangulação.....</i>	29
2.2.2 <i>Estéreo Restituição Digital .....</i>	31
2.2.3 <i>Ortorretificação.....</i>	32
2.2.4 <i>Mosaicagem, processamento da imagem e corte das folhas .....</i>	33
2.2.5 <i>Edição Cartográfica.....</i>	34
2.3 LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL.....	35
2.3.1 <i>Locação dos eixos e Implantação de Marcos .....</i>	35
2.3.2 <i>Nivelamento.....</i>	36
2.3.3 <i>Levanteamento de Seções Transversais.....</i>	36
2.4 LEVANTAMENTO DO CANAL DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO .....	36
2.4.1 <i>Locação .....</i>	36
2.4.2 <i>Nivelamento e Seções Transversais.....</i>	36
2.5 LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS.....	37
2.5.1 <i>Jazidas de Solos.....</i>	37
2.5.2 <i>Areal.....</i>	37
2.5.3 <i>Pedreiras .....</i>	38
<b>3 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>41</b>
3.1 GEOLOGIA REGIONAL .....	42
3.2 GEOLOGIA LOCAL .....	43
3.3 INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO .....	45
3.3.1 <i>Sondagens realizadas.....</i>	45
3.3.2 <i>Investigação do Sangradouro.....</i>	52
3.3.3 <i>Levanteamento geofísico .....</i>	53
3.3.4 <i>Estudo dos Materiais Construtivos.....</i>	70
3.4 AREAL .....	82

3.5	PEDREIRAS .....	83
<b>4</b>	<b>ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>85</b>
4.1	FICHA HIDROLÓGICA .....	86
4.2	COTA – ÁREA - VOLUME .....	87
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA .....	88
4.4	CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....	90
4.5	ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS.....	92
4.5.1	<i>Metodologia para cálculo das chuvas intensas.....</i>	<i>92</i>
4.6	ESTUDOS DE DEFLÚVIO .....	99
4.7	A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DOS AÇUDES LONTRAS (EIXO I) E INHUÇU (EIXO SOTERO) .....	100
4.7.1	<i>A simulação dos reservatórios utilizando o programa simres.....</i>	<i>100</i>
4.7.2	<i>As vazões regularizadas pelos reservatórios lontras e inhuçu .....</i>	<i>101</i>
4.8	ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO.....	105
4.8.1	<i>A chuva de projeto .....</i>	<i>106</i>
4.8.2	<i>As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório inhuçu..</i>	<i>107</i>
<b>5</b>	<b>ESTUDOS PEDOLOGICOS.....</b>	<b>109</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	110
5.2	MÉTODOS DE TRABALHO .....	112
5.2.1	<i>Trabalhos de Escritório.....</i>	<i>112</i>
5.2.2	<i>Trabalhos de Campo.....</i>	<i>113</i>
5.2.3	<i>Trabalhos de Laboratório .....</i>	<i>113</i>
5.3	SOLOS .....	114
5.3.1	<i>Introdução.....</i>	<i>114</i>
5.3.2	<i>Legenda Das Unidades De Mapeamento .....</i>	<i>115</i>
5.4	CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO .....	116
5.4.1	<i>Classificação Adotada .....</i>	<i>116</i>
5.4.2	<i>Definição Geral das Classes de Terra.....</i>	<i>117</i>
5.4.3	<i>Subclasses.....</i>	<i>119</i>
5.4.4	<i>Representação Cartográfica.....</i>	<i>121</i>
5.5	ESPECIFICAÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO .....	121
5.6	CLASSES E SUBCLASSES DE TERRA PARA IRRIGAÇÃO NA ÁREA.....	123
5.7	DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO .....	123
5.8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	125
5.8.1	<i>Composição Edafológica da Área.....</i>	<i>125</i>
5.8.2	<i>Principais Características das Terras para Agricultura Irrigada.....</i>	<i>126</i>
5.8.3	<i>Recomendações sobre o Aproveitamento Agrícola sob Irrigação da Área estudada: .....</i>	<i>128</i>

6 CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS ..... 132

## ÍNDICE FIGURA

	<b>Páginas</b>
Figura 1.1 – Mapa de localização (contexto estadual).....	17
Figura 1.2 – Mapa de localização (contexto municipal) .....	18
Figura 2.1 – Bacia hidrográfica – barragem Inhuçu .....	21
Figura 2.2 - Ponto de apoio suplementar GCP-07 .....	25
Figura 2.3 - Ponto de apoio suplementar GCP-09.....	25
Figura 2.4 - Variação das ondulações do geóide em SIRGAS2000 (Fonte IBGE, 2010) .....	27
Figura 2.5 - Distribuição do Erro Padrão obtido a partir da comparação entre estações GPS e RN's (Fonte IBGE, 2010) .....	28
Figura 2.6 - Localização da área. Fonte: Google Earth. ....	29
Figura 2.7 - Imagem contínua Ortofoto de uma área do projeto.....	34
Figura 2.8 - Levantamento da barragem e sangradouro .....	40
Figura 3.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).....	42
Figura 3.2 - Campanha de sondagens na Barragem.....	46
Figura 3.3 – Locação dos ensaios de eletrorresistiva e sísmica.....	55
Figura 3.4 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e afloramentos. ....	56
Figura 3.5 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e a cidade de Croatá - CE ao fundo na imagem.....	56
Figura 3.6 - Equipamento de aquisição de dados geoeletricos SYSCAL PRO de 48 canais conectado aos cabos multieletrodos e à bateria.....	57
Figura 3.7 - Instalação do eletrodo de “Papel alumínio” visando melhorar o acoplamento galvânico com o solo. ....	57
Figura 3.8 - Detalhe do eletrodo de “Papel alumínio” conectado ao cabo multieletrodo.....	58

Figura 3.9 - Detalhes de blocos de rochas aflorante. ....	58
Figura 3.10 - Membro da equipe estendendo o cabo sismográfico e acoplado os geofones. ....	59
Figura 3.11 - Detalhe do cabo sismográfico e de um dos geofones instalados ao longo do alinhamento. ....	59
Figura 3.12 - Equipamento sísmico (Geode – Geometrics Inc.) e técnico da Alta Resolução acompanhando a aquisição de dados.....	60
Figura 3.13 - Variação da escarificabilidade com a velocidade das ondas P para um intervalo de litologias.....	65
Figura 3.14 – Correlação entre velocidades de onda .....	67
Figura 3.15 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Inhuçu.....	72
Figura 3.16 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento (Pedreira 01) .....	84
Figura 4.1 – Curva cota x área Volume.....	87
Figura 4.2 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará .....	89
Figura 4.3 - Hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu e Lontras.....	89
Figura 4.4 - Localização das estações climatológicas de sobral e crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu/Lontras (retângulo em vermelho) .....	90
Figura 4.5 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torrico, 1975) .....	92
Figura 4.6 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte. ....	96
Figura 4.7 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte. ....	97
Figura 4.8 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras (Área Livre a jusante do Açude Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.....	98
Figura 4.9 - Vazões Regularizadas pelos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero (E pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm <sup>3</sup> ).....	104
Figura 4.10 - Chuva balanceada de 18 horas para Tr=1.000 anos para Inhuçu .....	106
Figura 4.11 - Chuva balanceada de 18 horas para Tr=10.000 anos para Inhuçu .....	107

Figura 5.1 - Exemplo da fração de Classe de Terra para Irrigação..... 121

## ÍNDICE QUADRO

	<b>Páginas</b>
Quadro 2.1 - Resumo das Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000 e Altitudes Ortométricas.....	24
Quadro 2.2 - resumo dos pontos de apoio suplementar.....	26
Quadro 2.3 - resumo Cálculo da Altitude Ortométrica (N) do apoio Suplementar.....	28
Quadro 2.4 - Relação de Marcos no Eixo da Barragem .....	35
Quadro 2.5 - Estudo Topográfico das Jazidas .....	37
Quadro 2.6 - Levantamento planimétrico dos Areais.....	38
Quadro 2.7 - Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 01.....	39
Quadro 2.8 – Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 02.....	39
Quadro 3.1 - Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Inhuçu.....	47
Quadro 3.2 - Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Inhuçu Sondagem Mista – Zona do maciço da barragem.....	48
Quadro 3.3 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Inhuçu - ensaios de infiltração do tipo Lefranc.....	49
Quadro 3.4 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Inhuçu - ensaios de Lugeon.....	50
Quadro 3.5 - Investigação Geotécnica da Barragem Inhuçu Sangradouro .....	53
Quadro 3.6 - Seções Geoelétricas e Sísmicas efetivamente executadas e suas respectivas extensões (m). .....	54
Quadro 3.7 - Correlação entre velocidades sísmicas e escarificabilidade .....	66
Quadro 3.8 - Exemplos de valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas longitudinais (ondas P) .....	66
Quadro 3.9 - Valores Padrão adotado para Caltrans (Departamento de Transporte da Califórnia. Leeds 2001.).....	68
Quadro 3.10 - Volume de Materiais das Jazidas .....	72
Quadro 3.11 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 06.....	81

Quadro 3.12 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 07.....	81
Quadro 3.13 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09.....	81
Quadro 3.14 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 10.....	82
Quadro 3.15 –Cisalhamento direto – Jazida 06.....	82
Quadro 3.16 –Cisalhamento direto – Jazida 07.....	82
Quadro 3.17 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Acaraú.....	83
Quadro 3.18 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Juré.....	83
Quadro 4.1 – Curva cota-área- volume.....	87
Quadro 4.2 - Características da bacia hidrográfica do rio macambira nos Eixos barráveis.....	88
Quadro 4.3 - Características das Estações Climatológicas Sobral e crateús.....	91
Quadro 4.4 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá.....	93
Quadro 4.5 - Precipitações máximas para $T_r = 1.000$ e $10.000$ anos com duração de 24 horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte.....	93
Quadro 4.6 - Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de $1.000$ e $10.000$ anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte.....	94
Quadro 4.7 - - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em $km^2$ e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Açude Inhuçu (posto guaraciaba do norte).....	94
Quadro 4.8 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em $km^2$ e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Açude Lontras (sem Açude Inhuçu a montante) (posto guaraciaba do norte).....	95
Quadro 4.9 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em $km^2$ e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia do Açude Lontras (Com Açude Inhuçu a montante) (posto Croatá).....	95
Quadro 4.10 - Série Histórica de Vazões ( $m^3/s$ ) no Posto Fluviométrico Croatá (Hidroweb – ANA) ..	99
Quadro 4.11 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em $hm^3$ ).....	101

Quadro 4.12 - Vazões Regularizadas pelos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero (E pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm <sup>3</sup> ) .....	102
Quadro 4.13 - Principais Características dos reservatórios Inhuçu .....	107
Quadro 4.14 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para Tr = 1.000 e 10.000 anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento da barragem Inhuçu, considerando a largura do vertedouro 150, 170 e 200m. ....	108
Quadro 5.1 - Unidades de Mapeamento .....	115
Quadro 5.2 : Especificações Para Determinação Das Classes De Solos Para Irrigação .....	122
Quadro 5.3 - Classes de terras para irrigação .....	123
Quadro 5.4: Resumo .....	131

## APRESENTAÇÃO

---

## APRESENTAÇÃO

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. Se diferencia 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 e para uso com o desenvolvimento da irrigação em áreas aptas a este tipo de atividade, e, para a geração de energia elétrica.

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, Canal/Túnel e Penstock/PCH
- Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH
- Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
- Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema - Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH

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 dos estudos nos locais do barramento e sangradouro;
  - Tomo 4B: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos das jazidas;
  - 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 – Dimensionamento 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 3: Estudos Hidrológicos e aborda os seguintes capítulos:

- **Apresentação**
- **Localização e acesso**
- **Estudos topográficos**
- **Estudos geológicos e geotécnicos**
- **Estudos hidrológicos**
- **Estudos pedológicos**
- **Conclusões decorrentes dos estudos básicos**

## 1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

---

## 1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

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 11,7km da sede deste município.

O acesso se dá 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 Ipueriras. Percorre-se 8 km até a cidade de Ipu e 26,0km até Guaraciaba do Norte, tendo o entroncamento com a CE-327, que permite o acesso a Croatá após um percurso de 35,0 km.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Ipueriras, Ipu, Tianguá e Hidrolândia. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado nas **Figura 1.1 e 1.2**.

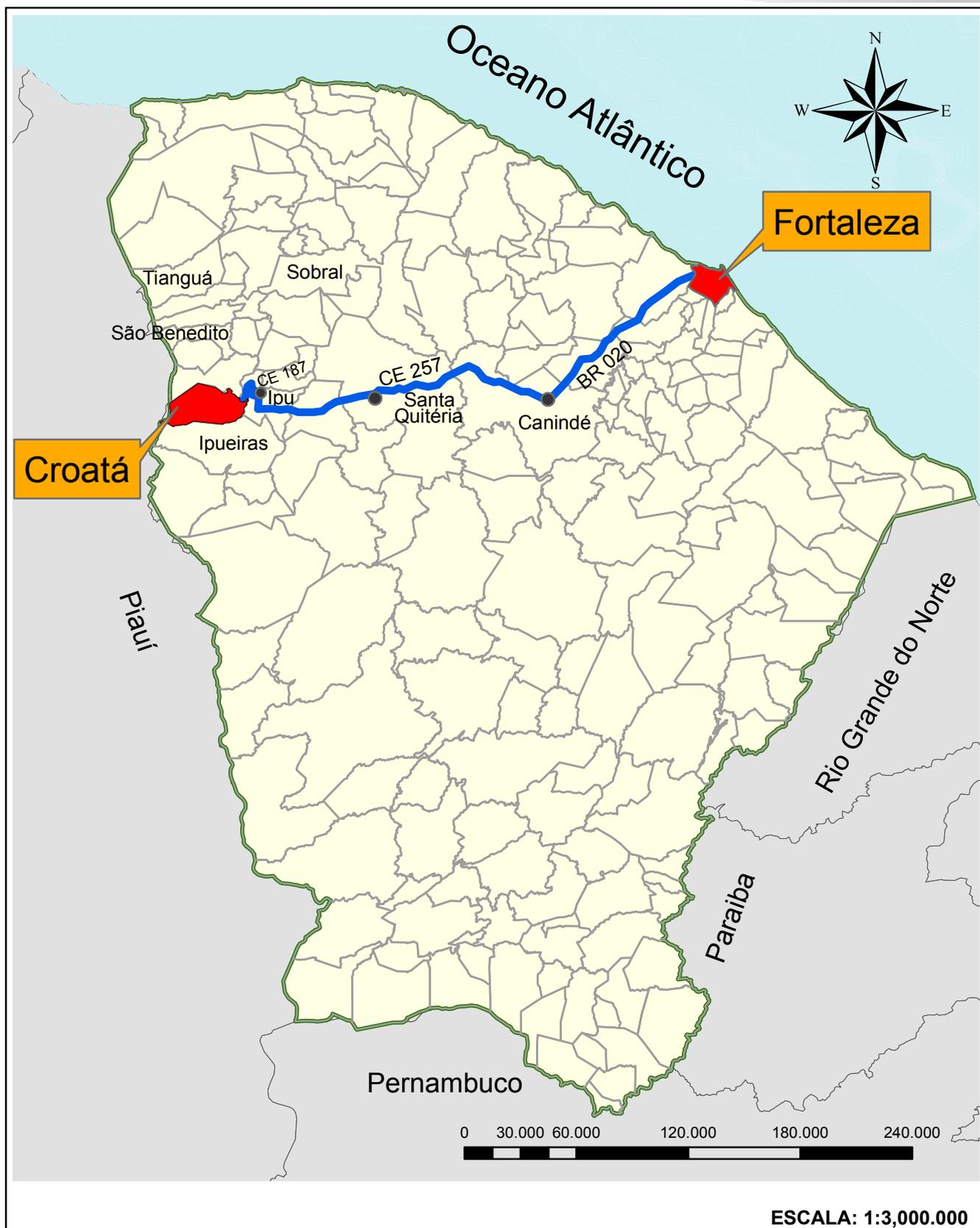


Figura 1.1 - Mapa de localização (contexto estadual)

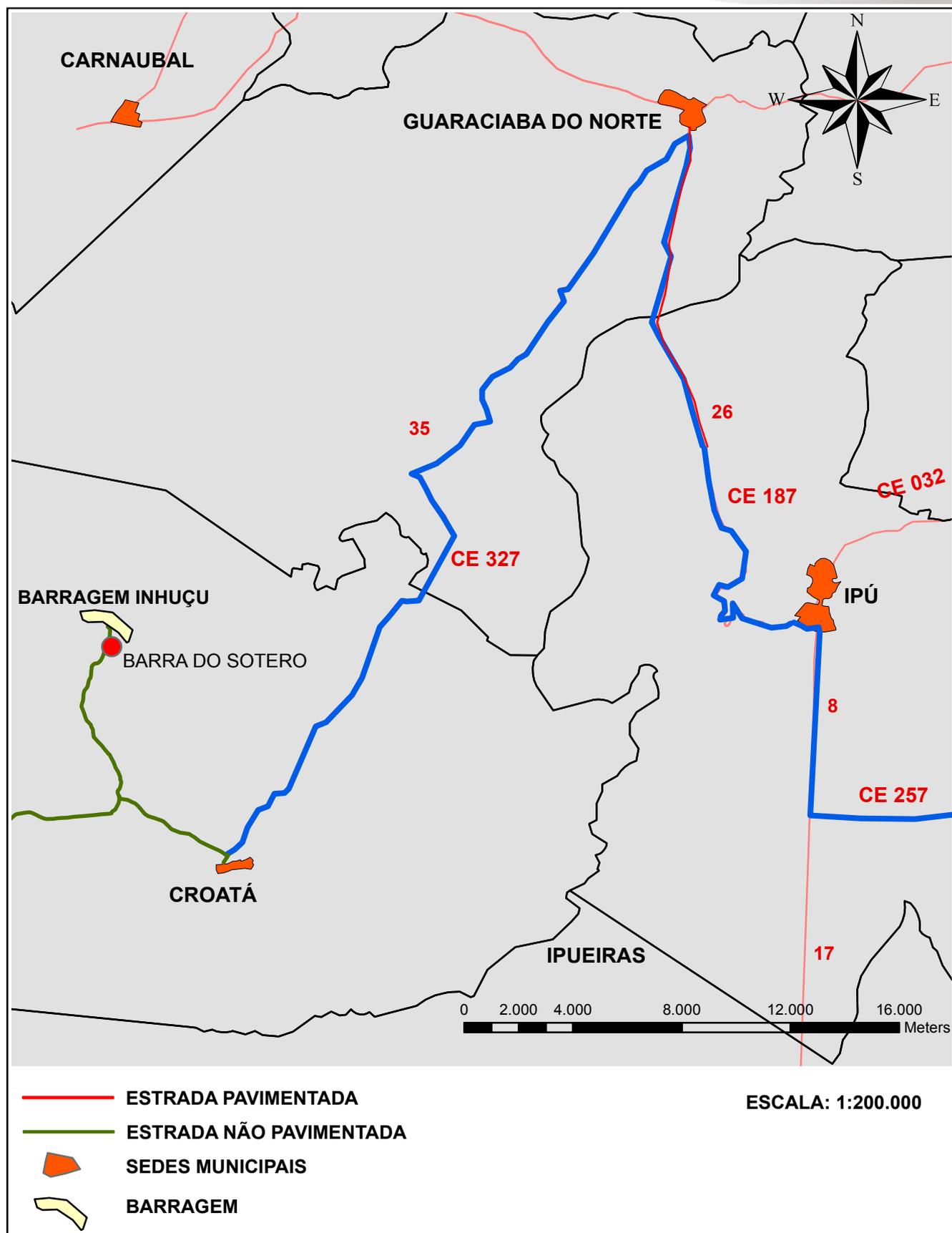


Figura 1.2 - Mapa de localização (contexto municipal)

## 2 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

---

## 2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

### 2.1 TRABALHOS CARTOGRÁFICOS

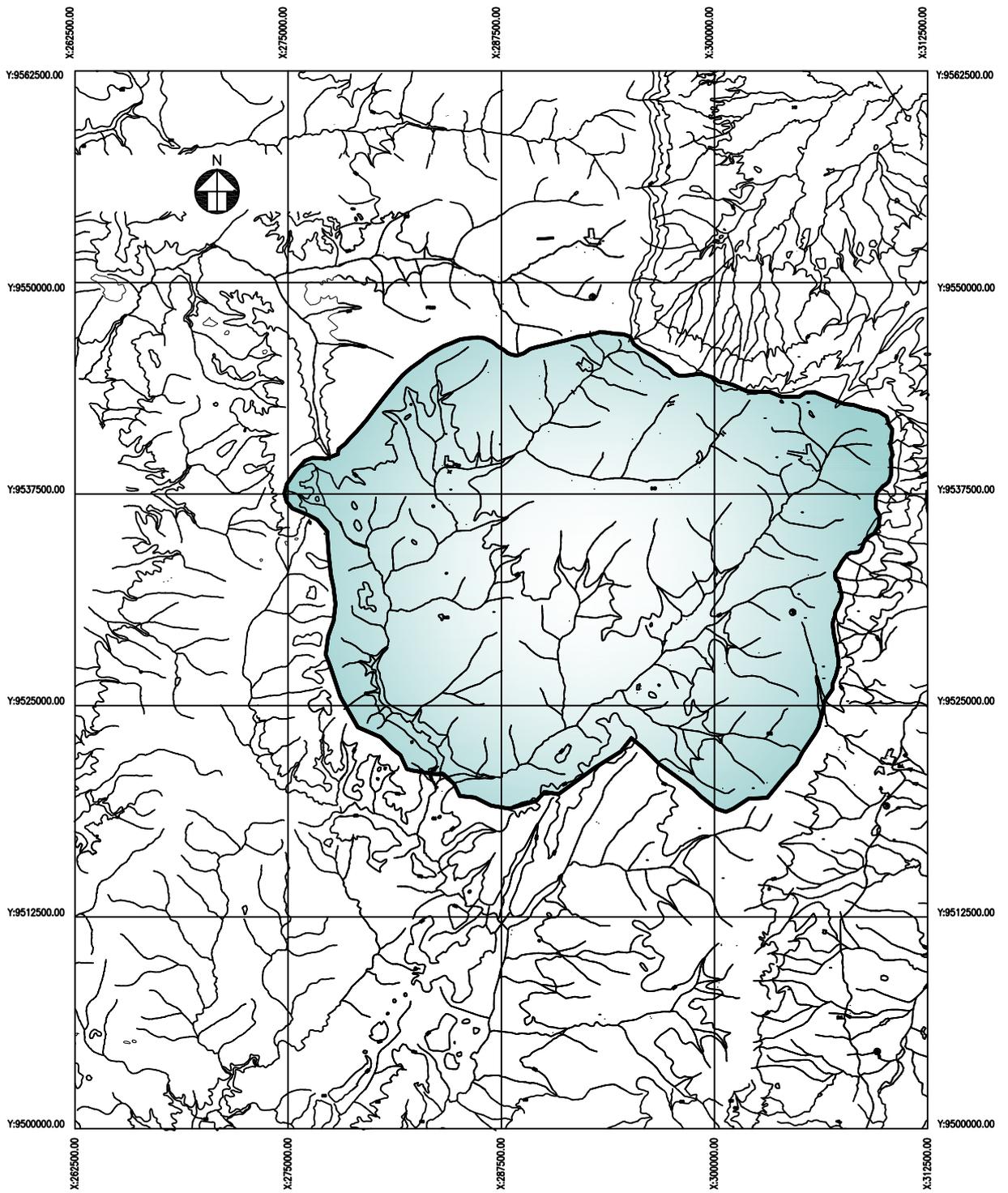
Este capítulo apresenta a descrição dos serviços de cartografia iniciados preliminarmente com base nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000) para localização do barramento e delimitação da bacia hidrográfica.

As cartas topográficas da SUDENE utilizadas foram:

- MI816
- MI817
- Mi746
- Mi747

O contorno da bacia hidrográfica da barragem Inhuçu, que totaliza uma área de 847,00 km<sup>2</sup>, está apresentado na **Figura 2.1** a seguir, em escala bastante reduzida. No Volume 1 – Tomo 2A Estudos Cartográficos – Desenhos (I-3A-01), são apresentados com maiores detalhes.

# Bacia Hidrográfica – Barragem Inhuçu



BARRAGEM INHUÇU

ESCALA:  
1:350.000

DATA:  
DEZEMBRO/2011

FIGURA N° :  
2.1

### 2.1.1 Transporte de Cotas e de coordenadas

Para apoio a restituição fotogramétrica e aos trabalhos topográficos nos locais das obras foram realizados, pela empresa Topocart, as seguintes atividades de campo:

- Transporte de coordenadas a partir de 03 vértices oficiais do SGB dentre eles 02 (dois) da RBMC;
- Transporte de Cotas a partir de RNs Oficiais do IBGE;
- Levantamento e implantação de 02 pontos da rede de apoio básico;
- Levantamento e pré-sinalização de 11 pontos para o apoio suplementar.

A execução destas atividades de apoio básico foi precedida da etapa de planejamento, que teve como objetivo escolher as melhores alternativas referentes à utilização de pontos planimétricos e altimétricos, que compõem a Rede Oficial do IBGE.

Partindo-se das monografias disponibilizadas pelo IBGE, realizou-se o reconhecimento dos vértices existentes, de forma a garantir a sua utilização no Apoio Básico. O reconhecimento dos vértices consistiu ainda na verificação do estado físico dos monumentos, das condições para rastreamento por posicionamento de satélites, acessibilidade, tempo de percurso e necessidade de apoio logístico.

Os pontos da Rede de Apoio Básico possuem coordenadas planimétricas e altimétricas determinadas de acordo com o Sistema Geodésico Brasileiro. O referencial altimétrico do IBGE coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio dos mares, definidos pelas observações maregráficas tomadas na Baía de Imbituba-SC.

Após o reconhecimento dos pontos existentes, optou-se pela utilização dos vértices planimétricos da Rede Fundamental do IBGE pertencentes também à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC): SAT92449 (RNMO) e SAT93950 (SALU). O referencial altimétrico utilizado foi composto pela Referência de Nível: RN2596-X.

Um resumo dos dados desses vértices geodésicos utilizados é apresentado a seguir.

#### Pontos Planimétricos:

**SAT92449**

**SAT93950**

## Pontos Altimétricos (RN's):

### **RN2596-X**

A Implantação dos vértices da Rede de Apoio Básico (monumentação) foi feita por marcos de concreto armado, resistentes, da forma tronco-piramidal, medindo 0.10 x 0.15 x 0.40m (base superior, base inferior e altura). Os marcos foram cravados com profundidade de 0.30m, aflorando aproximadamente 0.10m do solo. Foi cravada uma chapa de latão circular de 3 cm de raio com as seguintes identificações: Nome da empresa executora; N°. do vértice; Ano de implantação e a inscrição “*Protegido por Lei*”

A escolha do local de implantação dos marcos foi feita com objetivo de otimizar as etapas posteriores de apoio suplementar e serviços topográficos, e levou-se em conta alguns critérios para facilitar o trabalho e garantir as precisões requeridas:

Locais de fácil acesso, porém protegidos e reservados de forma a impedir ou diminuir o risco de destruição dos marcos;

Horizonte livre para o rastreamento por posicionamento de satélites, evitando interferências e perda de sinal em função de obstáculos físicos;

Distribuição dos vértices estrategicamente de forma a atender os requisitos da Especificação Técnica quanto ao espaçamento máximo de 20km, tendo em vista a realização do apoio fotogramétrico;

Essa distância, além de apoiar as obras futuras, visou garantir que a influência do erro altimétrico, devido à variação da Ondulação Geoidal (N), fosse desprezível para a respectiva escala.

Um resumo dos dados dos vértices implantados é apresentado a seguir, no **Quadro 2.1**.

**Quadro 2.1 - Resumo das Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000 e Altitudes Ortométricas**

Vértice	Coordenada Geodésica		Altitude Geométrica (m)	Foto
	Coordenada Plana (UTM/MC39° WGr) Latitude (S) E (m)	Longitude (WGr) N (m)		
<b>PA01</b>	4°20'58.68663" 277338.965	41°00'22.79384" 9518929.598	556.587	
<b>PA02</b>	4°28'02.71629" 290764.249	40°53'08.52804" 9505937.425	593.474	
<b>INHUÇU-01</b>	4°20'14.93264" 284830.423	40°56'19.76421" 9520293.389	633.074	
<b>INHUÇU-02</b>	4°19'53.00984" 284089.915	40°56'43.71989" 9520965.010	555.807	

No que se refere ao Apoio Suplementar ou Fotogramétrico, este serviu para apoiar as fotografias aéreas métricas, a fim de proporcionarem coordenadas em um dado Sistema de Referência Terrestre. Para isto, realizou-se essa tarefa por meio de pré-sinalização em campo, através de marcações que antecedem ao momento da cobertura aerofotogramétrica. Foram planejados 11 pontos em campo para serem posteriormente utilizados na aerotriangulação como pontos de apoio.

As marcas pré-sinalizadas comumente denominadas GCP – *Ground Control Point* foram feitas de tal forma, que tivessem o necessário contraste com o solo, a fim de que se destacarem e fossem perfeitamente visíveis nas fotos aéreas.



**Figura 2.2 - Ponto de apoio suplementar GCP-07**



**Figura 2.3 - Ponto de apoio suplementar GCP-09**

Os pontos do Apoio Suplementar foram ocupados por receptores GNSS geodésico de dupla frequência L1/L2, de modo a garantir as precisões requeridas para essa etapa e processos posteriores. Estes pontos foram calculados no sistema de referência SIRGAS 2000, bem como os processos posteriores (Ortorretificação, Restituição e Edição Cartográfica).

**Quadro 2.2 - resumo dos pontos de apoio suplementar**

SIRGAS2000 - FUSO 24 SUL			
PONTO	NORTE	ESTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA
PA01	277338.97	9518929.60	556.587
PA02	290764.25	9505937.43	593.474
GCP01	282238.922	9497750.567	490.873
GCP02	286501.418	9496887.958	547.012
GCP03	291213.128	9497494.443	652.028
GCP04	283725.906	9512235.594	575.567
GCP05	287075.977	9512947.244	529.516
GCP06	291952.640	9512535.126	628.115
GCP07	272884.882	9523532.194	629.588
GCP08	277864.693	9524812.796	715.236
GCP09	281048.587	9527678.919	621.574
PC01	285317.545	9503117.900	507.829
PC02	284271.660	9520338.040	561.736
INHAÇU 01	284830.423	9520293.389	633.074
INHAÇU 02	284089.915	9520965.010	555.807
JACARÉ 01	282891.247	9498817.828	485.610

Para a obtenção das altitudes ortométricas dos pontos de apoio Básico utilizou-se de nivelamento geométrico. O circuito foi executado partindo sempre de RN pertencente à rede altimétrica do IBGE. Utilizou-se a metodologia de levantamento em circuito fechado em 1 ou 2 pontos, sempre atendendo as precisões estabelecidas pela Norma Técnica NRB13133 como de Nivelamento de Primeira Ordem que estabelece precisão de  $12 \text{ mm} \times \sqrt{\text{km}}$ .

Com o fechamento realizado dentro da tolerância estabelecida o erro foi distribuído linearmente em função da distância percorrida dividida pela distância total do circuito.

O circuito 01 (um) teve sua partida no vértice RN2596V e foi desenvolvido por **104.274** km passando pelo PA 01 retornando a mesma RN, em virtude a ausência de outras na área, com erro de 0.103m, melhor que a Tolerância de 0.122m estabelecida para a Classe IN.

