



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Secretaria dos Recursos Hídricos

Frecheirinha



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 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



EPF
ENGENHARIA

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 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**

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 riacho Caiçara com o intuito de promover o controle dos recursos hídricos da bacia do rio Coreauú, 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 dos serviços de consultoria previstos no Contrato nº03/SRH/2017 são as seguintes:

- FASE A – ESTUDO DE VIABILIDADE

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

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

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

O documento ora apresentado constitui o Volume I - **Relatório de Avaliação da Sustentabilidade Hídrica do Projeto da Barragem Frecheirinha**, integrante da Etapa C2.

O **Relatório de Sustentabilidade Hídrica** segue o que determina a Resolução nº 194, da Agência Nacional de Água - ANA, de 16 de setembro de 2002, especialmente no seu artigo terceiro, que especifica que a sustentabilidade seja considerada em duas perspectivas, operacional e hídrica:

“I - operacional da infra-estrutura, caracterizada pela existência de mecanismo institucional que garanta a continuidade da operação da obra de infra-estrutura hídrica;

II – hídrica, caracterizada pela demonstração de que a implantação da infra-estrutura contribui para o aumento do nível de aproveitamento hídrico da respectiva bacia hidrográfica.”

A Resolução nº 194, da Agência Nacional de Água - ANA, de 16 de setembro de 2002 estabelece os procedimentos e critérios para cumprimento das determinações do Decreto nº4.024 do Governo Federal, que estabelece critérios e procedimentos para

implantação ou financiamento de obras de infra-estrutura hídrica com recursos financeiros da União e dá outras providências.

O presente relatório é composto por sete capítulos:

- **Capítulo 1 – Caracterização do Empreendimento:** Neste capítulo é apresentada, de forma introdutória, a bacia do rio Coreaú, com informações sobre sua localização e acessos, os fatos antecedentes que condicionaram sua evolução; a açudagem na bacia; os objetivos da implantação da barragem Frecheirinha e, finalmente, as justificativas para a implantação do empreendimento.
- **Capítulo 2 – Estudos Básicos:** Apresenta o resultado dos estudos básicos sobre a área do projeto, relativas à cartografia, topografia, geologia, geotecnia e climatologia.
- **Capítulo 3 – Estudo de Alternativas.** Analisa três alternativas de locação das obras da barragem, do ponto de vista técnico, econômico, ambiental e hídrico, para, ao final, selecionar a mais viável, a partir do estabelecimento de critérios objetivos.
- **Capítulo 4 – Memorial Descritivo do Projeto.** Descreve, de forma sucinta, as principais obras projetadas da barragem Frecheirinha (barragem principal, vertedouro, diques auxiliares, tomada d'água); indica as principais interferências com infraestruturas públicas (rodovias, redes elétricas); apresenta o orçamento das obras.
- **Capítulo 5 – Sustentabilidade Operacional.** Disserta sobre a sustentabilidade operacional do projeto, apresentando o arcabouço institucional, legal e normativo da gestão de recursos hídricos no estado do Ceará.
- **Capítulo 6 – Sustentabilidade Hídrica.** Analisa a sustentabilidade hídrica do projeto, apresentando os estudos hidrológicos que serviram de base para o dimensionamento da barragem.
- **Capítulo 7 – Conclusões**
- Bibliografia.
- Anexos

ÍNDICE

ÍNDICE GERAL

APRESENTAÇÃO	2
ÍNDICE.....	7
1 – CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	16
1.1 - REGIÃO HIDROGRÁFICA DO COREAÚ	17
1.2 - ANTECEDENTES	17
1.3 - AÇUDAGEM NA BACIA DO COREAÚ	18
1.4 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	19
1.5 - OBJETIVO DO EMPREENDIMENTO.....	21
1.6 - JUSTIFICATIVA DO EMPREENDIMENTO.....	21
2 – ESTUDOS BÁSICOS	24
2.1 - CARTOGRAFIA	25
2.2 - TOPOGRAFIA	28
2.2.1 - Metodologia de Execução	28
2.2.2 - Equipamentos Utilizados.....	29
2.2.3 - Transporte de Coordenadas	29
2.2.4 - Transporte de Nível	30
2.2.5 - Levantamento do Eixo Barrável Principal.....	30
2.2.5.1 - Locação	30
2.2.5.2 - Nivelamento	31
2.2.5.3 - Seções Transversais	31
2.2.6 - Levantamento dos Diques Auxiliares.....	31
2.2.6.1 - Locação	31
2.2.6.2 - Nivelamento	32
2.2.6.3 - Seções Transversais	32
2.2.7 - Levantamento do Sangradouro.....	32
2.2.7.1 - Locação	33
2.2.7.2 - Nivelamento e Seções Transversais.....	33
2.2.8 - Levantamento das Jazidas de Materiais Naturais.....	33
2.2.8.1 - Jazidas de Solos.....	34
2.2.8.2 - Jazidas de Areias	34
2.2.8.3 - Pedreira	35
2.3 - GEOLOGIA.....	35
2.3.1 - Atividades Sísmicas Regionais.....	36
2.3.2 - A Sismicidade do Nordeste	36

2.3.3 - A Sismicidade do Noroeste do Ceará.....	36
2.3.4 - Arcabouço Geológico Regional.....	37
2.3.5 - Geologia Local.....	38
2.4 - GEOTECNIA.....	40
2.4.1 - Investigação nos Locais do Barramento.....	40
2.4.2 - Investigação nos Locais dos Vertedouros.....	41
2.4.3 - Estudo dos Materiais Construtivos.....	41
2.4.3.1 - Jazidas de Solos.....	41
2.4.3.2 - Jazidas de Materiais Pétreos.....	42
2.4.3.3 - Jazidas de Materiais Arenosos.....	42
2.5 - CLIMATOLOGIA.....	42
2.5.1 - Temperatura.....	42
2.5.2 - Umidade Relativa.....	43
2.5.3 - Insolação.....	44
2.5.4 - Nebulosidade.....	45
2.5.5 - Evaporação.....	45
2.5.6 - Pluviosidade.....	46
2.5.7 - Classificação Climática.....	47
3 – ESTUDO DE ALTERNATIVAS.....	48
3.1 - TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA.....	49
3.2 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS.....	49
3.3 - ALTERNATIVA 1.....	52
3.3.1 - Geologia do e Geotecnia do Eixo na Alternativa 1.....	52
3.3.2 - Traçado da Adutora para Frecheirinha na Alternativa 1.....	52
3.3.3 - Características da Barragem na Alternativa 1.....	54
3.3.4 - Custos das Obras na Alternativa 1.....	57
3.4 - ALTERNATIVA 2.....	57
3.4.1 - Geologia e Geotecnia do Eixo na Alternativa 2.....	57
3.4.2 - Traçado da Adutora para Frecheirinha na Alternativa 2.....	58
3.4.3 - Características Técnicas da Barragem na Alternativa 2.....	58
3.4.4 - Custos das Obras na Alternativa 2.....	62
3.5 - ALTERNATIVA 3.....	62
3.5.1 - Geologia e Geotecnia do Eixo na Alternativa 3.....	62
3.5.2 - Traçado da Adutora para Frecheirinha na Alternativa 3.....	62
3.5.3 - Características Técnicas do Eixo na Alternativa 3.....	63

3.5.4 - Custos das Obras na Alternativa 3	67
3.6 - CRITÉRIOS DE ESCOLHA DA ALTERNATIVA	67
3.6.1 - Critérios Técnicos de Engenharia	67
3.6.2 - Critérios Socioambientais	68
3.6.3 - Critérios Socioeconomicos	68
3.7 - QUALIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ESCOLHA DAS ALTERNATIVAS	69
3.7.1 - Critérios Técnicos de Engenharia	69
3.7.1.1 - Topografia e Geologia	69
3.7.1.2 - Capacidade de Acumulação	70
3.7.1.3 - Fundações	72
3.7.1.4 - Materiais de Construção	72
3.7.1.5 - Características Técnicas das Obras nas Três Alternativas	72
3.7.1.6 - Extensão da Adutora para Abastecimento de Frecheirinha	74
3.7.1.7 - Custo das Obras e do m ³ da Água Acumulada	74
3.7.2 - Critérios Sócio-econômicos	75
3.7.2.1 - Fatores Positivos	75
3.7.2.2 - Fatores Negativos	76
3.7.2.3 - Ponderação dos fatores positivos e negativos	77
3.7.3 - Avaliação Ambiental	79
3.8 - ALTERNATIVA SELECIONADA	79
4 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO DA BARRAGEM	80
4.1 - ARRANJO GERAL DAS OBRAS	81
4.2 - BARRAGEM PRINCIPAL	81
4.3 - VERTEDOURO	86
4.4 - DIQUES	87
4.5 - TOMADA D'ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS	88
4.6 - INTERFERÊNCIAS COM INFRAESTRUTURAS EXISTENTES	89
4.7 - CUSTOS DAS OBRAS	89
4.8 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	94
5 - SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL	96
5.1 - CONCEPÇÃO DO MODELO DE GESTÃO	97
5.2 - ARCABOUÇO INSTITUCIONAL, LEGAL E NORMATIVO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	98
5.2.1 - Ao Nível da União	98
5.2.1.1 - Constituição Federal	98
5.2.1.2 - Lei das Águas	99
5.2.1.3 - Lei de Criação da Agência Nacional de Águas - ANA	100

5.2.1.4 - Decreto que Regulamenta o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos.....	101
5.2.1.5 - Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010.....	104
5.2.1.6 - Certificado de Obra Hídrica - CERTOH	104
5.2.1.7 - Decreto nº 9.666, de 02 de janeiro de 2019	106
5.2.2 - AO NÍVEL DO ESTADO DO CEARÁ	107
5.2.2.1 - Conselho Estadual dos Recursos Hídricos	112
5.2.2.2 - A Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH.....	114
5.2.2.3 - A Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH.....	115
5.2.2.4 - Comitês de Bacia Hidrográfica.....	116
5.3 - COGERH – GESTORA DO EMPREENDIMENTO	117
6 – SUSTENTABILIDADE HÍDRICA.....	119
6.1 - BACIA HIDROGRÁFICA	120
6.1.1 - Caracterização Física da Bacia	120
6.1.2 - Caracterização Morfológica da Bacia.....	123
6.2 - ESTUDO DE CHUVAS.....	126
6.3 - O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA	130
6.3.1 - Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas.....	130
6.3.1.1 - Determinação dos Valores das Precipitações Máximas Anuais	131
6.3.1.2 - Chuvas Máximas com Durações de 24 Horas	132
6.3.1.3 - Chuvas Máximas com Duração de 1 hora	132
6.3.1.4 - Conversão da Chuva Pontual em Chuva Espacial.....	133
6.3.1.5 - Chuva de Projeto.....	134
6.4 - ESTUDOS DO REGIME FLUVIAL	136
6.4.1 - Dados Fluviométricos Disponíveis	136
6.4.2 - Estudo de Vazões Afluentes.....	136
6.5 - VAZÃO REGULARIZADA	137
6.6 - ESTUDOS DE CHEIAS.....	138
6.6.1 - O Método Curva- Número	138
6.6.2 - Método Chuva-Deflúvio Adotado.....	139
6.6.3 - Determinação da Precipitação Efetiva (PE).....	140
6.6.4 - Cheias Máximas Afluentes e Efluentes	141
6.7 - ESTUDO DE PROBABILIDADE DE ENCHIMENTO	142
6.8 - ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	143
7 – SUSTENTABILIDADE DO PROJETO - CONCLUSÕES	145
7.1 - SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL	146
7.2 - SUSTENTABILIDADE HÍDRICA	148

7.2.1 - Vazões Regularizadas.....	148
7.2.2 - Probabilidade de Enchimento do Reservatório	148
7.2.3 - Amortecimento de Cheias	149
7.2.4 - Possibilidade de Assoreamento.....	150
8 - BIBLIOGRAFIA.....	151
ANEXOS	154

ÍNDICE DAS FIGURAS

Páginas

FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS AO EMPREENDIMENTO	20
FIGURA 2.1- DOMÍNIOS GEOLÓGICOS DA REGIÃO NORTE DA PROVÍNCIA BORBOREMA	38
FIGURA 2.2 - TEMPERATURAS MENSAS MÁXIMAS, MÍNIMAS (OC)	43
FIGURA 2.3 - UMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL (%)	44
FIGURA 2.4 - INSOLAÇÃO MÉDIA MENSAL (HORAS).....	44
FIGURA 2.5 – NEBULOSIDADE (DÉCIMOS).....	45
FIGURA 2.6 - EVAPORAÇÃO TOTAL MÉDIA MENSAL (MM).....	46
FIGURA 2.7 – CHUVAS MÉDIAS MENSAS (MM)	46
FIGURA 3.1 - LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS, VERTEDOUROS E DIQUES	51
FIGURA 3.2 - ALTERNATIVA 1 - TRAÇADO A ADUTORA, DESDE O EIXO DA BARRAGEM ATÉ A SEDE DO MUNICÍPIO DE FRECHEIRINHA	53
FIGURA 3.3 - CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME DA BACIA HIDRÁULICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA – ALTERNATIVA 1.....	56
FIGURA 3.4 - ALTERNATIVA 2 - TRAÇADO A ADUTORA, DESDE A BARRAGEM ATÉ A SEDE O MUNICÍPIO DE FRECHEIRINHA	60
FIGURA 3.5- CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME DA BACIA HIDRÁULICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA – ALTERNATIVA 2	61
FIGURA 3.6- TRAÇADO DA ADUTORA PARA FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 3	64
FIGURA 3.7- CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME DA BACIA HIDRÁULICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA – ALTERNATIVA 3	66
FIGURA 4.1 - ARRANJO GERAL DAS OBRAS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	82
FIGURA 4.2 - SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM PRINCIPAL DO AÇUDE FRECHEIRINHA	85
FIGURA 4.3 – PLANTA BAIXA DO VERTEDOIRO	87
FIGURA 4.4 – CORTE LONGITUDINAL DO VERTEDOIRO E DETALHE DO PERFIL CREAGER	87
FIGURA 5.1 - ORGANOGRAMA DO SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ - SIGERH	117
FIGURA 6.1 – BACIA HIDROGRÁFICA E REDE DE DRENAGEM DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	122
FIGURA 6.2 - DIAGRAMA COTA X ÁREA X VOLUME.....	125
FIGURA 6.3 - ISOIETAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	127
FIGURA 6.4– BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - POLÍGONOS DE THIESSEN	128
FIGURA 6.5 - O REGIME DE CHUVAS NA BACIA POR THIESSEN	129
FIGURA 6.6 - ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO NO NORDESTE SETENTRIONAL	130
FIGURA 6.7 - CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA	134

ÍNDICE DE QUADROS

Páginas

QUADRO 1.1 - AÇUDES DA BACIA DO RIO COREAÚ.....	19
QUADRO 2.1 – LOCAÇÃO DO EIXO DA BARRAGEM	30
QUADRO 2.2-LEVANTAMENTOS DAS JAZIDAS DE SOLOS	34
QUADRO 2.3 - LEVANTAMENTOS DAS JAZIDAS DE AREIA.....	35
QUADRO 2.4 - SISMOS OCORRIDOS NO NOROESTE DO CEARÁ COM MAGNITUDE >3,0 MB.....	37
QUADRO 2.5 - TEMPERATURAS MENSAIS MÁXIMAS E MÍNIMAS (°C)	43
QUADRO 2.6 - UMIDADE RELATIVA MÉDIA MENSAL	43
QUADRO 2.7 - INSOLAÇÃO MÉDIA MENSAL	44
QUADRO 2.8 – NEBULOSIDADE	45
QUADRO 2.9 - EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL.....	45
QUADRO 2.10 - CHUVAS MÉDIAS MENSAIS (MM)	46
QUADRO 3.1 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 1	55
QUADRO 3.2 – ESTIMATIVA DE CUSTOS DA BARRAGEM – ALTERNATIVA 1	57
QUADRO 3.3 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 2	59
QUADRO 3.4 – ESTIMATIVA DE CUSTOS DA BARRAGEM – ALTERNATIVA 2	62
QUADRO 3.5 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 3	65
QUADRO 3.6– ESTIMATIVA DE CUSTOS DA BARRAGEM NA ALTERNATIVA 3.....	67
QUADRO 3.7 – COMPARAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA DAS ALTERNATIVAS	70
QUADRO 3.8 – COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS NAS ALTERNATIVAS	71
QUADRO 3.9 – COMPARAÇÃO DOS VOLUMES ACUMULADOS NAS ALTERNATIVAS	71
QUADRO 3.10 – COMPARAÇÃO DOS VOLUMES DE ATERROS DOS MACIÇOS + CUT-OFF DOS EIXOS	72
QUADRO 3.11 – COMPARAÇÃO ENTRE AS FICHAS TÉCNICAS DAS ALTERNATIVAS.....	73
QUADRO 3.12 – EXTENSÃO DA ADUTORA NAS TRÊS ALTERNATIVAS.....	74
QUADRO 3.13– COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E DO M ³ DE ÁGUA	75
QUADRO 3.14 – ÁREA INUNDADA NAS TRÊS ALTERNATIVAS.....	77
QUADRO 3.15 – ÁREAS DE TERRAS AGRICULTÁVEIS INUNDADAS PELAS TRÊS ALTERNATIVAS	77
QUADRO 3.16 - PONDERAÇÃO DAS SITUAÇÕES DOS FATORES SÓCIOECONÔMICOS	78
QUADRO 3.17 – PONDERAÇÃO DOS FATORES SÓCIOECONÔMICOS.....	78
QUADRO 3.18 – CONSOLIDAÇÃO DA AVALIAÇÃO AMBIENTAL PARA AS ALTERNATIVAS	79
QUADRO 4.1 – CUSTOS DAS OBRAS DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	90
QUADRO 4.2 – FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	94
QUADRO 6.1 - BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	120
QUADRO 6.2 - DADOS FÍSICOS DA BACIA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	123

QUADRO 6.3 - COTAS – ÁREAS - VOLUMES	124
QUADRO 6.4 - POSTOS PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	126
QUADRO 6.5 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA.....	127
QUADRO 6.6 – INFLUÊNCIA DOS POSTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM	128
QUADRO 6.7 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL DOS POSTOS E DA BACIA – MÉTODO DE THIESSEN.....	129
QUADRO 6.8 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA	131
QUADRO 6.9 - DISTRIBUIÇÕES DE MELHOR AJUSTE PELA ESTATÍSTICA ANDERSON-DARLING	132
QUADRO 6.10- PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS INTENSAS	133
QUADRO 6.11 - TRANSFORMAÇÃO DA CHUVA MÁXIMA E INTENSA PONTUAL EM ESPACIAL	133
QUADRO 6.12 - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DA CHUVA A CADA INTERVALO DE 1 HORA	134
QUADRO 6.13 - CHUVA DE PROJETO – Tr= 1.000 ANOS E Tr=10.000 ANOS	135
QUADRO 6.14 - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA GERADA AFLUENTE AO RESERVATÓRIO FRECHEIRINHA	138
QUADRO 6.15 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CHEIA Tr=1.000 ANOS	141
QUADRO 6.16 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CHEIA Tr=10.000 ANOS	141
QUADRO 7.1- SÉRIE FLUVIOMÉTRICA GERADA AFLUENTE AO RESERVATÓRIO FRECHEIRINHA	148
QUADRO 7.2 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CHEIA Tr=1.000 ANOS	149
QUADRO 7.3 - RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CHEIA Tr=10.000 ANOS	149
QUADRO 7.4 - DETERMINAÇÃO DA TAXA DE ASSOREAMENTO (Φ)	150

1 – CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

1 - CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

1.1 - REGIÃO HIDROGRÁFICA DO COREAÚ

A Região Hidrográfica do Rio do Coreaú está localizada na porção noroeste do Estado do Ceará, com área de drenagem de 10.633,66 km², correspondente a 7% do território cearense, abrangendo a bacia drenada pelo rio Coreaú e seus afluentes, com área de 4.446km², bem como o conjunto de pequenas bacias adjacentes dos rios Timonha, Tapuio, Jaguarapi, Pesqueiro e da Prata. O rio Coreaú nasce na confluência dos riachos Jatobá e Caiçara, provenientes da Serra da Ibiapaba, desenvolvendo-se, no sentido sul – norte, por 167,5 km até o oceano Atlântico.

Os vinte e quatro municípios citados, a seguir, estão inseridos total ou parcialmente na bacia hidrográfica do rio Coreaú: a) totalmente – Barroquinha, Camocim, Chaval, Coreaú, Frecheirinha, Jijoca de Jericoacoara, Martinópole, Moraújo, Senador Sá e Uruoca; b) parcialmente – Acaraú Alcântaras, Bela Cruz, Cruz, Granja, Ibiapina, Marco, Meruoca, Morrinhos, Mucambo, Sobral, Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará.

A Barragem Frecheirinha será implantada no território da Região Hidrográfica do Rio Coreaú, mais especificamente na região de alto curso da Bacia do Rio Coreaú propriamente dita. Será formada pelo barramento do rio Caiçara, tributário de 1ª ordem do Rio Coreaú, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Frecheirinha, Coreaú, Ubajara e Mucambo.

1.2 - ANTECEDENTES

No início do século passado (1919), a então Inspectoria Federal de Obras contra as Secas – IFOCS construiu duas barragens na bacia do rio Coreaú: o açude Tucunduba, com capacidade de acumulação de 40,2hm³ e o açude Várzea da Volta, com capacidade de acumulação de 12,5hm³. No final da década de 1980, foram construídos os açudes Martinópole (Ano 1984 - 23,2 hm³) e Diamante (Ano 1988 - 13,2 hm³). Estes reservatórios controlam parcela muito pequena dos volumes afluentes da bacia.

Ainda na década de 1970, a bacia hidrográfica do rio Coreaú foi objeto de estudos para o aproveitamento de seus recursos hídricos, contratados pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas – DNOCS à empresa SIRAC - Serviços Integrados de

Assessoria e Consultoria Ltda., para desenvolver o Estudo de Viabilidade do Vale do Coreaú. Tais estudos indicaram a viabilidade de implantação de barragens na referida bacia, identificando-se um boqueirão no rio Caiçara com potencial de acumulação de 100 hm³ de água.

Em dezembro de 1988, a SIRAC apresentou ao DNOCS a documentação técnica referente ao “Anteprojeto da Barragem Frecheirinha”, no rio Caiçara, com capacidade de 85hm³ e vazão de regularizada de 0,62 m³/s, com 90% de garantia, de 0,50 m³/s, com 95% de garantia. Indicava-se a utilização das vazões para o abastecimento humano e a agricultura irrigada.

Em 2017, a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará contratou a empresa Engesoft Engenharia e Consultoria Ltda., mediante a celebração do Contrato nº 03/SRH/2017, cujo objetivo é 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”.

O objetivo principal da barragem é a criação de um reservatório no rio Caiçara para o controle dos recursos hídricos da bacia do rio Coreaú e atendimento das demandas de água da região, proporcionando aproveitamento racional da água acumulada, tendo como finalidade principal o abastecimento humano e a dessedentação animal e, secundariamente, a agricultura irrigada.

1.3 - AÇUDAGEM NA BACIA DO COREAÚ

Atualmente, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH monitora 9 açudes localizados na bacia do rio Coreaú. O **Quadro 1.1**, a seguir, traz a relação destes açudes, com suas localizações nos municípios e com as respectivas capacidades de acumulação.

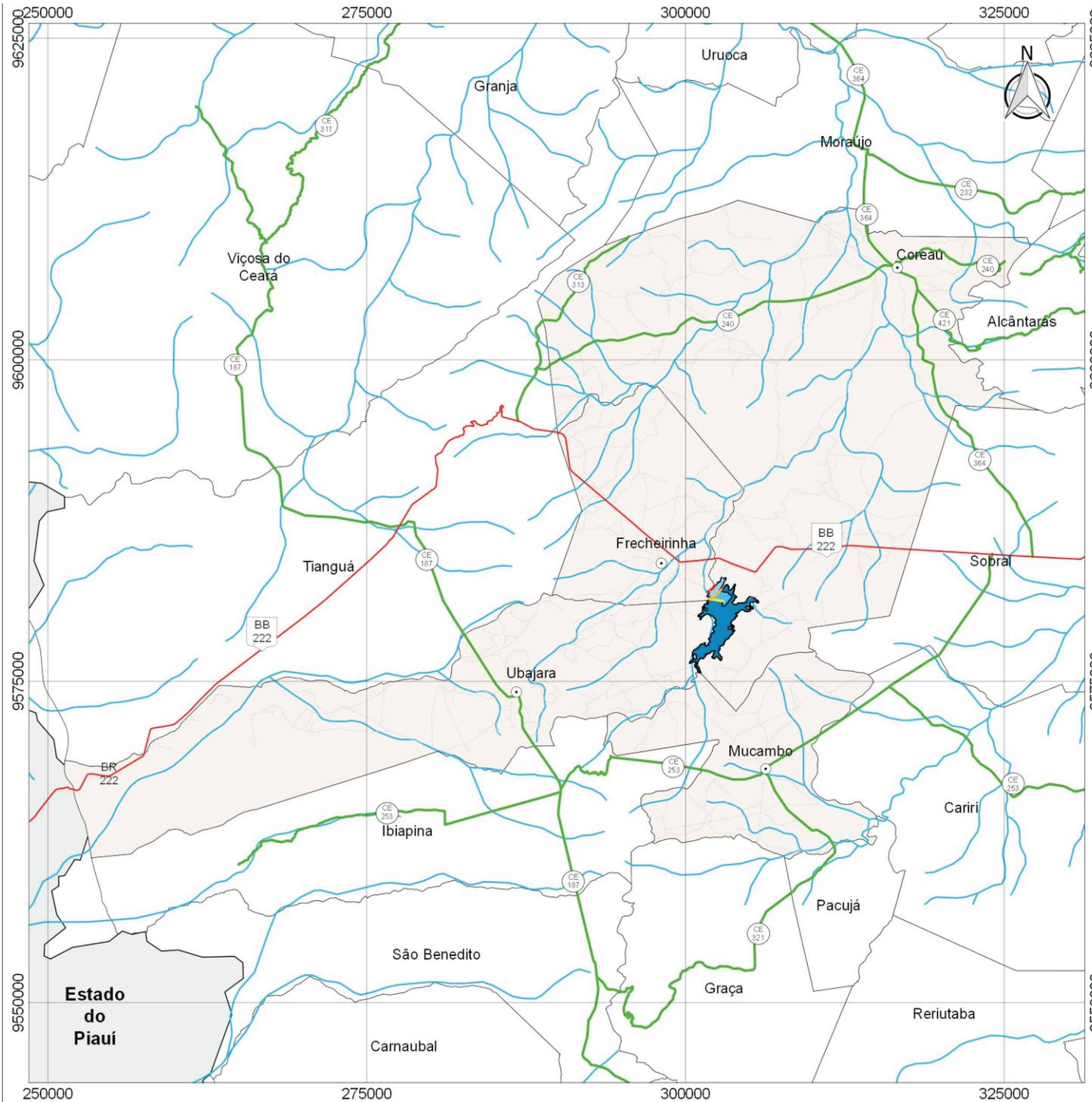
Quadro 1.1 - Açudes da Bacia do Rio Coreaú

Açude	Município	Capacidade de Acumulação (hm ³)
Angico	Coreaú	56,05
Diamante	Coreaú	13,20
Gangorra	Granja	62,50
Itaúna	Chaval	77,50
Martinópole	Martinópole	23,20
Premuoca	Uruoca	5,20
Trapiá III	Coreaú	5,51
Tucunduba	Senador Sá	41,43
Várzea da Volta	Moraújo	12,50

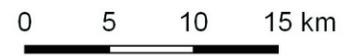
1.4 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O açude Frecheirinha será formado pelo barramento do riacho Caiçara, afluente do rio Coreaú, fechando o boqueirão existente nas imediações da localidade de Caiçara de Cima, no município de Frecheirinha, distando 4,2 km de sua sede. A bacia hidráulica cobrirá terras dos municípios de Frecheirinha, Coreaú, Ubajara e Mucambo.

Partindo-se de Fortaleza, o acesso à área do empreendimento pode ser feito através da rodovia federal BR-222, passando pela cidade de Caucaia, pelo distrito de Croatá (São Gonçalo do Amarante), pelas cidades de São Luís do Curu, Umirim, Itapajé, Irauçuba, Forquilha e Sobral até atingir a cidade de Frecheirinha, com percurso de 290,0 km. A partir deste ponto, por ruas revestidas por asfalto e calçadas com pedras toscas e depois por estrada de terra, percorrem-se 4,2 km até a localidade de Caiçara de Cima, local do eixo do barramento. **A Figura 1.1**, a seguir traz as informações da localização e dos acessos ao local do empreendimento.



- 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 1.1: Mapa de localização e acesso da Área de abrangência do Estudo

SISTEMA DE COORDENADAS: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S PROJEÇÃO: Transverse Mercator DATUM: SIRGAS 2000	ESCALA	1 : 300.000
	DATA	JUNHO/2020

1.5 - OBJETIVO DO EMPREENDIMENTO

O objetivo do empreendimento é fornecer água de qualidade, com garantia adequada, para a população e para as atividades econômicas regionais, para melhorar a qualidade de vida das pessoas, para geração de renda e para criação de empregos.

A Barragem Frecheirinha deverá servir a múltiplos usos, com prioridade para o abastecimento d'água humano das cidades de Frecheirinha, Coreauú e outras sedes municipais da bacia do rio Coreauú, como também será garantido o suprimento hídrico à população rural residente no entorno do reservatório e ao longo do rio Caiçara perenizado.

Aparecem, ainda, como benefícios adicionais para a região a dessedentação animal, o desenvolvimento da piscicultura extensiva no lago formado pelo barramento e de atividades de recreação e lazer.

Outra função, ainda, será o desenvolvimento da agricultura irrigada, com ênfase na região do vale do rio Caiçara, uma vez que será ofertado o suprimento hídrico para a exploração com irrigação difusa das áreas ribeirinhas ao longo do curso d'água perenizado.

1.6 - JUSTIFICATIVA DO EMPREENDIMENTO

A bacia do rio Coreauú é pouco controlada, pois os açudes públicos construídos e em operação são de médio porte, com pequenas vazões regularizadas com baixos níveis de garantia. A construção do açude público Flecheirinha, com capacidade de acumulação de 82,17hm³, colocará à disposição da população do vale do Coreauú uma nova fonte de água para usos múltiplos, com prioridade para o abastecimento humano, com volumes e níveis adequados de garantia.

A crescente urbanização na região remete ao aumento da demanda por água potável, com conseqüente sobrecarga sobre o sistema de abastecimento de água em operação. Fazem-se necessários, portanto, investimentos na implantação de obras de ampliação e melhorias do sistema de abastecimento d'água dos núcleos urbanos. A barragem Frecheirinha possibilitará a oferta de água à população, em quantidade e qualidade adequadas.

A deficiência no suprimento de água potável tem reflexos negativos sobre a saúde pública, contribuindo para a disseminação de doenças de veiculação hídrica e para o aumento das taxas de mortalidade, principalmente a infantil.

A oferta de água, com adequado nível de garantia, tem um forte impacto positivo sobre o desenvolvimento econômico dos núcleos urbanos, com reflexos positivos sobre a geração de empregos e renda, bem como sobre a arrecadação tributária.

De outra parte, na região existem solos, propícios para a agricultura irrigada, atualmente subutilizados, em função dos riscos decorrentes das estiagens prolongadas, que frustram as safras. A escassez dos recursos hídricos trava o desenvolvimento econômico, contribuindo para o crescente êxodo rural que ocorre na região.

Em resumo, poder-se-iam alinhar as seguintes justificativas para a construção da barragem Frecheirinha:

- Garantir o suprimento hídrico da cidade de Frecheirinha, com adequado nível de garantia, mediante a implantação de uma adutora;
- Garantir o suprimento hídrico de uma parcela representativa das populações difusas do meio rural e de pequenos aglomerados urbanos, que atualmente são abastecidos com carros-pipas ou fazem uso de fontes hídricas de qualidade duvidosa;
- Permitir a liberação de vazões regularizadas para trecho do rio Caiçara, ensejando o suprimento hídrico à população ribeirinha de jusante, a dessedentação animal e o desenvolvimento da irrigação difusa;
- Ofertar água para o desenvolvimento da agricultura irrigada, bem como permitir o desenvolvimento da pesca no lago formado, contribuindo para a geração de empregos e rendas estáveis e para diminuição do êxodo rural.

