



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**

*Secretaria dos Recursos Hídricos*

Frecheirinha



**Contrato N° 03/SRH/CE/2017**

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

**Etapa A2 - Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem**

**Volume I - Estudos Básicos**

**Tomo 1 - Relatório Geral**



Edição Final  
Novembro/2020



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

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

**ETAPA A2 - ESTUDOS BÁSICOS E ANTEPROJETO DA BARRAGEM**

**Volume I - Estudos Básicos**

**Tomo 1 - Relatório Geral**

---

## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

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

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

- **FASE A – ESTUDO DE VIABILIDADE**

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

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

- ✓ Tomo 1- Diagnóstico
- ✓ Tomo 2 – Detalhamento do Projeto de Reassentamento
- ✓ Tomo 3 – Relatório Final de Reassentamento

- **FASE C - PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**

- ✓ ETAPA C1 - Projeto Executivo da Barragem
  - Volume I - Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem
- ✓ ETAPA C2 - Instruir a elaboração do Certificado de Avaliação da sustentabilidade de Obra Hídrica – CERTOH
  - Volume I - Instruir a elaboração do Certificado de Avaliação da sustentabilidade de Obra Hídrica – CERTOH

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

O presente documento aborda os seguintes capítulos:

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



## ÍNDICE

### Página

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1. OBJETIVOS DESTES RELATÓRIO.....	16
<b>2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....</b>	<b>18</b>
<b>3. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. TRABALHOS CARTOGRÁFICOS.....	21
3.2. ESCOPO DOS SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS REALIZADOS.....	25
3.2.1. <i>Objetivo</i> .....	25
3.2.2. <i>Localização da área de trabalho</i> .....	25
3.3. MATERIAIS E ETAPAS DE TRABALHO.....	27
3.3.1. <i>Materiais</i> .....	27
3.3.2. <i>Etapas de Trabalho</i> .....	28
3.3.3. <i>Recebimento dos Dados</i> .....	28
3.3.4. <i>Planejamento de Campo</i> .....	29
3.3.5. <i>Processamento das Imagens e Geração do MDS</i> .....	30
3.3.6. <i>Conversão automática de MDS para MDT</i> .....	33
3.3.7. <i>Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível</i> .....	34
3.3.8. <i>Controle de Qualidade dos Dados</i> .....	35
<b>4. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS.....</b>	<b>37</b>
4.1. DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS.....	37
4.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	37
4.3. FORMA DE EXECUÇÃO.....	38
4.3.1. <i>Transporte de Coordenadas</i> .....	38
4.4. LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL PRINCIPAL.....	42
4.4.1. <i>Locação do eixo e Implantação de Marcos</i> .....	42
4.4.2. <i>Nivelamento</i> .....	42
4.4.3. <i>Levantamento das Seções Transversais</i> .....	43
4.5. LEVANTAMENTO DOS DIQUES AUXILIARES.....	43
4.5.1. <i>Locação dos eixos e Implantação de Marcos</i> .....	43



4.5.2.	<i>Levantamento das Seções Transversais</i> .....	44
4.6.	LEVANTAMENTO DO SANGRADOURO.....	46
4.6.1.	<i>Locação</i> .....	46
4.6.2.	<i>Nivelamento e Seções Transversais</i> .....	46
4.7.	LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS.....	47
4.7.1.	<i>Jazidas de Solos</i> .....	47
4.7.2.	<i>Areal</i> .....	48
4.7.3.	<i>Pedreira</i> .....	50
4.8.	LOCAÇÃO DAS TORRES DE ENERGIA E MEDIÇÃO DO CÁLCULO DAS CATENÁRIAS .....	52
<b>5.</b>	<b>ESTUDOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>55</b>
5.1.	GEOMORFOLOGIA .....	55
5.2.	GEOLOGIA REGIONAL.....	57
5.3.	GEOLOGIA LOCAL.....	63
5.4.	INVESTIGAÇÃO NO LOCAL DO BARRAMENTO .....	65
5.4.1.	<i>Sondagens realizadas</i> .....	65
5.4.2.	<i>Sondagens à Percussão</i> .....	68
5.4.3.	<i>Sondagens à Trado</i> .....	69
5.4.4.	<i>Sondagens Mistas</i> .....	70
5.4.5.	<i>Ensaios de Campo</i> .....	70
5.5.	INVESTIGAÇÃO NO LOCAL DO VERTEDOURO.....	72
5.5.1.	<i>Sondagens realizadas</i> .....	72
5.5.2.	<i>Ensaios de Campo</i> .....	74
5.6.	ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE SONDAGENS .....	74
5.7.	ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS .....	76
5.7.1.	<i>Jazidas de solo</i> .....	79
5.7.2.	<i>Areal</i> .....	92
5.7.3.	<i>Pedreira</i> .....	93
<b>6.</b>	<b>ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>96</b>
6.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	96
6.1.1.	<i>Caracterização Física da Bacia</i> .....	96
6.1.2.	<i>Topografia da bacia hidráulica (caracterização morfológica)</i> .....	97
6.1.3.	<i>Caracterização Climatológica</i> .....	99
6.2.	O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA .....	100
6.2.1.	<i>Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas</i> .....	100

6.2.2.	<i>Chuvas máximas com durações de 24 horas</i> .....	101
6.2.3.	<i>Chuvas Máximas com Duração de 1 hora</i> .....	102
6.2.4.	<i>Conversão da chuva pontual em chuva espacial</i> .....	103
6.2.5.	<i>Chuva de Projeto</i> .....	105
6.3.	ESTUDOS DE REGIME FLUVIAL .....	108
6.4.	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO .....	111
6.4.1.	<i>Vazão Regularizada do Reservatório</i> .....	111
6.4.2.	<i>Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório</i> .....	113
6.5.	ESTUDO DE CHEIAS .....	115
6.5.1.	<i>Determinação da precipitação efetiva (PE)</i> .....	116
6.5.2.	<i>Dimensionamento do Vertedouro – Amortecimento das cheias milenar e decamilenar</i> .....	117
6.5.3.	<i>Verificação da curva cota x área x volume</i> .....	118
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS</b> .....	<b>121</b>
7.1.	ESTUDOS GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO .....	121
7.1.1.	<i>Eixo do Barramento</i> .....	121
7.1.2.	<i>Eixo do Vertedouro</i> .....	130
7.1.3.	<i>Materiais Construtivos</i> .....	134
7.2.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....	135

## LISTA DE FIGURAS

### Páginas

Figura 2.1: Mapa de localização e acesso da Área de abrangência do Estudo .....	19
Figura 3.1: Exemplo da metodologia utilizada para delimitação da bacia hidrográfica .....	22
Figura 3.2: Bacia Hidrográfica – Rede de Drenagem .....	23
Figura 3.3: Bacia Hidrográfica – Mapa de Declividade .....	24
Figura 3.4: Localização da Área de trabalho.....	26
Figura 3.5: Distribuição das Cenas .....	27
Figura 3.6: Fluxograma com o Detalhamento da Metodologia .....	28
Figura 3.7: Exemplo de um dos croquis de campo utilizados.....	30
Figura 3.8: Esquema De Geração De Mosaico De Imagens.....	33
Figura 3.9: MDT Gerado a Partir da Conversão Automática do MDS .....	34
Figura 3.10: Trecho de Curvas de Nível extraídas a partir do MDT gerado .....	35
Figura 4.1: Referência de Nível do IBGE, utilizado para transporte e embasamento do nivelamento da Barragem.....	39
Figura 4.2: Relatório de Estação Geodésica.....	39
Figura 4.3: Relatório do processo de transporte de coordenadas pelo método do Posicionamento por ponto preciso – PPP .....	40
Figura 4.4: Desvio padrão obtido pelo transporte de coordenadas através do método de Posicionamento Por Ponto Preciso – PPP .....	41
Figura 4.5: Levantamento da barragem e sangradouro.....	53
Figura 5.1: Mapa de localização da Ibiapaba setentrional. Fonte: Moura Fé – 2015.....	56
Figura 5.2: Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999).....	58

Figura 5.3: Mapa geológico regional do Domínio Médio Coreaú, NW do Estado do Ceará. Fonte: modificado..	62
Figura 5.4: Localização dos Furos na Barragem. ....	67
Figura 5.5: Localização dos Furos no Vertedouro .....	73
Figura 5.6: Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Frecheirinha .....	78
Figura 5.7: Possível área-fonte de areia (Areal) .....	93
Figura 5.8: Possível área-fonte de rocha para enrocamento (Pedreira).....	94
Figura 6.1: Curva Hipsométrica da bacia .....	97
Figura 6.2: Gráfico de cota x volume do açude Frecheirinha .....	99
Figura 6.3: Isozonas de igual relação (fonte: torrico, 1975).....	101
Figura 6.4: Curva intensidade-duração-frequência para a bacia da Barragem Frecheirinha, com $tr= 1.000$ e $10.000$ anos. ....	104
Figura 6.5: Chuva balanceada - $Tr=1.000$ anos.....	106
Figura 6.6: Chuva balanceada - $Tr=10.000$ anos.....	107
Figura 6.7: Diagrama triangular de regularização do Frecheirinha.....	112
Figura 6.8: Curvas cota x área x volume da TPF e da SIRAC.....	118
Figura 6.9: Comparação entre os Hidrogramas Efluentes da Barragem Frecheirinha: CAV TPF x CAV SIRAC ...	119

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Dados Físicos da Bacia da Barragem Frecheirinha.....	22
Quadro 4.1: Relação de Marcos no Eixo Principal da Barragem.....	42
Quadro 4.2: Seções transversais do dique 01 .....	45
Quadro 4.3: Seções transversais do dique 02 .....	45
Quadro 4.4: Seções transversais do dique 03 .....	45
Quadro 4.5: Resumo dos Levantamentos das Jazidas.....	48
Quadro 4.6: Resumo do boletim de campo do areal.....	49
Quadro 4.7: Volume do Areal .....	50
Quadro 4.8: Levantamento topográfico de pontos na Pedreira 01 .....	51
Quadro 5.1 - Investigação Geotécnica nos Eixos da Barragem Freicherinha – SPT .....	68
Quadro 5.2 - Investigação Geotécnica no Eixo 03 da Barragem Freicherinha – Sondagem à Trado.....	69
Quadro 5.3 - Investigação Geotécnica no Eixo 01 da Barragem Freicherinha – Sondagem Mista.....	70
Quadro 5.4: Investigação Geotécnica no eixo da Barragem Freicherinha – ensaios de Lugeon.....	71
Quadro 5.5 - Investigação Geotécnica do Vertedouro da Barragem Frecheirinha.....	72
Quadro 5.6 - Investigação Geotécnica nos eixos dos vertedores da Barragem Freicherinha – ensaios de Lugeon.....	74
Quadro 5.7 - Volume de Materiais das Jazidas .....	79
Quadro 5.8 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 01 .....	80
Quadro 5.9 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 02.....	81
Quadro 5.10 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 03.....	82
Quadro 5.11 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 04.....	83
Quadro 5.12 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 05.....	84

Quadro 5.13 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 06 .....	85
Quadro 5.14 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 07 .....	86
Quadro 5.15 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 08 .....	87
Quadro 5.16 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 09 .....	88
Quadro 5.17 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 10 .....	89
Quadro 5.18: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 01 .....	90
Quadro 5.19: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 02 .....	90
Quadro 5.20: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03 .....	90
Quadro 5.21: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04 .....	90
Quadro 5.22: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05 .....	91
Quadro 5.23: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 06 .....	91
Quadro 5.24: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 07 .....	91
Quadro 5.25: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 08 .....	91
Quadro 5.26: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09 .....	91
Quadro 5.27: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 10 .....	91
Quadro 5.28: Resumo do boletim de campo do areal.....	92
Quadro 6.1: Dados Físicos da Bacia do Açude (Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha).....	96
Quadro 6.2: Cota x Área x Volume.....	98
Quadro 6.3: Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas (°C).....	100
Quadro 6.4: Precipitação máxima (mm) com durações de 1 dia para os períodos de retorno de 1.000 anos e 10.000 anos, seguindo a distribuição Lognormal.....	102
Quadro 6.5: Precipitações máximas com duração de 24horas (em milímetros) .....	102

Quadro 6.6: Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos .....	102
Quadro 6.7: 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 da Barragem Frecheirinha .....	103
Quadro 6.8: Distribuição acumulada da chuva sobre a bacia da Barragem Frecheirinha, a cada intervalo de 1 hora.....	105
Quadro 6.9: Chuva de projeto balanceada – Tr= 1.000 anos e 10.000 anos .....	107
Quadro 6.10: Série fluviométrica pseudo-histórica afluente ao reservatório Frecheirinha em m <sup>3</sup> /s. ....	109
Quadro 6.11: Cálculo do volume anual regularizado .....	113
Quadro 6.12: Estimativa de custo da Barragem Frecheirinha para diferentes alturas .....	114
Quadro 6.13: Cálculo do custo do volume regularizado .....	114
Quadro 6.14: Resultados dos estudos de cheia Tr=1.000 anos.....	117
Quadro 6.15: resultados dos estudos de cheia Tr=10.000 anos .....	117
Quadro 7.1: Síntese das sondagens realizadas na ombreira esquerda.....	121
Quadro 7.2: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída nos perfis de sondagem da ombreira esquerda (em metros perfurados).....	122
Quadro 7.3: Síntese das sondagens realizadas na ombreira direita .....	124
Quadro 7.4: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída para os perfis de sondagem da ombreira direita (em metros perfurados).....	125
Quadro 7.5: Síntese das sondagens realizadas no terraço aluvionar .....	127
Quadro 7.6: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída nos perfis de sondagem do terraço aluvionar (em metros perfurados) .....	129
Quadro 7.7: Síntese das sondagens realizadas nos locais do vertedouro .....	130
Quadro 7.8: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída nos perfis de sondagem dos eixos do vertedouro (em metros perfurados) .....	131

## 1. INTRODUÇÃO

---



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. OBJETIVOS DESTE RELATÓRIO

Este relatório denominado **Tomo 1 – Relatório Geral** compõe um dos produtos da **Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem Frecheirinha** na abrangência do Contrato nº 03/SRH 2017, que tem como objetivo a “Contratação de Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos de Viabilidade, Estudos Ambientais (EIA-RIMA), Levantamento Cadastral, Plano de Reassentamento e Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha, no Município de Frecheirinha, no Estado do Ceará, firmado entre a SRH-Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a Empresa TPF Engenharia Ltda.

A finalidade deste é fazer a apresentação à SRH do resumo dos Estudos Básicos realizados, que serviram de base para a Elaboração do Anteprojeto e que poderão ser complementados por estudos adicionais, que se mostrem necessários para o detalhamento do Projeto Executivo da barragem Frecheirinha.

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

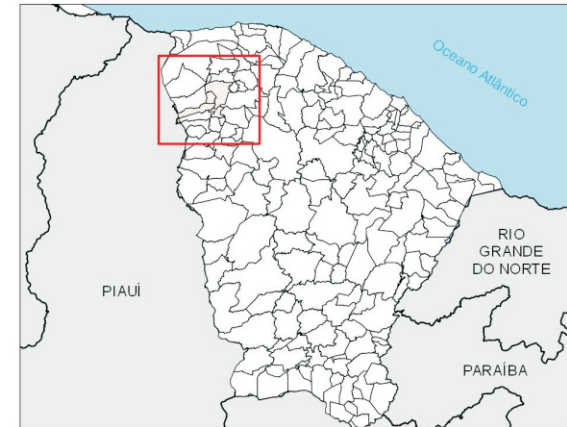
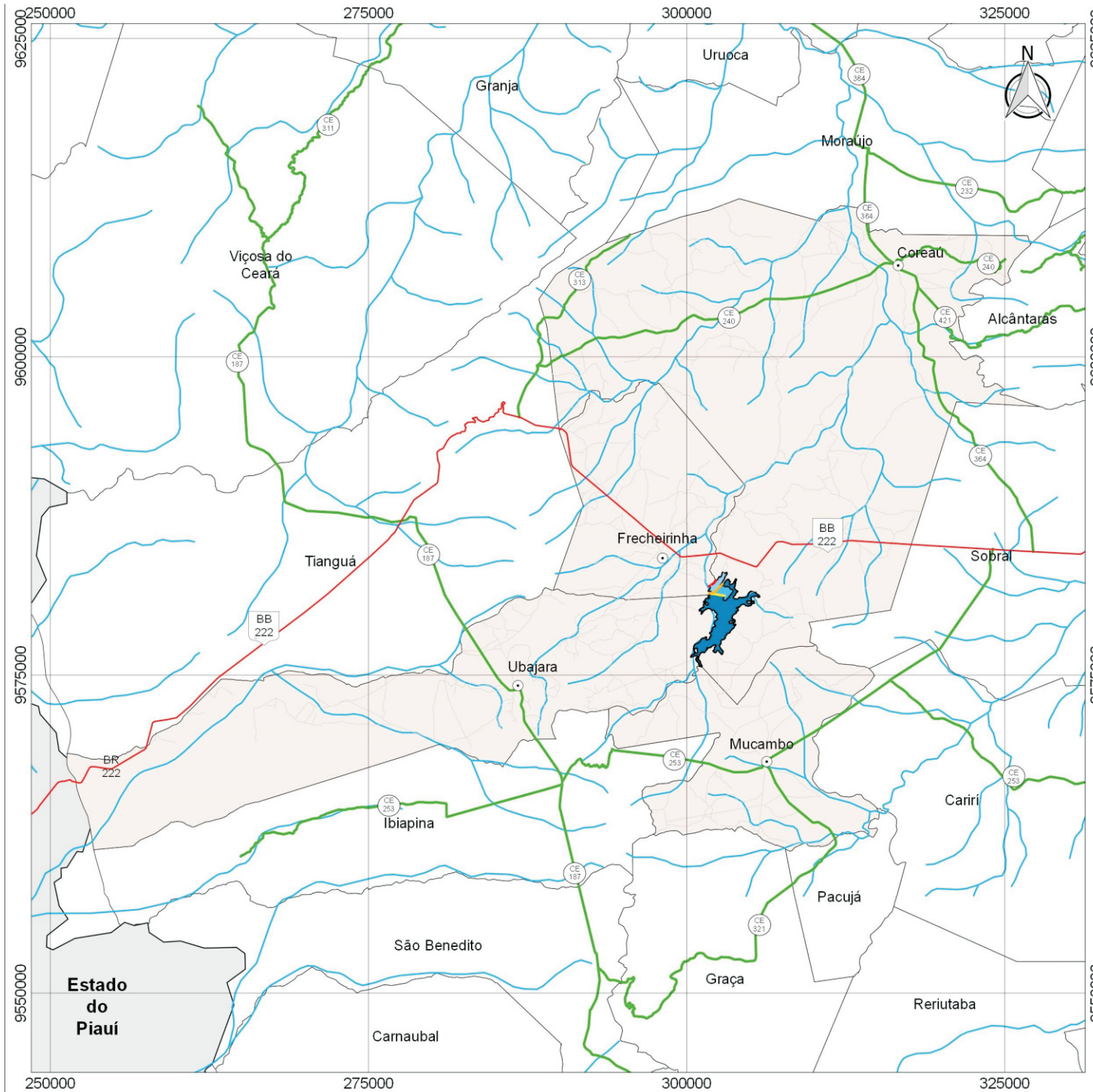
---

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

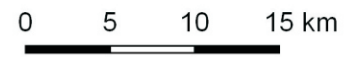
A Barragem Frecheirinha será formada pelo barramento do riacho Caiçaras, afluente do rio Coreaú, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Frecheirinha, Coreaú, Ubajara e Mucambo. A barragem fechará o boqueirão existente nas imediações da localidade de Caiçara de Cima, no município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

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

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



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



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

Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha  
 Estudo de Viabilidade Ambiental

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

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

### **3. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS**

---

### 3. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

#### 3.1. Trabalhos Cartográficos

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

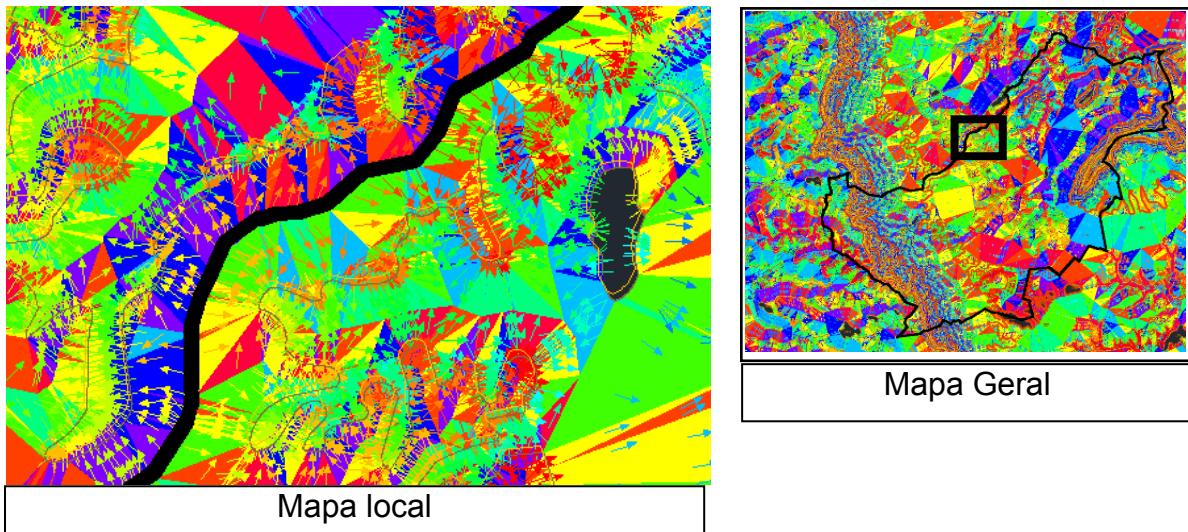
As cartas topográficas utilizadas foram:

- Frecheirinha: nº SA-24-Y-C-VI

Para a identificação das alternativas de localização do eixo da Barragem Frecheirinha, utilizou-se a base cartográfica de Frecheirinha, que também permitiu o inventário das áreas dos possíveis reservatórios, identificando-se a rede de rodovias existente, a infraestrutura relevante como redes elétricas, açudes e escolas, as ocorrências de materiais construtivos, núcleos urbanos, o sistema de drenagem principal e pontos de possíveis fugas.

Empregando ferramentas computacionais como o AUTOCAD CIVIL 3D, gerou-se um modelo digital do terreno - MDT da área de estudo, com curvas altimétricas interpoladas a cada 10 metros, permitindo o traçado automático dos divisores de água e vetores de declividade do terreno local.

O mapeamento das regiões de declividades do terreno propiciou uma maior precisão para a delimitação da bacia de contribuição, como pode-se observar na **Figura 3.1** a seguir, que apresenta o exemplo de um determinado local do contorno da bacia, no qual é possível verificar o perfeito traçado dos limites sobre os divisores de declividade gerado automaticamente pelo AUTOCAD CIVIL 3D.



**Figura 3.1: Exemplo da metodologia utilizada para delimitação da bacia hidrográfica**

Além da delimitação topográfica, a bacia foi aferida e ajustada através da base de hidrografia unifilar disponibilizada pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Na **Figura 3.2** é apresentado o traçado da bacia, em conformidade com a hidrografia unifilar e na **Figura 3.3** é mostrado o mapa de declividades da área de estudo em conformidade com os limites hidrográficos estabelecidos.

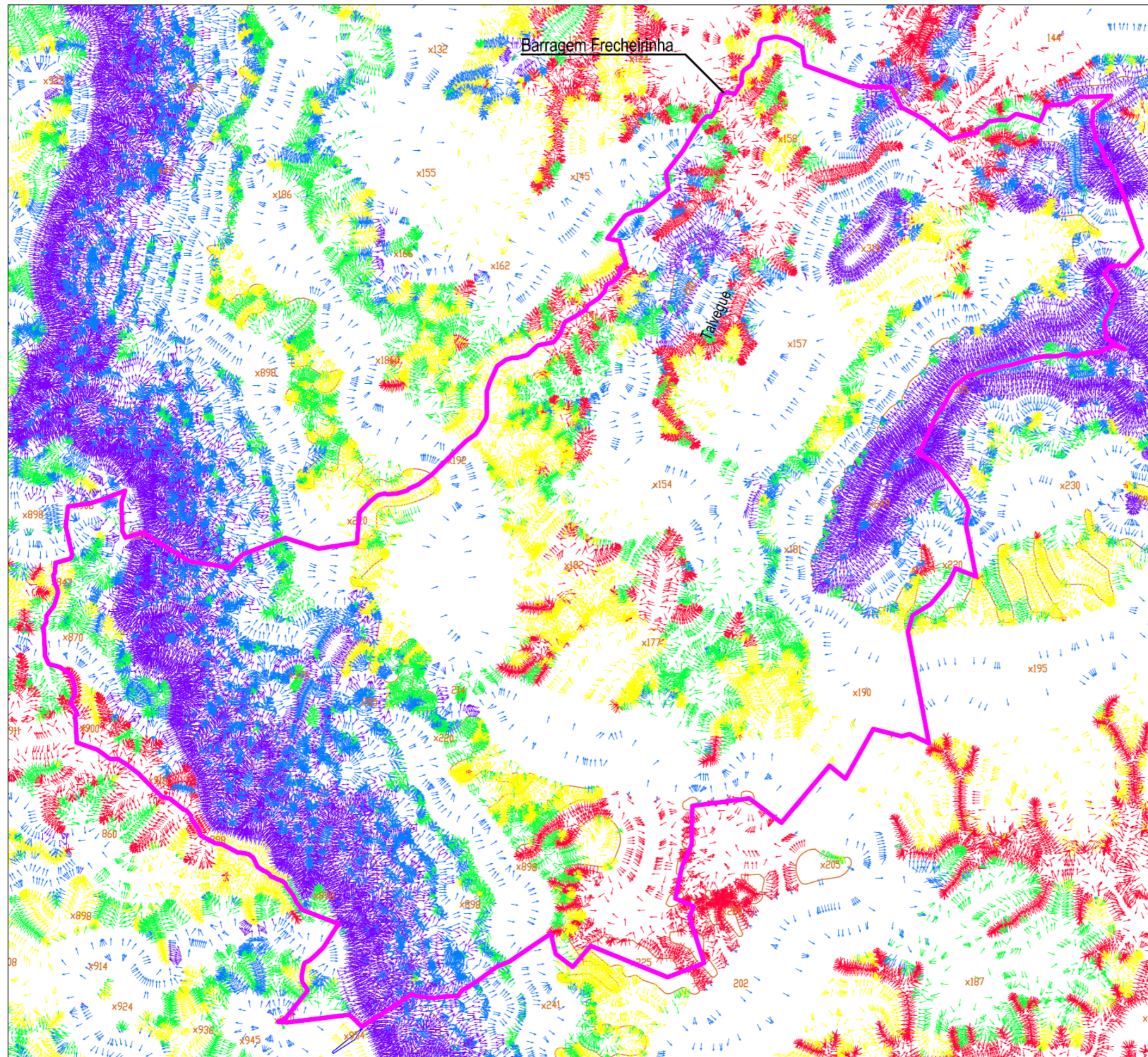
No **Quadro 3.1** a seguir é apresentado um resumo das características físicas da bacia.

**Quadro 3.1: Dados Físicos da Bacia da Barragem Frecheirinha**

Área da bacia Hidrográfica(Km <sup>2</sup> )	Perímetro da bacia Hidrográfica(Km)	Comprimento do rio (km)	Cota do Talvegue à montante(m)	Cota do Talvegue à jusante(m)
198,5	82,1	28,9	900	120










N

**Legenda:**

-  Contorno da bacia hidrográfica
-  Vetores de declividade
-  Curvas de nível

**Dados da Bacia:**

Área: 198,5 km<sup>2</sup>  
 Perímetro: 82,1 km  
 Comprimento talvegue: 24,6 km

**Observações**

- Datum: Sirgas 2000
- Base cartográfica: SUDENE, Folha MI-680
- Curvas de nível interpoladas a cada 10m

<b>ESCALA:</b>	<b>Nº DESENHO</b>
1:75.000	Figura 3.3
<b>DATA:</b>	
01/09/2017	
<b>TITULO</b>	
<b>BACIA HIDROGRÁFICA MAPA DE DECLIVIDADE</b>	

## 3.2. Escopo dos Serviços Cartográficos Realizados

A TPF contratou a Threetek Soluções em Geomática para o processamento, geração de Modelo Digital de Elevação e extração Curvas de Nível e Interpretação a partir de imagens de alta resolução do satélite Kompsat 3Ay de área situada no Ceará.

### 3.2.1. *Objetivo*

Descrever as etapas de trabalho que foram empregadas na realização do trabalho.

### 3.2.2. *Localização da área de trabalho*

A área de trabalho é delimitada pelas seguintes coordenadas UTM, Fuso 24, Hemisfério Sul:

302658,941 E, 9584806,919 N;

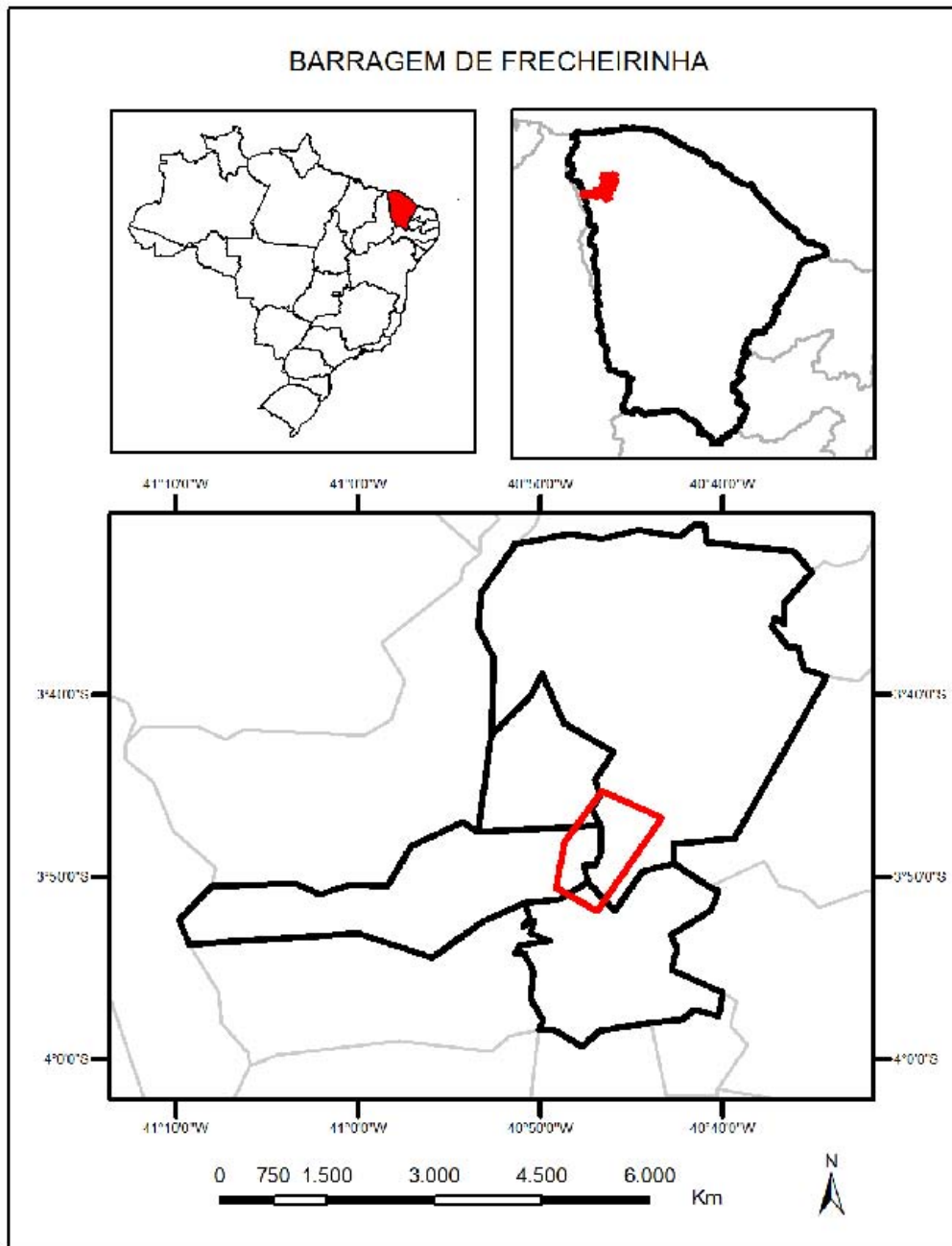
308699,909 E, 9582118,041 N;

302182,057 E, 9572643,082 N;

298031,018 E, 9575024,098 N;

298857,982 E, 9579591,901 N.

Na **Figura 3.4** é possível observar a localização da área de trabalho.