Visando a determinação das altitudes ortométricas do Pontos de Apoio Suplementar realizou-se um levantamento altimétrico, feito por posicionamento de satélites, chamado de Nivelamento GPS/MAPGEO, que consistiu basicamente no transporte de altitudes para os demais vértices da Rede de Apoio Básico, a partir do vértice de referência de nível (PA 01), este nivelamento geométricamente.

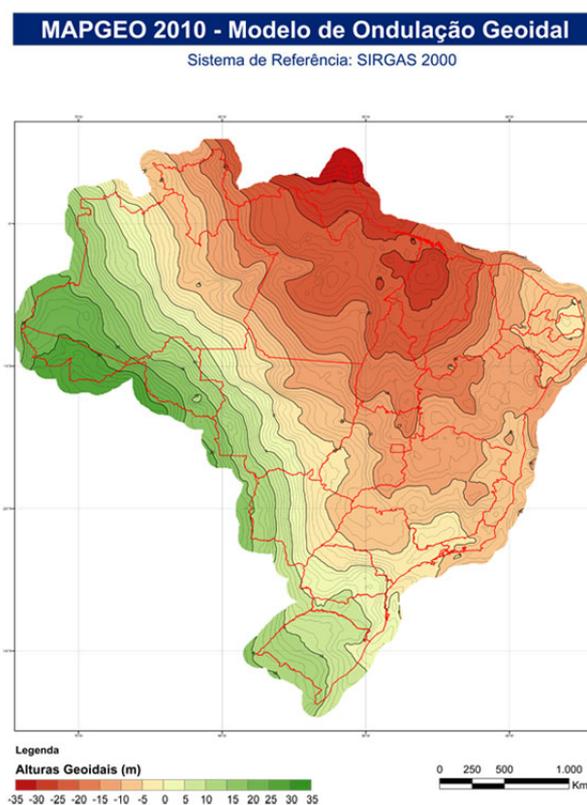
O transporte de coordenadas para os vértices foi realizado a partir de rastreamento simultâneos GPS, onde foram fixadas as altitudes geométricas obtidas a partir da RBMC.

Posteriormente, realizou-se o transporte das altitudes geométricas para os GCPs, onde após a determinação das mesmas, foram calculadas as altitudes ortométricas utilizando a ondulação geoidal obtidas pelo MAPGEO, de acordo com a seguinte expressão:

$H = h - N$ , Onde:  $H$ = altitude ortométrica,  $h$ = a altitude geométrica e  $N$ =a ondulação geoidal

Conforme observado durante a etapa de Nivelamento, a divergência encontrada na altitude ortométrica no marco analisado PA01 ficou na casa dos 0,14 m quando comparado com a altitude obtida a partir do MAPGEO2010. Desta maneira toda a ondulação encontrada no MAPGEO sofreu um fator de correção, esse fator é baseado na média entre a ondulação calculada e a fornecida pelo MAPGEO para os marcos adotados. Assim sendo, para este projeto, toda altitude ortométrica foi obtida pela correção da ondulação geoidal encontrada no MAPGEO2010 em 14cm.

A ondulação do geóide fornecida pelo IBGE e é ilustrada na **Figura 2.4**.

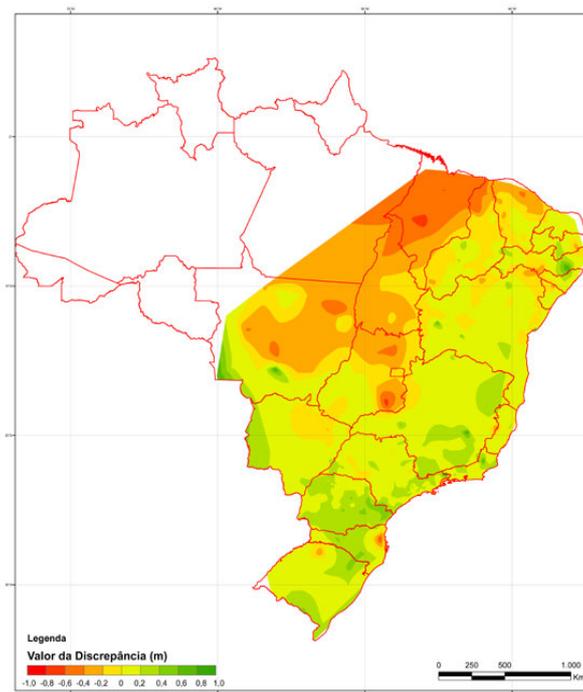


**Figura 2.4 - Variação das ondulações do geóide em SIRGAS2000 (Fonte IBGE, 2010)**

A **Figura 2.5** apresenta o Erro Médio Padrão das diferenças oriundas pelo MAPGEO2010 na comparação entre as estações GPS e as RN's.

Discrepâncias entre o Modelo de Ondulação Geoidal 2010 e os pontos GPS/RN

Sistema de Referência: SIRGAS 2000



**Figura 2.5 - Distribuição do Erro Padrão obtido a partir da comparação entre estações GPS e RN's (Fonte IBGE, 2010)**

Abaixo é apresentado o **Quadro 2.3** com os valores obtidos:

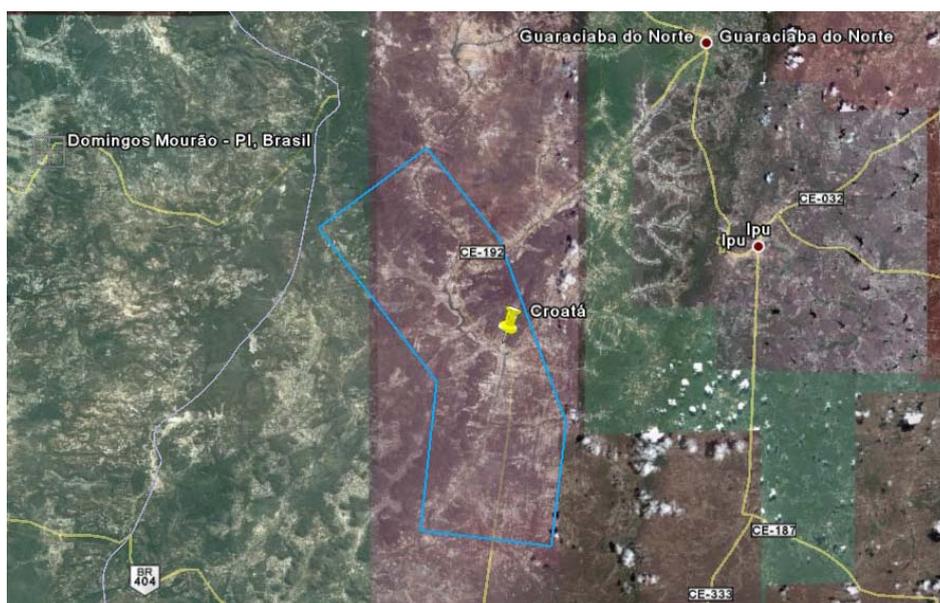
**Quadro 2.3 - resumo Cálculo da Altitude Ortométrica (N) do apoio Suplementar**

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL						
PONTO	ESTE	NORTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA	ONDULAÇÃO GEOIDAL MapGeo2010	Fator Correção	ALTITUDE ORTOMÉTRICA
PA01	277338.965	9518929.598	556.587	-14.63	0.144	571.361
PA02	290764.249	9505937.425	593.474	-14.58	0.144	608.198
GCP01	282238.922	9497750.567	490.873	-14.87	0.144	505.887
GCP02	286501.418	9496887.958	547.012	-14.74	0.144	561.896
GCP03	291213.128	9497494.443	652.028	-14.62	0.144	666.792
GCP04	283725.906	9512235.594	575.567	-14.60	0.144	590.311
GCP05	287075.977	9512947.244	529.516	-14.52	0.144	544.180
GCP06	291952.640	9512535.126	628.115	-14.48	0.144	642.739
GCP07	272884.882	9523532.194	629.588	-14.70	0.144	644.432
GCP08	277864.693	9524812.796	715.236	-14.51	0.144	729.890
GCP09	281048.587	9527678.919	621.574	-14.38	0.144	636.098
PC01	285317.545	9503117.900	507.829	-14.71	0.144	522.683
PC02	284271.660	9520338.040	561.736	-14.43	0.144	576.310

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL						
PONTO	ESTE	NORTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA	ONDULAÇÃO GEOIDAL MapGeo2010	Fator Correção	ALTITUDE ORTOMÉTRICA
INHAÇU 01	284830.423	9520293.389	633.074	-14.41	0.144	647.628
INHAÇU 02	284089.915	9520965.010	555.807	-14.42	0.144	570.371
JACARÉ 01	282891.247	9498817.828	485.610	-14.84	0.144	500.594

## 2.2 LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Os levantamentos foram executados numa área de aproximadamente 382 km<sup>2</sup> de cobertura aérea e 200 Km<sup>2</sup> de restituição, situada no estado do Ceará, abrangida pelo enquadramento geográfico de  $\varphi=04^{\circ}12' S$ ,  $\lambda=41^{\circ}10' WGr.$ , e  $\varphi=04^{\circ}36' S$ ,  $\lambda=40^{\circ}44' WGr$ , visando à implantação de obras de engenharia do Projeto do Eixo de Integração da Ibiapaba. A **Figura 2.6** apresenta a área levantada.



**Figura 2.6 - Localização da área. Fonte: Google Earth.**

### 2.2.1 Aerotriangulação

Para o desenvolvimento da aerotriangulação, adotou-se o método ISO – *Integrated Sensor Orientation* com a introdução das medições GPS/INS provenientes do receptor GPS e do IMU, somado aos dados dos pontos de apoio do terreno e dos pontos na imagem.

Na execução da aerotriangulação utilizou-se o software Match-AT da empresa *Inpho*. O modelo de ajustamento é baseado no método de feixes perspectivos (*bundle block*) sendo a unidade do processo a imagem.

A TOPOCART realizou o processo da aerotriangulação de forma totalmente digital, a partir das fotos aéreas obtidas pela câmera digital UltraCam Xp.

A seguir, é descrito um resumo da etapa do processo de aerotriangulação

a) Dados de entrada

- Centros de projeção e ângulos aproximados das fotografias determinados pelo receptor GPS e IMU durante a cobertura aerofotogramétrica;
- Imagens Digitais em formato TIFF;
- Pontos de Controle de Campo (Apoio Suplementar);
- Dados Adicionais (altura média do terreno e informações do certificado de calibração da câmera).

b) Calculo

Geração do Projeto AT: introdução das coordenadas e giros (devidamente pós-processados na etapa de cobertura aerofotogramétrica), os dados de entrada como calibração da câmera, coordenada dos pontos de apoio e de verificação, altura média do terreno, altura do voo e imagens digitais (geração das imagens piramidais, tamanho do pixel e orientação da digitalização das fotos);

Orientação Interna: para processamento da orientação interna das imagens obtidas pela câmera digital UltraCam Xp foi necessário a inserção dos dados do certificado de calibração (distância focal, posição do ponto de autocolimação, posição do ponto principal, correção de esfericidade e correção de refração);

Inicialização: a inicialização do processo permitiu definir a localização das áreas de Von Gruber;

Geração dos Tie Points ou Pontos de Enlace: na aerotriangulação automática gerou-se um grande número de pontos, de maneira automatizada, nas áreas conhecidas como de Gruber. Estes pontos são responsáveis pela ligação de modelos e faixas;

Medição dos Pontos de Apoio: realizada a geração dos Tie Points, a leitura dos pontos de apoio suplementar foi feita de modo assistida e em estéreo, assegurando a perfeita localização e consistência de cada ponto;

Pós-processamento: nesta fase foi realizado o processamento matemático do bloco, descrevendo os residuais dos pontos de enlace (Tie Points), controle (GCP) e verificação (check). Foi usado o sistema de detecção de erros denominado de “Automatic blunder detection”. A análise do resultado foi feita em forma gráfica e numérica, sendo prevista o número de interação necessária até a convergência dos resultados estabelecidos.

Durante o processo de aerotriangulação realizou-se um rigoroso controle de qualidade de todas as etapas, dentre as quais: análise da orientação interna, verificação da densidade e distribuição dos *Tie Points* e avaliação dos resultados estatísticos, destacando o estudo comparativo das coordenadas dos pontos de controle.

### **2.2.2 Estéreo Restituição Digital**

A restituição planialtimétrica foi realizada de modo que os dados provenientes das estações digitais apresentassem registro de suas coordenadas geográficas.

Na etapa de estereorestituição digital o detalhamento dos níveis de informação foi condizente com a escala de mapeamento e a relação de temas descrita na especificação, assegurando a consolidação de uma base cartográfica confiável. Na área objeto de mapeamento foram restituídos todos os detalhes visíveis no modelo, compatíveis com os temas necessários ao projeto e avaliação dos impactos da barragem Inhuçu.

Quanto à altimetria, em especial a extração das curvas de nível, foram obtidas através do software AU4 de forma indireta, a partir da interpolação dos dados provenientes do levantamento laser.

Adicionou-se os pontos cotados nas regiões de singularidade do terreno e outras informações altimétricas, incluindo os dados de hidrografia, para completar a representação da região de estudo.

Posteriormente as curvas de nível foram interpoladas dentro da mesma plataforma com a equidistância vertical de 1 metro e geradas de forma contínua. Esse processo garantiu grande segurança ao operador uma vez que, com a estação digital, é possível visualizar na tela do monitor, em estereoscópica, a superfície e todas as linhas tridimensionais e curvas de nível perfeitamente coerentes com a morfologia do terreno.

No final do processo e após a etapa de revisão, todas as informações planialtimétricas obtidas na restituição aerofotogramétrica foram exportadas nos seus respectivos layers de origem, sendo disponibilizados para as outras etapas do mapeamento.

### **2.2.3 Ortorretificação**

A correção dos erros presentes em uma fotografia aérea, incluindo aí, as correções do deslocamento devido ao relevo, tem sido apresentada como uma operação de ortorretificação ou retificação diferencial, que por sua vez, gera produtos conhecidos como ortofotos digitais.

O processo de ortorretificação tem como objetivo reprojetar a cena de uma fotografia (projeção cônica), em uma nova cena, agora em projeção ortogonal e conseqüentemente, corrigir efeitos de distorções geométricas da imagem.

A ortorretificação das imagens para a geração das ortofotos digitais foi realizada a partir do programa OrthoMaster, sendo utilizados todos os dados descritos anteriormente. Nessa etapa foram observadas e atendidas todas as especificações quanto à precisão, ao formato de entrega e o valor da resolução espacial.

O processo de ortorretificação iniciou-se com a montagem de um projeto e a definição de alguns dados como: datum, sistema de projeção, resolução espacial e orientação das imagens.

Posteriormente o software fez um ajuste dos pontos provenientes da aerotriangulação, resultando em uma tabela que contém o nome do ponto, foto a que ele pertence e seu respectivo residual (RMS). Através do RMS de cada ponto foi feita uma meticulosa análise destes residuais, tendo-se a opção de retirar o ponto do ajuste, a fim de proporcionar um residual médio satisfatório na elaboração da ortofoto.

Na ortorretificação digital é imprescindível ter em mãos o Modelo Digital do Terreno (MDT) para que os deslocamentos dos pontos objetos na imagem, devido ao relevo, possam ser corrigidos.

Durante o processo de ortorretificação, como interpolador, utilizou-se o método cúbico (determina o valor de brilho de um pixel, a partir de uma média oriunda de uma área de 16 pixels vizinhos ao ponto de ser interpolado) para a reamostragem da imagem retificada. O princípio utilizado para a construção das ortofotos digitais está baseado no seguinte conceito: dada a posição de um futuro pixel no plano cartográfico em questão, pelas

coordenadas do centro do quadrado que ele represente, determinou-se a altitude deste ponto, com auxílio do MDT. Com as três coordenadas (X,Y,Z) do ponto e conhecido os parâmetros de recessão da foto, como auxílio das equações projetivas, encontra-se a posição deste ponto na imagem.

Quando encontrado um pixel exatamente nesta posição, sua cor será copiada para a posição do ponto em questão na ortofoto. Caso contrário, uma aproximação é feita. Os critérios para tal consistem em uma média entre os pixels vizinhos, utilizando-se de interpoladores. A cor do pixel dada pelo algoritmo adotado é assumida pelo pixel prospectivo da futura ortofoto digital.

A resolução das ortofotos na escala 1:5.000 foram de 0,15 metro e o MDT para este projeto foi gerado com resolução espacial de 0,45 metros e como referência cartográfica padronizou-se o SIRGAS 2000.

#### **2.2.4 Mosaicagem, processamento da imagem e corte das folhas**

A mosaicagem resume-se basicamente em reunir duas ou mais ortofotos com superposição para criar uma representação contínua de toda a área coberta.

No processo de mosaicagem as ortofotos foram inseridas em um ambiente bidimensional, dispostas de acordo com seu georreferenciamento, de forma a possibilitar o corte através de feições do terreno de cada ortofoto. Ao final, estas regiões foram unidas e salvas em um único arquivo, denominadas mosaico. Para a obtenção de mosaicos de boa qualidade alguns cuidados foram tomados, tais como: padronização radiométrica das ortofotos e determinação do perfil das diferenças radiométricas ao longo da linha de ligação entre as ortoimagens. Terminada a etapa de mosaicagem, o mosaico foi submetido a técnicas de realce e balanceamento de cores. Na sequência realizou-se o corte do mosaico em folhas para garantir uma melhor manipulação das ortofotos, uma vez que o mosaico tende a ser um arquivo com tamanho relevante.

As folhas parciais foram cortadas através de coordenadas dos cantos superior esquerdo e inferior direito da articulação pré-definida, respeitando sempre um buffer determinado de acordo com a escala de apresentação das ortofotos, neste caso adotou-se 500 metros. A **Figura 2.7**, apresenta um exemplo de uma imagem contínua da área de interesse do projeto, após a conclusão da mosaicagem e do processamento da imagem.



**Figura 2.7 - Imagem contínua Ortofoto de uma área do projeto**

### **2.2.5 Edição Cartográfica**

Reambulação é uma fase integrada à edição, mas que se inicia ainda na etapa de campo ou escritório, quando são coletadas informações que foram inseridas nas cartas topográficas finais. Consiste em identificar as feições registradas de forma a coletar todas as informações necessárias, possibilitando que as toponímias sejam atribuídas ao mapeamento.

A etapa de reambulação teve início após a fase de restituição, na edição cartográfica. Os principais objetivos foram a identificação de toponímias de acidentes geográficos naturais e artificiais, bem como os pontos relevantes existentes na área de mapeamento e dos elementos que a compõem. O nível de informação coletada nessa fase está de acordo com a escala de mapeamento e dos objetivos a serem atendidos e em concordância as especificações técnicas do projeto.

Na fase de edição cartográfica foi finalizada a edição da articulação onde determinou-se as malhas UTM – SIRGAS 2000, as coordenadas geográficas dos cantos das folhas e a

convergência meridiana. A malha UTM é composta de quadriculados de 10 × 10 cm, com distâncias de 500 m para a escala de 1:5.000.

## 2.3 LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL

Os levantamentos topográficos do eixo da barragem e sangradouro, foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

### 2.3.1 Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se uma estação total, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talwegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

O ponto de partida, estaca 00, está localizado na ombreira direita, onde foi implantado o marco de concreto M-1. Buscando uma melhor locação seguindo o divisor de águas, se fez necessária uma deflexão à esquerda, na estaca 17+ 10,00, onde o marco M-2 está instalado; e outra à direita, na estaca 49+ 15,31. Na ombreira esquerda encontra-se a estaca final do eixo (100), onde está instalado o marco M-4, totalizando 2.000 m de comprimento.

O **Quadro 2.4** a seguir apresenta a relação dos marcos implantados:

**Quadro 2.4 - Relação de Marcos no Eixo da Barragem**

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)		Cotas (m)
		Este	Norte	
M-1	00	283.165,458	9.521.197,119	646,672
M-2	17+ 10,00	283.445,045	9.520.986,556	601,515
M-3	49+15,31	284.089,915	9.520.965,010	570,371
M-4	99+15,08	284.830,423	9.520.293,389	647,628

### **2.3.2 Nivelamento**

O levantamento altimétrico da barragem Inhuçu, foi realizado utilizando-se um nível WILD N-1, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do RN 2596X (IBGE), conforme descrito no item 2.1.1.

### **2.3.3 Levantamento de Seções Transversais**

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e sangradouro a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 200 metros à montante e à jusante e se constituíram de pontos cotados a cada 20 metros, englobando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

## **2.4 LEVANTAMENTO DO CANAL DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO**

A região que abrange a área de interesse do projeto do canal de aproximação e restituição dos caudais do sangradouro da barragem Inhuçu, foi levantada plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

### **2.4.1 Locação**

Locou-se um eixo básico do canal de aproximação/restituição utilizando-se um Teodolito WILD T-1, o qual foi estaqueado e numerado a cada 20 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

O eixo básico do canal de aproximação/restituição cruza ortogonalmente o eixo topográfico da barragem na estaca 07+10, sendo locado com uma extensão de 1.433,65, buscando uma melhor situação de entrada e acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até próximo do rio.

### **2.4.2 Nivelamento e Seções Transversais**

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico do eixo básico locado do canal de aproximação/restituição, a cada 20 metros. Procedeu-se, também, um seccionamento em cada estaca do eixo, com 150 metros de largura para cada lado, com

pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

## 2.5 LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS

### 2.5.1 Jazidas de Solos

As áreas das ocorrências de materiais terrosos construtivos para execução da barragem Inhuçu tiveram todos os seus furos levantados com GPS de precisão, tendo como base os marcos implantados nos trabalhos de apoio de campo ao levantamento aerofotogramétrico.

As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: Jazidas de solo areno argiloso J-6, J-7 e J-8.

Inicialmente locou-se os poços de sondagem levantados em cada jazida sobre uma planta obtida por imageamento de satélite. Em seguida retirou-se as distancias do centro de cada jazida ate o eixo projetado para a barragem, através das estradas existentes na região ou previstas de serem abertas.

O **Quadro 2.5** apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância de cada jazida ao eixo barrável:

**Quadro 2.5 - Estudo Topográfico das Jazidas**

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Distancia ao eixo (Km)
<b>Jazida J-6</b>	126	33,26	16,5
<b>Jazida J-7</b>	168	41,26	17,4
<b>Jazida J-09</b>	234	98,55	30,16
<b>Jazida J-10</b>	56	41,43	34,43

### 2.5.2 Areal

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Inhuçu, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo dos leitos dos rios Juré e Acarau. Estes poços tiveram suas coordenadas registradas através de GPS manual, que são apresentadas a seguir no **Quadro 2.6**.

**Quadro 2.6 - Levantamento planimétrico dos Arais**

Furo	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
<b>AREAL DO RIO JURÉ</b>		
<b>01</b>	327.870	9.547.092
<b>02</b>	328.031	9.547.080
<b>03</b>	328.215	9.547.080
<b>04</b>	328.438	9.547.098
<b>05</b>	328.667	9.547.058
<b>06</b>	328.883	9.547.038
<b>07</b>	329.029	9.547.058
<b>08</b>	329.245	9.547.105
<b>09</b>	329.458	9.547.008
<b>14</b>	336.234	9.552.592
<b>15</b>	336.122	9.552.426
<b>17</b>	336.409	9.552.780
<b>AREAL DO RIO ACARAU</b>		
<b>02</b>	340.556	9.545.420
<b>03</b>	340.527	9.545.912
<b>04</b>	340.699	9.546.428
<b>06</b>	341.108	9.547.431
<b>07</b>	341.134	9.548.286
<b>08</b>	341.092	9.548.939
<b>09</b>	341.301	9.549.492

### 2.5.3 Pedreiras

#### 2.5.3.1 Pedreira de Arenito

Na pedreira de onde será extraído o material arenítico necessário para a construção dos espaldares da barragem, que se situa em média de 1,4 km a montante do eixo. A seguir são apresentadas as coordenadas dos referidos pontos:

**Quadro 2.7 - Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 01**

Pontos	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
<b>01</b>	283.564	9.521.912
<b>02</b>	282.786	9.522.099
<b>03</b>	282.716	9.521.808
<b>04</b>	283.494	9.521.620

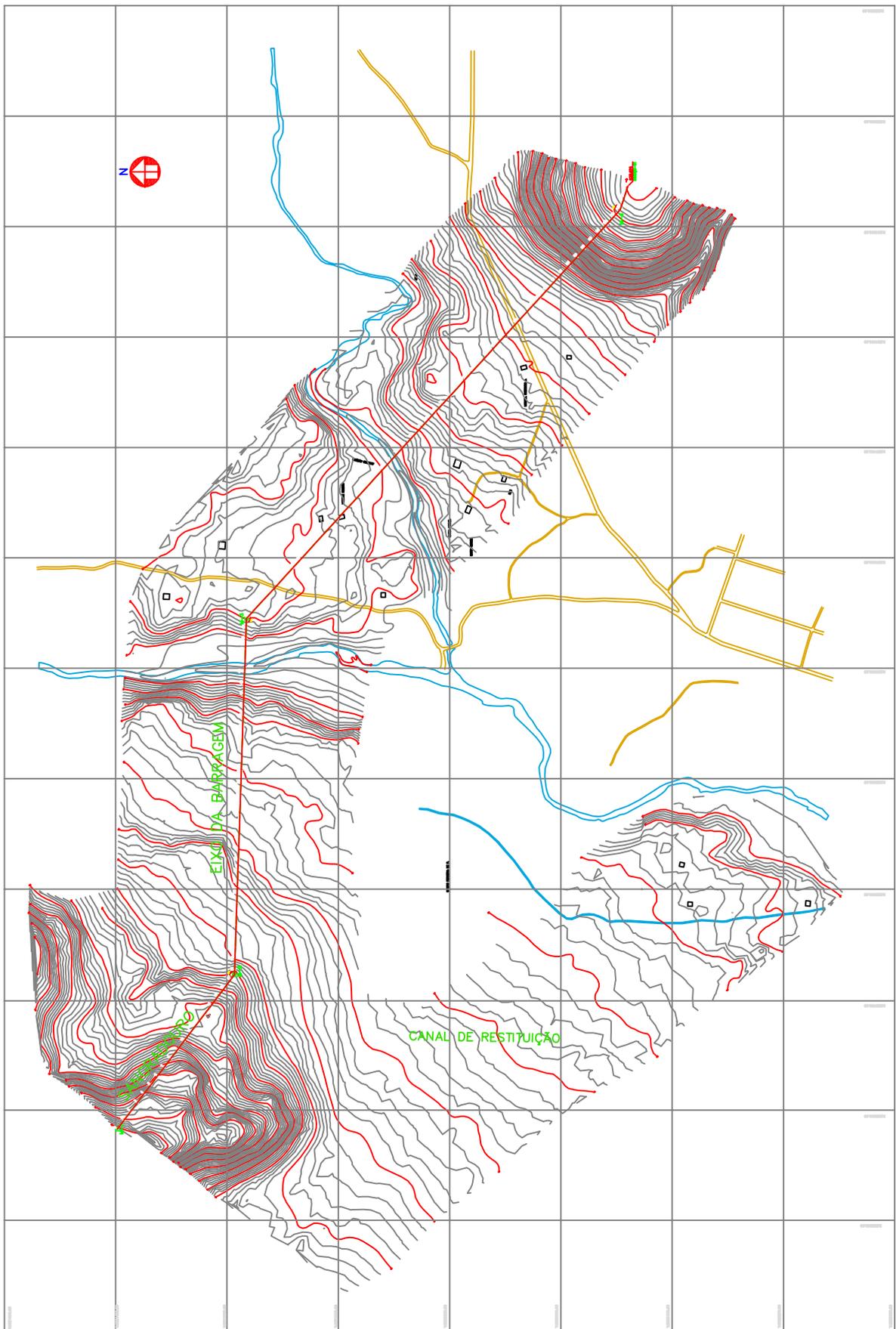
### 2.5.3.2 Pedreira de Gnaisse

Na pedreira de onde será extraído o material pétreo do tipo Gnaisse, situa-se a cerca de 58 kM do eixo da barragem. O material a ser explorado nesta pedreira será destinado a britagem para utilização nas transições de filtro e nas obras de concreto. A seguir são apresentadas as coordenadas dos referidos pontos:

**Quadro 2.8 - Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 02**

Ponto	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
<b>01</b>	304.703	9.491.143

# Levantamento da barragem e sangradouro – Barragem Inhuçu



### 3 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

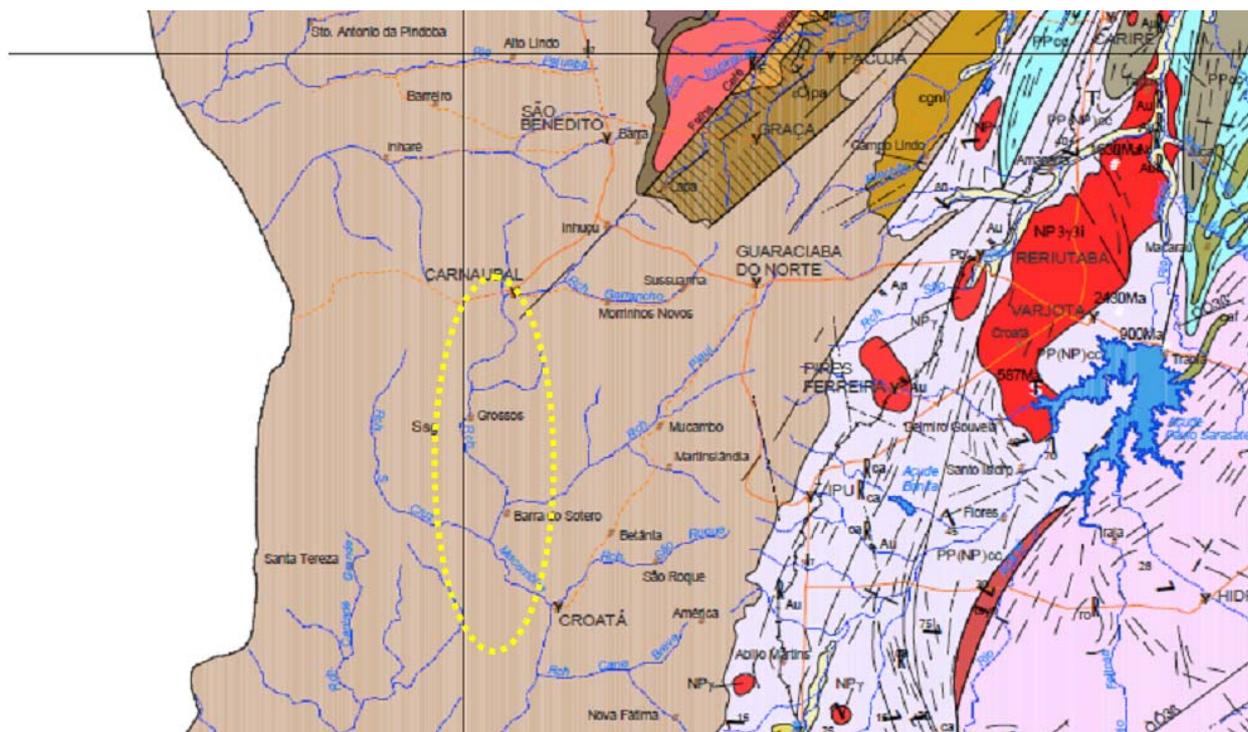
---

### 3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

#### 3.1 GEOLOGIA REGIONAL

Na serra de Ibiapaba, os sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba encobrem o embasamento cristalino, que já foi sede de incontáveis eventos tectônicos. A maior parte desses eventos antecedeu a formação da bacia sedimentar, mas alguns ocorreram em etapa posterior e deixaram sua marca gravada nos próprios sedimentos.