Em termos ambientais será criado um novo habitat para a fauna aquática e será garantido o fornecimento d'água para a fauna durante os períodos de estiagens. As perdas resultantes das degradações impostas pela implantação do empreendimento também poderão ser parcialmente compensadas pela criação e/ou apoio a unidades de conservação existentes na região. As medidas mitigadoras e de controle ambiental

previstas nos estudos ambientais contribuirão com diversas medidas de proteção do meio natural, tais como o desmatamento racional, o manejo da fauna das áreas das obras e da bacia hidráulica do reservatório, a execução da recuperação das áreas degradadas, o reflorestamento da faixa de preservação do futuro reservatório, o monitoramento da qualidade da água represada e o programa de educação ambiental, dentre outros.

2 – ESTUDOS BÁSICOS

2 - ESTUDOS BÁSICOS

2.1 - CARTOGRAFIA

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos, com base em carta da SUDENE, digitalizada na escala 1:100.000 e curvas de nível a cada 40 metros. Sobre a carta Frecheirinha nº SA-24-Y-C-VI foi definida a localização do barramento e delimitada a área de sua bacia hidrográfica.

Esta base cartográfica serviu para identificação das alternativas de localização do eixo da barragem e também permitiu o inventário das áreas dos reservatórios, identificando-se as infraestruturas existentes, como rodovias, redes elétricas, açudes, núcleos urbanos, as ocorrências de materiais construtivos, o sistema de drenagem principal e eventuais pontos de fugas.

Empregando o AUTOCAD CIVIL 3D, foi gerado um modelo digital do terreno - MDT da área em 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 maior precisão na delimitação da bacia de contribuição. Além da delimitação topográfica, a bacia foi aferida e ajustada através da base de hidrografia unifilar disponibilizada pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Para o processamento e geração de Modelo Digital de Elevação com geração de Curvas de Nível e Interpretação a partir de imagens de alta resolução do satélite KOMPSAT-3A foi contratada a empresa com expertise no assunto, a THREETEK - Soluções em Geomática.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas quatro cenas do satélite KOMPSAT-3A, adquiridas em 30/07/2017, dois pares estéreos - todas elas com quatro bandas multiespectrais de quarenta centímetros de resolução espacial, no formato 11 bits, DATUM WGS 1984.

O levantamento de campo abrangeu as seguintes atividades:

- a) Medição dos pontos materializados para servir de apoio à medição dos pontos objetos. Foram utilizados receptores GPS geodésico.
- b) Medição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro dos pontos de controle para apoio terrestre do mapeamento por imagens, com receptores GPS geodésico e topográfico.
- c) Processamento dos dados da medição GPS, com avaliação dos resultados.

Em seguida, foi executado o Processamento das Imagens e Geração de MDS, com a realização dos seguintes procedimentos:

- a) Geração das Composições Coloridas - Foram geradas 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.
- 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. 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 fazer desaparecerem as junções foram adotados os seguintes procedimentos:
 - ✓ 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.

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

Na sequência, foi feita a Conversão Automática de MDS para MDT e, 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, sendo que o 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) O tamanho, em pixels, dos filtros que serão utilizados na interpolação para reduzir as falhas geradas pela remoção de objetos;
- d) O tamanho, em pixels, que serão utilizados no filtro de mediana, aplicado na suavização final do produto final.

Para completar o trabalho, foi feita a Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível, automaticamente, a cada dois 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.

Para verificação da ortorretificação, foram analisados os Erros Médios Residuais (RMS) dos pontos coletados em campo através de DGPS. No mosaico final, foi realizada uma verificação para assegurar que não houve desequilíbrio de cores e deslocamentos entre as cenas que o compõem. Nas curvas de nível, foram realizadas as etapas de validação topológica, conforme regras mencionadas anteriormente. Para avaliação e 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 que pode ser verificado no anexo apresentado no Relatório de Cartografia.

2.2 - TOPOGRAFIA

2.2.1 - METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

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

- 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 sangradouros (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.

2.2.2 - 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.

2.2.3 - 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.

2.2.4 - TRANSPORTE DE NÍVEL

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. Datum utilizado foi o SIRGAS 2000.

2.2.5 - 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 contranivelamento e levantamento de seções transversais.

2.2.5.1 - Locação

O ponto de partida para locação do eixo principal da barragem, estaca E0 (00+00m), está localizado na ombreira esquerda e o ponto de chegada localizado na ombreira direita, onde finaliza na estaca E32 (640,00+00m), 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). (**Quadro 2.1**).

Quadro 2.1 – Locação do Eixo da Barragem

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

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: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

2.2.5.2 - Nivelamento

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

2.2.5.3 - 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.

2.2.6 - LEVANTAMENTO DOS DIQUES AUXILIARES

Após estudo da cartografia gerada, definida a cota de coroamento da barragem e a cota do sangradouro, constatou-se que, para o fechamento total da bacia hidráulica da barragem Frecheirinha, seria necessário o projeto de estruturas auxiliares para fechamento de três pontos de fugas topográficas, que seriam resolvidas com a implantação de diques, denominados 1, 2 e 3. Os levantamentos topográficos desses pontos de fugas foram executados através de processos convencionais, constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos, nivelamento e levantamento de seções transversais.

2.2.6.1 - Locação

O eixo de cada dique foi inicialmente materializado com a implantação de marcos de concreto, assim caracterizados:

Dique 1: Foi implantado um marco de concreto na estaca E0+0,00m, estando localizado nas coordenadas 9.582.854,43N e 303.733,59E e altitude 135,97m seguindo em linha reta até a estaca E11+8,97m, onde foi implantado outro marco de concreto com coordenadas 9.582.771,41N e 303.947,15E, e altitude 136,38, totalizando este eixo 228,97m de comprimento.

Dique 2: Foi implantado um marco de concreto na estaca E0+0,00m, estando localizado nas coordenadas 9.583.341,11N e 303.146,28E e altitude 138,51, seguindo em linha reta até a estaca E12+0,00, onde foi implantado outro marco de concreto nas coordenadas 9.583.310,18N e 303.384,34E, e altitude 138,95 totalizando este eixo 240m de comprimento.

Dique 3: Foi implantado um marco de concreto na estaca E0+0,00m, estando localizado nas coordenadas 9.583.432,69N e 302.833,30E, e altitude 138,84, seguindo em linha reta até a estaca E4+0,00m localizada nas coordenadas 9.583.405,06N e 302.908,25E, e altitude 140,14, totalizando este eixo 80m de comprimento.

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: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

2.2.6.2 - Nivelamento

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

2.2.6.3 - 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.

2.2.7 - LEVANTAMENTO DO SANGRADOURO

Foram estudados dois locais alternativos para o Sangradouro da Barragem Freicheirinha e os sítios que abrangem os dois eixos dos sangradouros foram levantados plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de:

locação, nivelamento e contra-nivelamento e levantamento de seções transversais. As cadernetas de campo são apresentadas no Relatório de Topografia.

2.2.7.1 - Locação

As locações foram executadas utilizando-se um Teodolito WILD T-1, cujos eixos foram estaqueados e numerados a cada 20 metros, sendo também indicados, através de estacas inteiras ou fracionadas, todos os pontos notáveis do relevo.

EIXO 1: A partir da estaca E1+0,00m do eixo do sangradouro 1, foi locada uma poligonal totalizando 300,00 m de extensão, acompanhando o talvegue à jusante até próximo ao riacho Caiçara.

EIXO 2: A partir da estaca E0+0,00m, foram locadas duas poligonais, com a primeira totalizando 500,00 m de extensão, cuja diretriz foi acompanhar o talvegue à jusante do eixo até próximo ao Riacho Caiçara, e a segunda totalizando 150,00m de extensão, à partir do eixo e acompanhando o talvegue na direção de montante do sangradouro até atingir a futura bacia hidráulica do Açude a ser formado com o barramento.

2.2.7.2 - Nivelamento e Seções Transversais

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição da alternativa 1 de sangradouro, 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 da alternativa 2 de sangradouro, também utilizando um nível WILD N-1, foram levantadas seções que totalizaram uma área de 19,02 hectares.

A partir desses levantamentos foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

2.2.8 - LEVANTAMENTO DAS JAZIDAS DE MATERIAIS NATURAIS

Foram realizados os levantamentos e locações planialtimétricas das áreas de possíveis ocorrências de materiais a serem utilizados na construção da barragem, com amarração à poligonal do eixo principal.

Foram locadas 10 jazidas de solos potencialmente exploráveis, de acordo com as caracterizações das amostras coletadas, uma pedreira e 4 depósitos de material arenoso (jazidas de areia), para serem utilizadas nas obras.

2.2.8.1 - Jazidas de Solos

As áreas das ocorrências de materiais terrosos construtivos para execução da barragem Frecheirinha tiveram todos os seus furos levantados com GPS de precisão, tendo como base os marcos implantados nos trabalhos de apoio de campo ao levantamento aerofotogramétrico. As jazidas de solos foram também objeto do levantamento planimétrico e foram 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 2.2**, a seguir, resume o levantamento executado para as jazidas, que estão dispostas por ordem de distâncias ao eixo da barragem.

Quadro 2.2-Levantamentos das Jazidas de Solos

Jazidas	Distância do Eixo da Barragem (km)	Área da Jazida (m ²)	Profundidade Média (m)	Volume Bruto (m ³)	Profundidade Média útil (m)	Volume Líquido (m ³)
Jazida J-08	0,10	40.000	0,91	36.400	0,87	34.800
Jazida j-09	0,22	60.000	0,95	57.000	0,90	54.000
Jazida J-10	0,45	300.000	1,06	318.000	1,06	318.000
Jazida J-03	2,31	40.000	1,02	40.800	0,97	38.800
Jazida J-02	2,41	87.500	0,92	80.500	0,83	72.625
Jazida J-04	3,32	135.000	1,02	137.700	0,96	129.600
Jazida J-01	3,71	40.000	0,81	32.400	0,69	27.600
Jazida J-07	4,12	207.500	1,11	230.325	1,09	226.175
Jazida J-06	4,26	135.000	0,83	112.050	0,79	106.650
Jazida J-05	4,47	140.000	0,92	128.800	0,92	128.800
Totais		1.185.000		1.173.975		1.137.050

2.2.8.2 - Jazidas de Areias

Para execução do filtro de areia e para 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. Os trabalhos de

campo identificaram e localizaram quatro areais para suprir os volumes necessários para construção das obras. Os poços abertos nos areais foram locados com GPS de mão.

O **Quadro 2.3**, a seguir, mostra as coordenadas dos centros geométricos dos quatro areais estudados, também apresenta os volumes e as distancias, via estradas vicinais, destes para o eixo da Barragem Frecheirinha.

Quadro 2.3 - Levantamentos das Jazidas de Areia

Jazidas	Extensão no Trecho do Rio (m)	Volume da Jazida m ³	Distância ao Eixo da Barragem (m)
1	1.130,00	11.300,00	3.974,00
2	1.020,00	4.998,00	3.998,00
3	1.860,00	9.114,00	6.081,00
4	2.120,00	10.388,00	9.280,00
Volume total		35.800,00	

2.2.8.3 - Pedreira

Foram registrados, através de GPS manual, 20 pontos de referência na pedreira P-01, situada a 7,37 km, por estradas vicinais, para montante do eixo da barragem (direção sudeste), de onde está prevista a extração de material necessário para a execução de filtros, proteções de taludes e nos concretos das estruturas da barragem.

2.3 - GEOLOGIA

Inicialmente, foram realizadas pesquisas bibliográficas, utilizando-se a escala regional, para uma visão mais ampla das características geológicas, tendo como base o mapa geológico do Estado do Ceará, na escala 1:500.000, elaborado pela Companhia de Recursos e Pesquisas Minerais – CPRM - 1983; o mapa do RADAM Brasil em escala 1:1.000.000, elaborado pelo Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM; o Projeto Jaibaras – Convênio DNPM/CPRM, 1973; e a publicação do artigo Sismicidade do Nordeste do Brasil, Ferreira, J.M. & Assunção, M., 1983, publicado na Revista Brasileira de Geofísica.

Em seguida, os estudos foram realizados em escala local, com melhor definição das litologias e de suas estruturas. Os estudos geológicos de superfície resultaram em um mapeamento detalhado do sítio barrável, executado através de caminhamentos ao longo

do eixo, utilizando como instrumentos uma bússola, martelo geológico, lupa, trena e caderneta de campo para anotações.

2.3.1 - ATIVIDADES SÍSMICAS REGIONAIS

Segundo Sykes (1978), os terremotos intraplacas, como os que ocorrem no Brasil, ocorrem pela reativação de zonas de fraqueza (falhas) pré-existentes. Johnston (1989) concluiu que esta reativação não é resultante diretamente do strain elástico originado do movimento das placas, mas, é causada por um stress desviador regional gerado no limite entre elas e transmitido até seu interior.

Os terremotos são também causados por atividades humanas (sismos induzidos), destacando-se os provenientes do peso da água e aumento da pressão de fluidos provocado pelos reservatórios ou da extração de fluidos em aquíferos, poços de petróleo etc.

2.3.2 - A SISMICIDADE DO NORDESTE

O Nordeste do Brasil tem apresentado importante atividade sísmica, que está distribuída em sítios localizados, incluindo eventos com magnitudes $\leq 5,2$ mb e intensidade \leq VII MMI, capazes de causar danos significativos para o ambiente urbano da região. São exemplos importantes de atividades sísmicas: em Pacajus-CE (1980), em São Rafael-RN (1985-1989), em João Câmara-RN (1986-1989), em Groaíras-CE (1988), em Palhano e Cascavel-CE (1989-1994) e em Tabuleiro Grande-RN (1993).

O monitoramento efetuado pela equipe de Sismologia do Departamento de Física Teórica e Experimental da UFRN tem mostrado que os epicentros estão concentrados próximos aos limites ou no interior da Bacia Potiguar. Os estudos sismológicos até aqui desenvolvidos indicam que a distribuição da sismicidade não é aleatória, mas está relacionada de maneira ainda pouco conhecida, ao campo de tensões atual e as feições herdadas, incluindo a Bacia Potiguar.

2.3.3 - A SISMICIDADE DO NOROESTE DO CEARÁ

As atividades sísmicas do Noroeste Cearense são conhecidas desde o século passado, sendo que o primeiro evento noticiado ocorreu no município de Granja, em 1810. Os eventos que alcançaram maior magnitude ocorrem em Groaíras (1988) e em

Irauçuba (1991), alcançando intensidade VI MM. Na região Noroeste do estado do Ceará, está instalada, desde agosto de 2007, uma estação sismográfica SBBR, na EMBRAPA Caprinos, em Sobral.

No final de janeiro de 2008, teve início intensa atividade sísmica na região de Sobral, com um evento de magnitude 2,5 mb, ocorrido no dia 28 daquele mês, sentido no distrito de Jordão. A atividade continuou nos meses subsequentes e os eventos de maior magnitude foram de 4,2 mb e 3,9 mb, ocorridos com uma diferença de apenas três minutos, no dia 21 de maio de 2008. O **Quadro 2.4**, a seguir, relaciona os sismos ocorridos.

A atividade sísmica na região Noroeste do Ceará vem sendo registrada desde o século passado e ultimamente tem se manifestado de forma mais intensa e numerosa. Como a região estudada está localizada em ambiente com histórico de atividade tectônica (DMC) e apesar da proximidade da área de estudo com as megaestruturas tectônicas, sem correlação definida até então, o risco sísmico deve ser levado em conta no dimensionamento e estudos de estabilidade da Barragem Frecheirinha.

Quadro 2.4 - Sismos Ocorridos no Noroeste do Ceará com Magnitude >3,0 mb

Localidade	Ano	Magnitude
Granja	1942	3,0
São Luísdo Curu	1974	3,3
Itapagé	1987	3,0
Groaíras	1988	3,9 e 4,1
Frecheirinha	1989	3,2
Irauçuba	1991	4,8
Groaíras	1995	3,4
Frecheirinha	1997	3,2
Senador Sá	1997	3,0 e 3,2
Sobral	2008	3,1 3,7 3,9 e 4,2

Fonte: Boletim Sísmico da Revista Brasileira de Geofísica (2003).

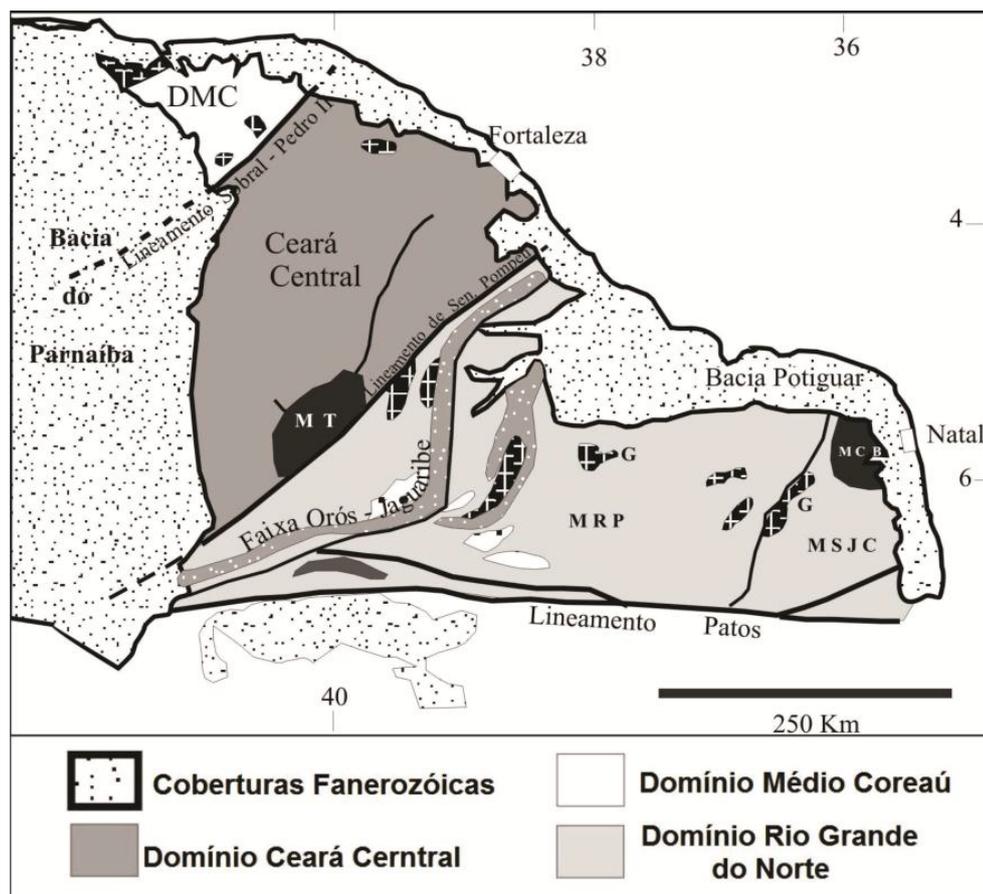
2.3.4 - ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL

A área da Barragem está inserida no contexto geológico da Província Borborema, que cobre uma área de 400.000 km² na região nordeste do território brasileiro. A Província Borborema, recentemente dividida em domínios geotectônicos neoproterozóicos, é formada por blocos crustais amalgamados durante a orogênese (colagem) brasileira. A

tpfe.com.br

porção Norte da Província está representada na **Figura 2.1**, onde acima do Lineamento Patos, é subdividida em três grandes Domínios: Médio Coreau, Ceará Central e Rio Grande do Norte. A área de estudo está inserida no Domínio Médio Coreau (DMC).

Figura 2.1- Domínios Geológicos da Região Norte da Província Borborema



Fonte: Fetter, 1999

2.3.5 - GEOLOGIA LOCAL

O sítio do barramento Frecheirinha é formado essencialmente por rochas pertencentes ao Grupo Ubajara (NPu): unidade metassedimentar de idade neoproterozoica (~635-850 Ma), que ocorre nos setores leste e sudeste da área, ocupando majoritariamente a porção SO do graben Ubajara-Jaibas, 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; Frecheirinha (NPuf): formada por calcários que distribuem-

tpfe.com.br

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.

O sítio do barramento, especificamente nas ombreiras, é caracterizado 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 tálus, sob a forma de blocos e matacões 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.

Quando os metarenitos aflorantes nas ombreiras pertencem à Formação Caiçaras, são representados por pacotes de ortoquartzitos com espessuras que variam de centímetros até dezenas de metros, de cores claras ou impregnadas de óxido de ferro, frequentemente recristalizadas, e cortados por veios de sílica.

Por seu turno, 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.

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.

Há ainda a possibilidade do corpo quartzítico ter origem da metamorfização da camada de arenitos grosseiros da Formação Trapiá, sobrejacentes à Formação Caiçaras, com ocorrência tabular, e que teve sua estrutura arrasada pelas intempéries ocasionadas pelas cheias do rio, preservando os testemunhos nas duas ombreiras.

As ardósias, pertencentes à Formação Caiçaras, apresentam-se, ao longo de 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 aluvionais. 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 a 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 aluvionais.

As aluviões restringem-se à 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.

2.4 - GEOTECNIA

2.4.1 - INVESTIGAÇÃO NOS LOCAIS DO BARRAMENTO

Os estudos geotécnicos realizados para o projeto da barragem Frecheirinha foram prospecções mecânicas de superfície no local do barramento e ensaios *in situ* executados nestas prospecções. Foram realizadas, também, investigações nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

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

Foram realizadas 28 prospecções mecânicas distribuídas ao longo da região dos três eixos estudados para o barramento. No Eixo 1 (adotado) foram realizadas 15 prospecções mecânicas, sendo 6 sondagens a percussão, 7 sondagens mistas (iniciadas por processo percussivo e prosseguidas com sonda rotativa) e 2 sondagens mistas

inclinadas (45°). No Eixo 2 foram realizadas 5 prospecções, sendo todas a percussão. Já no Eixo 3, foram realizadas 8 sondagens, sendo 6 a percussão e 2 a trado.

Todos os furos de sondagens foram referenciados aos eixos topográficos implantados e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente, tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

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

2.4.2 - INVESTIGAÇÃO NOS LOCAIS DOS VERTEDOUROS

Foram indicados, locados e estudados dois eixos alternativos para o vertedouro da Barragem. Ao longo dos dois eixos, foram realizadas 6 sondagens mistas, sendo 3 em cada. Foram executadas também, junto com as sondagens, 19 ensaios de perda de água sob pressão nas 6 sondagens mistas e em várias profundidades para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso.

As sondagens investigaram a faixa superficial e o maciço, desde uma profundidade mínima de 5,0m até uma profundidade máxima da ordem de 30,58 metros, suficientes para definição das obras do vertedouro.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente, tiveram as cotas dos terrenos de cada furo levantadas através de nivelamento topográfico.

2.4.3 - ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Foram identificadas 10 jazidas de solos, quatro areais e uma pedreira como fonte de materiais para construção da barragem.

2.4.3.1 - Jazidas de Solos

Num raio de 5km do local escolhido para barragem Frecheirinha e localizadas nas margens do Riacho Caiçara, foram identificadas 10 jazidas de solos areno-argilosos, com pouco ou sem fragmentos rochosos.

tpfe.com.br

As jazidas que serão utilizadas são as que estão mais próximas do sítio da barragem a ser construída, bem como dos três diques de fechamento da bacia hidráulica. Os volumes necessários de solos para aterros são: maciço e *cut-off* de cerca de 450.000m³ e para os diques de 9.000m³ com total de 459.000m³. O volume total utilizável das jazidas é bem superior, cerca de 1.080.000 m³.

Para análise dos solos das 10 Jazidas identificadas, foram realizados poços de inspeção, distribuídos em malha de pontos representativos das jazidas, de onde foram coletadas amostras que foram submetidas em laboratório a uma campanha de ensaios geotécnicos, conforme normas técnicas (DNER).

2.4.3.2 - Jazidas de Materiais Pétreos

Para fonte de material pétreo destinado aos espaldares de enrocamentos e concretos, foi identificado um afloramento de rocha granítica sã, de coloração acinzentada, na localidade de Roça do Mato, próxima à serra do Carmutim.

A pedreira fica situada no entorno do ponto de coordenadas UTM 305.671 e 9.577.824, com distância média de transporte de 7,37 km, a montante do eixo da barragem, com volume aflorante estimado em 41.683,26 m³.

2.4.3.3 - Jazidas de Materiais Arenosos

Os bancos de areia que ocorrem no leito do riacho Caiçara, a montante e a jusante do eixo da barragem Frecheirinha, apresentam-se com uma granulometria de fina a grossa. Os trabalhos de campo, realizados com a escavação de poços de inspeção a pá e picareta, identificaram e localizaram quatro areais para suprir os volumes necessários (35.000 m³) para construção das obras (filtros e concretos).

2.5 - CLIMATOLOGIA

2.5.1 - TEMPERATURA

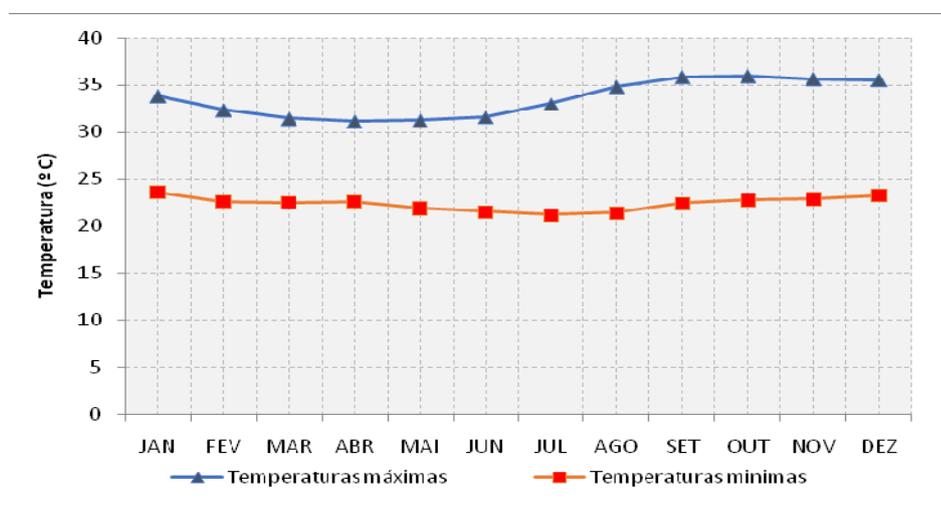
O Quadro 2.5 e a Figura 2.2, a seguir, trazem as temperaturas mensais máximas e mínimas. As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, nos meses de outubro (35,9 °C) e julho (21,2°C).

Quadro 2.5 - Temperaturas Mensais Máximas e Mínimas (°C)

Temperaturas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximas	33,8	32,3	31,4	31,1	31,2	31,6	33	34,8	35,8	35,9	35,6	35,5
Mínimas	23,6	22,6	22,5	22,6	21,9	21,5	21,2	21,4	22,4	22,8	22,9	23,3

Fonte: INMET

Figura 2.2 - Temperaturas Mensais Máximas, Mínimas (oC)



Fonte: INMET

2.5.2 - UMIDADE RELATIVA

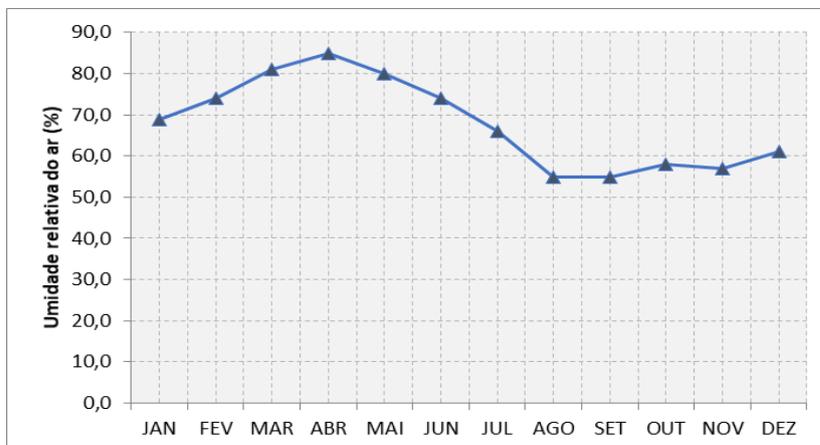
A umidade relativa do ar média apresenta variação máxima de 30%, ocorrendo a máxima em abril (85,0%) e a mínima em agosto e setembro (55,0%) (**Quadro 2.6 e Figura 2.3**).

Quadro 2.6 - Umidade Relativa Média Mensal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
(%)	69	74	81	85	80	74	66	55	55	58	57	61

Fonte: INMET

Figura 2.3 - Umidade Relativa Média Mensal (%)



Fonte: INMET

2.5.3 - INSOLAÇÃO

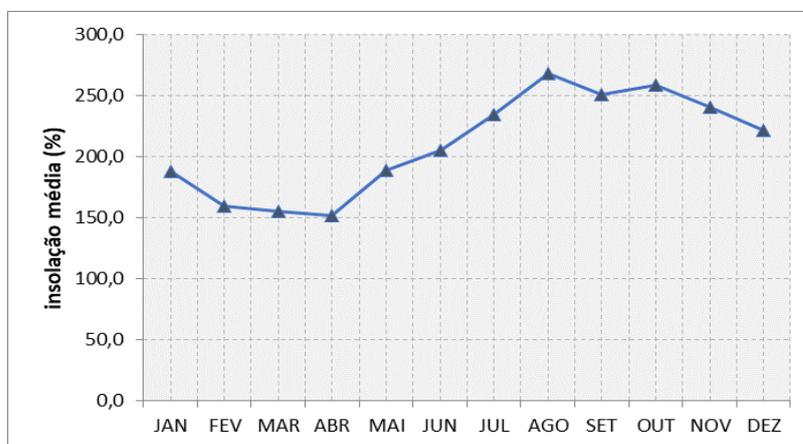
A insolação média da região é de 2.525,2 horas de exposição, ocorrendo índices mais elevados no trimestre agosto/setembro/outubro e menores índices no trimestre fevereiro/março/abril. O mês de agosto apresenta o maior índice de insolação (268,2 horas) e o mês de abril o menor (151,7 horas). (Quadro 2.7 e Figura 2.4)

Quadro 2.7 - Insolação Média Mensal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Horas	188,10	159,50	155,00	151,70	189,30	205,40	234,70	268,20	251,40	258,90	241,10	221,90	2.525,20

Fonte: INMET

Figura 2.4 - Insolação Média Mensal (horas)



Fonte: INMET

2.5.4 - NEBULOSIDADE

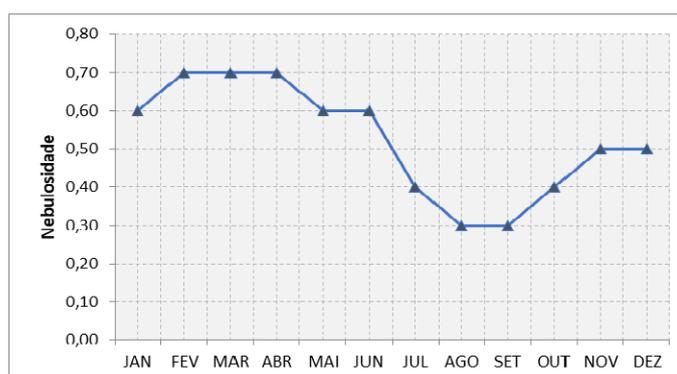
Na região, no trimestre fevereiro/abril ocorrem os maiores índices de nebulosidade (0,7) e o bimestre agosto/setembro são observados os menores (0,30). (**Quadro 2.8 e Figura 2.5**)

Quadro 2.8 – Nebulosidade

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Décimos	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5

Fonte: INMET

Figura 2.5 – Nebulosidade (décimos)



Fonte: INMET

2.5.5 - EVAPORAÇÃO

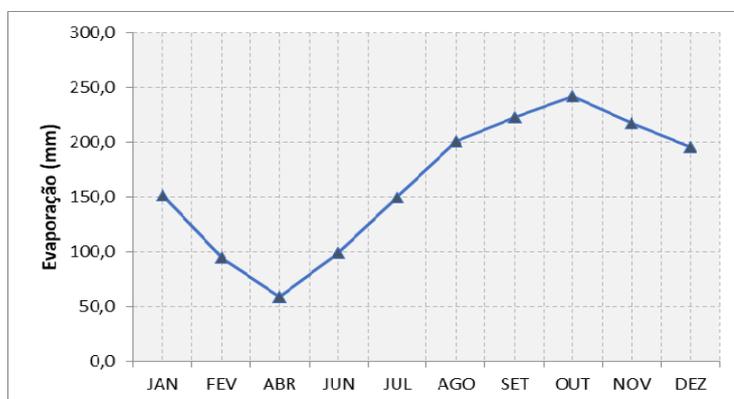
A evaporação média anual observada na região, medida em tanque classe “A” é de 1.774,8mm, com mínima em abril (58,4mm) e a máxima em outubro (242,7mm). **Quadro 2.8 e Figura 2.6.**

Quadro 2.9 - Evaporação Média Mensal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Evaporação (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	1.774,80

Fonte: INMET

Figura 2.6 - Evaporação Total Média Mensal (mm)



Fonte: INMET

2.5.6 - PLUVIOSIDADE

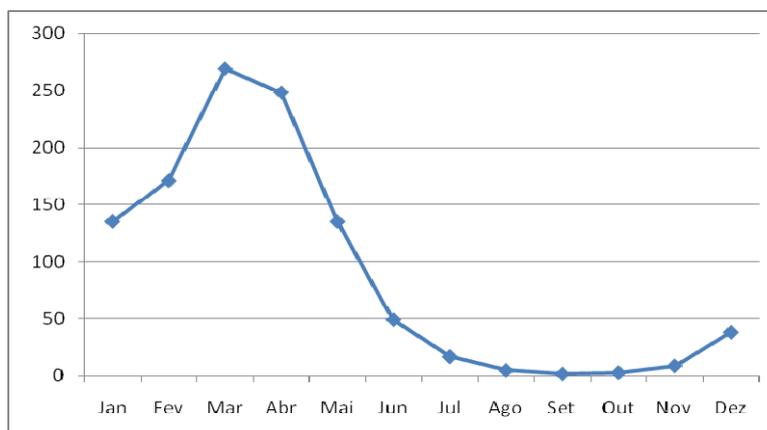
A pluviosidade média anual, na região do projeto, é de 1.081mm, com distribuição concentrada entre os meses de janeiro a maio. O **Quadro 2.10**, a seguir, reúne as chuvas médias mensais.