**Figura 3.4: Localização da Área de trabalho**

### 3.3. Materiais e Etapas de Trabalho

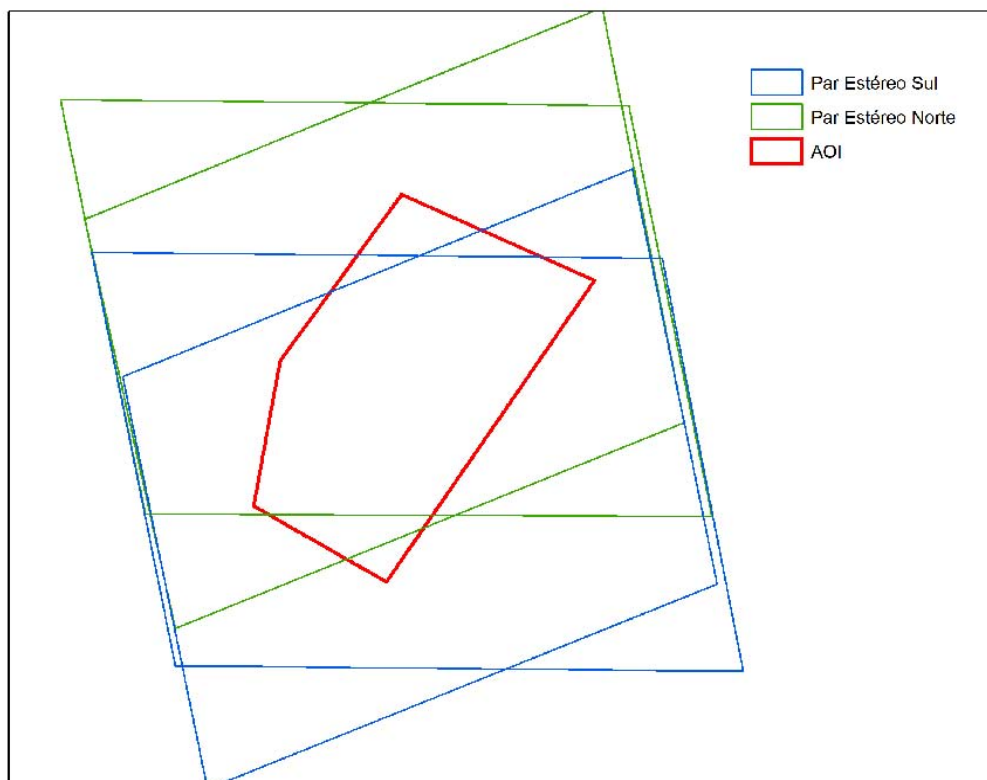
Neste capítulo estão descritos os materiais e as etapas empregadas neste trabalho.

#### 3.3.1. Materiais

A seguir é apresentada a descrição geral dos materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho:

- 4 (quatro) cenas do satélite Kompsat 3A (dois) pares estéreos - todas elas com 4 (quatro) bandas multiespectrais de 40 (quarenta) centímetros de resolução espacial, no formato 11 bits, Datum WGS 1984 e distribuídas conforme a **Figura 3.5**.

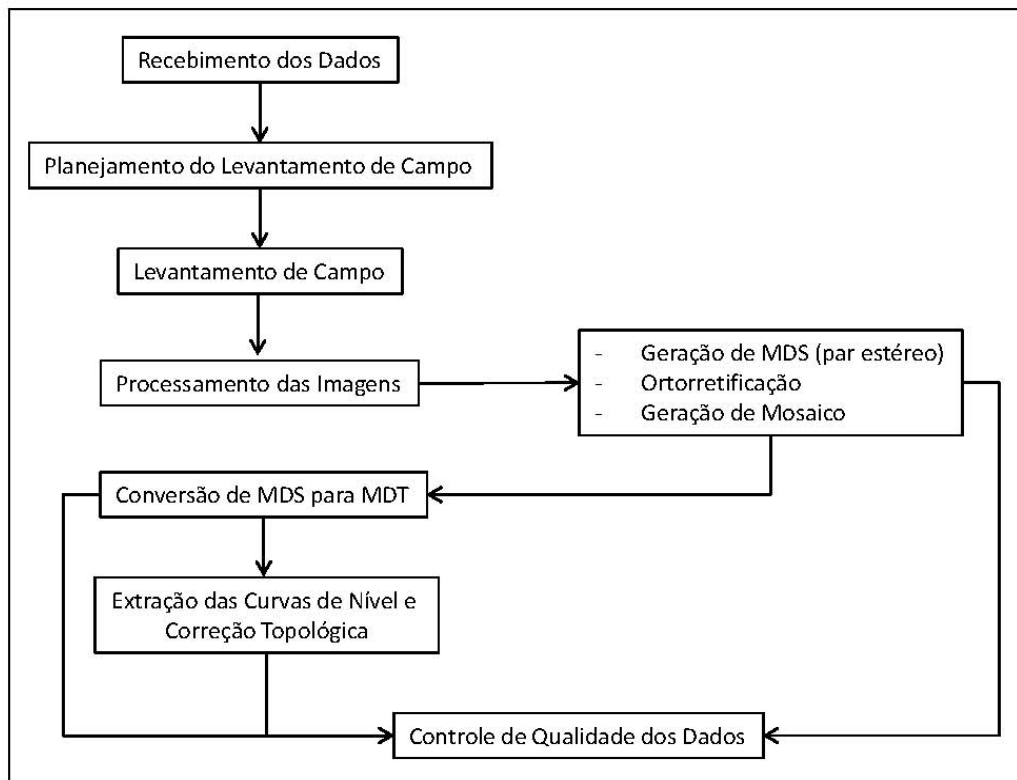
Data de aquisição das imagens: 30 de Julho de 2017



**Figura 3.5: Distribuição das Cenas**

### 3.3.2. Etapas de Trabalho

O trabalho consistiu basicamente em 07 (sete) etapas distintas: 1) Recebimento dos dados; 2) Planejamento do Levantamento de Campo; 3) Levantamento de Campo; 4) Processamento das Imagens (Geração do Modelo Digital de Superfície - MDS, Ortorretificação e Geração de Mosaico); 5) Conversão de MDS para MDT (Modelo Digital de Terreno); 6) Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível e 7) Controle de Qualidade dos Dados. Na **Figura 3.6** é possível visualizar o fluxograma com o detalhamento da metodologia.



**Figura 3.6: Fluxograma com o Detalhamento da Metodologia**

### 3.3.3. Recebimento dos Dados

Esta etapa englobou a avaliação e organização dos dados Kompsat 3<sup>a</sup> fornecidos. Segue exemplo de um dos croquis de campo utilizados.

### **3.3.4. Planejamento de Campo**

Nesta etapa foi elaborada a logística de apoio de campo, seleção das áreas de coleta dos pontos de apoio de campo e elaboração dos seus respectivos croquis de localização.

O levantamento de campo realizado pela contratante englobou as seguintes atividades:

- a) Mobilização e deslocamento da equipe para a área de trabalho;
- b) Planejamento das medições dos pontos objetos, conforme indicação inequívoca da localização dos pontos a serem medidos, constando da indicação detalhada da feição correspondente no croqui de localização;
- c) Planejamento das medições com identificação dos pontos a serem usados como referência para a medição GPS no modo relativo.
- d) Medição dos pontos materializados para servir de apoio à medição dos pontos objetos. Foram utilizados receptores GPS geodésico;
- e) Medição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro dos pontos de controle para apoio terrestre do mapeamento por imagens, com receptores GPS geodésico e topográfico;
- f) Processamento dos dados da medição GPS, com avaliação dos resultados.



**Figura 3.7: Exemplo de um dos croquis de campo utilizados**

### **3.3.5. Processamento das Imagens e Geração do MDS**

Segue abaixo a descrição dos procedimentos de processamento digital de imagens realizados:

- a) Geração das Composições Coloridas - Foram geradas 4 (quatro) composições coloridas com informações de órbita do satélite e importação dos RPCs (Coeficientes Racionais Polinomiais). Neste procedimento foram consideradas as bandas RGB e NIR (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo), todas agrupadas em um único arquivo.

- b) Ortorretificação das Imagens e Geração de MDS - Foram realizadas as seguintes etapas: coleta de pontos de ligação (Tie Points- TPs); coletas de pontos de controle (GCPs), geração de Modelo Digital de Superfície (MDS) e ortorretificação das imagens.
- b.1) Coletas de TPs: Primeiramente, foi criado um projeto de ortorretificação englobando todas as cenas Kompsat 3A e seus respectivos RPCs (para maiores informações sobre o arquivo RPC consultar o item b.5). Na segunda etapa, foram coletados pontos de ligação (TPs) na área de sobreposição entre as imagens do mesmo par estereoscópio e entre os diferentes pares.
- b.2) Coleta de Pontos de Controle: Tendo sido coletados os TPs, o próximo passo foi coletar pontos de controle (GCPs). Para tal, utilizou-se os pontos de apoio levantados em campo por D GPS. O relatório com os erros médios residuais obtidos para cada GCP utilizado encontra-se anexado à este documento.
- b.3) Geração do MDS- Após a coleta de TPs e GCPs foram gerados os 2 (dois) pares epipolares Kompsat 3A e, posteriormente, o MDS. Na geração deste último, considerou-se, além dos pares epipolares, os TPs, os GCPs e as informações do arquivo RPC das imagens.
- b.4) Ortorretificação das Imagens - após realizada a coleta de GCPs/TPs, o passo seguinte foi realizar a ortorretificação das cenas adquiridas com maior ângulo de elevação utilizando o MDS e o arquivo Rational Polinomial Coeficiente (RPC), o qual simula as efemérides e atitude do sensor no momento do imageamento. O RPC aliado a um MDE (MDS ou MDT) permite ao usuário corrigir os deslocamentos dos pixels de uma imagem devido ao relevo com resultados significativos sem a necessidade de se coletar pontos de controle no terreno (DIAL et. al., 2002). A maior ou menor precisão do posicionamento de um pixel em uma imagem corrigida pelo modelo RPC vai depender também da escala dos dados altimétricos utilizados para elaborar o MDE e da declividade da área imageada (SILVA e VERGARA, 2005). Desta forma, vale destacar que a coleta de pontos de controle citada no item anterior, foi imprescindível para garantir a acurácia do MDE e da ortorretificação. Durante esta

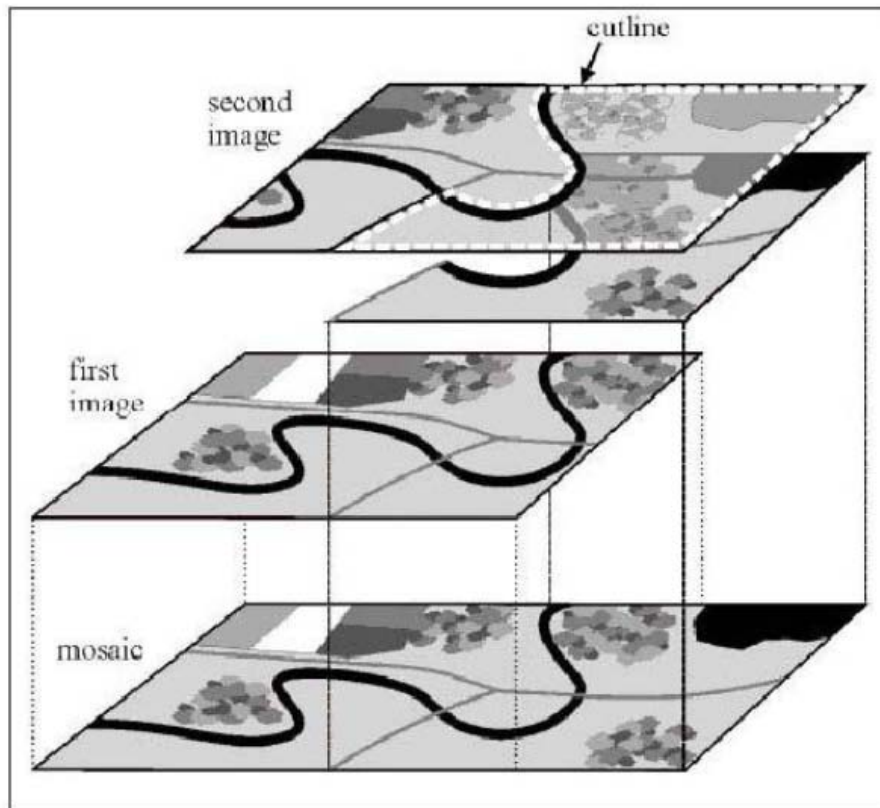


etapa de ortorretificação, as referências geodésicas das imagens de saída foram convertidos para SIRGAS 2000.

- c) Geração de mosaico de cenas adjacentes - o mosaico de imagens consiste na junção de duas ou mais imagens com sobreposição para a criação de uma única imagem uniforme (**Figura 3.8**). Basicamente, trata-se de criar uma "colcha de retalhos" com diversas imagens e, então, fazer desaparecer as junções através de procedimentos de equalização e mistura de pixels.

Para que o mosaico pareça uma única imagem, ao invés de uma colagem, é importante que as imagens se encaixem bem. Os melhores resultados são sempre obtidos com imagens ortorretificadas. Usando-se um modelo matemático rigoroso assegura-se o melhor encaixe não só das imagens individuais, mas também das imagens reunidas como um todo.

A primeira etapa da geração do mosaico consistiu na elaboração das linhas de corte (vetor que delimita a área da imagem a ser inserida no mosaico), priorizando as áreas de menores deslocamentos entre as imagens. Na etapa seguinte, foram coletadas amostras na área de sobreposição entre as imagens de forma a equilibrar as cores do mosaico, tornando-o homogêneo.

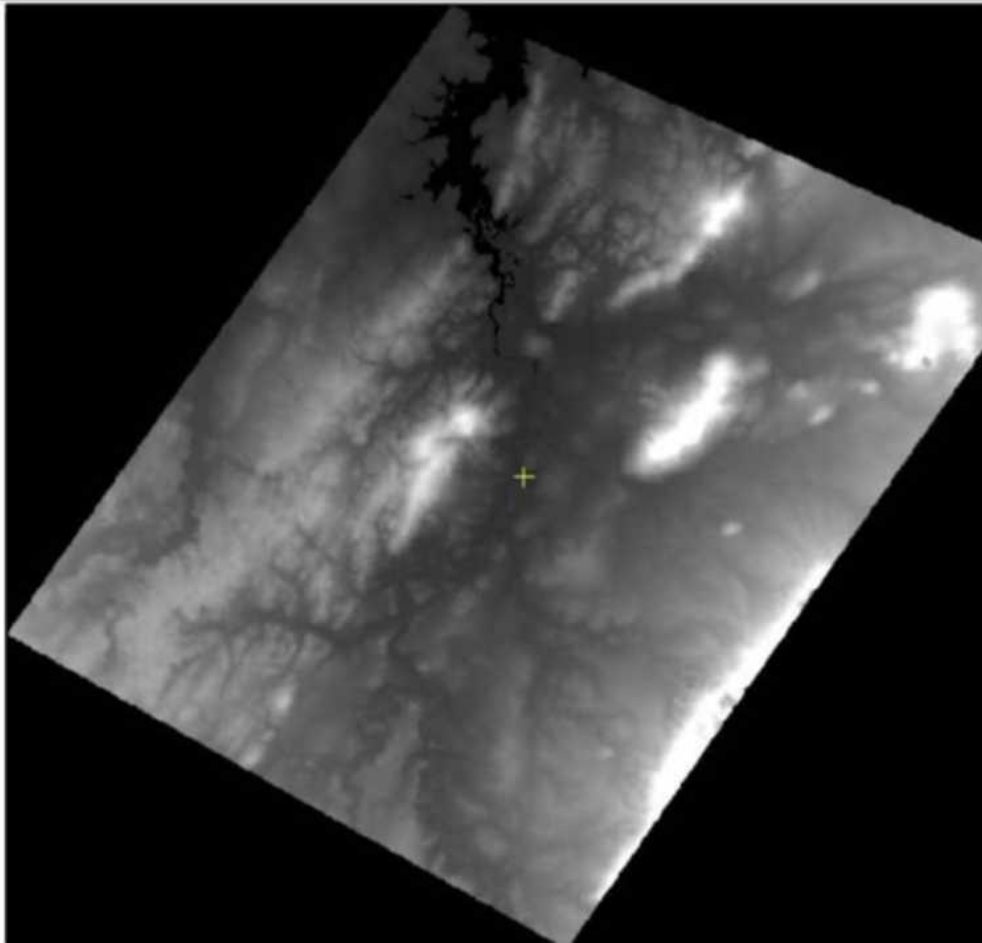


**Figura 3.8: Esquema De Geração De Mosaico De Imagens**

- d) Processamentos finais das imagens - ao término da geração do mosaico foram realizados os procedimentos de realce de contraste e conversão para o formato GeoTIFF

### **3.3.6. Conversão automática de MDS para MDT**

De forma a reduzir ao máximo a altura de feições elevadas, tais como edificações e copa das árvores, foi aplicado sobre o MDS gerado um algoritmo interpolador específico. Este algoritmo considera: a) a dimensão em pixels dos objetos a serem removidos; b) o limite de declividade no qual os objetos são tratados como feições no terreno e, portanto, não são removidos; c) Tamanho, em pixels, dos filtros que serão utilizados na interpolação para reduzir as falhas geradas pela remoção de objetos e d) tamanho, em pixels, que serão utilizados no filtro de mediana, aplicado na suavização final do produto (**Figura 3.9**).



**Figura 3.9: MDT Gerado a Partir da Conversão Automática do MDS**

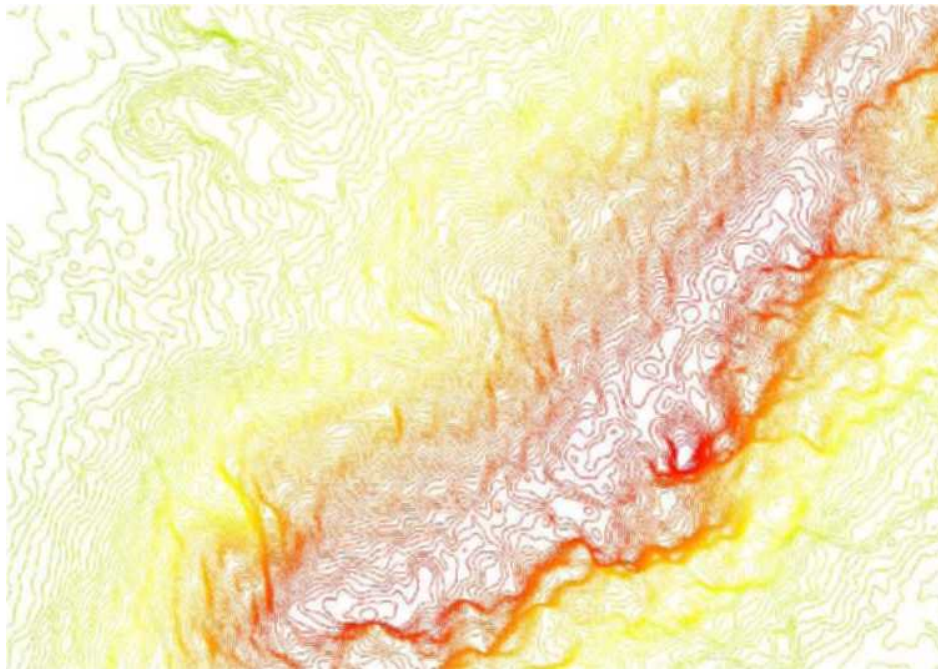
### ***3.3.7. Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível***

As curvas de nível foram extraídas, automaticamente, a cada 2 metros de altura, com base no MDT gerado. Alguns ruídos vetorizados automaticamente foram excluídos do arquivo vetorial (shapefile). As linhas sofreram um processo automático de suavização e, posteriormente, foram submetidas ao processo de correção topológica, conforme as seguintes regras:

- Não devem existir sobreposição de linhas
- Não devem existir interseção de linhas
- Não devem existir quebras ao longo das linhas
- Linhas de mesma cota devem estar conectadas

- Não devem existir linhas duplicadas
- Cada linha deve ser uma única feição

O resultado final é apresentado na **Figura 3.10**.



**Figura 3.10: Trecho de Curvas de Nível extraídas a partir do MDT gerado**

### ***3.3.8. Controle de Qualidade dos Dados***

Para verificação da ortorretificação foram analisados os Erros Médios Residuais (RMS) dos pontos coletados em campo através de DGPS.

No que se refere ao mosaico final, foi realizada uma verificação para assegurar que não houve desequilíbrio de cores e deslocamentos entre as cenas que o compõem.

No que se refere as curvas de nível, foram realizadas as etapas de validação topológica, conforme regras mencionadas no item 3.3.7.

Para avaliação / validação da cota altimétrica do MDT gerado, foram utilizados pontos levantados em campo por DGPS não aplicados na geração dos produtos e o relatório de Erros Médios Residuais (anexo a este relatório).

## 4. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

---

## **4. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS**

### **4.1. DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS**

Os serviços executados na área da barragem em questão seguiram as orientações preconizadas nos Termos de Referência e abrangeram os seguintes trabalhos topográficos:

- Implantação de 8 marcos de apoio em concreto;
- Locação e abertura de picadas do eixo da Barragem Principal, eixos das barragens auxiliares (diques 1, 2 e 3), eixo do sangradouro e canais de emboque e restituição;
- Georreferenciamento dos marcos de apoio para implantação do eixo barrável;
- Transporte de coordenadas e referencial vertical do nivelamento geométrico;
- Locação, nivelamento e contranivelamento geométrico do eixo barrável, com estaqueamento a cada 20,0m e levantamento de seções transversais com faixa de domínio de 200,00 metros para jusante e montante;
- Locação dos eixos e implantação de marcos, nivelamento e levantamento das seções transversais dos diques 1, 2 e 3;
- Locação dos eixos e implantação de marcos, nivelamento e levantamento das seções longitudinal e transversais dos sangradores (1 e 2);
- Levantamento das bases e catenárias das linhas de transmissão da CHESF;
- Locação das Áreas de Empréstimo e Locação dos furos de sondagem;
- Cálculos e elaboração dos desenhos topográficos.

### **4.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

Os equipamentos utilizados em campo para o levantamento topográfico dos eixos, diques e região do sangradouro da Barragem Frecheirinha foram:

- ✓ GPS Geodésico de dupla frequência L1 e L2 – RTK, precisão horizontal 3mm + 0,5 ppm e vertical 3mm + 0,5 ppm.
- ✓ Estação Total – Modelo CTS 3005 W, com precisão angular de 5” e linear de 1mm, Marca TOPOCON.
- ✓ Nível Topográfico – Modelo AT-G6, com precisão 1,5mm/ km, da marca TOPOCON.

### 4.3. FORMA DE EXECUÇÃO

#### 4.3.1. *Transporte de Coordenadas*

Os serviços de levantamento topográfico tiveram início com a realização do transporte de coordenadas geográficas, através da utilização de GPS Geodésico de dupla frequência, L1 e L2, amarrados na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, seguido do transporte de nível através do Referencial de Nível do IBGE.

O Referencial de Nível RN 1655L do IBGE foi utilizado para implantar na superfície do terreno um referencial vertical do nivelamento geométrico a ser adotado na barragem, conforme **Figura 4.1** a seguir. O Datum utilizado foi o SIRGAS 2000.

O relatório da estação geodésica pode ser observado na **Figura 4.2** enquanto o relatório de processamento pode ser visto na **Figura 4.3** sendo utilizado o método do Posicionamento por Ponto Preciso – PPP, apresentado na **Figura 4.4**, onde é possível ver o desvio padrão obtido nesta operação.



Figura 4.1: Referência de Nível do IBGE, utilizado para transporte e embasamento do nivelamento da Barragem.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1655L	Nome da Estação :	1655L	Tipo :	Referência de Nível - RN
Município :	FRECHEIRINHA			UF :	CE
Última Visita:	03/09/2009	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	03° 45' 33" S	Altitude Ortométrica(m)	116,5999	Gravidade(mGal)	
Longitude	40° 48' 13" W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,09	Data Medição	
Origem		Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	04/02/1981		
Data Medição	03/09/2009	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Cálculo					
Sigma Latitude(m)					
Sigma Longitude(m)					
UTM(N)	9.584.286				
UTM(E)	299.699				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/re\\_sirgas2000.pdf](http://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/re_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

Localização	
No canto da ponte sobre o rio Pau Branco; 90 m aquém do entroncamento para a cidade de Frecheirinha.	
Descrição	
Chapa de metal, medindo 6 cm de diâmetro, estampada RN 1655 L.	

Figura 4.2: Relatório de Estação Geodésica



### Sumário do Processamento do marco: 1004827

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS	2017/07/27 10:44:10,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS	2017/07/27 14:22:40,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHC180 NONE
Órbitas dos satélites <sup>1</sup>	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	5,00
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena <sup>3</sup> (m):	1,965
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	2,72 GPS
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,47 GPS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo. (m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usado) <sup>4</sup>	-3° 47' 04,0828"	-40° 46' 52,4862"	108,03	9581493,537	202189,426	-39
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-3° 47' 04,0763"	-40° 46' 52,4882"	108,03	9581493,736	202189,364	-39
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,013	0,025	0,045			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-14,87					
Altitude Ortométrica (m)	122,90					

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

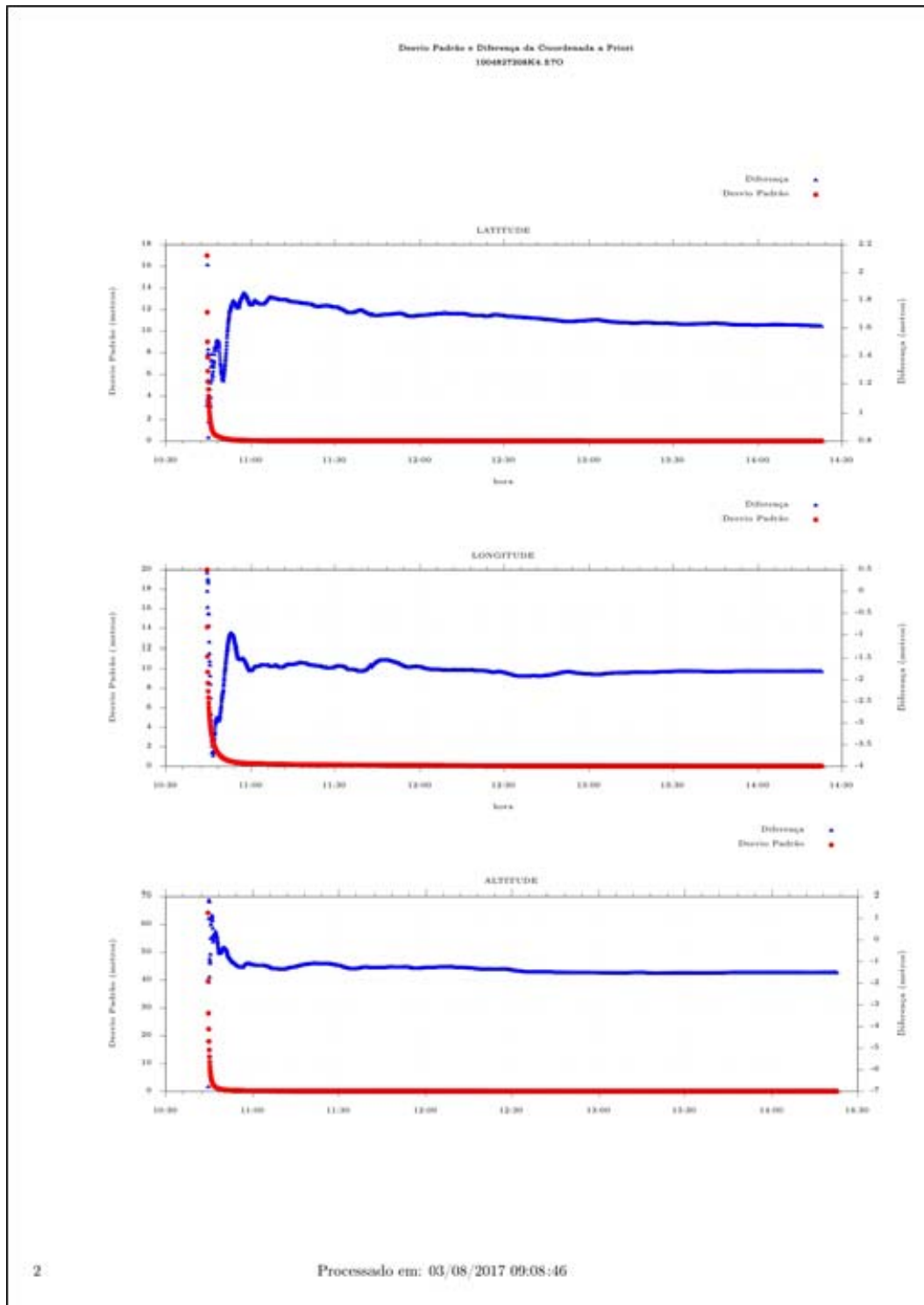
<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMIOS em 2000.4.

<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados coletados e do correto processamento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, consulte os seguintes contatos: [geop@ibge.gov.br](mailto:geop@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7203131. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CORS-PPP desenvolvido pelo Geomatics Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).  
Processamento autorizado para uso do IBGE.

Figura 4.3: Relatório do processo de transporte de coordenadas pelo método do Posicionamento por ponto preciso – PPP



**Figura 4.4: Desvio padrão obtido pelo transporte de coordenadas através do método de Posicionamento Por Ponto Preciso – PPP**

#### 4.4. Levantamento do Eixo Barrável Principal

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

##### 4.4.1. *Locação do eixo e Implantação de Marcos*

Utilizando-se uma estação total, o eixo principal da barragem foi locado e materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados através de piquetes de madeira, com ponta cravada no terreno, 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 E0 (00+00m), está localizado na ombreira direita. Na ombreira esquerda encontra-se a estaca final do eixo (estaca 32), **totalizando 640,00 m** de comprimento. Em cada uma das ombreiras foram implantados marcos de concreto denominados M-1(ponto 43) e M-2 (ponto 76), conforme apresentado na caderneta de campo em anexo.

O **Quadro 4.1** a seguir apresenta a relação dos marcos implantados:

**Quadro 4.1: Relação de Marcos no Eixo Principal da Barragem**

Marco	Coordenadas UTM (m)		Cotas (m)
	Norte	Este	
M-1	9581970.36	301780.60	138.39
M-2	9582422.08	302278.55	134.49

##### 4.4.2. *Nivelamento*

O levantamento altimétrico do barramento principal da barragem Frecheirinha foi realizado utilizando-se um Nível TOPCON– Modelo AT-G6, com precisão 1,5mm/km. Foram niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do RN 1655L (IBGE).

#### **4.4.3. Levantamento das Seções Transversais**

Foram levantadas seções transversais ao eixo principal da barragem a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 200,0 metros perpendicularmente ao eixo, à montante e à jusante e se constituíram de pontos cotados a cada 20,0 metros, englobando também os pontos de destaque do relevo topográfico e **totalizaram 9.900,00m** de levantamento.

#### **4.5. Levantamento dos Diques Auxiliares**

De forma a viabilizar o total fechamento do vale, haverá necessidade de execução de estruturas auxiliares que estanquem celas topográficas, através da implantação de três diques, denominados de diques 1, 2 e 3. Os levantamentos topográficos dos mesmos foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e levantamento de seções transversais, conforme apresentado nas cadernetas de campo em anexo.

##### **4.5.1. Locação dos eixos e Implantação de Marcos**

Utilizando-se uma estação total, foram locados os eixos dos diques, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

##### **Dique 1**

Para o dique 1, foi materializado um marco de concreto na estaca E00, estando localizado nas coordenadas **9.582.854,43N** e **303.733,59E**, cota **135,97** seguindo em linha reta até a estaca 11+8,97, onde foi implantado outro marco de concreto localizado nas coordenadas **9582771.41N** e **303947.15E**, cota **136,38**, **totalizando 228,97m de comprimento.**

### **Dique 2**

Para o dique 2, foi materializado um marco de concreto na estaca E00, está localizado nas coordenadas **9.583.341,11N e 303.146,28E cota 138,51**, seguindo em linha reta até a estaca E12, onde foi implantado outro marco nas coordenadas **9.583.310,18N e 303.384,34E, cota 138,95 totalizando 240m de comprimento.**

### **Dique 3**

Para o dique 3, foi implantado um marco de concreto na estaca 0 nas coordenadas **9.583.432,69N e 302.833,30E, cota 138,84**, seguindo em linha reta até a estaca 4 localizada nas coordenadas **9.583.405,06N e 302.908,25E, cota 140,14, totalizando 80m de comprimento.**

O levantamento altimétrico do eixo dos diques foi realizado utilizando-se um Nível TOPCON– Modelo AT-G6, com precisão 5mm/km, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do RN 1655L (IBGE).

#### ***4.5.2. Levantamento das Seções Transversais***

Foram levantadas seções transversais aos eixos dos diques a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 60,0 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.