No Mesozóico, extensas falhas foram reativadas, dentre elas o Lineamento Sobral-Pedro II, que constitui uma das principais estruturas rúpteis, em escala regional e continental (**Figura 3.1**). Na região entre os municípios de Santana do Acaraú e Morrinhos e adjacente ao já referido lineamento, ocorre uma faixa com cerca de 30 km de extensão, orientada no sentido NE, composta por arenitos e arenitos conglomeráticos, correlacionados à seção basal do Grupo Serra Grande, de idade siluro-devoniana, que constituem um marcador por excelência da deformação ocorrida.



**Figura 3.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).**

O espesso pacote de sedimentos da formação Serra Grande, no alto da chapada, foi submetido ao mesmo tectonismo que atingiu o embasamento cristalino, ao longo de uma faixa de território que se prolonga no sentido NE-SW e que possui uma largura de algumas dezenas de quilômetros. Esta faixa é delimitada pelo lineamento Sobral-Pedro II, que passa pela cidade de Guaraciaba do Norte e por outro lineamento importante, paralelo ao primeiro, denominado Falha Café-Ipoeiras, que passa próximo à cidade de Inhuçu.

O mapa fisiográfico da região de interesse mostra que os sítios de barramento previstos se situam dentro de uma faixa afetada, conforme referido acima, por eventos tectônicos ocorridos após a sedimentação da formação Serra Grande.

Uma nova etapa de tectonismo se manifestou em época posterior à da reativação do lineamento Sobral-Pedro II, com desenvolvimento de um sistema de falhamentos transcorrentes, alinhados na direção aproximada NW-SE, que induziu deslocamentos relativos entre blocos, configurando uma fossa tectônica.

Deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais, além de basculamentos, podem ser observados no terreno, graças à presença de horizontes-guias, claramente visíveis nas elevações que delimitam os vales dos principais cursos d'água.

### **3.2 GEOLOGIA LOCAL**

No sítio da barragem de Inhuçu ocorrem sedimentos da formação Serra Grande, que integra a sequência de unidades sedimentares da Bacia do Parnaíba (ou bacia do Maranhão-Piauí) e compreende um pacote de arenitos finos a grosseiros, às vezes conglomeráticos, com intercalações siltosas e arenosas bem definidas, cuja presença pode ser observada tanto nos afloramentos das escarpas da Serra de Ibiapaba, quanto nos testemunhos das sondagens feitas no local do empreendimento.

A posição da formação Serra Grande é basal em relação à estratigrafia da bacia, apoiando-se diretamente sobre o substrato cristalino. Quando não perturbado por tectonismo, o acamamento dos sedimentos mergulha suavemente para oeste, isto é, para o interior da bacia sedimentar.

A sequência sedimentar local se caracteriza pela atitude sub-horizontal das camadas, com mergulhos de amplitude restrita a poucos graus. Localmente, encontram-se afloramentos com mergulhos mais acentuados, de no máximo  $15^{\circ}$  a  $20^{\circ}$ , sem uma orientação preferencial, voltados

praticamente para todos os quadrantes e que persistem por distâncias relativamente curtas, na escala das dezenas de metros.

No sítio, o arenito é geralmente fino e se apresenta associado a estratos sub-horizontais de siltito e folhelho intercalados, sendo finamente estratificado, friável e frequentemente pouco consistente, de cor cinza claro, amarelado e, às vezes, vermelho ferruginoso, ou cinza escuro, quando coerente.

É frequente a presença de estruturas de estratificação cruzada, que podem exibir mergulhos mais acentuados ( $30^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ ), mas que não possuem continuidade significativa. Trata-se de estruturas secundárias, com extensão limitada a poucos metros, no máximo.

Os afloramentos rochosos são comuns, embora não contínuos, concentrando-se nas duas ombreiras e no leito dos dois rios que integram o projeto, o Inhuçu e o Piaus. Nas ombreiras, observa-se a presença de degraus mais acentuados na topografia, sustentados por camadas de arenito muito coerente, normalmente silicificadas, fazendo jus à denominação de quartzitos.

Grandes acúmulos de blocos, das mais variadas dimensões, são observados logo abaixo dos referidos degraus e refletem o processo de evolução e recuo das encostas.

Cada degrau está associado à presença, em sua base, de camadas de arenito e/ou siltito menos coerentes, frequentemente brandos e facilmente erodíveis. A remoção desses horizontes pouco coerentes, pela ação dos agentes externos, deixa os blocos de arenito coerente em balanço, até que a perda da base de sustentação provoca sua queda. Este é o mecanismo de evolução do relevo local.

A cobertura de solos é, em geral, escassa ou inexistente. Na porção inferior das encostas, em áreas de menor declividade, ela se limita a poucas dezenas de centímetros, ou, no máximo, a um ou dois metros e é formada por solos essencialmente siltosos e arenosos finos, não coesivos, com relevante presença de pequenos blocos e seixos imersos.

### 3.3 INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

#### 3.3.1 Sondagens realizadas

Os estudos geotécnicos da Barragem Inhuçu constituem a realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento, aos ensaios in situ executados nestas prospecções. Além disso, foram realizadas investigações nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando à concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

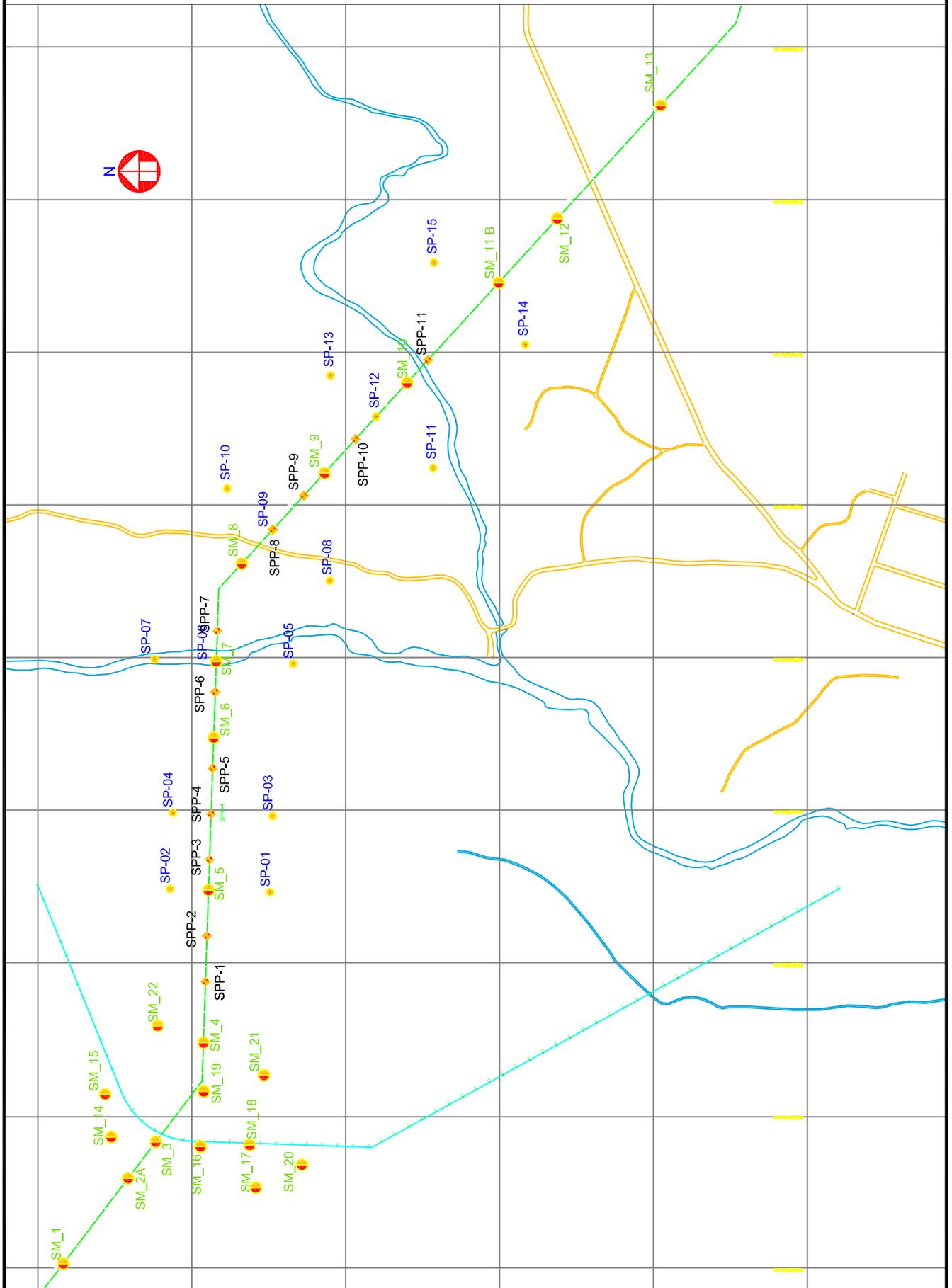
No eixo adotado (Final) foram realizadas 28 prospecções mecânicas, na região do barramento, sendo 15 sondagens à percussão e 13 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa). A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na **Figura 3.2**, apresentada a seguir.

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 em solo das sondagens mistas e nas percussivas, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon).

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

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

# Campanha de sondagens - Barragem Inhuçu



### 3.3.1.1 Sondagens a Percussão

As sondagens a percussão na área do barramento totalizaram 14,39m, representando uma espessura média de 1,0 de solo penetrável a tal ferramenta.

No **Quadro 3.1**, a seguir, são relacionadas as sondagens percussiva executadas no eixo do barramento. Suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

**Quadro 3.1 - Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Inhuçu**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	SPT Mínimo (N)	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1	30 (80m Jusante)	283.692	9.520.898	581,472	3,22	2	Silte argiloso-Muito mole pouco
SP-2	30 (50m Montante)	283.696,	9.521.028	586,226	0,65	-	
SP-3	35 (80 m Jusante)	283.792	9.520.894	579,639	3,8	2	Silte arenoso- fofo
SP-4	35 (50m Montante)	283.796	9.521.024	581,840	1,7		Silte arenoso-pouco compcto
SP-5	45 (100m Jusante)	283.991	9.520.868	562,065	0,40	-	
SP-6	45 (Eixo)	283.994	9.520.968	561,492	0	-	Rocha aflorante
SP-7	45 (80m Montante)	283.997	9.521.048	563,488	0,91	-	
SP-8	55 (100m Jusante)	284.100	9.520.820	567,099	0	-	Rocha aflorante
SP-9	55 (Eixo)	284.167	9.520.894	570,207	1,79		Silte arenoso-pouco compacto
SP- 10	55 (80m Montante)	284.221	9.520.953	570,988	0,80	-	
SP-11	65 (100m Mont.)	284.248	9.520.686	562,597	0,86	-	
SP-12	65 (Eixo)	284.315	9.520.760	565,626	0	-	Rocha aflorante
SP-13	65 (80m Montante)	284.369	9.520.819	570,670	0,26	-	
SP-14	75 (80m Jusante)	284.410	9.520.567	574,820	0	-	Rocha aflorante
SP-15	75 (80m Montante)	284.518	9.520.685	572,750	0	-	Rocha aflorante

### 3.3.1.2 Sondagens Mistas

No local do eixo da barragem, foram executadas 13 sondagens mistas, totalizando 383,70m m.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa HX de diamante acoplada a um barrilete duplo. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

No **Quadro 3.2** a seguir são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

**Quadro 3.2 - Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Inhuçu Sondagem Mista – Zona do maciço da barragem**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	2+10	9.521.167	283.205	637,74	1,5	28	30/5	Arenito c/ intercalações siltito
SM-2	9+10	9.521.082	283.317	618,14	0,15	22,85		Arenito
SM-3	12+10	9.521.046	283.365	581,85	2,75	27,25	9	Arenito c/ intercalações siltito
SM-4	20	9.520.984	283.495	504,38	0,65	29,35	16	Arenito c/ intercalações siltito
SM-5	30	9.520.978	283.694	584,261	2,54	27,46	10	Arenito c/ intercalações siltito
SM-6	40	9.520.971	283.894	577,044	0	30		Arenito c/ intercalações siltito
SM-7	45	9.520.968	283.985	563,26	0,20	29,80		Arenito c/ intercalações siltito
SM-8	52	9.520.934	284.123	571,313	2,42	27,58	11	Arenito
SM-9	60	9.520.827	284.241	569,134	0,77	29,23	2/45	Arenito
SM-10	68	9.520.720	284.360	564,954	0,7	29,50		Arenito
SM-11 B	76+17	9.520.603	284.493	579,093	1,7	28,30	25	Arenito
SM-12	82	9.520.525	284.575	582,422	0,65	29,85		Arenito c/ intercalações argilito
SM-13	92 + 10	9.520.390	284.723	596,569	1,45	28,55	14	Arenito

### 3.3.1.3 Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, trecho em solo, e nas sondagens percussivas foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas nos quadros a seguir, e os resultados de cada ensaio

são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no **Tomo 4 A**.

Também foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas, também, nos **Quadro 3.3 e Quadro 3.4**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A**.

**Quadro 3.3 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Inhuçu - ensaios de infiltração do tipo Lefranc**

Furo	Estaca	Cota (m)			Profundidade (m)		K (cm/s)
		Boca do Furo	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
SP-01	30 (80m Jusante)	581,47	580,77	580,47	0,70	1,00	1,7x10 <sup>-4</sup>
			580,47	579,47	1,00	2,00	3,6x10 <sup>-4</sup>
			579,47	578,47	2,00	3,00	3,9x10 <sup>-4</sup>
SP-03	35 (80 m Jusante)	579,64	579,14	578,64	0,50	1,00	8,7x10 <sup>-3</sup>
			578,64	577,64	1,00	2,00	3,8x10 <sup>-3</sup>
			577,64	576,64	2,00	3,00	6,0x10 <sup>-3</sup>
			576,64	575,84	3,00	3,80	4,4x10 <sup>-3</sup>
SP-04	35 (50m Montante)	581,84	581,24	580,84	0,60	1,00	1,3x10 <sup>-2</sup>
			580,84	580,14	1,00	1,70	1,7x10 <sup>-3</sup>
SP-09	55 (Eixo)	570,21	569,51	569,21	0,70	1,00	4,7x10 <sup>-4</sup>
			569,21	568,42	1,00	1,70	4,1x10 <sup>-4</sup>
SM-01	2+10	637,74	636,74	636,24	1,00	1,50	8,9x10 <sup>-4</sup>
SM-02	9+10	618,14	617,44	616,44	0,70	1,70	1,5x10 <sup>-4</sup>
SM-03	12+10	601,65	600,65	600,65	0,00	1,00	1,6x10 <sup>-3</sup>
			600,65	599,65	1,00	2,00	6,3x10 <sup>-3</sup>
			599,65	598,90	2,00	2,75	4,7x10 <sup>-4</sup>
SM-05	30	584,26	583,76	583,26	0,50	1,00	8,0x10 <sup>-5</sup>
			583,26	582,26	1,00	2,00	7,2x10 <sup>-3</sup>
			582,26	581,72	2,00	2,54	6,2x10 <sup>-3</sup>
SM-08	52	571,31	570,61	570,31	0,70	1,00	6,6x10 <sup>-4</sup>
			570,31	569,31	1,00	2,00	3,3x10 <sup>-3</sup>
SM-11B	76+17	579,09	578,09	577,39	1,00	1,70	2,2x10 <sup>-4</sup>
SM-13	92 + 10	596,57	595,57	595,12	1,00	1,45	9,3x10 <sup>-5</sup>

**Quadro 3.4 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Inhuçu - ensaios de Lugeon**

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
SM-01	2+10	637,74	633,04	4,70	6,46	62,29	5,1x10 <sup>-3</sup>
			624,28	13,46	15,46	264,38	2,3x10 <sup>-2</sup>
			623,28	14,46	15,46	0,37	2,5x10 <sup>-5</sup>
			622,28	15,46	18,31	901,08	8,6x10 <sup>-2</sup>
			619,43	18,31	21,13	51,40	4,9x10 <sup>-3</sup>
			618,43	19,31	21,13	274,03	2,3x10 <sup>-2</sup>
			617,43	20,31	21,13	528,96	3,3x10 <sup>-2</sup>
			612,61	25,13	27,13	17,74	1,5x10 <sup>-3</sup>
			611,61	26,13	27,13	19,94	1,4x10 <sup>-3</sup>
			610,48	27,13	30,00	176,64	1,7x10 <sup>-2</sup>
			609,61	28,13	30,00	200,70	1,7x10 <sup>-2</sup>
SM-02	9+10	618,14	11,74	1,70	4,70	96,82	9,4x10 <sup>-3</sup>
			11,00	11,00	15,00	0,18	1,9x10 <sup>-5</sup>
			4,32	15,00	18,00	0,11	1,1x10 <sup>-5</sup>
			1,32	18,00	21,00	1,09	1,1x10 <sup>-4</sup>
			6,57	21,00	23,00	2,17	1,9x10 <sup>-4</sup>
SM-03	12 +10	601,65	597,55	4,10	7,10	21,31	2,7x10 <sup>-3</sup>
			594,35	7,30	10,30	25,13	2,4x10 <sup>-3</sup>
			593,35	8,30	10,30	32,92	2,9x10 <sup>-3</sup>
			592,35	9,30	10,30	103,80	7,1x10 <sup>-3</sup>
			589,35	12,30	15,30	3,89	4,1x10 <sup>-4</sup>
			588,35	13,30	15,30	6,08	5,7x10 <sup>-4</sup>
			586,35	15,30	18,30	85,92	9,0x10 <sup>-3</sup>
			585,35	16,30	18,30	1321,56	1,2x10 <sup>-1</sup>
			583,35	18,30	21,30	0,39	4,1x10 <sup>-5</sup>
			580,35	21,30	24,30	0,82	8,6x10 <sup>-5</sup>
			577,35	24,30	27,30	0,22	2,3x10 <sup>-5</sup>
			574,35	27,30	30,00	0,30	3,1x10 <sup>-5</sup>
SM-04	20	504,38	502,98	1,40	4,40	22,69	2,2x10 <sup>-3</sup>
			499,98	4,40	7,40	0,40	3,9x10 <sup>-5</sup>
			496,98	7,40	10,40	9,52	9,2x10 <sup>-4</sup>
			493,98	10,40	13,40	0,28	2,7x10 <sup>-5</sup>
			490,98	13,40	16,40	0,55	5,3x10 <sup>-5</sup>
			487,98	16,40	19,40	0,44	4,3x10 <sup>-5</sup>
			484,98	19,40	22,32	1,42	1,4x10 <sup>-4</sup>
			482,06	22,32	25,50	2,21	2,2x10 <sup>-4</sup>
			478,88	25,50	28,50	10,38	1,0x10 <sup>-3</sup>
			477,88	26,50	27,50	52,16	3,6x10 <sup>-3</sup>
			477,88	26,50	30,00	0,13	1,3x10 <sup>-5</sup>
SM-05	30	584,26	581,22	3,04	6,04	11,61	1,1x10 <sup>-3</sup>
			580,22	4,04	6,04	23,28	2,0x10 <sup>-3</sup>
			578,22	6,04	9,04	7,00	6,8x10 <sup>-4</sup>
			575,22	9,04	12,04	1,39	1,4x10 <sup>-4</sup>
			572,22	12,04	15,04	4,21	4,1x10 <sup>-4</sup>
			569,22	15,04	18,04	1,99	1,9x10 <sup>-4</sup>
			566,22	18,04	21,04	0,65	6,3x10 <sup>-5</sup>
			563,22	21,04	24,04	2,26	2,4x10 <sup>-4</sup>
			560,22	24,04	27,04	0,12	1,2x10 <sup>-5</sup>
			557,26	27,00	30,00	0,40	4,2x10 <sup>-5</sup>
SM-06	40	577,04	598,04	9,00	10,50	2,01	1,6x10 <sup>-4</sup>
			566,54	10,50	13,50	0,18	1,8x10 <sup>-5</sup>

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
			563,54	13,50	17,00	0,28	2,9x10 <sup>-5</sup>
			559,54	17,50	21,00	0,67	7,3x10 <sup>-5</sup>
			556,04	21,00	24,00	0,86	9,0x10 <sup>-5</sup>
			553,04	24,00	27,00	0,41	4,2x10 <sup>-5</sup>
			550,04	27,00	30,00	0,15	1,5x10 <sup>-5</sup>
SM-07	45	563,26	560,76	2,50	5,50	29,73	2,9x10 <sup>-3</sup>
			559,76	3,50	5,50	36,55	3,2x10 <sup>-3</sup>
			558,76	4,50	5,50	91,78	6,3x10 <sup>-3</sup>
			557,76	5,50	8,50	39,23	3,8x10 <sup>-3</sup>
			556,76	6,50	8,50	54,51	4,7x10 <sup>-3</sup>
			555,76	7,50	8,50	101,64	6,9x10 <sup>-3</sup>
			554,85	8,50	12,00	1,93	2,0x10 <sup>-4</sup>
			551,26	12,00	15,00	1,29	1,3x10 <sup>-4</sup>
			548,26	15,00	18,00	1,04	1,0x10 <sup>-4</sup>
			545,26	18,00	21,00	3,65	3,6x10 <sup>-4</sup>
			542,26	21,00	24,00	2,59	2,5x10 <sup>-4</sup>
			539,26	24,00	27,00	2,05	2,0x10 <sup>-4</sup>
			563,26	27,00	30,00	2,57	2,5x10 <sup>-4</sup>
SM-08	52	571,31	561,81	9,50	12,50	0,80	7,8x10 <sup>-5</sup>
			558,81	12,50	15,50	3,41	3,2x10 <sup>-4</sup>
			555,81	15,50	18,50	3,99	3,9x10 <sup>-4</sup>
			552,81	18,50	21,50	4,67	4,5x10 <sup>-4</sup>
			549,81	21,50	24,50	6,16	6,0x10 <sup>-4</sup>
			546,81	24,50	27,50	0,33	3,2x10 <sup>-5</sup>
			543,81	27,50	30,00	1,71	1,6x10 <sup>-4</sup>
SM-09	60	569,13	561,83	2,30	6,04	46,24	4,5x10 <sup>-3</sup>
			565,83	3,30	5,30	0,07	5,9x10 <sup>-6</sup>
			563,83	5,30	8,30	0,13	1,2x10 <sup>-5</sup>
			560,83	8,30	11,07	0,17	1,6x10 <sup>-5</sup>
			558,06	11,07	13,77	3,27	3,1x10 <sup>-4</sup>
			555,36	13,77	17,00	0,17	1,7x10 <sup>-5</sup>
			552,13	17,00	20,00	0,13	1,3x10 <sup>-5</sup>
			549,13	20,00	23,00	0,15	1,5x10 <sup>-5</sup>
			546,13	23,00	26,20	0,17	1,7x10 <sup>-5</sup>
542,93	26,20	30,00	0,46	4,7x10 <sup>-5</sup>			
SM-10	68	564,95	581,22	5,00	8,00	39,65	4,1x10 <sup>-3</sup>
			580,22	6,00	9,00	0,51	5,0x10 <sup>-5</sup>
			578,22	9,00	12,00	0,67	6,5x10 <sup>-5</sup>
			575,22	12,00	15,00	0,16	1,6x10 <sup>-5</sup>
			572,22	15,00	18,00	4,51	4,4x10 <sup>-4</sup>
			569,22	18,00	21,00	3,93	3,8x10 <sup>-4</sup>
			566,22	21,00	24,00	0,33	3,2x10 <sup>-5</sup>
			563,22	24,00	27,00	0,92	9,0x10 <sup>-5</sup>
560,22	27,00	30,20	1,13	1,1x10 <sup>-4</sup>			
SM-11B	76+17	579,09	577,05	2,04	5,04	34,47	3,4x10 <sup>-3</sup>
			576,05	3,04	5,04	44,06	3,8x10 <sup>-3</sup>
			575,05	4,04	5,04	106,65	7,3x10 <sup>-3</sup>
			574,05	5,04	8,04	22,70	2,2x10 <sup>-3</sup>
			573,05	6,04	8,04	32,46	2,8x10 <sup>-3</sup>
			572,05	7,04	8,04	39,66	2,4x10 <sup>-3</sup>
			571,05	8,04	11,04	3,89	3,8x10 <sup>-4</sup>
			568,05	11,04	14,04	4,18	4,1x10 <sup>-4</sup>
			566,05	13,04	14,04	1,50	1,0x10 <sup>-4</sup>
			565,05	14,04	17,04	1,26	5,5x10 <sup>-5</sup>
			562,05	17,04	20,04	1,03	4,5x10 <sup>-5</sup>
559,09	20,04	23,04	0,57	2,5x10 <sup>-5</sup>			

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
			556,05	23,04	26,04	2,37	1,0x10 <sup>-4</sup>
			553,05	26,04	30,04	4,07	2,1x10 <sup>-4</sup>
			552,05	27,04	30,04	5,04	2,2x10 <sup>-4</sup>
SM-12	82	582,42	580,22	2,20	5,20	21,92	2,1x10 <sup>-3</sup>
			578,92	3,50	6,50	27,75	2,7x10 <sup>-3</sup>
			575,92	6,50	9,50	11,94	1,2x10 <sup>-3</sup>
			572,92	9,50	12,50	4,67	4,5x10 <sup>-4</sup>
			569,92	12,50	15,50	1,14	1,1x10 <sup>-4</sup>
			566,92	15,50	18,50	1,00	9,8x10 <sup>-5</sup>
			563,42	19,00	21,70	0,54	2,2x10 <sup>-5</sup>
			560,72	21,70	24,70	8,58	3,7x10 <sup>-4</sup>
			559,72	22,70	24,70	0,93	3,1x10 <sup>-5</sup>
			557,72	24,70	27,70	0,46	2,0x10 <sup>-5</sup>
			554,72	27,70	30,50	0,46	1,9x10 <sup>-5</sup>
SM-13	92 + 10	596,57	594,57	2,00	5,00	12,87	1,3x10 <sup>-3</sup>
			593,57	3,00	5,00	36,67	3,2x10 <sup>-3</sup>
			592,57	4,00	5,00	29,79	2,0x10 <sup>-3</sup>
			591,57	5,00	8,00	10,95	1,1x10 <sup>-3</sup>
			590,57	6,00	8,00	9,39	8,1x10 <sup>-4</sup>
			588,57	8,00	11,00	9,54	9,3x10 <sup>-4</sup>
			587,57	9,00	11,00	17,91	1,6x10 <sup>-3</sup>
			586,57	10,00	11,00	19,78	1,4x10 <sup>-3</sup>
			583,57	13,00	16,00	0,62	6,1x10 <sup>-5</sup>
			580,07	16,50	19,50	0,44	1,9x10 <sup>-5</sup>
			576,57	20,00	23,00	0,42	1,9x10 <sup>-5</sup>
			573,57	23,00	26,50	0,39	1,9x10 <sup>-5</sup>
			570,07	26,50	30,00	0,12	5,7x10 <sup>-6</sup>

### 3.3.2 Investigação do Sangradouro

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas das descargas previstas.

Ao longo do eixo e do eixo e dos canais de aproximação e restituição foram realizadas 09 sondagens mistas, com 102,18 m, sendo 2,95 m com percussão e 99,23 m com sonda rotativa.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

No **Quadro 3.5** são apresentadas as sondagens mistas realizadas na região do sangradouro.

**Quadro 3.5 - Investigação Geotécnica da Barragem Inhuçu Sangradouro**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Total.		
SM-14	11 + 00(50m mont.)	9.521.104	283.371	608,879	0	12	Arenito, intercalação argilito	Incoerente a muito coerente
SM-15	13 + 00 (90m mont)	9.521.113	283.427	608,646	0	12	Arenito	Incoerente a coerente
SM-16	14 + 00 (50m jus)	9.520.988	283.359	606,78	0	12	Arenito	Incoerente a muito coerente
SM-17	14 + 00 (140m jus)	9.520.916	283.304	596,633	0	12	Arenito, intercalação argilito	Incoerente a muito coerente
SM-18	16 + 10(100m jus)	9.520.924	283.360	595,107	0,80	9,20	Arenito	Incoerente a muito coerente
SM-19	17	9.520.984	283.431	601,64	0,65	13,53	Arenito	Incoerente a coerente
SM-20	17+00 (170m jus)	9.520.856	283.334	591,098	0	10	Arenito	Incoerente a muito coerente
SM-21	18+00 (80m jus)	9.520.906	283.452	591,501	0,60	9,40	Arenito	Pouco a muito coerente
SM-22	21+00 (60m mont)	9.521.104	283.517	595,985	0,90	9,10	Arenito, intercalação argilito	Incoerente a muito coerente
<b>Total</b>					<b>2,95</b>	<b>99,23</b>		

### 3.3.3 Levantamento geofísico

As técnicas geofísicas foram especialmente escolhidas, pois permitem investigar a subsuperfície ao longo de perfis (linhas de estudos), de modo a fornecer uma imagem da distribuição dos materiais que a compõem, possibilitando inferir o contato entre solos/rocha e eventuais estruturas geológicas tipo falhas/fraturas/alterações objetivando otimizar a campanha de investigação direta ou antever eventuais porções da subsuperfície que possam representar dificuldades ao projeto.

Neste sentido, a campanha geofísica contratada pelo Consórcio Projetista à empresa especializada **ALTA RESOLUÇÃO Geologia e Geofísica**, foi realizada através da

implantação de dois alinhamentos os quais foram levantados pela técnica eletrorresistiva (Seções de Imageamento Geoelétrico) e pela técnica sísmica (Sísmica de Refração). Os alinhamentos geofísicos foram definidos de forma a investigar a área de interesse do projeto conforme planta de localização em anexo a este relatório.

Deve-se se ter em mente, todavia, que a integração de métodos geofísicos é importante para se obter um melhor imageamento da subsuperfície, uma vez que as propriedades físicas dos estratos litológicos podem ser melhores mapeados dependendo da metodologia aplicada, ou seja, os métodos, neste projeto, utilizados são complementares.

### 3.3.3.1 Levantamentos realizados

Os trabalhos geofísicos de investigação foram realizados em dois alinhamentos (Eixo do Barramento e Eixo do Vertedouro). Nesses alinhamentos foram executados os levantamentos utilizando as técnicas eletrorresistiva (**Seções de Imageamento Geoelétrico**) e sísmica (**Sísmica de Refração**).

A medição total, contabilizando o levantamento das duas técnicas, pode ser encontrada no **Quadro 3.6** abaixo.