Quadro 2.10 - Chuvas Médias Mensais (mm)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
mm	135	171	269	248	135	49	17	5	2	3	9	38	1.081

Fonte: INMET

Figura 2.7 – Chuvas Médias Mensais (mm)



2.5.7 - CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

Optou-se por usar a classificação climática de Köppen-Geiger. A classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia. Foi proposta, em 1900, pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936, com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger. A classificação é baseada no pressuposto de que a vegetação natural de cada grande região é essencialmente uma expressão do clima nela prevalente. Assim, as fronteiras entre regiões climáticas foram determinadas para corresponder, tanto quanto possível, às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual a distribuição global dos tipos climáticos e a distribuição dos biomas apresentam elevada correlação. Na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação pluvial. Cada grande tipo climático é referenciado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação denota os tipos e subtipos considerados.

A bacia da barragem Frecheirinha está inserida na região de classificação de clima do tipo “As”. O código “A” caracteriza o clima tropical megatérmico, com temperatura média do mês mais frio do ano maior que 18°C, ausência da estação inverno e forte precipitação anual. Já o código “s” refere-se à pluviosidade da região com características de estação seca no verão.

3 – ESTUDO DE ALTERNATIVAS

3 - ESTUDO DE ALTERNATIVAS

3.1 - TOPOGRAFIA E CARTOGRAFIA

Para identificar as alternativas de eixos barráveis para elaboração do projeto, e com o objetivo de escolher a alternativa mais viável do ponto de vista técnico, econômico, ambiental e social, foi necessário gerar ou obter as cartas topográficas da região e verificar as condições geotécnicas.

Os estudos topográficos foram executados por fotointerpretação de imagens obtidas pelo satélite Kompset 3A, possibilitando a geração de um Modelo Digital do Terreno (MDT), e extração das curvas de níveis equidistantes de dois metros, compatível com a escala 1:5.000.

A partir das cartas produzidas com o MDT, foram elaborados desenhos com curvas altimétricas interpoladas a cada metro, possibilitando a identificação e desenvolvimento de três alternativas de eixos barráveis e locais de sangradouros, com as respectivas bacias hidráulicas e hidrográficas, além da geração dos volumes dos maciços, com finalidade de geração de custos e para elaboração do estudo de alternativas de projeto. Verificou-se, também, a necessidade de projetar alguns diques, nos locais onde havia pontos de fuga.

Para cada versão do eixo, foram elaborados desenhos com plantas e perfis, para em seguida fazer a locação dos eixos no campo. Após a locação, estaqueamento a cada 20 metros e nivelamento dos eixos barráveis e dos diques auxiliares, foram levantadas as seções transversais em cada estaca dos três eixos, exceto no eixo 3 e no dique 4, onde os trabalhos foram desenvolvidos sobre a restituição oriunda do imageamento.

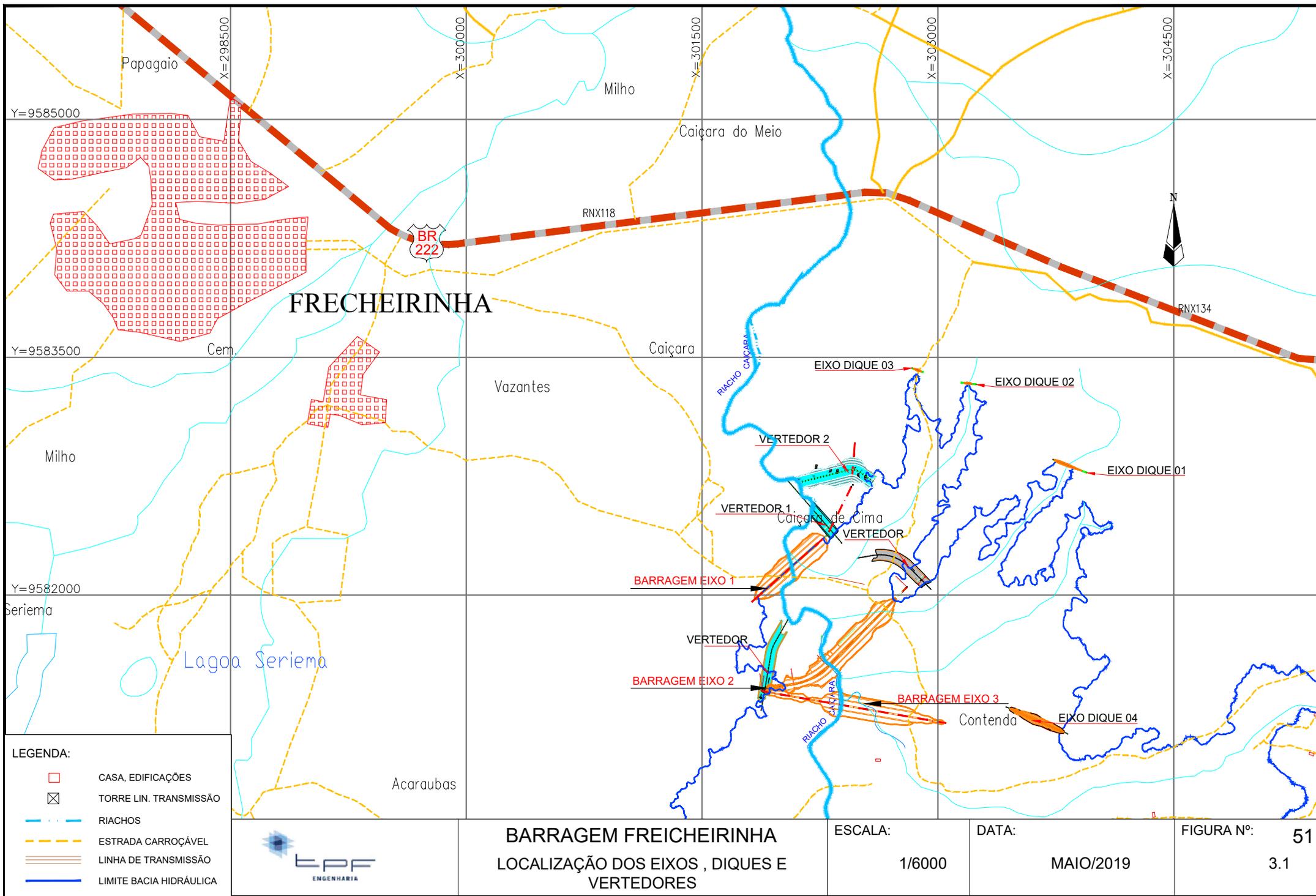
3.2 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

Para a obtenção dos elementos básicos que caracterizam as fundações dos três eixos, necessários para elaboração do estudo de alternativas, foram realizadas investigações no subsolo dos sítios barráveis. Tais investigações forneceram os dados para elaboração dos perfis geológicos / geotécnicos representativos, contendo a descrição dos materiais que compõem as camadas de subsolo e também os parâmetros geotécnicos (resistência à penetração SPT, recuperação, fraturamento RQD,

permeabilidade e demais informações que auxiliaram na interpretação das condições geológicas e geotécnicas, com influência na decisão da escolha do melhor local para a construção do eixo da barragem.

As investigações geotécnicas realizadas nos locais da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso dos sítios, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro, além de economicamente viável.

Foram realizadas 27 prospecções mecânicas distribuídas ao longo da região dos três eixos estudados para o barramento. No Eixo 1 foram realizadas 15 prospecções mecânicas, sendo 6 sondagens a percussão, 7 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa) e 2 sondagens mistas inclinadas (com inclinação de 45°). No Eixo 2 foram realizadas 5 prospecções, sendo todas a percussão. Já no Eixo 3, foram realizadas 8 sondagens, sendo 6 a percussão e 2 a trado.



- LEGENDA:**
- CASA, EDIFICAÇÕES
 - TORRE LIN. TRANSMISSÃO
 - RIACHOS
 - ESTRADA CARROÇÁVEL
 - LINHA DE TRANSMISSÃO
 - LIMITE BACIA HIDRÁULICA



BARRAGEM FREICHEIRINHA
LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS, DIQUES E
VERTEDORES

ESCALA:
1/6000

DATA:
MAIO/2019

FIGURA Nº: **51**
3.1

3.3 - ALTERNATIVA 1

3.3.1 - GEOLOGIA DO E GEOTECNIA DO EIXO NA ALTERNATIVA 1

Na Alternativa 1, o Eixo, com extensão de 640m, apresenta as seguintes características geológicas: as encostas laterais que darão suporte de fixação das ombreiras apresentam superficialmente uma cobertura de tálus, constituída por blocos e matações de quartzitos, com fraturamento bem pronunciado e assentes sobre ardósias, as quais não afloram em toda a extensão do referido eixo.

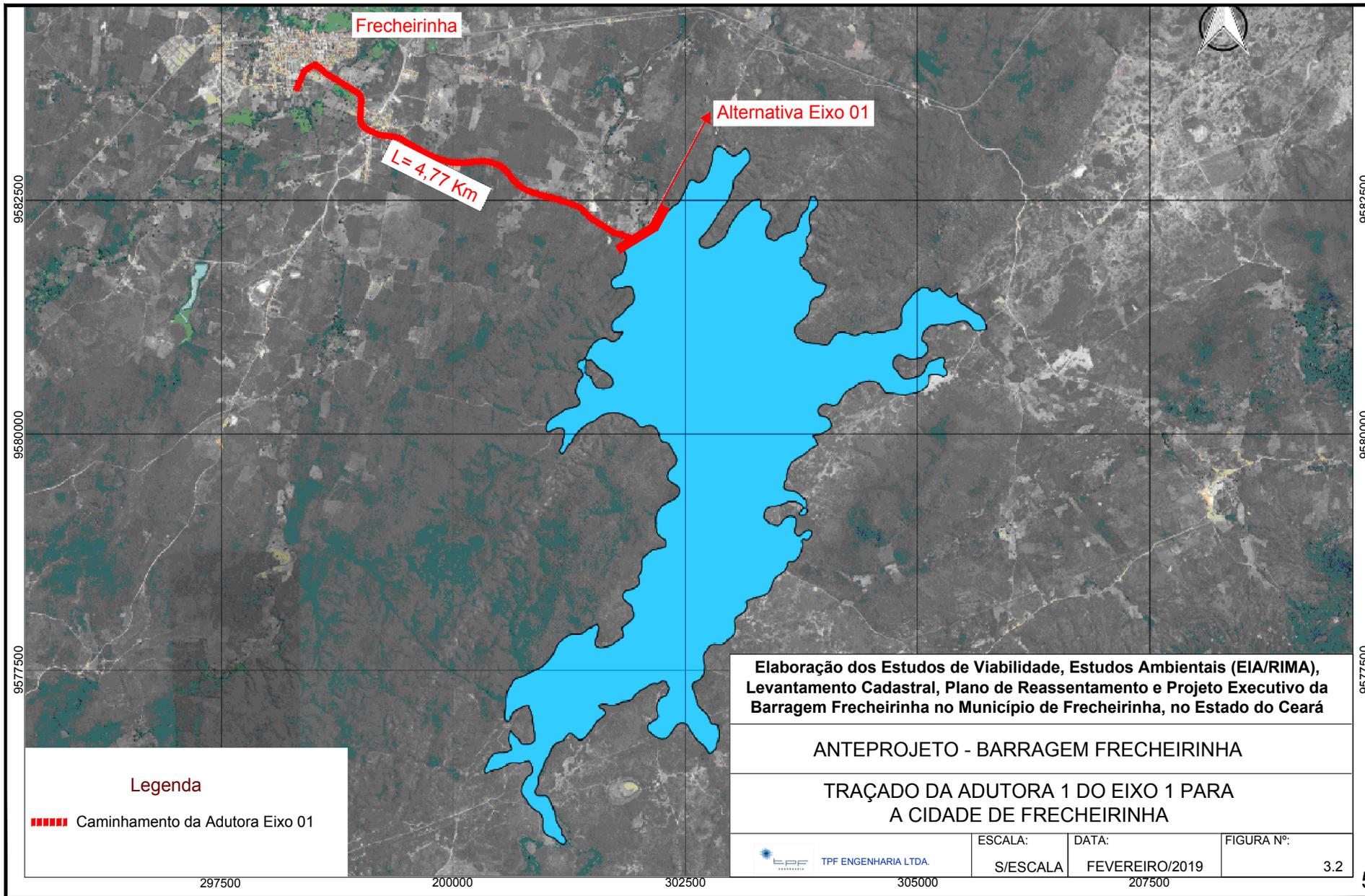
Na Alternativa 1, foram realizadas no Eixo cinco sondagens a percussão (SP), até atingirem o impenetrável à lavagem. A fim de caracterizar o contato entre o solo e a rocha quartzítica, na ombreira direita, foi feita uma sondagem a pá e picareta.

Foi inferida a presença de ardósia em subsuperfície em toda a extensão do eixo, com profundidades variando de 1,45m nas SP-05 e SP-02 a 5,45m na SP-03, e constatou-se que não ocorre afloramento de ardósia ao longo da diretriz.

3.3.2 - TRAÇADO DA ADUTORA PARA FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 1

O principal objetivo do açude Frecheirinha é o abastecimento humano, sendo prioritário o fornecimento de água para a sede do município de mesmo nome. Desta forma, a distância do eixo da barragem, onde se dará a captação da adutora, até a sede do município, importa para a seleção entre as alternativas.

O traçado da adutora, entre a barragem e a cidade de Frecheirinha, nesta Alternativa 1, está na **Figura 3.2**, a seguir. O comprimento da adutora, pelo caminhamento apresentado, é de 4,77km.



Frecheirinha

Alternativa Eixo 01

L = 4,77 Km

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

ANTEPROJETO - BARRAGEM FRECHEIRINHA

TRAÇADO DA ADUTORA 1 DO EIXO 1 PARA A CIDADE DE FRECHEIRINHA

Legenda

■■■■■ Caminhamento da Adutora Eixo 01

 TPF ENGENHARIA LTDA.	ESCALA:	DATA:	FIGURA Nº:
	S/ESCALA	FEVEREIRO/2019	3.2

3.3.3 - CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM NA ALTERNATIVA 1

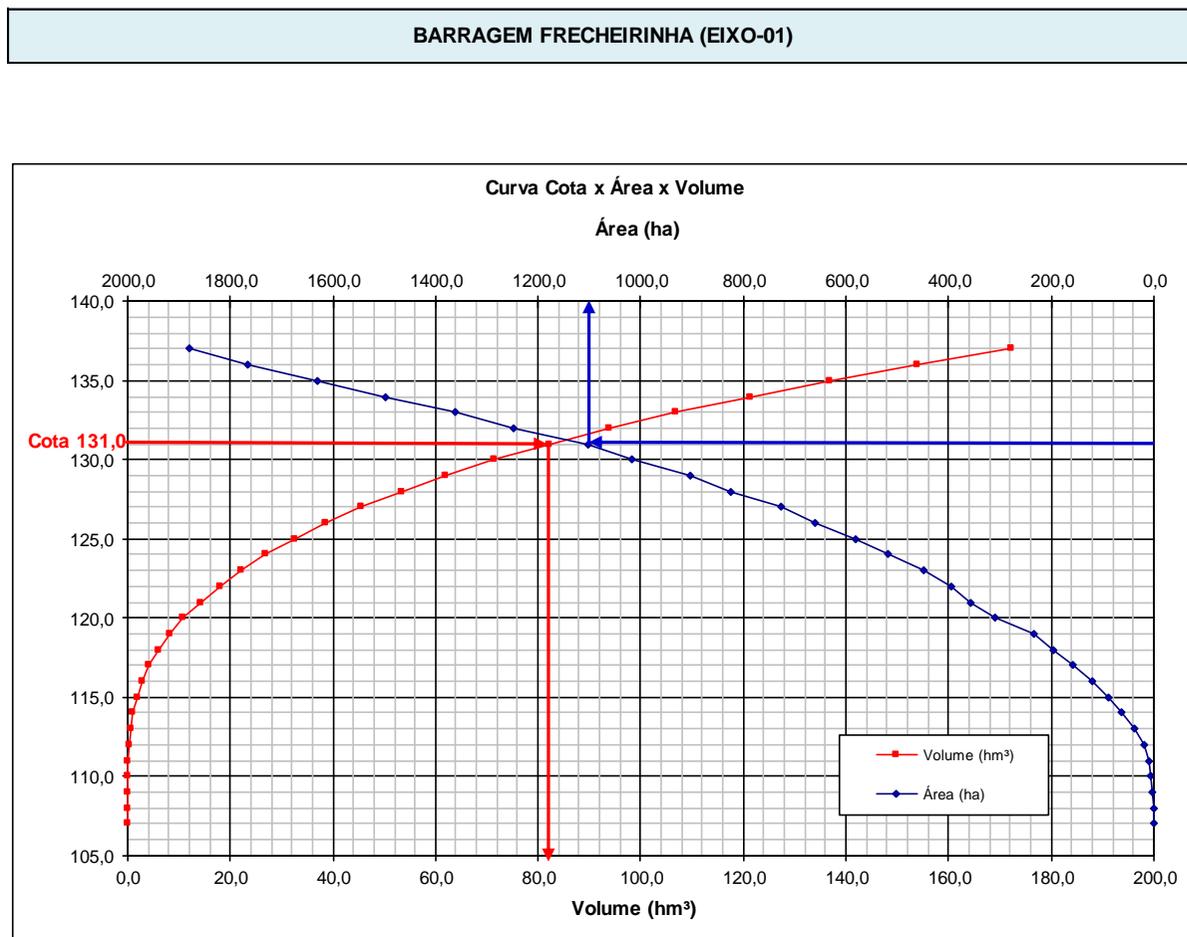
Nesta Alternativa 1, o Eixo situa-se mais ao norte e distante 4,77 km da cidade de Frecheirinha. O **Quadro 3.1**, a seguir, traz a Ficha Técnica da barragem Frecheirinha, nesta Alternativa 1. A **Figura 3.3**, a seguir, apresenta o quadro das cotas, áreas e volumes da barragem e as curvas correspondentes. Na cota 131m, a área da bacia hidráulica é de 1.101,55ha e o volume de acumulação do reservatório de 82,177 hm³ de água.

Quadro 3.1 - Ficha Técnica da Barragem Frecheirinha na Alternativa 1

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - ALTERNATIVA 1	
1 - IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Frecheirinha
Eixo Alternativo:	Eixo 1
Município:	Frecheirinha
Sistema:	Rio Coreau
Rio/Riacho Barrado:	Riacho Caiçara
2 - BACIA HIDROGRAFICA	
Area:	198,5 km ²
Precipitação Média Anual:	1.149 mm
Evaporação Média Anual:	1.775 mm
3 - CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO	
Area da Bacia Hidráulica (cota 131,00 m):	1.102 ha
Volume Acumulado (cota 131,00 m):	82,167 hm ³
Volume Afluente Médio Anual:	8,964 hm ³
Volume Morto do Reservatório (cota 112,00 m):	0,246 hm ³
Vazão Máxima Milenar Afluente:	908,82 m ³ /s
Vazão Máxima Decamilenar Afluente:	1.114,01 m ³ /s
4 - BARRAGEM	
Tipo:	Barragem Mista
Cota do Coroamento:	134
Largura do Coroamento:	7,0 m
Extensão pelo Coroamento:	593,00 m
Altura Máxima:	27,0 m
Volume de Escavação (Fundação):	34.851 m ³
Volume de Aterro do Maciço e Cut-Off:	717.241 m ³
Volume do Enrocamento:	37.099 m ³
Volume de Transições Finas:	17.500 m ³
Volume de Areia:	2.998 m ³
Volume de Transições Grossas:	32.807 m ³
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
5 - SANGRADOURO	
Tipo:	Canal
Largura:	60,00 m
Cota de Sangria:	131,00 m
Nível D'Água Max. Normal:	132,11 m
Extensão Total do Canal de Restituição:	480 m
Vazão Máxima Prevista:	147,0 m ³ /s
Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	1,11 m
Borda Livre:	1,89 m

Figura 3.3 - Curvas Cota x Área x Volume da Bacia Hidráulica da Barragem Frecheirinha – Alternativa 1

Cota (m)	Área (ha)	Volume (hm³)
107,0	-	-
108,0	0,536	0,003
109,0	1,155	0,011
110,0	5,194	0,043
111,0	8,424	0,111
112,0	18,618	0,246
113,0	37,608	0,527
114,0	63,891	1,035
115,0	89,253	1,801
116,0	120,473	2,849
117,0	156,016	4,232
118,0	194,933	5,986
119,0	234,302	8,133
120,0	309,193	10,850
121,0	355,168	14,172
122,0	394,369	17,919
123,0	448,692	22,135
124,0	516,515	26,961
125,0	580,425	32,446
126,0	660,436	38,650
127,0	725,851	45,581
128,0	823,881	53,330
129,0	903,362	61,966
130,0	1.018,610	71,576
131,0	1.101,546	82,177
132,0	1.248,117	93,925
133,0	1.361,456	106,973
134,0	1.498,665	121,274
135,0	1.631,253	136,923
136,0	1.766,142	153,910
137,0	1.879,906	172,140



3.3.4 - CUSTOS DAS OBRAS NA ALTERNATIVA 1

O **Quadro 3.2**, a seguir, traz o resumo do orçamento para a construção das obras da barragem Frecheirinha, na Alternativa 1. O custo total das obras é de R\$ 54,1 milhões.

Quadro 3.2 – Estimativa de Custos da Barragem – Alternativa 1

Descrição	Total (R\$)
Serviços Preliminares	720.027,31
Barragem Principal	33.024.830,00
Vertedouro	20.028.066,40
Diques	320.433,45
Total Geral	54.093.357,17

3.4 - ALTERNATIVA 2

3.4.1 - GEOLOGIA E GEOTECNIA DO EIXO NA ALTERNATIVA 2

Na Alternativa 2, o Eixo com extensão de 1.034,0m apresenta ocorrência de ardósias a baixa profundidade ou aflorante, em quase toda sua extensão. As aluviões variam desde areia fina até areia grossa, com pedregulhos e seixos, em sua maioria arenitos, ardósias e calcários, interdigitados com os colúvios. Ocorrem, também, depósitos coluviais compostos por silte pouco argiloso e argila siltosa, com profundidades variando até 5,45m.

Na Alternativa 2, a pesquisa geotécnica constou de cinco sondagens a percussão (SP) distribuídas ao longo de sua diretriz. Verificaram-se afloramentos de ardósias alternadas por solos rasos de alteração de ardósia, como na SP-10, compostos por argila vermelha, às vezes pouco siltosa. Quando aflorantes, as ardósias apresentam-se fraturadas com planos de clivagem ardosiana bem pronunciados, de direção predominante N30°E e ângulo de mergulho muito variável e sentido preferencial SE.

As fraturas se encontram predominantemente preenchidas por material siltoso, podendo ocorrer fraturas não seladas, às vezes oxidadas, indicando a percolação de água. O mesmo também pode ocorrer pelos planos de clivagem.

Nos trechos onde ocorrem os terraços de inundação, as aluviões são compostas por areia média a grossa, às vezes fina e siltosa ou com seixos polimíticos, com profundidade máxima de 5,30m como na SP-09, localizada a jusante do eixo, e

apresentam SPT variando de 9 a 15, demonstrando uma média resistência à compressão. Já os colúvios são formados por argila siltosa a pouco siltosa, às vezes com fragmentos rochosos, com profundidade máxima de 5,45m na SP-08, localizada entre as Est.31 e Est.32, a jusante do eixo, ou solo argilo arenoso com profundidade de 1,80m na SP-06, localizada a jusante do eixo e apresentam SPT variando de 17 a 60, explicitando alta resistência à compressão.

3.4.2 - TRAÇADO DA ADUTORA PARA FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 2

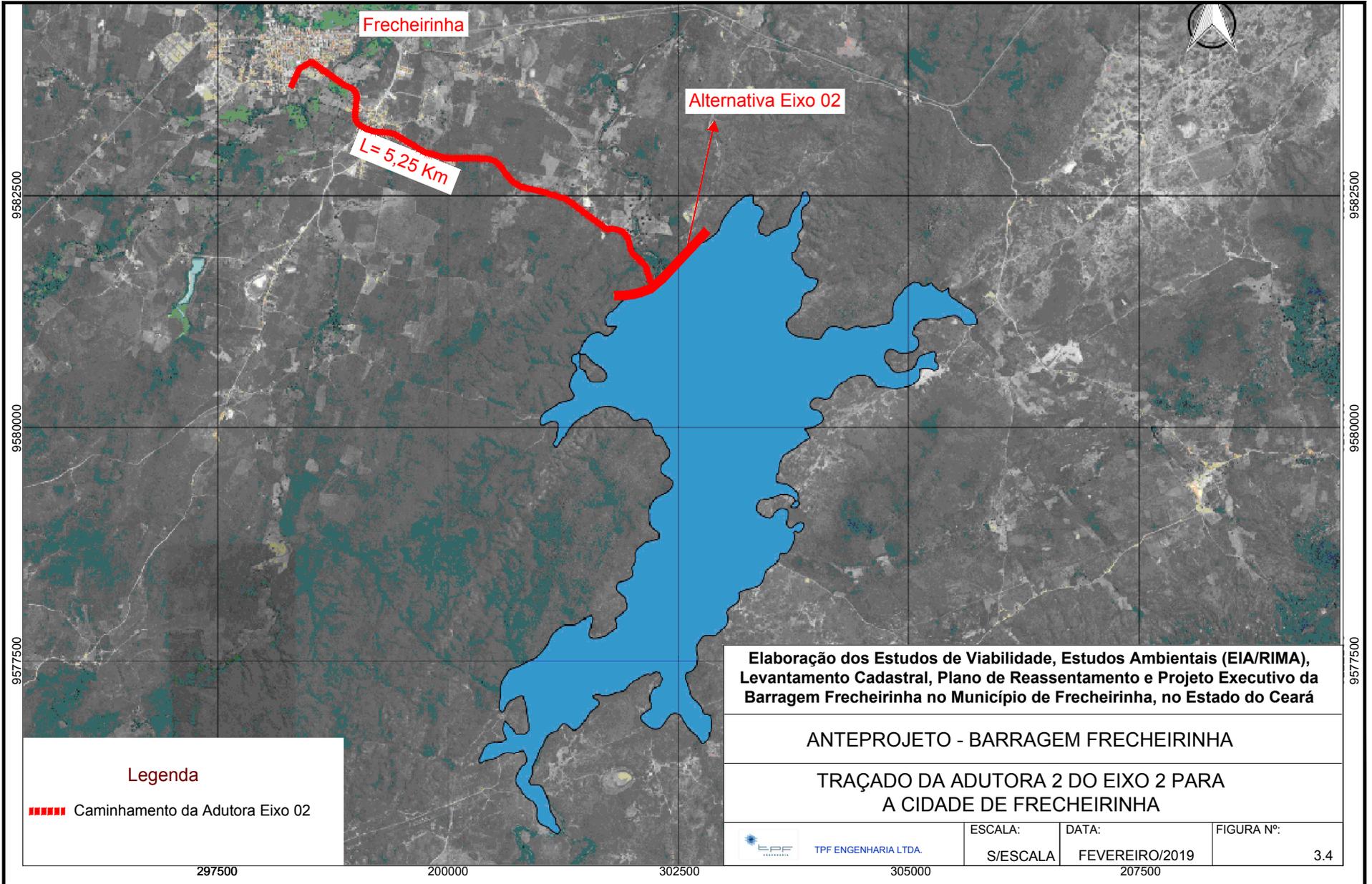
O traçado da adutora ligando a barragem à cidade de Frecheirinha, na Alternativa 2, está na **Figura 3.4**, a seguir. O comprimento da adutora, nesta alternativa, é de 5,25km, 0,48km a mais que a adutora na Alternativa 1.

3.4.3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA BARRAGEM NA ALTERNATIVA 2

O **Quadro 3.3**, a seguir, constitui a Ficha Técnica da barragem, na Alternativa 2, reunindo as informações sobre as obras e suas principais características. A **Figura 3.5**, a seguir, apresenta o quadro das cotas, áreas e volumes da barragem e as curvas correspondentes. Na cota 131m, a área da bacia hidráulica é de 1.025,77 hectares e o volume de acumulação do reservatório de 70,1559 hm³ de água.