**Quadro 4.2: Seções transversais do dique 01**

DIQUE 01	L(m)
SEÇÃO 00	137,73
SEÇÃO 01	155,17
SEÇÃO 03	159,43
SEÇÃO 04	160,1
SEÇÃO 05	159,99
SEÇÃO 06	158,65
SEÇÃO 07	156,14
SEÇÃO 08	153,73
SEÇÃO 09	151,21
SEÇÃO 10	148,61
SEÇÃO 11	145,68
SEÇÃO 12	140,56
Est. 12+9.15	125,82
<b>TOTAL</b>	<b>1.952,82 m</b>

**Quadro 4.3: Seções transversais do dique 02**

DIQUE 02	L(m)
SEÇÃO 00	168,45
SEÇÃO 01	162,63
SEÇÃO 02	157,91
SEÇÃO 03	154,00
SEÇÃO 04	152,64
SEÇÃO 05	151,71
SEÇÃO 06	150,00
SEÇÃO 07	161,63
SEÇÃO 08	173,54
SEÇÃO 09	185,94
SEÇÃO 10	196,91
SEÇÃO 11	209,49
SEÇÃO 12	211,22
Est. 12+0.06	211,21
<b>TOTAL</b>	<b>2.447,28 m</b>

**Quadro 4.4: Seções transversais do dique 03**

DIQUE 03	L(m)
SEÇÃO 00	119,87
SEÇÃO 01	127,58
SEÇÃO 02	135,91
SEÇÃO 03	142,12
Est. 3+19.44	149,89
<b>TOTAL</b>	<b>675,37 m</b>

## **4.6. Levantamento do Sangradouro**

Para o projeto do canal de aproximação e restituição dos caudais do sangradouro da barragem Frecheirinha, foram levantadas duas alternativas de eixos. Na região de interesse, foram realizados levantamentos plani-altimétricos através de processos topográficos convencionais, constando de: locação, nivelamento e levantamento de seções transversais. As cadernetas de campo são apresentadas em anexo.

### **4.6.1. Locação**

A locação dos dois eixos foi executada utilizando-se um Teodolito WILD T-1, com estaqueamento e numeração a cada 20 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

O eixo do sangradouro 1 inicia na estaca E01+00m e termina na estaca E16+00m, totalizando uma poligonal de 300,00 m de extensão, acompanhando um talvegue que poderia conduzir o caudal de sangria até próximo do rio, à jusante. O eixo 1 foi o eixo pioneiro do estudo de escolha da localização do sistema de sangria e foi descartado após o confronto com outra alternativa.

Para o eixo 2 do sangradouro foram locadas duas poligonais a partir da estaca E00+00m. O primeiro trecho inicia na estaca E00+00m e, desenvolvendo-se no sentido montante, termina na estaca -7-10m, totalizando uma poligonal de 150,00 m de extensão, acompanhando um talvegue que acessará o futuro lago do reservatório. O segundo trecho inicia na estaca E00+00m e termina na estaca E25+00m, totalizando uma poligonal de 500,00 m de extensão, acompanhando um talvegue que conduzirá o caudal de sangria até próximo do rio, à jusante. Dessa forma, o eixo 2, que foi o escolhido para a execução do sangradouro, contará com uma extensão total de 650 m entre a estaca E-7-10m e a estaca E25+00m.

### **4.6.2. Nivelamento e Seções Transversais**

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição do sangradouro 1, através de seccionamento a cada 20 metros, com 60

metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros, **totalizando 1.920,00 m** em seções levantadas.

Para o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição do sangradouro 2, também utilizando um nível WILD N-1, foram levantadas seções com extensões variáveis conforme o relevo do terreno, de forma a abranger com folga os off sets das escavações do futuro sangradouro. Este levantamento **totalizou uma área de 19,02 hectares**.

#### **4.7. Levantamento de Ocorrências de Materiais Naturais**

Nas áreas de materiais naturais, que nas investigações preliminares se apresentaram com características físicas e geotécnicas promissoras, foram realizados levantamentos planialtimétricos, os quais foram amarrados ao eixo do barramento principal.

Foram levantadas 10 jazidas potencialmente exploráveis, uma pedreira e um depósito de material arenoso para filtros. As cadernetas de campo dos referidos levantamentos são apresentadas em volume anexo.

##### **4.7.1. Jazidas de Solos**

As áreas das ocorrências de materiais terrosos construtivos para execução da barragem Frecheirinha tiveram todos os seus furos de sondagem 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 as jazidas de solo denominadas J-01, J-02, J-03, J-04, J-05, J-06, J-07, J-08, J-09 e J-10.

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

O **Quadro 4.5** a seguir resume o levantamento executado para as jazidas:



**Quadro 4.5: Resumo dos Levantamentos das Jazidas**

Jazida	Área Estudada (m <sup>2</sup> )	Volume do Expurgo (m <sup>3</sup> )	Volume Total da Jazida (m <sup>3</sup> )	Volume útil da Jazida (m <sup>3</sup> )	Distância do Eixo da Barragem (km)	Percentual de aproveitamento (%)
J- 01	40.000,00	6.000,00	32.400,00	27.600,00	3,70	85,19%
J- 02	87.500,00	13.125,00	80.500,00	72.625,00	2,60	90,22%
J-03	40.000,00	6.000,00	40.800,00	38.800,00	2,30	95,10%
J-04	175.000,00	26.250,00	178.500,00	168.000,00	3,25	94,12%
J-05	140.000,00	21.000,00	128.800,00	128.800,00	3,35	100,00%
J-06	135.000,00	20.250,00	112.050,00	106.650,00	4,40	95,18%
J-07	207.500,00	20.750,00	230.325,00	226.175,00	4,15	98,20%
J-08	40.000,00	4.000,00	36.400,00	34.800,00	0,10	95,60%
J-09	87.500,00	8.750,00	83.125,00	78.750,00	0,10	94,74%
J-10	300.000,00	30.000,00	318.000,00	318.000,00	0,45	100,00%
<b>TOTAL</b>	<b>1.252.500,00</b>		<b>1.240.900,00</b>	<b>1.200.200,00</b>		<b>96,72%</b>

#### **4.7.2. Areal**

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Frecheirinha, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo do leito do riacho Caiçara. Estes poços tiveram suas coordenadas registradas através de GPS manual.

Foram delimitados 13 furos com profundidades médias de 1,00 metro. Apresenta-se no **Quadro 4.6** o resumo boletim de campo delimitando tal jazida.

**Quadro 4.6: Resumo do boletim de campo do areal**

Furo	Profundidade (cm)	Coordenadas:	Distancia ao eixo pelo rio (m)	Largura do rio (m)	Classificação Expedita
01	0,00/1,00	0302833 9580294	2.9240,77	8,65	Areia grossa a média
02	0,00/1,00	0302743 9580328	2.828,31	7,40	Areia grossa a média
03	0,00/1,00	0302665 9580336	2.751,70	11,20	Areia grossa a média
04	0,00/1,00	0302592 9580336	2.678,83	9,75	Areia grossa a média
05	0,00/1,00	0302490 9580324	2.578,11	9,90	Areia grossa a média
06	0,00/1,00	0302490 9580346	2.674,92	9,90	Areia grossa a média
07	0,00/1,00	0302384 9580346	2.462,41	13,80	Areia grossa a média
08	0,00/1,00	0302384 9580346	2.462,41	13,80	Areia média a fina
09	0,00/1,00	0302279 9580528	2.218,23	13,30	Areia grossa a média
10	0,00/1,00	0302277 9580614	2.131,56	18,45	Areia média a fina
11	0,00/1,00	0302272 9580648	2.096,96	12,75	Areia média a fina
12	0,00/1,00	0302299 9580812	1.979,27	11,50	Areia média a fina
13	0,00/1,00	0302281 9580848	2.019,43	10,60	Areia média a fina

Com os dados do **Quadro 4.6** calculou-se o volume do areal pesquisado em **11.320 m<sup>3</sup>**, conforme **Quadro 4.7**

**Quadro 4.7: Volume do Areal**

Furo	Dist. ao eixo (m)	Distância entre furos (m)	Largura (m)	Largura média (m)	Profundidade sondada (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume parcial (m <sup>3</sup> )	Volume acumulado (m <sup>3</sup> )
1	2940,8		8,65					
2	2828,3	112,50	7,40	8,03	1,00	8,025	902,81	902,81
3	2751,7	76,60	11,20	9,30	1,00	9,3	712,38	1.615,19
4	2678,8	72,90	9,75	10,48	1,00	10,475	763,63	2.378,82
6	2674,9	3,90	9,90	9,83	1,00	9,825	38,32	2.417,14
5	2578,1	96,80	9,90	9,90	1,00	9,9	958,32	3.375,46
7 e 8	2462,4	115,70	13,80	11,85	1,00	11,85	1.371,05	4.746,50
9	2218,2	244,20	13,30	13,55	1,00	13,55	3.308,91	8.055,41
10	2131,5	86,70	18,45	15,88	1,00	15,875	1.376,36	9.431,78
11	2096,9	34,60	12,75	15,60	1,00	15,6	539,76	9.971,54
13	2019,4	77,50	10,60	11,68	1,00	11,675	904,81	10.876,35
12	1979,3	40,10	11,50	11,05	1,00	11,05	443,11	11.319,45

Independentemente das concepções a serem adotadas no projeto executivo da barragem, o volume aferido para o areal parece ser muito inferior as necessidades futuras das obras. Portanto, a equipe de geotecnia permanece pesquisando a região próxima ao local da barragem para selecionar novos areais. Os resultados serão incluídos no Relatório de Estudos Geológicos e Geotécnicos Complementares para o detalhamento do Projeto Executivo.

#### **4.7.3. Pedreira**

Foram registrados, através de GPS manual, 20 pontos de referência na pedreira P-01, situada a cerca de 7,2 km a montante do eixo da barragem, de onde está prevista a extração de material necessário para a execução de estruturas da barragem.

A área de material rochoso exposto foi, a partir dos 20 pontos levantados, calculada em **13.026,01 m<sup>2</sup>**. Baseando-se pelas cotas registradas nos pontos levantados no afloramento, calculou-se uma altura média de 3,2 m de material rochoso, o que representa um volume de rocha exposta de **41.683,26 m<sup>3</sup>**. Sugere-se a realização de um furo de sondagem rotativa no local para uma melhor avaliação da potencialidade volumétrica da pedreira, de suas

características geológicas em profundidade e também para a obtenção de amostras para execução de ensaios de desgaste Los Angeles.

A seguir são apresentadas, no **Quadro 4.8**, as coordenadas dos referidos ponto

**Quadro 4.8: Levantamento topográfico de pontos na Pedreira 01**

Caderneta de Campo Pedreira				
Ponto	Coordenadas		Cota	Descrição
	Y	X		
7565	9577786.37	305660.18	167.13	P1
7566	9577847.30	305780.06	165.33	P2
7567	9577875.75	305788.70	164.04	P3
7568	9577884.76	305779.64	163.44	P4
7569	9577877.20	305756.40	164.21	P5
7570	9577880.80	305745.38	165.38	P6
7571	9577878.51	305732.50	166.10	P7
7572	9577876.83	305713.88	165.85	P8
7573	9577876.63	305703.02	165.10	P9
7574	9577870.11	305679.94	166.94	P10
7575	9577849.98	305647.93	170.21	P11
7576	9577827.20	305612.56	169.95	P12
7577	9577806.44	305591.02	168.60	P13
7578	9577799.82	305587.66	168.38	P14
7579	9577777.20	305570.71	165.88	P15
7580	9577772.13	305572.47	165.59	P16
7581	9577768.86	305589.43	165.80	P17
7582	9577768.29	305612.89	166.60	P18
7583	9577777.83	305639.01	166.56	P19
7584	9577798.93	305645.25	171.89	P20

#### **4.8. Locação das Torres de Energia e Medição do Cálculo das Catenárias**

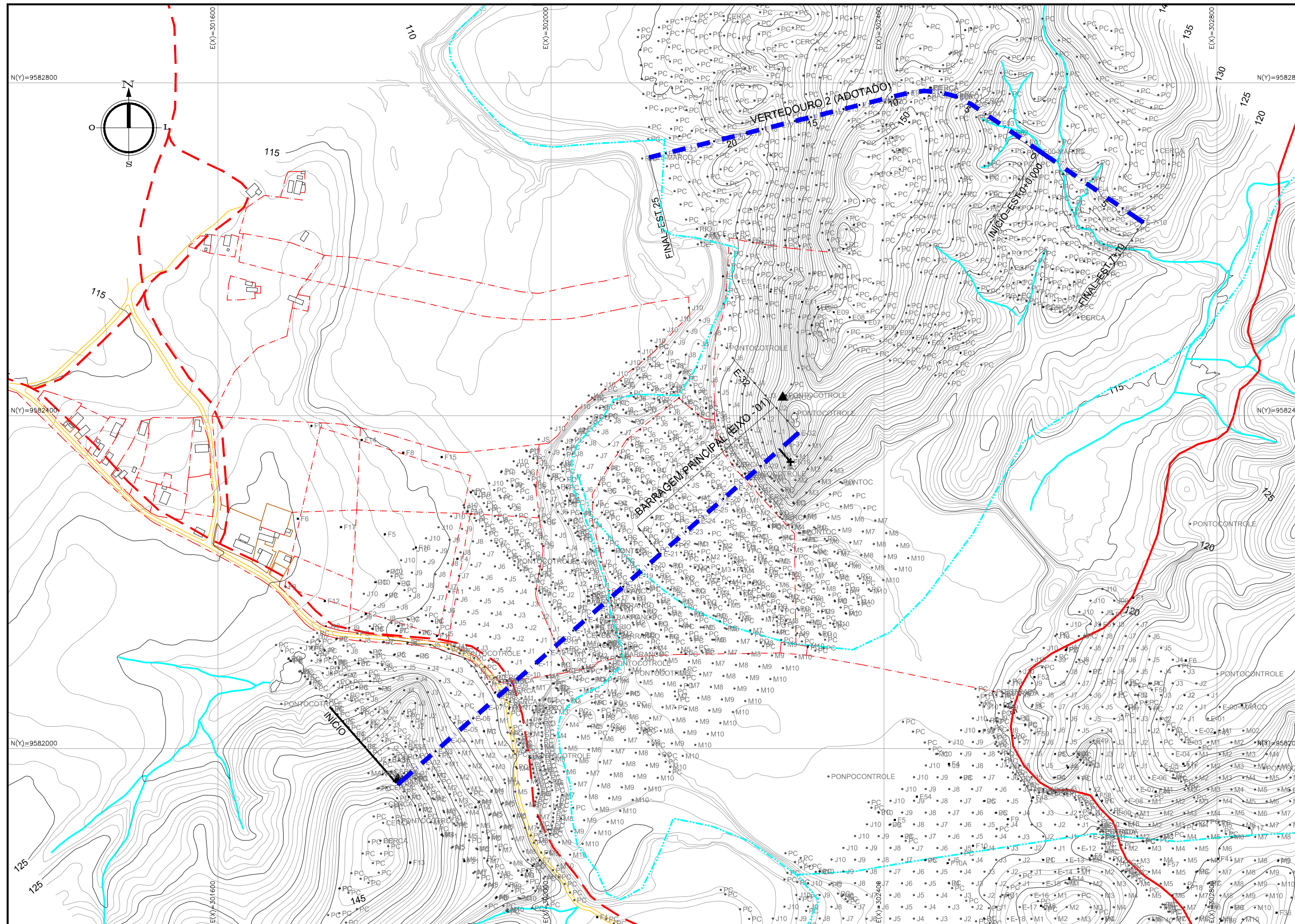
Foram locadas e niveladas todas as torres de energia de alta tensão, dentro da área de inundação da barragem, além da medição das catenárias entre torres, através da utilização de clinômetro de Haglof.

Clinômetro se trata de um instrumento eletrônico de medição de inclinações e alturas.








A partir de uma distância previamente medida manualmente e dois ângulos medidos pelo clinômetro, este calcula e apresenta a altura do objeto diretamente no visor.

Os resultados das medidas realizadas, conforme metodologia acima, mostram que todas as bases das torres nas proximidades da área da bacia hidráulica da Barragem Frecheirinha encontram-se em cota superior a cota do nível d'água na cheia decamilenar (cota: 132,20m), no entanto, mesmo em condições favoráveis em relação à segurança, será previsto no projeto a execução de aterros/diques de proteção com enrocamento para possibilitar o acesso a estas bases e minimizar qualquer risco à segurança local.

Em relação às diferenças de cotas entre as medidas das catenárias e a cota da cheia máxima decamilenar (cota: 132,20m), verificou-se que a menor destas medidas é quando a cota da catenária é igual a 142,81m, o que resulta numa altura mínima de 10,61m. Este valor supera em muito os 6,00m mínimos exigidos pela norma NBR 5422/1985, para lagos sem transporte fluvial.



LEGENDA :

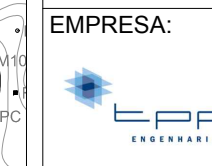
-  CERCA
-  CURVAS DE NÍVEL
-  RIO/RIACHO
-  PONTO COTADO
-  EIXO LEVANTADO EM CAMPO
-  TORRE DE TRANSMISSÃO
-  LINHA DE TRANSMISSÃO



GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

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



EMPRESA:	TÍTULO:	LEVANTAMENTO DA BARRAGEM E SANGRADOURO	
ESCALA:	DATA:	JANEIRO/2019	FIGURA:
1:4000			4.5

---

## 5. ESTUDOS GEOLÓGICOS

## 5. ESTUDOS GEOLÓGICOS

### 5.1. Geomorfologia

Feições geomorfológicas importantes para o estado do Ceará e para a região Nordeste do Brasil, a Ibiapaba apresenta lacunas em sua história natural e, por conseguinte, a necessidade de um maior conhecimento. Uma etapa importante para o preenchimento dessa lacuna passa pelo conhecimento dos substratos geológicos dos relevos que compõem a paisagem da Ibiapaba e suas áreas adjacentes, na região noroeste do estado do Ceará.

Mais do que influenciar, os aspectos litológicos, tectônicos e cronoestratigráficos, muitas vezes, condicionam o arranjo geomorfológico em escala regional, o que ocorre na Ibiapaba (MOURA-FÉ, 2015). Sendo assim, o objetivo principal desse trabalho é apresentar os condicionamentos geológicos na geomorfologia da Ibiapaba em sua porção setentrional.

A determinação específica da área setentrional para este estudo, dentro dos 380 km de extensão da Ibiapaba, não se deu por acaso. As suas dimensões regionais e a dificuldade em se trabalhar todo o modelado, determinaram a escolha de um fragmento para a realização do estudo. Também foram considerados de forma criteriosa e com base no conhecimento prévio da região, os elementos logísticos e, sobretudo, as características geográficas e geomorfológicas mais significativas.

Apresenta-se um recorte espacial do modelado, privilegiando os setores centro-norte e norte da Ibiapaba, bem como os respectivos entornos setentrional e oriental, fundamentais para analisar a diferenciação geomorfológica que se estabeleceu entre os setores norte e leste e para o entendimento geológico-geomorfológico da região denominada aqui como a Ibiapaba setentrional. A área de estudo é apresentada na **Figura 5.1**.



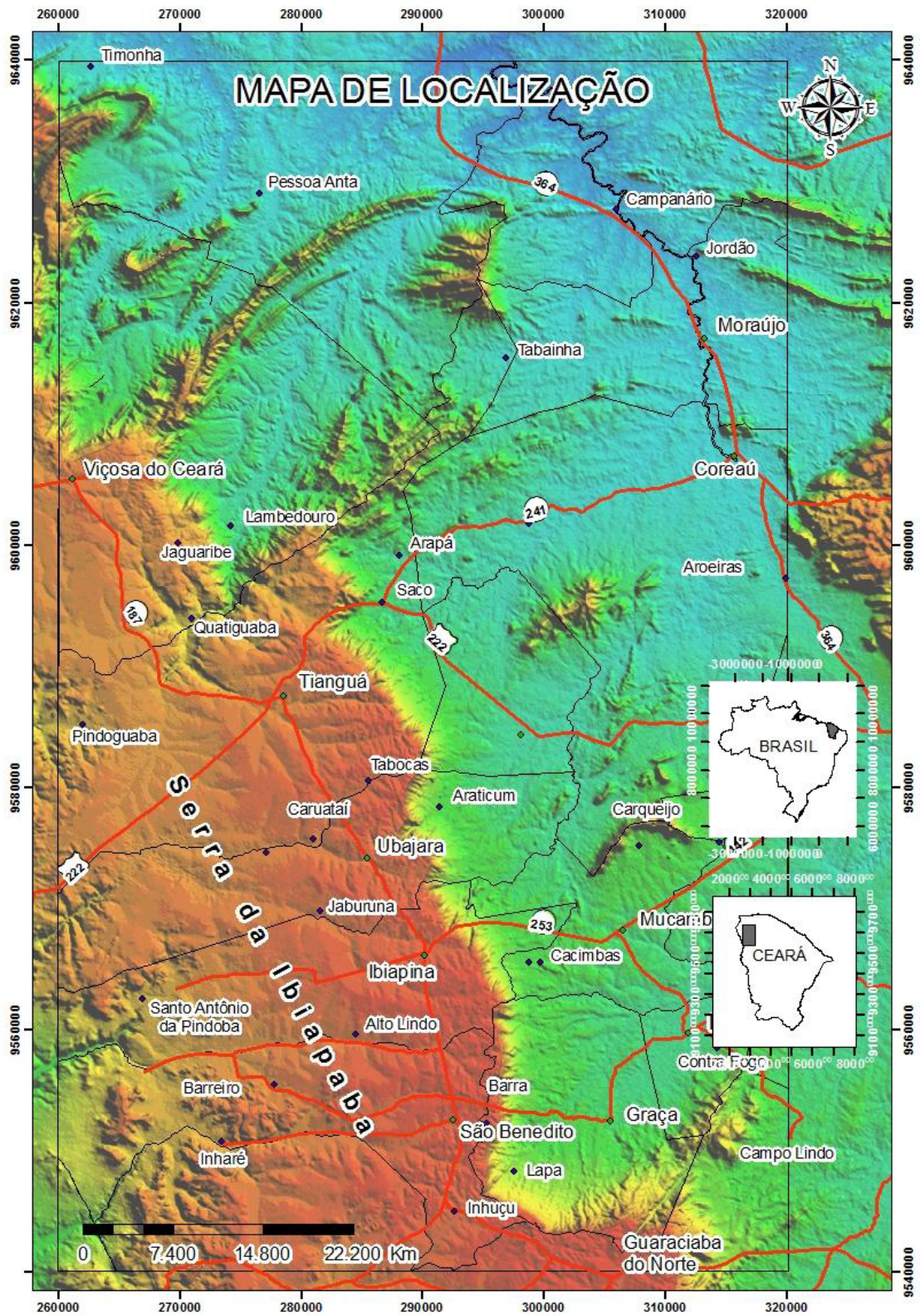


Figura 5.1: Mapa de localização da Ibiapaba setentrional. Fonte: Moura Fé – 2015.

Nas porções norte e leste da área, ocorre a Província Borborema, mais precisamente, o seu subdomínio Médio Coreaú (SDMC).

O SDMC comporta o sistema de dobramentos marginais do Médio Coreaú e um sistema de falhas paralelas de direção NE-SO, estrutura-se em uma sucessão de horsts e grabens, orientados conforme o sistema de falhas (NE-SO), o que indica uma grande mobilidade tectônica da região nos períodos finais do pré-Cambriano e no Paleozoico Inferior, com reativações secundárias em períodos mais recentes (COSTA et al., 1979; HASUI, 2012; PIRES, 2003; SANTOS et al., 1984).

Delimitado a SO pela bacia do Parnaíba e a SE pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (ZCS), o SDMC é compartimentado tectonicamente em 4 (quatro) blocos tectônicos, os quais correspondem a uma alternância de horsts e grabens: horst de Granja, graben Martinópolis, horst Tucunduba e o graben Ubajara-Jaibaras (COSTA et al., 1979; PIRES, 2003), onde todos apresentam contato direto com as vertentes norte e leste da Ibiapaba.

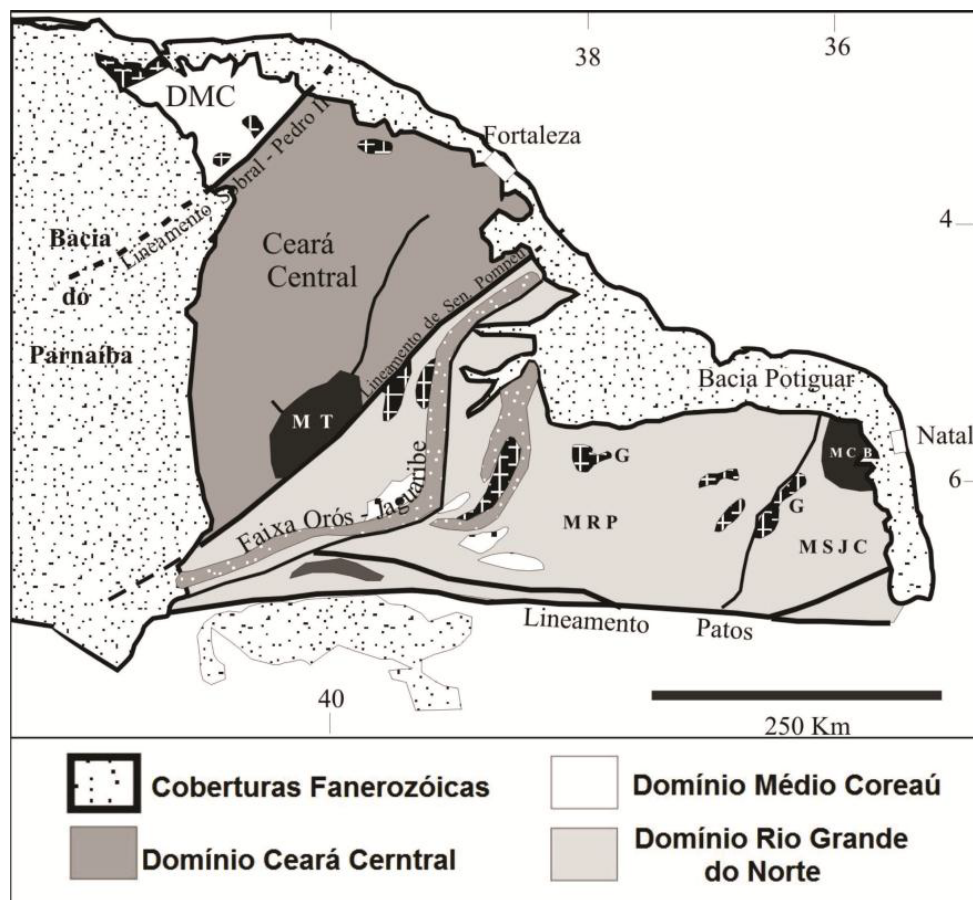
Esse quadro tectônico é o primeiro condicionante sobre o relevo da região estudada, pois perfaz a macro-estruturação topográfica, ao passo que ao longo dos horsts temos os relevos mais elevados na região de contato com a Ibiapaba; e nos grabens temos altitudes menores e a maior captação das águas nas bacias hidrográficas da região e, por conseguinte, o desenvolvimento dos maiores cursos d'água.

## **5.2. GEOLOGIA REGIONAL**

A área pesquisada está inserida dentro do contexto geológico da Província Borborema, denominada assim primeiramente por Almeida et al. (1977). Segundo Santos et al. (2007) uma província é um retalho de terrenos de diferentes litologias, separados por falhas e lineamentos importantes.

Esta província cobre uma área de 400.000 Km<sup>2</sup> e está localizada na região nordeste do território brasileiro (BRITO NEVES et al., 2001). Compreende a parte central de um amplo cinturão orogenético Pan-Africano-Brasiliano, desenvolvido como consequência de uma convergência e colisão dos crátons São Luís - Oeste da África e São Francisco-Congo-KASAI NO FINAL DO NEOPROTEROZÓICO.

A Província Borborema, recentemente dividida em domínios geotectônicos neoproterozóicos, é formada por blocos crustais amalgamados durante a orogênesse (colagem) brasileira (SANTOS et al., 2001). Representado na **Figura 5.2** está a porção norte desta Província, onde acima do Lineamento Patos, é subdividida em três grandes Domínios, a saber: Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte (BRITO NEVES, 2000). A área de estudo está inserida dentro do Domínio Médio Coreaú (DMC).



**Figura 5.2: Domínios geológicos da porção norte da Província Borborema (modificado de Fetter, 1999).**

Grupo Ubajara (NPu): unidade metassedimentar (HASUI, 2012) de idade neoproterozoica (~635-850 Ma) que ocorre nos setores leste e sudeste da área, ocupando majoritariamente a porção SO do graben Ubajara-Jaibaras, delimitado ao sul pelo granitoide Mucambo e composto pelas seguintes formações: Trapiá (NPuT): formação basal, composta por quartzitos conglomeráticos; Caiçaras (NPuCa): composta por ardósias vermelhas e roxo-avermelhadas, provenientes do metamorfismo de baixo grau (IBGE, 1999); Frecheirinha

(NPuf): formada por calcários que distribuem-se em faixas irregulares na região compreendida entre a vertente leste da Ibiapaba e o maciço da Meruoca. Compõem os relevos calcários (cones cársticos, e a gruta de Ubajara) da região; Coreaú (NPuc): formação superior e de maior área aflorante.

Além dessas formações, tem-se os termometamorfitos (NPutm), originados no período em que o grupo Ubajara foi cortado por intrusões graníticas e granodioríticas do granitoide Mucambo, resultando em suas áreas de contato no desenvolvimento dos termometamorfitos, derivados de litotipos das Formações Trapiá, Frecheirinha e Coreaú (CPRM, 2003). São zonas de transformação por metamorfismo de contato, que transiciona para as rochas não metamorizadas da mesma unidade.

### **Granitoides tipo Meruoca e Mucambo**

Dois importantes “stocks” graníticos ocorrem na área de sedimentos epimetamórficos do grupo e constituem as serras Meruoca-Rosário e do Mucambo.

#### *a) Stock Granítico da Meruoca-Rosário (eγ4m):*

O Stock granítico Meruoca-Rosário localiza-se no curso médio do Rio Acaraú, e tem forma aproximada de um quadrado com cerca de 20 km de lado, o que corresponde a uma área da ordem de 400 km<sup>2</sup>.

Constitui as conhecidas serras da Meruoca e do Rosário, com altitudes da ordem de 1.000 metros, e relevo montanhoso com escarpas abruptas, geralmente nus ou com feições ruiformes em blocos de rocha soltos e empilhados de forma caótica.

Os contatos do stock granítico com as formações do Grupo Jaibaras são sempre de caráter tectônico e não foram assinaladas evidências de termometamorfitos. Nas áreas de contato com o Grupo Ubajara e rochas do embasamento pré-Cambriano desenvolveu-se uma ampla auréola de metamorfismo térmico, parcialmente mascarada por falhamentos.

Petrograficamente, o stock apresenta uma surpreendente homogeneidade, praticamente restrito a tipos petrográficos mineralogicamente semelhantes com raras diferenças granulométricas e texturais.

As fácies petrográfica dominante, cerca de 80-90% da área do maciço, é o granito vermelho da Meruoca. Trata-se de uma rocha grosseira, equigranular e isotrópica de cor vermelha forte, macroscopicamente constituída de feldspato cor de carne e quartzo. Não se observam praticamente minerais máficos. Ao microscópio, revela textura hipidiomórfica granular grosseira constituída essencialmente por ortoclásio perfitico em cristais irregulares ou geminados, raro plagioclásio, e quartzo com bordas de corrosão com o ortoclásio. Os máficos, em quantidades subordinadas, são biotita e hornblenda. Fluorita intersticial tem presença constante, além do zircão, apatita, alanita, leucoxênio, epidoto, clorita e sericita. Corresponde petrograficamente a um biotita-hornblenda granito com variações para granito leucocrático, na ausência de máficos.

O segundo tipo petrográfico identificado, corresponde a um biotita-granito, diferindo do anterior pela ausência sistemática da hornblenda e pela coloração cinza clara.

*b) Stock Granítico do Mucambo (eY4m):*

Esta importante massa intrusiva situa-se na porção sul-central da folha Frecheirinha, tem forma grosseiramente circular com alongamento pronunciado para sudoeste, e é truncado nos flancos leste e sudeste pela falha Café Ipueiras, compreendendo uma área de aproximadamente 180 km<sup>2</sup>.

Morfológicamente, condiciona duas paisagens distintas. Na parte sul e central, instalou-se um peneplano suave com espesso solo de decomposição. A parte norte do maciço, por outro lado, corresponde a área de relevo áspero, e constitui a denominada Serra do Carnutim.

O stock granítico Mucambo, intrusivo nos sedimentos epimetamórficos do Grupo, proporciona o desenvolvimento de uma ampla auréola de metamorfismo térmico. Ao longo do contato com as formações do Grupo Jaibaras, acompanhando a falha Café Ipueiras, não foi observada qualquer manifestação de termometamorfismo nos sedimentos da Formação Pacujá, insinuando a “mise en place” anterior da intrusão granítica.

A grande maioria, cerca de 80% da massa intrusiva é constituída por uma rocha granítica grosseira equigranular, isotrópica, leucocrática em tonalidades cinza clara, destacando-se macroscopicamente feldspato branco, quartzo e máficos.

Nas fácies de borda, observam-se eventuais variações para granulometria média a fina, exibindo raramente estrutura shlieren. São comuns a presença de enclaves das encaixantes, exclusivamente na zona de contato com o Grupo Ubajara.

Ao microscópio, esse granito apresenta textura grosseira e é constituído de quartzo em grandes cristais xenomórficos e feldspatos, representados por K-feldspato (microclima pertitizada) e plagioclásio em percentagens aproximadamente iguais. Quanto aos ferromagnesianos, encontra-se a hornblenda (sódica e férrica) substituídas por biotita marron e epidoto. Como acessório observou-se pequenas pontuações de fluorita inclusas nos ferromagnesianos, além de zircão, alanita, apatita e opacos. Trata-se portanto de um granito monzonítico com hornblenda e biotita, evoluindo na extremidade sul do stock para um granito subalcalino com hornblenda.