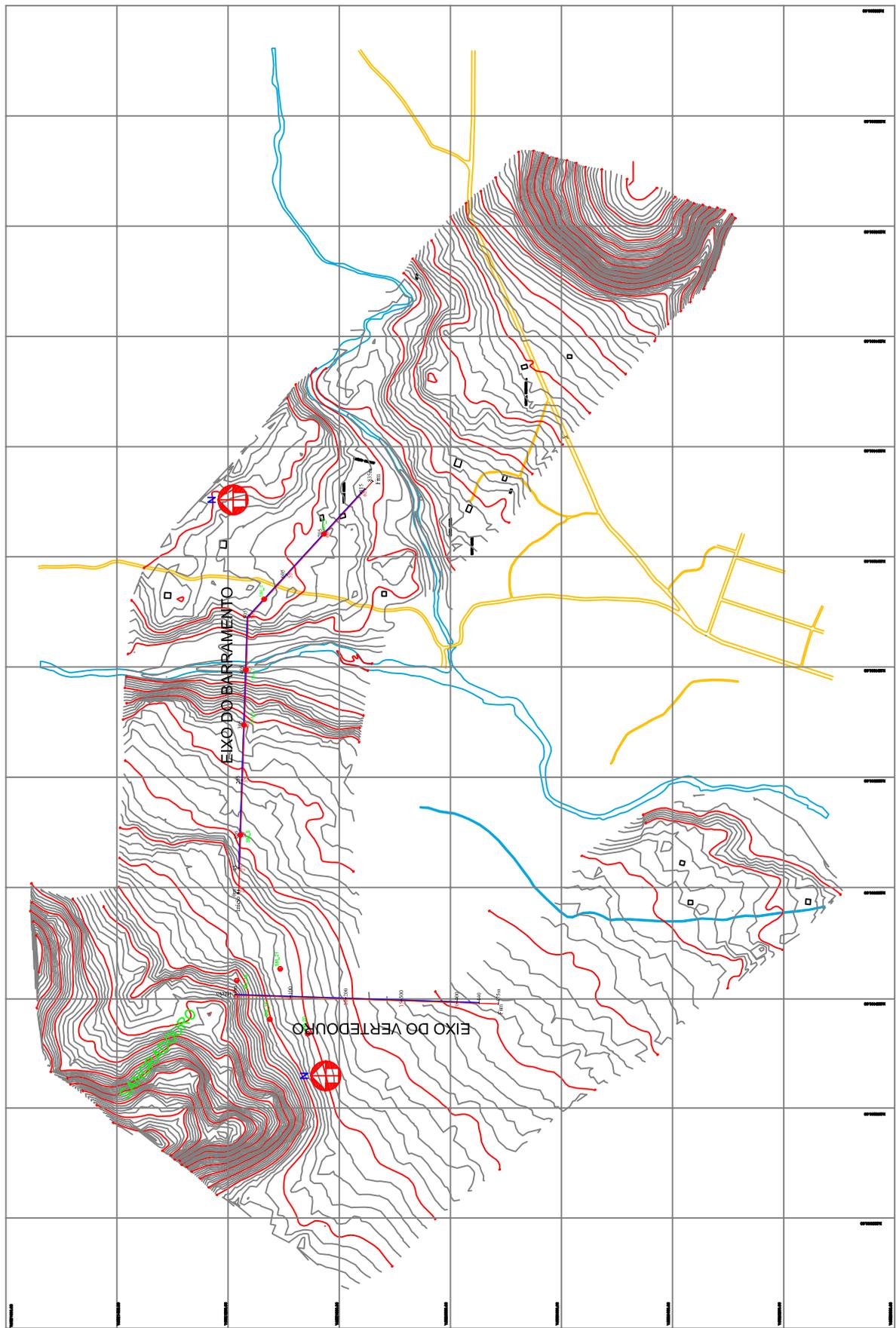
**Quadro 3.6 - Seções Geoelétricas e Sísmicas efetivamente executadas e suas respectivas extensões (m).**

Barragem	Eixo	Seção Geoelétrica Extensão (m)	Seção Sísmica Extensão (m)
Inhuçu	Barramento	835	770
Inhuçu	Vertedouro	475	440
<b>Total</b>		<b>1.310</b>	<b>1.210</b>

O montante total foi de **1.310 metros lineares de seções geoelétricas** e **1.210 metros lineares de seções sísmicas**.

Na **Figura 3.3** é apresentada a localização das seções que foram realizadas os ensaios de eletrorresistiva e sísmica.

# Locação dos ensaios de eletroresistiva e sísmica

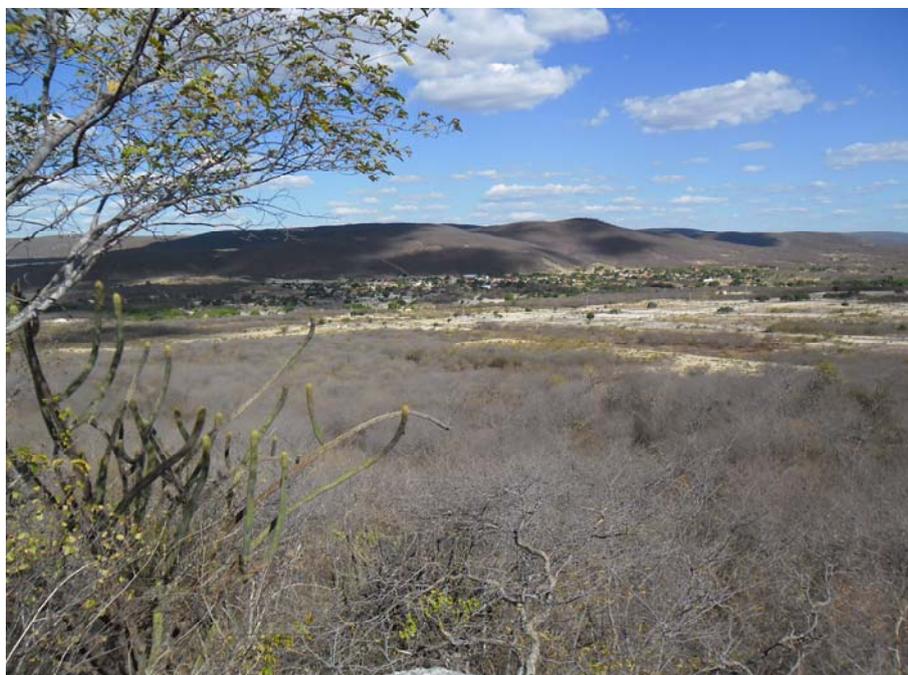


### 3.3.3.2 Documentação fotográfica

Alguns procedimentos de campo e as principais feições do local investigado foram fotografados e são apresentados a seguir.



**Figura 3.4 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e afloramentos.**



**Figura 3.5 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e a cidade de Croatá - CE ao fundo na imagem.**



**Figura 3.6 - Equipamento de aquisição de dados geoeletricos SYSCAL PRO de 48 canais conectado aos cabos multieletrodos e à bateria.**



**Figura 3.7 - Instalação do eletrodo de "Papel alumínio" visando melhorar o acoplamento galvânico com o solo.**



**Figura 3.8 - Detalhe do eletrodo de “Papel alumínio” conectado ao cabo multieletrodo.**



**Figura 3.9 - Detalhes de blocos de rochas aflorante.**



**Figura 3.10 - Membro da equipe estendendo o cabo sismográfico e acoplado os geofones.**



**Figura 3.11 - Detalhe do cabo sismográfico e de um dos geofones instalados ao longo do alinhamento.**



**Figura 3.12 - Equipamento sísmico (Geode - Geometrics Inc.) e técnico da Alta Resolução acompanhando a aquisição de dados.**

### 3.3.3.3 Resultados do levantamento

Todas as seções foram demarcadas em campo com uso de estacas topográficas a cada 20 m. Estas posições foram utilizadas para a construção das plantas de localização das seções, bem como na geração dos modelos sísmicos e geolétricos.

Os resultados obtidos pelos processos interpretativos geraram como produtos finais as Seções Sísmicas e Seções de Imageamento Geolétrico. Estes documentos são desenhos autoexplicativos e contêm:

- **Seções Sísmicas:** Superfície topográfica, as delimitações dos estratos sísmicos interpretados, as velocidades sísmicas obtidas, as tabelas com as espessuras e as legendas explicativas;
- **Seções Geolétricas:** Superfície topográfica, os intervalos de resistividades elétricas associados a uma escala cromática, as principais feições geolétricas delimitadas, interpretadas e apresentadas nas legendas dos desenhos.

Para sintetizar as informações apresentadas nas seções individuais de cada técnica geofísica, também foram compiladas as Seções Geofísicas que apresentam, numa única prancha de desenhos, as informações fornecidas pela Sísmica de Refração, Imageamento Geolétrico bem como as Sondagens Mistas.

#### Imageamento geolétrico (anexo 2 – desenhos 2i)

As Seções de Imageamento Geolétrico (SIG) são resultantes de um processo de inversão 2-D e buscam estabelecer um modelo da provável distribuição real dos valores e posições das resistividades elétricas em subsuperfície.

Foi empregado o método eletrorresistivo de modo a gerar uma imagem da subsuperfície em termos das propriedades elétricas dos materiais. O parâmetro medido é a resistividade elétrica do meio, sendo a unidade de medida da propriedade resistividade elétrica expressa por Ohm.m. É recorrente em levantamentos geofísicos por Imageamento Geolétrico encontrar valores da ordem de unidades de Ohm.m até dezenas de milhares de Ohm.m, de acordo com as variações litológicas existentes em subsuperfície.

O Imageamento Geolétrico possibilitou a investigação do interior dos maciços terrosos/rochosos e evidenciou significativos contrastes nas resistividades elétricas

permitindo o mapeamento em profundidades da ordem de até 40 m. De uma forma geral, nas duas Seções Geoelétricas investigadas, apresentaram um comportamento geoelétrico bastante semelhante e pelos valores apresentados os estratos geoelétricos foram classificados da seguinte maneira:

- 1 Estrato de alta resistividade elétrica, valores acima de 5.000 a >20.000 Ohm.m – tons avermelhados;
- 2º Estrato de intermediária resistividade elétrica, valores entre 500 e 5.000 Ohm.m;
- 3º Estrato de baixa resistividade, valores variando de unidades de Ohm.m até 500 Ohm.m;

A seguir serão tecidos algumas considerações sobre cada uma das SIG's.

### **SIG do Eixo do Barramento**

Esta SIG possui 835 m de extensão, porém conforme pode-se observar no Desenho 1 – Planta de Localização houve uma forte inflexão na estaca E50 (progressiva 505 m). Próximo da superfície foi mapeado um estrato geoelétrico de alta resistividade, superior a 5.000 Ohm.m. Este estrato perdurou por toda a extensão da SIG, sofrendo uma pequena interrupção apenas próximo de onde realizou a sondagem SM-07. A espessura dele variou entre 5 e 10 m.

Nota-se que o seu decaimento é bem acentuado, formando um delgado estrato de resistividade intermediária, com valores entre 500 e 5.000 Ohm.m (tons de amarelo e laranja) logo abaixo. Essa delgada camada de intermediária resistividade elétrica, praticamente forma uma transição entre o estrato geoelétrico de alta resistividade que dominou a porção superficial do terreno do estrato de baixa resistividade que prevaleceu por toda extensão da SIG na porção mais profunda.

Em todas as cinco sondagens (SM-05 a SM-09) realizadas ao longo do perfil o nível d'água inferido situa-se alguns metros abaixo dessa transição entre estrato de alta e baixa resistividade. De qualquer forma, como não foi constatada nenhuma mudança litológica brusca capaz de explicar esse contraste registrado na resistividade elétrica da Seção, muito provavelmente, a presença d'água, mesmo que num nível microscópico, deve ter contribuído sobremaneira para que houvesse esse contraste entre os estratos geoelétricos acima do nível d'água. Talvez seja devido ao fenômeno conhecido como franja capilar, o qual

resumidamente consiste de uma região bastante úmida situada acima do nível do freático. A altura acima do freático depende de uma série de fatores, podendo ser de alguns centímetros a unidades de metros.

As cinco sondagens realizadas ao longo do Eixo do Barramento evidenciaram o mesmo tipo litológico, que é uma rocha arenítica, sendo as suas propriedades físicas variando de sondagem para sondagem, e nas profundidades. Partindo da premissa que praticamente toda a SIG foi realizada sobre uma matriz arenosa, as variações geoeletricas registradas são devido a outro fator que não a composição litológica da matriz rochosa. Nesse contexto se observou em profundidade alguns trechos de alta resistividade elétrica inseridos ou envoltos por estrato de baixa resistividade. Uma dessas feições geoeletricas de alta resistividade foi interceptada pela sondagem SM-08 e cabe uma análise especial.

A feição geoeletrica de alta resistividade iniciou-se com valor da ordem de 500 Ohm.m na altitude de 555 m e foi aumentando de valor até atingir o intervalo de 5.000 a 20.000 Ohm.m na cota de 545 m. Exatamente nesse intervalo de altitude, a sondagem SM-08 detectou um arenito com intercalações de argilito, descrito como maciço e não fraturado (F1). Pressupõe-se, portanto, que as feições geoeletricas de alta resistividade pode ser indicativo da presença do arenito com intercalações de argilito, possivelmente maciço e pouco fraturado. Material este mais denso, mais coerente, menos poroso/permeável, consequentemente aumentando do valor da resistividade elétrica.

Por outro lado, a assinatura típica de uma seção geoeletrica, quando realizada sobre uma cavidade é uma anomalia de alta resistividade elétrica. Sendo assim, recomenda-se que seja realizada ao menos mais uma sondagem nessas duas feições de alta resistividade que foram mapeadas entre as estacas E56 e E59, e E62 e E65.

No caso da SM-06 ela interceptou uma das feições geoeletricas de menor valor de resistividade, valores entre 10 e 50 Ohm.m e localizada entre as cotas de na cota de 565 e 555 m. Exatamente nessa cota o material foi descrito como arenito com intercalações de siltito, pouco coerente a muito coerente, maciço, com trechos fraturados e outros não fraturados.

Por fim, vale comentar que não foi observada nenhuma descontinuidade geoeletrica subverticalizada, típica de estruturas de falhas ao longo do perfil.

Mais adiante, quando comentarmos da integração da Seção Sísmica com a Seção Geoelétrica (**Figura 4I**) algumas considerações complementares serão realizadas sobre esses dois estratos geoelétricos que predominaram nesse levantamento.

### **SIG do Eixo do Vertedouro**

A SIG do Eixo do Vertedouro possui 475 m de extensão, indo da estaca E0 (Progressiva 0 m) até E20+75m (Progressiva 475 m).

De modo geral, os resultados são bastante similares aos observados na SIG do Eixo do Barramento.

Assim como havia ocorrida na SIG do Eixo do Barramento, novamente foi registrado um estrato de alta resistividade superficial, valores entre 5.000 e > 20.000 Ohm.m. Esse estrato possui espessura da ordem de 5 a 10 m por toda extensão do Eixo do vertedouro.

Nota-se novamente que o seu decaimento é bem acentuado, formando um delgado estrato de resistividade intermediária, com valores entre 1.000 e 5.000 Ohm.m (tons de laranja) logo abaixo. Ressalta-se que, como o intervalo de valores entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo) nessa SIG foi intensificado, passe-se a impressão que a transição é um pouco mais espessa do que a registrada na SIG do Eixo do Barramento.

Conforme pode-se observar na Seção, abaixo da camada contínua de alta e intermediária resistividade, adentrou num espesso estrato de baixa resistividade elétrica, com predomínio para o intervalo entre 200 e 500 Ohm.m (tons de verde), ou seja, valores superiores aquele que predominou na SIG do Eixo do Barramento, cujo intervalo foi entre 50 e 200 Ohm.m.

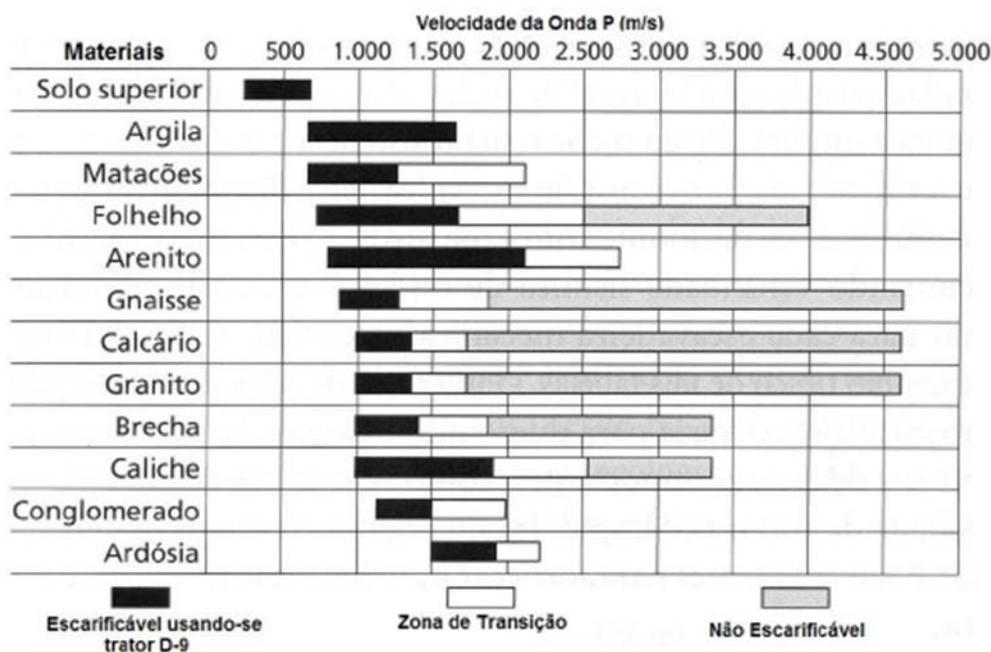
Nota-se ainda que existem quatro feições de alta resistividade inseridos no estrato de baixa resistividade. Provavelmente elas estejam correlacionadas aos locais onde o arenito encontra-se mais coerente, menos fraturado, conseqüentemente menos poroso/permeável. Não foi registrada nenhuma descontinuidade geoelétrica subverticalizada, portanto não é de se esperar estruturas de falhas e/ou contatos geológicos bruscos, de maneira que, recomenda-se que seja investigada ao menos uma dessas feições geoelétricas de alta resistividade através de sondagens na tentativa de esclarecer o real motivo que motivou essa aumento de valor.

### Sísmica de Refração (Anexo 3 – Desenhos 3I)

O parâmetro medido por este método é a velocidade de propagação da onda P, a qual é uma função das constantes elásticas e da densidade do material, ou seja, este parâmetro está intimamente ligado à propriedade mecânica do meio, e é de se esperar que quanto maior a velocidade de um estrato, maior também seja a sua resistência mecânica (dureza, densidade, etc.).

Para o uso em projetos de geotecnia, um parâmetro importante da rocha é sua resistência à escavação. Se a rocha pode ser removida por escavação mecânica, ela é chamada de escarificável, e não é necessário seu desmonte com explosivos. Na literatura específica é possível encontrar tabelas empíricas relacionando velocidades sísmicas de ondas P à escarificabilidade das rochas para distintas escavadeiras mecanizadas, (usualmente tratores D8 e D9). A **Figura 3.13** mostra um exemplo típico de tais tabelas. O intervalo de velocidades considerado escarificável varia para diferentes litologias, baseado em médias empíricas de fatores importantes como seus graus de cimentação e a densidade de fraturas.

Os estratos sísmicos deste levantamento podem ser agrupados em três classes, procurando caracterizá-los de acordo com a velocidade e o grau de escarificabilidade, conforme a correlação existente entre velocidades sísmicas e escarificabilidade (**Quadro 3.7**) estabelecidas por Redaelli & Cerrelo, 1998.



**Figura 3.13 - Variação da escarificabilidade com a velocidade das ondas P para um intervalo de litologias.**

**Quadro 3.7 - Correlação entre velocidades sísmicas e escarificabilidade**

Velocidade de Ondas sísmicas (m/s)	Característica do material	Categoria do material
300 a 800	Escavável (equipamento normal)	1 <sup>a</sup>
800 a 2200	Escarificável (trator D-9)	1 <sup>a</sup>
2200 a 2600	Transição	2 <sup>a</sup>
>2600	Escavação por explosivo	3 <sup>a</sup>

Redaelli & Cerello, 1998

O termo escarificabilidade deve ser entendido como “a capacidade da rocha ser desagregada pelos chamados escarificadores (rippers), equipamentos de acionamento hidráulico, compostos de um ou mais dentes montados na traseira de tratores e patrols. É característica de rochas relativamente brandas, mas que não seriam escaváveis pelos métodos comuns e depende principalmente da região de transição, da presença e orientação de juntas, acamamento ou xistosidade da rocha, que impõem direções preferenciais de escavação, bem como determinam a possibilidade ou não de sua execução de forma econômica” (Redaelli & Cerello, 1998).

No **Quadro 3.8** é apresentada uma classificação da velocidade de propagação da onda sísmica em relação a alguns materiais freqüentemente encontrados durante os levantamentos sísmicos.

**Quadro 3.8 - Exemplos de valores de velocidades de propagação de ondas sísmicas longitudinais (ondas P)**

VELOCIDADE (m/s)	PROVÁVEL TIPO DE MATERIAL
200 – 400	Solos, depósitos superficiais de sedimentos não-consolidados, colúvio
400 - 1.400	Argilas e areias, não-consolidadas a pouco consolidadas
1.400 – 1.800	Areias saturadas, argilas compactadas, rocha bastante alteradas
1.800 – 2.400	Sedimentos consolidados e provavelmente saturados, rochas metamórficas ou ígneas, altamente fraturadas e/ou alteradas, arenito e folhelhos
2.400 – 3.700	Folhelhos, arenitos, rochas ígneas e metamórficas alteradas e/ou fraturadas
3.700 – 4.500	Rochas ígneas e metamórficas fracamente alteradas e/ou fraturadas
4.500 – 6.000	Rochas ígneas e metamórficas sãs, não fraturadas

Deve-se lembrar que a análise da escarificabilidade do material deve levar em consideração não só as velocidades de propagação de ondas elásticas, mas também uma detalhada verificação de campo, de forma a criar uma classificação específica para o local de interesse.

### Considerações sobre a Sísmica de Refração (DESENHO 3I)

A fim de facilitar o entendimento dos documentos apresentados e para padronização dos resultados foram compiladas sínteses das informações para os estratos sísmicos. Estas sínteses são apresentadas na **Figura 3.14**, onde correspondem às amplitudes de variação das velocidades sísmicas das seções de Inhuçu (Barramento e Vertedouro). As velocidades, para cada seção sísmica apresentada, obedeceram às reais variações observadas em cada trecho dos terrenos estudados, porém mantendo-se dentro das faixas apresentadas na síntese.



**Figura 3.14 – Correlação entre velocidades de onda**

Após a análise de todas as seções, verificou-se que um modelo composto por três camadas sísmicas (V1, V2 e V3) ajustou melhor os dados observados para o Eixo do Barramento e um modelo composto por duas **camadas sísmicas** (V1, V2) para o Eixo do Vertedouro. Pequenas exceções ocorreram em alguns trechos conforme pode-se observar nas Seções Sísmicas.

Em síntese, as camadas sísmicas possuem os seguintes intervalos de velocidade: **Camada superficial V1** (intervalo de velocidade entre 0,6 e 1,2 km/s), típico de solos superficiais pouco compactados a compactados. Primeira Categoria – Escavável;

**Camada intermediária V2** (intervalo de velocidade entre 1,4 a 2,2 km/s). Primeira Categoria – Escarificável;

**Camada de Alta Velocidade V3** (velocidade entre 2,5 a 5,0 km/s). Terceira categoria (desmonte somente por explosivos).

Na parte inferior das Seções Sísmicas estão as tabelas com as delimitações dos estratos sísmicos, onde constam a superfície topográfica, profundidade e cota da transição entre os materiais com velocidade V1 e V2, e a profundidade e a cota da transição entre os materiais com velocidade V2 e V3.

Desta forma o levantamento por sísmica de refração atendeu um dos objetivos principais do levantamento geofísica que é estimar a profundidade da rocha incoerente/pouco coerente ou extremamente fraturada que seja possível remover com uso de trator D8 ou D9, dotado de ripper entre as estacas E42 e E65 do Eixo do Barramento.

Pelos resultados da sísmica, pode-se dizer que é de se esperar que até profundidade da transição da camada com intervalo de velocidade V1 para V2 seja composta por material rochoso incoerente/pouco coerente, sendo possível ser removível por escavação e esscarificação, ou seja, material de primeira categoria.

A camada com intervalo de velocidade V2, cujo intervalo de valores vai até 2,2 km/s, muito provavelmente seja decorrente de um material pouco coerente ou extremamente fraturado e espera-se que seja possível removê-lo com esscarificadores D8 ou D9 dotados de ripper.

**Quadro 3.9 - Valores Padrão adotado para Caltrans (Departamento de Transporte da Califórnia. Leeds 2001.)**

VELOCIDADE (m/s)	ESCARIFICABILIDADE
< 1050	Facilmente Escarificável
1050 a 1500	“Moderadamente” Escarificável
1500 a 2000	Difícil de Escarificar / Fogo Leve
>2000	Desmonte por Explosivo

Em relação ao Eixo do Vertedouro o levantamento sísmico procurou responder as duas seguintes questões:

- a) a profundidade da rocha removível com escarificador usando ripper;
- b) horizonte de rocha competente para fundar a laje de um rápido sangradouro;
- c) identificar a profundidade da rocha sã mais coerente para poder receber uma bacia de dissipação de concreto entre as estacas E8 e E11

No primeiro caso, como praticamente todo o Eixo do Vertedouro foi ajustado por um modelo de duas camadas, a primeira camada com velocidade V1 entre 0,6 e 1,4 km/s, muito provavelmente, esteja correlacionada ao material pouco coerente, chegando nos trechos com velocidade entre 0,6 e 1,0 km/s possivelmente removíveis por escavação. Já nos trechos superficiais com velocidade entre 1,0 e 1,4 km/s necessitando de escarificador. A partir da transição de V1 para V2 é de se esperar um material com maior resistência mecânica, porém ainda removível por escarificador.

Quanto à segunda questão, da escolha do horizonte de rocha competente para fundar a laje de um rápido sangradouro, os dados sísmicos indicam que o melhor local situa-se na porção final do perfil investigado, entre as estacas E17 e E22, onde as duas bases sísmicas foram ajustadas por três camadas sísmicas, sendo uma fina camada com intervalo de velocidade V1 e logo abaixo adentrou uma camada de velocidade V2 relativamente alta, com valores entre 2,0 e 2,5 km/s e um alguns metros abaixo ainda foi possível detectar uma camada de alta velocidade V3 com velocidades entre 3 e 4,5 km/s.

A terceira questão, sobre identificar a profundidade da rocha sã mais coerente para poder receber uma bacia de dissipação de concreto entre as estacas E8 e E11, precisaria pelo menos remover a camada de velocidade V1, que nesse trecho se encontra entre 5 e 6 m de profundidade.

Vale lembrar que a representação do meio em estratos sísmicos é uma representação simplificada da natureza, onde os contatos sísmicos inferidos são pontuais e interpolados, no caso a cada 05 m (predominantemente), de modo a gerar as Seções Sísmicas. Portanto, é de se esperar em tais circunstâncias uma tolerância nas profundidades estimadas, principalmente abaixo dos geofones situados nas extremidades das linhas onde ocorre uma menor densidade de informações sísmicas.

#### Integração das Informações (Anexo 4 - Desenhos 4I)

Ao longo do Eixo do Barramento foram realizadas cinco sondagens (SM05 a SM09). Todas as sondagens registraram o mesmo comportamento litológico, caracterizado por uma rocha arenítica, diferenciadas em profundidade pelo diferente grau de coerência e nível de fraturamento. Sendo assim, as diferenças nas propriedades físicas medidas já foram discutidas, sendo no método elétrico está correlacionada principalmente ao fator água e os subfatores como porosidade/permeabilidade, grau de coerência e grau de faturamento e possivelmente das intercalações que houve entre o arenito e o siltito e do arenito com o argilito. Já no método da sísmica de refração o contraste entre as camadas sísmicas estão intimamente relacionadas ao grau de coerência e resistência mecânica dos materiais.

A primeira vista, fica nítido que os métodos estão medindo propriedades distintas e as transições geolétricas não são coincidentes com as transições das camadas sísmicas. Ainda assim é possível fazer algumas considerações.

O estrato de alta resistividade superficial encontra-se praticamente todo acima das camadas de velocidade V1 e V2 no caso da Seção do Eixo do Barramento e salvo pequenos trechos totalmente acima da camada de velocidade V1 na Seção do Eixo do Vertedouro.

Nota-se que houve um aprofundamento da camada de baixa velocidade próximo da margem do rio, principalmente do lado da margem esquerda, localizada entre as estacas E40+10 e E44. Esse fato, pode ser decorrente da existência de um antigo paleo canal.

#### **3.3.4 Estudo dos Materiais Construtivos**

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis.

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 3 jazidas de solos, dois areais e duas pedreiras.

A jusante da barragem Inhuçu, mais precisamente nas margens da rodovia que liga Croatá a Santa Helena, foram identificadas três ocorrências de materiais areno argiloso, com pouco ou sem fragmentos rochosos.

Na ocorrência J-06, distante 16,7 km para o eixo da barragem, foram realizados 126 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,50 m, demarcando uma área de 33,26 ha e um volume utilizável estimado em 315.945 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-07, distante cerca de 17,4 km para a barragem, foram realizados 168 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,40 m, demarcando uma área de 41,26 ha e um volume estimado de 363.058 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-09, distante cerca de 30,20 km para o eixo da barragem, foram realizados 234 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,70 m, demarcando uma área de 98,6 ha e um volume estimado de 1.172.745 m<sup>3</sup>.

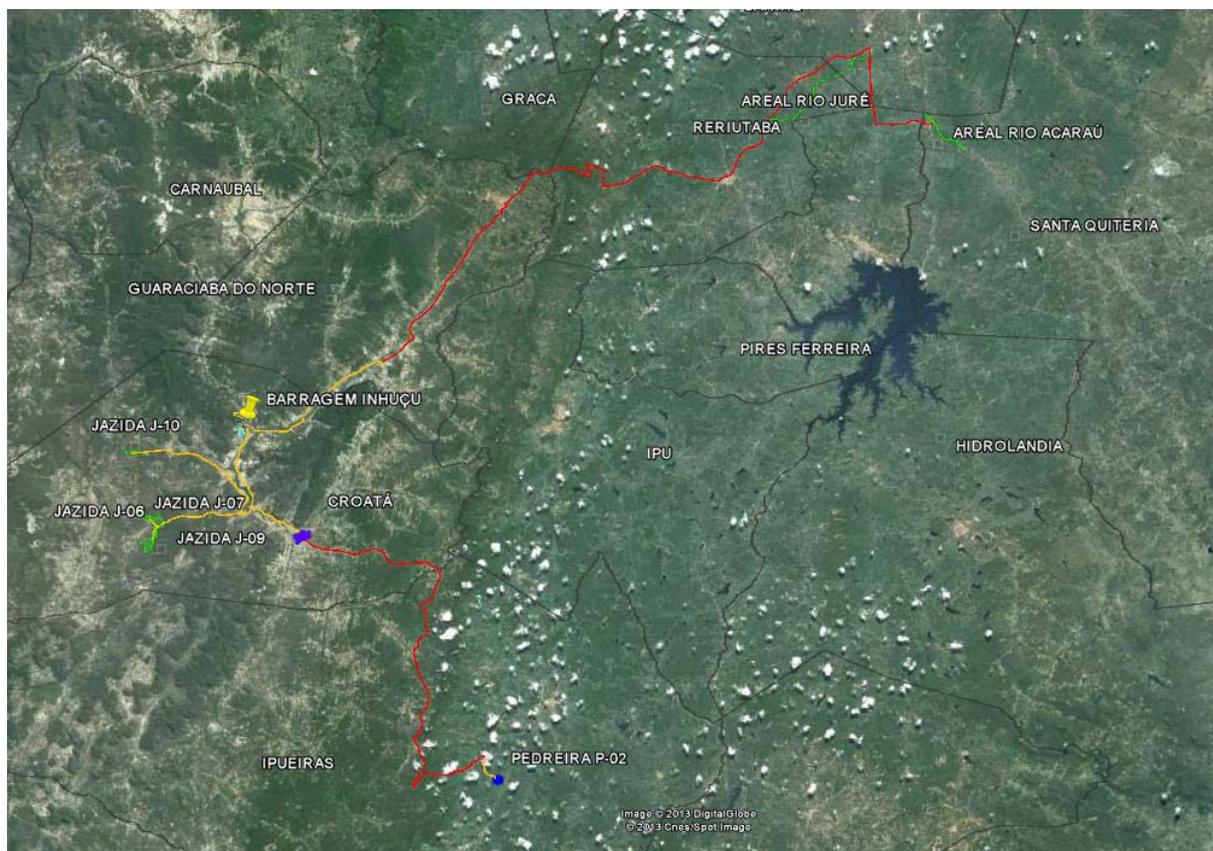
Na jazida J-10, distante 34,4 km para o eixo da barragem, foram realizadas 56 sondagens investigativas, com profundidade média de 1,70 m, demarcando uma área de 41,4 ha e um volume estimado de 493.017 m<sup>3</sup>.