Quadro 3.3 - Ficha Técnica da Barragem Frecheirinha na Alternativa 2

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - ALTERNATIVA 2	
1 - IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Frecheirinha
Eixo Alternativo:	Eixo 2
Município:	Frecheirinha
Sistema:	Rio Coreau
Rio/Riacho Barrado:	Riacho Caiçara
2 - BACIA HIDROGRAFICA	
Area:	196,7 km ²
Precipitação Média Anual:	1.149 mm
Evaporação Média Anual:	1.775 mm
RESERVATORIO	
Area da Bacia Hidráulica (cota 131,00 m):	1.026ha
Volume Acumulado (cota 131,00 m):	70,159 hm ³
Volume Afluente Médio Anual:	8,964 hm ³
m):	0,148 hm ³
Vazão Máxima Milenar Afluente:	908,82 m ³ /s
Vazão Máxima Decamilenar Afluente:	1.114,01 m ³ /s
4 - BARRAGEM	
Tipo:	Barragem Mista
Cota do Coroamento:	134
Largura do Coroamento:	7,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1034,00 m
Altura Máxima:	27,0 m
Volume de Escavação (Fundação):	60.769 m ³
Volume de Aterro do Maciço e Cut-Off:	890.757 m ³
Volume do Enrocamento:	64.689 m ³
Volume de Transições Finas:	21.904 m ³
Volume de Areia:	3.753 m ³
Volume de Transições Grossas:	41.064 m ³
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
5 - SANGRADOURO	
Tipo:	Canal
Largura:	60,00 m
Cota de Sangria:	131,00 m
Nível D'Água Max. Normal:	132,11 m
Extensão Total do Canal de Restituição:	453 m
Vazão Máxima Prevista:	147,0 m ³ /s
anos):	1,11 m
Borda Livre:	1,89 m



Frecheirinha

Alternativa Eixo 02

L = 5,25 Km



9582500
9580000
9577500

9582500
9580000
9577500

Legenda

■■■■■ Caminhamento da Adutora Eixo 02

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

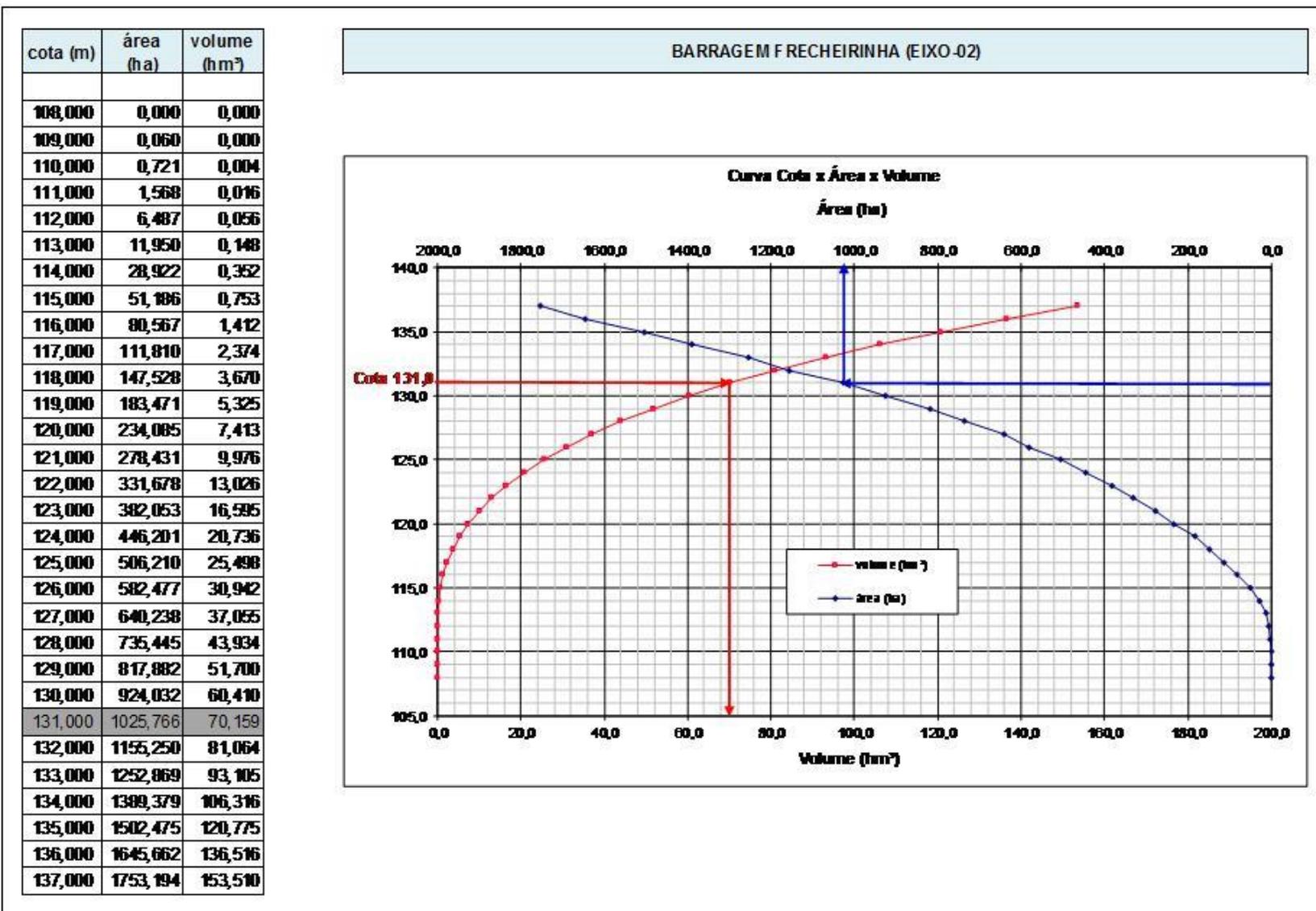
ANTEPROJETO - BARRAGEM FRECHEIRINHA

TRAÇADO DA ADUTORA 2 DO EIXO 2 PARA A CIDADE DE FRECHEIRINHA

 TPF ENGENHARIA LTDA.	ESCALA:	DATA:	FIGURA N°:
	S/ESCALA	FEVEREIRO/2019	3.4

297500 200000 302500 305000 207500

Figura 3.5 - Curvas Cota x Área x Volume da Bacia Hidráulica da Barragem Frecheirinha – Alternativa 2



3.4.4 - CUSTOS DAS OBRAS NA ALTERNATIVA 2

O **Quadro 3.4**, a seguir, traz o resumo do orçamento para a construção das obras da barragem Frecheirinha, na Alternativa 2. O custo total das obras é de R\$ 70,26 milhões.

Quadro 3.4 – Estimativa de Custos da Barragem – Alternativa 2

Descrição	Custos (R\$)
Serviços Preliminares	1.624.674,89
Barragem Principal	38.617.762,17
Vertedouro	29.785.662,38
Diques	232.739,48
Total	70.260.838,92

3.5 - ALTERNATIVA 3

3.5.1 - GEOLOGIA E GEOTECNIA DO EIXO NA ALTERNATIVA 3

Na Alternativa 3 o Eixo, com extensão de 1.160,0 m, apresenta as seguintes características geológicas: desenvolve-se, superficialmente, sobre ardósias, desde seu início até à Est.24+5,00.

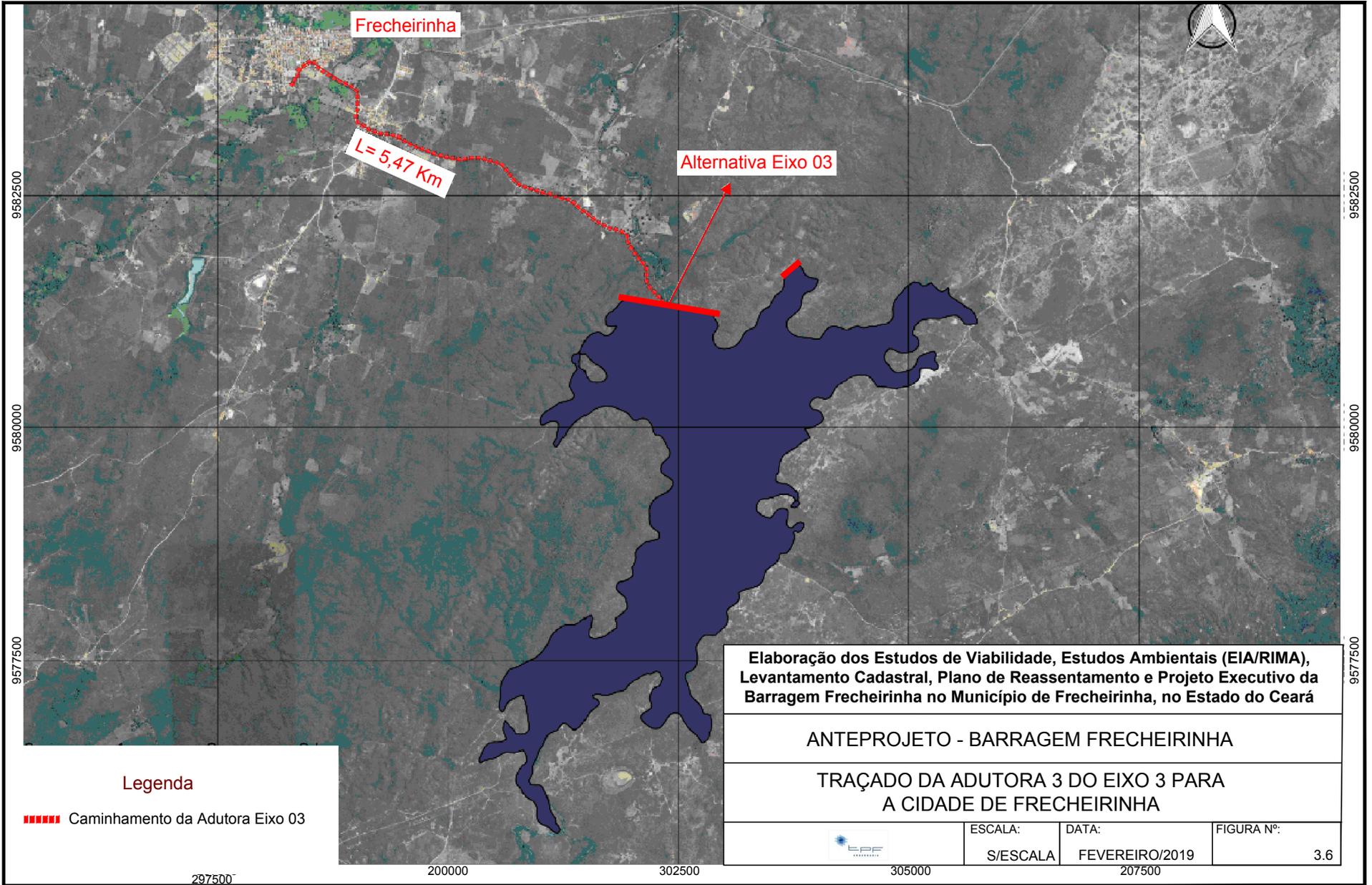
No Eixo 3, foram executadas seis sondagens a percussão, limitadas até ao impenetrável ao trépano de lavagem, tendo sido atingida a profundidade máxima de 6,50m, localizada na planície de inundação, na área das aluviões e colúvios. Complementando a investigação foram feitas duas sondagens a trado (TR-01 e TR-02), nas posições das estacas: Est.19+10,00 e Est.21+10,00 as quais atingiram respectivamente o topo das ardósias com as profundidades de 0,45m e 0,50m.

3.5.2 - TRAÇADO DA ADUTORA PARA FRECHEIRINHA NA ALTERNATIVA 3

O traçado da adutora da barragem para Frecheirinha está mostrado na **Figura 3.6**, a seguir. O comprimento da adutora, nesta Alternativa 3 pelo traçado feito, será de 5,47 km, 700m maior que a Alternativa1 e 220 m a mais que a Alternativa 2.

3.5.3 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EIXO NA ALTERNATIVA 3

O Eixo, na Alternativa 3, situa-se mais ao sul e distante 5,47 km da cidade de Frecheirinha. Apresenta-se a seguir, o **Quadro 3.5**, contendo a Ficha Técnica do Eixo, na Alternativa 3, e na **Figura 3.7**, as curvas Cota x Área x Volume da Bacia Hidráulica. Na cota 131m, a área da bacia hidráulica é de 894,52 hectares e o volume de acumulação máxima é de 60,5 hm³.



Legenda

----- Caminhamento da Adutora Eixo 03

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

ANTEPROJETO - BARRAGEM FRECHEIRINHA

TRAÇADO DA ADUTORA 3 DO EIXO 3 PARA A CIDADE DE FRECHEIRINHA



ESCALA:
S/ESCALA

DATA:
FEVEREIRO/2019

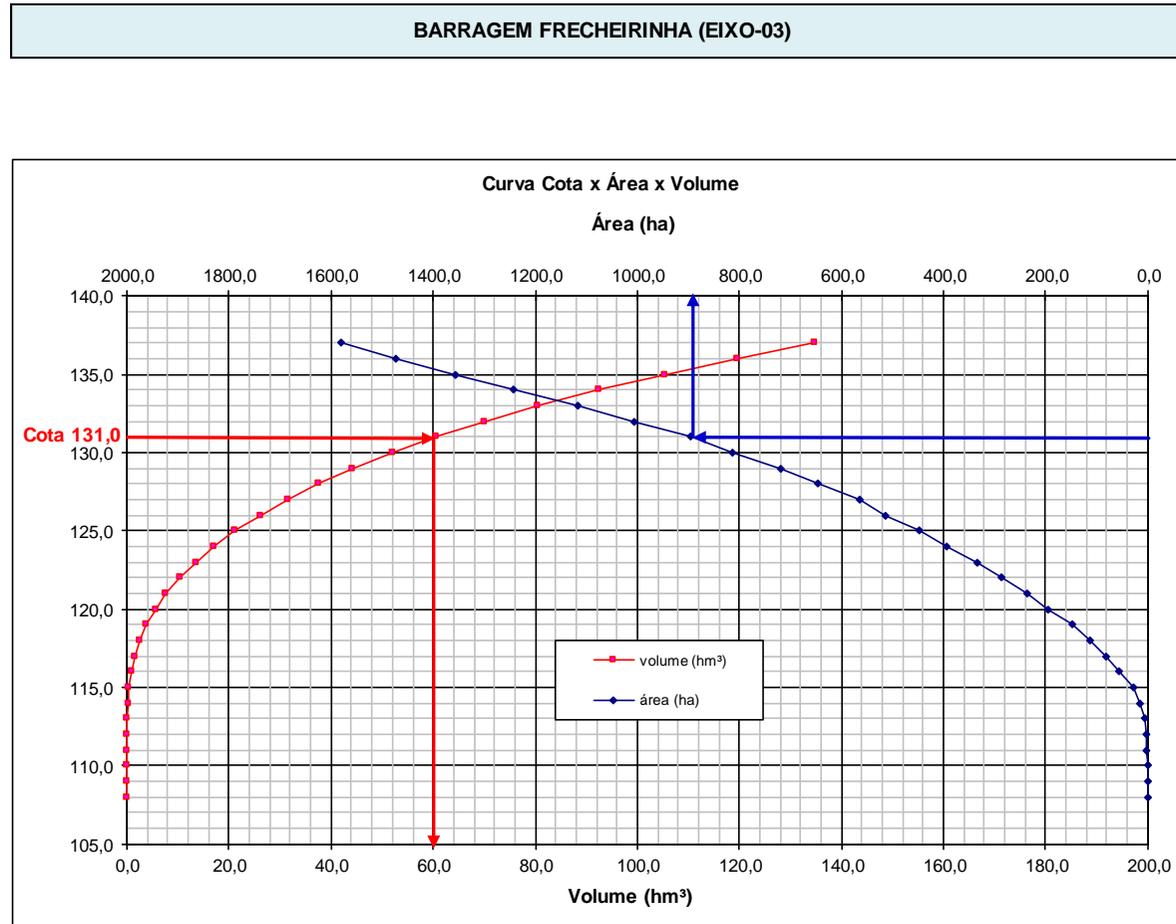
FIGURA N°:
3.6

Quadro 3.5 - Ficha Técnica da Barragem Frecheirinha na Alternativa 3

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA - ALTERNATIVA 3	
1 - IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Frecheirinha
Eixo Alternativo:	Eixo 3
Município:	Frecheirinha
Sistema:	Rio Coreau
Rio/Riacho Barrado:	Riacho Caiçara
2 - BACIA HIDROGRAFICA	
Área:	196,5 km ²
Precipitação Média Anual:	1.149 mm
Evaporação Média Anual:	1.775 mm
3 - CARACTERÍSTICA DO RESERVATORIO	
Área da Bacia Hidráulica (cota 131,00 m):	895 ha
Volume Acumulado (cota 131,00 m):	60,50 hm ³
Volume Afluente Médio Anual:	8,964 hm ³
m):	0,190 hm ³
Vazão Máxima Milenar Afluente:	908,82 m ³ /s
Vazão Máxima Decamlenar Afluente:	1.114,01 m ³ /s
4 - BARRAGEM	
Tipo:	Barragem Mista
Cota do Coroamento:	134
Largura do Coroamento:	7,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1.149,00 m
Altura Máxima:	27,0 m
Volume de Escavação (Fundação):	68.173 m ³
Volume de Aterro do Maciço e Cut-Off:	859.089 m ³
Volume do Enrocamento:	72.571 m ³
Volume de Transições Finas:	20.961 m ³
Volume de Areia:	3.591 m ³
Volume de Transições Grossas:	39.295 m ³
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
5 - SANGRADOURO	
Tipo:	Canal
Largura:	60,00 m
Cota de Sangria:	131,00 m
Nível D'Água Max. Normal:	132,11 m
Extensão Total do Canal de Restituição:	480 m
Vazão Máxima Prevista:	147,0 m ³ /s
Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	1,11 m
Borda Livre:	1,89 m

Figura 3.7- Curvas Cota x Área x Volume da Bacia Hidráulica da Barragem Frecheirinha – Alternativa 3

cota (m)	área (ha)	volume (hm³)
108,000	0,000	0,000
109,000	0,000	0,000
110,000	0,559	0,003
111,000	1,079	0,011
112,000	3,843	0,036
113,000	6,350	0,087
114,000	14,242	0,190
115,000	28,814	0,405
116,000	54,691	0,822
117,000	82,952	1,511
118,000	114,404	2,497
119,000	147,725	3,808
120,000	195,341	5,523
121,000	236,940	7,685
122,000	286,607	10,302
123,000	333,351	13,402
124,000	392,321	17,031
125,000	446,985	21,227
126,000	513,202	26,028
127,000	565,168	31,420
128,000	646,653	37,479
129,000	718,978	44,307
130,000	812,439	51,964
131,000	894,524	60,499
132,000	1005,216	69,998
133,000	1115,158	80,600
134,000	1241,558	92,383
135,000	1355,454	105,368
136,000	1472,515	119,508
137,000	1579,413	134,768



3.5.4 - CUSTOS DAS OBRAS NA ALTERNATIVA 3

O **Quadro 3.6**, a seguir, traz o resumo do orçamento para a construção das obras da barragem Frecheirinha, na Alternativa 3. O custo total das obras é de R\$ 76,30 milhões.

Quadro 3.6– Estimativa de Custos da Barragem na Alternativa 3

Descrição	Total
Serviços Preliminares	1.477.733,04
Barragem Principal	34.111.051,80
Vertedouro	38.198.826,90
Diques	2.518.645,06
Total	76.306.256,80

3.6 - CRITÉRIOS DE ESCOLHA DA ALTERNATIVA

Os critérios adotados para a escolha da melhor alternativa consistiram na análise das características comuns às três alternativas estudadas, a partir da análise dos fatores positivos e negativos.

3.6.1 - CRITÉRIOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA

Os critérios técnicos de engenharia para avaliação e comparação entre as alternativas apresentadas levam em conta os seguintes segmentos:

- Morfologia da bacia
- Topografia e Geologia;
- Recursos Hídricos;
- Fundações;
- Materiais de construção;
- Dados do reservatório;
- Dados do projeto.

3.6.2 - CRITÉRIOS SOCIOAMBIENTAIS

Essa análise abrangeu a ponderação de alguns fatores, de forma qualitativa, com a criação de pesos para cada condição dos eixos alternativos, para avaliação de cada fator, de forma a permitir a quantificação final, permitindo a escolha da melhor alternativa.

Fatores Positivos

- Proximidade do açude aos centros consumidores;
- A população a ser beneficiada pelo Açude;
- Facilidade de adução da água;
- Possibilidade do uso da água com irrigação de manchas de solos situadas a uma distância viável.

Fatores Negativos

- População atingida com a formação do lago;
- Quantidade de benfeitorias e de terrenos que serão indenizados;
- Infraestruturas públicas a serem realocadas;
- Qualidade dos terrenos a serem cobertos pelo reservatório.

3.6.3 - CRITÉRIOS SOCIOECONOMICOS

Fatores Positivos

- Menor custo do m³ da água acumulada;
- Possibilitar do uso da água com irrigação de áreas situadas a jusante do reservatório, com a possibilidade de perenização do rio, dando oportunidades aos moradores da região melhorar suas condições econômicas;
- Amenização dos efeitos devastadores das cheias do rio Coreaú, quando da quadra invernos, diminuindo os prejuízos causados por estas, e melhorando as condições socioeconômicas dos moradores das cidades a situadas a jusante da barragem.

Fatores Negativos

- Mau uso ou manejo errôneo no trato com agrotóxicos necessários as atividades de irrigação, ao longo do rio Coreaú, possibilitando a poluição do rio;
- Com a retenção das águas na barragem e a laminação das cheias, haverá a possibilidade de menor carreamento de nutrientes para a fertilização das aluviões do rio e das terras ribeirinhas.

3.7 - QUALIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ESCOLHA DAS ALTERNATIVAS

Com base nos critérios apresentam-se, a seguir, as principais justificativas da escolha da melhor alternativa.

3.7.1 - CRITÉRIOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA

3.7.1.1 - Topografia e Geologia

- a) Comparação morfológica dos boqueirões das alternativas nos seus aspectos de maior ou menor abertura (encaixamento), comprimento e ombreiras.

Os boqueirões dos eixos levantados têm características topográficas particularizadas, onde o Eixo na Alternativa 1 é o menos acidentado, desenvolvendo-se em sua maior extensão num platô que corresponde à planície de inundação, com ombreiras em encostas inclinadas. Já as superfícies dos terrenos atravessados pelos outros dois Eixos (Alternativas 2 e 3), são caracterizados por ombreiras acidentadas, principalmente do lado esquerdo, onde ocorre uma sucessão de morrotes nas respectivas diretrizes percorridas. Por este critério, a Alternativa 1 é a mais vantajosa.

- b) Comparação dos aspectos geológicos dos locais das alternativas.

Exceto no Eixo da Alternativa 1, onde, nas ombreiras afloram à superfície quartzitos e também blocos rolados de quartzito, compondo uma região de tálus, as condições geológicas dos locais a serem escolhidos para implantação do empreendimento são semelhantes às três opções em análise, principalmente em subsuperfície, onde ocorre um maciço ardoseano. Neste critério, há igualdade nas características técnicas.

- c) Comparação das seções geológicas e geotécnicas, mediante análises dos perfis de sondagens a percussão, realizadas nos sítios dos eixos das alternativas.

Na Alternativa 1, foram realizadas cinco sondagens a percussão (SP), até atingirem o impenetrável à lavagem. Para caracterizar o contato entre o solo e a rocha quartzítica, na ombreira direita, foi feita uma sondagem a pá e picareta. Na Alternativa 2, a pesquisa geotécnica constou de cinco sondagens a percussão (SP) distribuídas ao longo de sua diretriz. Na campanha geotécnica da Alternativa 3, foram feitas seis sondagens a percussão (SP) e duas sondagens a trado (TR).

Os resultados das investigações geotécnicas, que contribuíram para caracterização dos aspectos geológicos dos três eixos, estão apresentados no **Quadro 3.7**, a seguir, e explicitam a inexistência de diferenças marcantes que permitam uma hierarquização entre as três alternativas.

Quadro 3.7 – Comparação Geológica e Geotécnica das Alternativas

Alternativas	Ombreira Esquerda	Vale e Calha do Rio	Ombreira Direita
Alternativa 1	Presença de tálus, composto por blocos rolados de quartzito com veios de sílica, atingindo a profundidade máxima de 4,50m, onde inicia as ardósias	Afloram os colúvios e as aluviões com profundidades variando de 1,45m, no leito do rio, alcançando a profundidade máxima de 5,75m	Afloram blocos rolados de quartzito sobrepostos ao solo de alteração de ardósia, que sobrepoem as ardósias
Alternativa 2	As ardósias estão no máximo à profundidade de 1,05m ou muitas vezes afloram	As aluviões, variam desde areia fina até areia grossa, com pedregulhos e seixos, em sua maioria de arenitos, ardósias e calcários, se interdigitam com os colúvios, com profundidade máxima de 5,60m	Afloram ardósia em subsuperfície, exceto entre a Est. 45+5,00 e a Est. 47+10,00, onde afloram solos areno-argilosos no leito do Riacho da Favela
Alternativa 3	Afloram ardósias alternadas por solos rasos de alteração de ardósias, compostos por material argiloso, avermelhado, com profundidade máxima de 1,45m	Os sedimentos inconsolidados compostos por aluviões e colúvios, ocorrem superficialmente atingindo a profundidade máxima de 6,50m	Afloram ardósia e, seguindo o estaqueamento, superficialmente ocorre uma camada de areia fina à média, pouco siltosa, com pedregulhos de quartzito até a profundidade de 1,45m, onde se iniciam as ardósias

3.7.1.2 - Capacidade de Acumulação

- a) Áreas das bacias hidrográficas

Como os três eixos são próximos, as áreas das bacias hidrográficas, nas três alternativas, são também muito semelhantes. O **Quadro 3.8**, a seguir, apresenta as áreas das bacias hidrográficas, nas três alternativas, demonstrando que na Alternativa 1, a área é pouco maior que nas demais.

Quadro 3.8 – Comparação das Áreas das Bacias Hidrográficas nas Alternativas

Discriminação	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Área da bacia hidrográfica (km ²)	198,5	196,7	195,5
% em relação à maior área	100,00%	99,09%	98,49%

Neste aspecto, a Alternativa 1 é mais vantajosa, por ter maior bacia de contribuição.

b) Volumes de acumulação

Como pode ser observado no **Quadro 3.9**, a seguir, os volumes na Alternativa 1 são maiores em todos os níveis (cotas) de acumulação. A acumulação máxima, na Alternativa 1, é de 82,177 hm³; de 70,159 hm³, na Alternativa 2; e de 60,499hm³, na Alternativa 3. Por este critério a Alternativa 1 é a melhor. De outra parte, a capacidade de acumulação apresenta, considerada a mesma cota do vertedouro, correlação positiva com a capacidade de amortecimento de cheias.

Quadro 3.9 – Comparação dos Volumes Acumulados nas Alternativas

Cota de Acumulação (m)	Volume (hm ³)				
	Alternativa 1	Alternativa 2		Alternativa 3	
	volume Acumulado (hm ³)	volume Acumulado (hm ³)	% em Relação ao Eixo 1	volume Acumulado (hm ³)	% em Relação ao Eixo 1
	VOLUME MORTO				
118	5,986	3,670	61,31%	2,497	41,72%
119	8,133	5,325	65,48%	3,808	46,82%
120	10,850	7,413	68,32%	5,523	50,91%
121	14,172	9,976	70,39%	7,685	54,23%
122	17,919	13,026	72,69%	10,302	57,49%
123	22,135	16,595	74,97%	13,402	60,55%
124	26,961	20,736	76,91%	17,031	63,17%
125	32,446	25,498	78,59%	21,227	65,42%
126	38,650	30,942	80,06%	26,028	67,34%
127	45,581	37,055	81,29%	31,420	68,93%
128	53,330	43,934	82,38%	37,479	70,28%
129	61,966	51,700	83,43%	44,307	71,50%
130	71,576	60,410	84,40%	51,964	72,60%
131	82,177	70,159	85,38%	60,499	73,62%
132	COTA DE SANGRIA				

3.7.1.3 - Fundações

Quanto às fundações, nas três alternativas, as escavações serão realizadas até a ocorrência de ardósias. As profundidades máximas dos *cut-offs* serão de 5,75m na Alternativa 1, de 5,60m na Alternativa 2 e de 6,50m na Alternativa 3. Levando-se em conta esta variável, a Alternativa 2 é mais a mais vantajosa. No entanto, o *cut-off* na Alternativa 1 é o de menor extensão.

3.7.1.4 - Materiais de Construção

As necessidades de materiais para a construção do maciço da barragem principal, em cada uma das alternativas, são apresentadas no **Quadro 3.10**, a seguir. O maciço de menor volume e que, portanto, requer menores volumes de materiais é o da Alternativa 1.

Quadro 3.10 – Comparação dos Volumes de Aterros dos Maciços + Cut-Off dos Eixos

Descrição	Volumes Totais (m ³)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Barragem principal			
<i>Maciço + cut off</i>			
Escavação, carga, transporte e descarga de material em jazida para execução do maciço - DMT até 4,0km	823.813	963.246	845.996
Compactação de aterro para execução do maciço	686.511	802.705	709.059

3.7.1.5 - Características Técnicas das Obras nas Três Alternativas

O **Quadro 3.11**, elaborado a partir das fichas técnicas, reúne as principais características técnicas das obras nas três Alternativas. A Alternativa 1 é a melhor alternativa na maioria das características técnicas, que estão achuradas em verde no **Quadro 3.13**.

Quadro 3.11 – Comparação entre as Fichas Técnicas das Alternativas

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Melhor Alternativa
1 - BARRAGEM				
Cota do Coroamento:	134	134	134	-
Largura do Coroamento:	7,0 m	7,0 m	7,0 m	-
Extensão pelo Coroamento:	593,00 m	1.034,00 m	1.160,00 m	Alternativa 1
Altura Máxima:	27,0 m	27,0 m	27,0 m	-
Volume de Escavação	34.851 m ³	60.769 m ³	68.173 m ³	Alternativa 1
Volume de Aterro do Maciço e	717.241 m ³	890.757 m ³	859.089 m ³	Alternativa 1
Volume do Enrocamento:	37.099 m ³	64.689 m ³	72.571 m ³	Alternativa 1
Volume de Transições Finas:	17.500 m ³	21.904 m ³	20.961 m ³	Alternativa 1
Volume de Areia :	2.998 m ³	3.753 m ³	3.591 m ³	Alternativa 1
Volume de Transições Grossas:	32.807 m ³	41.064 m ³	39.295 m ³	Alternativa 1
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)	1,0 (V) : 2,5 (H)	1,0 (V) : 2,5 (H)	-
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,0 (H)	1,0 (V) : 2,0 (H)	1,0 (V) : 2,0 (H)	-
2 - SANGRADOURO				
Largura:	60,00 m	60,00 m	60,00 m	-
Cota de Sangria:	131,00m	131,00m	131,00m	-
Nível D'Água Max. Normal:	132,11 m	132,11 m	132,11 m	-
Vazão Máxima Prevista	147,0 m ³ /s	147,0 m ³ /s	147,0 m ³ /s	-
Lâmina Máxima Prevista (10.000	1,11 m	1,11 m	1,11 m	-
Borda Livre:	1,89 m	1,89 m	1,89 m	-
Extensão Total do Sangradouro:	480,00 m	452,54 m	450,58 m	Alternativa 3
Extensão do Canal de	256,26 m	52,54 m	50,58 m	Alternativa 3
Extensão do Rápido	175,00 m	200,00 m	270,00 m	Alternativa 1
Extensão da Bacia de Dissipação	30,00 m	30,00 m	30,00 m	SEM EFEITO
Extensão do Canal de	18,74 m	170,00 m	100,00 m	Alternativa 1
3 - TOMADA D'ÁGUA				
Extensão Total :	123,90 m	174,60 m	174,80 m	Alternativa 1
Cota do Eixo:	112,00 m	113,00 m	114,00 m	Alternativa 1
Cota da Geratriz Inferior:	111,75 m	112,75 m	113,75 m	Alternativa 1
Diâmetro	500 mm	500 mm	500 mm	SEM EFEITO
Volume Morto (m ³)	246.185,71	148.108,20	189.511,70	Alternativa 1
Volume Util (m ³)	81.930.587,30	70.010.735,75	60.309.556,48	Alternativa 1
4 - DIQUES DE FECHAMENTO				
Número de Diques:	3	1	1	Alternativa 2
Diques:	1, 2 e 3	1	4	Alternativa 2
Extensão Total :	548,97 m	228,97 m	376,00 m	Alternativa 2
Volume de Escavação (Jazida):	8.318,02 m ³	6.041,97 m ³	65.573,28 m ³	Alternativa 2

3.7.1.6 - Extensão da Adutora para Abastecimento de Frecheirinha.

O **Quadro 3.12**, a seguir, traz a extensão, em quilômetros, da adutora ligando os eixos das barragens, em cada Alternativa, à cidade de Frecheirinha. A extensão da adutora, na Alternativa 1, é a menor dentre as três, sendo, portanto, a mais vantajosa, pelo menor custo das obras.

Quadro 3.12 – Extensão da Adutora nas três Alternativas

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Extensão da Adutora (km)	4,77	5,25	5,47

3.7.1.7 - Custo das Obras e do m³ da Água Acumulada

O **Quadro 3.13**, a seguir, apresenta um resumo dos custos das obras, nas três alternativas, incluindo serviços preliminares, barragem principal, vertedouro e barragens auxiliares. Observa-se que o custo das obras da Alternativa 1 é menor (R\$54.093.357,17) se comparado com Alternativa 2 (R\$ 70.260.838,92) e com Alternativa 3 (R\$76.306.256,80).

Quanto ao custo por metro cúbico de água armazenada, na cota 131m, o valor na Alternativa 1 é de R\$ 0,66/m³ de água, enquanto que na Alternativa 2 é de R\$ 1,00/m³ e na Alternativa 3 é de R\$ 1,26/m³.

A conclusão da análise dos custos é que a Alternativa 1 é mais vantajosa, por apresentar menor custo total das obras e menor custo unitário do m³ de água acumulada.