Os stocks de Mucambo e Meruoca-Rosário apresentam entre si um elenco de fatores comuns indicativos do relacionamento genético e contemporaneidade das intrusões.

Ambos são intrusivos no Grupo Ubajara como bem o demonstram as auréolas de termometamorfismo e metassomatismo de contato. Ambas apresentam granulação grosseira generalizada, indicando a natureza plutônica dos corpos intrusivos. Por outro lado, as fácies metamórfica desenvolvida nas auréolas de contato, do tipo albita-epidoto-hornfels e mais raramente hornblenda-hornfels são diagnósticos de condições epizonais de cristalização, da mesma forma que a presença de granófiros, praticamente exclusivos de plutões de epizona, Buddington, (1959).

Na **Figura 5.3** é apresentado o mapa geológico do domínio do médio Coreaú, no qual se insere a bacia da barragem Frecheirinha.

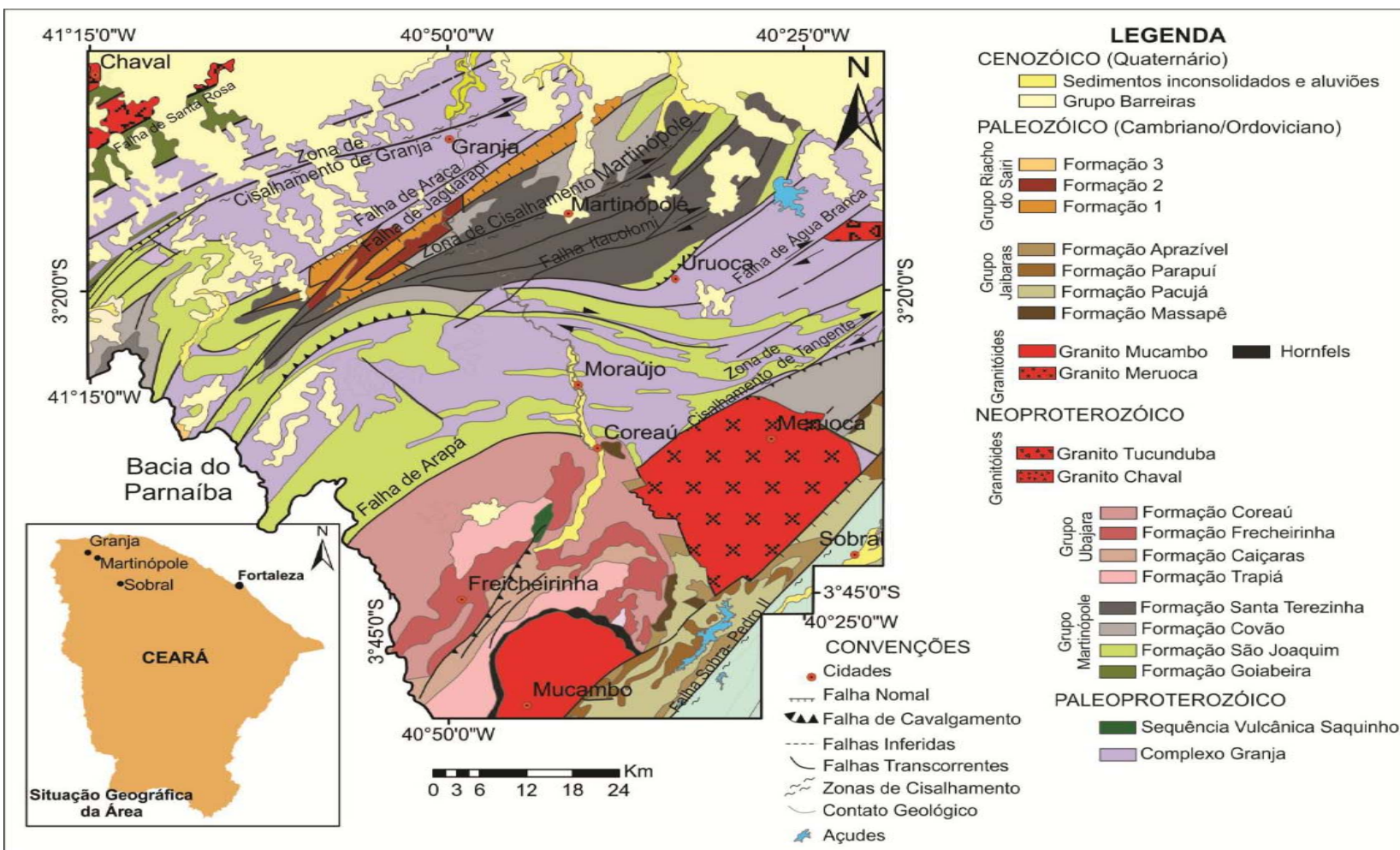


Figura 5.3: Mapa geológico regional do Domínio Médio Coreaú, NW do Estado do Ceará. Fonte: modificado.

### 5.3. Geologia Local

O sítio do barramento Frecheirinha é formado essencialmente por rochas pertencentes ao Grupo Ubajara (NPu): unidade metassedimentar (HASUI, 2012) de idade neoproterozoica (~635-850 Ma) que ocorre nos setores leste e sudeste da área, ocupando majoritariamente a porção SO do graben Ubajara-Jaibaras, delimitado ao sul pelo granitoide Mucambo e composto pelas seguintes formações: Trapiá (NPut): formação basal, composta por quartzitos conglomeráticos; Caiçaras (NPuca): composta por ardósias vermelhas e roxo-avermelhadas e cristas de metarenitos, provenientes do metamorfismo de baixo grau (IBGE, 1999); Frecheirinha (NPuf): formada por calcários que distribuem-se em faixas irregulares na região compreendida entre a vertente leste da Ibiapaba e o maciço da Meruoca. Compõem os relevos calcários (cones cársticos e a gruta de Ubajara) da região; Coreau (NPuc): formação superior e de maior área aflorante.

Além dessas formações, tem-se os termometamorfitos (NPutm), originados no período em que o grupo Ubajara foi cortado por intrusões graníticas e granodioríticas do granitoide Mucambo, resultando em suas áreas de contato no desenvolvimento dos termometamorfitos, derivados de litotipos das Formações Trapiá, Frecheirinha e Coreau (CPRM, 2003). São zonas de transformação por metamorfismo de contato, que transiciona para as rochas não metamorfizadas da mesma unidade.

No sítio do barramento, especificamente nas ombreiras, são caracterizadas pela presença de metarenitos, que se apresentam como cristas alinhadas, testemunhos isolados (afloramentos) e ao longo do eixo entre as estacas 0 a 5 e 28 a 45, como zonas de talus, sob a forma de blocos e matações rolados com tamanhos que variam de centímetros a metros.

Na ombreira esquerda, o afloramento de metarenito ocorre deslocado para jusante em cerca de 50 m da estaca 0+0,00, enquanto na ombreira direita, ocorre deslocado ligeiramente para montante, conforme cristas alinhadas segundo a direção N30°, com mergulhos bastante inclinados 80-90°, sub-verticalizados.



Se os metarenitos aflorantes nas ombreiras pertencerem a Formação Caiçaras, são representados por pacotes de ortoquartzitos com espessuras que variam de centímetros até dezenas de metros de espessura, de cores claras ou impregnadas de óxido de ferro, frequentemente recristalizadas, e cortados por veios de sílica. Esta interpretação torna-se plausível quando sondagens realizadas nos dois eixos vertedouros e localizadas em selas topográficas e entre afloramentos, nenhuma passagem pelo metarenito foi registrada.

Por outro lado, a Formação Trapiá passa gradualmente para as ardósias vermelhas com metarenitos intercalados da Formação Caiçaras. Nestes afloramentos as ardósias mergulham sob os arenitos filíticos Trapiá, insinuando posicionamento estratigráfico inverso. Trata-se, contudo de um exemplo de inversão tectônica ao longo de uma sinclinal inversa da qual ambas as formações participam. Esta inversão ocorre nas proximidades da intrusão granítica do Mucambo.

Sob o ponto de vista do ambiente de sedimentação, a Formação Caiçaras deve ser analisada conjuntamente com a unidade basal do Grupo, a Formação Trapiá. De acordo com a interpretação adotada, as ardósias vermelhas e metarenitos da Formação Caiçaras são considerados, pelo menos em parte, contemporâneos daquela unidade, e representam a sedimentação distal das primeiras fases de preenchimento da fossa.

A estratigrafia regional em que a Formação Caiçaras se sobrepõe a Formação Trapiá foi defendida por Costa et. al.(1979), Sá et. al.(1979), Nascimento et. al.(1981) e Gorayeb et. al.(1988).

Há ainda a possibilidade do corpo quartzítico ter origem da metamorfização da camada de arenitos grosseiros da Formação Trapiá, sobrejacentes a Formação Caiçaras, com ocorrência tabular, e que teve sua estrutura arrasada pelas intempéries ocasionadas pelas cheias do rio, preservando os testemunhos nos dois morrotes (ombreiras). Esta estratigrafia cuja Formação Trapiá se situa sobrejacente a Formação Caiçaras foi defendida somente por Rackspacher et. al. (1988).

Em amostras de mão, apresentam granulometria bastante irregular com seixos de quartzo sub arredondados imersos em matriz arenítica, maciços, sem acamamento, de cores claras,

em algumas áreas, com impregnações de óxido de ferro. São comuns veios de sílicas com 5 cm de espessura.

As ardósias pertencentes a Formação Caiçara se apresenta ao longo da estrada vicinal, mais a montante pela margem esquerda do rio e em outra estrada vicinal a leste da ombreira direita. No eixo do barramento não são evidenciados afloramentos, estando completamente encobertas por solos aluvionares. As ardósias se apresentam na forma de corpos rochosos de coloração avermelhada, por vezes amarronzadas. Apresentam-se dobradas, onde sua orientação se dá na direção N30° com mergulhos que variam de sub-verticais e horizontais, concordantes em sua correlação estrutural com a ocorrência dos quartzitos.

Não foram evidenciados afloramentos de ardósias ao longo do eixo, encontrando-se sobrepostas por solo de alteração das mesmas e solos aluvionares.

As aluviões se restringem a calha principal do riacho Caiçaras, composta por areias finas, médias e grossas, de coloração cinza, com seixos arredondados e sub ângulos de quartzitos e arenitos.

As margens do riacho são constituídas por aluviões formadas por silte-areno argiloso, de coloração cinza amarronzada.

## **5.4. INVESTIGAÇÃO NO LOCAL DO BARRAMENTO**

### **5.4.1. Sondagens realizadas**

A campanha de sondagens geotécnicas mecânicas teve como objetivo a coleta de dados da subsuperfície, nos três locais selecionados como alternativas para o eixo do barramento a ser projetado. Em cada eixo alternativo foram realizadas sondagens percussivas, com medida de SPT a cada metro, e sondagens a trado. Com os dados coletados nas sondagens, associados a um levantamento geológico de superfície, elaborou-se perfis geológico/geotécnicos, que embasaram as concepções de fundação do maciço em cada sítio.

Após os estudos comparativos dos fatores positivos e negativos de cada eixo alternativo e a escolha do eixo mais vantajoso técnica e economicamente (Eixo 1), foram complementadas

as investigações com sondagens mistas (rotativas e percussivas), ensaios de perda d'água (Lugeon) e ensaios de infiltração (Le Franc).

Foram realizadas 28 prospecções mecânicas distribuídas ao longo da região dos três eixos estudados para o barramento. A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na **Figura 5.4**.

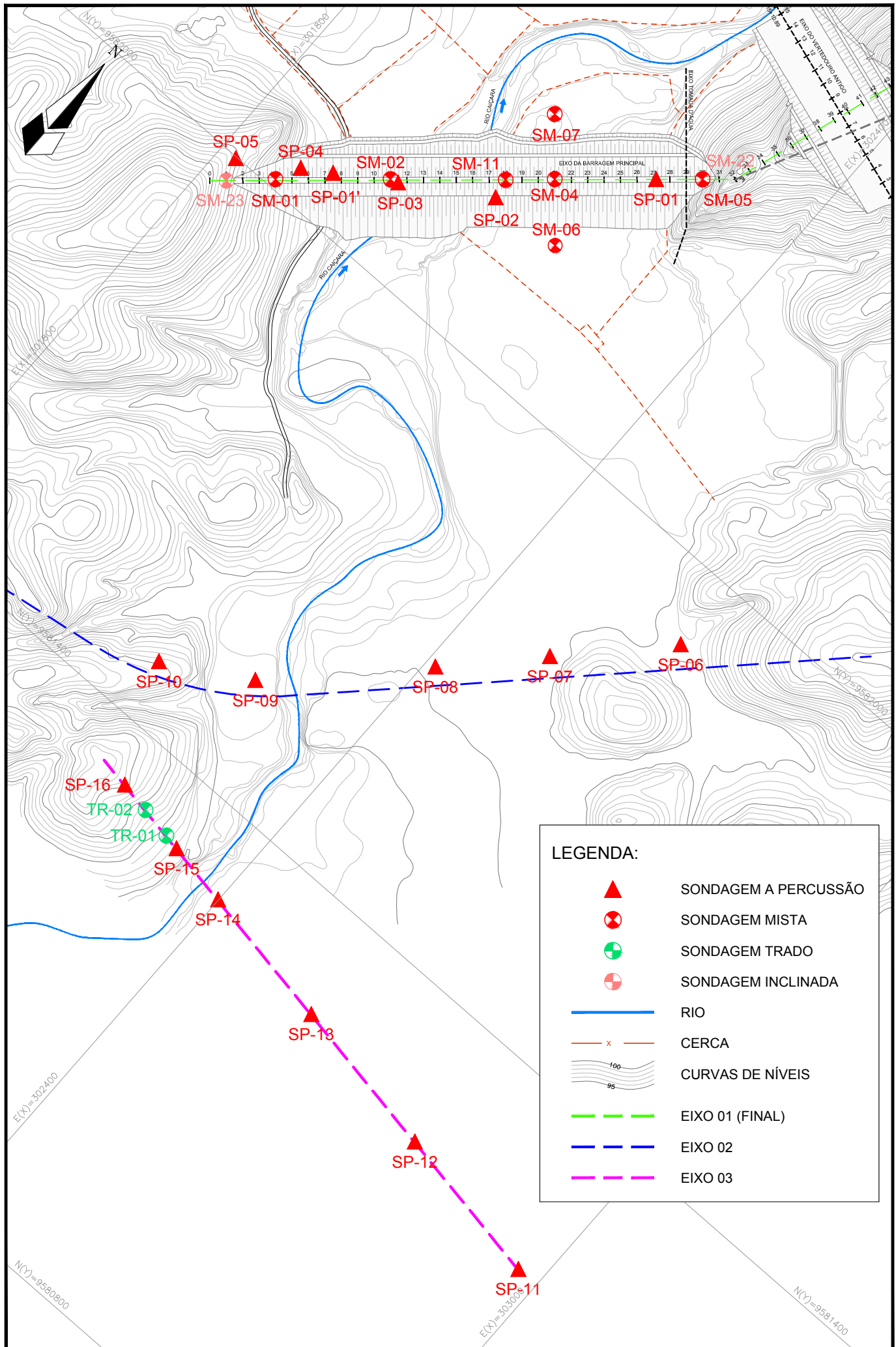
No Eixo 01 (adotado) foram realizadas 15 prospecções mecânicas, sendo 6 sondagens à percussão, 9 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa).

No Eixo 02 foram realizadas 5 prospecções, sendo todas à percussão, e no Eixo 03 foram executadas 8 investigações, sendo 6 sondagens à percussão e 2 sondagens à trado.

Para a determinação da permeabilidade e avaliação do comportamento do maciço rochoso da fundação, em relação à percolação de água por suas fissuras, foram realizados ensaios de Perda d'água sob pressão (Ensaio Lugeon), em trechos de sondagens rotativas.

Todos os furos de sondagem foram referenciados aos eixos topográficos implantados 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 no **Tomo 4 A- Estudos Geológicos e Geotécnicos (Anexos)- Parte I**, sob forma de perfis individuais do subsolo, fotos dos testemunhos e fichas de ensaios.



#### 5.4.2. Sondagens à Percussão

As sondagens à percussão na área dos três eixos de barramento estudados totalizaram 53,92m, representando uma espessura média de 3,17m de solo penetrável a tal ferramenta.

No **Quadro 5.1**, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas executadas nos eixos do barramento, com suas referências plani-altimétricas, extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e a correspondente compacidade ou consistência.

**Quadro 5.1 - Investigação Geotécnica nos Eixos da Barragem Freicherinha – SPT**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	SPT Mínimo (N)	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
<b>EIXO 01</b>							
<b>SP-01</b>	Eixo 01 Est. 27+3,38	302.224,23	9.582.315,77	112,652	4,80	17	Areia siltosa, média a fina, mediamente compacto
<b>SP-01'</b>	Eixo 01 Est. 26	301.922,95	9.582.062,97	112,652	6,03	5	Silte argiloso
<b>SP-02</b>	Eixo 01 Est. 17+7,89 (M)	302.091,48	9.582.170,67	114,132	1,45	9	Areia siltosa, média a fina, mediamente compacto
<b>SP-03</b>	Eixo 01 Est. 11+9,27 (M)	301.990,36	9.582.106,05	113,994	5,75	12	Areia pouco argilosa, média a fina, mediamente compacto
<b>SP-04</b>	Eixo 01 Est. 05+10,65 (J)	301.889,24	9.582.041,43	118,056	4,60	32	Areia siltosa compacta
<b>SP-05</b>	Eixo 01 Est. 01+11,56 (J)	301.821,83	9.581.998,35	135,3467	1,45	35	Areia compacta
<b>EIXO 02</b>							
<b>SP-06</b>	Eixo 02 Est. 13	302.619,28	9.581.908,84	113,931	1,80	19	Areia siltosa, média a fina, rija
<b>SP-07</b>	Eixo 02 Est. 21	302.508,77	9.581.793,13	114,396	1,95	38	Areia siltosa, média a fina, dura
<b>SP-08</b>	Eixo 02 Est. 28	302.412,08	9.581.691,89	114,891	5,70	17	Areia siltosa, média a fina, rija
<b>SP-09</b>	Eixo 02 Est. 39	302.257,67	9.581.535,36	112,947	5,60	14	Areia siltosa, média a grossa, md. compacto
<b>SP-10</b>	Eixo 02 Est. 45	302.154,23	9.581.475,42	124,842	1,05		

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	SPT Mínimo (N)	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
<b>EIXO 03</b>							
<b>SP-11</b>	Eixo 03 Est. 00	302.970,70	9.581.205,85	127,447	1,45	45/10	Areia, muito compacto
<b>SP-12</b>	Eixo 03 Est. 10	302.773,60	9.581.239,82	118,315	0,49	45/11	Ardosia pouco alterada
<b>SP-13</b>	Eixo 03 Est. 20	302.576,51	9.581.273,79	113,519	3,40	8	Areia siltosa, média a fina, pouco compacto
<b>SP-14</b>	Eixo 03 Est. 29	302.399,12	9.581.304,36	115,434	6,50	6	Argila pouco arenosa, média
<b>SP-15</b>	Eixo 03 Est. 33	302.320,29	9.581.317,95	116,122	1,45	50/10	Alteração de rocha a Ardosia pouco alterada, muito compacto
<b>SP-16</b>	Eixo 03 Est. 38	302.221,74	9.581.334,94	130,599	0,45	50/10	Alteração de rocha a Ardosia pouco alterada, muito compacto
<b>SP-01'</b>	Eixo 01 Est. 26	301.922,95	9.582.062,97	112,652	6,03	5	Silte argiloso

### 5.4.3. Sondagens à Trado

No local do Eixo 02, foram executadas 2 sondagens à trado, totalizando 0,95m.

No **Quadro 5.2** a seguir são relacionadas as sondagens à trado, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por meio do trado, e a descrição do solo predominante.

#### Quadro 5.2 - Investigação Geotécnica no Eixo 03 da Barragem Freicherinha – Sondagem à Trado

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	Solo Predominante
		Este (X)	Norte (Y)			
<b>TR 01</b>	Eixo 03 Est. 34	302.300,58	9.581.321,35	118,140	0,45	Alteração de rocha a Ardosia pouco alterada, muito compacto
<b>TR 02</b>	Eixo 03 Est. 36	302.261,16	9.581.328,14	123,200	0,50	Alteração de rocha a Ardosia pouco alterada, muito compacto

#### 5.4.4. Sondagens Mistas

No local do eixo da barragem adotado (Eixo 01), foram executadas 9 sondagens mistas, das quais 7 são sondagens verticais e 2 são sondagens inclinadas a 45°, totalizando 262,95m.

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 5.3** a seguir são relacionadas as sondagens mistas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

**Quadro 5.3 - Investigação Geotécnica no Eixo 01 da Barragem Freicherinha – Sondagem Mista**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)	Percussão	Rotativa		
SM 01	4+00	9.582.010,70	301.875,14	4,15	28,85	60	Ardósia da formação Caiçaras
SM 02	11+00	9.582.102,78	301.980,60	4,50	28,50	40	Ardósia de muito coerente a coerente
SM 04	21+00	9.582.234,33	302.131,25	6,10	29,00	36	Ardósia de pouco coerente a coerente
SM 05	30+00	9.582.352,72	302.266,83	2,13	31,87	60	Ardósia de mediamente coerente a muito coerente
SM 06	21+00(M)	9.582.173,94	302.184,53	5,92	27,23	6	Ardósia de rocha sã
SM 07	21+00(J)	9.582.294,20	302.079,00	4,60	18,60	10	Ardósia de pouco a muito alterada
SM 11	18+00	9.582.194,50	302.086,67	5,05	21,95	6	Ardósia de pouco a muito alterada
SM 22 (inclinado)	30+00	9.582.352,72	302.266,83	0,00	20,00		Ardósia de muito a extremamente alterada
SM 23 (inclinado)	1+00	9.581.970,25	301.831,11	0,00	24,50		Ardósia de mediamente a muito alterada

#### 5.4.5. Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, 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 no **Quadro 5.4**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A- Estudos Geológicos e Geotécnicos (Anexos)- Parte I**.

**Quadro 5.4: Investigação Geotécnica no eixo da Barragem Freicherinha – ensaios de Lugeon**

Furo	Estaca	Profundidade do Furo (m)	Profundidade do Obturador (m)	PE (l/min/m/kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
SM-01	4+00	6,00	3,00	1,280	1,34x10 <sup>-4</sup>
		33,00	30,00	0,830	8,64x10 <sup>-5</sup>
SM 02	11+00	18,00	15,00	0,320	1,79x10 <sup>-5</sup>
		21,00	18,00	0,780	3,51x10 <sup>-5</sup>
		24,00	21,00	0,350	3,62x10 <sup>-5</sup>
		24,00	23,00	2,150	1,62x10 <sup>-4</sup>
		27,00	24,00	1,210	6,80x10 <sup>-5</sup>
		29,00	26,00	0,820	8,54x10 <sup>-5</sup>
SM 05	30+00	6,00	3,00	0,680	6,20x10 <sup>-5</sup>
		9,00	6,00	0,930	9,69x10 <sup>-5</sup>
		12,00	9,00	0,290	2,52x10 <sup>-5</sup>
		15,00	12,00	0,320	3,35x10 <sup>-5</sup>
		24,00	21,00	0,960	5,43x10 <sup>-5</sup>
SM 06	21+00(J)	33,00	30,00	0,220	1,90x10 <sup>-5</sup>
		8,92	5,92	2,120	2,18x10 <sup>-4</sup>
		11,92	8,92	2,760	1,86x10 <sup>-4</sup>
		14,92	11,92	0,430	2,89x10 <sup>-5</sup>
		17,92	14,92	0,360	2,31x10 <sup>-5</sup>
		20,92	17,92	3,280	2,65x10 <sup>-4</sup>
		23,92	20,92	2,720	2,03x10 <sup>-4</sup>
		26,92	23,92	0,620	3,26x10 <sup>-5</sup>
29,92	26,92	0,500	3,43x10 <sup>-5</sup>		
SM 11	18+00	33,00	30,00	0,090	5,49x10 <sup>-6</sup>
		11,00	8,00	0,780	6,07x10 <sup>-5</sup>
		14,00	11,00	0,260	1,31x10 <sup>-5</sup>
		17,00	14,00	0,500	2,80x10 <sup>-5</sup>
		20,00	17,00	0,160	9,54x10 <sup>-6</sup>
		23,00	20,00	0,050	9,62x10 <sup>-7</sup>
SM 22	30+00	27,00	24,00	0,440	4,44x10 <sup>-5</sup>
		9,00	6,00	0,490	4,39x10 <sup>-5</sup>
		12,00	9,00	0,340	2,95x10 <sup>-5</sup>
		15,00	12,00	0,320	2,61x10 <sup>-5</sup>
		18,00	15,00	0,470	4,33x10 <sup>-5</sup>
SM 23	1+00	20,00	17,00	0,530	4,72x10 <sup>-5</sup>
		12,00	9,00	0,440	3,61x10 <sup>-5</sup>
		15,00	12,00	0,280	2,41x10 <sup>-5</sup>
		18,00	15,00	0,280	2,22x10 <sup>-5</sup>
		21,00	18,00	0,490	3,87x10 <sup>-5</sup>
		24,00	21,00	0,360	3,38x10 <sup>-5</sup>



## 5.5. INVESTIGAÇÃO NO LOCAL DO VERTEDOIRO

### 5.5.1. Sondagens realizadas

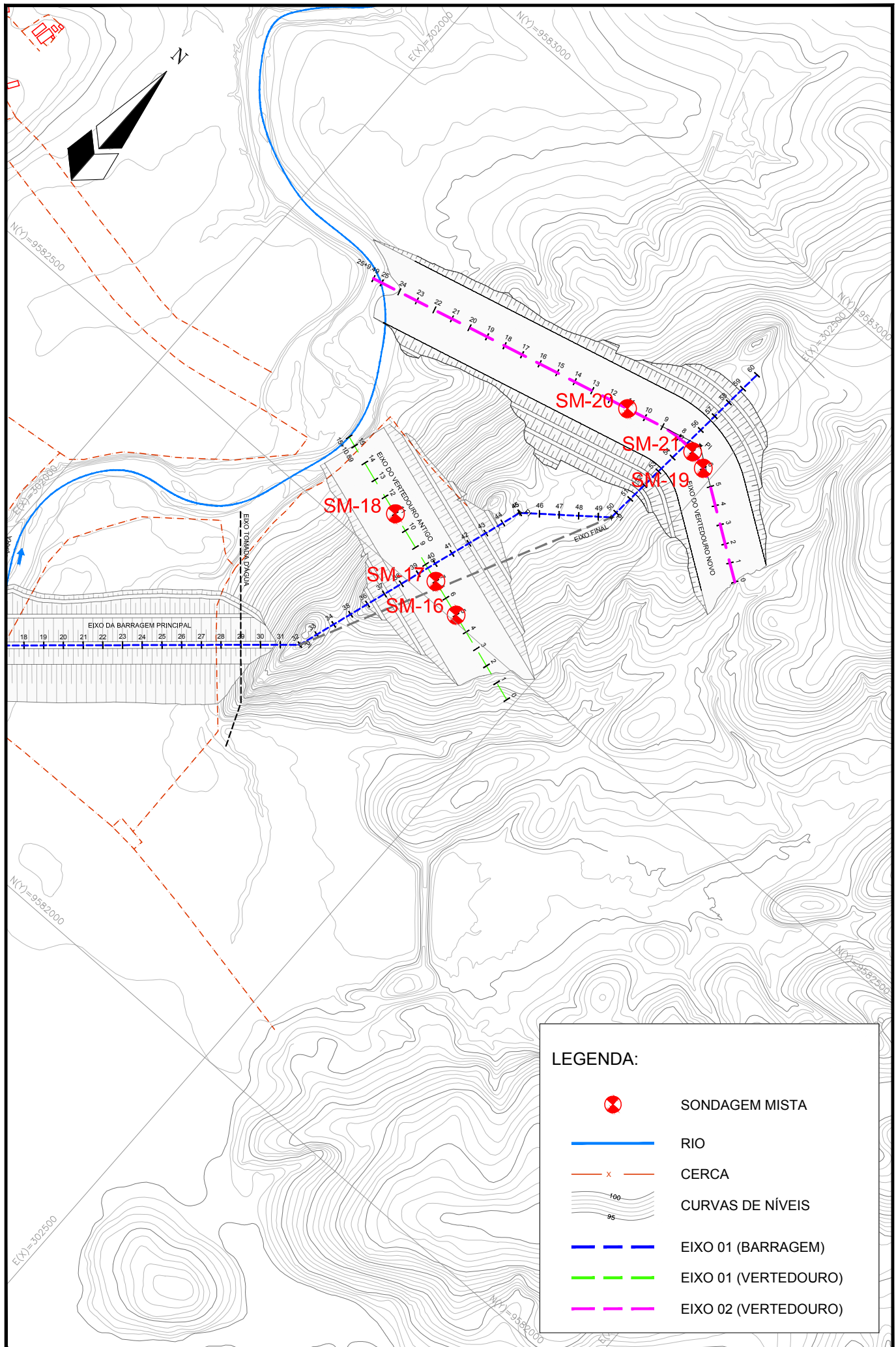
Os estudos geotécnicos nos locais estudados para a localização do vertedouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a condutibilidade hidráulica do maciço rochoso através de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon).

Ao longo dos dois eixos alternativos, estudados para avaliação do melhor local para a implantação do sistema vertedouro, foram realizadas 06 sondagens mistas, com 109,88 m, sendo 5,92 m com percussão e 103,96 m com sonda rotativa.




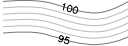



Todos os furos de sondagem foram georeferenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico. A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na **Figura 5.5**. No **Quadro 5.5** são apresentadas as sondagens mistas realizadas nos eixos estudados para o vertedouro.

**Quadro 5.5 - Investigação Geotécnica do Vertedouro da Barragem Frecheirinha**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)	Percussão	Rotativa		
<b>EIXO 01</b>							
<b>SM 16</b>	Eixo 01 5+00	9.582.505,95	302.396,71	0,00	5,00		Ardósia de medianamente a muito alterada
<b>SM 17</b>	Eixo 01 7+00	9.582.518,25	302.358,65	5,92	24,66	6	Ardósia de pouco a medianamente alterada
<b>SM 18</b>	Eixo 01 10+00	9.582.542,84	302.282,53	0,00	23,60		Ardósia de pouco a medianamente alterada
<b>EIXO 02</b>							
<b>SM 19</b>	Eixo 02 6+00	9.582.783,13	302.487,60	0,00	18,50		Ardósia pouco a medianamente alterada
<b>SM 20</b>	Eixo 02 11+00	9.582.778,10	302.389,85	0,00	16,70		Ardósia de medianamente a muito alterada
<b>SM 21</b>	Eixo 02 7+00	9.582.788,60	302.468,50	0,00	15,50		Ardósia de muito a extremamente alterada



**LEGENDA:**

	SONDAGEM MISTA
	RIO
	CERCA
	CURVAS DE NÍVEIS
	EIXO 01 (BARRAGEM)
	EIXO 01 (VERTEDOURO)
	EIXO 02 (VERTEDOURO)

### 5.5.2. Ensaios de Campo

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 no **Quadro 5.6**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A- Estudos Geológicos e Geotécnicos (Anexos)- Parte I**.

**Quadro 5.6 - Investigação Geotécnica nos eixos dos vertedores da Barragem Freicherinha – ensaios de Lugeon**

Furo	Estaca	Profundidade do Furo (m)	Profundidade do Obturador (m)	PE (l/min/m/kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
SM-16	Eixo 01 5+00	5,00	2,00	0,92	9,64x10 <sup>-5</sup>
SM 17	Eixo 01 7+00	10,73	7,73	0,88	9,16x10 <sup>-5</sup>
		12,95	9,95	0,48	5,06x10 <sup>-5</sup>
		16,40	13,40	0,42	2,90x10 <sup>-5</sup>
		26,07	23,07	-8,64	1,95x10 <sup>-5</sup>
		27,58	30,58	0,22	2,27x10 <sup>-5</sup>
SM 18	Eixo 01 10+00	12,00	9,00	0,59	6,14x10 <sup>-5</sup>
		15,00	12,00	0,61	4,27x10 <sup>-5</sup>
		21,00	18,00	0,47	4,90x10 <sup>-5</sup>
		23,60	20,60	0,26	2,27x10 <sup>-5</sup>
SM 19	Eixo 02 6+00	9,00	6,00	0,02	9,36x10 <sup>-7</sup>
		12,00	9,00	0,06	4,27x10 <sup>-6</sup>
		15,00	12,00	0,03	1,87x10 <sup>-6</sup>
		18,00	15,00	0,02	1,81x10 <sup>-6</sup>
SM 20	Eixo 02 11+00	9,00	6,00	0,06	3,55x10 <sup>-6</sup>
		12,00	9,00	0,05	2,94x10 <sup>-6</sup>
		15,00	12,00	0,06	3,41x10 <sup>-6</sup>
M 21	Eixo 02 7+00	8,00	5,00	0,13	1,01x10 <sup>-5</sup>
		12,00	9,00	0,09	6,43x10 <sup>-6</sup>
		15,00	12,00		

### 5.6. Análise das Campanhas de Sondagens

Foram utilizadas no campo as seguintes formas de investigação:

- sondagens a trado;
- sondagens a percussão;
- sondagens mistas (iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa);

- ensaios de perda d'água sob pressão, em rocha.