Para fonte de material pétreo destinado aos enrocamentos, estudou um afloramento de rocha arenítica com presença de horizontes mais silidificados, cerca de 1,1 km a montante do local da ombreira direita do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira 01.

Para a fonte de material para produção de brita, estudou um afloramento de rocha do tipo Gnaisse no município de Ipueiras, cerca de 58 km do eixo do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira 02.

Os bancos de areia que ocorrem no rio Macambira, a jusante do eixo Inhuçu, apresentam-se com uma granulometria fina a média, no entanto a avaliação do potencial volumétrico não estimulou seu uso, nem como fonte auxiliar de suprimento. Por este motivo foi-se estudar os bancos do riacho Juré, nas proximidades da cidade de Manaiara, e do rio Acaraú a jusante da zona urbana de Macaraú. Ambos os areais apresentam volumes suficientes para suprir as necessidades da barragem Inhuçu, no entanto distam cerca de 80 km do local das obras. No riacho Juré foram realizados 24 poços com trado e retiradas amostras para ensaios, enquanto no rio Acaraú estas investigações consistiram em 09 furos.

A localização das jazidas em estudo, para aplicação no maciço da barragem Inhuçu, encontra-se apresentada na imagem seguinte.



**Figura 3.15 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Inhuçu**

A seguir, é apresentado um quadro contendo os volumes utilizáveis e expurgáveis, bem como o volume total de material disponível nas jazidas.

**Quadro 3.10 - Volume de Materiais das Jazidas**

	ÁREA ESTUDADA (ha)	ESPESSURA MÉDIA DO EXPURGO (m)	ESPESSURA MÉDIA (m)	VOLUME DE EXPURGO (m³)	VOLUME TOTAL DA JAZIDA (m³)	VOLUME DE MATERIAL UTILIZÁVEL (m³)	DISTÂNCIA DO EIXO DA BARRAGEM (km)
JAZIDA J-06	33,26	0,10	1,50	33.260	498.900	349.230	16,7
JAZIDA J-07	41,26	0,10	1,40	41.260	577.640	404.348	17,4
JAZIDA J-09	98,55	0,10	1,70	98.550	1.675.350	1.340.280	18,7
JAZIDA J-10	41,43	0,10	1,70	41.430	704.310	563.448	24,3

Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64)
- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64)
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71)
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63)
- Compactação – Proctor Normal (DNER-ME 48-64)
- Peso Específico dos Grãos. (DNER-ME 93-64)

Nos quadros a seguir são mostrados os resultados dos ensaios de laboratório.

RESUMO DOS ENSAIOS																				
TRECHO: JAZIDA 6																				
FURO		02	06	09	20	24	29	33	50	56	62	66	70	74	79	83	86	90		
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		
(m)	ATÉ	0,90	0,70	2,20	2,10	1,80	2,40	0,90	1,60	2,10	1,90	0,70	0,60	1,60	0,60	0,40	1,50	1,10		
GRANULOMETRIA																				
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		1"	100%	100%	95%	95%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		3/8"	96%	99%	82%	91%	82%	96%	91%	100%	100%	100%	98%	100%	98%	100%	98%	100%	100%	100%
		Nº 4	94%	97%	71%	86%	82%	91%	89%	99%	99%	100%	98%	98%	97%	100%	97%	98%	98%	98%
		Nº 10	92%	95%	61%	82%	81%	88%	67%	98%	98%	99%	97%	97%	96%	99%	96%	97%	97%	97%
		Nº 40	67%	77%	42%	74%	75%	74%	60%	94%	91%	92%	90%	90%	90%	92%	70%	82%	91%	91%
		Nº 200	30%	48%	26%	48%	28%	35%	42%	38%	50%	27%	27%	23%	45%	32%	29%	50%	38%	38%
LIMITES DE ATTERBERG																				
LL		36%	40%	34%	38%	34%	36%	38%	36%	38%	34%	34%	34%	36%	36%	34%	39%	36%		
LP		26%	26%	25%	25%	24%	24%	25%	24%	24%	24%	24%	25%	23%	24%	24%	25%	24%		
IP		10%	14%	9%	13%	10%	12%	13%	12%	14%	10%	10%	9%	13%	12%	10%	14%	12%		
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																				
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC/SM	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC/CL	SC/SM	SC/SM	SC/SM	SC	SC	SC	SC/CL	SC	SC		
COMPACTAÇÃO																				
Hótima (%)		8,8	15,6	10,8	16,2	13,2	14,2	15,3	14,0	15,4	13,1	13,8	14,5	14,4	13,5	9,8	15,8	14,4		
Dmáx (g/cm3)		1.700	1.720	1.950	1.790	1.630	1.730	1.790	1.790	1.730	1.820	1.700	1.670	1.910	1.750	1.750	1.600	1.850		

RESUMO DOS ENSAIOS											
TRECHO: JAZIDA 6							Tratamento Estatístico dos resultados				
FURO		94	98	107	118	122					
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	X	$\sigma$	X <sub>min</sub>	X <sub>máx</sub>	
(m)	ATÉ	0,50	1,90	1,40	2,00	1,20					
GRANULOMETRIA											
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	99,27%	1,88%	97%	100%
		3/8"	96%	81%	100%	100%	97%	95,68%	6,29%	90%	100%
		Nº 4	95%	70%	99%	100%	96%	93,36%	8,78%	85%	100%
		Nº 10	94%	61%	98%	98%	94%	90,23%	12,16%	79%	100%
		Nº 40	89%	50%	71%	93%	89%	79,23%	14,72%	65%	93%
		Nº 200	34%	29%	31%	16%	25%	34,14%	9,57%	25%	43%
LIMITES DE ATTERBERG											
LL		36%	34%	36%	NL	34%	35,86%	1,85%	34%	38%	
LP		25%	24%	25%	-	25%	24,52%	0,75%	-	-	
IP		11%	10%	11%	NP	9%	11,33%	1,71%	10%	13%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.											
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SM	SM/SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO											
Hótima (%)		14,4	13,4	12,4	10,0	15,0	13,55	2,04	-	-	
D <sub>máx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )		1.600	1.910	1.640	1.710	1.670	1745,91	98,35	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																					
TRECHO: JAZIDA 7																					
FURO		04	10	12	18	24	33	39	46	49	52	58	61	66	76	79	85	92	99	105	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
(m)	ATÉ	4,30	2,10	0,80	0,60	2,20	1,70	1,80	1,90	1,80	0,80	1,10	2,00	1,30	2,00	0,70	1,40	1,30	0,70	0,60	
GRANULOMETRIA																					
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"																			
		1"	96%	88%	100%	100%	93%	92%	100%	100%	97%	100%	100%	100%	87%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		3/8"	95%	67%	99%	100%	89%	92%	100%	100%	94%	95%	83%	100%	76%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
		Nº 4	94%	63%	98%	100%	87%	78%	99%	100%	93%	94%	58%	100%	67%	94%	98%	100%	99%	99%	100%
		Nº 10	92%	61%	98%	99%	86%	76%	98%	99%	91%	93%	50%	99%	61%	91%	95%	100%	96%	98%	99%
		Nº 40	84%	54%	93%	94%	77%	66%	92%	91%	86%	52%	47%	93%	54%	79%	87%	94%	91%	91%	95%
		Nº 200	49%	26%	48%	48%	47%	45%	50%	51%	50%	37%	23%	46%	35%	44%	34%	34%	50%	52%	43%
LIMITES DE ATTERBERG																					
LL		39%	36%	36%	37%	38%	36%	37%	39%	37%	36%	NL	36%	36%	36%	36%	37%	36%	40%	36%	
LP		25%	25%	23%	24%	25%	24%	24%	25%	24%	24%	-	23%	24%	23%	25%	25%	23%	26%	24%	
IP		14%	11%	13%	13%	13%	12%	13%	14%	13%	12%	NP	13%	12%	13%	11%	12%	13%	14%	12%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																					
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC/CL	CL	CL	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	CL	CL	SC	
COMPACTAÇÃO																					
Hótima (%)		15,5	16,0	14,4	15,7	15,6	13,3	15,8	16,0	15,4	14,1	11,3	14,0	13,1	15,1	13,6	15,7	16,4	16,3	15,2	
D <sub>máx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )		1.700	1.620	1.770	1.760	1.890	1.790	1.640	1.720	1.710	1.710	1.710	1.860	1.910	1.800	1.870	1.770	1.680	1.680	1.880	

RESUMO DOS ENSAIOS												
TRECHO: JAZIDA 7												
FURO		105	112	117	137	143	162	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	0,60	2,10	2,10	2,00	1,10	1,10	X	$\sigma$	X <sub>mín</sub>	X <sub>máx</sub>	
<b>GRANULOMETRIA</b>												
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"						-	-	-	-	
		1"	100%	100%	100%	100%	94%	100%	97,8%	4,0%	94,0%	100,0%
		3/8"	100%	100%	99%	100%	86%	97%	94,6%	8,7%	86,4%	100,0%
		Nº 4	100%	99%	96%	100%	84%	96%	91,5%	12,5%	79,7%	100,0%
		Nº 10	99%	98%	95%	99%	82%	94%	89,6%	13,9%	76,5%	100,0%
		Nº 40	95%	86%	88%	91%	73%	88%	81,1%	15,2%	66,8%	95,4%
		Nº 200	43%	49%	52%	48%	44%	50%	44,0%	8,2%	36,3%	51,6%
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>												
LL		36%	39%	37%	36%	36%	39%	37,0%	1,3%	35,8%	38,2%	
LP		24%	26%	23%	23%	24%	26%	24,3%	1,0%			
IP		12%	13%	14%	13%	12%	13%	12,7%	0,9%	11,9%	13,6%	
<b>CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.</b>												
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	CL	SC	SC	CL	-	-	-	-	
<b>COMPACTAÇÃO</b>												
Hótima (%)		15,2	16,0	16,3	15,8	15,4	15,2	15,05	1,25	-	-	
D <sub>máx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )		1.880	1.830	1.640	1.720	1.670	1.810	1755,83	85,77	-	-	

<b>RESUMO DOS ENSAIOS</b>														
<b>TRECHO: JAZIDA Nº 09</b>														
FURO		03	14	25	39	50	61	63	84	89	108	115	120	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,80	0,60	
(m)	ATÉ	1,70	1,75	2,10	2,10	1,90	2,20	1,10		1,60	3,00	2,20	2,15	
<b>GRANULOMETRIA</b>														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		3/8"	100%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	97%	100%
		Nº 4	100%	98%	78%	100%	100%	100%	98%	99%	100%	88%	96%	100%
		Nº 10	95%	93%	69%	100%	100%	100%	96%	98%	100%	74%	95%	100%
		Nº 40	86%	80%	59%	89%	89%	89%	83%	88%	89%	65%	83%	90%
		Nº 200	32%	29%	37%	31%	33%	38%	35%	35%	39%	37%	40%	32%
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>														
LL		33%	35%	37%	34%	35%	33%	35%		32%	35%	33%	32%	
LP		23%	25%	26%	23%	23%	21%	23%	0%	19%	22%	20%	21%	
IP		10%	10%	11%	11%	12%	12%	12%		13%	13%	13%	11%	
IG														
<b>COMPACTAÇÃO</b>														
Hótima (%)		10,6	10,6	11,7	11,9	12,5	11,2	11,6	13,2	12,6	12,5	13,3	11,7	
Dmáx (g/cm <sup>3</sup> )		1.770	1.820	1.780	1.810	1.820	1.800	1.730	1.902	1.840	1.720	1.800	1.770	

RESUMO DOS ENSAIOS															
TRECHO: JAZIDA Nº 09															
FURO		140	161	167	175	193	202	212	222	Tratamento Estatístico dos resultados					
PROFUNDIDADE		DE	1,45	1,00	0,10	0,10	1,90	0,10	0,10					0,00	
(m)		ATÉ	2,10	2,50	1,50	1,85	2,20	1,85	3,00						
GRANULOMETRIA											X	σ	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,7%	1,3%	98,5%	100,0%
		3/8"	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97,9%	5,1%	93,3%	100,0%
		Nº 4	73%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	96,0%	7,8%	89,0%	100,0%
		Nº 10	63%	87%	94%	96%	98%	98%	98%	98%	96%	92,5%	10,9%	82,7%	100,0%
		Nº 40	56%	77%	81%	84%	86%	89%	81%	86%	86%	81,5%	10,0%	72,5%	90,5%
		Nº 200	41%	36%	28%	35%	36%	33%	39%	27%	34,7%	4,0%	31,1%	38,2%	
LIMITES DE ATTERBERG															
LL			32%	38%	34%	35%	34%	36%	32%		34,2%	1,8%	32,6%	35,7%	
LP			19%	26%	24%	24%	23%	24%	19%						
IP			13%	12%	10%	11%	11%	12%	13%		11,7%	1,1%	10,7%	12,6%	
IG											-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO															
Hótima (%)			13,6	12,3	10,6	11,3	12,0	11,4	12,6	14,2	12,07	1,01	-	-	
Dmáx (g/cm <sup>3</sup> )			1.800	1.720	1.850	1.810	1.700	1.830	1.830	1.783	1794,25	49,65	-	-	

<b>RESUMO DOS ENSAIOS</b>																	
<b>TRECHO: JAZIDA 10</b>																	
<b>FURO</b>		<b>01</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>38</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>53</b>	Tratamento Estatístico dos resultados					
<b>PROFUNDIDADE</b>	<b>DE</b>	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10						
	<b>(m)</b>	<b>ATÉ</b>		1,90	1,30	1,70	1,60		1,80	1,70	1,55					2,20	
<b>GRANULOMETRIA</b>												<b>X</b>	<b>σ</b>	<b>Xmín</b>	<b>Xmáx</b>		
<b>GRANULOMETRIA</b>	<b>% PASSANDO</b>	<b>2"</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		<b>1"</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%
		<b>3/8"</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	99,9%	0,3%	99,6%	100,0%
		<b>Nº 4</b>	100%	100%	97%	100%	100%	100%	95%	100%	100%	100%	100%	99,2%	1,8%	97,6%	100,0%
		<b>Nº 10</b>	99%	96%	95%	100%	100%	99%	90%	97%	97%	97%	97%	97,0%	3,0%	94,3%	99,7%
		<b>Nº 40</b>	77%	86%	85%	86%	81%	89%	79%	87%	85%	85%	85%	84,0%	3,8%	80,6%	87,4%
		<b>Nº 200</b>	32%	39%	37%	43%	46%	34%	36%	31%	42%	38%	38%	37,8%	4,8%	33,4%	42,2%
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>																	
<b>LL</b>			37%	33%	33%	33%		36%	32%	32%	29%	33,1%	2,5%	30,9%	35,3%		
<b>LP</b>		0%	25%	21%	20%	20%	0%	25%	21%	19%	16%	16,7%					
<b>IP</b>			12%	12%	13%	13%		11%	11%	13%	13%	12,3%	0,9%	11,5%	13,0%		
<b>CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.</b>																	
<b>CLASSIFICAÇÃO UCS</b>												-	-	-	-		
<b>COMPACTAÇÃO</b>																	
<b>Hótima (%)</b>		12,1	11,8	11,3	12,7	13,1	15,5	12,4	11,8	11,6	12,3	12,46	1,19	-	-		
<b>Dmáx (g/cm<sup>3</sup>)</b>		1.795	1.710	1.720	1.730	1.820	1.769	1.830	1.700	1.800	1.790	1766,40	47,72	-	-		

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Cisalhamento direto
- Triaxial

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais. A seguir serão apresentados o resumo dos resultados dos ensaios realizados.

**Quadro 3.11 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 06**

FURO	PERMEABILIDADE
2	4,2E-07
4	5,1E-07
6	3,9E-07
62	5,5E-07
79	6,2E-06
107	5,9E-06
MÉDIA	2,3E-06

**Quadro 3.12 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 07**

FURO	PERMEABILIDADE
24	6,8E-07
79	7,8E-07
93	7,2E-07
137	6,4E-07
162	3,8E-07
MÉDIA	6,4E-07

**Quadro 3.13 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09**

FURO	PERMEABILIDADE
3	7.8E-07
50	6.9E-07
89	5.7E-07
212	5.3E-07
MÉDIA	6.4E-07

**Quadro 3.14 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 10**

FURO	PERMEABILIDADE
11	7.4E-07
31	5.6E-07
53	8.2E-07
MÉDIA	7.1E-07

**Quadro 3.15 –Cisalhamento direto – Jazida 06**

FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO ( $\Phi$ )
6	12	29,9
62	10	29,1
79	7	29,5
107	1	30,1
MÉDIA	7,5	29,65

**Quadro 3.16 –Cisalhamento direto – Jazida 07**

FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO ( $\Phi$ )
24	10	30,2
79	8	30,3
114	10	30,2
162	11	29,9
MÉDIA	9,75	30,15

### 3.4 AREAL

O areal mais próximo identificado situa-se nos bancos do riacho Juré, nas proximidades da cidade de Manaiara, e do rio Acarau a jusante da zona urbana de Macaraú, numa distancia média de 80 km do eixo da barragem Inhuçu.

Foram coletadas amostras na área do rio selecionada como areal A-1 para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

- Granulometria pro Peneiramento (DNER-ME 51-64)

Nos quadros a seguir são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

**Quadro 3.17 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Acaraú**

GRANULOMETRIA							
FURO	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
01	100%	100%	97%	93%	75%	19%	1%
02	100%	100%	95%	94%	74%	26%	3%
03	100%	100%	100%	94%	74%	21%	2%
04	100%	100%	98%	92%	69%	11%	2%
05	100%	100%	99%	95%	76%	23%	3%
06	100%	100%	99%	96%	77%	23%	2%
07	100%	100%	99%	93%	74%	19%	2%
08	100%	100%	97%	92%	72%	21%	1%
09	100%	100%	100%	96%	77%	23%	1%
MÉDIA	100%	100%	98%	93%	74%	20%	1%

**Quadro 3.18 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Juré**

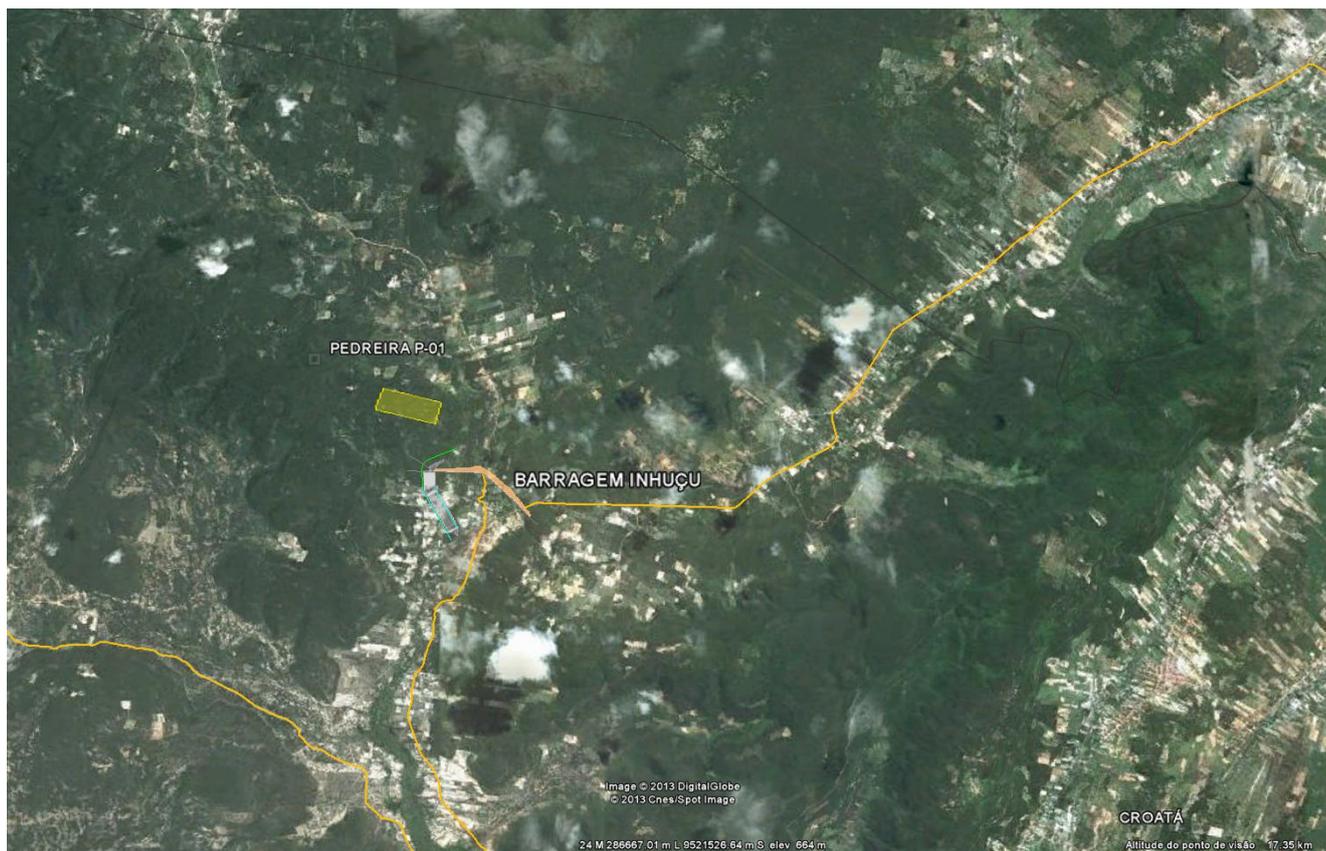
GRANULOMETRIA							
FURO	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
01	100%	100%	96%	77%	25%	5%	2%
02	100%	98%	92%	72%	21%	3%	1%
03	100%	99%	94%	74%	18%	4%	2%
04	100%	99%	95%	76%	21%	3%	1%
05	100%	99%	95%	75%	22%	4%	2%
06	100%	97%	92%	69%	10%	2%	1%
07	100%	100%	94%	74%	21%	5%	2%
08	100%	95%	94%	74%	26%	8%	5%
09	100%	98%	94%	76%	21%	4%	2%
MÉDIA	100%	98%	94%	74%	20%	4%	1%

### 3.5 PEDREIRAS

As pedreiras foram identificadas e estudadas para a execução das transições, espaldares de enrocamento e concreto.

A pedra 01 estudada para utilização nos espaldares da barragem, ficando uma situada no ponto de coordenadas UTM 283.564 e 9.521.912, com distância média de transporte de 1,4Km à montante do eixo da barragem, chamada de P-01.

Trata-se de um paredão em arenito aparentemente muito coerente, marcado por uma escarpa rochosa íngreme, com altura suficiente para comportar diversas bancadas de exploração superpostas e que oferece boas condições de aproximação e de frente de ataque. A imagem abaixo (**Figura 3.16**), extraída do Google Earth, mostra o local da possível fonte de rocha.



**Figura 3.16 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento (Pedreira 01)**

A pedreira 02 para transições e obras de concreto, situa-se próximo do ponto UTM 304.703 e 9.491.143, distando de cerca de 58 km de distancia do eixo barrável.

## 4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

---

## 4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

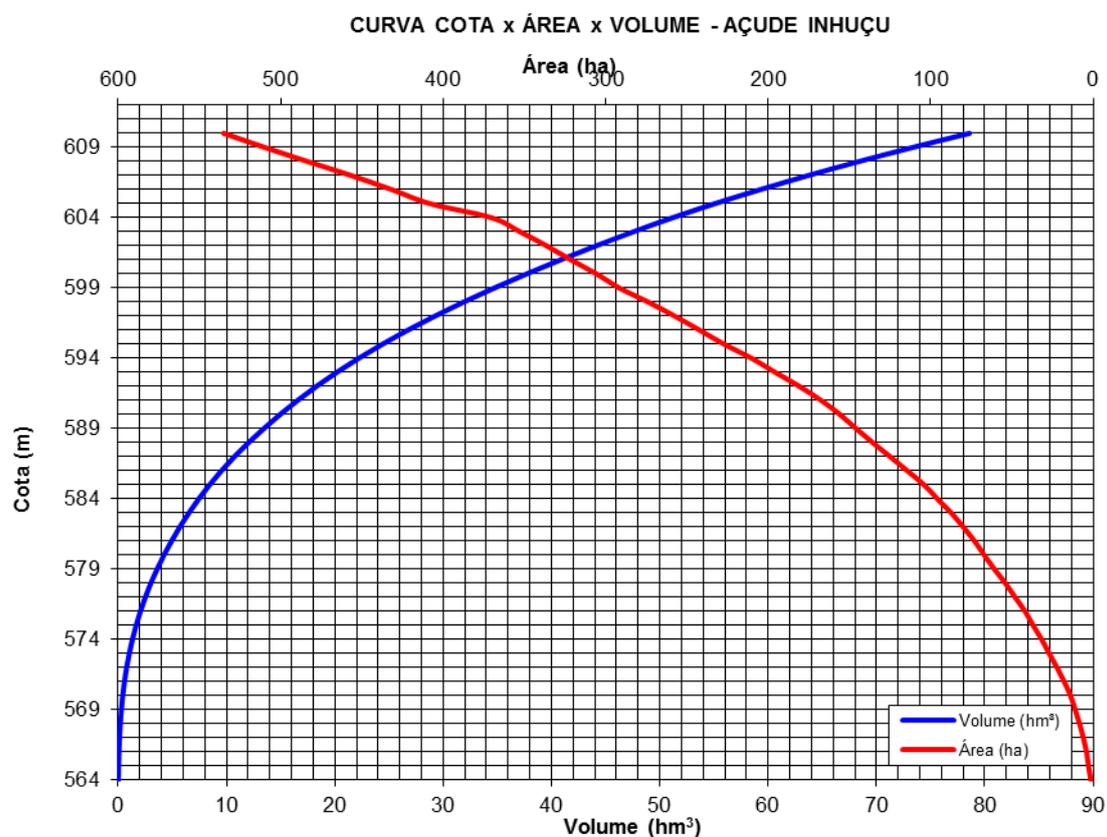
### 4.1 FICHA HIDROLÓGICA

Município .....	Croatá
Rio ou Riacho Barrado .....	Inhuçu
Área da Bacia Hidrográfica.....	847 km <sup>2</sup>
Comprimento do Talvegue Principal .....	5,9 km
Precipitação Média Anual.....	729 mm
Evaporação Média Anual(Tanque Classe A).....	1775 mm
Vertedouro Tipo .....	Canal Escavado em Rocha, com perfil Creager e rápido revestido.
Largura do Vertedouro .....	150m
Cota do Vertedouro .....	601,00m
Volume Máximo Acumulável .....	40 hm <sup>3</sup>
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos .....	1.534,9m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima de Sangria – TR = 1.000 anos .....	2,70 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos .....	2.171,3 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima de Sangria – TR = 10.000 anos .....	3,40 m
Vazão Regularizada a 90% de garantia .....	1,05 m <sup>3</sup> /s

## 4.2 COTA – ÁREA - VOLUME

**Quadro 4.1 – Curva cota-área- volume**

Cota(m)	Área (ha)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Volume Acum.(hm <sup>3</sup> )
564	1,48	0,007	0,007
565	2,8	0,021	0,029
570	13,8	0,124	0,41
575	36,8	0,342	1,64
580	66,9	0,638	4,21
585	103,9	1	8,42
590	155,7	1,5	14,92
595	227,0	2,19	24,4
600	305,6	2,9	37,68
601	321,4	3,13	40,8
605	408,0	3,9	55,1
610	535,2	5,23	78,60



**Figura 4.1 – Curva cota x área Volume**

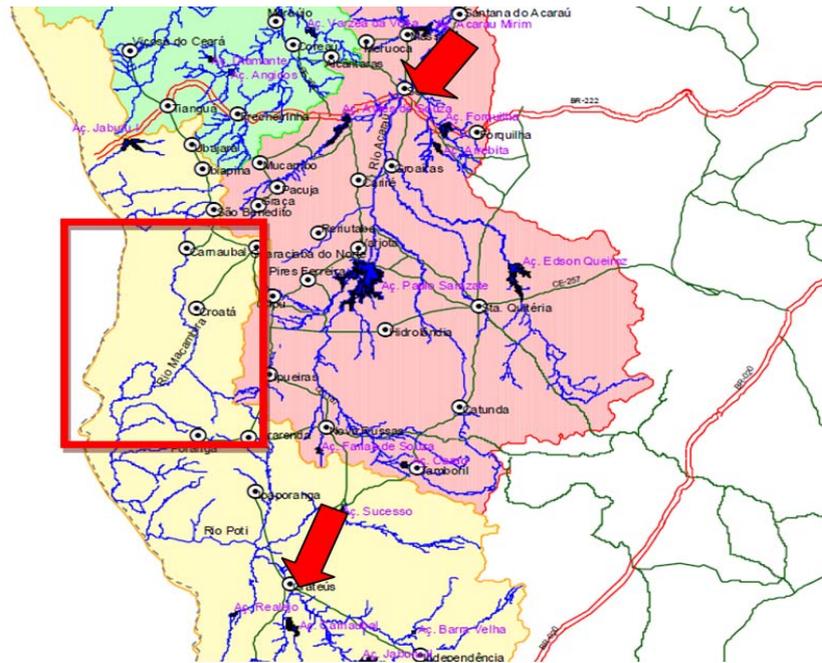
### 4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O Rio Macambira (Inhuçu/Lontras), afluente do Rio Poti, fica localizado na Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até do local Eixo barrável Inhuçu-Sotero, o Rio Macambira percorre cerca de 50 km, drenando uma área de 847 km<sup>2</sup>. A cerca de 25 km a sua jusante, situa-se o Eixo barrável Lontras I, drenando uma área livre (não controlada pelo barramento Inhuçu-Sotero, a montante) de 567 Km<sup>2</sup>. As principais características da bacia hidrográfica do Rio Macambira, nos sítios das barragens Inhuçu e Lontras (Cenários A, B e C) podem ser observadas no **Quadro 4.2**. A localização da área de estudo, em relação ao Estado do Ceará e bacias vizinhas, pode ser observada na **Figura 4.2**.