Quadro 3.13– Comparação dos Custos das Obras e do m³ de Água

Item	Descrição	Custos das Obras (R\$)		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	SERVIÇOS PRELIMINARES	720.027,31	1.624.674,89	1.477.733,04
1.1	LIMPEZA DA BARRAGEM E VERTEDOURO	29.945,34	41.324,60	44.559,47
1.2	EXPURGOS	690.081,97	1.583.350,29	1.433.173,57
2	BARRAGEM PRINCIPAL	33.024.830,01	38.617.762,17	34.111.051,80
2.1	CUT OFF	1.889.149,56	1.810.821,62	1.174.282,76
2.2	MACIÇO	24.248.005,02	28.661.584,09	25.648.512,39
2.3	FILTRO VERTICAL, TAPETE E TRANSIÇÃO	677.795,23	801.166,20	716.943,07
2.4	ROCK-FILL E RIP-RAP	4.618.282,86	5.460.899,42	4.886.369,15
2.5	TALUDE DE JUSANTE	1.591.597,34	1.883.290,84	1.684.944,43
3	VERTEDOURO	20.028.066,40	29.785.662,38	38.198.826,90
3.1	MUROS, CREAGER E LAJE	13.702.277,93	19.857.688,81	25.195.817,27
3.2	CHUMBADORES	6.325.788,47	9.927.973,57	13.003.009,63
4	DIQUES	320.433,45	232.739,48	2.518.645,06
4.1	MACIÇO	259.663,15	188.611,96	2.046.997,42
4.2	TALUDE DE MONTANTE	30.385,15	22.063,76	235.823,82
4.3	TALUDE DE JUSANTE	30.385,15	22.063,76	235.823,82
Custo Total (R\$)		54.093.357,17	70.260.838,92	76.306.256,80
Acumulação Máxima em hm³		82,177	70,159	60,499
Custo do m³ da água armazenada (R\$/m³)		0,66	1,00	1,26

3.7.2 - CRITÉRIOS SÓCIO-ECONÔMICOS

3.7.2.1 - Fatores Positivos

a) Proximidade do principal centro consumidor

O principal centro consumidor é a sede do município de Frecheirinha, que terá abastecimento de água tratada, com nível adequado de garantia, condição básica para a melhor qualidade de vida de sua população. Esse fator tem a mesma relevância para qualquer das alternativas estudadas. No entanto, na Alternativa 1, o eixo da barragem é mais próximo da cidade, tornando menor a extensão da adutora.

b) População a ser beneficiada

O lago da barragem banha áreas dos municípios de Frecheirinha, Ubajara e Coreaú. No entanto, a população da sede do município de Frecheirinha será diretamente beneficiada, pois as sedes dos outros municípios situam-se mais distantes. Tendo em vista que a distância entre os três eixos estudados é pequena, a população beneficiada será a mesma, qualquer que seja o eixo barrável escolhido. Como o volume de acumulação de água é maior, na Alternativa 1, em todas as graduações de cotas, essa alternativa é a melhor.

c) Facilidade de adução de água para Frecheirinha

Devido à proximidade entre os eixos estudados nas três alternativas, os caminhamentos das adutoras para abastecer d'água à área urbana de Frecheirinha serão, em grande parte, comuns, variando muito pouco nas extensões. As extensões das adutoras partindo dos três eixos serão: para a Alternativa 1 = 4,77 km; para a Alternativa 2= 5,25 km e para a Alternativa 3= 5,47 km. A maior proximidade do Eixo com a cidade de Frecheirinha diminuindo o comprimento de adução de água acrescenta mais um ponto na viabilidade da Alternativa 1.

d) Possibilidade de uso da água para irrigação

O açude Frecheirinha tem por finalidade o uso múltiplo de seus recursos hídricos, com prioridade para o abastecimento humano, a dessedentação animal, a piscicultura e secundariamente, a irrigação. A maior acumulação de água, na Alternativa 1, com volume útil de 82,17hm³, superior ao das outras duas alternativas, confere vantagem à Alternativa 1.

3.7.2.2 - Fatores Negativos

a) População atingida com a formação do lago

Na área a ser inundada pelo lago, existem cinquenta casas, que serão atingidas pela construção do empreendimento, independentemente do eixo escolhido. A população residente na bacia hidráulica deverá ser indenizada e realocada, qualquer que seja o boqueirão escolhido. Este fator, portanto, é igualmente negativo para as três alternativas.

b) Benfeitorias e terras a serem indenizadas

As áreas a serem inundadas, nas três alternativas, estão apresentadas no **Quadro 3.14**, a seguir. A área inundada, na Alternativa 3, é menor, conferindo vantagem a esta alternativa.

Quadro 3.14 – Área Inundada nas três Alternativas

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Área Inundada (ha)	1.102	1.026	895

c) Infraestruturas públicas a serem realocadas

Em qualquer das alternativas, há a necessidade de realocação de cerca de 25,0km de estradas vicinais em leito natural e 17,0 km de linhas elétricas, como também um poço tubular e um chafariz que beneficiam os moradores da localidade de Várzea.

d) Qualidade das terras a serem cobertas pelas águas do açude

As áreas de terras agricultáveis a serem inundadas, nas três alternativas, estão discriminadas no **Quadro 3.15**, a seguir. A menor área de terras agricultáveis a serem inundadas está na Alternativa 3.

Quadro 3.15 – Áreas de Terras Agricultáveis Inundadas pelas Três Alternativas

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Terras agricultáveis inundadas (ha)	630	550	490

3.7.2.3 - Ponderação dos fatores positivos e negativos

A análise abrangeu a ponderação qualitativa dos fatores positivos e negativos, com a adoção de pesos proporcionais para cada condição das alternativas, de forma a indicar a seleção da melhor. Para os fatores sócio-econômicos, foram adotados pesos que estão dispostos no **Quadro 3.16**, a seguir.

Quadro 3.16 - Ponderação das Situações dos Fatores Sócioeconômicos

Positivo		Negativo	
Situação do Fator	Peso	Situação do Fator	Peso
Excelente	+4	Péssimo	-4
Boa	+3	Muito ruim	-3
Regular	+2	Ruim	-2
Ruim	+1	Pouco ruim	-1

O resultado da ponderação entre fatores positivos e negativos, exposto no **Quadro 3.17**, a seguir, indica que a Alternativa 1 é a melhor. Esta ponderação, associada a um custo de implantação menor, e a uma melhor relação entre custo da obra e o volume d'água represado, tornam a Alternativa 1, claramente, mais vantajosa que as demais e, portanto, foi selecionada para o desenvolvimento do Anteprojeto e do Projeto Executivo.

Quadro 3.17 – Ponderação dos Fatores Sócioeconômicos

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1 - Fatores Positivos			
Proximidade do centro consumidor	3	2	2
População beneficiada	3	2	2
Facilidades de adução	3	2	1
Possibilidade de irrigação	2	2	2
Morfologia do boqueirão	3	2	2
Escore Positivo Total	14	10	9
2 - Fatores Negativos			
População atingida com a formação do lago	-1	-1	-1
Benfeitorias e de terras a serem indenizadas	-3	-2	-1
Infraestruturas a serem realocadas	-1	-1	-1
Qualidade das terras a serem cobertas	-3	-2	-1
Custo das obras	-1	-2	-3
Escore Negativo Total	-9	-8	-7
Escore Total	5	2	2

3.7.3 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A avaliação ambiental elaborada para as três alternativas propostas para a barragem Frecheirinha indica pontuações semelhantes para os quatro critérios estabelecidos. O **Quadro 3.18**, a seguir, apresenta a consolidação da pontuação atribuída às três alternativas, sob o ponto de vista ambiental.

Esta situação deve-se ao fato de que os eixos barráveis estudados, nas alternativas, estão posicionados em série ao longo do rio Caiçara, além de estarem bastante próximos entre si, o que resulta em impactos ambientais semelhantes, com variações pouco significativas em suas intensidades.

Pode-se afirmar, em conclusão, que o componente ambiental não se constitui fator relevante na seleção da melhor alternativa de barramento para a Barragem Frecheirinha, tendo os critérios técnicos e econômico-financeiros prevalecido no processo seletivo.

Quadro 3.18 – Consolidação da Avaliação Ambiental para as Alternativas

Descrição	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Danos à Flora e Fauna	2	3	3
Submersão de Solos Agricultáveis	5	5	5
População desalojada	5	5	5
Áreas Minerárias Requeridas	2	2	2

3.8 - ALTERNATIVA SELECIONADA

A **Alternativa 1** da barragem Frecheirinha mostrou-se ser a mais vantajosa, na avaliação da grande maioria dos critérios estabelecidos no Estudo de Alternativas. Esta decisão está lastreada pelos estudos hidrológicos, cartográficos, na morfologia dos boqueirões, na topografia das bacias e nas investigações geológicas e geotécnicas realizadas em campo e nos ensaios de laboratório, nos estudos socioeconômicos e ambientais.

4 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO DA BARRAGEM

4 - MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO DA BARRAGEM

4.1 - ARRANJO GERAL DAS OBRAS

O arranjo geral das obras é composto por uma barragem de terra homogênea (maciço principal), três pequenos diques de terra de fechamento da bacia hidráulica (pontos de fuga), um vertedouro escavado na ombreira direita, com soleira tipo *creager* e canal de restituição revestido de concreto e uma tomada de água com galeria envelopada na ombreira direita (estaca 29+0,00), conforme mostram a **Figura 4.1**, a seguir.

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

- Barragem Principal;
- Vertedouro;
- Barragens auxiliares (diques);
- Tomada D'Água.

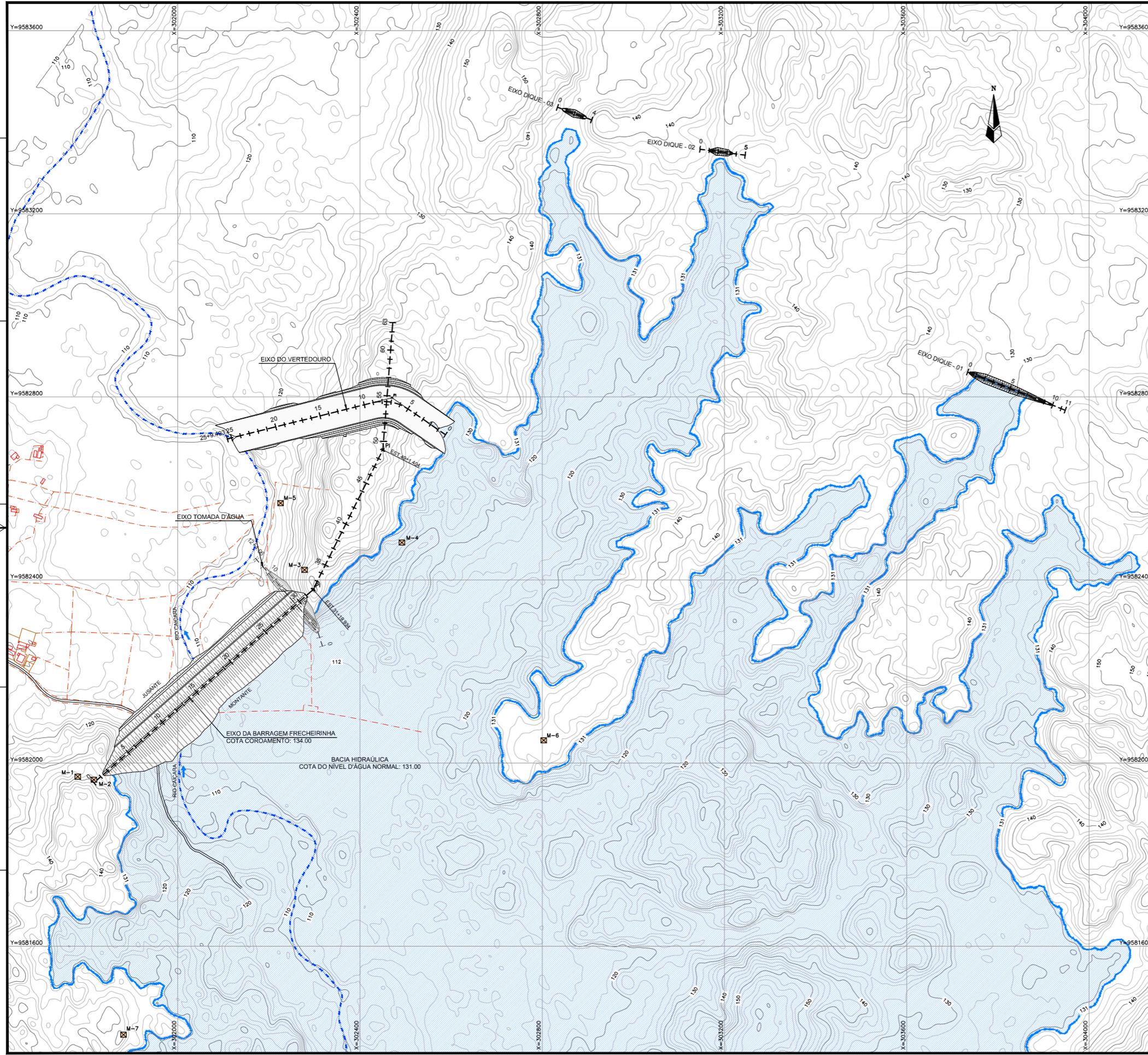
4.2 - BARRAGEM PRINCIPAL

A barragem principal constitui-se de uma seção mista, com o maciço de montante constituído integralmente por solos das jazidas (estudadas que foram classificados como SC, areia argilosa e/ou SM, areia siltosa), encostado a um filtro chaminé vertical, e ao maciço de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de ardósia coerente a muito coerente, resultante dos produtos das escavações previstas para a construção do sangradouro.

A Seção Tipo, no local de maior altura da barragem, está apresentada na **Figura 4.2**, a seguir.

O maciço da barragem será construído entre as estacas 1+7,50 a 31+0,50, com a crista do coroamento na cota 134,00 m, largura do coroamento igual a 7,00 m e altura máxima de 30,00 m.

O maciço da barragem de terra homogênea será executado com solos das jazidas J-08, J-09, J-10, J-03, J-02 e J-04, nessa sequência de utilização de material devido à distância média ao eixo da barragem.



- LEGENDA:**
- EIXOS
 - RIO
 - - - CERCA
 - CURVAS DE NÍVEIS
 - BACIA HIDRÁULICA BARRAGEM FRECHEIRINHA (COTA 131.00)
 - ⊠ M-1 MARCO TOPOGRÁFICO

QUADRO DE LOCAÇÃO DOS MARCOS

MARCO	ESTACA	COORDENADAS UTM (m)	
		ESTE	NORTE
M-1	-	301780.600	9581970.360
M-2	0+4,650	301816.140	9581963.670
M-3	-	302278.550	9582422.080
M-4	0+0,000	302492.080	9582481.900
M-5	14+0,000	302225.800	9582049.910
M-6	-	302803.240	9582099.700
M-7	-	301881.020	9581406.780

Nº	REVISÃO	DATA	PROJETADO	DESENHADO
01	REVISÃO GERAL	01/26/08/20	Nelso Ricardo	Jodyson Luiz
00	EMISSÃO INICIAL	00/15/06/20	Nelso Ricardo	Jodyson Luiz



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

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FRECHEIRINHA ARRANJO GERAL DAS OBRAS

CONTRATO:	03/SRH/CE/2017	ESCALA:	1:4.000	DESENHISTA:	Jodyson Luiz
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:		DATA:	Agosto/2020	FIGURA:	4.1
		ARQUIVO:		FRANCHA:	0101



Estes solos provenientes das jazidas serão aplicados na parte da seção a montante do filtro vertical, e totalmente no *cut-off*; já a parte da seção a jusante do filtro vertical será executada prioritariamente com material oriundo das escavações obrigatórias do vertedouro.

A trincheira de vedação (*cut-off*) será executada abaixo da linha das escavações obrigatórias, nos locais e nas profundidades mostradas nas seções transversais da barragem e no perfil geológico do eixo barrável. A largura do *cut-off* foi definida com base nos estudos desenvolvidos pelo *U.S. Bureau of Reclamation*

A escavação obrigatória tem a finalidade de garantir que os espaldares fiquem assentes em solo com SPT>10 golpes/30cm, para a zona com altura superior a 20,00m, e SPT>7 golpes/30cm, para as demais zonas da barragem. Tomou-se o cuidado de garantir que a base do *cut-off* penetre pelo menos 50cm dentro do solo residual ou da rocha decomposta.

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

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

Em seguida, serão executados os furos secundários espaçados a cada 6,0 m e, na sequência, serão injetados os furos terciários, espaçados a cada 3,00 m, que serão executados com equipamento roto-percussor com *rock-drill* de diâmetro de 76,2 mm. No caso se qualquer um dos furos terciários apresentar um consumo de calda superior a 20 kg/m de cimento, serão executados dois furos de ordem superior ao lado deste a meia distância entre os furos adjacentes e assim sucessivamente.

Para a seção da barragem, o talude de montante terá inclinação de 1,0 (V): 2,5 (H) e o talude de jusante 1,0 (V): 2,0 (H). O talude de montante será protegido da ação da energia das ondas do reservatório com a construção de um *Rip-Rap* formado por uma tpfe.com.br

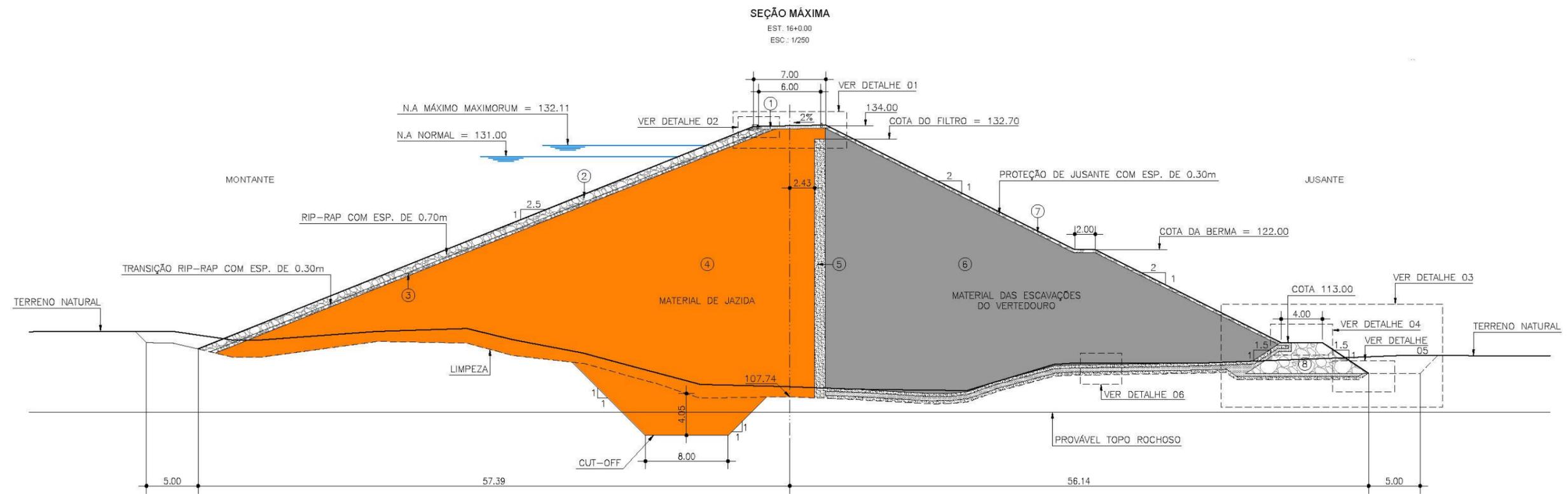
camada de 0,70 m de espessura, com blocos de rocha sã da pedreira P-01, assentes sobre uma camada de transição com 0,30 m de espessura, formada por produtos de britagem.

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

Para o sistema de drenagem interna do maciço da barragem, foram previstos um filtro vertical e um tapete drenante, complementado por uma trincheira drenante. O filtro vertical tipo chaminé terá 1,00 m de espessura e será executado com areia dos areais A-01 a A-04 e ficará com o topo na cota 132,70 m, 1,70 m acima da cota da soleira.

O filtro horizontal (dreno tipo sanduíche), com espessura total de 1,00m, consiste na superposição de três camadas drenantes compostas por duas camadas (inferior e superior) de areia grossa, extraída dos areais A-01 a A-04, com espessura de 0,30m cada, e por uma camada intermediária de brita com espessura de 0,40m com as mesmas características granulométricas da brita da transição do enrocamento de pé.

Figura 4.2 - Seção tipo da Barragem Principal do Açude Frecheirinha



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

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

4.3 - VERTEDOURO

O vertedouro da barragem Frecheirinha foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos e nas condições geotécnicas do subsolo do local, estando localizado a 470m da ombreira direita da barragem. O eixo longitudinal do vertedouro tem extensão de 479,75m, e foi materializado em campo com estaqueamento de 20 em 20 metros.

A obra do vertedouro é sequenciada da seguinte forma: inicia com o canal de aproximação que possui 256,26m de comprimento; em seguida vem a obra do *creager* com 13,78m; na sequência vem o canal rápido com 138,10m de extensão; seguido da bacia de dissipação com comprimento de 53,76m; e, finalmente, o trecho de desagüe no canal de restituição com 17,85m de comprimento.

O canal de aproximação do vertedouro será escavado na cota 129,00m, com largura de base de 60,00m. Já os muros laterais verticais que confinam o *creager* terá cota de topo igual a 134,00 m (mesma cota do coroamento da barragem) A soleira do *creager*, que define a cota de sangria da barragem tem crista na cota 131,0m. O canal de restituição preserva a mesma largura de 60m, e possui laje de fundo em concreto armado no canal rápido e bacia de dissipação. O canal final que conduz a água do vertedouro até o riacho Caiçara será escavado no solo sem revestimento. **(Figuras 4.3 e 4.4)**

Figura 4.3 – Planta Baixa do Vertedouro

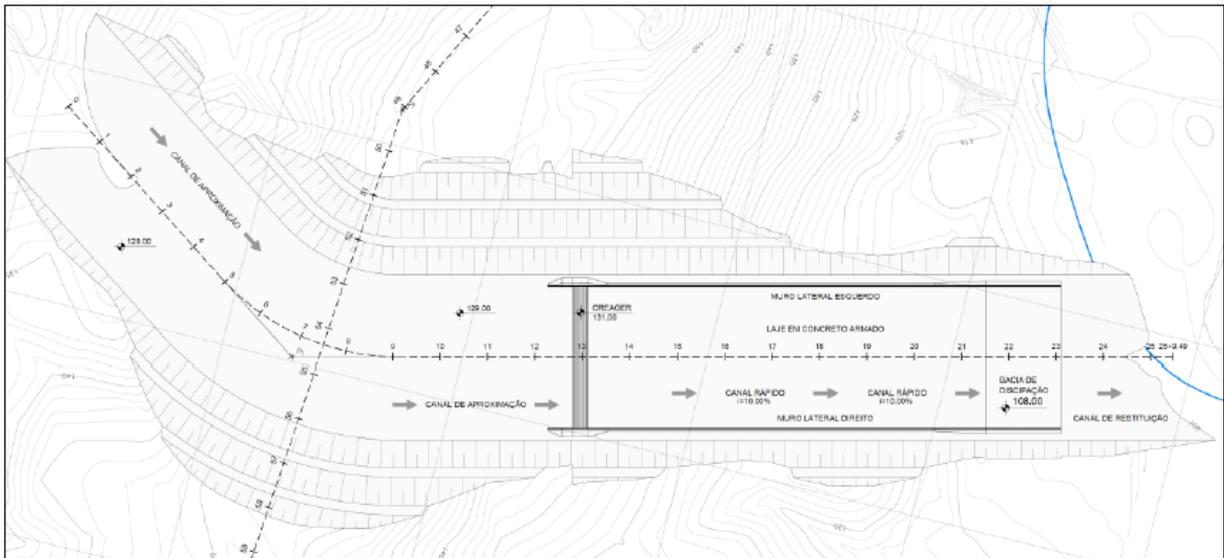
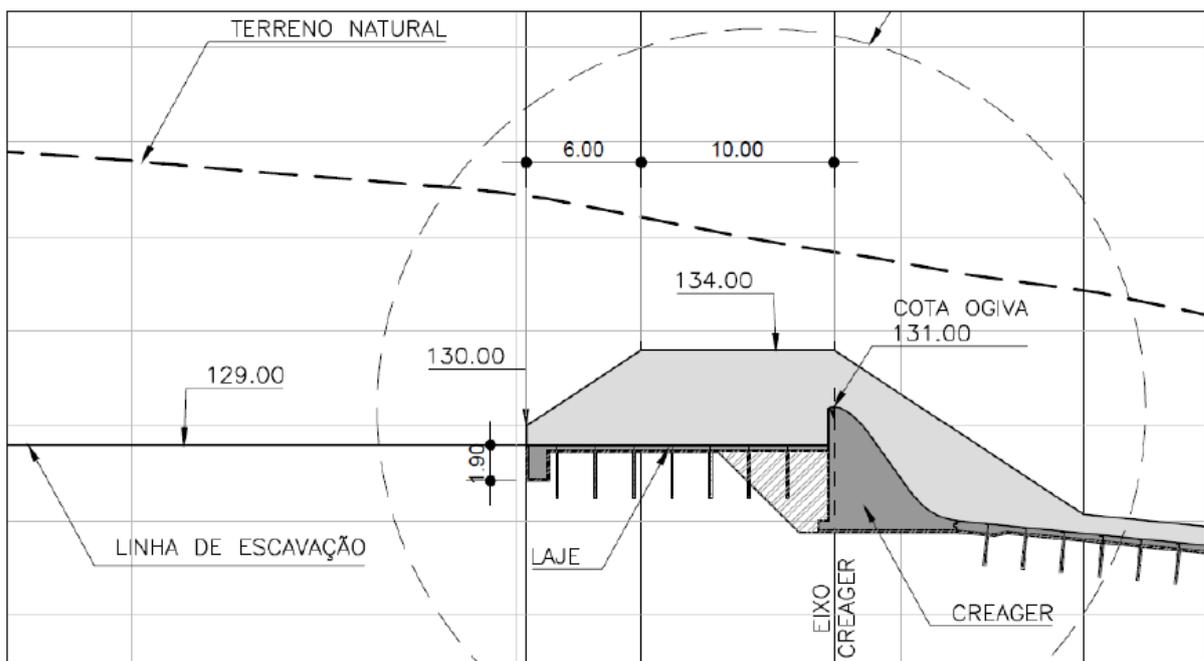


Figura 4.4 – Corte Longitudinal do Vertedouro e Detalhe do Perfil Creager



4.4 - DIQUES

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

Os três diques têm as seguintes características topográficas:

- Dique 1: Inicia na estaca E0+0,00m, materializado com marco M1 (9.582.854,43N e 303.733,59E e Z=135,97m) seguindo em linha reta até à estaca E11+8,97m, onde foi implantado M2 (9.582.771,41N e 303.947,15E, e Z=136,38), totalizando 228,97m e o comprimento do dique igual a 192,10m.
- Dique 2: Inicia na estaca E0+0,00m, materializado com marco M1 (9.583.341,11N e 303.146,28E e Z=138,51m) seguindo em linha reta até à estaca E12+0,00m, onde foi implantado M2 (9.583.310,18N e 303.384,34E, e Z=138,95), totalizando 240,00m e o comprimento do dique igual a 50,38m.
- Dique 3: Inicia na estaca E0+0,00m, materializado com marco M1 (9.583.432,69N e 302.833,30E e Z=138,84m) seguindo em linha reta até à estaca E4+0,00m, onde foi implantado M2 (9.583.405,06N e 302.908,25E, e Z=140,14), totalizando 80,00m e o comprimento do dique igual a 54,80m.

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

Para a seção dos diques os taludes de montante e jusante são iguais a 1,0 (V): 2,0 (H). O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um *Rip-Rap* formado por uma camada de 0,50 m de espessura, de blocos de rocha sã da pedreira P-01.

O talude de jusante será protegido por uma camada de 0,30 m de espessura de material britado (bica corrida), em toda sua extensão.

4.5 - TOMADA D'ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS

A tomada d'água será implantada na estaca 29+0,00m do maciço principal pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 120,00m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro $\varnothing=500\text{mm}$ em aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 112,00m. O corpo do tubo será envelopado por concreto estrutural.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto armado, com grade de barra de ferro chato de malha #100mm x 100mm. No lado de jusante, será construída uma caixa de concreto armado com três células para abrigo dos equipamentos hidromecânicos, dissipação da energia cinética e

posicionamento de um tanque tranquilizador com uma saída que dispõe de vertedouro triangular isósceles que permite, pela sua equação, que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

A barragem será operada entre os níveis de cota 131,00 m e 112,00 m, onde os volumes são de 82,177hm³ que corresponde a 100,0% de capacidade e 0,246 hm³ (volume morto) que corresponde a 0,3% da capacidade.

4.6 - INTERFERÊNCIAS COM INFRAESTRUTURAS EXISTENTES

As únicas interferências com infraestruturas existentes na bacia hidráulica da barragem Frecheirinha são duas redes de transmissão de energia elétrica da CHESF – LT 500KV que liga a hidrelétrica de Tucuruí ao Ceará, no trecho de Teresina/PI a Sobral/CE. As características topográficas do traçado foram identificadas e cadastradas para avaliar se as fundações das bases destas torres situam-se em cotas inferiores aos níveis operacionais do reservatório. Diante da análise das cotas das bases e os níveis operacionais (NA decamilenar), verificou-se que nenhuma torre será atingida.

4.7 - CUSTOS DAS OBRAS

O **Quadro 4.1**, a seguir, traz o resumo das estimativas dos custos de implantação das obras da barragem Frecheirinha, discriminadas em serviços preliminares, barragem principal, vertedouro e diques auxiliares.