Na área dos eixos de barramento, foi executado um total de 28 (vinte e oito) sondagens, sendo 17 (dezesete) a percussão (SP), 9 (nove) sondagens mistas (SM), estas iniciadas a percussão e prosseguidas por processo rotativo, e 2 (duas) sondagens a trado (ST).

As sondagens a percussão foram feitas segundo os procedimentos recomendados nas normas brasileiras da ABNT, seguindo as orientações da NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento do Solo.

Nos trechos de sondagem a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi empregado o trado concha de 4". Ao encontrar-se o nível d'água, ou material impenetrável à ferramenta, o furo foi revestido e prosseguido por lavagem. Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8", de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm no terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja, dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Nos locais onde a camada resistente, ou rocha, ocorre muito próxima da superfície, a sondagem foi executada a trado até o impenetrável, tendo sido deslocada duas vezes de forma triangular, a uma distância de aproximadamente 3,0 m do primeiro furo, para confirmação da profundidade. Nestes casos, o furo recebeu a nomenclatura ST, com a mesma numeração, sendo que, nos furos subsequentes, a numeração foi acrescida das letras "A" e "B" (no quadro resumo foram apresentados os furos com maior profundidade). Nos locais onde a rocha aflorava não foi possível a execução da sondagem a percussão prevista na programação (esta situação está indicada no quadro resumo como "Aflor.").

Nos trechos de sondagem rotativa utilizou-se uma perfuratriz hidráulica GY 200, com sistema wireline, para perfurar a partir da profundidade atingida pela sondagem percussiva,

ou seja, a partir do impenetrável a esse método, até atingir a profundidade estabelecida pelo contratante. Para extração das amostras foi utilizado o barrilete duplo de diâmetro NW, com padrão de 75,64 mm e 54,73 mm de diâmetros externo e interno.

Para cada operação do barrilete foi registrada número de peças de testemunhos por metro, seguindo trechos de mesmo padrão de fraturamento (frequência de fraturas), com respectivo IQR ou RQD (índice de qualidade de rocha), que consiste na somatória dos testemunhos de rochas iguais ou maiores que 10 cm dividida pelo comprimento total do trecho, expressa em %; dados que estão indicados nos perfis de sondagem apresentados no **Tomo 4 A- Estudos Geológicos e Geotécnicos (Anexos)- Parte I.**

## 5.7. 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 10 jazidas de solos, um areal e uma pedreira.

Nas proximidades da barragem Frecheirinha, mais precisamente nas margens do Rio Caiçara, foram identificadas 10 ocorrências de materiais areno argiloso, com pouco ou sem fragmentos rochosos.

Na ocorrência J-01, distante 3,7 km para o eixo da barragem, foram realizados 9 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,81 m, demarcando uma área de 4,0 ha e um volume estimado de 32.400 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-02, distante 2,7 km para o eixo da barragem, foram realizados 12 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,92 m, demarcando uma área de 8,75 ha e um volume estimado de 80.500 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-03, distante 2,3 km para o eixo da barragem, foram realizados 9 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,02 m, demarcando uma área de 4,0 ha e um volume estimado de 40.800 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-04, distante 3,25 km para o eixo da barragem, foram realizados 24 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,02 m, demarcando uma área de 15,0 ha e um volume estimado de 153.000 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-05, distante 3,35 km para o eixo da barragem, foram realizados 20 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,92 m, demarcando uma área de 12,0 ha e um volume estimado de 110.400 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-06, distante 4,4 km para o eixo da barragem, foram realizados 20 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,83 m, demarcando uma área de 12,0 ha e um volume estimado de 99.600 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-07, distante 4,15 km para o eixo da barragem, foram realizados 30 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,11 m, demarcando uma área de 20,75 ha e um volume estimado de 230.325 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-08, distante 100 m para o eixo da barragem, foram realizados 9 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,91 m, demarcando uma área de 4,0 ha e um volume estimado de 36.400 m<sup>3</sup>.

Na ocorrência J-09, localizado junto ao eixo da barragem, foram realizados 12 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,95 m, demarcando uma área de 6,00 ha e um volume estimado de 57.000 m<sup>3</sup>.

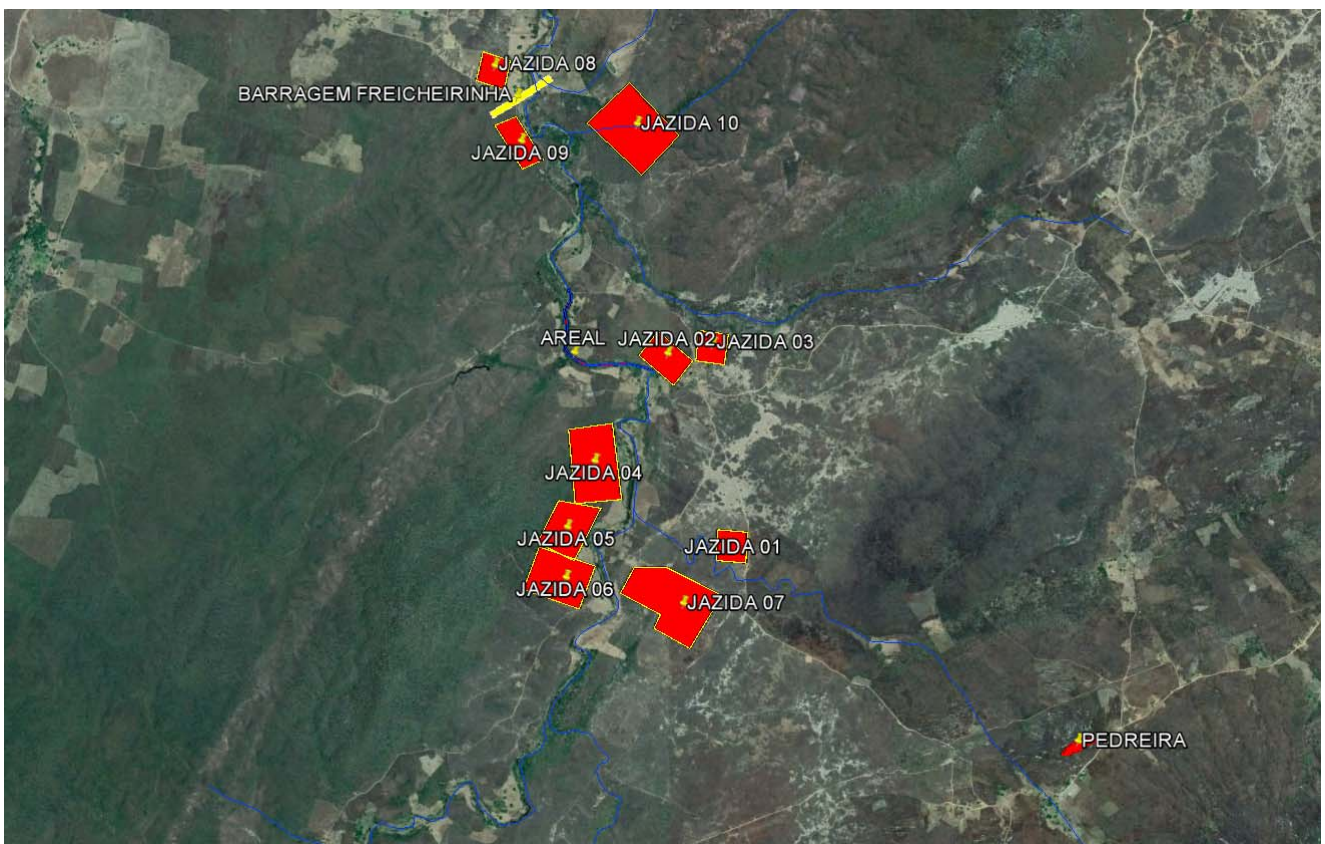
Na ocorrência J-10, distante 450 m para o eixo da barragem, foram realizados 30 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,06 m, demarcando uma área de 30,0 ha e um volume estimado de 318.000 m<sup>3</sup>.

Para fonte de material pétreo destinado aos concretos e enrocamentos, estudou um afloramento de rocha granítica sã, de coloração acinzentada, na localidade de Roça do

Mato, próxima a Serra do Carnutim, cerca de 7,2 km a montante do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira.

Uma região a montante do eixo, onde ocorrem concentrações de bancos de areia na calha do rio Caiçara, foi pesquisada para possível fonte de material drenante/filtrante da barragem e de agregado miúdo para os concretos. Realizou-se na área 13 poços com pá e picareta que revelaram uma areia com uma granulometria fina a grossa de espessura típica de 1,0 m com um volume de cerca de 11.300 m<sup>3</sup>. O ponto central desta área pesquisada dista cerca de 1,8 km do local das obras. Novas áreas neste rio, a montante e também a jusante da barragem, deverão ser pesquisadas, em função dos volumes necessários apontados durante o detalhamento do Projeto.

A localização das jazidas em estudo, para aplicação no maciço da barragem Frecheirinha, encontra-se apresentada na imagem da **Figura 5.6**.



**Figura 5.6: Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Frecheirinha**

### 5.7.1. Jazidas de solo

As jazidas de solo foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha típica de 100m por 50m, cobrindo a área a ser explorada. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados, títul visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no **Tomo 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos (Anexos)- Parte II**.

No **Quadro 5.7**, é apresentado um quadro contendo os volumes utilizáveis e expurgáveis, bem como o volume total de material disponível nas jazidas.

**Quadro 5.7 - Volume de Materiais das Jazidas**

JAZIDA	ÁREA ESTUDADA (m <sup>2</sup> )	ESPESSURA MÉDIA DO EXPURGO (m)	ESPESSURA MÉDIA (m)	VOLUME DE EXPURGO (m <sup>3</sup> )	VOLUME TOTAL DA JAZIDA (m <sup>3</sup> )	VOLUME DE MATERIAL UTILIZÁVEL (m <sup>3</sup> )	DISTÂNCIA DO EIXO DA BARRAGEM (km)
JAZIDA J-01	40.000	0,15	0,81	6.000	38.400	32.400	3,7
JAZIDA J-02	87.500	0,15	0,92	13.125	93.625	80.500	2,6
JAZIDA J-03	40.000	0,15	1,02	6.000	46.800	40.800	2,3
JAZIDA J-04	175.000	0,15	1,02	26.250	204.750	178.500	3,25
JAZIDA J-05	140.000	0,15	0,92	21.000	149.800	128.800	3,35
JAZIDA J-06	135.000	0,15	0,83	20.250	132.300	112.050	4,4
JAZIDA J-07	207.500	0,10	1,11	20.750	251.075	230.325	4,15
JAZIDA J-08	40.000	0,10	0,91	4.000	40.400	36.400	0,1
JAZIDA J-09	87.500	0,10	0,95	8.750	91.875	83.125	0,1
JAZIDA J-10	300.000	0,10	1,06	30.000	348.000	318.000	0,45

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 **Quadro 5.8** a **Quadro 5.17** são mostrados os resultados dos ensaios de laboratório.



**Quadro 5.8 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 01**

RESUMO DOS ENSAIOS																			
TRECHO: JAZIDA 1														Tratamento Estatístico dos resultados					
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14						
PROFUNDIDADE	DE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15						
(m)	ATÉ	1,20	0,60	1,00	1,00	1,20	0,80	0,60	0,90	1,10	0,80	0,90	1,00	X	σ	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA																			
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	100%	100%	
		1"	100%	100%	91%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	93%	97,60%	3,62%	94%	100%
		3/8"	94%	92%	82%	84%	100%	99%	90%	89%	92%	91%	81%	83%	89,77%	6,24%	84%	96%	
		Nº 4	85%	82%	73%	76%	93%	91%	75%	73%	85%	83%	72%	74%	80,22%	7,40%	73%	88%	
		Nº 10	78%	76%	67%	69%	85%	82%	58%	59%	79%	77%	65%	68%	71,96%	8,86%	63%	81%	
		Nº 40	58%	57%	60%	59%	66%	61%	43%	43%	65%	60%	47%	50%	55,84%	7,88%	48%	64%	
		Nº 200	46%	44%	48%	39%	39%	34%	26%	24%	45%	38%	24%	33%	36,72%	8,56%	28%	45%	
LIMITES DE ATTERBERG																			
LL		37%	36%	29%	33%	34%	40%	32%	33%	36%	40%	32%	36%	34,72%	3,34%	31%	38%		
LP		26%	24%	16%	22%	21%	30%	22%	22%	23%	29%	21%	26%	23,55%	3,63%	-	-		
IP		11%	13%	13%	10%	13%	10%	10%	10%	12%	12%	11%	10%	11,17%	1,09%	10%	12%		
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																			
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-		
COMPACTAÇÃO																			
Hótima (%)		15,4	11,1	16,3	12,2	14,5	11,5	14,3	14,5	14,5	14,5	11,1	14,4	13,69	1,75	-	-		
Dmáx (g/cm3)		1.790	1.980	1.721	1.869	1.772	1.927	1.752	1.808	1.808	1.808	1.843	1.879	1.829,75	74,09	-	-		

**Quadro 5.9 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 02**

RESUMO DOS ENSAIOS																			
TRECHO: JAZIDA 2														Tratamento Estatístico dos resultados					
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
PROFUNDIDADE	DE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,15	0,15	0,15						
(m)	ATÉ	1,20	1,00	1,30	0,90	1,10	0,90	1,20	0,70	0,80	1,00	1,10	1,10	X	$\sigma$	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA																			
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	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%	100%	100,00%	0,00%	100%	100%
		3/8"	100%	99%	86%	89%	93%	92%	96%	95%	95%	95%	94%	92%	93,84%	3,83%	90%	98%	
		Nº 4	96%	94%	76%	79%	83%	82%	92%	92%	79%	80%	84%	82%	84,89%	6,67%	78%	92%	
		Nº 10	91%	87%	70%	70%	75%	73%	87%	87%	70%	70%	73%	69%	76,84%	8,51%	68%	85%	
		Nº 40	62%	51%	56%	56%	59%	56%	69%	68%	61%	51%	63%	53%	58,60%	6,07%	53%	65%	
		Nº 200	39%	34%	35%	33%	42%	37%	46%	42%	42%	37%	41%	25%	37,94%	5,57%	32%	44%	
LIMITES DE ATTERBERG																			
LL	41%	32%	40%	32%	33%	28%	38%	35%	40%	36%	37%	-	35,70%	4,15%	32%	40%			
LP	29%	20%	29%	22%	21%	16%	25%	23%	27%	25%	25%	-	23,79%	4,00%	-	-			
IP	13%	12%	11%	10%	12%	12%	13%	13%	12%	11%	13%	-	11,91%	0,95%	11%	13%			
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																			
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	-	-	-			
COMPACTAÇÃO																			
Hótima (%)	15,3	11	15,5	13,5	14,5	13,1	14,3	14,2	14,3	12,3	14,3	11,2	13,85	1,31	-	-			
Dmáx (g/cm3)	1.783	1.836	1.789	1.802	1.870	1.812	1.802	1.844	1.790	1.865	1.785	1.886	1.816,18	32,19	-	-			

**Quadro 5.10 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 03**

RESUMO DOS ENSAIOS																		
TRECHO: JAZIDA 3														Tratamento Estatístico dos resultados				
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	15					
PROFUNDIDADE	DE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15					
(m)	ATÉ	1,30	0,90	1,30	1,10	1,25	1,15	1,10	1,05	1,15	1,10	1,15	1,20	X	$\sigma$	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA																		
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	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%	100,00%	0,00%	100%	100%
		3/8"	100%	100%	97%	94%	100%	93%	100%	93%	94%	100%	100%	100%	97,68%	3,06%	95%	100%
		Nº 4	94%	92%	95%	85%	100%	85%	100%	88%	85%	100%	99%	98%	93,52%	6,21%	87%	100%
		Nº 10	85%	81%	92%	80%	95%	80%	96%	80%	74%	96%	93%	92%	86,92%	7,84%	79%	95%
		Nº 40	63%	50%	66%	55%	67%	53%	76%	54%	59%	67%	66%	65%	61,79%	7,40%	54%	69%
		Nº 200	38%	33%	48%	37%	42%	23%	47%	36%	40%	42%	35%	35%	37,97%	6,80%	31%	45%
LIMITES DE ATTERBERG																		
LL		37%	36%	38%	35%	29%	-	38%	32%	36%	34%	33%	36%	34,79%	2,81%	32%	38%	
LP		26%	25%	25%	25%	16%	-	25%	20%	23%	21%	23%	26%	23,09%	2,98%	-	-	
IP		12%	11%	13%	11%	13%	-	13%	12%	12%	13%	10%	10%	11,69%	1,00%	11%	13%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																		
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																		
Hótima (%)		14,5	11	14,2	10,5	14,7	13,2	15,4	10,8	13,5	12,4	11,4	12,4	12,83	1,67	-	-	
Dmáx (g/cm3)		1.900	1.843	1.819	1.974	1.751	1.857	1.741	1.908	1.920	1.916	1.892	1.868	1.865,75	68,99	-	-	

**Quadro 5.11 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 04**

RESUMO DOS ENSAIOS																																
TRECHO: JAZIDA 4																									Tratamento Estatístico dos resultados							
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					24			
PROFUNDIDADE	DE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15						
(m)	ATÉ	2,00	1,50	0,70	0,60	2,00	1,00	0,80	0,80	2,00	1,00	1,30	0,80	1,50	1,00	1,10	1,10	1,30	1,00	0,80	0,70	1,50	0,70	0,70	1,60	X	σ	Xmín	Xmáx			
GRANULOMETRIA																																
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	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%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		3/8"	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	89%	88%	90%	89%	91%	89%	89%	94%	95%	94%	91%	95%	92%	92%	90%	94,47%	4,72%	90%	99%	
		Nº 4	99%	99%	98%	94%	100%	100%	97%	96%	97%	77%	75%	80%	79%	81%	79%	79%	87%	88%	86%	80%	88%	84%	84%	80%	87,85%	8,69%	79%	97%		
		Nº 10	94%	96%	94%	87%	98%	92%	86%	87%	90%	68%	67%	69%	71%	72%	69%	69%	76%	76%	75%	68%	77%	74%	74%	72%	79,26%	10,44%	69%	90%		
		Nº 40	56%	70%	63%	56%	76%	61%	60%	61%	61%	54%	54%	54%	50%	49%	46%	55%	55%	62%	47%	45%	63%	50%	58%	57%	56,84%	7,31%	50%	64%		
		Nº 200	36%	44%	34%	27%	46%	33%	38%	41%	36%	40%	46%	37%	25%	30%	27%	39%	30%	42%	30%	30%	43%	25%	42%	47%	36,22%	6,96%	29%	43%		
LIMITES DE ATTERBERG																																
LL	34%	39%	35%	-	35%	31%	38%	33%	32%	32%	40%	28%	-	32%	-	32%	29%	33%	31%	29%	40%	-	33%	36%	33,52%	3,63%	30%	37%				
LP	22%	27%	25%	-	22%	20%	26%	21%	22%	21%	27%	17%	-	20%	-	20%	18%	21%	20%	18%	27%	-	21%	23%	21,94%	3,09%	-	-				
IP	12%	12%	11%	-	13%	10%	12%	12%	11%	11%	13%	11%	-	12%	-	12%	10%	12%	10%	10%	12%	-	12%	13%	11,58%	0,95%	11%	13%				
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																																
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	-	-	-				
COMPACTAÇÃO																																
Hótima (%)	11,2	12,5	13,2	11,2	11,4	11,3	11,2	13,4	14,2	15,4	16,5	13,56	10,5	11,1	10,3	14,7	13,5	16,6	10,1	10,6	14,6	10,1	14,6	14,4	12,76	2,05	-	-				
Dmáx (g/cm3)	1.890	1.926	1.915	1.934	1.934	1.851	1.980	1.849	1.877	1.819	1.917	1.844	1.808	1.935	1.855	1.849	1.807	1.828	1.828	1.808	1.758	1.912	1.832	1.902	1.869,08	54,78	-	-				

**Quadro 5.12 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 05**

RESUMO DOS ENSAIOS																												
TRECHO: JAZIDA 5																						Tratamento Estatístico dos resultados						
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
PROFUNDIDADE	DE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15						
(m)	ATÉ	1,10	1,20	1,20	1,20	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20	0,70	0,60	1,20	1,00	1,50	1,00	1,20	1,00	0,80	1,00	1,20	1,20	X	σ	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA																												
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		1"	100%	100%	100%	100%	98%	100%	96%	98%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	99%	98%	100%	99%	100%	99%	100%	99,35%	1,02%	98%	100%
		3/8"	96%	94%	93%	91%	86%	90%	84%	86%	95%	89%	89%	88%	89%	97%	97%	94%	90%	100%	94%	93%	91,79%	4,30%	87%	96%		
		Nº 4	91%	87%	85%	83%	79%	80%	76%	77%	39%	74%	72%	68%	70%	85%	88%	85%	80%	95%	84%	82%	79,11%	11,71%	67%	91%		
		Nº 10	81%	71%	67%	70%	74%	72%	69%	69%	28%	62%	60%	53%	55%	75%	76%	74%	69%	73%	65%	66%	66,58%	11,40%	55%	78%		
		Nº 40	61%	51%	45%	55%	55%	49%	54%	49%	25%	51%	49%	45%	45%	56%	61%	47%	52%	28%	50%	51%	48,94%	8,90%	40%	58%		
		Nº 200	40%	33%	30%	35%	39%	31%	42%	31%	15%	39%	33%	35%	33%	41%	47%	32%	36%	21%	34%	34%	34,10%	7,00%	27%	41%		
LIMITES DE ATTERBERG																												
LL		32%	33%	30%	32%	32%	31%	35%	28%	-	35%	32%	35%	36%	29%	40%	30%	40%	-	33%	40%	33,49%	3,58%	30%	37%			
LP		21%	21%	19%	21%	22%	20%	24%	16%	-	25%	19%	25%	24%	16%	27%	19%	27%	-	23%	27%	21,96%	3,52%	-	-			
IP		11%	12%	11%	11%	10%	10%	11%	12%	-	11%	13%	11%	12%	13%	12%	12%	13%	-	10%	12%	11,52%	0,87%	11%	12%			
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																												
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	-	-	-			
COMPACTAÇÃO																												
Hótima (%)		13,4	11,3	11,1	14,3	13,5	11,3	13,4	10,7	13,4	12,4	10,6	12,3	13,3	14,2	15,3	11,7	13,1	13,2	11	13,6	12,66	1,34	-	-			
Dmáx (g/cm3)		1.732	1.924	1.904	1.836	1.863	1.893	1.886	1.856	1.775	1.832	1.853	1.811	1.861	1.781	1.750	1.806	1.853	1.781	1.843	1.892	1.836,60	52,89	-	-			

**Quadro 5.13 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 06**

RESUMO DOS ENSAIOS																											
TRECHO: JAZIDA 6																						Tratamento Estatístico dos resultados					
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
PROFUNDIDADE	DE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15					
(m)	ATÉ	0,80	1,00	1,00	1,00	1,10	0,90	0,80	0,50	1,10	1,10	0,50	0,90	1,00	1,30	1,10	1,00	1,30	1,20	0,80	0,80	X	σ	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA																											
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	91%	95%	98%	100%	100%	96%	96%	98%	99%	100%	100%	98,61%	2,49%	96%	100%
		3/8"	85%	86%	80%	87%	80%	86%	85%	87%	90%	67%	74%	79%	90%	85%	90%	83%	83%	85%	84%	89%	83,75%	5,65%	78%	89%	
		Nº 4	72%	73%	64%	72%	65%	73%	71%	71%	75%	47%	58%	63%	78%	74%	79%	71%	69%	68%	70%	77%	69,40%	7,51%	62%	77%	
		Nº 10	62%	62%	55%	62%	58%	64%	61%	62%	67%	39%	48%	51%	63%	64%	70%	61%	60%	56%	60%	67%	59,61%	7,20%	52%	67%	
		Nº 40	47%	44%	47%	46%	51%	50%	45%	43%	44%	34%	38%	41%	41%	50%	59%	43%	47%	45%	44%	46%	45,19%	5,09%	40%	50%	
		Nº 200	30%	27%	13%	28%	32%	33%	24%	28%	30%	28%	26%	31%	23%	36%	40%	25%	29%	29%	25%	25%	28,11%	5,45%	23%	34%	
LIMITES DE ATTERBERG																											
LL	31%	32%	-	40%	35%	40%	-	40%	30%	38%	-	38%	-	40%	38%	-	36%	40%	-	-	36,85%	3,61%	33%	40%			
LP	20%	22%	-	30%	25%	27%	-	29%	19%	27%	-	27%	-	28%	26%	-	24%	27%	-	-	25,52%	3,34%	-	-			
IP	10%	11%	-	10%	11%	12%	-	11%	11%	11%	-	11%	-	12%	12%	-	12%	12%	-	-	11,32%	0,80%	11%	12%			
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																											
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SM	SC	SM	SC	SC	SM	SC	SC	SM	SM	-	-	-				
COMPACTAÇÃO																											
Hótima (%)	11,2	13,2	11,4	12,4	16,3	14,1	11,1	12,4	10,4	14,3	10,5	13,6	9,9	13,6	11,1	10,2	10,2	11,8	10	10,4	11,91	1,77	-	-			
Dmáx (g/cm3)	1.841	1.863	1.868	1.874	1.858	1.891	1.904	1.822	1.895	1.829	1.913	1.804	1.867	1.858	1.843	1.826	1.826	1.838	1.907	1.857	1.859,20	31,16	-	-			

**Quadro 5.14 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 07**

RESUMO DOS ENSAIOS																											
TRECHO: JAZIDA 7																						Tratamento Estatístico dos resultados					
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	18	20	22	25	28						
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	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,30	1,20	1,10	1,30	1,10	0,90	1,20	1,30	1,30	1,30	1,30	1,50	0,90	1,10	0,80	1,00	1,30	1,50	1,50	1,20	X	σ	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA																											
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	96%	91%	94%	100%	95%	100%	97%	100%	97%	99%	100%	100%	95%	100%	100%	100%	98,23%	2,61%	96%	100%	
		3/8"	88%	93%	90%	90%	77%	79%	81%	100%	86%	100%	88%	95%	88%	92%	100%	100%	94%	100%	92%	96%	91,55%	7,13%	84%	99%	
		Nº 4	70%	84%	79%	80%	66%	69%	72%	97%	73%	93%	77%	86%	77%	83%	96%	96%	91%	91%	79%	92%	82,57%	9,84%	73%	92%	
		Nº 10	64%	77%	70%	72%	61%	61%	66%	94%	66%	86%	62%	80%	67%	74%	88%	87%	89%	83%	71%	89%	75,48%	10,84%	65%	86%	
		Nº 40	48%	59%	47%	50%	55%	39%	44%	82%	50%	68%	49%	64%	47%	55%	69%	74%	79%	63%	66%	75%	59,17%	12,55%	47%	72%	
		Nº 200	34%	46%	25%	30%	35%	25%	30%	48%	30%	36%	31%	38%	32%	31%	44%	44%	44%	39%	42%	46%	36,46%	7,18%	29%	44%	
LIMITES DE ATTERBERG																											
LL	40%	38%	-	32%	38%	-	31%	36%	33%	35%	33%	32%	31%	27%	33%	40%	40%	35%	41%	33%	34,97%	4,08%	31%	39%			
LP	30%	25%	-	20%	27%	-	20%	23%	23%	25%	22%	21%	20%	17%	21%	29%	28%	25%	29%	21%	23,60%	3,74%	-	-			
IP	10%	13%	-	12%	11%	-	10%	13%	10%	11%	10%	11%	11%	10%	12%	11%	12%	11%	13%	12%	11,36%	1,10%	10%	12%			
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																											
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SM	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																											
Hótima (%)	14,4	14,2	11,1	10,5	14,1	10,5	11,2	15,3	11,3	15,1	14,1	15	11,1	13,5	11,1	11,3	15,4	13	14,2	14,2	13,03	1,79	-	-			
Dmáx (g/cm3)	1.730	1.764	1.886	1.887	1.812	1.812	1.928	1.827	1.893	1.801	1.812	1.762	1.845	1.809	1.780	1.751	1.737	1.819	1.835	1.758	1.812,40	55,23	-	-			

**Quadro 5.15 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 08**

RESUMO DOS ENSAIOS																
TRECHO: JAZIDA 8												Tratamento Estatístico dos resultados				
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11					
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,10	0,80	0,90	1,10	0,80	1,10	1,00	1,00	1,10	1,10	X	$\sigma$	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA																
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0,00%	100%	100%
		3/8"	98%	94%	97%	94%	90%	90%	91%	92%	84%	76%	90,60%	6,58%	84%	97%
		Nº 4	96%	91%	90%	91%	81%	85%	85%	84%	64%	65%	82,95%	10,85%	72%	94%
		Nº 10	92%	85%	81%	82%	73%	81%	77%	74%	46%	58%	74,92%	13,47%	61%	88%
		Nº 40	62%	54%	56%	52%	55%	51%	57%	56%	41%	45%	52,99%	5,91%	47%	59%
		Nº 200	36%	34%	35%	39%	40%	34%	39%	40%	33%	35%	36,53%	2,66%	34%	39%
LIMITES DE ATTERBERG																
LL		37%	32%	33%	34%	39%	34%	34%	38%	32%	35%	34,95%	2,40%	33%	37%	
LP		26%	20%	23%	23%	27%	24%	21%	25%	22%	25%	23,51%	2,28%	-	-	
IP		11%	12%	10%	11%	12%	11%	13%	13%	11%	11%	11,44%	0,84%	11%	12%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																
Hótima (%)		13,4	11,3	14,1	10,4	16,1	11,7	13,7	13,6	12,3	13,6	13,02	1,63	-	-	
Dmáx (g/cm3)		1.849	1.865	1.883	1.859	1.787	1.888	1.802	1.809	1.840	1.902	1.848,40	38,83	-	-	



**Quadro 5.16 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 09**

RESUMO DOS ENSAIOS																			
TRECHO: JAZIDA 9														Tratamento Estatístico dos resultados					
FURO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14						
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					
(m)	ATÉ	0,80	0,90	0,90	1,30	0,90	0,80	1,20	1,00	1,10	1,00	1,00	1,10	X	$\sigma$	X <sub>min</sub>	X <sub>máx</sub>		
GRANULOMETRIA																			
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	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%	100%	100,00%	0,00%	100%	100%
		3/8"	96%	95%	94%	95%	92%	91%	88%	88%	87%	89%	95%	88%	91,69%	3,45%	88%	95%	
		Nº 4	89%	87%	85%	86%	86%	83%	79%	79%	78%	79%	88%	78%	83,16%	4,20%	79%	87%	
		Nº 10	80%	77%	76%	76%	79%	74%	69%	69%	68%	70%	79%	70%	73,94%	4,49%	69%	78%	
		Nº 40	62%	51%	51%	50%	59%	54%	46%	44%	52%	47%	62%	48%	52,11%	5,95%	46%	58%	
		Nº 200	49%	32%	33%	33%	39%	37%	25%	25%	44%	25%	49%	30%	35,14%	8,64%	27%	44%	
LIMITES DE ATTERBERG																			
LL	37%	36%	37%	34%	41%	40%	-	-	32%	-	32%	35%	36,23%	3,23%	33%	39%			
LP	25%	25%	27%	23%	29%	28%	-	-	21%	-	20%	24%	24,67%	3,06%	-	-			
IP	12%	11%	10%	11%	13%	12%	-	-	11%	-	13%	11%	11,56%	0,94%	11%	13%			
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																			
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SM	SC	SM	SC	SC	-	-	-				
COMPACTAÇÃO																			
Hótima (%)	15,5	11	11,7	11,6	13,4	14,7	10,5	10,5	12,3	10,5	12,3	10,5	12,04	1,70	-	-			
D <sub>máx</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.840	1.841	1.916	1.835	1.854	1.828	1.859	1.850	1.850	1.812	1.850	1.806	1.845,08	27,69	-	-			

**Quadro 5.17 – Resumo dos resultados dos ensaios da Jazida 10**

RESUMO DOS ENSAIOS																																			
TRECHO: JAZIDA 10																									Tratamento Estatístico dos resultados										
FURO		1	2	3	4	5	7	8	9	11	13	15	16	17	18	19	20	21	23	25	26	27	28	29						30					
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10						0,10					
(m)	ATÉ	1,00	0,95	1,10	1,20	1,00	1,20	1,10	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,10	1,00	1,00	1,20	1,30	1,30	1,10	1,30	1,10	1,10										
<b>GRANULOMETRIA</b>																									X	σ	Xmín	Xmáx							
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	100%	100%
		1"	91%	91%	92%	90%	88%	94%	91%	100%	98%	100%	96%	98%	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	98%	96,71%	3,99%	93%	100%					
		3/8"	82%	82%	83%	80%	77%	71%	81%	100%	90%	71%	87%	89%	95%	93%	84%	89%	80%	77%	80%	91%	92%	90%	82%	87%	84,63%	7,24%	77%	92%					
		Nº 4	72%	72%	73%	69%	66%	61%	70%	99%	86%	58%	81%	82%	88%	80%	64%	82%	61%	57%	62%	85%	87%	80%	71%	77%	74,29%	11,00%	63%	85%					
		Nº 10	64%	64%	65%	63%	57%	56%	62%	97%	84%	44%	77%	78%	78%	71%	45%	78%	43%	39%	43%	79%	83%	69%	61%	67%	65,29%	15,14%	50%	80%					
		Nº 40	47%	53%	49%	49%	43%	45%	49%	92%	71%	26%	69%	68%	51%	61%	22%	68%	26%	23%	34%	53%	64%	46%	47%	41%	49,80%	17,02%	33%	67%					
		Nº 200	39%	46%	39%	33%	37%	40%	35%	39%	32%	21%	34%	41%	37%	44%	15%	41%	19%	18%	30%	35%	47%	34%	38%	30%	34,31%	8,59%	26%	43%					
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>																																			
LL		39%	32%	40%	34%	40%	41%	40%	31%	32%	-	32%	38%	29%	40%	-	39,99	-	-	41%	28%	41%	36%	41%	30%	234,23%	886,15%	-652%	100%						
LP		27%	21%	28%	24%	31%	29%	27%	20%	20%	-	22%	25%	18%	27%	-	27,23	-	-	29%	17%	27%	25%	29%	19%	159,41%	603,42%	-	-						
IP		12%	11%	12%	10%	10%	13%	12%	10%	12%	-	11%	13%	10%	13%	-	12,77	-	-	13%	11%	14%	10%	12%	11%	74,86%	282,96%	-208%	100%						
<b>CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.</b>																																			
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SC	SC	SC	SM	SC	SM	SM	SC	SC	SC	SC	SC	SC		-	-	-						
<b>COMPACTAÇÃO</b>																																			
Hótima (%)		14,7	15,3	14,9	11,1	11,4	15,1	13,6	11,2	13	14,4	15,6	14,1	12,5	14,4	15,3	14,6	11,1	14,6	14,7	13,1	16,5	11,2	13,6	11,1	13,63	1,68	-	-						
Dmáx (g/cm3)		1.859	1.836	1.802	1.935	1.946	1.819	1.844	1.750	1.945	1.910	1.835	1.778	1.922	1.808	1.803	1.842	1.900	1.845	1.877	1.856	1.754	1.936	1.873	1.845	1.855,00	57,91	-	-						

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 5.18: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 01**

FURO	PERMEABILIDADE
01	5,7E-7
07	9,8E-7
MÉDIA	7,7E-7

**Quadro 5.19: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 02**

FURO	PERMEABILIDADE
07	6,4E-7
11	5,4E-7
MÉDIA	5,9E-7

**Quadro 5.20: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03**

FURO	PERMEABILIDADE
04	4,7E-7
06	4,9E-7
MÉDIA	4,8E-7

**Quadro 5.21: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04**

FURO	PERMEABILIDADE
02	7,6E-7
11	3,6E-7
MÉDIA	5,6E-7

**Quadro 5.22: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05**

FURO	PERMEABILIDADE
07	6,8E-7
18	5,3E-6
MÉDIA	3,0E-6

**Quadro 5.23: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 06**

FURO	PERMEABILIDADE
05	9,2E-7
10	1,1E-6
MÉDIA	1,0E-6

**Quadro 5.24: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 07**

FURO	PERMEABILIDADE
10	8,3E-7
25	6,2E-7
MÉDIA	7,2E-7

**Quadro 5.25: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 08**

FURO	PERMEABILIDADE
05	4,8E-7
09	9,1E-7
MÉDIA	7,0E-7

**Quadro 5.26: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09**

FURO	PERMEABILIDADE
08	3,2E-6
11	2,8E-7
MÉDIA	1,7E-6

**Quadro 5.27: Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 10**

FURO	PERMEABILIDADE
15	6,3E-7
27	5,1E-7
MÉDIA	5,7E-7

### 5.7.2. Areal

O areal mais próximo identificado situa-se nos bancos do Rio Caiçara, numa distância média de 1,8 km para o eixo da barragem Frecheirinha. Nele foram realizados 13 poços com pá e picareta, apresentando uma granulometria fina a grossa.