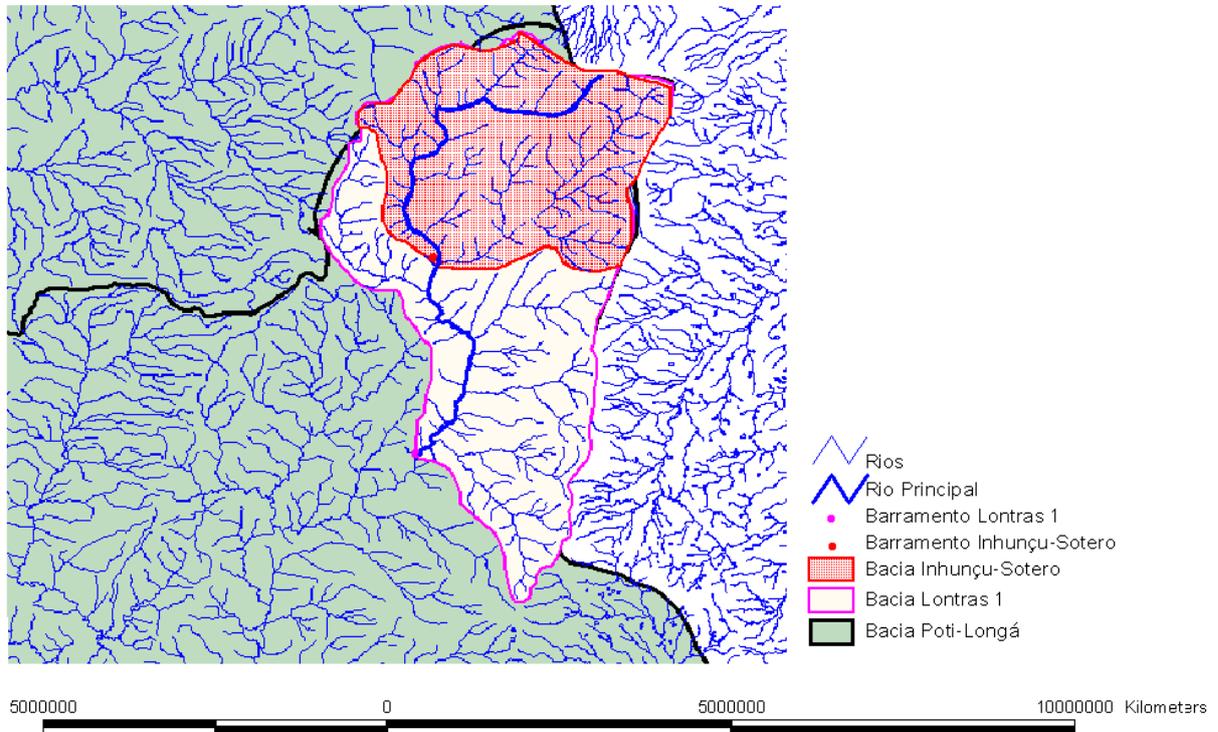
**Quadro 4.2 - Características da bacia hidrográfica do rio macambira nos Eixos barráveis**

Cenário	Barragem	Área (A) ( Km <sup>2</sup> )	Comprimento do rio principal (L) (Km)	Desnível (H) (m)
A	Inhuçu-Sotero	847,0	50	320
B	Lontras I	1.414,0	75	400
C	Lontras I (área livre)	587,0	25	80

A hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu-Sotero e Lontras I (área livre) é apresentada na **Figura 4.3**.



**Figura 4.2 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará**



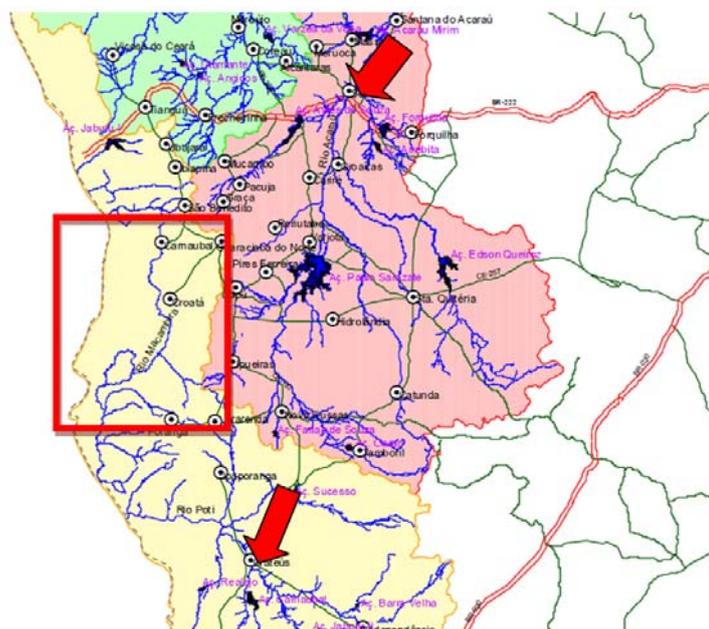
**Figura 4.3 - Hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu e Lontras**

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem climatológica visa apresentar uma caracterização climática da área para permitir uma melhor visão do ambiente onde as barragens estão inseridas e dar subsídios às etapas subseqüentes dos estudos realizados nas bacias hidrográficas dos açudes Inhuçu e Lontras, no que diz respeito ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

Para tanto, foram estudadas as seguintes grandezas hidro-climatológicas: temperatura, umidade relativa, insolação, velocidade dos ventos, evaporação e precipitação. Foi também calculada a evapotranspiração potencial por dois métodos – Hargreaves e Penman - Monteith – para estimar eventuais demandas hídricas para a irrigação.

Existem quatorze estações climatológicas no Estado do Ceará pertencentes ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – das quais duas se situam nas proximidades da área em estudo: Sobral (na bacia vizinha do Rio Acaraú) e Crateús (na própria bacia do Rio Poti) (**Figura 4.4**). As características das estações climatológicas mencionadas encontram-se no **Quadro 4.3**.



**Figura 4.4 - Localização das estações climatológicas de sobral e crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu/Lontras (retângulo em vermelho)**

**Quadro 4.3 - Características das Estações Climatológicas Sobral e Crateús**

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Total de Anos
Sobral	82392	03°44'S	40°20'W	109,6	23
Crateús	82583	05°10'S	40°40'W	296,8	23

Fonte: INMET (1990)

A estação climatológica Crateús, embora faça parte da bacia do Poti, está localizada na área mais semi-árida do Estado do Ceará, não refletindo o microclima mais ameno das bacias, em decorrência de altitudes mais elevadas. Sendo assim, em não existindo uma estação mais próxima dos barramentos, selecionou-se a estação Sobral como representativa das condições meteorológicas da região estudada.

Em síntese, o clima da bacia em estudo é caracterizado pelos indicadores do quadro a seguir.

INDICADOR	ÍNDICE
Pluviometria média anual (croatá)	599,7 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Mar/Maio
Trimestre seco	Set/Nov
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	26,9 °C
Média das temperaturas mínimas	22,4 °C
Média das temperaturas máximas	33,5 °C
Umidade relativa média anual	70%
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Set/ago
Insolação anual	2525,2 h
Período de maior insolação	Agosto
Período de menor insolação	Abril
Velocidade média dos ventos	2,2 m/s
Evaporação média anual em piché	2822,3mm
Período de maior evaporação	Outubro

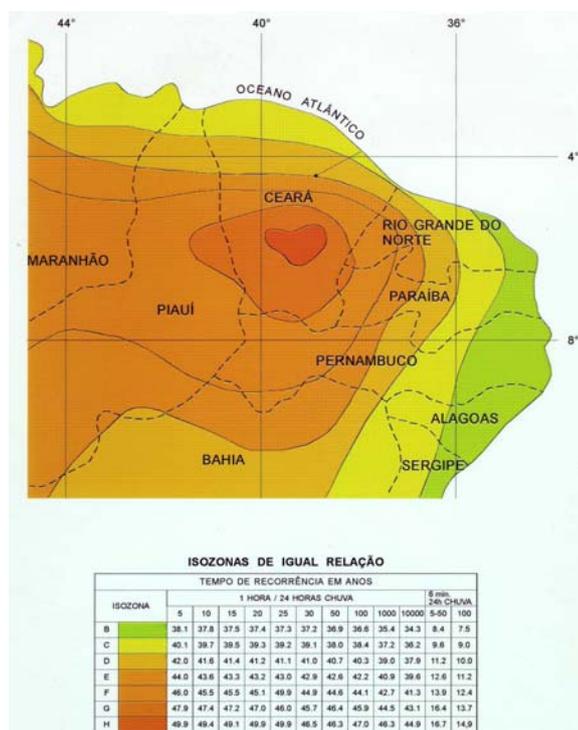
Período de menor evaporação	Abril
ETP média anual	1895,6 mm

#### 4.5 ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS

##### 4.5.1 Metodologia para cálculo das chuvas intensas

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o **Método das Isozonas** (Torricco, 1975). Este método utiliza dados de chuvas diárias e, através de um processo de desagregação, transforma para cada período de retorno, a chuva de 1 dia de duração, em chuvas de duração variando de 6 minutos a 24 horas.

O método tem por base o uso de "Isozonas", determinadas por Torricco, nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno (**Figura 4.5**).



**Figura 4.5 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torricco, 1975)**

##### 4.5.1.1 Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração

Foram estimadas as principais estatísticas que caracterizam o regime de chuvas (**Quadro 4.4**).

**Quadro 4.4 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá**

Características da Precipitação Máxima	Croatá	Guaraciaba do Norte
Média (mm)	64,6	86,2
Desvio Padrão (mm)	20,8	29,2
Coefficiente de Variação	0,32	0,34
Valor Máximo Observado (mm)	117,4	167,0
Valor Mínimo Observado (mm)	30,0	32,0

O **Quadro 4.4** ressalta mais uma vez a enorme variabilidade interanual das precipitações e a necessidade de se usar séries as mais extensas possíveis, na região. Na série de máximos de Croatá, os valores variam de 20,8 mm a 64,6 mm. Em Guaraciaba do Norte, de 29,2 a 86,2.

#### 4.5.1.2 Chuvas máximas com durações de 24 horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 4.5**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 4.3** (postos Guaraciaba do Norte e Croatá) pelo fator 1,10 (para  $P_{1\text{dia}}$ ):

**Quadro 4.5 - Precipitações máximas para  $T_r = 1.000$  e 10.000 anos com duração de 24 horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte**

$T_r$	Croatá $P_{24h}$	Guar. Norte $P_{24h}$
1.000 anos	168,18	238,35
10.000 anos	199,54	285,52

#### 4.5.1.3 Chuvas Máximas com Duração de 1 hora

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração nos postos Guaraciaba do Norte e Croatá para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas (**Quadro 4.6**) pelo fator R:

A Isozona considerada foi a **D**. Os valores das chuvas pontuais de 1 hora e 24 horas de duração referem-se a uma área de 25 km<sup>2</sup>.

**Quadro 4.6 - Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte**

Tr	R (Isozona D)	Croatá		Guaraciaba do Norte	
		P <sub>24h</sub>	P <sub>1h</sub>	P <sub>24h</sub>	P <sub>1h</sub>
1.000 anos	0,39	168,18	65,59	238,35	92,96
10.000 anos	0,39	199,54	77,82	285,52	111,35

4.5.1.4 Conversão da chuva pontual em chuva espacial

A conversão de chuva pontual para chuva espacial, sob toda a área de interesse é feita pela equação a seguir:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - w \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

onde: w = parâmetro regional; P<sub>A</sub> = precipitação sobre toda a área; P<sub>0</sub> = chuva pontual; A = área em estudo e A<sub>0</sub> = 25 km<sup>2</sup> (área base para chuva pontual). Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos no **Quadro 4.7**.

No que tange o parâmetro **w**, normalmente adotado como sendo **0,22** em projetos hidrológicos na Região Nordeste, Meneses Filho (1991) alerta que seu valor é específico para cada duração de chuva, indicando, para duração de 1 a 6 dias, os valores 0,16, 0,12, 0,11, 0,09, 0,08 e 0,07, respectivamente. Segundo o autor, a adoção do valor 0,22 conduziria a uma "superestimativa da redução espacial da chuva, ou seja, a computarem-se menores valores de precipitação média superficial".

Os **Quadro 4.7 ao Quadro 4.9** mostram as chuvas espaciais sobre a bacia do Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), nesta ordem.

**Quadro 4.7 - - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km<sup>2</sup> e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Açude Inhuçu (posto guaraciaba do norte)**

Tr	P <sub>o 24h</sub>	P <sub>o 1h</sub>	A	A/A <sub>0</sub>	w	r = 1 - w · log(A/A <sub>0</sub> )	P <sub>A 24h</sub> = r · P <sub>o 24h</sub>	P <sub>A 1h</sub> = r · P <sub>o 1h</sub>
1.000	238,35	92,96	847,00	33,88	0,16	0,76	180,00	70,20

10.000	285,52	111,35	847,00	33,88	0,16	0,76	215,62	84,09
--------	--------	--------	--------	-------	------	------	--------	-------

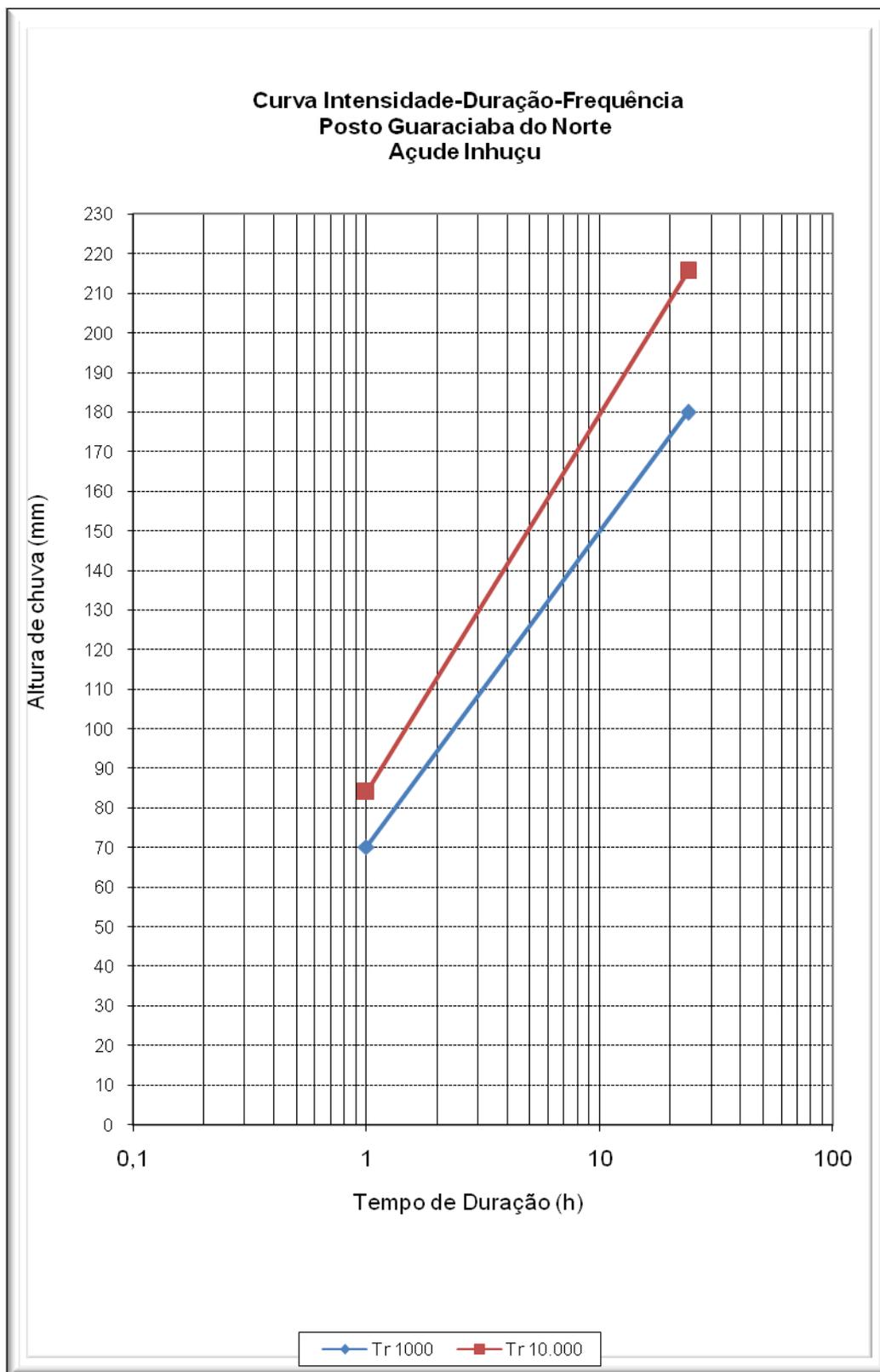
**Quadro 4.8 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km<sup>2</sup> e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Açude Lontras (sem Açude Inhuçu a montante) (posto guaraciaba do norte)**

Tr	P <sub>o 24h</sub>	P <sub>o 1h</sub>	A	A/A <sub>0</sub>	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P <sub>A 24h</sub> = r · P <sub>o 24h</sub>	P <sub>A 1h</sub> = r · P <sub>o 1h</sub>
1.000	238,35	92,96	1.414,00	56,56	0,16	0,72	171,51	66,89
10.000	285,52	111,35	1.414,00	56,56	0,16	0,72	205,46	80,13

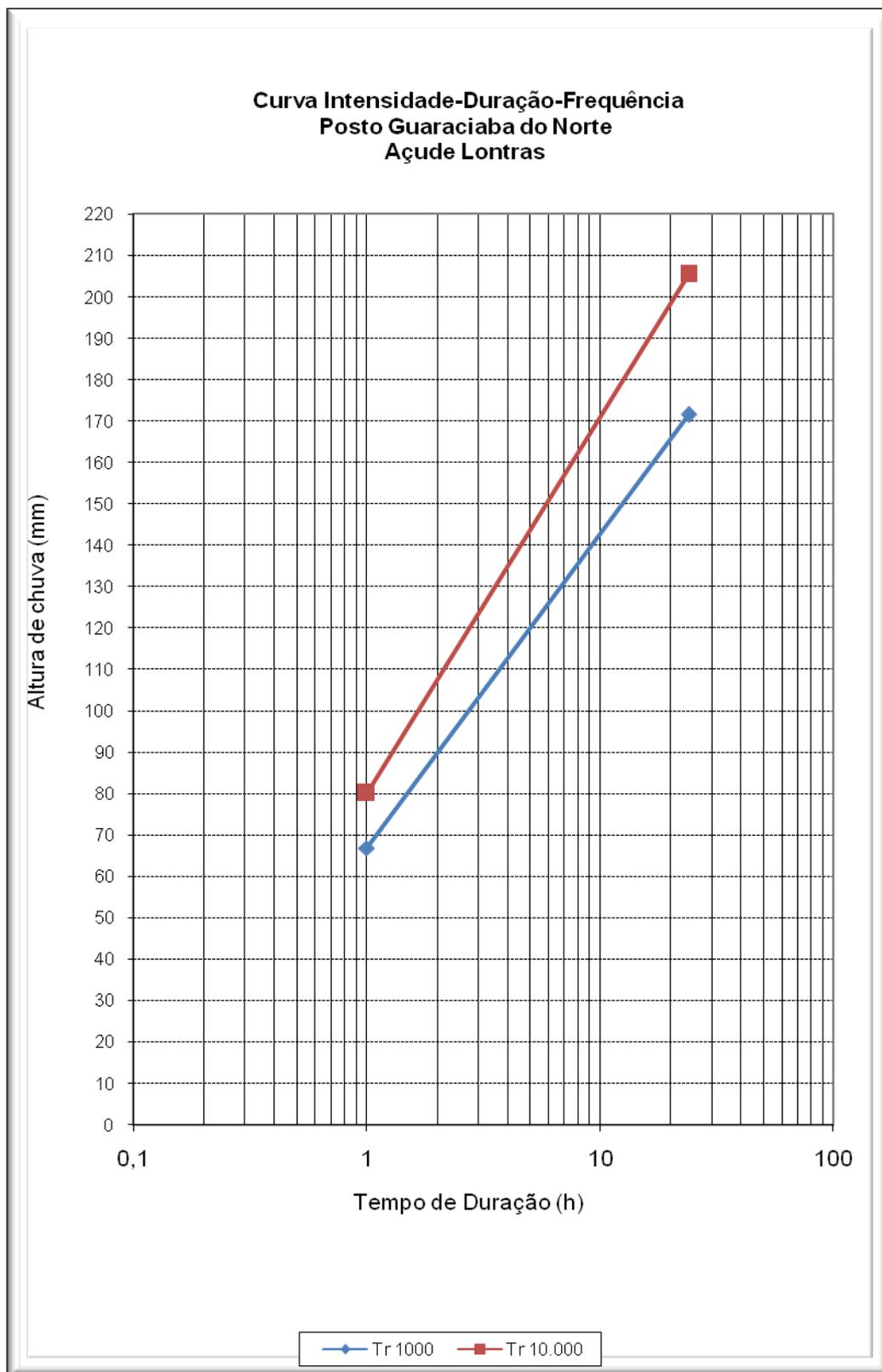
**Quadro 4.9 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km<sup>2</sup> e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia do Açude Lontras (Com Açude Inhuçu a montante) (posto Croatá)**

Tr	P <sub>o 24h</sub>	P <sub>o 1h</sub>	A	A/A <sub>0</sub>	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P <sub>A 24h</sub> = r · P <sub>o 24h</sub>	P <sub>A 1h</sub> = r · P <sub>o 1h</sub>
1.000	168,18	65,59	567,00	22,68	0,16	0,78	131,70	51,36
10.000	199,54	77,82	567,00	22,68	0,16	0,78	156,26	60,94

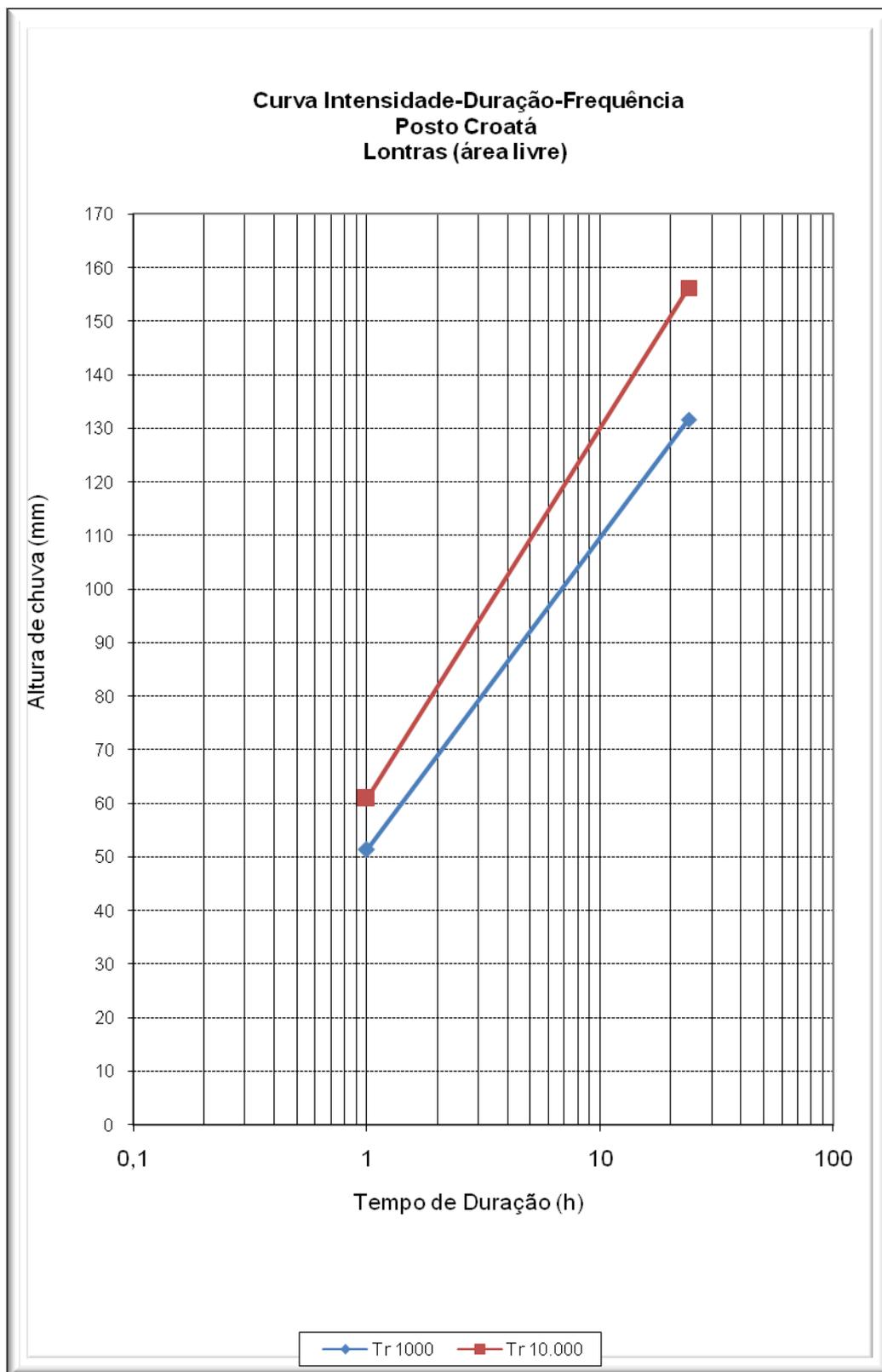
As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observadas nas **Figura 4.6 a Figura 4.8**, respectivamente, para a bacia do Inhuçu, Lontras (sem Inhuçu a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante).



**Figura 4.6 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte.**



**Figura 4.7 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte.**



**Figura 4.8 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras (Área Livre a jusante do Açude Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.**

## 4.6 ESTUDOS DE DEFLÚVIO

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório.

A fonte de dados fluviométricos é o Banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas; a bacia está localizada em “Bacias do Atlântico Norte-Nordeste - Sub-Bacia 34”

A série, em m<sup>3</sup>/s, pode ser visualizada no **Quadro 4.10** a seguir

**Quadro 4.10 - Série Histórica de Vazões (m<sup>3</sup>/s) no Posto Fluviométrico Croatá (Hidroweb – ANA)**

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
1963	2.05	2.15	10.06	12.75	4.34	2.02	1.29	0.83	0.52	0.33	0.27	0.58	3.10
1965	1.18	1.53	3.89	20.62	15.39	11.02	8.73	8.03	7.69	8.02	7.33	7.09	8.38
1966	6.66	7.29	4.58	4.19	2.39	1.98	1.33	0.76	0.47	0.31	0.00	0.00	2.50
1967	0.32	1.75	8.74	18.57	17.74	7.95	6.01	4.99	4.07	3.23	2.17	1.97	6.46
1968	2.45	2.26	8.17	7.36	7.79	4.11	2.70	1.76	1.26	0.96	0.84	1.39	3.42
1969	1.66	1.91	3.05	4.91	3.24	2.33	2.45	1.43	0.80	0.61	0.49	0.42	1.94
1970	0.62	0.57	2.13	2.39	1.48	0.79	0.55	0.37	0.23	0.00	0.23	0.07	0.79
1971	0.49	1.04	2.02	5.22	4.53	3.90	2.14	1.21	0.62	0.36	0.30	0.25	1.84
1972	0.39	0.97	2.06	2.59	2.50	1.32	0.62	0.38	0.25	0.00	0.00	0.07	0.93
1973	1.25	2.28	5.25	7.00	11.99	5.11	3.14	1.76	1.18	0.97	0.54	0.55	3.42
1974	2.18	3.80	8.65	35.69	42.29	38.61	34.81	20.67	8.76	7.02	5.62	5.25	17.78
1975	5.09	3.34	17.92	8.79	9.95	7.93	5.64	4.02	3.76	2.39	2.03	3.36	6.19
1976	1.98	5.66	5.69	8.64	4.36	3.43	2.34	1.80	1.52	1.39	1.40	1.15	3.28
1987	1.73	1.85	9.68	7.37	3.61	3.53	1.70	0.72	0.38	0.32	0.14	0.00	2.59
1989	3.12	3.02	5.41	16.42	14.58	6.68	7.12	3.42	2.21	1.45	0.91	2.42	5.56
1990	1.77	2.65	6.86	4.90	5.29	2.97	1.62	0.75	0.33	0.17	0.03	0.53	2.32
1992	0.88	3.75	3.88	4.98	1.59	0.84	0.46	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
1995	0.09	3.09	8.29	12.82	12.22	4.03	2.61	1.20	0.60	0.32	0.29	0.15	3.81
1996	0.85	1.23	5.19	9.02	7.50	4.00	2.50	2.07	0.75	0.41	0.63	0.32	2.87
1998	0.79	0.87	0.84	1.31	0.68	1.20	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49
2000	0.90	4.30	5.77	8.34	4.55	2.70	1.23	2.35	6.39	4.03	0.01	0.00	3.38
2001	0.02	0.11	0.90	7.10	3.38	3.46	6.60	6.25	2.95	0.00	0.00	0.00	2.56
2002	1.37	1.17	4.27	6.43	4.89	3.11	6.14	6.26	4.82	0.80	0.00	0.00	3.27
2003	0.00	3.18	9.00	8.69	5.79	3.28	6.20	6.70	6.28	2.74	0.00	0.00	4.32
2004	6.02	10.01	9.17	7.67	7.20	6.11	4.66	3.27	6.82	6.48	6.09	5.86	6.61
2005	0.72	0.83	3.21	4.13	3.16	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15
2006	0.00	0.38	4.17	6.04	5.39	1.36	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49
Média	1.65	2.63	5.88	9.03	7.70	5.02	4.20	3.01	2.32	1.57	1.09	1.16	3.77

#### 4.7 A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DOS AÇUDES LONTRAS (EIXO I) E INHUÇU (EIXO SOTERO)

A capacidade de regularização dos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero foi analisada a partir de suas operações simuladas. As séries históricas de vazões utilizadas em cada barramento. Os estudos foram desenvolvidos através da equação do balanço hídrico, tomando por base as seguintes premissas:

- A unidade de tempo é um mês;
- A retirada do reservatório é constante ao longo dos anos e ao longo dos meses;
- A contribuição líquida sobre o lago - precipitação menos evaporação - é admitida constante ao longo dos anos, mas variável ao longo dos meses.

##### 4.7.1 A simulação dos reservatórios utilizando o programa simres

As simulações dos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero foram feitas utilizando o módulo **SIMULAÇÃO** do programa **SIMRES**, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Este módulo executa a simulação do reservatório, resolvendo a equação de seu balanço hídrico.

Este módulo utiliza dois arquivos de dados:

- Arquivo dos deflúvios mensais afluentes ao reservatório – este arquivo é apresentado em um formato denominado TAPE3.DAT.
- Arquivo de dados gerais – este arquivo, cujo formato é denominado de TAPE2.DAT informa as características gerais do reservatório e os procedimentos da simulação.

##### 4.7.1.1 Cenários Simulados

Foram simulados três cenários de topologias – Lontras I isolado (Cenário A), Inhuçu-Sotero isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C).

No Cenário A, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras I igual a 350 hm<sup>3</sup> (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário B, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm<sup>3</sup> (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm<sup>3</sup>. No Cenário C, variou-se a capacidade de Lontras entre 350 e 320 hm<sup>3</sup> e Inhuçu, entre 40 e 100 hm<sup>3</sup>, desde que o somatório das duas não excedesse a capacidade máxima conjunta de 420 hm<sup>3</sup>, estabelecida pelo Marco Regulatório (Resolução 547/2006 ANA/SRH-CE/SEMAR-PI) (**Quadro 4.11**).

**Quadro 4.11 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm<sup>3</sup>)**

CENÁRIO	LONTRAS	INHUÇU	SISTEMA (SOMATÓRIO)	
A		100	100	
B	350	350	350	
C	1	350	40	390
	2	350	50	400
	3	350	60	410
	4	350	70	420
	5	340	80	420
	6	330	90	420
	7	320	100	420

#### 4.7.2 As vazões regularizadas pelos reservatórios lontras e inhuçu

Ao optar-se pela operação simulada do reservatório, dois caminhos distintos podem ser seguidos: a simulação estocástica (método experimental) e a simulação utilizando unicamente a série histórica (método empírico).