Quadro 4.1 – Custos das Obras da Barragem Frecheirinha

ESTIMATIVA DE CUSTO – Barragem Frecheirinha						
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO R\$	
					UNITÁRIO	TOTAL
01.000.00		SERVIÇOS PRELIMINARES				720.027,31
01.01.00		LIMPEZA DA BARRAGEM E VERTEDOURO				29.945,30
01.01.01	C3161	Desmatamento, destocamento de árvore e limpeza da área da barragem, vertedouros e diques	m ²	105.548,36	0,28	29.945,34
01.02.00		EXPURGOS				690.081,97
01.02.01	C321	Expurgo da barragem, vertedouros e diques	m ³	185.803,19	3,71	690.081,97
02.000.00		BARRAGEM PRINCIPAL				33.024.830,00
02.01.00		CUT OFF				1.889.149,56
02.01.01	C3180	Escavação, carga, transporte e descarga de material 1ª cat. 401<DMT<=600m, da fundação e remoção superficial, para bota fora	m ³	39.212,76	10,72	420.226,52
02.01.02	C3168	Escavação, carga, transporte e descarga de material jazida para execução da fundação (cut off) - DMT até 4,0 km	m ³	47.055,31	18,25	858.657,80
02.01.03	C3146	Compactação de aterro para execução do cut off	m ³	39.212,76	3,71	145.638,07
02.01.04	C3157	Transporte local de água para serviços de terraplenagem c/ DMT superior a 7,00km	t	10.881,54	42,70	464.627,17
02.02.00		MACIÇO				24.248.005,02
02.02.01	C3168	Escavação, carga, transporte e descarga de material jazida para execução do maciço - DMT até 4,0km	m ³	776.757,80	18,25	14.174.152,13
02.02.02	C3146	Compactação de aterro para execução do maciço	m ³	647.298,17	3,71	2.404.096,47
02.02.03	C3157	Transporte local de água para serviços de terraplenagem c/ DMT superior a 7,00km	t	179.625,24	42,70	7.669.756,42
02.03.00		FILTRO VERTICAL, TAPETE E TRANSIÇÃO DO ROCK-FILL				677.795,20
02.03.01	C3130	Extração, carga e descarga de areia de rio do areal A-01 para execução do filtro vertical, do tapete horizontal e da transição do rock-fill	m ³	34.040,52	8,69	295.876,93
02.03.02	C3143	Transporte de areia de rio do areal A-01, com DMT=0,7km	m ³	34.040,52	1,73	58.824,20
02.03.03	C3214	Espalhamento e adensamento de areia de rio para execução do	m ³	34.040,52	9,49	323.094,10

ESTIMATIVA DE CUSTO – Barragem Frecheirinha						
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO R\$	
					UNITÁRIO	TOTAL
		filtro vertical, tapete horizontal e do rock-fill				
02.04.00		ROCK-FILL E RIP-RAP				4.618.282,86
02.04.01	C2990	Regularização do talude de montante	m ²	36.692,10	0,27	9.936,81
02.04.02	C3253	Extração e carga de rocha da pedreira P-01 para britagem e produção de brita para execução da transição do rock-fill e riprap	m ³	21.025,97	81,04	1.703.912,57
02.04.03	C3143	Transporte de material de rocha da pedreira P-01 para produção de brita da transição do rock-fill e riprap, com DMT=0,50km	m ³	21.025,97	1,53	32.266,96
02.04.04	C3144	Transporte de brita para execução da transição do rock-fill e riprap, com DMT=8,0km	m ³	23.549,09	6,72	158.222,00
02.04.05	C3214	Espalhamento e adensamento de brita no rock-fill e riprap	m ³	23.549,09	9,49	223.515,15
02.04.06	C3210	Extração e carga de rocha da pedreira P-01 para execução do rock-fill e riprap	m ³	32.304,52	38,16	1.232.716,71
02.04.07	C3144	Transporte de material de rocha da pedreira P-01 para o rock-fill e riprap, com DMT=8,0km	m ³	32.304,52	6,72	217.048,13
02.04.08	C3079	Execução de enrocamento de rock-fill e riprap	m ³	32.304,52	32,21	1.040.664,53
02.05.00		TALUDE DE JUSANTE				1.591.597,34
02.05.01	C2990	Regularização do talude de jusante	m ²	36.733,40	0,27	9.947,99
02.05.02	C3253	Extração e carga de rocha da pedreira P-01 para britagem e produção de brita para execução da proteção do talude de jusante	m ³	15.702,09	81,04	1.272.473,20
02.05.03	C3143	Transporte de material de rocha da pedreira P-01 para produção de brita da proteção do talude de jusante, com DMT=0,50km	m ³	15.702,09	1,53	24.096,80
02.05.04	C3144	Transporte de brita para execução da proteção do talude de jusante, com DMT=8,0km	m ³	17.586,34	6,72	118.159,38
02.05.05	C3214	Execução da proteção do talude de jusante	m ³	17.586,34	9,49	166.919,97
03.000.00		VERTEDOURO				20.028.066,40
03.01.00		MUROS, CREAGER E LAJE				13.702.277,93

ESTIMATIVA DE CUSTO – Barragem Frecheirinha						
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO R\$	
					UNITÁRIO	TOTAL
03.01.01	C0840	Concreto com Fck = 15MPa, para execução da regularização do muro de contenção, muro creager e da laje	m³	1.034,96	399,45	413.418,50
03.01.02	C0844	Concreto com Fck = 30MPa para execução do muro de contenção, muro creager e da laje	m³	7.236,06	461,88	3.342.214,09
03.01.03	C1604	Lançamento de concreto sem elevação para o perfil creager e laje	m³	3.755,88	105,35	395.672,28
03.01.04	C1603	Lançamento de concreto com elevação para os muros de contenção	m³	3.480,18	180,97	629.806,67
03.01.05	C0215	Armadura CA-50A grossa d=12,5mm a 25,0mm para a execução da laje	kg	942.546,00	9,35	8.812.428,08
03.01.06	C1418	Fungenband para juntas de dilatação para muro de contenção, muro creager e laje	m	987,00	110,17	108.738,31
03.02.00		CHUMBADORES				6.325.788,47
03.02.01	MERCADO	Perfuração e execução de chumbadores	m	24.840,00	193,44	4.805.049,60
03.02.02	C4151	Armadura CA-50A d=32,0mm, aquisição e dobradura	kg	163.555,20	9,30	1.520.738,87
04.000.00		DIQUES				320.433,45
04.01.00		MACIÇO				259.663,15
04.01.01	C3168	Escavação, carga, transporte e descarga de material jazida para execução do maciço - DMT até 4,0km	m³	8.318,02	18,25	151.785,89
04.01.02	C3146	Compactação de aterro para execução do maciço	m³	6.931,68	3,71	25.744,60
04.01.03	C3157	Transporte local de água para serviços de terraplenagem c/ DMT superior a 7,00km	t	1.923,54	42,70	82.132,66
04.02.00		TALUDE DE MONTANTE				30.385,15
04.02.01	C2990	Regularização do talude de montante	m²	2.575,27	0,27	697,42
04.02.02	C3210	Extração e carga de rocha da pedreira P-01 para execução da proteção do talude de montante	m³	385,09	38,16	14.694,88
04.02.03	C3144	Transporte de material de rocha da pedreira P-01 para o talude de montante, com DMT=8,0km	m³	385,09	6,72	2.587,37
04.02.04	C3079	Execução do enrocamento para proteção do talude de montante	m³	385,09	32,21	12.405,48

ESTIMATIVA DE CUSTO – Barragem Frecheirinha						
ITEM	CÓDIGO SEINFRA	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	CUSTO R\$	
					UNITÁRIO	TOTAL
04.03.00		TALUDE DE JUSANTE				30.385,15
04.03.01	C2990	Regularização do talude de jusante	m ²	2.575,27	0,27	697,42
04.03.02	C3210	Extração e carga de rocha da pedreira P-01 para execução da proteção do talude de jusante	m ³	385,09	38,16	14.694,88
04.03.03	C3144	Transporte de material de rocha da pedreira P-01 para o talude de jusante, com DMT=8,0km	m ³	385,09	6,72	2.587,37
04.03.04	C3079	Execução do enrocamento para proteção do talude de jusante	m ³	385,09	32,21	12.405,48
		TOTAL GERAL				54.093.357,17

4.8 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA

Quadro 4.2 – Ficha Técnica da Barragem Frecheirinha

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	
1 - IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Frecheirinha
Município:	Frecheirinha
Sistema:	Rio Coreaú
Rio/Riacho Barrado:	Riacho Caiçara
2 - BACIA HIDROGRÁFICA	
Área:	198,5 km ²
Precipitação Média Anual:	1.149 mm
Evaporação Média Anual:	1.775 mm
3 - CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO	
Área da Bacia Hidráulica (cota 131,00 m):	1.102 ha
Volume Acumulado (cota 131,00 m):	82,167 hm ³
Volume Afluente Médio Anual:	8,964 hm ³
Volume Morto do Reservatório (cota 112,00 m):	0,246 hm ³
Vazão Máxima Milenar Afluente:	908,82 m ³ /s
Vazão Máxima Decamilenar Afluente:	1.114,01 m ³ /s
4 - BARRAGEM	
Tipo:	Barragem Mista
Cota do Coroamento:	134,00
Largura do Coroamento:	7,0 m
Extensão pelo Coroamento:	593,00 m
Altura Máxima:	27,0 m
Volume de Escavação (Fundação):	34.851 m ³
Volume de Aterro do Maciço e Cut-Off:	717.241 m ³
Volume do Enrocamento:	37.099 m ³
Volume de Transições Finas:	17.500 m ³

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM FRECHEIRINHA	
Volume de Areia:	2.998 m ³
Volume de Transições Grossas:	32.807 m ³
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
5 - SANGRADOURO	
Tipo:	Canal
Largura:	60,00 m
Cota de Sangria:	131,00 m
Nível D'Água Max. Normal:	132,11 m
Extensão Total do Canal de Restituição:	480 m
Vazão Máxima Prevista:	147,0 m ³ /s
Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	1,11 m
Borda Livre:	1,89 m

5 - SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL

5 - SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL

5.1 - CONCEPÇÃO DO MODELO DE GESTÃO

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos significa que devem ser levadas em consideração as relações entre a parte biótica e abiótica dos ecossistemas e as múltiplas funções de uso da água, como também os relacionamentos entre os vários órgãos públicos que têm autoridade e poder de gestão e os próprios usuários da água.

Usualmente, várias agências governamentais estão envolvidas no gerenciamento dos recursos hídricos. Como resultado da estrutura administrativa geralmente complexa, as tarefas de gerenciamento dos recursos hídricos não estão nas mãos de um único ente público, mas tendem a ser partilhadas por vários estamentos governamentais e não governamentais. O gerenciamento atua em diferentes escalas geográficas, abrangendo o nível da bacia dos rios em âmbito nacional, estadual e local.

A multiplicidade de parceiros envolvidos requer adequada compreensão dos contextos legais e administrativos do gerenciamento dos recursos hídricos, boa comunicação entre as partes e procedimentos eficientes de decisão. Deve-se estar ciente de que comunicação e discussão com as instâncias de governo e com a sociedade são componentes cruciais das tarefas de gerenciamento das águas. Tal aspecto não pode ser negligenciado e sua importância para o sucesso do plano de gestão não pode ser subestimada. Não importam quão difíceis e complexas possam ser as negociações, elas devem sempre visar o objetivo de tornar efetivas e eficientes as tarefas fundamentais da gestão.

O Estado do Ceará instituiu o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos, que tem por objetivo: coordenar a gestão integrada das águas; implementar a Política Estadual de Recursos Hídricos; planejar, normatizar e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; conceder outorga do direito do uso dos recursos hídricos e licença para construção de obra de infra-estrutura hídrica; e promover a cobrança pelo uso desses recursos.

Este Sistema tem como estrutura organizacional o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, a Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH e os Comitês de Bacias Hidrográficas. O Sistema funciona

de forma integrada e mediante a articulação coordenada entre os órgãos e entidades que o constituem e a sociedade civil.

5.2 - ARCABOUÇO INSTITUCIONAL, LEGAL E NORMATIVO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

5.2.1 - AO NÍVEL DA UNIÃO

A gestão dos recursos hídricos, no Brasil, está sujeita a sofisticado arcabouço institucional, legal e normativo. No nível mais alto está a Constituição Federal que disciplina as grandes linhas de atribuição dos estamentos de poder sobre a gestão dos recursos hídricos.

5.2.1.1 - Constituição Federal

As mais relevantes questões, referentes a recursos hídricos, tratadas na Constituição Federal de 1988 são relacionadas, a seguir:

Art. 20. São bens da União:

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

Art. 22. Compete privativamente à União legislar sobre:

IV - águas, energia, informática, telecomunicações e radiodifusão;

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;

Art. 43. Para efeitos administrativos, a União poderá articular sua ação em um mesmo complexo geoeconômico e social, visando a seu desenvolvimento e à redução das desigualdades regionais.

§ 1º - Lei complementar disporá sobre:

I - as condições para integração de regiões em desenvolvimento;

§ 2º - Os incentivos regionais compreenderão, além de outros, na forma da lei:

IV - prioridade para o aproveitamento econômico e social dos rios e das massas de água represadas ou represáveis nas regiões de baixa renda, sujeitas a secas periódicas.

§ 3º - Nas áreas a que se refere o § 2º, IV, a União incentivará a recuperação de terras áridas e cooperará com os pequenos e médios proprietários rurais para o estabelecimento, em suas glebas, de fontes de água e de pequena irrigação.

5.2.1.2 - Lei das Águas

Em 08/01/1997, foi sancionada a Lei nº 9.433, conhecida como Lei das Águas, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Entre tantas questões que afetam o gerenciamento e o uso dos recursos hídricos, a Lei nº 9.433 delimita as competências da União e dos estados, da seguinte forma:

Art. 29. Na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, compete ao Poder Executivo Federal:

I - tomar as providências necessárias à implementação e ao funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

II - outorgar os direitos de uso de recursos hídricos, e regulamentar e fiscalizar os usos, na sua esfera de competência;

III - implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, em âmbito nacional;

IV - promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental.

Parágrafo único. O Poder Executivo Federal indicará, por decreto, a autoridade responsável pela efetivação de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos sob domínio da União.

Art. 30. Na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, cabe aos Poderes Executivos Estaduais e do Distrito Federal, na sua esfera de competência:

I - outorgar os direitos de uso de recursos hídricos e regulamentar e fiscalizar os seus usos;

II - realizar o controle técnico das obras de oferta hídrica;

III - implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, em âmbito estadual e do Distrito Federal;

IV - promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental.

5.2.1.3 - Lei de Criação da Agência Nacional de Águas - ANA

Em 17/07/2000, foi sancionada a Lei nº 9.984, que criou a agência reguladora das atividades relacionadas a recursos hídricos, a Agência Nacional de Águas - ANA, que tem como principais atribuições:

- supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos;
- disciplinar, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos;
- outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, observado o disposto nos arts. 5º, 6º, 7º e 8º da Lei 9.984/2000;
- fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União;
- elaborar estudos técnicos para subsidiar a definição, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, com base nos mecanismos e quantitativos sugeridos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, na forma do inciso VI do art. 38 da Lei nº 9.433/1997;
- estimular e apoiar as iniciativas voltadas para a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica;
- implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União;
- arrecadar, distribuir e aplicar receitas auferidas por intermédio da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, na forma do disposto no art. 22 da Lei nº 9.433/1997;
- planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios;

- promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos de água, de alocação e distribuição de água, e de controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos planos de recursos hídricos;
- definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando a garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas;
- promover a coordenação das atividades desenvolvidas no âmbito da rede hidrometeorológica nacional, em articulação com órgãos e entidades públicas ou privadas que a integram, ou que dela sejam usuárias;
- organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;
- estimular a pesquisa e a capacitação de recursos humanos para a gestão de recursos hídricos;
- prestar apoio aos Estados na criação de órgãos gestores de recursos hídricos;
- propor ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos o estabelecimento de incentivos, inclusive financeiros, à conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos.

Esta lei foi regulamentada pelo Decreto nº 3.692, de 19/12/2000, que dispõe sobre a instalação, aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos Comissionados e dos Cargos Comissionados Técnicos da Agência Nacional de Águas – ANA.

5.2.1.4 - Decreto que Regulamenta o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos

O Decreto nº 10.000, de 03/09/2019, dispõe sobre o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos. No seu artigo primeiro, atribui as seguintes competências ao CNRH:

Art. 1º Este Decreto dispõe sobre o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, órgão consultivo e deliberativo, integrante da Estrutura Regimental do Ministério do Desenvolvimento Regional, ao qual compete:

I - formular a Política Nacional de Recursos Hídricos, nos termos do disposto na Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, e no art. 2º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000;

II - promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regionais, estaduais e dos setores usuários;

III - arbitrar, em última instância administrativa, os conflitos existentes entre conselhos estaduais de recursos hídricos;

IV - deliberar sobre os projetos de aproveitamento de recursos hídricos, cujas repercussões extrapolem o âmbito dos Estados em que serão implantados;

V - deliberar sobre as questões que lhe tenham sido encaminhadas pelos conselhos estaduais de recursos hídricos ou pelos comitês de bacia hidrográfica;

VI - analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos e à Política Nacional de Recursos Hídricos;

VII - estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VIII - aprovar propostas de instituição dos comitês de bacia hidrográfica de rios de domínio da União e estabelecer critérios gerais para a elaboração de seus regimentos internos;

IX - acompanhar a execução e aprovar o Plano Nacional de Recursos Hídricos e determinar as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

X - estabelecer critérios gerais para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso;

XI - deliberar sobre os recursos administrativos que lhe forem interpostos;

XII - manifestar-se sobre os pedidos de ampliação dos prazos para as outorgas de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União, estabelecidos nos incisos I e II do caput e no § 2º do art. 5º da Lei nº 9.984, de 2000;

XIII - definir os valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, sugeridos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, nos termos do disposto no inciso VI do caput do art. 4º da Lei nº 9.984, de 2000;

XIV - manifestar-se sobre propostas relativas ao estabelecimento de incentivos, inclusive financeiros, para a conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos, incluídas aquelas encaminhadas pela Agência Nacional de Águas;

XV - definir, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, as prioridades de aplicação dos recursos a que se refere o caput do art. 22 da Lei nº 9.433, de 1997, nos termos do disposto no § 4º do art. 21 da Lei nº 9.984, de 2000;

XVI - aprovar o enquadramento dos corpos de água em classes de uso, em consonância com as diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente e de acordo com a classificação estabelecida na legislação ambiental;

XVII - autorizar a criação das agências de água, nos termos do disposto no parágrafo único do art. 42 e no art. 43 da Lei nº 9.433, de 1997;

XVIII - delegar às organizações civis de recursos hídricos sem fins lucrativos de que tratam o art. 47 da Lei nº 9.433, de 1997, e os art. 1º e art. 2º da Lei nº 9.637, de 1998, por prazo determinado, o exercício de funções de competência das agências de água, enquanto essas agências não forem constituídas, nos termos do disposto no art. 51 da referida Lei;

XIX - deliberar sobre as acumulações, as derivações, as captações e os lançamentos de pouca expressão, para fins de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos de domínio da União, nos termos do disposto no inciso V do caput do art. 38 da Lei nº 9.433, de 1997;

XX - zelar pela implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, estabelecida pela Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;

XXI - estabelecer diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, de que trata a Lei nº 12.334, de 2010; e

XXII - apreciar o Relatório de Segurança de Barragens, de que trata o inciso VII do caput do art. 6º da Lei nº 12.334, de 2010, e encaminhá-lo ao Congresso Nacional, com recomendações para melhoria da segurança das obras, se necessário.

5.2.1.5 - Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010

A Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.

No seu Art. 1º estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Seu Parágrafo Único determina que esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

5.2.1.6 - Certificado de Obra Hídrica - CERTOH

O Decreto Federal nº 4.024, de 21 de novembro de 2001, e a Resolução nº 194 da Agência Nacional de Águas - ANA, de 16 de setembro de 2002, determinam e orientam a elaboração dos relatórios de sustentabilidade das obras hídricas para obtenção do CERTOH.

O Decreto nº 4.024, no seu artigo terceiro, especifica que a sustentabilidade será considerada em duas perspectivas, operacional e hídrica:

“I - operacional da infra-estrutura, caracterizada pela existência de mecanismo institucional que garanta a continuidade da operação da obra de infra-estrutura hídrica;

II - hídrica, caracterizada pela demonstração de que a implantação da infraestrutura contribui para o aumento do nível de aproveitamento hídrico da respectiva bacia hidrográfica.”

A Resolução nº 194 da ANA, de 16 de setembro de 2002, especifica em seu art. 4º, que a emissão do Certificado de Avaliação da Sustentabilidade da Obra Hídrica – CERTOH deverá ser requerida pelo empreendedor, em Modelo fornecido pela Agência (Anexo I), acompanhado com os seguintes documentos e informações:

“I - projeto básico, conforme definido no inciso IX do Art.. 6º da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993;

II - cópia de outorga preventiva ou de direito de uso dos recursos hídricos, ou instrumento equivalente, emitido pela autoridade competente, quando de domínio estadual ou do Distrito Federal;

III - documentação que comprove a sustentabilidade operacional da obra de infraestrutura hídrica:

- a) demonstração da capacidade técnica e operacional do órgão ou entidade responsável pela sua operação e manutenção;
- b) demonstração das fontes de recursos destinadas à sua operação e manutenção, compatíveis com os custos previstos;
- c) definição da sua sistemática de operação e manutenção permanente; e
- d) disponibilidade ou programação dos recursos financeiros das obras eventualmente necessárias para o atendimento ao usuário final, ou da existência das mesmas.

IV - documentação que comprove a sustentabilidade hídrica:

- a) estudos hidrológicos adequados, caracterizando as vazões de referência e a compatibilidade entre as mesmas;
- b) comprovação da disponibilidade hídrica dos volumes e da qualidade da água a ser retirada, no caso de obras de adução;
- c) previsão da implantação, operação e manutenção de estruturas de medição e de monitoramento da quantidade e qualidade da água e efluentes.”

5.2.1.7 - Decreto nº 9.666, de 02 de janeiro de 2019

O Decreto nº 9.666, em seu Anexo I, estabelece a estrutura regimental do Ministério do Desenvolvimento Regional.

No Capítulo I - Da Natureza e da Competência, determina:

Art. 1º O Ministério do Desenvolvimento Regional, órgão da administração pública federal direta, tem como áreas de competência os seguintes assuntos:

...

IV - política nacional de recursos hídricos;

...

XIX - planos, programas, projetos e ações de:

a) gestão de recursos hídricos; e

b) infraestrutura e garantia da segurança hídrica;

No Capítulo II – Da Estrutura Organizacional

II - órgãos específicos singulares

Art. 2º O Ministério do Desenvolvimento Regional tem a seguinte estrutura organizacional:

...

b) Secretaria Nacional de Segurança Hídrica:

1. Departamento de Obras Hídricas;

2. Departamento de Projetos Estratégicos; e

3. Departamento de Recursos Hídricos e de Revitalização de Bacias Hidrográficas;

...

IV - órgãos colegiados:

...

d) Conselho Nacional de Recursos Hídricos;

...

O Ministério do Desenvolvimento Regional tem, em sua estrutura, a Secretaria Nacional de Infraestrutura Hídrica, com as seguintes atribuições:

- formular e conduzir a Política Nacional de Irrigação;
- orientar e supervisionar a formulação de planos, programas e projetos de aproveitamento de recursos hídricos;
- apoiar a operação, a manutenção e a recuperação de obras de infra-estrutura hídrica;
- elaborar e conduzir os programas e ações de convivência com a seca, com ênfase no aproveitamento de recursos hídricos para uso humano;
- promover a implementação de programas e projetos de irrigação e sua autonomia administrativa e operacional;
- propor e regulamentar a concessão da implantação, operação e manutenção de obras públicas de infra-estrutura hídrica;
- contribuir para a formulação da política de desenvolvimento nacional integrada;
- propor, analisar e aprovar estudos sócio-econômicos, ambientais e hidráulicos referentes a projetos de aproveitamento de recursos hídricos; e
- acompanhar, supervisionar e fiscalizar a implantação de ações voltadas ao aproveitamento dos recursos da água e do solo.

5.2.2 - AO NÍVEL DO ESTADO DO CEARÁ

A Lei Estadual nº 11.996, de 24 de julho de 1992, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências.

Os objetivos da Política Estadual de Recursos Hídricos estão enumerados logo no primeiro artigo da lei:

Art. 1º. A Política Estadual de Recursos Hídricos, prevista no artigo 326 da Constituição Estadual, será disciplinada por esta Lei e tem como objetivos:

I - compatibilizar a ação humana, em qualquer de suas manifestações, com a dinâmica do ciclo hidrológico no Estado do Ceará, de forma a assegurar as condições

para o desenvolvimento econômico e social, com melhoria da qualidade de vida e em equilíbrio com o meio ambiente;

II - assegurar que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade e quantidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em todo o território do Estado do Ceará; e III - planejar e gerenciar, de forma integrada, descentralizada e participativa, o uso múltiplo, controle, conservação, proteção e preservação dos recursos hídricos.

A lei também estabelece alguns princípios que devem orientar a implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos. Tais princípios estão enunciados no segundo artigo da lei:

Art. 2º. A Política Estadual de Recursos Hídricos atenderá aos seguintes princípios:

I - Princípios Fundamentais:

a) o gerenciamento dos Recursos Hídricos deve ser integrado, descentralizado e participativo sem a dissociação dos aspectos qualitativos e quantitativos, considerando as fases aérea, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico;

b) a unidade básica a ser adotada para o gerenciamento dos potenciais hídricos é a bacia hidrográfica, com decorrência de condicionante natural que governa as interdependências entre as disponibilidades e demandas de recursos hídricos em cada região;

c) a água, como recurso limitado que desempenha importante papel no processo de desenvolvimento econômico e social, impõe custos crescentes para sua obtenção, tornando-se um bem econômico de expressivo valor, decorrendo que:

- a cobrança pelo uso da água é entendida como fundamental para a racionalização de seu uso e conservação e instrumento de viabilização da Política Estadual de Recursos Hídricos;
- uso da água para fins de diluição, transporte e assimilação de esgotos urbanos e industriais, por competir com outros usos, deve ser também objeto de cobrança.

- sendo os Recursos Hídricos bens de uso múltiplo e competitivo, a outorga de direitos de seu uso é considerada instrumento essencial para o seu gerenciamento e deve atender aos seguintes requisitos:
- a outorga de direitos de uso das águas deve ser de responsabilidade de um único órgão, não setorial, quanto às águas de domínio federal, devendo ser atendido o mesmo princípio no âmbito do Estado;
- na outorga de direitos de uso de águas de domínio federal e estadual de uma mesma Bacia Hidrográfica a União e o Estado deverão tomar medidas acauteladoras mediante acordos entre Estados definidos em cada caso, com interveniência da União.

II - Princípios de Aproveitamento:

a) o aproveitamento dos Recursos Hídricos deve ter como prioridade maior o abastecimento das populações;

b) os reservatórios de acumulação de águas superficiais devem ser incentivados para uso de múltiplas finalidades;

c) os corpos de águas destinados ao abastecimento humano devem ter seus padrões de qualidade compatíveis com essa finalidade;

d) devem ser feitas campanhas para uso correto da água visando sua conservação.

III - Princípios de Gestão:

a) a gestão dos Recursos Hídricos deve ser estabelecida e aperfeiçoada de forma organizada mediante a institucionalização de um Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos;

b) o Conselho de Recursos Hídricos fará, anualmente, em consonância com as Instituições Federais, um plano de operação de reservatórios;

c) a gestão dos Recursos Hídricos tomará como base a Bacia Hidrográfica e incentivará a participação dos Municípios e dos usuários de água de cada Bacia;

d) o Plano Estadual de Recursos Hídricos deve ser revisto e atualizado com uma periodicidade mínima de quatro anos.

O Art. 23 determina a criação e o funcionamento do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos SIGERH, que visa a coordenação e execução da Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como a formulação, atualização e execução do Plano Estadual de Recursos Hídricos devendo atender aos princípios constantes do art. 2º da Lei.

O Art. 24 disciplina que o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH, congregará instituições estaduais, federais e municipais intervenientes no Planejamento, Administração e Regulamentação dos Recursos Hídricos (Sistema de Gestão), responsáveis pelas obras e serviços de Oferta, Utilização e Preservação dos Recursos Hídricos (Sistemas Afins) e serviços de Planejamento e Coordenação Geral, Incentivos Econômicos e Fiscais, Ciência e Tecnologia Defesa Civil e Meio Ambiente (Sistemas Correlatos), bem como aqueles representativos dos usuários de águas e da sociedade civil, assim organizado:

- I. Conselho de Recursos Hídricos do Ceará - CONERH;
- II. Comitê Estadual de Recursos Hídricos - COMIRH;
- III. Secretaria dos Recursos Hídricos - Órgão Gestor;
- IV. Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FUNORH;
- V. Comitê de Bacias Hidrográficas - CBHs;
- VI. Comitê das Bacias da Região Metropolitana de Fortaleza- CBRMF;
- VII. Instituições Estaduais, Federais e Municipais responsáveis por funções hídricas.

A lei criou o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos – SIGERH, como suporte à condução da política de recursos hídricos. O Art. 19 da Lei determina a estrutura organizacional do SIGERH:

Art. 19. Para a condução da Política Estadual de Recursos Hídricos fica instituído o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos - SIGERH, cuja estrutura organizacional compreende:

- I - Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CONERH;
- II - Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH;
- III - Comitês de Bacias Hidrográficas.

Em 18 de novembro de 1993, é sancionada a Lei Estadual nº 12.217, que cria a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH. A lei estabelece que a companhia tem por finalidade gerenciar a oferta dos recursos hídricos constantes dos corpos d'água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado, visando a equacionar as questões referentes ao seu aproveitamento e controle, operando, para tanto, diretamente ou por subsidiária ou ainda por pessoa jurídica de direito privado, mediante contrato, realizado sob forma remunerada, objetivando:

I. desenvolver estudos visando a quantificar as disponibilidades e demandas das águas para múltiplos fins;

II. implantar um sistema de informações sobre recursos hídricos, através da coleta de dados, estatística e cadastro de usos da água visando a subsidiar as tomadas de decisões;

III. desenvolver ações no sentido de subsidiar o aperfeiçoamento do suporte legal ao exercício da gestão das águas, consubstanciado na Lei nº 11.996, de 24 de julho de 1992;

IV. desenvolver ações que preservem a qualidade das águas, de acordo com os padrões requeridos para usos múltiplos;

V. desenvolver ações para que a Gestão dos Recursos Hídricos seja descentralizada, participativa e integrada em relação aos demais recursos naturais;

VI. adotar a bacia hidrográfica como base e considerar o ciclo hidrológico, em todas as suas fases;

VII. realizar outras atividades que, direta ou indiretamente, explícita ou implicitamente, digam respeito aos seus objetivos.

A COGERH é uma sociedade de economia mista vinculada à Secretaria dos Recursos Hídricos, dotada de personalidade jurídica e autonomia administrativa e financeira, com patrimônio próprio, regendo-se por esta Lei pelas normas administrativas pertinentes e pela Lei das sociedades por ações.

O Decreto nº 27.271, de 28 de novembro de 2003, levando em consideração que a água é um recurso limitado e desempenha importante papel no processo de desenvolvimento social e econômico, impondo custos crescentes para sua obtenção, estabeleceu normas que disciplinam a concessão da outorga do direito de uso dos

recursos hídrico dominiais do Estado. A concessão de outorga do direito de uso da água é um poderoso instrumento de gerenciamento dos recursos hídricos por parte da sociedade.

Desta forma, o Estado do Ceará dispõe de um arcabouço institucional bem estruturado e capaz de cumprir com as funções de gerenciamento dos recursos hídricos, consubstanciado no Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos – SIGERH, formado por:

- Conselho Estadual dos Recursos Hídricos
- Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos
- Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH;
- Comitês de Bacia Hidrográfica

Além das estruturas institucionais, o Estado criou e regulamentou dispositivos legais e normativos que possibilitam a adequada gestão das águas e seus usos, de forma socialmente justa e ambientalmente sustentável. As leis, decretos e resoluções editadas pelas instâncias governamentais responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos são instrumentos adequados e suficientes para o cumprimento de suas funções.

5.2.2.1 - Conselho Estadual dos Recursos Hídricos

A Lei Estadual nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010, estabelece a nova Política de Recursos para o estado do Ceará e institui o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos – SIGERH.

No art. 41, esta lei determina que o Conselho de Recursos Hídricos do Ceará - CONERH, órgão de coordenação, fiscalização, deliberação coletiva e de caráter normativo do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, vinculado à Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH, terá por finalidade o exercício das seguintes competências:

- I. promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estadual e dos setores usuários;
- II. aprovar o Plano Estadual de Recursos Hídricos e determinar as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

III. arbitrar em última instância administrativa, os conflitos existentes entre as bacias hidrográficas e usuários de águas; IV - deliberar sobre os projetos de recursos hídricos cujas repercussões extrapolem o âmbito da bacia hidrográfica em que serão implantados;

IV. deliberar sobre as questões que lhe tenham sido encaminhadas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas;

V. aprovar propostas de instituição dos Comitês de Bacia Hidrográfica e estabelecer critérios gerais para elaboração de seus regimentos;

VI. analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos e à Política Estadual de Recursos Hídricos;

VII. estabelecer critérios para a outorga de direito de uso de recursos hídricos, para execução de obras de interferência hídrica e para cobrança pelo uso dos recursos hídricos, e fixar o valor da respectiva tarifa ou preço público;

VIII. estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH;

IX. apreciar o relatório anual sobre a situação dos Recursos Hídricos do Estado;

X. estabelecer diretrizes para a formulação de programas e projetos de aplicação de recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FUNERH;

XI. manifestar-se sobre outros assuntos relativos a recursos hídricos, que sejam submetidos ou estejam sujeitos à sua apreciação;

XII. criar, mediante resolução, câmaras técnicas e grupos de trabalho para realização de tarefas especiais coordenadas pela Secretaria Executiva, na forma do inciso VI do art. 43, sendo que os recursos necessários ao desempenho das atribuições destas câmaras e grupos serão alocados pela Secretaria dos Recursos Hídricos, na qualidade de órgão gestor da Política Estadual de Recursos Hídricos;

XIII. aprovar o enquadramento dos corpos d'água do domínio estadual em classes de uso preponderante de acordo com o inciso XI do art. 46.

5.2.2.2 - A Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH

O art. 49 da já citada lei estabelece que, na implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, compete à Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH:

- I. tomar as providências necessárias à implementação e ao funcionamento do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos;
- II. implantar e gerir o Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado;
- III. promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- IV. formular políticas e diretrizes para a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos;
- V. coordenar, supervisionar e planejar as atividades concernentes aos recursos hídricos;
- VI. funcionar como Secretaria Executiva do Conselho de Recursos Hídricos do Ceará - CONERH, para prestar-lhe apoios administrativo, técnico e financeiro necessários ao seu funcionamento;
- VII. coordenar a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos e encaminhá-lo à aprovação do Conselho de Recursos Hídricos do Ceará - CONERH;
- VIII. inserir o Plano Estadual de Recursos Hídricos na agenda política do Estado;
- IX. expedir outorga de direito de uso de recursos hídricos, efetuando sua fiscalização e aplicando sanções de acordo com esta Lei e seu regulamento;
- X. expedir outorga para execução de obras e/ou serviços de interferência hídrica, sem prejuízo da licença ambiental obrigatória;
- XI. realizar programas de estudos, pesquisas, desenvolvimento de tecnologia e capacitação do pessoal integrante do SIGERH;
- XII. criar câmaras técnicas que serão constituídas por técnicos de instituições estaduais que compõem o SIGERH;
- XIII. celebrar convênios com a União e com as demais unidades da Federação a fim de disciplinar a utilização de recursos hídricos compartilhados.

5.2.2.3 - A Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH

No seu art. 50, a Lei estabelece que a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, criada pela Lei nº 12.217, de 18 de novembro de 1993, vinculada à SRH, é a instituição de gerenciamento de recursos hídricos de domínio do Estado ou da União, por delegação. O art. 51 disciplina que, na implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, compete à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos:

I. realizar obras e serviços de operação e manutenção dos sistemas hídricos e o monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, conforme a Política Estadual de Recursos Hídricos;

II. realizar estudos técnicos para implementação, efetivação e alteração das tarifas pelo uso dos recursos hídricos, de acordo com o estabelecido no art. 16, desta Lei;

III. receber recursos financeiros oriundos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FUNERH, e aplicá-los nas atividades de gerenciamento dos recursos hídricos;

IV. receber e aplicar outros recursos financeiros não previstos no inciso anterior;

V. manter atualizado o balanço da disponibilidade e demandas de recursos hídricos em sua área de atuação, comunicando os dados à SRH;

VI. manter atualizado o cadastro de usuários de recursos hídricos;

VII. elaborar os Planos de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas, de acordo com os respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas para apreciação dos órgãos competentes mencionados nesta Lei;

VIII. apresentar aos Comitês de Bacias Hidrográficas para deliberação:

a) estudos para o enquadramento dos corpos d'água nas classes de usos preponderantes;

b) valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos;

c) planos de aplicação dos recursos financeiros arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

IX. apoiar a organização de usuários com vistas à formação de Comitês de Bacias Hidrográficas e Comissões Gestoras de Sistemas Hídricos, prestando apoios técnico, administrativo e financeiro necessários ao funcionamento dos mesmos, através das Gerências de Bacias;

- X. exercer a Secretaria Executiva dos Comitês de Bacias Hidrográficas;
- XI. elaborar o relatório de situação anual dos recursos hídricos para aprovação do CONERH e divulgação;
- XII. emitir parecer prévio, de natureza técnica, sobre pedidos de outorga de uso de recursos hídricos e de execução de obras e/ou serviços de interferência hídrica, quando solicitado pela SRH;
- XIII. efetivar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e aplicá-la conforme suas atribuições.