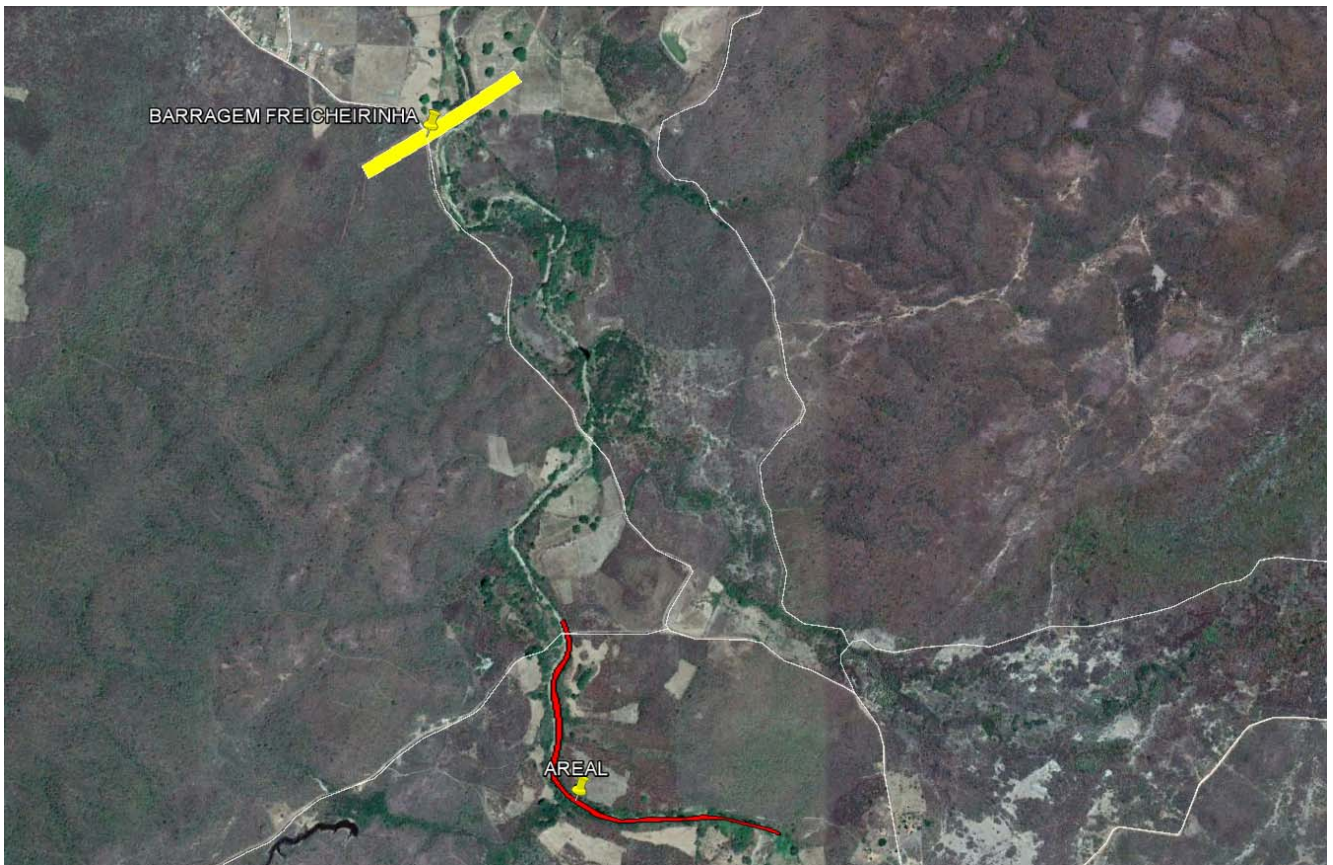
O volume estimado para este areal é de aproximadamente 11,3 mil m<sup>3</sup> de material, que foi considerado insuficiente para as obras a serem projetadas, portanto, encontra-se em curso uma pesquisa de novas áreas no Rio Caiçaras a montante e jusante do eixo e talvez no Rio Coreaú. Tanto a pesquisa de novos areais quanto a realização de ensaios de granulometria do seu material serão apresentados em um relatório geológico e geotécnico complementar.

**Quadro 5.28: Resumo do boletim de campo do areal**

Furo	Profundidade (cm)	Coordenadas:	Distancia ao eixo pelo rio (m)	Largura do rio (m)	Classificação Expedita
01	0,00/1,00	0302833 9580294	2.9240,77	8,65	Areia grossa a média
02	0,00/1,00	0302743 9580328	2.828,31	7,40	Areia grossa a média
03	0,00/1,00	0302665 9580336	2.751,70	11,20	Areia grossa a média
04	0,00/1,00	0302592 9580336	2.678,83	9,75	Areia grossa a média
05	0,00/1,00	0302490 9580324	2.578,11	9,90	Areia grossa a média
06	0,00/1,00	0302490 9580346	2.674,92	9,90	Areia grossa a média
07	0,00/1,00	0302384 9580346	2.462,41	13,80	Areia grossa a média
08	0,00/1,00	0302384 9580346	2.462,41	13,80	Areia média a fina
09	0,00/1,00	0302279 9580528	2.218,23	13,30	Areia grossa a média
10	0,00/1,00	0302277 9580614	2.131,56	18,45	Areia média a fina
11	0,00/1,00	0302272 9580648	2.096,96	12,75	Areia média a fina
12	0,00/1,00	0302299 9580812	1.979,27	11,50	Areia média a fina
13	0,00/1,00	0302281 9580848	2.019,43	10,60	Areia média a fina

Os ensaios de permeabilidade realizados em amostras coletadas no areal indicaram valores para o Coeficiente de permeabilidade (K) variando entre 1,8E-03 a 4,2E-03 cm/s, conforme boletins apresentados no Tomo 4 A- Anexos.

A imagem abaixo (**Figura 5.7**), extraída do Google Earth, mostra o local do areal estudado.



**Figura 5.7: Possível área-fonte de areia (Areal)**

### **5.7.3. Pedreira**

Um afloramento de rocha granítica sã, de coloração acinzentada, na localidade de Roça do Mato, próxima a Serra do Carnutim foi selecionado e estudo como fonte de material pétreo para transições, espaldares de enrocamento e concreto.

A pedreira fica situada no entorno do ponto de coordenadas UTM 305.671 e 9.577.824, com distância média de transporte de 7,2 Km à montante do eixo da barragem. Seu volume aflorante foi estimado em 41.683,26 m<sup>3</sup>. Recomenda-se a realização de uma sondagem

rotativa no afloramento rochoso para verificação da qualidade e potencialidade volumétrica da rocha.

Ensaio de Desgaste à Abrasão Los Angeles, realizados em amostras extraídas da superfície aflorante, indicaram valores de 35% a 39% (ver Tomo 4 A- Anexos).

A imagem abaixo (**Figura 5.8**), extraída do Google Earth, mostra o local da pedreira.



**Figura 5.8: Possível área-fonte de rocha para enrocamento (Pedreira)**

## **6. ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

---



## 6. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

### 6.1. Caracterização da Área de Estudo

#### 6.1.1. Caracterização Física da Bacia

A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia. Bacias pequenas variam muito de formato, dependendo da estrutura geológica da região.

Assim, cada bacia pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma.

A bacia de contribuição traçada segundo os critérios mencionados, apresentou uma área de abrangência de  $A=198,5 \text{ km}^2$  e um perímetro de  $P=82,1 \text{ km}$ . Possui ainda um comprimento do curso principal de  $L=28,9 \text{ km}$ , para um desnível de  $H=780$  metros, resultando numa declividade média de  $27,0 \text{ m/km}$ .

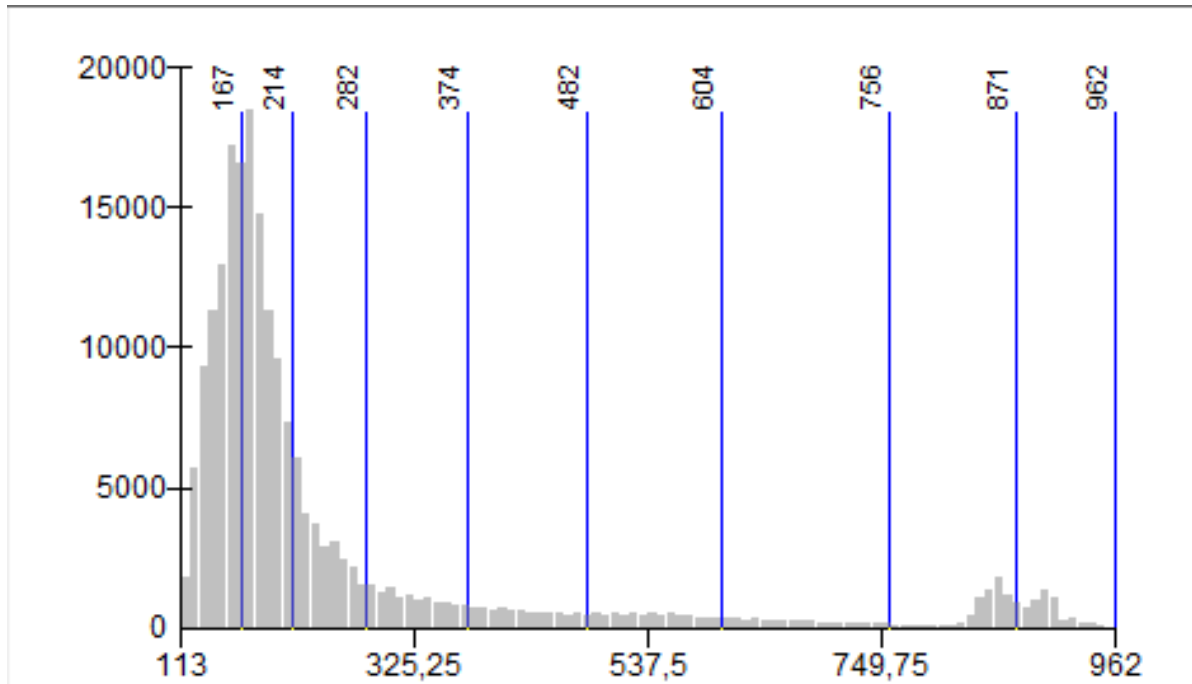
Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo. No **Quadro 6.1** são apresentados os dados da bacia hidrográfica relativos ao eixo escolhido para a barragem Frecheirinha.

**Quadro 6.1: Dados Físicos da Bacia do Açude (Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha)**

Fator de compacidade	Fator de forma	Tempo de concentração
0,24	1,64	3,56 Horas

Um fator de compacidade próximo a 1 corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1 teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia da Barragem de Frecheirinha não é tão próximo de 1, o que indica uma bacia não está muito sujeita a enchentes.

Na **Figura 6.1** temos a representação da curva hipsométrica da bacia hidrográfica analisada.



**Figura 6.1:** Curva Hipsométrica da bacia

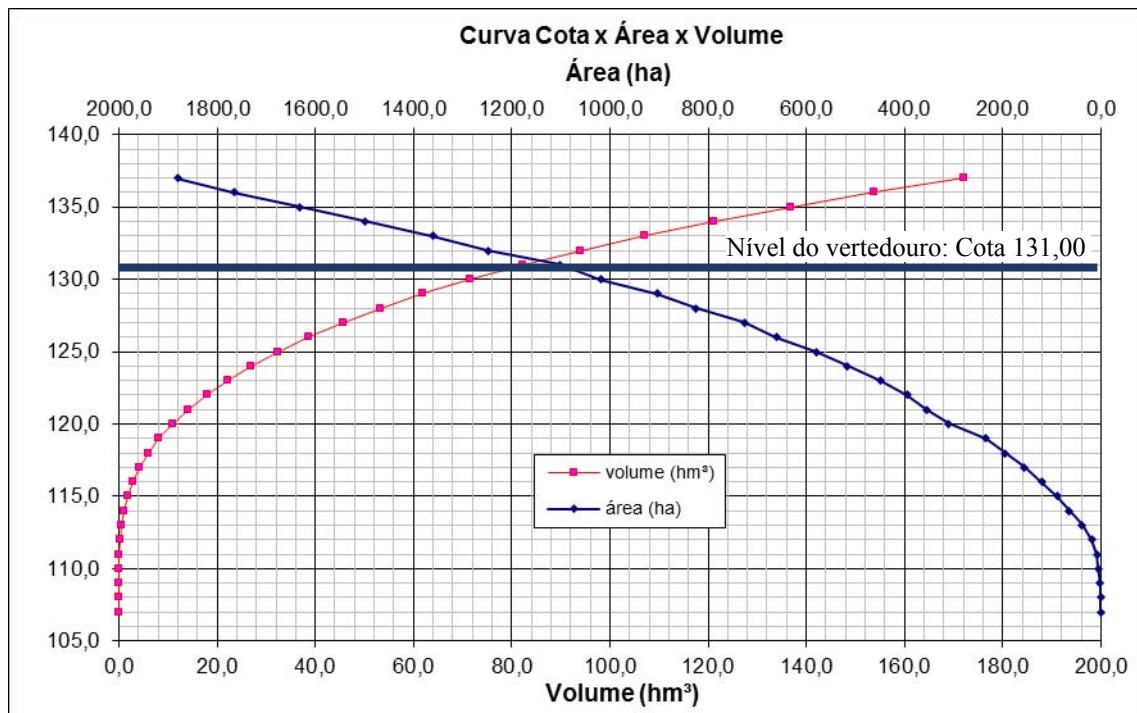
### **6.1.2. Topografia da bacia hidráulica (caracterização morfológica)**

A caracterização morfológica da bacia hidráulica corresponde basicamente a determinação do diagrama cota x área x volume, fundamental para os estudos de cheia que serão apresentados posteriormente.

Através da topografia levantada da área de estudo, obteve-se a relação do diagrama detalhada na **Quadro 6.2** e **Figura 6.2** a seguir.

**Quadro 6.2: Cota x Área x Volume**

cota (m)	Área (ha)	Volume Acumulado (hm³)
107.000	0.000	0.000
108.000	0.536	0.003
109.000	1.155	0.011
110.000	5.194	0.043
111.000	8.424	0.111
112.000	18.618	0.246
113.000	37.608	0.527
114.000	63.891	1.035
115.000	89.253	1.801
116.000	120.473	2.849
117.000	156.016	4.232
118.000	194.933	5.986
119.000	234.302	8.133
120.000	309.193	10.850
121.000	355.168	14.172
122.000	394.369	17.919
123.000	448.692	22.135
124.000	516.515	26.961
125.000	580.425	32.446
126.000	660.436	38.650
127.000	725.851	45.581
128.000	823.881	53.330
129.000	903.362	61.966
130.000	1018.610	71.576
<b>131.000</b>	<b>1101.546</b>	<b>82.177</b>
132.000	1248.117	93.925
133.000	1361.456	106.973
134.000	1498.665	121.274
135.000	1631.253	136.923
136.000	1766.142	153.910



**Figura 6.2: Gráfico de cota x volume do açude Frecheirinha**

### 6.1.3. Caracterização Climatológica

A abordagem da climatologia visa caracterizar a área de estudo nos seus mais variados elementos hidro-meteorológicos. Para caracterizar a hidro climatologia da região, foi considerada representativa a estação de Sobral (estação disponível mais próxima da área de estudo). A caracterização hidro climatológica da zona é feita utilizando-se os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (1992), os quais foram obtidos a partir do monitoramento das variáveis de interesse durante os anos de 1961 a 1990 em conjunto com os dados obtidos na plataforma de coleta de dados supracitada.

A bacia apresenta características predominantes do semi-árido do Polígono das Secas, com classe de relevo suave a forte, está nas proximidades dos cursos hídricos.

A região da bacia encontra-se sob um clima de acentuada evaporação, característica do Nordeste brasileiro, com cursos d'água intermitentes, apresentando vazões mais reduzidas, coincidentes com a época em que é mais acentuado o déficit hídrico regional.

No **Quadro 6.3** são apresentados os valores médios de temperatura, umidade relativa, insolação total, nebulosidade e evaporação total da região da bacia hidrográfica.

**Quadro 6.3: Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas (°C).**

INDICADOR	MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura	MÁXIMA	33,8	32,3	31,4	31,1	31,2	31,6	33	34,8	35,8	35,9	35,6	35,5
	MÍNIMA	23,6	22,6	22,5	22,6	21,9	21,5	21,2	21,4	22,4	22,8	22,9	23,3
Umidade Relativa	(%)	69,0	74,0	81,0	85,0	80,0	74,0	66,0	55,0	55,0	58,0	57,0	61,0
Insolação total	Horas	188,1	159,5	155,0	151,7	189,3	205,4	234,7	268,2	251,4	258,9	241,1	221,9
Nebulosidade	Décimos	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60	0,40	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50
Evaporação total	mm	151,8	94,3	69,7	58,4	71,0	99,3	150,2	200,8	222,8	242,7	217,7	196,1

**FONTE: INMET (1992)**

## 6.2. O Regime de Chuvas Intensas na Bacia

### 6.2.1. Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o **Método das Isozonas** (Torrice, 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 Torrice, 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 6.3**).

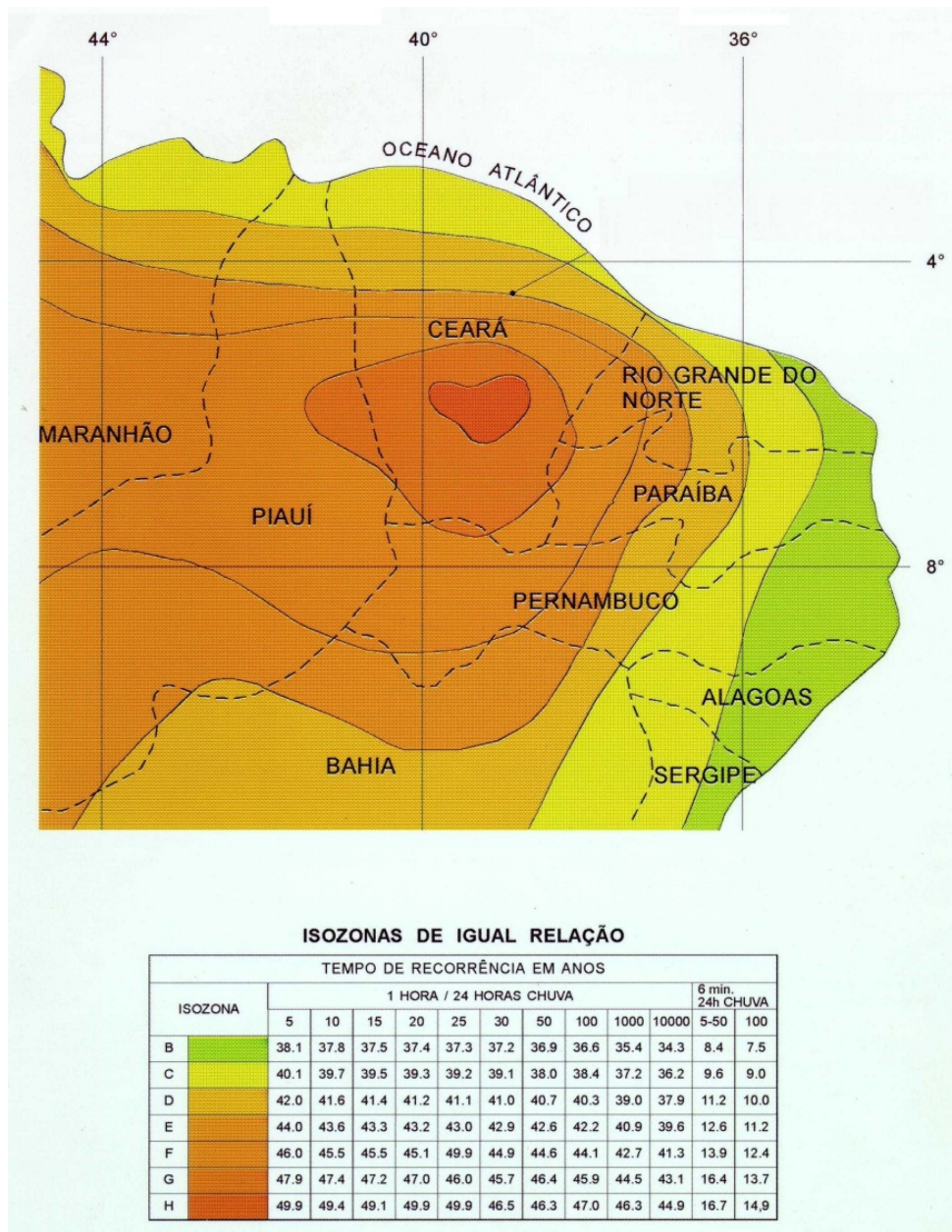


Figura 6.3: Isozonas de igual relação (fonte: torrico, 1975)

### 6.2.2. Chuvas máximas com durações de 24 horas

A partir do ajuste de uma distribuição de frequência (probabilidade) dos dados dos postos mais próximos a área de estudo, obteve-se como distribuição de melhor ajuste a de Log-Normal, com  $AD=0,375$  e precipitação de 163,70 mm. No **Quadro 6.4** é apresentada a probabilidades de ocorrência com a precipitação máximo diária.

**Quadro 6.4: Precipitação máxima (mm) com durações de 1 dia para os períodos de retorno de 1.000 anos e 10.000 anos, seguindo a distribuição Lognormal**

Tr (anos)	Precipitação máxima diária (mm)
1.000	163,70
10.000	188,94

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 6.5**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 6.4** pelo fator 1,10 (para P 1dia):

$$P_{24h} = 1,1P_{1dia}$$

**Quadro 6.5: Precipitações máximas com duração de 24horas (em milímetros)**

Tr (anos)	Precipitação máxima diária (mm)
1.000	180,07
10.000	207,83

### 6.2.3. Chuvas Máximas com Duração de 1 hora

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas (**quadro 6.5**) pelo fator R:

$$P_{1h} = R.P_{24h}$$

Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos da tabela contida na **Figura 6.3**. 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 6.6: Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos**

Tr	R (Isozona D)	Precipitação	
		P24h	P1h
1.000 anos	0,390	180,07	70,22
10.000 anos	0,379	207,83	78,76

#### 6.2.4. 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 abaixo:

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

onde: w = parâmetro regional; PA = precipitação sobre toda a área; P0 = chuva pontual; A = área em estudo e Ao = 25 km<sup>2</sup> (área base para chuva pontual). Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos no **Quadro 6.6**.

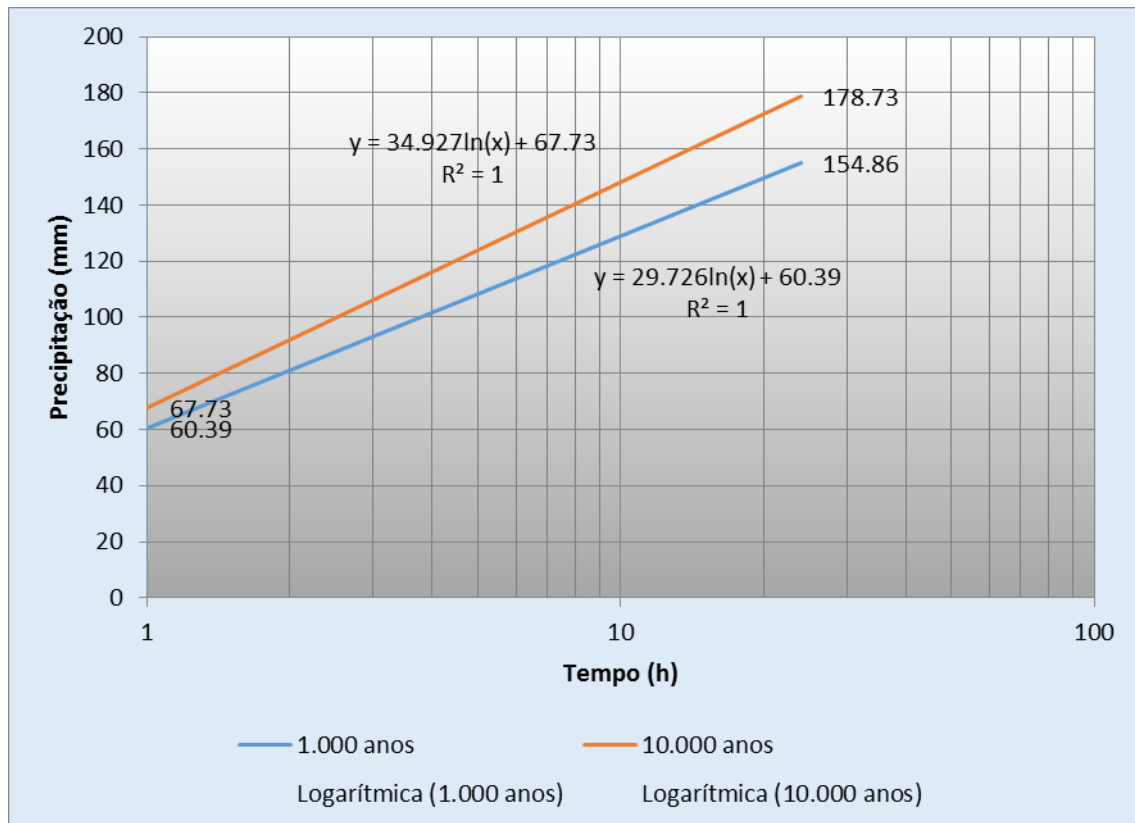
No que tange o parâmetro w, normalmente adotado como sendo 0,22 em projetos hidrológicos na Região Nordeste, Meneses Filho (1991) alerta que seu valor é específico para cada duração de chuva, indicando, para duração de 1 a 6 dias, os valores 0,16, 0,12, 0,11 0,09, 0,08 e 0,07, respectivamente. Segundo 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".

**Quadro 6.7: 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 da Barragem Frecheirinha**

Tr	Po 24h	Po 1h	A	A/A0	W	r =1- w.log(A/A0)	PA 24h=r.Po 24h	PA 1h=r.Po 1h
1.000 anos	180,07	70,22	194,5	7,78	0,16	0,86	154,86	60,39
10.000 anos	207,83	78,76	194,5	7,78	0,16	0,86	178,73	67,73

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observada na **Figura 6.4**, para a bacia da Barragem Frecheirinha.





**Figura 6.4: Curva intensidade-duração-frequência para a bacia da Barragem Frecheirinha, com  $t_r = 1.000$  e  $10.000$  anos.**

Para o desenvolvimento da cheia de projeto em capítulo posterior, 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.

Assim sendo, embora o tempo de concentração da bacia da Barragem Frecheirinha, igual a 3,48 horas, serão determinadas as suas distribuições acumuladas de chuva ao longo de o dobro de  $T_c$ , ou seja, o período de duração de chuva será para o valor de 7 horas, como mostra o **Quadro 6.8** a seguir.

**Quadro 6.8: Distribuição acumulada da chuva sobre a bacia da Barragem Frecheirinha, a cada intervalo de 1 hora**

Duração da chuva	Precipitação(mm)	
	Tr = 1.000	Tr = 10.000
1	60,39	67,73
2	80,99	91,94
3	93,05	106,10
4	101,60	116,15
5	108,23	123,94
6	113,65	130,31
<b>7</b>	<b>118,23</b>	<b>135,69</b>
8	122,20	140,36
9	125,70	144,47
10	128,84	148,15
11	131,67	151,48
12	134,26	154,52
13	136,64	157,32
14	138,84	159,90
15	140,89	162,31
16	142,81	164,57
17	144,61	166,69
18	146,31	168,68
19	147,92	170,57
20	149,44	172,36
21	150,89	174,07
22	152,27	175,69
23	153,60	177,24
24	154,86	178,73

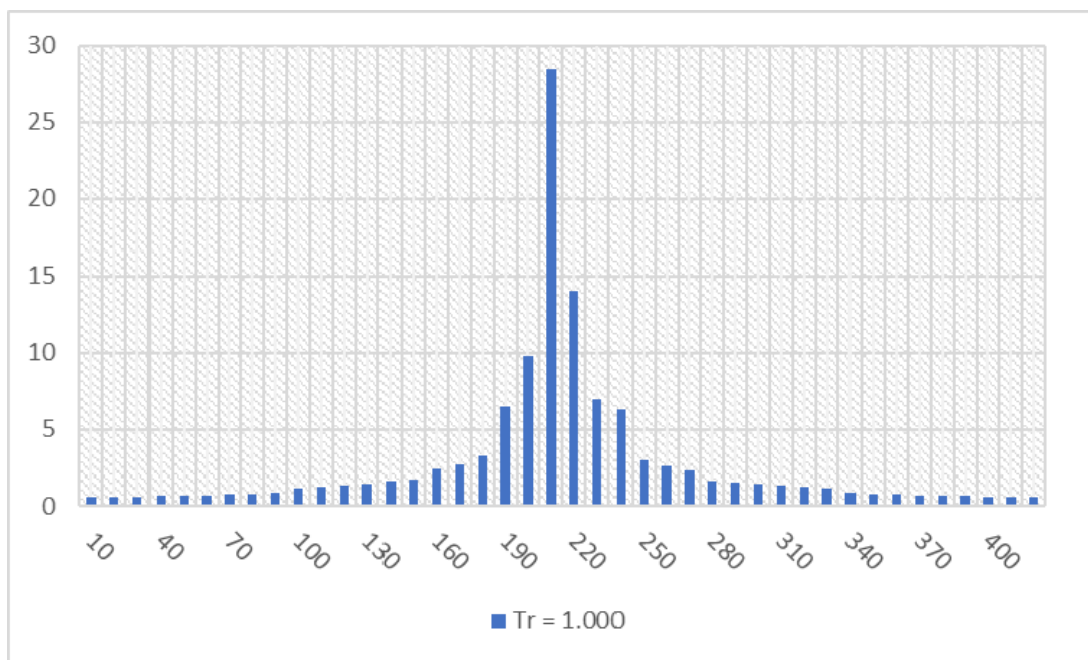
### **6.2.5. Chuva de Projeto**

Os valores de pluviometria apresentados no **Quadro 6.8** são de precipitação acumulada da chuva em períodos de 10 minutos, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos. Porém, para simulação adequada dos hidrogramas de cheias há necessidade de se adotar um padrão temporal (Hietograma) de chuva regional, uma vez que não há elementos para

se desenvolver curvas intensidade-duração-frequência (i-d-f) para o posto pluviométrico selecionado na bacia.