Na simulação estocástica, várias seqüências independentes de vazões são geradas. E, uma vez que diversos resultados são obtidos, pode-se estimar a vazão regularizada baseado na análise probabilística do comportamento da mesma. Pode-se ainda gerar uma única série sintética de vazões, bastante longa, e adotar-se um horizonte de simulação igual ao da série gerada, simulando o processo de armazenamento no reservatório em seu estado de equilíbrio.

No caso da simulação do reservatório utilizando apenas a série histórica de vazões, prática corrente no meio técnico, faz-se o horizonte de simulação igual ao da extensão da série histórica e arbitra-se o Volume Inicial ( $V_0$ ) a ser assumido para o reservatório. O

inconveniente é que, para a mesma série, a cada volume inicial adotado, encontrar-se-ia um valor diferente de vazão regularizada para reservatórios, pois o processo de armazenamento para  $n = 27$  anos ainda está no seu estado transiente (Studart, 2000).

Assim, no presente estudo, as vazões regularizadas pelos açudes Lontras e Inhuçu foram calculadas com os mesmos no seu estado de equilíbrio, para que os resultados não sejam influenciados pelas condições iniciais do reservatório.

O **Quadro 4.12** apresenta os resultados das simulações ao adotar-se os Cenários A, B e C. Os cenários A e B consideram apenas um único reservatório – Lontras I e Inhuçu-Sotero, respectivamente. No caso do Cenário C, com Inhuçu a montante de Lontras, este último é simulado com as sangrias do primeiro somadas às vazões geradas na área livre ( $A=567 \text{ km}^2$   $523,00 \text{ km}^2$ ) da bacia do Açude Lontras.

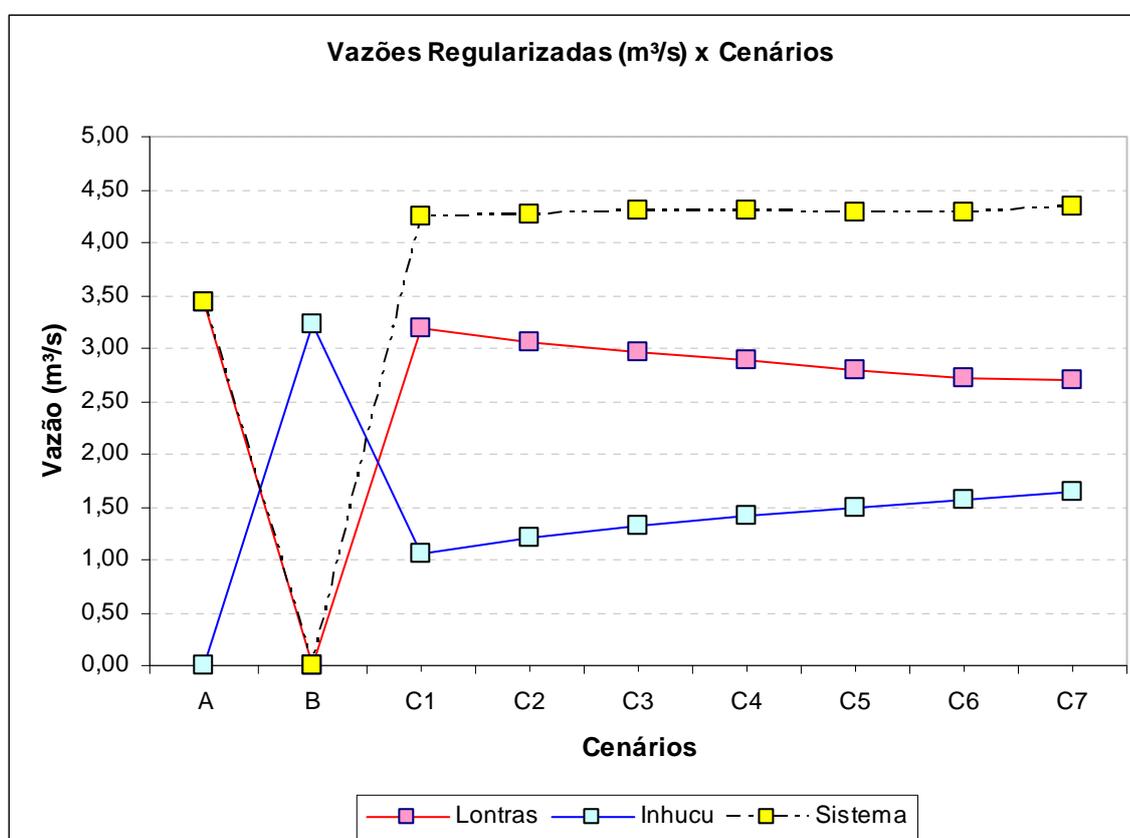
**Quadro 4.12 - Vazões Regularizadas pelos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero (E pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm<sup>3</sup>)**

CENÁRIO		LONTRAS	INHUÇU	VAZÃO REGULARIZADA PELO SISTEMA (HM <sup>3</sup> /ANO)
A	Capacidade (hm <sup>3</sup> )		100,0	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)		97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)		50,6	50,6
	f <sub>k</sub>		1,0	
	f <sub>M</sub>		0,5	
B	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	350,0		
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	163,1		
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	106,3		106,3
	f <sub>k</sub>	2,1		
	f <sub>M</sub>	0,7		
C1	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	350	40,0	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	154,4	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	98,7	32,7	131,4
	f <sub>k</sub>	2,3	0,4	

	$f_M$	0,6	0,3	
C2	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	350	50	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	149,3	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	94,9	37,2	132,1
	$f_K$	2,3	0,5	
	$f_M$	0,6	0,4	
C3	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	350	60	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	145,3	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	92,0	41,1	133,1
	$f_K$	2,4	0,6	
	$f_M$	0,6	0,4	
C4	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	350	70	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	141,9	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	89,5	43,7	133,2
	$f_K$	2,5	0,7	
	$f_M$	0,6	0,4	
C5	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	340	80	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	139,1	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	86,6	46,4	133,0
	$f_K$	2,4	0,8	
	$f_M$	0,6	0,5	
C6	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	330	90	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	136,2	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	84,1	48,6	132,7
	$f_K$	2,4	0,7	
	$f_M$	0,6	0,5	
C7	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	320	100	
	Vazão Média Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	133,79	97,4	
	Q90 (hm <sup>3</sup> /ano)	83,7	50,6	134,3
	$f_K$	2,4	1,0	

	$f_M$	0,6	0,5	
--	-------	-----	-----	--

A **Figura 4.9** apresenta os resultados das simulações ao adotar-se os Cenários A, B e C para o Açude Lontras I, Inhuçu/Sotero e para o Sistema formado pelos dois reservatórios em série. Observa-se que, para o Sistema, independentemente da topologia adotada para o Cenário C (sete alternativas), o mesmo se comporta hidrológicamente da mesma maneira, ou seja, regulariza algo em torno de 4,3 m<sup>3</sup>/s, devido à uma compensação entre os dois reservatórios, o que torna possível a escolha da capacidade do Inhuçu-Sotero que melhor atenda outros requisitos importantes, tais como manchas de solo.



**Figura 4.9 - Vazões Regularizadas pelos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero (E pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm<sup>3</sup>)**

Sendo assim, Cenário escolhido em função de outras considerações, além das hidrológicas, é o Cenário C1 (Inhuçu-Sotero com capacidade igual a 40 hm<sup>3</sup> e Lontras I, com 350 hm<sup>3</sup>).

#### 4.8 ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOIRO

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de *cheia sintética*, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. As *cheias de projeto* com períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da barragem Inhuçu, no sentido de *verificação da segurança* das barragens supracitadas. O programa utilizado é o Flood Hydrograph Package (HEC-HMS), desenvolvido pelo Hydrologic Engineer Center, do U.S. Army Corps of Engineers (EUA).

Nos padrões definidos pelo U.S. Army Corps of Engineers - e disponíveis no programa - são três os diferentes métodos para a determinação das cheias sintéticas: 1) a cheia de projeto padrão (standard project storm); 2) a cheia máxima provável e, 3) a cheia de projeto de diferentes durações derivadas de dados área-altura de chuva.

O método da *cheia de projeto de diferentes durações* foi desenvolvido pelas agências americanas National Weather Service (NWS) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). O método também é conhecido como *cheia balanceada*, porque suas alturas incrementais acumuladas podem ser organizadas em relações consistentes frequência x duração para cada intervalo de duração da chuva total. Isso significa que intervalos de chuvas de diferentes durações - 1h, 2h, 8h - produzem totais de chuva com a mesma frequência de excedência (ou período de retorno). Aceitando-se os princípios do NWS, optou-se, para o presente estudo, adotar uma *cheia de projeto balanceada* usando-se os parâmetros do clima local.

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros devem ser inicialmente estimados: a *duração* da chuva e o *intervalo de tempo* para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, *no mínimo*, igual ao tempo de concentração da bacia, mas, *preferencialmente*, mais longa. Uma duração *mais longa* reflete melhor as condições reais onde, normalmente, uma chuva crítica acontece *inserida* em uma chuva de maior duração.

Neste Capítulo será considerado apenas o Cenário C1 (Inhuçu e Lontras em série). As capacidades escolhidas foram, respectivamente, 40 hm<sup>3</sup> e 350 hm<sup>3</sup>.

No presente caso, adotou-se uma chuva de duração igual a duas vezes o tempo de concentração da bacia total (Inhuçu tem tc igual a 9,4h e a área livre de Lontras tem tc igual a 7,2).

### 4.8.1 A chuva de projeto

Determinou-se a duração da chuva em função do tempo de concentração da bacia ( $t_d=2t_c$ ), ou seja,  $t_d$  para Inhuçu é de 18hs e, para Lontras (área livre), é de 14hs. Observa-se que para Inhuçu, a chuva milenar é de 167,14 e a decamilenar é de 200,36mm. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS. As **Figura 4.10** - Chuva balanceada de 18 horas para  $Tr=1.000$  anos para Inhuçu e **Figura 4.11** a seguir mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar ao longo de  $2 t_c$  para Inhuçu,

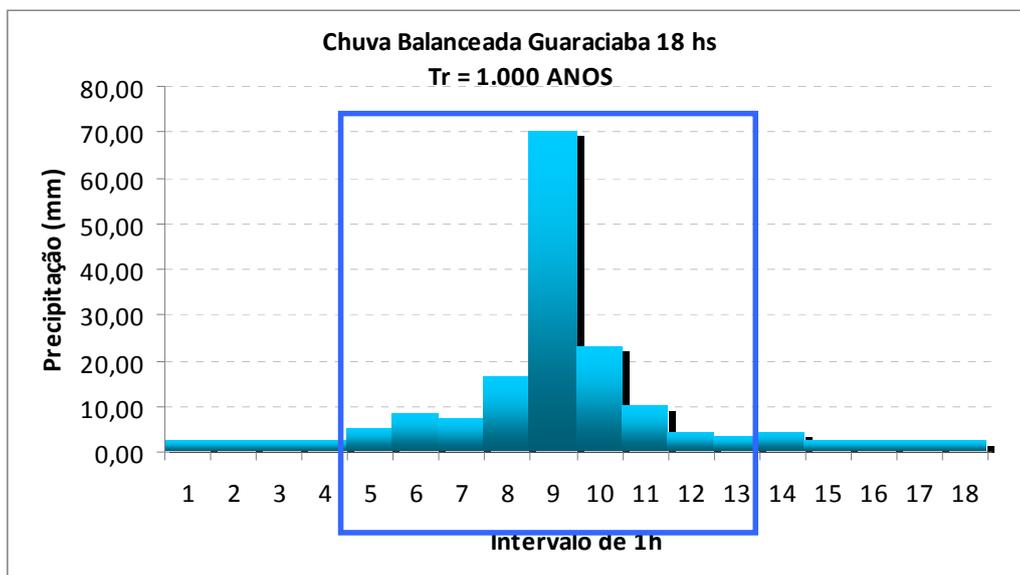


Figura 4.10 - Chuva balanceada de 18 horas para  $Tr=1.000$  anos para Inhuçu

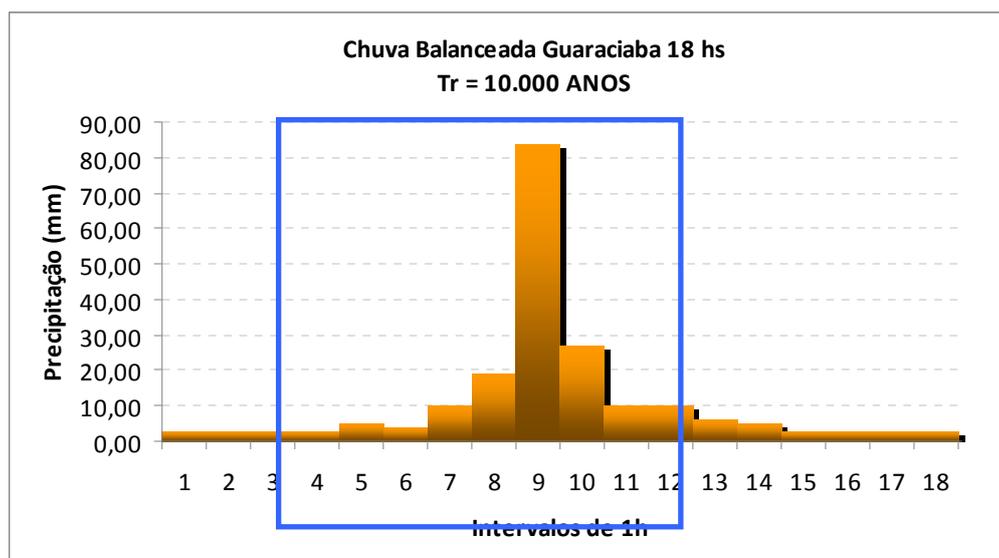


Figura 4.11 - Chuva balanceada de 18 horas para Tr=10.000 anos para Inhuçu

#### 4.8.2 As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório inhuçu

As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes aos reservatórios Inhuçu.

O Cenário I simulado tem topologia cujas principais características são novamente apresentadas no **Quadro 4.13**.

**Quadro 4.13 - Principais Características dos reservatórios Inhuçu**

Açude	Capacidade (hm³)	Bacia Hidrográfica (km²)	Cota da Soleira do Vertedouro (m)
Inhuçu	40,82	847	601,00

O **Quadro 4.14** apresenta as vazões afluentes e efluentes ao Açude Inhuçu considerando três opções para a largura do vertedouro – 150, 170 e 200m. Observa-se que a cheia milenar atinge valores de 1.646,8 m³/s e que, ao adotar-se qualquer uma das larguras especificadas, o amortecimento desta cheia é muito pequeno, entre 4,6 a 7,3%, resultando em vazões efluentes muito próximas entre si (1.534,9 m³/s a 1.574 m³/s. A lâmina sobre o vertedouro fica em torno de 2,5 metros.

No caso da cheia afluyente decamilenar, esta atinge o valor de 2.321,1 m<sup>3</sup>/s, tendo um amortecimento um pouco maior, mas ainda pequeno – entre 3,9 a 6,9%. Isto já era evidenciado pela morfometria do lago, o qual apresenta um fator de forma (alfa) bem pequeno com aqueles normalmente encontrados nos reservatórios do Ceará.

O retardo do tempo de pico também é pequeno - em torno de apenas 1 ou 2 horas (15 horas para 17 horas – milenar e de 15 horas para 16 horas – decamilenar).

No que se refere à lâmina sobre o vertedouro, esta atinge valores entre 2,9 e 3,4 metros.

**Quadro 4.14 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para Tr = 1.000 e 10.000 anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento da barragem Inhuçu, considerando a largura do vertedouro 150, 170 e 200m.**

	Milenar			Decamilenar		
	L=150m	L=170m	L=200m	L=150m	L=170m	L=200m
<b>Cheia Afluyente</b>	1.646,8 m <sup>3</sup> /s			2.321,1 m <sup>3</sup> /s		
<b>Tp</b>	15 hs			15 hs		
<b>Cheia Efluyente</b>	1.534,9m <sup>3</sup> /s	1.551,1m <sup>3</sup> /s	1.574,0m <sup>3</sup> /s	2.171,3 m <sup>3</sup> /s	2.201,0 m <sup>3</sup> /s	2.233,1 m <sup>3</sup> /s
<b>Tp</b>	17 hs	17 hs	17 hs	16 hs	16 hs	16 hs
<b>lâmina (m)</b>	2,7 m	2,5 m	2,3 m	3,4 m	3,2 m	2,9 m
<b>Amortecimento</b>	7,3 %	6,2 %	4,6 %	6,9%	5,5%	3,9%

A definição final da largura do vertedouro (150, 170 ou 200m) da barragem Inhuçu ficará vinculada a considerações construtivas. Mas observa-se que os valores de lâminas encontradas para as cheias decamilenares estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.

A seguir será apresentado os Hidrogramas de Amortecimento e sumários da simulações para as cheias milenar e decamilenar.

## 5 ESTUDOS PEDOLOGICOS

---

## 5. ESTUDOS PEDOLOGICOS

### 5.1 INTRODUÇÃO

Os estudos relativos ao Eixo de Integração Ibiapaba visam à construção de açudes e obras de adução de água, necessárias ao aproveitamento hidroagrícola, utilizando o potencial de produção de vazão regularizada da região da Ibiapaba.

Os serviços pedológicos previstos abrangeriam 4.900 há de terras a serem estudadas ao nível de Reconhecimento de Solos com potencial de utilização para irrigação com as águas disponibilizadas com a operação conjunta dos reservatórios a serem construídos.

Tendo por base a análise de pares estereográficos de fotografias de satélites tomadas em 2011 e fotointerpretadas na etapa anterior ao presente relatório, o Consórcio ENGESOFT/IBI identificou as áreas mais propícias para irrigação com a derivação da água a partir dos futuros açudes.

Para a bacia do Acaraú, as áreas mais adequadas a serem beneficiadas são as: no entorno dos grandes projetos de irrigação que estão sendo implantados pelo Governo Federal (DNOCS). Os estudos hidrológicos atualmente disponíveis apontam para um déficit de água na bacia do Acaraú com relação às disponibilidades de áreas irrigáveis. Pode-se destacar que a maioria das terras irrigáveis estudadas encontram-se no Baixo Acaraú no entorno do Projeto de Irrigação do Baixo Acaraú, hoje, em fase de implantação. Existem estudos pedológicos disponíveis para aquela região, bem como para a região do Projeto Araras Norte. A vazão máxima que poderá ser transposta a partir da Ibiapaba derivando dos Açudes Inhuçu+Lontras permite a irrigação máxima de uma área da ordem de 4.000 ha.

Como já existem estudos de solos para a bacia do Acaraú, e considerando que as águas captadas da Ibiapaba deverão beneficiar prioritariamente as bacias onde as obras vão ser implantadas (Rios Macambira/Inhuçu), o Consórcio ENGESOFT/IBI identificou novas áreas irrigáveis mais próximas possíveis aos locais dos barramentos e na bacia hidrográfica do Macambiras/Inhuçu, tendo priorizado duas manchas de solos:

Área Inhuçu – Situada á jusante do açude Inhuçu, se estende até a bacia hidráulica do futuro “Açude Lontras” acompanhando os curso de água dos rios Macambira/Inhuçu. Terá sua irrigação atendida com condução de água por gravidade desde o reservatório homônimo até os pontos de tomada de água de cada proprietário irrigante;

Área Lontras – Acompanha a margem esquerda da bacia hidráulica do açude Lontras. Ocupa terras mais altas localizadas entre 10 e 100 m acima das cotas médias da bacia hidráulica do açude Lontras. São terras de alta potencialidade para irrigação, hoje sem acesso à água.

O presente levantamento pedológico, a nível de semi-detalhe, foi executado na área denominada “Inhucú”, compreendida pelas coordenadas UTM extremas 9.520.729,822 / 9.511.065,193 e 283.691,397 / 287.923,837 sob influência das águas represadas pelo açude homônimo, a ser construído em consequência dos presentes estudos de Viabilidade da Ibiapaba .

A finalidade do mesmo foi identificar, caracterizar, classificar, descrever e mapear as unidades de solos contidas na área e, sobre as mesmas, emitir informações agrônômicas, para subsidiar futuros projetos executivos de irrigação.

A área objeto do estudo abrange terras pertencentes ao município de Croatá no estado do Ceará. Esta área totalizou 1.993 ha dos quais 972 ha são considerados irrigáveis, ou seja 48,77%, por métodos gravitacionais.

O principal solo da área é o NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS.

O levantamento obedeceu as normas adotadas e recomendadas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA, atendendo plenamente o número de observação de tradagens; o número de perfis descritos, coletados e analisados; a precisão dos limites entre manchas de unidades diferentes e a área mínima a ser mapeada; conforme exige o levantamento no nível acima citado.

A classificação das terras para a irrigação apoiou-se no uso dos critérios estabelecidos pelo Bureau of Reclamation dos Estados Unidos da América do Norte, que é adotado praticamente no mundo inteiro.

Por tanto, o levantamento pedológico ora apresentado cumpriu todas as exigências, normas, critérios, etc. praticados no Brasil e inclusive, ofereceu dados e recomendações fundamentais para o manejo racional e ecológico dos solos, com vistas à obtenção de produções elevadas e auferimentos de lucros satisfatórios, em possíveis projetos de irrigação a serem implantados na área.

## 5.2 MÉTODOS DE TRABALHO

### 5.2.1 Trabalhos de Escritório

Compreendem uma fase prévia aos trabalhos de campo e outra posterior aos mesmos.

Os trabalhos da fase inicial consistiram de:

- Análise da informação existente, de interesse para o estudo;
- Seleção do material cartográfico, cartas da SUDENE na escala 1:100.000;
- Seleção de material aerofotográfico, basicamente Imagem de Satélite Google na escala 1:10.000, com curvas de nível espaçadas a cada 10 metros;
- Seleção de itinerários e locais para os trabalhos de campo: perfis em trincheiras, tradagens e coletas de amostras de solo para análise físico-químicas.

A segunda fase dos trabalhos de escritório constitui de:

- Registro, classificação e ordenação dos dados obtidos nos trabalhos de campo e laboratório;
- Classificação dos solos e elaboração da legenda das unidades de mapeamento, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da EMPRAPA;
- Relação e descrição das unidades de mapeamento;
- Classificação e descrição das classes de terras para irrigação, segundo *Bureau of Reclamation*;
- Especificações para classificação de terras para irrigação;
- Descrição das classes de terra para irrigação;
- Elaboração das tabelas e do gráfico dos testes de infiltração;
- Elaboração do mapa de solos e de classes de terras para irrigação na escala 1:15.000;
- Elaboração do Relatório Técnico.

### 5.2.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo tiveram início tão logo se concluiu a primeira etapa dos trabalhos de escritório, qual seja a de reconhecimento da área através das bases cartográfica, aerofotográfica, e planejamento das tarefas.

Os procedimentos de campo seguiram as recomendações contidas no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo, publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBSCS. Os conceitos e critérios adotados para a classificação dos solos estão de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - 2ª edição, publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA SOLOS.

### 5.2.3 Trabalhos de Laboratório

As amostras foram analisadas no Laboratório de SOLOS/ÁGUA do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, cujos métodos de análises utilizados são descritos sucintamente a seguir:

#### **Análises Físicas**

- Análise granulométrica – Dispersão total – Método do densímetro com emprego do hexametáfosfato ou do hidróxido de sódio com dispersante.
- Classificação textural – Baseado no triângulo de classificação americano, segundo o Soil Survey Manual, e denominação das classes de acordo com a tradução sugerida pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

#### **Análises Químicas**

- pH (água) Método potenciométrico, utilizando-se relação solo : água de 1:2,5;
- Nitrogênio – Determinado pelo método volumétrico de Kjeldahl;
- Fósforo assimilável – Método colorimétrico usando-se o extrator ácido de North Caroline;
- Carbono – Método volumétrico. Oxidação pelo bicromato de potássio;
- Matéria orgânica – Calculado em função do teor de Carbono pela expressão  $C \times 1,724$ ;

- Relação C/N – Calculado em função dos valores do Carbono e Nitrogênio;
- Cálcio e Magnésio – Método volumétrico, com titulação pela EDTA;
- Sódio e Potássio – Determinado pelo fotômetro de chama diretamente;
- Hidrogênio trocável – Método volumétrico. Extração pelo acetato de cálcio normal (pH 7) e dosagem pelo hidróxido de sódio;
- Alumínio trocável – Método volumétrico. Extração pelo cloreto de potássio normal e titulação com o hidróxido de sódio;
- Valor T (capacidade de troca de cátions). Soma dos valores (S) + (H+) + (Al +++);
- Valor V (porcentagem de saturação de bases). Calculado pela expressão:  $100 S/T$
- Percentagem de sódio no complexo. Calculado pela expressão:  $100 Na+/T$
- Percentagem de alumínio em relação a soma (S) + (Al +++);

Obtida pelo cálculo segundo a expressão:

$$100 (Al +++ ) / (S + Al +++ )$$

- Condutividade elétrica no extrato de saturação – Medida no extrato de solo obtido por filtragem a vácuo, depois de feita a determinação da percentagem de saturação. Dados expressos em dS/m – obtidos diretamente numa Ponte de Condutividade.

## 5.3 SOLOS

### 5.3.1 Introdução

O levantamento de solos tem por objetivo a definição do manto da superfície do terreno com suas potencialidades agrícolas, limites e extensão, e seu registro de forma cartográfica.

Os solos com suas propriedades, delimitações e dimensionamentos são definidos através de caminhamentos por estradas, caminhos e picadas, procurando-se cobrir sistematicamente toda a área a ser mapeada, dentro do enfoque dos padrões de interesse a serem identificados.

O estudo de solos é feito a partir de observações da superfície e através de prospecções por meio de perfis em trincheiras e por meio de tradagens, quando são feitas coletas de amostras para análise de laboratório.

Os solos são identificados, com base em suas propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas a par de averiguações dos aspectos interrelacionados de permeabilidade, drenagem, relevo, pedregosidade, rochosidade, geologia, material de origem, presença de horizonte impermeável ou semi-impermeável, sodicidade, salinidade, além de considerações sobre clima, vegetação e uso atual.

Toma-se por base inicialmente, as propriedades morfológicas do solo “in loco”, as quais têm relação com a natureza intrínseca de caráter físico, químico e mineralógico; sendo definidas por espessura, cor, textura, estrutura, consistência, transição, etc., juntamente com considerações sobre situação de ocorrência e os aspectos acima mencionados.

### 5.3.2 Legenda Das Unidades De Mapeamento

A delimitação das unidade de mapeamento teve como base as informações obtidas no levantamento de campo através das observações (tradagens e perfis) e dos resultados das análises de solos.

A nível do presente estudo, e em função principalmente da uniformidade litológica e fisiográfica, a área apresenta também homogeneidade na sua composição edáfica, tendo sido identificados e caracterizados as seguintes Unidades de Mapeamento, constantes do mapa de solos.

**Quadro 5.1 - Unidades de Mapeamento**

SÍMBOLO	UNIDADE DE MAPEAMENTO
RQo1	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos excessivamente drenados relevo plano.
RQo2	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado.
RQo3	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos pouco profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS

	DE ROCHA.
<b>RRq</b>	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Psamíticos fragipânicos pouco profundos fortemente a imperfeitamente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
<b>RU</b>	NEOSSOLOS FLÚVICOS INDISCRIMINADOS floresta de várzea relevo plano.

## 5.4 CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO

### 5.4.1 Classificação Adotada

A avaliação da aptidão das terras para agricultura sob irrigação da área foi realizada com base nos critérios de classificação do “U.S. Bureau of Reclamation Manual” a qual estabelece 6 classes de terras em função de parâmetros físicos relacionados com características de solo, topografia e drenagem, e econômicos, considerando a produtividade e os custos de desenvolvimento da terra.

As classes 1, 2 e 3 são consideradas aptas, sendo que a classe 1 corresponde as melhores terras, praticamente sem limitação para o desenvolvimento agrícola sob irrigação. A classe 4 separa aquelas terras que só possam ser irrigadas com sistemas especiais de manejo, ou são para uso especial enquanto que a classe 5 abrange as terras consideradas provisoriamente inaptas e, finalmente, na classe 6 separam-se aquelas terras que são impróprias para irrigação.

A classificação do Bureau objetiva a predição da produção das culturas como uma função de fatores físicos (solo, topografia e drenagem) e sócio-econômicos (nível tecnológico, recursos, organização social, etc.). As classes são definidas como categorias de terra com similares características físicas e econômicas e expressam a sua capacidade de pagamento para dar retorno aos investimentos necessários para a sua incorporação ao uso agrícola sob irrigação.

No presente trabalho, a classificação das terras para irrigação foi realizada basicamente em função dos fatores físicos, considerando-se como premissas básicas:

- A terra e a água serão manejadas adequadamente segundo a melhor tecnologia disponível;

- A classificação poderá mudar quando novas informações a respeito do comportamento da terra sob irrigação sejam disponíveis, inclusive a respeito de aspectos econômicos. A introdução de novas tecnologias e novos dados de pesquisas poderão também induzir mudanças na classificação das terras.

A classificação realizada na área estudada objetivou determinar o potencial das terras para agricultura sob irrigação, conhecer as suas principais características que possibilitarem orientar a respeito do seu melhor manejo, e estabelecer categorias que expressem, em termos gerais, a sua capacidade de produção, considerando que a terra a ser irrigada deve ser permanentemente produtiva.

#### **5.4.2 Definição Geral das Classes de Terra**

As classes estabelecidas pela classificação do Bureau são assim definidas:

##### **Classe 1- Apta:**

Estas terras são aptas para irrigação, podendo ser rápida e eficientemente irrigadas pelo sistema previsto. São capazes de produção com altos rendimentos de ampla faixa de cultivos climaticamente adaptados, a custos razoáveis. Os solos apresentam boa e estável estrutura, permitindo a fácil penetração das raízes, ar e água, e possuem adequada drenagem interna. A capacidade de retenção de água deve ser adequada para proporcionar umidade para o ótimo desenvolvimento das plantas cultivadas. O solo deve ser livre de sais solúveis ou, havendo sais presentes, poderão ser facilmente lixiviados. Estas terras apresentam alta capacidade de pagamento.

##### **Classe 2- Apta:**

Compreende terras com aptidão moderada para irrigação, sendo inferiores as da classe 1 em capacidade e/ou exigindo custos mais altos para preparo, irrigação e cultivo. Em comparação à classe 1, o solo pode ter menor capacidade de retenção de umidade, ou permeabilidade menor no ar, água e raízes, podendo ser ligeiramente salinos, o que pode limitar a produtividade ou envolver custos moderados de lavagem. Limitações topográficas podem incluir superfície irregular, que exija custos moderados para correção, ou glebas pequena e declive que requerem custos maiores para evitar fenômenos de erosão. Podem ser necessários custos moderados de drenagem, bem como remoção de vegetação arbórea ou pequena pedregosidade. Esta classe apresenta capacidade de pagamento intermediária.

##### **Classe 3- Apta:**

As terras desta classe são aptas para irrigação, porém apresentam deficiência de solos, topografia ou drenagem, as quais são mais severas daquelas descritas para classe 2 devido a alguma forte deficiência (simples ou combinação de duas deficiências). As terras desta classe apresentam menor capacidade produtiva e/ou maiores custos de produção de desenvolvimento do que a anterior. Embora maiores riscos envolvam a sua utilização em agricultura irrigada, estas terras tem adequada capacidade de pagamento para atender os custos de operação, manutenção e reposição, sob manejo e unidades de tamanho adequado.