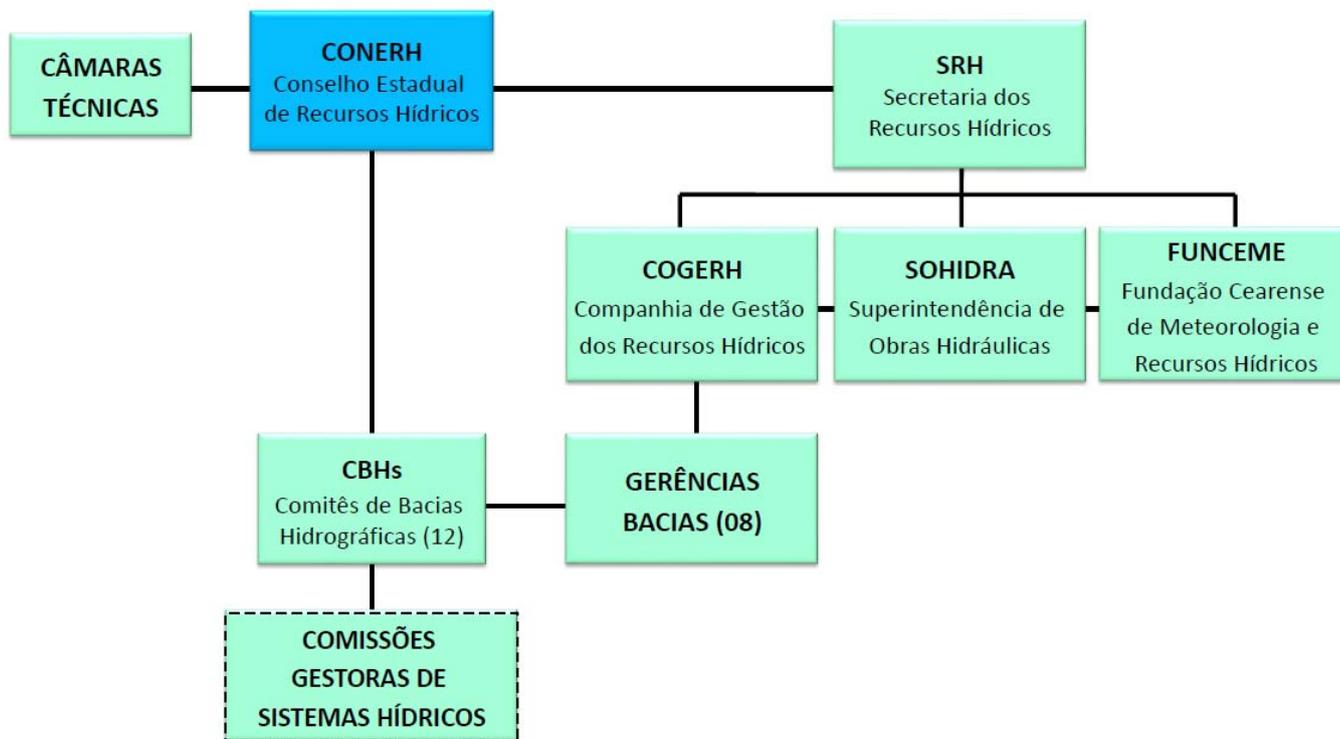
5.2.2.4 - Comitês de Bacia Hidrográfica

O Comitê de Bacias Hidrográficas é um órgão colegiado, novo na realidade institucional brasileira, contando com a participação dos usuários, da sociedade civil organizada, de representantes dos governos. Esse ente é destinado a atuar como “parlamento das águas”, posto que é o fórum de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica.

Os Comitês de Bacias Hidrográficas têm, entre outras, as atribuições de: promover o debate das questões relacionadas aos recursos hídricos da bacia; articular a atuação das entidades que trabalham com este tema; arbitrar, em primeira instância, os conflitos relacionados a recursos hídricos; aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da Bacia; estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados; estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

A proporcionalidade entre esses segmentos foi definida pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 05, de 10 de abril de 2000. Esta norma estabelece diretrizes para formação e funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica, representando um avanço na participação da sociedade civil nos Comitês. A Resolução prevê que os representantes dos usuários sejam 40% do número total de representantes do Comitê. A somatória dos representantes dos governos municipais, estaduais e federal não poderá ultrapassar a 40% e, os da sociedade civil organizada ser mínimo de 20%.

Figura 5.1 - Organograma do Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - SIGERH



5.3 - COGERH – GESTORA DO EMPREENDIMENTO

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH é a entidade responsável pelo gerenciamento e disciplinamento do uso de mais de 90% das águas acumuladas no Estado, de forma descentralizada, integrada e participativa. Estão sob a administração da Companhia os mais importantes açudes públicos estaduais e federais, além de canais e adutoras de água bruta que abastecem a Região Metropolitana de Fortaleza e o Complexo Industrial e Portuário do Pecém.

A COGERH foi criada pela Lei nº 12.217, de 18 de novembro de 1993, com a finalidade de implantar o sistema de gerenciamento da oferta de água superficial e subterrânea do Estado, compreendendo os aspectos de monitoramento dos reservatórios e poços artesianos, manutenção, operação de obras hídricas e organização de usuários nas 11 bacias hidrográficas do Ceará.

Por ser uma companhia de economia mista, a COGERH tem maior autonomia administrativa e financeira, que possibilita o pleno exercício das funções de órgão executivo da gestão da água no estado. Como possui receita própria, proveniente da cobrança pela utilização dos recursos hídricos, a COGERH não necessita submeter-se a todos os controles da burocracia pública.

Para atender aos princípios da descentralização e participação na gestão dos recursos hídricos das regiões hidrográficas do Ceará, a COGERH está estruturada em sua sede na cidade de Fortaleza, com três diretorias, sendo uma delas de operação, e oito gerências regionais distribuídas pelo Estado, exercendo, dentre outras funções, o papel de secretaria executiva dos comitês de bacias.

As gerências regionais são subordinadas à Diretoria de Operações e têm as seguintes atribuições:

- Elaborar e coordenar o programa anual de operação de reservatórios;
- Monitorar quantitativo e qualitativamente os diversos sistemas hídricos de sua bacia ou sub-bacias;
- Coordenar o programa de manutenção de estruturas hidráulicas e
- Monitorar o estado de segurança das barragens;
- Apoiar as ações de organização de usuários e dos comitês de bacias.

A COGERH gerencia dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do estado, incluindo o monitoramento das barragens e a operação das infraestruturas hidráulicas de adução e controle de água bruta.

Cabe à COGERH o monitoramento e a gestão das médias e grandes barragens; incluindo o sistema de fornecimento de água para a Região Metropolitana de Fortaleza e para o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (Barragem do Castanhão, o Eixão das Águas e as barragens metropolitanas – Aracoiaba, Pacajus, Pacoti/Riachão/Gavião).

Desta forma, a COGERH está estruturada e aparelhada para o cumprimento de sua missão de gerenciar os recursos hídricos do estado, já tendo acumulado larga experiência na operação de grandes infraestruturas hidráulicas.

6 – SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

6 - SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

6.1 - BACIA HIDROGRÁFICA

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é o conjunto de terras que fazem a drenagem da água das chuvas, geralmente, para cursos d'águas como rios ou riachos. Para a delimitação da bacia, faz-se necessário o conhecimento prévio do relevo ou topografia da região.

Para esta avaliação morfológica da bacia, foram utilizadas as cartas topográficas da SUDENE, em escala de 1:100.000, com curvas de nível a cada 40 metros (Folha Cartográfica MI-680). 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. (**Quadro 6.1**)

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 6.1** é apresentado o traçado da bacia, em conformidade com a hidrografia unifilar.

Quadro 6.1 - Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha

Área da bacia Hidrográfica (km ²)	Perímetro da bacia Hidrográfica (km)	Comprimento do rio (km)	Cota do Talvegue a montante (m)	Cota do Talvegue a jusante (m)
198,5	82,1	28,9	900	120

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.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo. Assim, cada bacia pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma

$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}}$$

Equação 1 – Fator de compacidade

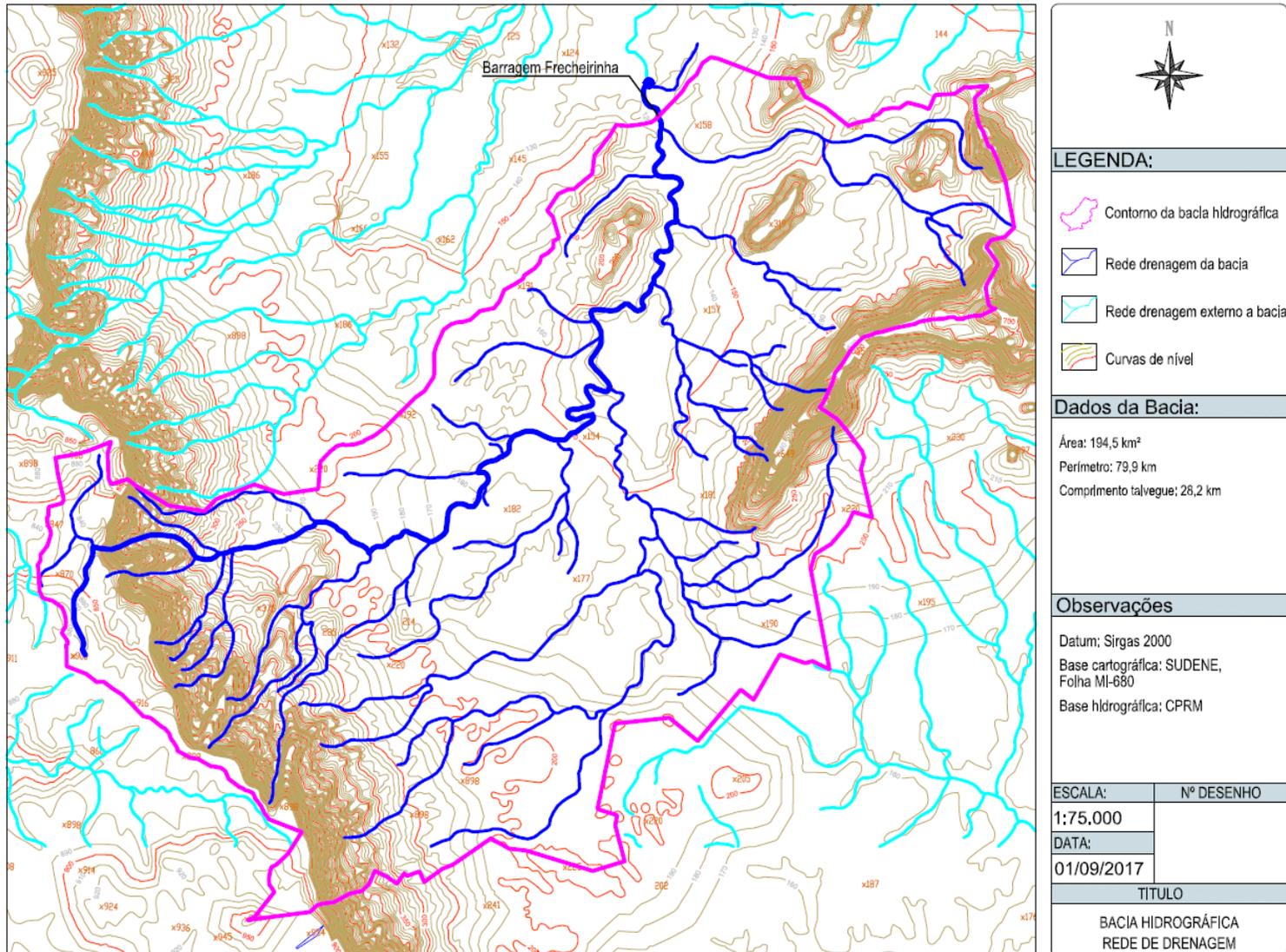
$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

Equação 2 – Fator de forma

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,285}$$

Equação 3 – Tempo de concentração

Figura 6.1 – Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem da Barragem Frecheirinha



A bacia de contribuição traçada segundo os critérios mencionados, apresentado 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 $H=780 \text{ metros}$, resultando numa declividade média de $27,0 \text{ m/km}$. Aplicando esses dados nas equações supracitadas, obtém-se:

Quadro 6.2 - Dados Físicos da Bacia da Barragem Frecheirinha

Fator de Compacidade	Fator de Forma	Tempo de Concentração
1,64	0,24	3,56 Horas

Quando o fator de compacidade é próximo a 1, a bacia teria a forma circular e, se outros fatores mostrassem tendência na mesma direção, haveria tendência acentuada para maiores enchentes. Neste caso da barragem Frecheirinha, o fator de compacidade de 1,64 não está próximo a 1 e, portanto, não há indicação de tendência a grandes enchentes.

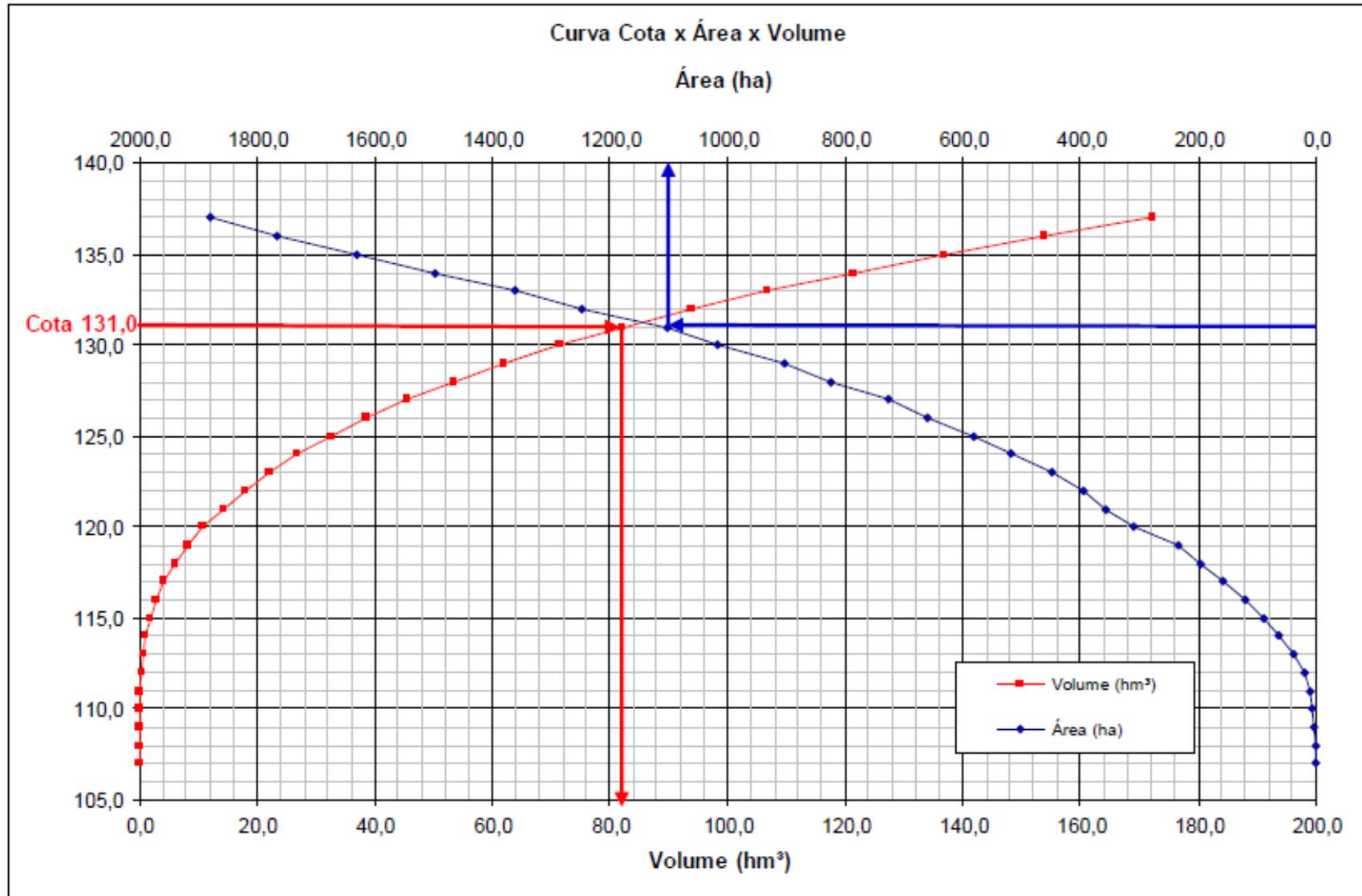
6.1.2 - CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA BACIA

A caracterização morfológica da bacia hidráulica corresponde basicamente à determinação do diagrama cota x área x volume, fundamental para os estudos de cheia, que serão apresentados em itens mais à frente. A partir dos levantamentos topográficos realizados na bacia, obtiveram-se as cotas, as áreas e os volumes mostrados no **Quadro 6.3** e na **Figura 6.2**, a seguir.

Quadro 6.3 - Cotas – Áreas - Volumes

Cota (m)	Área (ha)	Volume Acumulado (hm³)
107	0,00	0,000
108	0,54	0,003
109	1,16	0,011
110	5,19	0,043
111	8,42	0,111
112	18,62	0,246
113	37,61	0,527
114	63,89	1,035
115	89,25	1,801
116	120,47	2,849
117	156,02	4,232
118	194,93	5,986
119	234,30	8,133
120	309,19	10,850
121	355,17	14,172
122	394,37	17,919
123	448,69	22,135
124	516,52	26,961
125	580,43	32,446
126	660,44	38,650
127	725,84	45,581
128	823,88	53,330
129	903,36	61,966
130	1.018,61	71,576
131	1.101,55	82,177
132	1.248,12	93,925
133	1.361,46	106,973
134	1.498,67	121,274
135	1.631,25	136,923
136	1.766,14	153,910

Figura 6.2 - Diagrama Cota x Área x Volume



6.2 - ESTUDO DE CHUVAS

De acordo com o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, existem oito postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada. (**Quadro 6.4**).

Quadro 6.4 - Postos Pluviométricos na Região da Bacia Hidrográfica

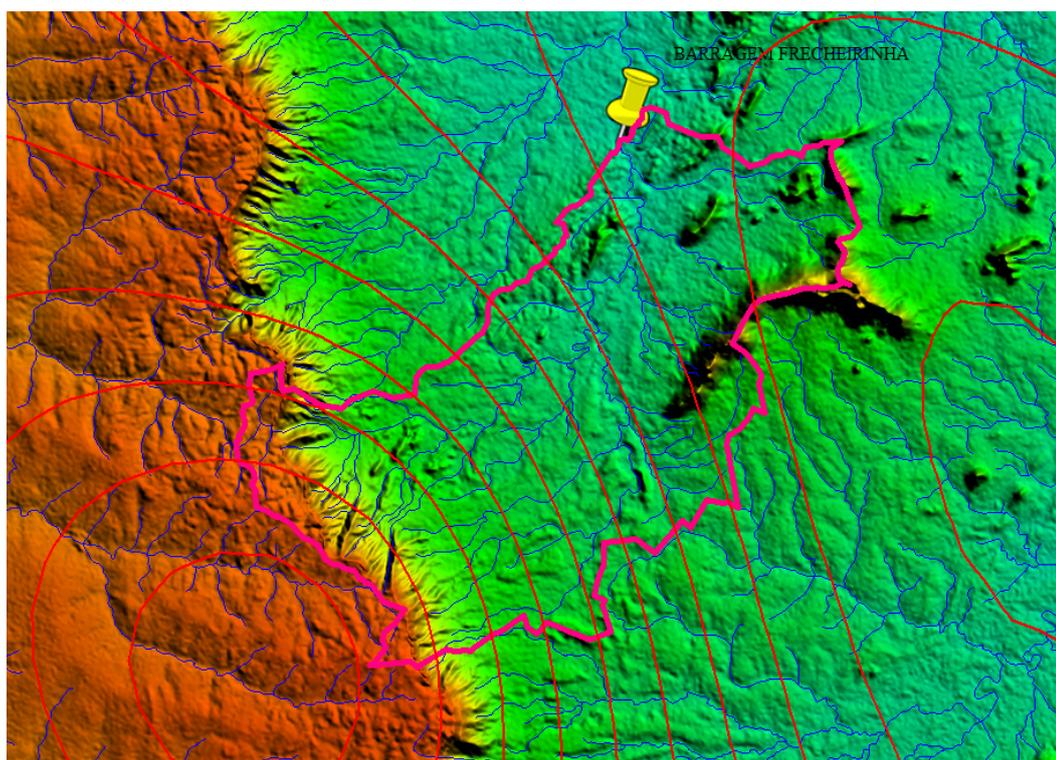
CÓDIGO	POSTO	OPERADOR:	MUNICÍPIO	COORDENADAS		SÉRIE HISTÓRICA	PERÍODO
				LATITUDE	LONGITUDE		
340023	MUCAMBO	FUNCEME	MUCAMBO	-3:54:0	-40:46:0	85 Anos	1933 - 2017
340018	IBIAPINA	FUNCEME	IBIAPINA	-3:55:0	-40:53:0	106 Anos	1912 - 2017
340031	UBAJARA	FUNCEME	UBAJARA	-3:51:0	-40:55:0	106 Anos	1912 - 2017
340055	FAZENDA CAIÇARA	DNOCS	FRECHEIRINHA	-3:46:0	-40:49:0	2 Anos	1984 - 1985
340015	FRECHEIRINHA	FUNCEME	FRECHEIRINHA	-3:46:0	-40:49:0	84 Anos	1934 - 2017
340072	UBAUNA	FUNCEME	COREAÚ	-3:44:0	-40:41:0	18 Anos	2000 - 2017
340048	SÃO JOSÉ DO TORTO	FUNCEME	SOBRAL	-3:47:0	-40:39:0	21 Anos	1997 - 2017
340098	RAFAEL ARRUDA	FUNCEME	SOBRAL	-3:50:0	-40:40:0	20 Anos	1998 - 2017

A caracterização pluviométrica tem como objetivo determinar a altura média de precipitação sobre a bacia do açude Frecheirinha. Para esta estimativa foram adotados dois métodos, o Método das Isoietas e o Método de Thiessen.

No Método das Isoietas, são traçadas as isoietas ou curvas que unem pontos de igual precipitação, calculando-se, em seguida, áreas contidas entre duas isoietas contíguas e a precipitação média em cada área parcial, que é determinada fazendo-se a média dos valores de duas isoietas.

A **Figura 6.3** apresenta as isoietas da região adjacente ao município de Frecheirinha. Observa-se elevada variação da pluviosidade, na região da bacia hidrográfica, onde as chuvas anuais variam de 700mm aa 1.600mm. Pelo método das isoietas, a precipitação média na bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha é de 1.180 mm/ano. O **Quadro 6.5** é a memória de cálculo da precipitação média anual (1.180mm) para a bacia hidrográfica da barragem Frecheirinha.

Figura 6.3 - Isoietas da Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha



Quadro 6.5 - Precipitação Média na Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha

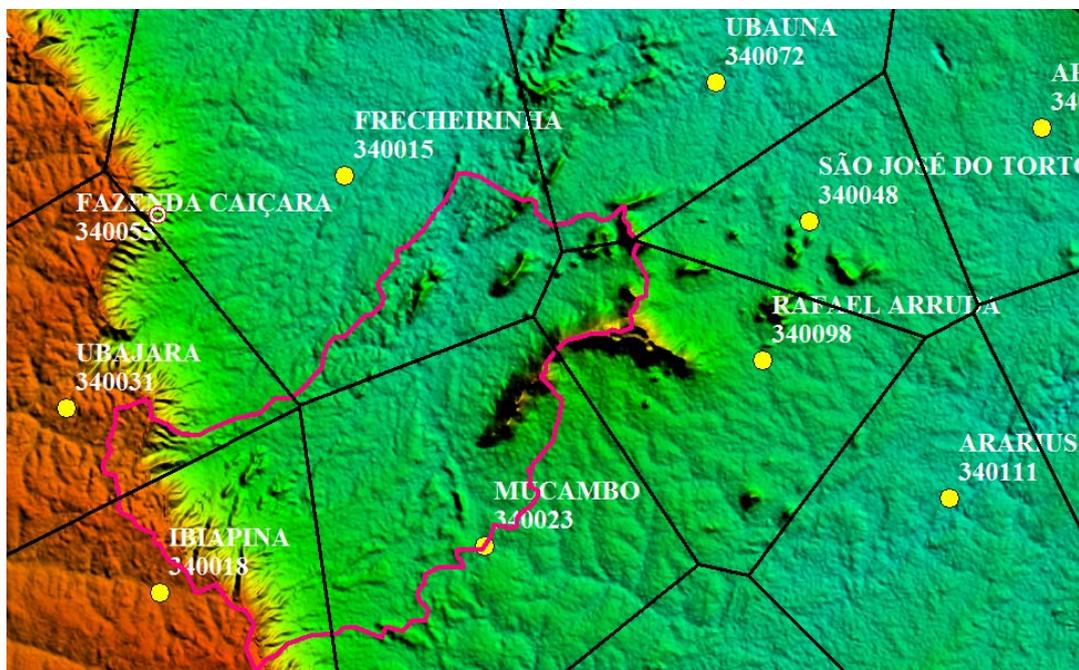
Precipitação (mm)	Precipitação Média (mm)	Área (km)	Precipitação x Área (mm x km)
700 - 800	750	14,1	10.575
800 - 900	850	26,0	22.100
900 - 1000	950	19,9	18.905
1000 - 1100	1050	19,1	20.055
1100 - 1200	1150	18,1	20.815
1200 - 1300	1250	21,0	26.250
1300 - 1400	1350	27,3	36.855
1400- 1500	1450	35,7	51.765
1500 - 1600	1550	17,4	26.970
Total		198,6	234.290
Precipitação Média (mm/ano)			1.180

Fonte: Cálculo pelo método das isoietas.

Pelo método de Thiessen, a bacia é subdividida em áreas delimitadas por retas unindo os pontos das estações, dando origem a vários triângulos. Traçando perpendiculares aos lados de cada triângulo, são obtidos vários polígonos que encerram, cada um, apenas um posto de observação. Admite-se que cada posto seja representativo daquela área, onde a altura da chuva precipitada é tida como constante. Cada estação

recebe um peso pela participação na área total da bacia. Se os polígonos abrangem áreas externas à bacia, essas porções são eliminadas no cálculo.

Figura 6.4– Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha - Polígonos de Thiessen



Aplicando-se o método de Thiessen, verifica-se que o posto de Mucambo (340023) é o posto mais abrangente da área, com 42,4% de influência, seguido do posto de Ibiapina com 23,7% de influência da bacia. O posto Fazenda Caiçara, devido à baixa quantidade de dados observados, foi desconsiderado, enquanto o posto São José do Torto, apesar de ser uma estação localizada próxima da área de estudo, não apresenta influência na bacia hidrográfica. A influência de cada posto na precipitação que ocorre na bacia de contribuição do açude Frecheirinha está no **Quadro 6.6**, a seguir.

Quadro 6.6 – Influência dos Postos na Bacia Hidrográfica da Barragem

Código	Posto	Área (km ²)	Influência na Bacia (%)
340023	MUCAMBO	84,2	42,40%
340018	IBIAPINA	47,1	23,70%
340031	UBAJARA	10,2	5,10%
340015	FRECHEIRINHA	40,4	20,30%
340072	UBAUNA	3,5	1,80%
340098	RAFAEL ARRUDA	13,2	6,60%
TOTAL		198,5	100,00%

Calculando-se a média ponderada pela influência de cada posto, segundo o Polígono de Thiessen, são encontrados os dados da distribuição das precipitações mensais. (**Quadro 6.7**).

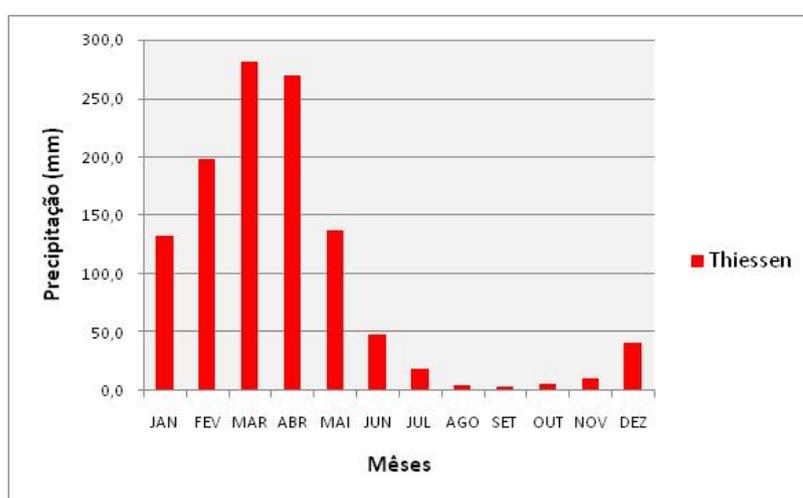
Quadro 6.7 - Precipitação Média Mensal dos Postos e da Bacia – Método de Thiessen

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
MUCAMBO	122,3	178,7	246,9	239,8	126,3	41,2	14,1	3,0	1,6	6,7	8,2	37,2	1.026,0
IBIAPINA	182,2	266,1	387,4	368,5	195,2	75,7	33,6	11,2	8,6	8,6	18,2	60,8	1.616,1
UBAJARA	153,7	242,1	347,6	340,1	185,9	76,4	29,6	9,6	5,4	6,5	11,9	51,7	1.460,5
FRECHEIRINHA	106,4	178,2	270,5	245,9	108,9	33,2	17,3	1,8	1,3	3,9	7,9	36,4	1.011,7
UBAUNA	89,8	151,9	160,4	154,2	74,2	22,7	11,7	0,0	0,0	2,8	1,5	11,4	680,6
RAFAEL ARRUDA	92,0	117,0	138,0	155,0	56,0	15,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	578,6
THIESSSEN	132,3	198,0	281,4	269,6	136,6	47,5	19,3	4,8	3,3	6,1	10,0	40,7	1.149,5

A precipitação média anual, calculada pelo método de Thiessen, foi de 1.149,5mm/ano, sendo um valor muito próximo à precipitação calculada pelo método das Isoietas, de 1.180 mm/ano (diferença de 2,75%).

Percebe-se, pela distribuição mensal das chuvas, que o principal sistema atuante na bacia é a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, responsável pelas chuvas de janeiro a maio.

Figura 6.5 - O Regime de Chuvas na Bacia por Thiessen

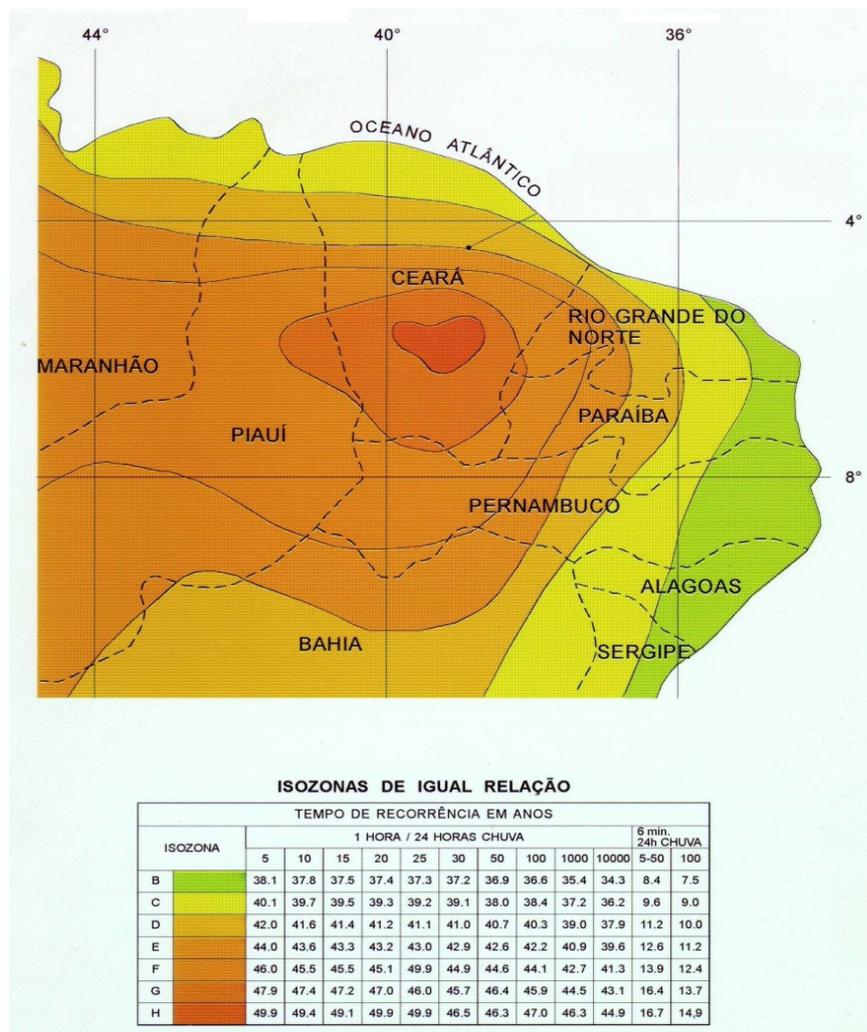


6.3 - O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA

6.3.1 - METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS CHUVAS INTENSAS

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o Método das Isozonas (Taborda Torrico, 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 Torrico, 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 6.6).