A solução foi adotar um padrão temporal único desenvolvido com base no modelo de diagrama de blocos alternados desenvolvido para o Programa ABC6 do Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão da Universidade de São Paulo.

Conforme já mencionado, a duração da chuva em função do tempo de concentração da bacia ( $t_d=2t_c$ ), ou seja,  $t_d$  é de aproximadamente 7 hora. Observa-se que a chuva milenar é de 118,23 mm e a decamilenar é de 135,69. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS e pode ser verificada no **Quadro 6.9**. As **Figura 6.5** e **Figura 6.6** mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar.



**Figura 6.5: Chuva balanceada - Tr=1.000 anos**

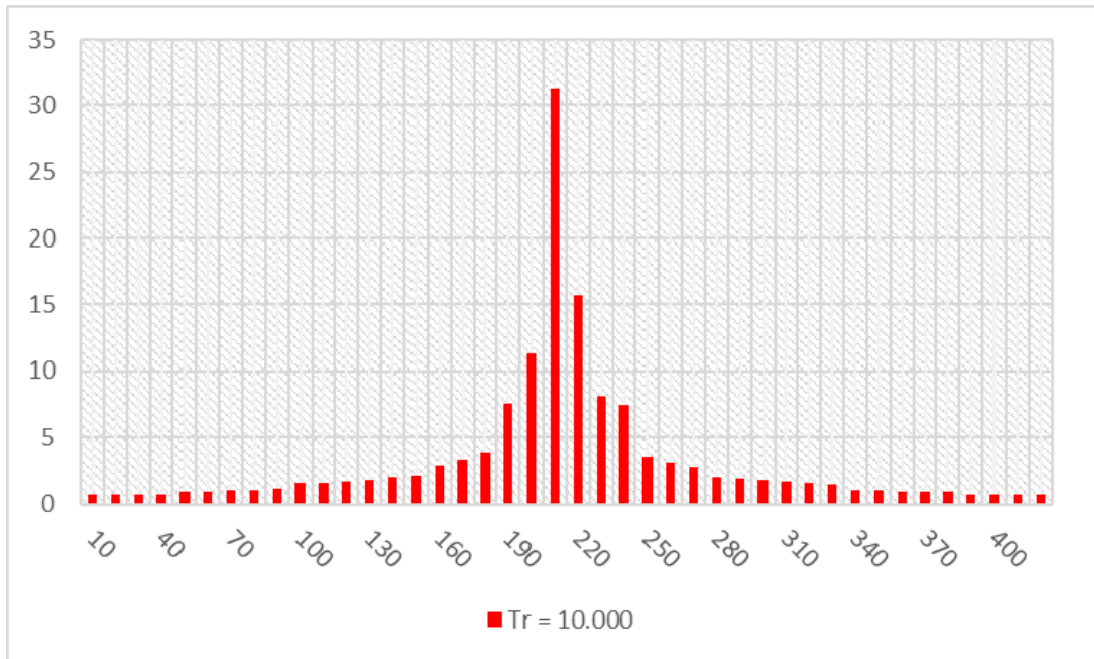


Figura 6.6: Chuva balanceada - Tr=10.000 anos

Quadro 6.9: Chuva de projeto balanceada – Tr= 1.000 anos e 10.000 anos

Tempo (min)	Tempo (horas)	Precipitação(mm)	
		Tr = 1.000	Tr = 10.000
10	0,2	0,6	0,69
20	0,3	0,62	0,72
30	0,5	0,64	0,75
40	0,7	0,67	0,78
50	0,8	0,71	0,82
60	1,0	0,74	0,86
70	1,2	0,79	0,91
80	1,3	0,83	0,96
90	1,5	0,89	1,03
100	1,7	1,22	1,46
110	1,8	1,29	1,54
120	2,0	1,37	1,63
130	2,2	1,48	1,74
140	2,3	1,61	1,9
150	2,5	1,79	2,1
160	2,7	2,4	2,86
170	2,8	2,73	3,22
180	3,0	3,27	3,81
190	3,2	6,49	7,59

Tempo (min)	Tempo (horas)	Precipitação(mm)	
		Tr = 1.000	Tr = 10.000
200	3,3	9,8	11,27
210	3,5	28,43	31,25
220	3,7	14,06	15,75
230	3,8	6,97	8,06
240	4,0	6,29	7,42
250	4,2	2,96	3,47
260	4,3	2,55	3,02
270	4,5	2,29	2,74
280	4,7	1,69	1,99
290	4,8	1,54	1,81
300	5,0	1,42	1,68
310	5,2	1,33	1,58
320	5,3	1,25	1,5
330	5,5	1,19	1,43
340	5,7	0,86	1
350	5,8	0,81	0,94
360	6,0	0,76	0,88
370	6,2	0,72	0,84
380	6,3	0,69	0,8
390	6,5	0,66	0,77
400	6,7	0,63	0,73
410	6,8	0,61	0,71
420	7,0	0,58	0,68
<b>SOMA</b>		<b>118,23</b>	<b>135,69</b>

### 6.3. Estudos de Regime Fluvial

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 35”

A série, em m<sup>3</sup>/s, pode ser visualizada no **Quadro 6.10** a seguir.

**Quadro 6.10: Série fluviométrica pseudo-histórica afluente ao reservatório Frecheirinha em m³/s.**

Ano	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
<b>1934</b>	0.29	2.43	7.35	4.69	7.64	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	1.38	<b>24.33</b>
<b>1935</b>	0.86	5.26	6.31	20.36	7.79	0.25	0.23	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	<b>41.93</b>
<b>1936</b>	0.12	2.99	1.45	1.82	1.00	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	<b>7.96</b>
<b>1937</b>	0.05	1.06	1.45	3.41	2.58	0.99	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	<b>9.90</b>
<b>1938</b>	0.49	0.04	2.75	2.90	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	<b>6.43</b>
<b>1939</b>	0.02	2.88	5.75	3.29	1.37	0.08	0.07	0.07	0.06	0.42	0.05	0.05	<b>14.11</b>
<b>1940</b>	0.80	2.71	8.47	12.83	6.61	2.16	1.81	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	<b>36.36</b>
<b>1941</b>	0.14	0.58	1.47	1.53	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	<b>4.29</b>
<b>1942</b>	0.04	0.33	1.10	1.76	0.60	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	<b>4.19</b>
<b>1943</b>	0.02	0.21	1.75	0.81	0.59	0.02	0.53	0.02	0.02	0.02	0.02	0.14	<b>4.15</b>
<b>1944</b>	0.01	0.01	1.00	0.90	2.43	0.02	0.88	0.03	0.02	0.02	0.02	0.91	<b>6.25</b>
<b>1945</b>	0.43	4.74	5.02	7.31	0.09	1.90	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	<b>20.06</b>
<b>1946</b>	3.09	2.32	4.77	4.35	3.45	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08	1.15	<b>19.80</b>
<b>1947</b>	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	<b>0.48</b>
<b>1948</b>	0.07	0.22	1.43	2.32	1.55	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	<b>5.74</b>
<b>1949</b>	0.01	0.42	2.14	5.01	1.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	<b>8.83</b>
<b>1950</b>	0.46	2.09	5.60	9.45	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	<b>18.10</b>
<b>1951</b>	0.25	0.04	0.76	2.46	0.03	0.61	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.53	<b>4.81</b>
<b>1952</b>	0.45	1.83	10.37	10.76	8.79	0.16	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	<b>33.08</b>
<b>1953</b>	0.08	0.39	1.14	10.96	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	<b>13.03</b>
<b>1954</b>	0.03	0.71	2.17	1.95	0.04	1.34	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	<b>6.43</b>
<b>1955</b>	1.30	0.59	0.64	8.19	1.54	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	<b>12.59</b>
<b>1956</b>	0.03	2.08	14.56	12.05	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	<b>29.45</b>
<b>1957</b>	1.79	1.58	26.10	43.92	13.55	2.83	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	<b>91.48</b>
<b>1958</b>	0.19	0.59	1.94	0.85	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	<b>4.34</b>
<b>1959</b>	0.05	2.37	12.56	7.06	2.00	2.46	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	<b>27.29</b>
<b>1960</b>	0.09	0.08	10.71	7.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.06	0.33	<b>18.92</b>
<b>1961</b>	2.06	18.31	27.78	27.53	7.36	0.38	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	<b>85.13</b>
<b>1962</b>	1.91	4.52	8.50	6.62	3.37	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14	<b>26.33</b>
<b>1963</b>	0.86	0.81	8.51	10.63	1.74	0.19	0.17	0.16	0.14	0.12	0.11	0.64	<b>24.08</b>
<b>1964</b>	0.89	5.51	10.11	12.67	4.74	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	<b>35.20</b>
<b>1965</b>	0.44	1.10	0.10	6.05	4.73	2.94	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	<b>15.99</b>
<b>1966</b>	0.07	0.89	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	<b>1.31</b>

Ano	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
<b>1967</b>	0.11	0.34	2.66	6.35	3.81	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	<b>13.58</b>
<b>1968</b>	0.03	0.92	3.19	3.60	6.09	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	<b>14.23</b>
<b>1969</b>	0.04	1.55	3.24	3.07	2.40	0.07	1.22	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	<b>11.91</b>
<b>1970</b>	0.48	0.49	1.71	0.96	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.31	0.02	<b>4.18</b>
<b>1971</b>	0.02	0.80	3.03	1.79	1.22	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	<b>7.08</b>
<b>1972</b>	0.02	0.02	0.89	1.36	0.90	0.53	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	<b>3.86</b>
<b>1973</b>	1.80	1.52	1.70	15.47	3.53	2.11	4.66	0.17	0.15	0.14	0.12	1.20	<b>32.57</b>
<b>1974</b>	2.77	5.03	9.95	26.98	21.18	5.70	0.43	0.39	0.35	0.32	0.28	1.73	<b>75.11</b>
<b>1975</b>	2.27	2.34	9.19	7.47	4.49	2.48	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	1.26	<b>30.81</b>
<b>1976</b>	0.67	4.66	4.77	2.75	1.52	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	<b>15.35</b>
<b>1977</b>	0.09	0.08	2.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	<b>2.64</b>
<b>1978</b>	0.02	0.09	0.33	2.11	0.84	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	<b>3.50</b>
<b>1979</b>	0.36	0.50	0.54	1.10	1.63	0.55	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	<b>4.81</b>
<b>1980</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>0.09</b>
<b>1981</b>	0.00	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.08</b>
<b>1982</b>	0.00	0.05	0.26	0.24	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.73</b>
<b>1983</b>	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.43</b>
<b>1984</b>	0.00	0.18	3.68	4.81	5.96	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	<b>14.91</b>
<b>1985</b>	1.76	3.74	14.21	13.41	7.11	0.22	1.83	0.23	0.21	0.19	0.17	1.49	<b>44.57</b>
<b>1986</b>	0.14	2.47	6.38	5.02	4.92	2.38	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	<b>22.29</b>
<b>1987</b>	0.79	0.51	12.42	1.33	0.12	1.65	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	<b>17.39</b>
<b>1988</b>	0.85	1.29	4.83	6.79	5.88	2.04	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	1.49	<b>23.82</b>
<b>1989</b>	2.35	1.33	7.75	10.99	7.58	0.22	2.01	0.23	0.20	0.18	0.16	2.34	<b>35.34</b>
<b>1990</b>	0.14	1.63	3.09	7.24	5.39	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.09	<b>18.43</b>
<b>1991</b>	0.97	3.06	4.21	2.51	1.88	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	<b>13.26</b>
<b>1992</b>	0.24	0.40	2.09	0.67	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	<b>3.66</b>
<b>1993</b>	0.12	0.47	0.43	0.52	0.87	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	<b>2.51</b>
<b>1994</b>	0.86	0.97	1.12	5.34	2.36	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	<b>10.92</b>
<b>1995</b>	0.23	1.24	1.42	3.46	6.28	1.67	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	<b>14.71</b>
<b>1996</b>	1.01	1.85	6.29	10.06	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	<b>19.83</b>
<b>1997</b>	0.64	0.65	2.63	2.00	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	<b>6.25</b>
<b>1998</b>	1.42	0.55	2.47	1.45	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	<b>6.10</b>
<b>1999</b>	0.20	0.56	2.58	0.93	1.98	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	<b>6.43</b>
<b>2000</b>	1.43	2.81	2.91	8.78	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	<b>16.40</b>

Ano	jan	fev	mar	abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
<b>2001</b>	0.54	1.56	2.43	5.59	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	<b>10.51</b>
<b>2002</b>	0.97	0.64	2.22	3.42	1.01	1.14	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	<b>9.74</b>
<b>2003</b>	1.02	2.84	5.27	4.32	0.08	1.83	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	<b>15.82</b>
<b>2004</b>	1.91	3.54	2.28	2.46	1.70	1.85	1.20	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	<b>15.45</b>
<b>2005</b>	0.67	0.54	3.39	1.85	1.13	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	<b>7.99</b>
<b>2006</b>	0.04	0.44	2.44	2.10	3.13	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	<b>8.42</b>
<b>2007</b>	0.02	1.61	1.56	3.92	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	<b>7.33</b>
<b>2008</b>	1.28	0.93	2.78	8.18	1.88	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	<b>15.48</b>
<b>2009</b>	2.33	1.98	5.47	18.45	13.17	2.81	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	<b>45.44</b>
<b>2010</b>	0.56	0.61	1.24	0.94	1.29	0.11	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	1.11	<b>6.25</b>
<b>2011</b>	1.12	1.31	2.11	5.74	2.32	0.10	1.36	0.10	0.09	0.70	0.08	0.07	<b>15.10</b>
<b>2012</b>	0.06	0.68	1.66	1.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	<b>3.81</b>
<b>2013</b>	0.12	0.24	0.38	0.89	1.53	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	<b>3.27</b>
<b>2014</b>	0.59	0.82	1.08	1.73	0.81	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	<b>5.19</b>
<b>2015</b>	0.01	0.55	0.84	0.55	0.67	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<b>2.71</b>
<b>2016</b>	0.54	0.40	1.50	1.10	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<b>3.64</b>
<b>Média</b>	<b>0.62</b>	<b>1.57</b>	<b>4.25</b>	<b>5.70</b>	<b>2.56</b>	<b>0.57</b>	<b>0.27</b>	<b>0.09</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	<b>0.23</b>	<b>16.10</b>
<b>Desv. Padrão</b>	<b>0.74</b>	<b>2.31</b>	<b>5.03</b>	<b>7.04</b>	<b>3.60</b>	<b>1.01</b>	<b>0.64</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.47</b>	<b>17.21</b>
<b>Máximo</b>	<b>3.09</b>	<b>18.31</b>	<b>27.78</b>	<b>43.92</b>	<b>21.18</b>	<b>5.70</b>	<b>4.66</b>	<b>0.39</b>	<b>0.35</b>	<b>0.70</b>	<b>0.31</b>	<b>2.34</b>	<b>91.48</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.08</b>

## 6.4. Dimensionamento Do Reservatório

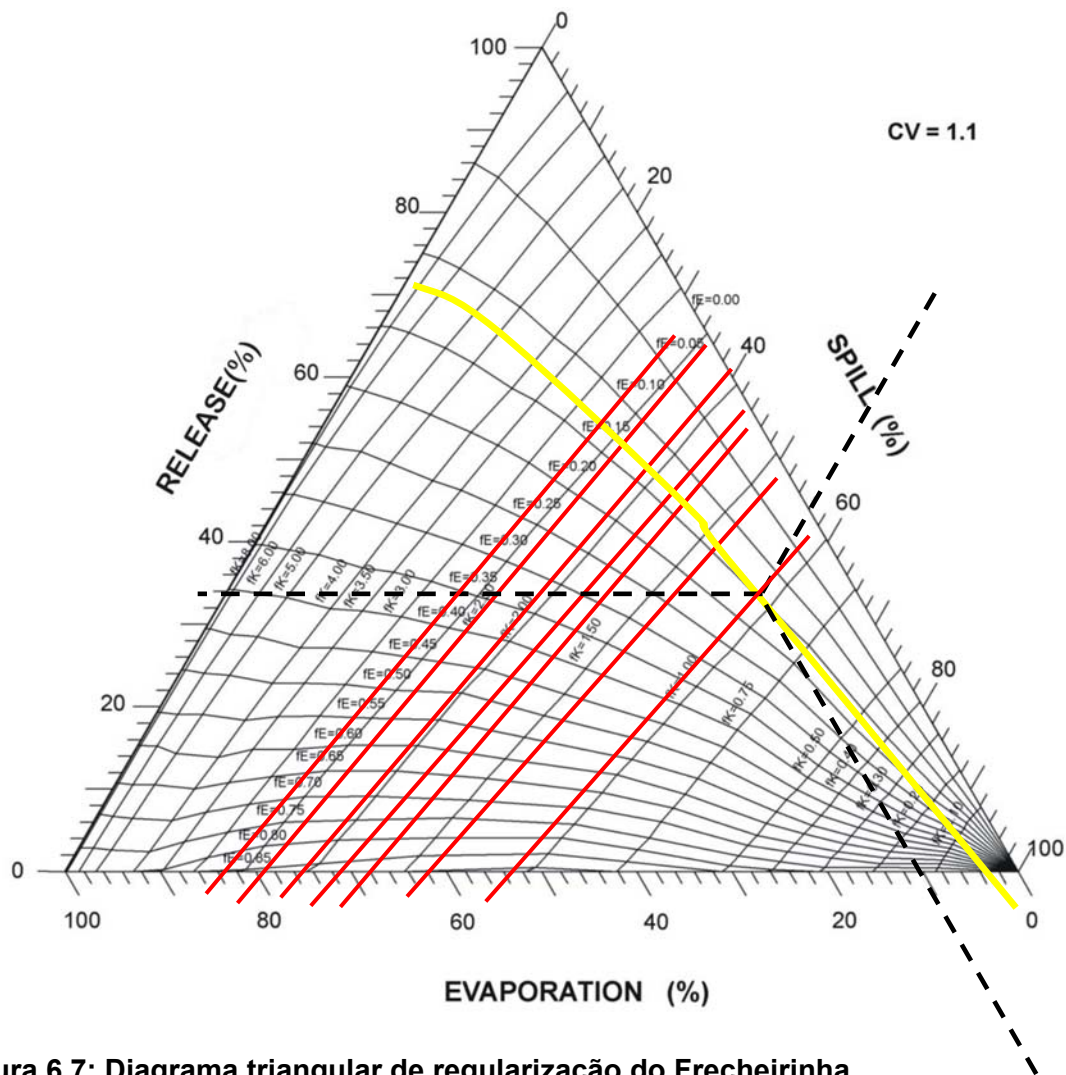
### 6.4.1. Vazão Regularizada do Reservatório

Calculou-se a vazão regularizada para diversas alturas e capacidades de acumulação. Para o cálculo das vazões, adotou-se o método do diagrama triangular de regularização de Campos (1987)<sup>1</sup>. Este método consiste num modelo gráfico para dimensionamento hidrológico de reservatórios de águas superficiais situados em regiões com rios intermitentes sujeitos a altas taxas de evaporação.

<sup>1</sup> CAMPOS J. N. B. (1987). A procedure for Reservoir Sizing on Intermittent Rivers under Evaporation ate. Tese de Doutorado, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.  
[tpfe.com.br](http://tpfe.com.br)



Para um Cv da ordem de 1,1, estimou-se pelo diagrama triangular os volumes regularizados, sangrados e evaporados (**Figura 6.7**).



**Figura 6.7: Diagrama triangular de regularização do Frecheirinha**

Para um fator de evaporação (fe) da ordem de 0,20% e para os respectivos fk's, obteve-se os volumes anuais regularizado, evaporado e sangrado, que são apresentados no **Quadro 6.11**.

**Quadro 6.11: Cálculo do volume anual regularizado**

Cota (m)	Percentual Regularizado (%)	Percentual evaporado (%)	Percentual sangrado (%)	Volume anual regularizado (hm <sup>3</sup> /ano)	Volume evaporado (hm <sup>3</sup> /ano)	Volume sangrado (hm <sup>3</sup> /ano)
128	36.50%	8.50%	55.00%	15.40	3.59	23.20
129	42.50%	10.50%	47.00%	17.93	4.43	19.83
130	47.50%	11.50%	41.00%	20.04	4.85	17.30
131	49.00%	12.00%	39.00%	20.67	5.06	16.45
132	52.00%	13.00%	35.00%	21.94	5.48	14.76
133	55.00%	14.00%	31.00%	23.20	5.91	13.08
134	57.00%	15.00%	28.00%	24.05	6.33	11.81

#### **6.4.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório**

A determinação do tamanho do reservatório foi realizada tendo como base o custo mínimo do volume regularizado. Assim, foi realizado o dimensionamento hidrológico - econômico da capacidade do açude.

A estimativa de custo teve como base o valor da obra lançada para licitação em junho de 2014 (nº 20140001), e que não se concretizou. O custo somente do maciço, segundo o valor estimado na licitação foi de 23,1 milhões de reais (Não incluído os diques auxiliares), com data base do orçamento de Junho/2013 (66,05 % do orçamento com base na tabela de preços SINAPI). Utilizando o índice de reajuste IGP-M, temos um valor atualizado para a data de dezembro de 2017 da ordem de 29,7 milhões de reais.

O maciço apresentava um volume total de aproximadamente 1,00 milhão de metros cúbicos, para uma altura de 27,5 metros. Com base nessa geometria de licitação, e admitindo a simplificação de manter constante a folga de projeto para 2,50 metros, fez-se uma estimativa de custo para várias alturas do maciço, como pode ser verificado no **Quadro 6.12**.

**Quadro 6.12: Estimativa de custo da Barragem Frecheirinha para diferentes alturas**

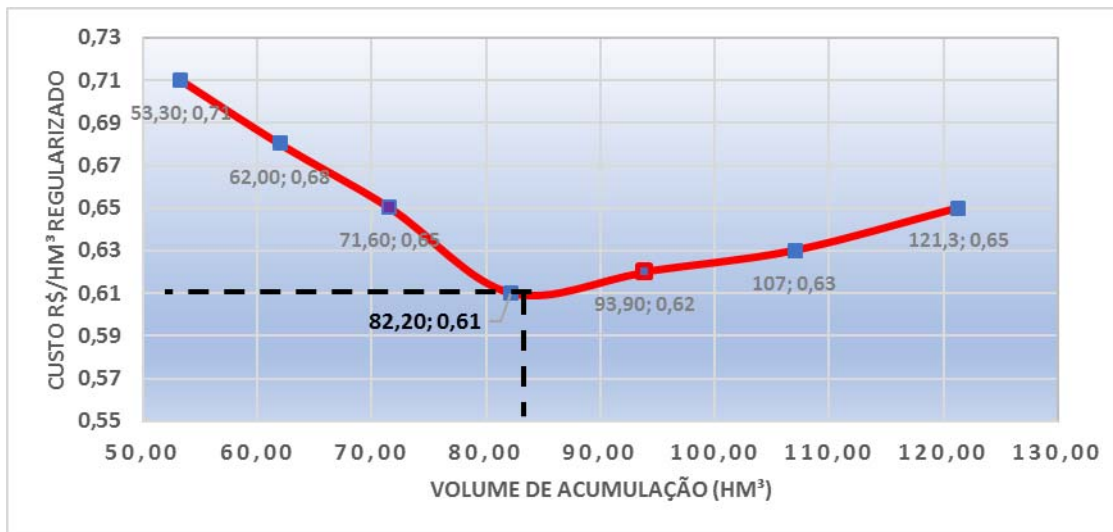
Cota de acumulação (m)	Cota da crista (m)	Altura da barragem (m)	Volume do maciço (m <sup>3</sup> )	Valor da Obra (Milhões de R\$)
134	136,5	29.4	582,216	17.2
133	135,5	28.5	532,723	15.7
132	134,5	27.5	482,046	14.2
131	133,5	26.6	427,441	12.6
130	132,5	25.7	418,641	12.4
129	131,5	24.7	380,000	11.2
128	130,5	23.8	340,155	10.0

Calculando o custo do volume anual regularizado apresentado no **Quadro 6.11** em razão do custo total da obra, temos a seguinte resultado para cada volume de armazenamento.

**Quadro 6.13: Cálculo do custo do volume regularizado**

Cota de acumulação (m)	Valor da Obra (Milhões de R\$)	Volume regularizado por ano (hm <sup>3</sup> )	Custo Do Volume regularizado (R\$/m <sup>3</sup> )
134	17.2	24,05	0.715
133	15.7	23,2	0.678
132	14.2	21,94	0.649
131	12.6	20,67	0.611
130	12.4	20,04	0.617
129	11.2	17,93	0.626
128	10.0	15,4	0.652

A partir destes pares (cota, custo), foram determinadas as curvas de custo do m<sup>3</sup>. Conforme pode ser visualizado a seguir:



Foi verificado pelo gráfico que o menor custo do m<sup>3</sup> regularizado é o volume de acumulação do açude de 82,2 hm<sup>3</sup> (cota 131,0 do reservatório).

## 6.5. Estudo de Cheias

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de cheia sintética, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. No presente capítulo, as cheias de projeto com período de retorno de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da Barragem Frecheirinha, no sentido de verificação da capacidade atual de regularização da estrutura vertente. O programa utilizado é o 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,4h, 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. Desta forma, adotou-se um tempo de duração de chuva igual a duas (2x) o tempo de concentração da bacia.

Por sua vez, o intervalo de cálculo deve ser suficientemente curto para definir com precisão o hidrograma de cheia. Dentro destas premissas adotou-se neste estudo um intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) igual a 10 minutos.

#### **6.5.1. Determinação da precipitação efetiva (PE)**

A retenção de parte da chuva nas depressões do solo e sua infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-deflúvio, determinando a quantidade de chuva que se transforma em escoamento superficial, conhecida como **precipitação efetiva**. Segundo o Soil Conservation Service:

$$PE = (P - 5.080/CN + 50,8)^2 / (P + 20.320/CN - 203,2)$$

O parâmetro CN, denominado “curve number” varia de 0 a 100, conforme a permeabilidade do solo, cobertura vegetal, textura da superfície e umidade antecedente do solo, e se encontra tabelado para diversos tipos de cobertura vegetal, tratamento agrícola e grupos hidrológicos de solos classificados de acordo com sua permeabilidade.

### 6.5.2. Dimensionamento do Vertedouro – Amortecimento das cheias milenar e decamilenar

Adotando um cenário de cheia do reservatório para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, considerando cinco opções para a largura do vertedouro tipo creager – 40, 60, 80, 100 e 120m obteve-se os seguintes resultados, no **Quadro 6.14** e **Quadro 6.15**, de lâmina de sangria e vazões afluentes e efluentes:

**Quadro 6.14: Resultados dos estudos de cheia Tr=1.000 anos**

	Milenar				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	912.21 m <sup>3</sup> /s				
Cheia Efluente	79.70 m <sup>3</sup> /s	111.96 m <sup>3</sup> /s	140.93 m <sup>3</sup> /s	167.23 m <sup>3</sup> /s	191.37 m <sup>3</sup> /s
Cota operacional	131.97 m	131.92 m	131.89 m	131.86 m	131.83 m
Lâmina	0.97 m	0.92 m	0.89 m	0.86 m	0.83 m
Amortecimento	91.3%	87.7%	84.6%	81.7%	79.0%

**Quadro 6.15: resultados dos estudos de cheia Tr=10.000 anos**

	Decamilenar				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	1118.1 m <sup>3</sup> /s				
Cheia Efluente	104.79 m <sup>3</sup> /s	147.42 m <sup>3</sup> /s	185.83 m <sup>3</sup> /s	220.84 m <sup>3</sup> /s	253.16 m <sup>3</sup> /s
Cota operacional	132.16 m	132.11 m	132.07 m	132.03 m	132.00 m
Lâmina	1.16 m	1.11 m	1.07 m	1.03 m	1.00 m
Amortecimento	90.6%	86.8%	83.4%	80.2%	77.4%

Observa-se que a cheia milenar atinge valores de 912,21 m<sup>3</sup>/s e 1.118,1 m<sup>3</sup>/s para a Decamilenar. O amortecimento da cheia para os vertedouros simulados também foi significativo, variando aproximadamente entre 77,4% a 90,6%.

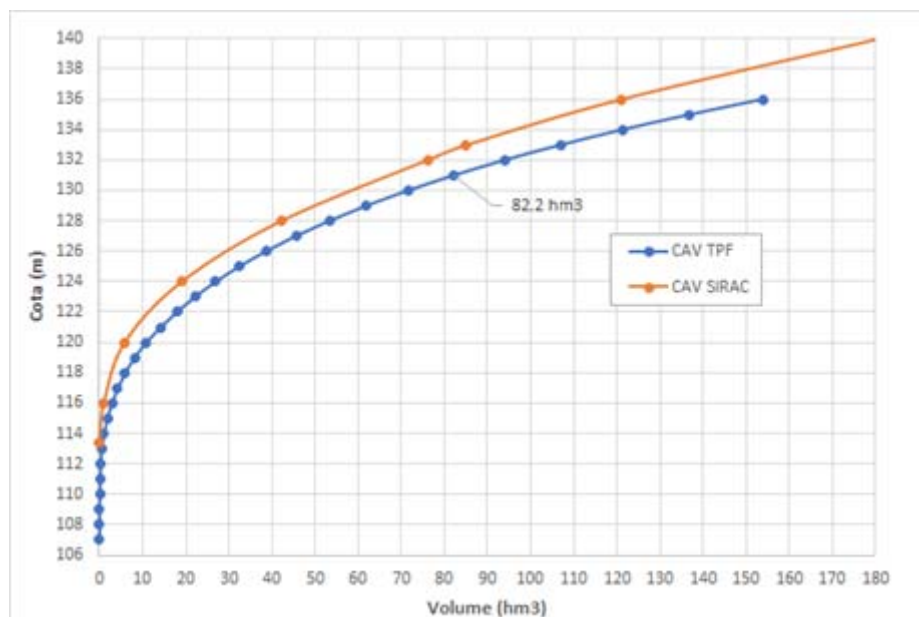
Este estudo do amortecimento de cheias para várias seções de vertedouro irá nortear a escolha da dimensão econômica do vertedouro durante a elaboração do Anteprojeto da Barragem.

Nos anexos do **Tomo 3 – Estudos Hidrológicos** são apresentados os hidrogramas de cheia, o amortecimento dos vertedouros e os dados de entrada do HEC.

### 6.5.3. Verificação da curva cota x área x volume

Foi realizado um comparativo entre os hidrogramas efluentes (saída) obtidos a partir das curvas cota x área x volume (CAV) da bacia hidráulica da Barragem Frecheirinha produzidas pelo presente projeto, elaborado pela TPF, e pelo projeto anterior, elaborado pela SIRAC. Esta simulação preservou todas as premissas e os dados de entrada da simulação original, apenas foram alterados a CAV e o nível da soleira do vertedouro.

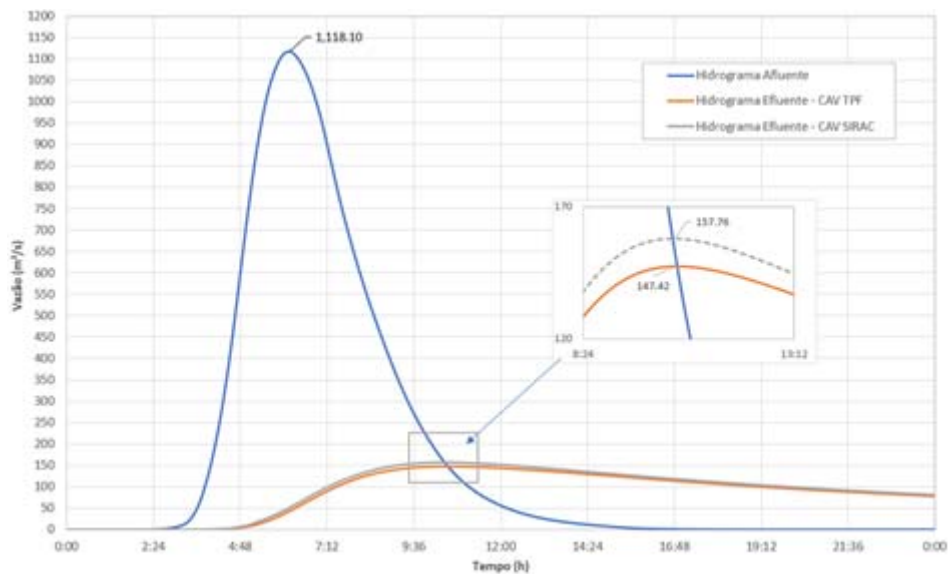
Para efeito comparativo, foi considerada a cota da soleira do vertedouro a partir da CAV da SIRAC como sendo 132,70 m, que corresponde aproximadamente ao volume de 82,2 hm<sup>3</sup>, mesmo volume obtido da CAV TPF na cota 131,00 m (esta premissa considera que a diferença é apenas relativa em relação às referências de nível de partida), conforme apresentado na **Figura 6.8**.