#### **Classe 4- Apta:**

As terras desta classe são delimitadas e utilizadas somente em situações especiais, nas quais é necessário diferenciar uma quarta classe para identificar e caracterizar adequadamente terras que apresentam fortes limitações que restringem a sua utilização, porém possuem os requisitos mínimos para uma terra arável, sob um plano determinado.

#### **Classe 5- Provisoriamente inapta:**

A aptidão das terras incluídas nesta classe não pode ser determinada pelos métodos de classificações de rotina, porém são terras que apresentam valor potencial suficiente para ser separadas para estudos especiais. A constituição da classe 5 é provisória, e normalmente muda para uma classe arável ou para 6, após completados os estudos. Podem ser deficiências de solos, topografias, drenagem, coberturas de pedras, ou outras deficiências severas que exigem estudos de agronomia ou engenharia para determinar a sua arabilidade. Podem ser utilizadas como um meio de esgotar as possibilidades de um projeto, por exemplo, quando existem recursos hídricos em abundância ou déficit de terras melhores.

#### **Classe 6- Inapta:**

Inclui as terras que não atingem os requisitos mínimos para pagar os custos de operação, manutenção e reposição. Em geral compreende terras com alto declive, erodidas ou quebradas, com solos texturas muito grossa ou fina, com pouca profundidade sobre roxa ou duripan; com drenagem inadequada e alta concentração de sais solúveis ou sódio e terras pedregosas.

### 5.4.3 Subclasses

As classes podem ser subdivididas em subclasses em função das limitações apresentadas pelas terras, que podem estar relacionadas ao próprio solo a topografia ou a drenagem.

A classe 1, por tratar-se de terras sem limitações mínimas não admite subclasses.

Nas condições da área estudada, foram apontadas as seguintes limitações constituindo subclasses:

#### **De solo(s):**

i- velocidade de infiltração alta

q- baixa capacidade de retenção de umidade

y- baixo nível de fertilidade natural

k- pequena profundidade efetiva

x- pedregosidade

#### **De topografia(t):**

g- declividade

#### **De drenagem(d):**

f- risco de inundação

Com o objetivo de melhor caracterizar as classes em subclasses de terras, foram considerados, os aspectos referentes a uso da terra, produtividade, custo de desenvolvimento, necessidade de água e drenabilidade das terras.

#### **Uso Atual da Terra**

B- Caatinga, incluindo pequenas áreas desmatadas

#### **Produtividade da terra**

Avaliada em função do aspecto das culturas existentes e dos dados físicos e químicos dos perfis analisados, sendo definida pelos símbolos:

- 1 - Alta
- 2 - Média
- 3 - Baixa
- 6 - Muito baixa

### **Custo de desenvolvimento**

Avaliado em função da maior ou menor necessidade e do nível de complexidade de operações para o preparo da terra (eliminação da vegetação natural, remoção de pedras, sistematização, etc), distribuição da água, melhoramento do solo, etc. É definido pelos símbolos:

- 1 - Baixo
- 2 - Médio
- 3 - Alto
- 6 - Muito alto

### **Necessidade de água**

- A - Baixa
- B - Média
- C - Alta

### **Drenabilidade das terras**

Avaliação consiste em uma estimativa da drenabilidade interna da terra, levando em conta os fatores físicos e químicos que contribuem para a velocidade do movimento da água através do solo, subsolo e substrato. A indicação da drenabilidade se faz pelos seguintes símbolos:

- X - Boa
- Y - Moderada
- Z - Pobre

W - Crítica

### 5.4.4 Representação Cartográfica

A representação cartográfica da aptidão das terras para irrigação é feita sob a forma de fração. Consta do numerador algarismo (2, 3, etc.) que representa a classe, seguindo de letras (s,t,d) que representam as subclasses. No denominador constam dados de uso atual, produtividade, custo de desenvolvimento, necessidades de água e drenabilidade da terra. A seguir da fração letras minúsculas representam informações adicionais referentes às deficiências de solo, topografia e drenagem.

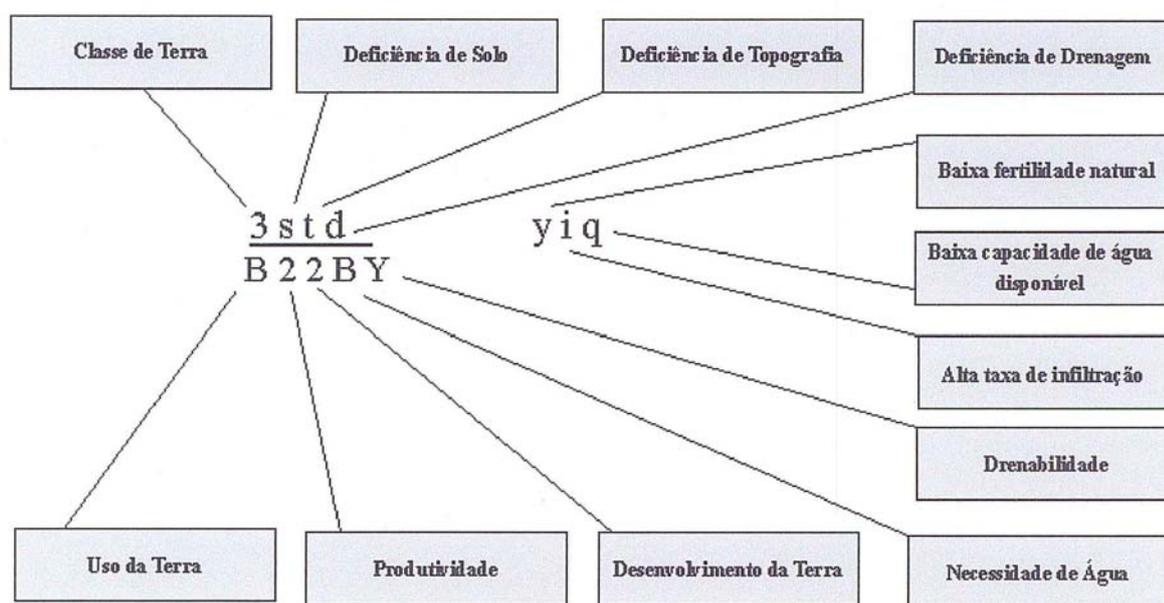


Figura 5.1 - Exemplo da fração de Classe de Terra para Irrigação

### 5.5 ESPECIFICAÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO

A totalidade das terras potencialmente irrigáveis na área estudada, não admitem irrigação por gravidade em razão da textura leve dos solos que a integram. Os métodos de irrigação localizada são os aconselháveis, face às altas taxas de infiltração dos solos.

No **Quadro 5.2** são representados os parâmetros considerados para a classificação das terras segundo a sua aptidão para a irrigação.

**Quadro 5.2 : Especificações Para Determinação Das Classes De Solos Para Irrigação**

CARACTERISTICAS DA TERRA	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4S	CLASSE 5	CLASSE 6
Textura superficial (0-30 cm)	Média a argilosa permeável	Mádia (leve) a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a muito argilosa
Subsuperficial (30 – 120 cm)	Média a argilosa permeável	Média a argilosa	Média (leve) a argilosa	Média a argilosa	Média a argilosa	Arenosa a muito argilosa
<b>Profundidade:</b>						
Até materiais permeáveis (concreções Cascalho ou Calhaus)	>90	>70	>50	>50	>40	<30
Até materiais semipermeáveis (Fragipã, Saprolito ou Rocha semipermeável)	>100	>80	>60	>60	>50	<40
Até materiais impermeáveis (duripã Horizonte plânico ou Rocha)	>110	>90	>70	>70	>60	<50
<b>Capacidade de água disponível</b>						
Cm de água nos primeiros 30cm	>3,0	>1,5	0,6	>0,3	>0,2	<0,2
Cm de água até 120 cm	>9,0	>2,2	1,5	>0,7	>0,5	<0,5
<b>Capacidade de Troca de Cátions</b>						
CTC (0-30 cm) em cmol <sub>c</sub> /kg de solo	>8,0	>5,0	>3,0	>2,0	>2,0	<2,0
<b>Cátions Trocáveis</b>						
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> (0-30 cm) em cmol <sub>c</sub> /kg de solo	>3,0	>2,0	>1,2	>0,8	>0,6	<1,0
<b>Alumínio Trocável:</b>						
Al <sup>3+</sup> (0-30 cm) em cmol <sub>c</sub> /kg de solo	0	<1,0	<2,0	>4,0	<6,0	>8,0
<b>Reação</b> (pH em água) (0-30 cm)	5,4 a 7,3	5,4 a 7,3	4,3 a 8,3	5,0 a 8,0	<8,5	>8,5
<b>Saturação por Sódio</b> em %	<6	<9,0	<15	<15	<17	>17
<b>Condutividade Elétrica</b>						
CEC em dS/m a 25°C até 120 cm	<1,5	<3,0	<4,0	<5,0	<6,0	>5,0
<b>Topografia</b>						
Declividade em %	<2	<3	<8	<10	<15	<20
<b>Pedregosidade</b>						
Pedregosidade	Não Pedregoso	Não Pedregoso	Não ou pouco Pedregoso	Pouco Pedregoso	Pedregoso	Muito pedregoso

<b>Drenagem</b>							
Superficial (inundações e enchentes)	Ausente	Ausente	Ocasional	Ocasional	Ocasional a Freqüente	Muito Freqüente	
Interna	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Bem a Mal drenado	Mal a muito mal drenado	
Drenabilidade do Perfil	Boa	Boa	Restrita	Pobre	Restrita a Crítica	Crítica	

## 5.6 CLASSES E SUBCLASSES DE TERRA PARA IRRIGAÇÃO NA ÁREA

As classes de terras para irrigação encontradas na área são as relacionadas a seguir:

### Quadro 5.3 - Classes de terras para irrigação

Classe	Aptidão para irrigação
<u>S3s</u> yqi B31CX	Terras aptas para irrigação, com moderadas limitações de baixo nível de fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de umidade e alta velocidade de infiltração.  Unidades de Mapeamento RQo1 e RQo2.
6s	Terras inaptas para irrigação, por fortes limitações de solos.  Unidade de Mapeamento RQo3.
6sd	Terras inaptas para irrigação, por fortes limitações de solos e de drenagem. Unidades de Mapeamento RRq e RU.

## 5.7 DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO

– Classe S3s yqi

### B31CX

Os solos que compõem esta classe correspondem a NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS muito profundos compreendendo as unidades de mapeamento RQo1 RQo2..

O relevo predominante é plano com declives de 0 a 3%, ocorrendo também relevo da classe suave ondulado em alguns pontos.

Apresentam como cobertura vegetal natural à caatinga hiperxerófila densa predominantemente arbórea associada à formação de carrasco ou caatinga arbustiva, praticamente sem nenhum cultivo, servindo apenas de suporte alimentar para pecuária extensiva. Constatou-se, além de caju, pequenos cultivos de milho, feijão mandioca e horticultura (pimentão).

São solos com fortes limitações para irrigação por gravidade, devido às características texturais que possuem, principalmente em superfície, sendo por isso recomendados para irrigação por gotejamento e/ou microaspersão.

– **Classe 6s**

– Compreendem terras com relevo plano e suave ondulado, com declividade indo de 0 a 6%, localizadas em posições intermediárias, ou seja, entre o baixão do rio e as manchas consideradas irrigáveis mapeadas na área.

São solos fortemente drenados, sob caatinga hiperxerófila rala, pouco profundos, com contato lítico a menos de 1 metro, e com grande ocorrência de afloramentos de rocha. Em face destas limitações foram consideradas inaptas para uso agrícola sob irrigação. Correspondem à unidade de mapeamento Rqo3.

– **Classe 6sd**

Integram esta classe terras de relevo plano e suave ondulado com declividade de 0 a 6%, com grande parte destes solos constituindo a rede de drenagem natural da área, (várzeas do rio Inhuçú). Sofrem inundações no período invernos.

A outra parte destas terras constituem os boqueirões pela margem esquerda do rio, os quais possuem solos de textura arenosa, com ocorrência de camada de impedimento (fragipan) geralmente entre 50 e 100 cm. Nestes solos é grande a ocorrência de afloramentos rochosos.

Devido as limitações de solos e drenagem, estas terras foram consideradas inaptas para irrigação.

## 5.8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O levantamento pedológico desenvolvido na área, teve como finalidade principal, a caracterização e mapeamento dos solos que apresentam possibilidades efetivas de aproveitamento com irrigação, são os que possuem melhores condições de drenagem, de profundidade efetiva, de pouca declividade e ausência de pedregosidade.

### 5.8.1 Composição Edafológica da Área

A nível do presente estudo, e em função principalmente da uniformidade litológica e fisiográfica, a área apresenta também homogeneidade na sua composição edáfica, tendo sido identificados e caracterizados as seguintes Unidades de Mapeamento, constantes do mapa de solos.

#### Solos Aptos

**RQo1** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos excessivamente drenados relevo plano.

**RQo2** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado.

#### Solos Ináptos

**RQo3** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos pouco profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.

**RRq** - NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Psamíticos fragipânicos pouco profundos fortemente a imperfeitamente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.

**RU** - NEOSSOLOS FLÚVICOS INDISCRIMINADOS floresta de várzea relevo plano.

Praticamente toda a área é integrada por solos que apresentam como característica comum a presença de textura arenosa nos horizontes superficiais, aumentando a fração argila com a profundidade do perfil.

São solos que não apresentam limitações intrínsecas quanto ao tipo de cultura a implantar, sempre que sejam corrigidas as suas deficiências, principalmente de fertilidade natural.

## 5.8.2 Principais Características das Terras para Agricultura Irrigada

### Limitações de Solos

A característica marcante da maioria dos solos da área é a textura arenosa dominante nos horizontes superficiais, da qual decorrem a maioria de suas limitações para uso agrícola:

#### a) Fertilidade

A fertilidade natural da maioria dos solos da área é baixa observando-se marcadas deficiências de macronutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e potássio. Os níveis de matéria orgânica, na maioria dos casos, se situam entre 0,83 a 6,10 g/Kg. No tocante a micronutrientes, devem apresentar moderados a fortes limitações.

A totalidade dos solos da área apresentam reação moderada a fortemente ácidos, o pH variando mais comumente entre 4,5 e 6,7, a capacidade de troca catiônica apresenta valores baixos, bem como a saturação de bases (valor V menor que 50%).

Pelos dados analíticos referentes ao status da fertilidade dos solos da área, se deduz que a sua utilização em agricultura exigirá como condição básica a elevação dos níveis de nutrientes. Dada a escassa experiência local quanto a doses de fertilizantes a serem aplicados, será da maior relevância a montagem de campos demonstrativos e experimentais, antes da implantação de quaisquer Projeto Hidroagrícola, que permitam a obtenção de dados e informações a respeito das necessidades de fertilizantes e corretivos para as diversas culturas programadas para serem implantadas na área.

A maioria dos solos da área apresentam texturas arenosas nos horizontes superficiais. Em consequência cabe esperar que as necessidades de corretivo calcário não serão altas, devendo-se considerar que a sua aplicação objetivará, também, melhorar os níveis de cálcio e magnésio na maioria dos solos.

As práticas agrícolas a serem aplicadas na área deverão considerar a possibilidade de melhorar os teores de matéria orgânica. Assim a incorporação de adubos orgânicos, restolhos culturais, etc., devem ser incentivados por ocasião da implantação das culturas.

#### b) Infiltração

Os valores de infiltração obtidos nos testes de campo para os solos considerados potencialmente irrigáveis se situam normalmente acima de 250 mm/h, concordantes com as características texturais dos horizontes superficiais dos solos.

De acordo com esses dados pode-se concluir que a irrigação por métodos gravitários não é viável nos solos da área.

### **c) Capacidade de água disponível**

A maioria dos solos da área são pobres em matéria orgânica e apresentam texturas arenosas, especialmente nos horizontes superficiais. Consequentemente, a sua capacidade de retenção de água é limitada, exigindo métodos especiais de irrigação e turnos de rega frequentes.

### **d) Erodibilidade**

Os solos arenosos, de grande porosidade, absorvem toda chuva leve sem causar escoamento superficial e conseqüente erosão; mas em compensação, como possuem baixa proporção de partículas argilosas que atuam ligando e mantendo unidas as partículas grossas, com chuvas fortes, ao escorrer qualquer corrente de água resultando susceptíveis à erosão.

Atualmente não se verificam processos erosivos em áreas expressivas, devendo-se considerar que apenas uma pequena proporção da área estão sendo cultivadas com culturas de ciclo curto (subsistência e com horticultura).

### **Limitações de Topografia**

As características topográficas da área constituem fator limitante relevante. As terras classificadas como potencialmente irrigáveis apresentam relevo geral plano e suave ondulado bastante uniforme, com declives raramente ultrapassando 6%.

Do ponto de vista da irrigação, as condições de relevo não constituem limitação, mesmo porque os únicos métodos admissíveis são por aspersão ou irrigação localizada. As pequenas depressões alongadas e estreitas existentes na área poderão vir a constituir linhas básicas de drenagem e servirem como limites naturais na demarcação dos lotes.

Nas áreas mais declivosas deve-se dar maior atenção na prevenção de processos erosivos, já que os solos arenosos são muito susceptíveis à erosão, através de adoção de práticas de conservação de solos.

### **Limitações de drenagem**

Os solos dominantes na área e principalmente os irrigáveis, são profundos e muito profundos, de textura arenosa e não apresentam camadas restritivas ao movimento da água. Em decorrência dessas características não cabe esperar problemas de drenagem, resultando também muito improvável que venham a ocorrer quaisquer riscos de salinização. A alta taxa de infiltração, pelo contrário, deverá propiciar a lixiviação dos solos, fato que deve ser considerado na programação das adubações.

Nas condições naturais existem na área depressões estreitas alongadas que constituem drenos naturais; com a implantação da irrigação para as partes altas, recebam maior aporte de umidade, o que poderá proporcionar elevação de lençol freático.

### **5.8.3 Recomendações sobre o Aproveitamento Agrícola sob Irrigação da Área estudada:**

#### **a) Métodos de Irrigação**

As características dos solos excluem a possibilidade de aplicar sistemas de irrigação por superfície em decorrência das altas taxas de infiltração e baixa capacidade de retenção de água dos solos. Assim a seleção do método a aplicar na área, dentre os viáveis em função das características físico-hídricas dos solos, estará mais relacionadas a fatores econômico-financeiros e às culturas a serem implantadas.

Dentre os métodos de irrigação por aspersão, o convencional pode ser indicado para a área, permitindo a exploração de uma ampla faixa de cultivos.

Dentre os métodos de irrigação localizada, a microaspersão oferece condições muito convenientes para culturas permanentes, preferencialmente fruteiras, sendo especialmente recomendável para solos arenosos com alta taxa de infiltração, como os da área estudada. O sistema por gotejamento é também recomendável, tendo a vantagem de permitir a implantação de culturas variadas, anuais e perenes.

A fertirrigação poderá também ser utilizada nestes solos.

## **b) Aumento da Disponibilidade de Nutrientes**

A elevação da disponibilidade de nutrientes indispensáveis para as culturas deverá ser efetuada com a aplicação de calagem, adubos corretivos e adubos de manutenção. Estas aplicações serão quantificadas através de análises que visam avaliar a fertilidade da camada arável dos solos, e deverão ser realizadas antecedendo a implantação do projeto e, posteriormente, com uma certa periodicidade, para acompanhar o comportamento daqueles solos.

A calagem, tendo em vista o pH dos solos, deverá ser utilizada também para elevar os teores de cálcio e magnésio, que se encontram em níveis muito baixos. Para tanto, deverá ser utilizado calcário dolomítico.

A adubação corretiva visa elevar a fertilidade do solo, principalmente em fósforo e potássio, criando condições favoráveis de nutrição para todas as culturas que venham a ser utilizadas. Em virtude da extrema lixiviação a que estes solos são susceptíveis, as doses recomendadas com base nas análises deverão ser fracionadas em duas ou três vezes, sendo a primeira aplicada durante o preparo do solo que procederá o primeiro plantio (leguminosas para adubação verde). As restantes deverão ser aplicadas quando dos preparos de solo subsequentes.

A adubação de manutenção deverá ser feita antecedendo o plantio, de acordo com as necessidades de cada cultura a ser utilizada. Esta adubação visa repor os nutrientes retirados em cada colheita e funcionar como elemento de arrancada na fase inicial de crescimento da cultura, favorecendo-a na coerência com as plantas invasoras.

## **c) Aumento do Teor de Matéria Orgânica**

Esta será uma prática fundamental ao melhoramento das características físicas e químicas da camada dos solos, aumentando a capacidade de retenção de umidade e dos nutrientes que venham a ser incorporados através de adubações, liberando elementos nutritivos para as plantas durante sua mineração, facilitando as práticas de preparo e cultivo da terra, e diminuindo o desgaste das máquinas e implementos agrícolas, ocasionado pelas partículas minerais constituintes destes solos, como mencionado anteriormente.

Pode-se, seguramente, afirmar que o aumento dos teores de matéria orgânica, a um nível razoável, deverá ser a principal meta a ser atingida, visando uma exploração agrícola com resposta condizente a uma agricultura irrigada de nível avançado.

Este aumento, que se prevê alcançar de forma gradativa, deverá ser através de adubação verde, incorporação de restos culturais e estrume. Na área é comum a utilização da palha da carnaúba na adubação dos cultivos hortigranjeiros.

A prática de adubação verde deverá ser baseada na incorporação de leguminosas apropriadas para as condições climáticas da região, cultivada após uma adubação corretiva dos solos e com o emprego de adubação e manutenção adequadas.

A adição de restos culturais e de estrume deverá tornar-se uma prática rotineira após o início da exploração dos lotes agrícolas.

#### **d) Manejo do solo**

As práticas agrícolas a serem aplicadas na área deverão garantir a obtenção das maiores colheitas possíveis com a manutenção da produtividade das terras. Atenção especial deverá ser dada à textura arenosa dos solos, a qual constitui um dos principais condicionantes para o seu uso agrícola. Dentre tais práticas cabe destacar:

O uso de máquinas deve ser reduzido e cuidadosamente planejado afim de se evitar a degradação da bioestrutura do solo, a compactação, a maior exposição aos processos erosivos, etc., procurando-se realizar, quando necessário, o preparo do solo num ótimo estado de umidade, revolvendo-o o mínimo possível e de uma forma bastante superficial, devendo as operações serem realizadas com máquinas leves;

Os programas de desmatamento e limpeza do terreno para a implantação das culturas devem prever que o mesmo seja processado de forma gradual à medida que as terras vão sendo ocupadas pelas culturas, evitando-se que o solo fique desprotegido e exposto a efeitos prejudiciais da forte insolação e do vento, assim como deve-se evitar a remoção da camada superficial dos solos, haja visto que apresentam horizonte A pouco espesso e pobre em matéria orgânica;

Não há necessidade de cuidados especiais quanto à drenagem na maior parte da área, já que os solos apresentam permeabilidade alta e existem na área depressões que constituem drenos naturais. A aplicação do método por aspersão ou gotejamento também dispensará a necessidade de drenagem, já que os mesmos não proporcionam excedentes hídricos significativo.

#### **e) Produção de semente e mudas**

A incipiente experiência agrícola tornará obrigatória a importação de sementes nos primeiros estágios de implantação de quaisquer projeto hidroagrícola. Porém, razões de ordem econômica e mesmo exigências de natureza agrônômica sugerem necessidade imediata de campos para a produção de sementes e, especialmente, mudas para as plantações que venham a ser desenvolvidas na área, procurando espécies e variedades adaptadas às condições ecológicas locais que possam oferecer produções compensadoras com irrigação. Tais campos deverão ser desenvolvidos preferencialmente nas terras que apresentam melhores características agrícolas.

Superada a limitação do deficit hídrico por meio da irrigação, as áreas poderão produzir as mais variadas culturas tropicais, tanto de ciclo curto como permanentes, com a vantagem de se poder obter até mais de duas colheitas por ano com algumas culturas, haja visto a pequena variação de algumas características climáticas como temperatura, insolação e luminosidade. A escolha das culturas deverá obedecer pesquisas de mercado.

**Quadro 5.4: Resumo**

Unidade de solo	Classe da terra	Aptidão cultural	Área(ha)
RQo1 RQo2	S3s	Diversas culturas, tanto do ciclo curto como o de ciclo longo, bem como para fronteiras em geral (goiaba, manga, maracujá, acerola, graviola, uva, citrus, mamão, caju, coco, melancia, etc.). Grãos (amendoim, feijão, gergilim, milho, mamona).  Hortaliças (pimentão, tomate, alface, verduras foliares em geral).	972,00
RQo3	6s	Cultivos de subsistência em sequeiro milho, feijão, mandioca.	362,43
RRq e RU	6sd	Cultivo de capim em sequeiro para o gado e reserva natural.	658,5
<b>ÁREA TOTAL</b>			<b>1.992.93</b>

## 6 CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

---

## 6. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

Estudos geológico e geotécnico

Da campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

Prepondera no sítio de barramento o arenito fino, com ocorrências secundárias de siltito e argilito, estes na forma de estratos de espessura moderada. As características de coerência das camadas são muito variáveis, desde muito coerentes (C1-C2) até trechos pouco coerentes (C4) a incoerentes de solo (C5).

Embora os trechos pouco coerentes a incoerentes ocorram principalmente nas porções superiores das sondagens (primeiros 10 a 15 metros), podem também aparecer em profundidade maior, até o limite do alcance das sondagens (da ordem de 30 metros), como no caso das SM-01 e SM-11B.

Ocorrem também, nas sondagens, trechos de rocha muito fraturada e/ou em fragmentos. Na maioria dos casos, trata-se de rocha coerente, que foi submetida à atuação de esforços mecânicos decorrentes de agentes externos.

Deve-se, aqui, distinguir os trechos pouco coerentes a incoerentes dos trechos muito fraturados e/ou em fragmentos. Uma avaliação dos níveis de coerência realizada nas caixas de testemunhos das sondagens mostrou que horizontes de baixa coerência (C4/C5) ocorrem em quase todas as sondagens, em qualquer profundidade, com espessuras variáveis entre algumas dezenas de centímetros até muitos metros (SM-04, SM-08)

Quanto à permeabilidade do maciço rochoso de fundação, têm-se as seguintes observações:

Os cerca de 150 ensaios de permeabilidade realizados nas sondagens revelaram que a fundação da barragem é, em média, muito permeável. Em grande número de situações, os ensaios não puderam ser feitos, pela dificuldade em obturar-se o trecho, devido à fragilidade do material. Em diversas sondagens foi constatada a perda d'água de circulação, durante o avanço do equipamento de perfuração.

Numa avaliação das condições de fundação da barragem, sangradouro e canais associados, observamos que:

O maciço arenítico é adequado a servir de fundação para a barragem, após remoção do horizonte de solos superficiais, que alcança, em média, a espessura de um a dois metros, estando praticamente ausente em diversos trechos da área de implantação da barragem. Na presença de horizonte superficial de solos residuais de arenito, as escavações irão avançar até atingir níveis de consistência/compacidade que reflitam a boa capacidade de suporte.

Dadas as características de heterogeneidade do arenito referidas anteriormente, com a ocorrência de níveis e estratos inconsolidados, o projeto da barragem teve que lançar mão de diversos dispositivos para redução dos gradientes hidráulicos e controle de fluxo pela fundação.

As sondagens SM-16 e SM-19, as mais próximas do Creager, indicaram que na cota de assentamento da estrutura ocorre arenito coerente (C2/C3), com intercalações de material friável (C4) e/ou muito fraturado. Este quadro é favorável ao assentamento das estruturas, mas deverão ser necessários aprofundamentos localizados da superfície de fundação, para eliminação de bolsões de material inadequado.

A jusante da área de implantação do Creager, no trecho de encosta onde se desenvolve o rápido, que termina em uma bacia de dissipação, as investigações geológicas são escassas, limitadas às sondagens SM-17, SM-20 e SM-21. Trata-se de sondagens com 10 a 12 metros de extensão que, invariavelmente, mostram a alternância de trechos de rocha competente (C1 a C3), com trechos de material friável (C4/C5). Isso deverá acarretar na necessidade de revestimento integral do rápido por laje de concreto, com a implantação de um sistema de drenagem sob a laje, em espinha de peixe, além da ancoragem da própria laje.

As técnicas de investigação por geofísica buscaram respostas para questões relacionadas com a definição da cota de assentamento da bacia de dissipação, bem como para definição da profundidade de rocha removível com escarificador. Os dados obtidos com sísmica indicaram que o melhor local se situa na porção final do perfil investigado, entre as estacas 340 e 440 m. Com o esgotamento das quantidades de sondagem previstas no contrato do Consórcio, esta área ficou carente de investigações diretas (sondagens mecânicas), acarretando na concepção de um modelo geológico no projeto de fundação dos elementos dissipadores de energia do sangradouro, sem um embasamento mais consistente.

### **Estudos hidrológicos**

Os estudos hidrológicos teve como objetivos (1) estimar a sua capacidade de regularização dos Açudes Inhuçu (Eixo Sotero) e Lontras (Eixo I) e (2) estimar as cheias raras, com

períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, para a verificação da segurança das duas barragens.

Foram simulados três cenários de topologias – Lontras I isolado (Cenário A), Inhuçu-Sotero isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C). No Cenário A, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras I igual a 350 hm<sup>3</sup> (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário B, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm<sup>3</sup> (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm<sup>3</sup>, correspondente à cota que inunda o distrito de Barra de Sotero). O Cenário C foi dividido em sete sub-cenários – C1 a C7 - variando-se a capacidade do Açude Lontras entre 350 e 320 hm<sup>3</sup> e do Açude Inhuçu, entre 40 e 100 hm<sup>3</sup>, desde que o somatório das duas não excedesse a capacidade máxima conjunta de 420 hm<sup>3</sup>, estabelecida pelo Marco Regulatório (Resolução 547/2006 ANA/SRH-CE/SEMAR-PI).

Simulando-se os Cenários A, B e C para o Açude Lontras I, Inhuçu/Sotero e para o Sistema formado pelos dois reservatórios em série, observou-se que, para o Sistema, independentemente da topologia adotada para o Cenário C (sete alternativas), o mesmo se comporta hidrológicamente da mesma maneira, ou seja, regulariza algo em torno de 4,3 m<sup>3</sup>/s, devido à uma compensação entre os dois reservatórios, o que tornou possível a escolha da capacidade do Inhuçu-Sotero que melhor atendesse outros requisitos importantes, tais como manchas de solo. Sendo assim, o Cenário escolhido foi o C1, ou seja, aquele que considera o Açude Inhuçu com 40 hm<sup>3</sup> a montante do Açude Lontras, com 350 hm<sup>3</sup> de capacidade, regularizando 1,05 m<sup>3</sup>/s (Inhuçu-Sotero) e 3,2 m<sup>3</sup>/s (Lontras I).

Para dimensionamento dos vertedouros das duas barragens, utilizou-se o software HEC-HMS e considerou-se os dois reservatórios em série. Simulou-se o Açude Inhuçu com três larguras de vertedouro – 150, 170 e 200m. Observou-se que independentemente da largura escolhida, o amortecimento das cheias milenar e decamilenar é muito pequeno – abaixo de 6,9%, resultando em vazões efluentes muito próximas entre si. Isto já era evidenciado pela morfometria do lago, o qual apresenta um fator de forma (alfa) bem pequeno com aqueles normalmente encontrados nos reservatórios do Ceará. As lâminas da cheia milenar ficam em torno de 2m e as da decamilenar entre 2,9 e 3,4 metros.

A definição final da largura dos dois vertedouros ficará vinculada a considerações construtivas, mas observa-se que os valores de lâminas encontradas para as cheias decamilenares, em ambas as barragens, estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.



consórcio