**Figura 6.8:** Curvas cota x área x volume da TPF e da SIRAC

De acordo com o gráfico da **Figura 6.9** é possível perceber que para a cheia decamilenar (10.000 anos) o pico da vazão efluente para a CAV SIRAC é da mesma ordem de grandeza do valor obtido quando simulado com a CAV TPF, ou seja, o amortecimento tem o mesmo comportamento, conforme segue:

- Q afluente: 1.118,10 m<sup>3</sup>/s
- Q efluente (CAV TPF): 147,42 m<sup>3</sup>/s (amortece 86,8%)
- Q efluente (CAV TPF): 157,76 m<sup>3</sup>/s (amortece 85,9%)



**Figura 6.9: Comparação entre os Hidrogramas Efluentes da Barragem Frecheirinha: CAV TPF x CAV SIRAC**

Diante disso, é possível concluir que a topografia/restituição da bacia hidráulica levantada pela TPF para o projeto da Barragem Frecheirinha apresenta características semelhantes à topografia (CAV) levantada pela SIRAC.

Assim, nesta etapa do projeto, não há necessidade de se realizar novos levantamentos de campo para aferição da topografia da bacia hidráulica.



## **7. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS**

## 7. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

### 7.1. Estudos geológico e geotécnico

#### 7.1.1. Eixo do Barramento

As ombreiras do barramento são caracterizadas pela presença de metarenitos, que se apresentam como cristas alinhadas, visíveis nos trechos compreendidos entre estacas 0 a 5/6 (ombreira esquerda) e 28 a 45 (ombreira direita).

Na ombreira esquerda o afloramento de metarenito ocorre deslocado para jusante do eixo do barramento (cerca de 50m na estaca 0) e na ombreira direita ligeiramente deslocado para montante do eixo, seguindo direção N30° e com mergulho subvertical a vertical.

No terraço aluvionar, compreendido aproximadamente entre as estacas 7 e 27, não foram constatados afloramentos rochosos. Nesse segmento, ardósias pertencentes ao grupo Caiçara foram encontradas na campanha de sondagens, subjacentes a solos aluvionares ou a solos de alteração das mesmas.

##### 7.1.1.1. Ombreira Esquerda (admitida entre estacas 0 e 6)

No **Quadro 7.1** são apresentadas as sondagens percussivas e mistas realizadas nesta ombreira.

**Quadro 7.1: Síntese das sondagens realizadas na ombreira esquerda**

Sondagem	Estaca	Profundidade		Descrição	
		em solo	em rocha	solo	rocha
SP-01	27+3,38	4,80	-	Areia siltosa cinza a marrom med. compacta a compacta	-
SM-23	0+10	5,00	19,00	Solo residual jovem (alteração de ardósia)	Ardósia
SM-01	4	4,15	28,85	Silte argiloso com pedregulhos	Ardósia

Observando-se a síntese das sondagens apresentada no **Quadro 7.1** constata-se que:

- O solo que recobre o substrato rochoso apresenta profundidades entre 4,15m (Est. 4) e 5,0m (Est. 0+10) e, majoritariamente, classificado tátil visualmente como areia siltosa ou silte argiloso com pedregulhos. A descrição da SM-23 como solo residual-

alteração de ardósia quando comparada com a observação dos testemunhos representa uma rocha extremamente fragmentada e alterada, escavável mecanicamente.

- b) O substrato rochoso é constituído por uma ardósia, identificada como constituinte da formação caiçaras.

Analisando-se os 2 perfis individuais de sondagem e ensaios de perda d'água disponíveis para esta ombreira constata-se que:

- a) Na sondagem SM-01 a recuperação só foi superior a 80% nos trechos compreendidos entre as profundidades 5,20 e 7,50m e 31,40 e 33,00m. O RQD típico desta sondagem foi zero %. Na SM-23 a recuperação foi superior a 80% em todo o trecho, embora o RQD médio foi de 8,6%. Os baixos valores de RDQ estão coerentes como grau de fraturamento atribuído, que foram majoritariamente F4 (muito fraturada) seguidos de F3(medianamente fraturada) e F5 (fragmentada). Ver **Quadro 7.2**.
- b) O grau de coerência da ardósia foi, majoritariamente, classificado como C3/C4 (medianamente coerente a quebradiça) e o grau de alteração variando entre A2 (Pouco alterada) a A3 (medianamente alterada). Nenhuma passagem foi classificada como extremamente alterada (A5) ou incoerente/friável (C5). Ver **Quadro 7.2**.

**Quadro 7.2: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída nos perfis de sondagem da ombreira esquerda (em metros perfurados)**

Sondagem	Grau de Alteração							
	A1	A1/A2	A2	A2/A3	A3	A3/A4	A4	A5
SM-01	-	3,0	3,7	3,95	10,6	6,2	-	-
SM-23	-	5,5	1,5	7,5	-	1,5	3,0	-
Total	-	8,5	5,2	11,45	10,6	7,7	3,0	-
Sondagem	Grau de Coerência							
	C1	C1/C2	C2	C2/C3	C3	C3/C4	C4	C5
SM-01	-	1,6	-	4,85	-	14,4	9,0	-
SM-23	-	-	-	7,5	-	7,5	3,0	-
Total	-	1,6	-	12,55	-	21,9	12,0	-
Sondagem	Grau de Fraturamento							
	F1	F2	F3	F4	F5			
SM-01	-	1,4	12,1	5,35	4,2			
SM-23	-	-	-	10,5	9,0			
Total	-	1,4	12,1	15,85	13,2			

- c) Na sondagem SM-23 (Est 0+10) foram realizados ensaios de perda d'água sob pressão, em trechos de 3,0m, entre as profundidades de 9,0 a 24,0m. Os resultados dos coeficientes de permeabilidade variam entre 2,2 a 3,9 x 10E<sup>-5</sup> cm/s, não havendo nenhum registro de perda total de água ou impossibilidade de obturação.

Na sondagem SM-01(Est 04), entre as profundidades de 7,15 e 33,0m, não foi possível a realização de ensaios de perda d'água, pois as condições da rocha não possibilitaram a obturação. Entre 4,15 e 7,15m o ensaio foi realizado e registrou uma permeabilidade média de 1,3E-04 cm/s.

### **Conclusões Relativas a Ombreira Esquerda**

- i. O manto de solo que recobre o substrato rochoso nesta ombreira possui uma espessura entre 4,15 a 5,00m. Como não foram realizados ensaios de infiltração nas sondagens percussivas não se conhece sua permeabilidade. Para detalhamento do projeto executivo sugere-se a execução de ensaios in situ nas estacas 0+10 e 6 ou a abertura de poços a pá e picareta, com retirada de amostras indeformadas, para a avaliação da permeabilidade em laboratório.
- ii. A ombreira caracteriza-se pela presença de metarenitos como crista alinhada e como blocos e matacões rolados, evidenciando a formação de uma zona de talus. O projeto da fundação do maciço da barragem deverá verificar a conveniência da remoção, parcial ou total, da camada de solo e blocos isolados existentes nesta ombreira.
- iii. Com base na campanha de sondagem e ensaios de perda d'água pode-se inferir que a rocha do substrato é composta por uma ardósia muito fraturada a fragmentada, medianamente coerente a quebradiça, e pouco a extremamente alterada. O fato de que as características da rocha na sondagem SM-23 (Est 04) não permitir a estanqueidade do obturador, usado no ensaio de perda d'água, entre as profundidades de 7,15 e 33,0m, alerta para a necessidade de se projetar elementos de restrição e captação dos fluxos que deverão ocorrer pela fundação rochosa desta ombreira.

### 7.1.1.2. Ombreira Direita (admitida entre estacas 28 e 32)

No **Quadro 7.3** são apresentadas as sondagens percussivas e mistas realizadas nesta ombreira.

**Quadro 7.3: Síntese das sondagens realizadas na ombreira direita**

Sondagem	Estaca	Profundidade		Descrição	
		em solo	em rocha	solo	rocha
SP-04	05+10,65 Jusante	4,45	-	Areia siltosa cinza amarelada	-
SM-05	30	3,0	31,0	0-1,35: Areia silto argilosa; 1,35-2,13: Silte argiloso; 2,13-3,00: Saprolito.	Ardósia
SM-22	30 Incl.	5,0	15,0	0-5,00: Solo residual jovem (alteração de ardósia)	De 5 a 17m: Ardósia; De 17 a 20m: Metarenito.
SP-05	01+11,56 Jusante	1,0		Areia cinza amarelada	-

Observando-se os dados do **Quadro 7.3** constata-se que:

- O solo que recobre o substrato rochoso apresenta profundidades entre 1,0m (Est. 32) e 5,0m (Est. 30 Incl.) e, majoritariamente, foi classificado como areia siltosa ou silte argiloso. O horizonte de 5,0m classificado na sondagem SM-22 como solo residual de alteração de ardósia, quando observado na caixa de sondagem, pode ser avaliado com uma rocha extremamente fragmentada possível de ser escavada mecanicamente.
- O substrato rochoso sondado constitui-se de uma ardósia, porém nos últimos 5,0m (prof. 17 a 22m) a SM-22 atravessou um corpo rochoso classificado como metarenito.

Analisando-se os perfis das duas sondagens mistas e os ensaios de perda d'água realizados na ombreira direita observa-se que:

- Na sondagem SM-05 apenas em 16,0m, do total de 29,0m perfurados em rocha, obteve-se uma recuperação superior a 80% (cerca de 55,2% da extensão), com um RQD máximo de 48,7% e um RQD médio de 17,4%. Na sondagem SM-22, realizada inclinada 45°, a recuperação ao longo de toda a rocha foi superior a 80%, com RQD máximo de 13,3% e o RQD médio de 2,2%. Os maiores valores de RQD da

sondagem SM-05, em relação a SM-22, parecem corresponder a um menor fraturamento da rocha nesse local, pois na sondagem SM-05 o grau de fraturamento foi majoritariamente F3 (medianamente fraturada) e na SM-22 o grau foi predominantemente F4 (muito fraturada). Ver **Quadro 7.4**.

- b) O grau de coerência da ardósia foi, predominantemente, C2/C3 (coerente a medianamente coerente) na sondagem SM-05 e grau C3/C4 (medianamente a pouco coerente) na sondagem SM-22. O grau de alteração majoritário foi A1/A2 (sã a pouco alterada) na sondagem SM-05 e grau A3/A4 (medianamente a muito alterada) na sondagem SM-22.
- c) O metarenito identificado nos últimos 3,0m da sondagem SM-22 foi classificado como são a pouco alterado, coerente a medianamente coerente e medianamente fraturado.
- d) Dos 11 ensaios de perda d'água realizados na ardósia da ombreira direita, 4 não contemplaram os 5 níveis de pressões normalizados pela ABGE, por impossibilidade de obturação.

Os resultados obtidos para o coeficiente de permeabilidade, nos ensaios de 5 estágios de pressão, variaram entre 2,6 e 6,2 x 10E<sup>-5</sup> cm/s. O único ensaio realizado no corpo do metarenito registrou um coeficiente de permeabilidade de 4,7 x 10E<sup>-5</sup>.

**Quadro 7.4: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída para os perfis de sondagem da ombreira direita (em metros perfurados)**

Sondagem	Grau de Alteração							
	A1	A1/A2	A2	A2/A3	A3	A3/A4	A4	A5
SM-05	4,0	13,6	1,5	11,9	-	-	-	-
SM-22	-	3,0	-	-	-	12,0	-	-
Total	4,0	16,6	1,5	11,9	-	12,0	-	-
Sondagem	Grau de Coerência							
	C1	C1/C2	C2	C2/C3	C3	C3/C4	C4	C5
SM-05	-	9,9	-	13,5	1,5	6,1	-	-
SM-22	-	-	-	6,0	-	7,5	1,5	-
Total	-	9,9	-	19,5	1,5	13,6	1,5	-
Sondagem	Grau de Fraturamento							
	F1	F2	F3	F4	F5			
SM-05	2,5	6,0	16,7	4,3	1,5			
SM-22	-	-	3,0	7,5	4,5			
Total	2,5	6,0	19,7	11,8	6,0			

## **Conclusões Relativas a Ombreira Direita**

- i. A camada de solo que sobrepõe ao substrato rochoso tem uma espessura de 1,0 a 5,0m e não foi objeto de ensaios in situ de infiltração. Para embasar o detalhamento do projeto executivo, sugere-se a realização de ensaios in situ de infiltração neste solo ou que seja coletada amostra indeformada, para ser submetida a ensaio de permeabilidade em laboratório.
- ii. A inclinação acentuada da ombreira, associada a presença de blocos de metarenito e a encosta formada pelo alinhamento de metarenito podem ser indicativos que o solo da ombreira direita tenha sido formado, total ou parcialmente, pela ação da gravidade (tálus). Recomenda-se o estudo da viabilidade de remoção desse material, para a fundação do maciço do barramento, a partir de estaca 28 até a estaca final da barragem.
- iii. Infere-se, a partir dos dados fornecidos pela campanha de sondagem, que a rocha do substrato rochoso é composta por uma ardósia medianamente a muito fraturada, são a muito alterada, coerente a pouco coerente. A permeabilidade típica, nos trechos em que se conseguiu a obturação total, variou entre 2,5 a 6,2 x 10E<sup>-5</sup> cm/s, correspondente a uma baixa condutibilidade hidráulica e indicativo de descontinuidades fechadas. No entanto, o fato de que ao longo de 12 m da sondagem SM-5 não se ter conseguido uma obturação eficiente, pode representar uma condição de fraturamento intenso da rocha nestes locais. Recomenda-se a adoção de uma cortina de injeções de impermeabilização nesta ombreira.

### *7.1.1.3. Terraço Aluvionar (admitido entre estacas 7 e 27)*

No **Quadro 7.5** são apresentadas as sondagens percussivas e mistas realizadas no terraço aluvionar do rio.

**Quadro 7.5: Síntese das sondagens realizadas no terraço aluvionar**

Sondagem	Estaca	Profundidade		Descrição		Posição do NA
		em solo	em rocha	solo	rocha	
SM-02	11	4,50	25,5	Silte arenoso	Ardósia	Não
SP-02	17+7,89 Montante	1,45	-	Areia siltosa, cinza a marrom	-	Não
SM-11	18	5,05	21,95	Silte arenoso	Ardósia	Não
SM-04	21 Eixo	6,10	29,0	0 a 6,10: Silte argiloso; 6,1 a 7,3: Saprolito.	Ardósia	Não
SM-06	21 Montante	6,42	26,73	0 a 4,45: Silte arenoso; 4,45 a 6,42: Silte areno argiloso.	Ardósia	Não
SM-07	21 Jusante	4,60	18,60	Silte arenoso	4,60 a 7,85: Arenito; 7,85 a 23,20: Ardósia;	Não
SP-03	11+9,27 Montante	5,45	-	0 a 2,45: Areia pouco argilosa; 2,45 a 5,45: Argila pouco siltosa.	-	Não
SP-01'	26	6,05	-	0 a 2,0: Silte argiloso; 2,0 a 6,05: Argila siltosa.	-	Não

Analisando os dados sintetizados no **Quadro 7.5** observa-se que:

- Nas sondagens realizadas ao longo do eixo da barragem, o solo de cobertura do substrato rochoso apresenta uma profundidade que varia de 1,45m (Est. 16) a 6,10m (Est. 21). O solo foi tátil visualmente classificado como silte argiloso, silte arenoso, areia siltosa ou argila siltosa. Na Estaca 21, além dos 6,10m de solo, ocorrem 1,20m de saprolito que se mostrou impenetrável a percussão, com baixa recuperação (26,7%), porém com evidências que é escavável com equipamentos mecânicos.
- Na seção transversal da Estaca 21 a espessura de solo aumenta de montante (4,60m) para jusante (6,42m) e sua classificação é de silte arenoso e silte argiloso.
- Em todos os furos de sondagem não foi encontrado o nível do lençol freático.
- O substrato rochoso é predominantemente composto de ardósia, apresentando um extrato superficial de arenito de 3,25m de espessura, na sondagem da Estaca 21-Montante (SM-07).



Analisando-se os 5 perfis de sondagem rotativa e os ensaios de perda d'água realizados na zona do terraço aluvionar constata-se que:

- a) Excetuando-se a sondagem SM-4 (Est. 21E), todas as demais tiveram recuperações superiores a 80%, em toda a extensão sondada, embora os RQD máximos tenham variado entre 30,5% e 91,0% os valores médios foram baixos, tais como: 9,5% (SM-2), 10,3% (SM-4), 21,2% (SM-6), 10,6% (SM-7) e 34,6% (SM-11).

Não se conseguiu fazer alguma correlação entre os valores médios do RQD com o grau de fraturamento.

- b) No **Quadro 7.6** são apresentadas as distribuições da classificação da qualidade da rocha para cada sondagem. Nele pode-se ver que nas sondagens SM-02, SM-04, SM-06 e SM-11 o grau de alteração típico está entre A1 e A2 (rocha sã e pouco alterada), o grau de coerência típico entre C1/C2 e C2/C3 (muito coerente a medianamente coerente) e fraturamento entre pouco a medianamente fraturada (F2 e F3). No entanto, a sondagem SM-07 apresentou parâmetros de qualidade inferiores as demais sondagens, revelando um maciço rochoso medianamente a muito alterado, coerente a medianamente coerente e fragmentado (F5).
- c) Dos 19 ensaios de perda d'água sob pressão realizados, 8 ensaios não foram realizados em 5 estágios de pressão, como preconizado pela ABGE, por não se ter conseguido obturar. Tomando-se apenas os ensaios completos, verifica-se que as permeabilidades obtidas ficaram entre  $2,6 \times 10E^{-4}$  a  $5,5 \times 10E^{-6}$  cm/s, representando uma condutibilidade moderada a muito baixa e revelando que as discontinuidades são parcialmente abertas a muito fechadas.

**Quadro 7.6: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída nos perfis de sondagem do terraço aluvionar (em metros perfurados)**

Sondagem	Grau de Alteração							
	A1	A1/A2	A2	A2/A3	A3	A3/A4	A4	A5
SM-02	18,0	-	-	-	4,05	1,5	-	-
SM-04	3,8	20,0	-	3,91	-	-	-	-
SM-06	20,98	3,65	-	0,35	-	0,75	-	-
SM-07	0,7	3,45	-	3,6	-	10,86	-	-
SM-11	8,44	6,06	-	2,5	-	4,95	-	-
Sondagem	Grau de Coerência							
	C1	C1/C2	C2	C2/C3	C3	C3/C4	C4	C5
SM-02	-	18,0	-	-	-	1,5	4,05	-
SM-04	3,0	0,8	1,8	13,1	5,31	4,2	-	-
SM-06	-	10,46	-	14,17	-	1,1	-	-
SM-07	-	0,7	-	7,05	-	10,85	-	-
SM-11	-	9,44	-	4,40	-	7,45	-	-
Sondagem	Grau de Fraturamento							
	F1	F2	F3	F4	F5			
SM-02	5,7	12,3	3,1	1,4	-			
SM-04	3,0	7,8	12,5	1,5	3,91			
SM-06	0,55	3,58	20,5	-	1,1			
SM-07	-	1,50	5,7	-	11,4			
SM-11	1,0	10,5	4,0	-	6,45			

### **Conclusões Relativas ao Terraço Aluvionar**

- i. O pacote de solos aluvionares que se sobrepõe ao embasamento rochoso apresenta, ao longo do eixo da Barragem, espessuras que variam de 1,45m a 6,10m. A jusante da Estaca 21 foi registrada uma espessura de 6,42m. O referido pacote de solos (silte argiloso ou siltosa e areia siltosa ou silte arenoso) não foi submetido a ensaios de infiltração in situ, portanto não existem medidas de sua permeabilidade. Estes ensaios deverão ser realizados para as fases seguintes do projeto.
- ii. No pacote aluvionar não foram identificados solos moles, fofos ou de baixa capacidade de suporte. As características reveladas mostram que pode ser utilizado para a fundação de um maciço de terra.
- iii. Os dados fornecidos pela campanha de sondagens indicam que a rocha do substrato rochoso é constituída de uma ardósia predominante sã a pouco alterada, com grau de coerência muito a medianamente coerente e grau de fraturamento típico de pouco a

medianamente fraturada. A montante e Jusante da estaca 21 foi verificada a presença de rocha classificada como Metacalcário da formação Frecheirinha nas seguintes profundidades: SM-07(Est 21-Montante) entre 21,65 e 23,20m; SM-06 (estaca 21-Jusante) entre 25,70 e 33,15m. Importante salientar que a SM-07 apresenta parâmetros de qualidade inferiores ao descrito anteriormente, inclusive com fraturamento F5 (rocha fragmentada).

- iv. Os ensaios de perda d'água completos revelaram uma moderada a muito baixa condutibilidade hidráulica, no entanto nas sondagens SM-2 (Prof. entre 21 a 29), SM-6 (Prof. entre 6 e 9 m) e S-11 (Prof. entre 8 e 11/ 20 a 27) as condições de fraturamento da rocha não permitiram a obturação para o ensaio, sendo sugestiva a adoção de uma cortina de injeções de impermeabilização, a partir da base do cut-off.

### 7.1.2. Eixo do Vertedouro

Foram investigadas, de forma preliminar, duas alternativas de localização do sistema vertedouro da barragem, com a finalidade de realizar um conforto técnico-financeiro entre elas e selecionar a mais adequada. Estas investigações consistiram em 3 sondagens mistas, em cada local alternativo (dito eixo 1 e eixo 2), com ensaios de perda de d'água sob pressão.

No **Quadro 7.7** são apresentados os dados básicos da campanha investigativa nos eixos alternativos do vertedouro.

**Quadro 7.7: Síntese das sondagens realizadas nos locais do vertedouro**

Sondagem	Estaca	Profundidade		Descrição		Posição NA
		em solo	em rocha	solo	rocha	
Eixo N° 1						
SM-16	5+00/E1	0	5,0	-	Ardósia	Não
SM-17	7+00/E1	5,92	24,66	Silte arenoso e argila siltosa	Ardósia	Não
SM-18	10+00/E1	0	23,60	-	Ardósia	Não
Eixo N° 2						
SM-19	6+00/E2	0	18,50	-	Ardósia	Não
SM-20	11+00/E2	0	16,70	-	Ardósia	Não
SM-21	7+00/E2	0	15,50	-	Ardósia	Não

No **Quadro 7.8** são apresentadas as distribuições da classificação da qualidade da rocha para cada sondagem realizada nos eixos alternativos do vertedouro.

**Quadro 7.8: Distribuição da classificação da qualidade do maciço rochoso atribuída nos perfis de sondagem dos eixos do vertedouro (em metros perfurados)**

Eixo	Sondagem	Grau de Alteração							
		A1	A1/A2	A2	A2/A3	A3	A3/A4	A4	A5
Nº 1	SM-16	-	-	-	5,0	-	-	-	-
	SM-17	4,22	5,75	-	10,81	-	2,88	-	-
	SM-18	-	15,6	-	3,5	3,5	-	1,0	-
Nº 2	SM-19	-	10,5	-	3,0	-	5,0	-	-
	SM-20	-	-	-	13,2	-	2,0	1,5	-
	SM-21	-	-	3,0	1,5	5,5	5,5	-	-
Eixo	Sondagem	Grau de Coerência							
		C1	C1/C2	C2	C2/C3	C3	C3/C4	C4	C5
Nº 1	SM-16	-	-	-	-	5,0	-	-	-
	SM-17	-	3,55	-	12,0	-	9,11	-	-
	SM-18	-	2,6	-	-	-	21,0	-	-
Nº 2	SM-19	-	-	-	13,5	-	5,0	-	-
	SM-20	-	1,5	-	5,7	3,0	6,5	-	-
	SM-21	-	-	-	5,5	1,5	1,5	7,5	-
Eixo	Sondagem	Grau de Fraturamento							
		F1	F2	F3	F4	F5			
Nº 1	SM-16	-	-	-	4,0	1,0			
	SM-17	-	1,97	2,23	10,7	8,26			
	SM-18	-	-	1,01	4,5	9,0			
Nº 2	SM-19	-	-	-	15,5	3,0			
	SM-20	-	-	-	8,7	8,0			
	SM-21	-	-	3,0	4,5	8,0			

Analisando-se os valores apresentados no **Quadro 7.7** e no **Quadro 7.8**, os boletins dos ensaios de perda d'água e os testemunhos das sondagens, pode-se fazer alguns comentários e conclusões sobre os locais dos eixos alternativos para o vertedouro, seguintes:

### **Conclusões Relativas ao Eixo Nº 1**

- i. O substrato rochoso, constituído por ardósia, aflora na superfície do terreno, de forma muito intemperizado, porém resistente a penetração das ferramentas das sondagens percussivas. Somente na sondagem SM-17 constatou-se a presença de solos silto-arenosos ou argilas siltosas até 5,92m de profundidade. A observação direta dos testemunhos extraídos nas sondagens fornece indícios que o terreno é escavável mecanicamente até uma profundidade de 5,0m no local da SM-16, 6,77m na SM-17 e até 9,0m no local da SM-18.
- ii. A ardósia sondada apresenta, predominantemente, um grau de alteração A1/A2 a A2/A3 (pouco ou muito alterada), um grau de coerência C2/C3 a C3/C4 (coerente a

pouco coerente) e grau de fraturamento F3 a F4 (medianamente a muito fraturada). A qualidade geral dos testemunhos evidencia que a rocha apresenta baixa capacidade de resistir a processos erosivos, portanto deve ser revestida com concreto armado, caso seja usada como superfície do sistema de vertimento da barragem.

- iii. Nenhum dos 10 ensaios de perda d'água sob pressão realizados nesse eixo completaram os 5 estágios de pressão normalizados para ensaio. Portanto, mesmo o resultado de  $1,9 \times 10E^{-5}$  cm/s, obtido pelo único ensaio que chegou ao 3º estágio, deve ser tomado com cautela.

Este fato, associado aos elevados níveis de fraturamento da ardósia, indicam a necessidade de adotar um sistema de injeções de impermeabilização no vertedouro, caso o local seja escolhido como tal, e sistemas de proteção contra subpressões sob as lajes de revestimento.

- iv. Embora a recuperação em todas as sondagens seja superior a 80%, os resultados dos RQD foram muito baixos (média de zero, 17,9% e 11,1% nas SM-16, 17 e 18). Isto corrobora com o elevado grau de fraturamento atribuído aos testemunhos da rocha.
- v. Caso o Eixo Nº 1 seja escolhido para abrigar o sistema de vertimento, será necessário complementar a campanha de sondagens, investigando a fundação do muro vertedouro, dos muros laterais de contenção e do elemento de dissipação de energia.

### **Conclusões Relativas ao Eixo Nº 2**

- i. A ardósia que constitui o substrato rochoso aflora na superfície do terreno, de forma muito intemperizada, porém impenetrável a percussão do amostrador padrão. Analisando-se os testemunhos das sondagens verificou-se que a ardósia é escavável com equipamentos mecânicos até a profundidade de 6,50m no local da SM-19, 2,0m na SM-20 e 5,0m na SM-21.
- ii. O grau de alteração da ardósia foi de sã a pouco alterada na SM-19, pouco a medianamente alterada na SM-20 e de medianamente a muito alterada na SM-21. O

Grau de coerência também decresceu no sentido da numeração das sondagens, sendo coerente a medianamente coerente na SM-19, medianamente a pouco coerente na SM-20 e pouco coerente na SM-21. O grau de fraturamento na maioria das sondagens foi registrado como muito fraturada (F4) a fragmentada (F5).

A qualidade geral dos testemunhos obtidos nas sondagens do eixo N° 2 indica que a ardósia possui baixa resistência a processos erosivos gerados pelo escoamento de fluxos d'água. Desta forma, caso a mesma seja indicada como superfície do sistema vertedouro, deve ser revestida com uma laje de concreto armado ou outra solução que evite o contato direto entre a lâmina d'água e a superfície rochosa.

- iii. Os resultados dos RQDs foram muito baixos e confirmam o elevado grau de fraturamento atribuído a ardósia do embasamento rochoso. A resistência a ser adotada para o contato entre o concreto de estruturas do sistema vertedouro e a fundação rochosa, quando verificada a estabilidade para a situação de escorregamento, deve levar em consideração este fraturamento da rocha.
- iv. Nove ensaios de perda d'água foram realizados com os estágios de pressão preconizados no boletim da ABGE. Os resultados variaram entre  $1,0 \times 10E^{-5}$  cm/s a  $9,3 \times 10E^{-7}$  cm/s, que se confirmados por investigações complementares, indicam uma condutibilidade hídrica muito baixa e com as descontinuidades muito fechadas. Caso estas permeabilidades sejam endossadas por novas medições, o sistema de prevenção de percolações pela fundação do vertedouro nesse local, pode ser projetado de forma menos densa.
- v. Se o eixo N° 2 for confirmado como o local mais viável para a localização do sistema vertedouro, faz-se necessário a complementação da campanha de investigação geotécnica nos locais definidos para fundar o muro vertedouro, os elementos de dissipação de energia e muros de contenção dos fluxos.

### **7.1.3. Materiais Construtivos**

#### **7.1.3.1. Jazidas de Solos**

As dez jazidas de materiais terrosos pesquisadas constituem-se, basicamente, de solo classificado como SC, numa profundidade entre 0,80 e 1,0 m, com índice de plasticidade (IP) entre 11 e 13%, percentagem passando na peneira nº 200 entre 28% e 38%, Unidade ótima (Proctor Normal) entre 12% e 13,8%, peso específico máximo seco entre 1.812 a 1.869 kg/m<sup>3</sup> e permeabilidade de 1,0E<sup>-6</sup> a 4,8E<sup>-7</sup> cm/s. Portanto, com excelentes características geotécnicas para serem usados em qualquer local do maciço da barragem. Os solos classificados como SM, não líquidos e não plásticos, que foram observados em alguns poços de sondagem das jazidas, não devem, a princípio, ser utilizados no maciço da barragem.

#### **7.1.3.2. Areal**

O areal estudado constitui-se de bancos de areia dentro da calha do rio Caiçaras, com profundidade típica de 1,0 m, e com granulometria de fina a grossa. O areal tem um volume de cerca de 11.300 m<sup>3</sup> e é insuficiente para as necessidades previstas para as obras da barragem. O material coletado do areal apresenta boas características geotécnicas que endossam seu uso, após seleção por peneiramento, para o sistema drenante/filtrante da barragem e para agregados miúdos dos concretos. Novos bancos estão sendo identificados e estudados na calha do rio Caiçaras e do rio Coreau

#### **7.1.3.3. Pedreira**

A pedreira identificada constitui-se de afloramentos de rocha granítica, próximos a serra do Carnutum, com material superficial apresentando desgaste a abrasão (tipo Los Angeles) ligeiramente inferior a 40%. A observação direta do afloramento evidencia características de rocha sã e, portanto, adequada para enrocamentos e agregados dos concretos. No entanto, sugere-se a realização de uma sondagem rotativa, com recuperação de testemunhos, para uma avaliação de sua qualidade em profundidade.

#### 7.1.3.4. *Material de Escavação Obrigatória*

A implantação do sangradouro deverá gerar um volume significativo de escavação de material, rochoso e não rochoso, com possibilidades de uso no maciço da barragem ou em obras complementares. Faz-se, portanto, necessária uma ampliação da campanha geotécnica investigativa da subsuperfície do sítio escolhido para abrigar o sistema vertedouro, através de poços, sondagens mistas e ensaios de caracterização, resistência, permeabilidade e perda d'água sob pressão.

## 7.2. Estudos hidrológicos

Os estudos hidrológicos tiveram como objetivos (1) estimar a capacidade de regularização da Barragem Frecheirinha e (2) estimar as cheias raras, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, para a verificação da segurança da barragem.

Para a simulação do reservatório, adotou-se o método do diagrama triangular de regularização de Campos (1987), onde foi escolhido um volume de acumulação do açude de 82,18 hm<sup>3</sup> (cota 131,0 do reservatório), obtendo uma vazão regulariza em torno de 20,67 hm<sup>3</sup>/ano.

Para dimensionamento do vertedouro da barragem, simulou-se um vertedouro tipo Creager com cinco larguras – 40, 60, 80, 100 e 120m.

A capacidade de amortecimento da Barragem Frecheirinha se mostrou bem significativa, oscilando entre 77,4 a 91,3%. As lâminas observadas foram de 0,97 a 0,83 metros (cheia milenar) e 1,00 m (L=120m) a 1,16 m (L=40m), para a cheia decamilenar.

A definição final da largura do vertedouro ficará vinculada a considerações construtivas e financeiras, mas observa-se que os valores encontrados para a vazão efluente específica do vertedouro, no cenário de 1.000 anos, variam de 1,99 m<sup>3</sup>/s/m (para L= 40 m) a 1,59 m<sup>3</sup>/s/m (para L= 120m) e, portanto, considerados baixos.