Figura 6.6 - Isozonas de Igual Relação no Nordeste Setentrional



6.3.1.1 - Determinação dos Valores das Precipitações Máximas Anuais

O estudo de chuvas extremas na bacia hidrográfica da Barragem Frecheirinha foi feito a partir dos dados dos postos mais próximos à área da bacia, ponderando a precipitação com os fatores de influência de Thiessen. O **Quadro 6.8**, a seguir, apresenta os valores ponderados para o período de 1912 a 2016.

Para a série de chuvas máximas anuais foram testados, com ajustamentos, várias distribuições de probabilidades diferentes. O software avalia o ajuste dos dados analisados pela estatística de Anderson-Darling (AD). Em geral, quanto melhor a distribuição se ajusta aos dados, menor a estatística AD. No **Quadro 6.9**, a seguir, são apresentadas as distribuições que mais se ajustam aos dados, além dos dados de precipitação para o período de retorno de 100 anos (1% de probabilidade de ocorrência). Pelos dados obtidos, e analisando o quadro apresentado, a distribuição de melhor ajuste é a Log-Normal, com $AD=0,375$ e precipitação de 163,70 mm.

Quadro 6.8 – Precipitações Máximas Diárias na Bacia Hidrográfica

Ano	Precipitação (mm)								
1912	86,7	1933	76,3	1954	111,6	1975	86,4	1996	88,8
1913	72,7	1934	83,8	1955	97,4	1976	60,3	1997	84,4
1914	68,5	1935	83,1	1956	92	1977	87,8	1998	59,2
1915	64,9	1936	73,7	1957	99,2	1978	82,6	1999	73,3
1916	69,3	1937	73,6	1958	64,6	1979	78,9	2000	60,4
1917	74,3	1938	66	1959	101,6	1980	69,5	2001	100,3
1918	71,8	1939	76,1	1960	81,8	1981	63,9	2002	96,1
1919	50,1	1940	79,6	1961	104,8	1982	70,6	2003	75
1920	72,9	1941	64	1962	114,5	1983	80,3	2004	72,5
1921	89,4	1942	78,3	1963	103,3	1984	92	2005	69,7
1922	131,3	1943	67,2	1964	74,2	1985	104	2006	76,2
1923	77,2	1944	114,6	1965	90	1986	106,6	2007	77,5
1924	87,7	1945	86,4	1966	73,5	1987	92,7	2008	106,5
1925	102	1946	79,4	1967	96,1	1988	91,6	2009	131,5
1926	60,3	1947	115,1	1968	79,8	1989	75,3	2010	132,4
1927	81,8	1948	62,5	1969	65,9	1990	89,4	2011	101,9
1928	57	1949	64,6	1970	87,4	1991	74,7	2012	77,5
1929	102,9	1950	74,8	1971	79,6	1992	54,4	2013	34
1930	162,7	1951	95,9	1972	52,3	1993	67,6	2014	79,2
1931	62	1952	81	1973	108,2	1994	87	2015	72,2
1932	84,8	1953	94,3	1974	82,7	1995	88,2	2016	61,3

Quadro 6.9 - Distribuições de Melhor Ajuste pela Estatística Anderson-Darling

Item	Tipo de Distribuição	Anderson-Darling (AD)	TR=100 Anos
1	Gama	0,497	153,05
2	3 parâmetros gama	0,474	148,51
3	3 parâmetros weibull	1,379	116,91
4	3 parâmetros log-normal	0,389	174,5
5	Normal	1,224	142,57
6	Exponencial	29,967	573,33
7	2 Parametros Exponencial	19,61	341,72
8	Weibul	2,443	143,14
9	Smallest Extreme Value	5,948	141,05
10	Largest Extreme Value Transformation	0,606	189,54
11	Log-Normal	0,375	163,7

Com base na distribuição de frequência, as probabilidades de ocorrência com a precipitação máxima diária, as chuvas com durações de um dia para os períodos de retorno de 1.000 anos e 10.000 anos, seguindo a distribuição Log-Normal, são, respectivamente, 163,7mm e 188,94mm.

6.3.1.2 - Chuvas Máximas com Durações de 24 Horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração foram obtidas multiplicando-se os valores das precipitações máximas diárias, para os períodos de retorno de 1.000 anos e 10.000, do parágrafo anterior pelo fator 1,10 (para P 1dia). Assim:

$$P_{1000}=180,07\text{mm e}$$

$$P_{10000}=207,83\text{mm.}$$

6.3.1.3 - 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 pelo fator R.

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

Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos da tabela contida na **Figura 6.6**. 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 km². As Precipitações Máximas Intensas com duração de 1 hora e 24 horas associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos estão apresentadas no **Quadro 6.10**, a seguir.

Quadro 6.10- Precipitações Máximas Intensas

Período de Retorno - 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

6.3.1.4 - Conversão da Chuva Pontual em Chuva Espacial

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

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

W = parâmetro regional;

PA = precipitação sobre toda a área;

P0 = chuva pontual;

A = área em estudo; e

Ao = 25 km² (área base para chuva pontual)

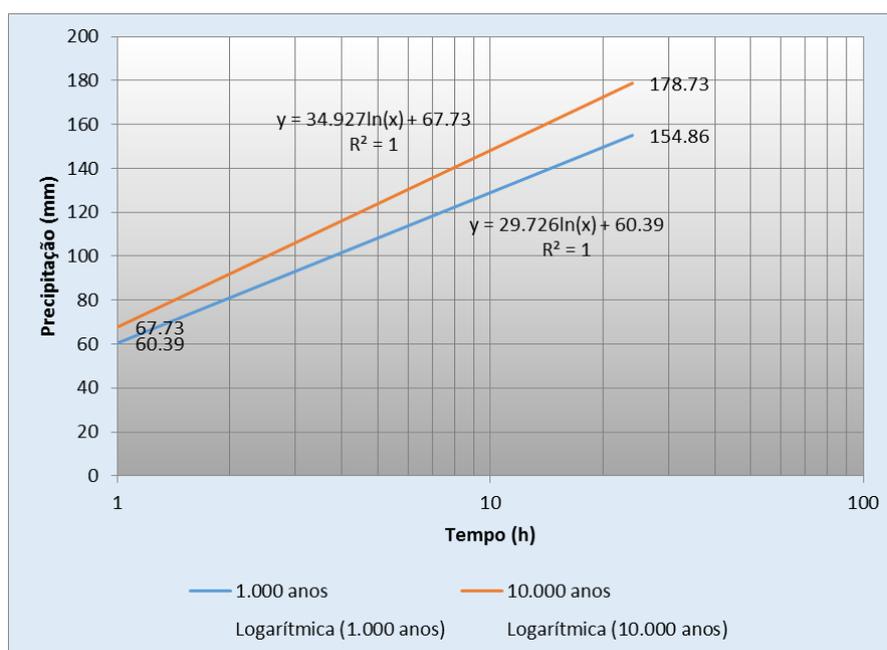
Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos no **Quadro 6.11** que mostra a transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas sobre a bacia hidrográfica.

Quadro 6.11 - Transformação da Chuva Máxima e Intensa Pontual em Espacial

Tr	Po 24h	Po 1h	A	A/A0	W	$r = 1 - W \cdot \log(A/A_0)$	PA 24h=r.Po 24h	PA 1h=r.Po 1h
1.000 anos	180,07	70,22	194,50	7,78	0,16	0,86	154,86	60,39
10.000 anos	207,83	78,76	194,50	7,78	0,16	0,86	178,73	67,73

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observadas na **Figura 6.7**, para a bacia da barragem Frecheirinha.

Figura 6.7 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência



Embora o tempo de concentração da bacia da barragem Frecheirinha seja igual a 3,48 horas, foram determinadas as suas distribuições acumuladas de chuva, ao longo do dobro de T_c , para o valor de 7 horas (**Quadro 6.12**).

Quadro 6.12 - Distribuição Acumulada da Chuva a cada Intervalo de 1 hora

Duração da Chuva (horas)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Precipitação (mm)	Tr = 1.000	60,39	80,99	93,05	101,6	108,23	113,65	118,23	122,2	125,7	128,84
	Tr = 10.000	67,73	91,94	106,1	116,15	123,94	130,31	135,69	140,36	144,47	148,15

6.3.1.5 - Chuva de Projeto

No **Quadro 6.13**, obteve-se a chuva milenar de 118,23 mm e a decamilenar de 135,69. A distribuição das precipitações, ao longo dos períodos, seguiu metodologia proposta pelo NWS - National Weather Service.

Quadro 6.13 - Chuva de Projeto – Tr= 1.000 anos e Tr=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	0,74	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	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	3,27	3,81
190	3,2	6,49	7,59
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	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	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	0,76	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	0,58	0,68
TOTAL		118,23	135,69

6.4 - ESTUDOS DO REGIME FLUVIAL

6.4.1 - DADOS FLUVIOMÉTRICOS DISPONÍVEIS

Não há posto fluviométrico no riacho Caiçara que será barrado para a formação do açude Frecheirinha. O posto fluviométrico de Moraújo (código 35125000), pertencente ao mesmo sistema de drenagem do riacho Caiçara, está localizado no rio Coreaú, a cerca de 42km, a jusante do local da barragem. Ainda fora do sistema do riacho Caiçara há o posto Fazenda Caiçara (Código: 35100000) e o posto do açude Trapiá III (Código: 35118000), com pequenas séries de dados de 2 anos e 6 anos.

Como não existem postos fluviométricos, na área da bacia hidrográfica, foi utilizado o modelo chuva x deflúvio para calcular as vazões geradas na bacia. Para tanto, foi escolhido o posto pluviométrico de Frecheirinha (Código: 340015), pois este é o posto com maior série histórica e melhor representatividade na bacia de contribuição. Para fazer as aferições das vazões foi utilizado o posto fluviométrico de Moraújo.

6.4.2 - ESTUDO DE VAZÕES AFLUENTES

A estimativa das vazões afluentes mensais ao reservatório Frecheirinha foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação de sua operação. O modelo hidrológico escolhido foi o SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), desenvolvido por Lopes et al. (1981). O SMAP é um modelo chuva-vazão do tipo conceitual e concentrado e a versão utilizada neste trabalho possui discretização temporal mensal. Os dados utilizados para a calibração dos parâmetros do modelo chuva-deflúvio SMAP foram os referentes ao próprio posto fluviométrico de Moraújo (35125000).

O modelo SMAP, assim como outros modelos conceituais, procura representar o armazenamento e os fluxos de água na bacia, através de reservatórios lineares fictícios. O modelo possui uma estrutura relativamente simples, composta por dois reservatórios que tentam representar o armazenamento e os fluxos na camada superior do solo e no aquífero.

A cada evento de precipitação (P), realiza-se um balanço de massa na bacia em estudo. Uma parcela de (P) é transferida como escoamento superficial (ES), estimado por uma equação exponencial que depende de P, da taxa de umidade do solo (TU) e de um expoente Kes.

O processo de calibração do modelo foi realizado com base na série entre o período de 1982 – 2016 para toda a bacia de contribuição do posto fluviométrico de Moraújo (área de 1.392 km²). A calibração chegou aos valores de SAT = 1.850,5, Kes=2,8, CREC=2,2, EB = 6, obtendo um coeficiente de regressão de 0,62.

Avaliando a calibração por meio da média histórica, verificou-se excelente aproximação, com média de vazão observada de 7,17 m³/s e média calculada de 7,69 m³/s.

Mediante a calibração do modelo, gerou-se a série de vazões fluviométricas pseudo-históricas para o reservatório de Frecheirinha, para o período de 1934 a 2016, considerando neste caso a bacia de contribuição da barragem.

6.5 - VAZÃO REGULARIZADA

Para obter a vazão regularizada do reservatório da Barragem Frecheirinha, foi calculada a vazão regularizada para diversas cotas e capacidades de acumulação. Para o cálculo das vazões, adotou-se o método do diagrama triangular de regularização de Campos (1987). Este método é um modelo gráfico para dimensionamento hidrológico de reservatórios de águas superficiais, situados em regiões com rios intermitentes, sujeitos a altas taxas de evaporação. O modelo busca a solução da equação:

$$PE = f(K, CV, m, PJ, Ev, a, m)$$

Onde:

PE = probabilidade de o reservatório esvaziar em um dado ano;

K = capacidade do reservatório;

Cv = coeficiente de variação dos deflúvios anuais;

μ = valor médio dos deflúvios anuais;

PJ = probabilidade de um ano ser totalmente seco;

Ev = lâmina evaporada do reservatório durante a estação seca;

α = fator de forma da bacia hidráulica obtido supondo que a relação cota volume é do tipo $V = \alpha h^3$

m = Retirada anual do reservatório para fins utilitários.

Apresenta-se, a seguir, o **Quadro 6.14** com o cálculo dos volumes regularizados, vertidos e evaporados. A vazão regularizada para 90% de garantia foi determinadas nos estudos hidrológicos em 655 l/s.

Quadro 6.14 - Série Fluviométrica Gerada Afluente ao Reservatório Frecheirinha

Cota (m)	Percentual Regularizado (%)	Percentual evaporado (%)	Percentual sangrado (%)	Volume anual regularizado (hm ³ /ano)	Volume evaporado (hm ³ /ano)	Volume sangrado (hm ³ /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

Fonte: Estudos Hidrológicos -

6.6 - ESTUDOS DE CHEIAS

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de cheia sintética, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. As cheias de projeto, com período de retorno de 1.000 e 10.000 anos, foram utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da Barragem Frecheirinha. O programa utilizado foi o HEC-HMS, desenvolvido pelo Hydrologic Engineer Center, do U.S. Army Corps of Engineers (EUA).

O programa define três diferentes métodos para a determinação das cheias sintéticas: a) a cheia de projeto padrão (standard project storm); b) a cheia máxima provável e, c) 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).

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros foram inicialmente estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. O intervalo de cálculo deve ser suficientemente curto para definir com precisão o hidrograma de cheia. Foi adotado um intervalo de tempo (Δt) igual a 10 minutos.

6.6.1 - O MÉTODO CURVA-NÚMERO

O método Curva-Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo SCS do USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos,

no qual a lâmina escoada, isto é, a altura de chuva efetiva é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea e (4) condição de umidade antecedente.

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Onde: Q = escoamento, P = precipitação, S = capacidade máxima de armazenamento do solo e I_a = perdas antes do início do escoamento. A fórmula acima foi trabalhada fazendo-se algumas considerações chegando a:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Em que CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Os solos da bacia hidrográfica da barragem Frecheirinha, são basicamente do tipo litólico e podzólico. Também é levada em consideração a vegetação existente e o tipo de uso do solo. O tipo de uso foi definido em duas grandes classes: Áreas de agricultura e áreas de pastagem. O CN da bacia hidrográfica foi estimado a partir das informações do uso e ocupação do solo, tipo de solos e umidade antecedente da bacia, usando tabelas publicadas pelo SCS.

No caso da Bacia Hidrográfica da Barragem Frecheirinha, a estimativa do valor de CN foi definida para cada mancha de solo (para determinação do grupo hidrológico em que se enquadrava), e detalhando os tipos de uso de solo, obtendo-se o valor médio de CN= 78.

6.6.2 - MÉTODO CHUVA-DEFLÚVIO ADOTADO

O Método do Hidrograma Unitário somente deve ser aplicado em bacias hidrográficas com áreas de até 2.500 km². A bacia hidrográfica da Barragem Frecheirinha está dentro deste limite.

O programa HEC-HMS dispõe de várias metodologias para a transformação de precipitação em escoamento superficial. A metodologia adotada foi o Método do

Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvido pelo U. S. Soil Conservation Service (1972). Este método, largamente utilizado em estudos desta natureza no Nordeste, se baseia em um hidrograma adimensional, resultado da análise de um grande número de hidrogramas unitários naturais de bacias de variadas extensões e localizações geográficas. De simples aplicação, depende basicamente do tempo de concentração da bacia e nas relações geométricas.

O Hidrograma Triangular do SCS tem seu tempo de pico igual a:

$$t_p = 0,5t_r + 0,6t_c \quad (\text{HU-1})$$

Onde: t_r = tempo de duração da chuva unitária, em horas (recomenda-se $t_r=0,2t_c$ para reduzir o trabalho de cálculo), e t_c = tempo de concentração da bacia (em horas).

O tempo de base t_b é dado por:

$$t_b = 2,67t_p \quad (\text{HU-2})$$

Obtém-se a descarga de pico q_p , observando-se que a área do triângulo representa o volume escoado da bacia para um deflúvio de 1mm.

$$q_p = \frac{2 \times P \times A}{t_b} \quad (\text{HU-3})$$

Onde: P é igual a 1mm, A é a área da bacia e t_b é o tempo de base.

Utilizando-se as equações (HU-1) a (HU-3) e sabendo-se o tempo de concentração, têm-se que o hidrogramas unitários das mesmas, para uma chuva de 1mm e de duração 1/5 do tempo de concentração.

6.6.3 - 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:

$$PE = (P - 5.080/CN + 50,8)^2 / (P + 20.320/CN - 203,2) \quad (\text{HU-4})$$

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.

6.6.4 - CHEIAS MÁXIMAS AFLUENTES E EFLUENTES

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 obtiveram-se os seguintes resultados de lâmina de sangria e vazões afluentes e efluentes. (**Quadro 6.15 e Quadro 6.16**)

Observa-se que a cheia milenar atinge valores de 912,21 m³/s e a decamilenar chega a 1.118,1 m³/s. O amortecimento da cheia também foi significativo, variando aproximadamente entre 77,4% a 91,3%.

Quadro 6.15 - Resultados dos Estudos de Cheia Tr=1.000 anos

Cheias	Largura do Vertedouro				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	912,21 m³/s				
Cheia Efluente	79,70 m ³ /s	111,96 m ³ /s	140,93 m ³ /s	167,23 m ³ /s	191,37 m ³ /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	91,30%	87,70%	84,60%	81,70%	79,00%

Quadro 6.16 - Resultados dos Estudos de Cheia Tr=10.000 anos

Cheias	Largura do Vertedouro				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	1.118,1 m³/s				
Cheia Efluente	104,79 m ³ /s	147,42 m ³ /s	185,83 m ³ /s	220,84 m ³ /s	253,16 m ³ /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	90,60%	86,80%	83,40%	80,20%	77,40%

6.7 - ESTUDO DE PROBABILIDADE DE ENCHIMENTO

A viabilidade hidrológica, ou seja, se o regime de vazões naturais é suficiente para abastecer o reservatório com a dimensão e a retirada determinadas, foi verificada por meio de um estudo de probabilidade de enchimento.

Este estudo apresenta, por meio da simulação de conjunto de anos da série histórica de vazões afluentes, as probabilidades de o reservatório partir da situação de volume zero para a de volume completo em função do número de anos seguintes o que equivale também à probabilidade do reservatório encher nos primeiros anos após a construção.

O estudo de probabilidade de enchimento foi realizado mediante simulação mensal da variação de volume do reservatório para conjuntos de anos da série pseudo histórica de vazões afluentes.

A simulação foi realizada por meio da equação do balanço hídrico:

$$V(t+1)=V_t+Q_{in}-EAs(V_t)-Q_{out}-V_{ert}$$

onde

V_{t+1} é o volume do reservatório ao final do mês t em hm^3

V_t é o volume do reservatório no início do mês t em hm^3 ,

Q_{in} é a vazão em afluente ao reservatório no mês t em $hm^3/mês$,

E é a lâmina evaporada mensal média em hm

As é a área do espelho d'água em hectares que é função do volume do reservatório

Q_{out} é a vazão regularizada em $hm^3/mês$

V_{ert} é o volume vertido no intervalo em hm^3 .

Para encontrar as probabilidades de enchimento, foram simulados todos os conjuntos sequenciais de anos da série de vazões afluentes e analisada a frequência com que o reservatório alcançou o volume máximo nas simulações. Deste modo, caso o reservatório apresentasse probabilidade de enchimento de 0.6 para 3 anos significaria que em 60% de todos os conjuntos de 3 anos sequenciais da série histórica, o reservatório apresentaria volume completo pelo menos uma vez. Neste estudo foram realizadas análises para os conjuntos de 1 a 8 anos seqüenciais.

tpfe.com.br

Os resultados da simulação indicam que o reservatório possui baixa probabilidade de enchimento para 1 ano (cerca de 11%) e já apresenta probabilidade considerável para os conjuntos de 2 anos (63%). Verifica-se, também, que a partir de 3 anos a probabilidade de enchimento do reservatório se torna 100%. Esta probabilidade de 100% significa que o reservatório encheria para todas as sequências de 3 anos ou mais da série histórica, o que é um indicador positivo da viabilidade hidrológica do reservatório.

6.8 - ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO

A formação de um reservatório por meio da construção de uma barragem altera as condições naturais do curso d'água, o que resulta na redução das velocidades da corrente e provoca a deposição dos sedimentos conduzidos pelo curso d'água. O assoreamento diminui gradativamente a capacidade de armazenamento e de regularização do reservatório e limita a sua vida útil.

Foi realizado um estudo de análise da possibilidade de assoreamento que buscou determinar a taxa de assoreamento do reservatório projetado, com a utilização do método simplificado proposto para os reservatórios cearenses por Negreiros e Lima Neto (2014).

Para analisar a possibilidade de assoreamento de reservatórios são geralmente utilizadas técnicas de medições de campo em conjunto com modelagem matemática. Entretanto estas técnicas são dispendiosas considerando que no Estado não existe rede de monitoramento de sedimentos e devem ser simplificadas para o projeto de reservatórios do semiárido cearense visto que por características naturais ou pela existência de densas redes de reservatórios menores apresentam taxas de assoreamento bem inferiores a de outras regiões do país (NEGREIROS e LIMA NETO, 2014).

Araujo (2003) considerou a simplificação de que os sedimentos transportados nas regiões semiáridas provêm em maior parte da erosão laminar, não havendo erosão nem depósito de sedimentos nos rios, e desenvolveu o modelo Hidrosed de estimativa de assoreamento em reservatórios de clima semiárido baseado na equação universal de perda de solo (USLE).

O Hidrosed estima o assoreamento a partir de parâmetros topográficos, pluviométricos, pedológicos e de cobertura vegetal da bacia hidrográfica. Sua aplicação para reservatórios do semiárido cearense encontrou taxa média de assoreamento de 1,85% por década (ARAUJO, 2003). Entretanto, apesar de mais simples, o Hidrosed ainda é dispendioso e necessita de parâmetros obtidos por medições de campo.

Visando a elaboração de uma metodologia mais rápida e simplificada e possíveis de aplicação na fase de planejamento, Negreiros e Lima Neto (2014) desenvolveram um modelo empírico que relaciona a taxa de assoreamento dos reservatórios exclusivamente ao regime de precipitação da bacia hidrográfica.

Este modelo denominado de Método Simplificado foi calibrado e teve seus parâmetros determinados para os reservatórios do Estado do Ceará resultando na seguinte equação:

$$\begin{cases} V_{t+1} = V_t * (1 - \varphi) \\ \varphi = 93,9 * \sum_{m=1}^{12} R'_m \quad (7.2) \\ R'_m = p^{15} / P^3 \end{cases}$$

Onde

V_{t+1} é o volume do reservatório ao final do ano t,

V_t é o volume do reservatório no início do ano t,

φ é a taxa de assoreamento anual do reservatório,

R'_m é a erosividade média da chuva para cada um dos meses,

p é a precipitação média do mês e

P é a precipitação anual média.

O regime médio de precipitações, as erosividades e a taxa de assoreamento estão apresentados no **Quadro 6.17**. A taxa de assoreamento (φ) encontrada de 0.1% ao ano ou de 1% por década mostra a redução porcentual da capacidade de armazenamento em relação à capacidade inicial e indica que seriam necessários 1.000 anos para que o reservatório após a construção assoreasse completamente.

Quadro 6.17 –Determinação da Taxa de Assoreamento (φ)

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
p (mm)	132.3	198	281.4	269.6	136.6	47.5	19.3	4.8	3.3	6.1	10	40.7	1149.5
R'm	1,00E-06	2,00E-06	3,00E-06	3,00E-06	1,00E-06	2,00E-07	6,00E-08	7,00E-09	4,00E-09	1,00E-08	2,00E-08	2,00E-07	1,00E-05
φ (%/ano)	0.1												

7 – SUSTENTABILIDADE DO PROJETO - CONCLUSÕES

7 - SUSTENTABILIDADE DO PROJETO – CONCLUSÕES

7.1 - SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL

O Estado do Ceará instituiu o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos, que tem por objetivo: coordenar a gestão integrada das águas; implementar a Política Estadual de Recursos Hídricos; planejar, normatizar e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; conceder outorga do direito do uso dos recursos hídricos e licença para construção de obra de infra-estrutura hídrica; e promover a cobrança pelo uso desses recursos.

Este Sistema tem como estrutura organizacional o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, a Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH e os Comitês de Bacias Hidrográficas. O Sistema funciona de forma integrada e mediante a articulação coordenada entre os órgãos e entidades que o constituem e a sociedade civil.

Em 18 de novembro de 1993, foi sancionada a Lei Estadual nº 12.217, que criou a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH. A lei estabelece que a companhia tem por finalidade gerenciar a oferta dos recursos hídricos constantes dos corpos d'água superficiais e subterrâneos de domínio do Estado, visando a equacionar as questões referentes ao seu aproveitamento e controle.

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, vinculada à Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH, é a instituição de gerenciamento de recursos hídricos de domínio do Estado ou da União, por delegação. O art. 51 da Lei Estadual dos Recursos Hídricos disciplina que, na implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, compete à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos:

- I. realizar obras e serviços de operação e manutenção dos sistemas hídricos e o monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, conforme a Política Estadual de Recursos Hídricos;
- II. realizar estudos técnicos para implementação, efetivação e alteração das tarifas pelo uso dos recursos hídricos, de acordo com o estabelecido no art. 16, desta Lei;
- III. receber recursos financeiros oriundos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FUNERH, e aplicá-los nas atividades de gerenciamento dos recursos hídricos;

- IV. receber e aplicar outros recursos financeiros não previstos no inciso anterior;
- V. manter atualizado o balanço da disponibilidade e demandas de recursos hídricos em sua área de atuação, comunicando os dados à SRH;
- VI. manter atualizado o cadastro de usuários de recursos hídricos;
- VII. elaborar os Planos de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas, de acordo com os respectivos Comitês de Bacias Hidrográficas para apreciação dos órgãos competentes mencionados nesta Lei;
- VIII. apresentar aos Comitês de Bacias Hidrográficas para deliberação:
 - a) estudos para o enquadramento dos corpos d'água nas classes de usos preponderantes;
 - b) valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos;
 - c) planos de aplicação dos recursos financeiros arrecadados com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.
- IX. apoiar a organização de usuários com vistas à formação de Comitês de Bacias Hidrográficas e Comissões Gestoras de Sistemas Hídricos, prestando apoios técnico, administrativo e financeiro necessários ao funcionamento dos mesmos, através das Gerências de Bacias;
- X. exercer a Secretaria Executiva dos Comitês de Bacias Hidrográficas;
- XI. elaborar o relatório de situação anual dos recursos hídricos para aprovação do CONERH e divulgação;
- XII. emitir parecer prévio, de natureza técnica, sobre pedidos de outorga de uso de recursos hídricos e de execução de obras e/ou serviços de interferência hídrica, quando solicitado pela SRH;
- XIII. efetivar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e aplicá-la conforme suas atribuições.

Portanto, o Estado do Ceará possui todo um arcabouço jurídico-administrativo para a operação e gerenciamento dos recursos hídricos, tendo sido pioneiro no País no estabelecimento de leis, normas e procedimentos administrativos para o cumprimento destas tarefas.

Por ser uma companhia de economia mista, a COGERH tem maior autonomia administrativa e financeira, que possibilita o pleno exercício das funções de órgão executivo da gestão da água no estado. Como possui receita própria, proveniente da cobrança pela utilização dos recursos hídricos, a COGERH não necessita submeter-se a todos os controles da burocracia pública.

7.2 - SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Os estudos hidrológicos indicam, com segurança, a sustentabilidade hídrica do empreendimento, como pode ser comprovado pelas informações fornecidas no Capítulo 6, onde estão reunidos os principais dados que comprovam a assertiva da sustentabilidade hídrica do açude Frecheirinha.

7.2.1 - VAZÕES REGULARIZADAS

Para obter a vazão regularizada do reservatório da barragem Frecheirinha, foi calculada a vazão regularizada para diversas cotas e capacidades de acumulação. O **Quadro 7.1**, a seguir, traz as informações de volumes anuais afluentes ao reservatório, referentes a diversas cotas. Na cota 131m, a cota de sangria definida no projeto, com acumulação de 82,17hm³, o volume anual regularizado é de 20,67hm³.

A vazão regularizada para 90% de garantia foi determinada nos estudos hidrológicos em 655 l/s.

Quadro 7.1- Série Fluviométrica Gerada Afluente ao Reservatório Frecheirinha

Cota (m)	Percentual Regularizado (%)	Percentual evaporado (%)	Percentual sangrado (%)	Volume anual regularizado (hm ³ /ano)	Volume evaporado (hm ³ /ano)	Volume sangrado (hm ³ /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

7.2.2 - PROBABILIDADE DE ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO

Para encontrar as probabilidades de enchimento, foram simulados todos os conjuntos sequenciais de anos da série de vazões afluentes e analisada a frequência com que o reservatório alcançou o volume máximo nas simulações.

Os estudos Hidrológicos mostraram que o reservatório possui baixa probabilidade de enchimento para 1 ano (cerca de 11%) e apresenta probabilidade considerável para a

série de 2 anos (63%). Também concluiu que a partir de 3 anos a probabilidade de enchimento do reservatório é de 100%. Esta probabilidade de 100% significa que o reservatório enche para todas as sequências de 3 anos ou mais da série histórica, o que constitui forte indicador positivo da viabilidade hidrológica do reservatório.

7.2.3 - AMORTECIMENTO DE CHEIAS

Os estudos hidrológicos concluíram que a cheia milenar atinge vazões de 912,21m³/s e de 1.118,1m³/s para a cheia decamilenar. Adotando-se os cenários de cheia do reservatório para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, considerando cinco opções para a largura do vertedouro, 40, 60, 80, 100 e 120m, obtiveram-se os resultados de lâmina de sangria e vazões afluentes e efluentes apresentadas nos quadros a seguir. O amortecimento da cheia também é significativo, variando entre 77,4% a 91,3%. O projeto da barragem definiu que a largura do vertedouro é de 60m.

Quadro 7.2 - Resultados dos Estudos de Cheia Tr=1.000 anos

Cheias	Largura do Vertedouro				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	912,21 m³/s				
Cheia Efluente	79,70 m ³ /s	111,96 m ³ /s	140,93 m ³ /s	167,23 m ³ /s	191,37 m ³ /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	91,30%	87,70%	84,60%	81,70%	79,00%

Quadro 7.3 - Resultados dos Estudos de Cheia Tr=10.000 anos

Cheias	Largura do Vertedouro				
	L=40m	L=60m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	1.118,1 m³/s				
Cheia Efluente	104,79 m ³ /s	147,42 m ³ /s	185,83 m ³ /s	220,84 m ³ /s	253,16 m ³ /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	90,60%	86,80%	83,40%	80,20%	77,40%

7.2.4 - POSSIBILIDADE DE ASSOREAMENTO

Foi realizado um estudo de análise da possibilidade de assoreamento que buscou determinar a taxa de assoreamento do reservatório projetado, com a utilização do método simplificado proposto para os reservatórios cearenses por Negreiros e Lima Neto (2014).

O regime médio e precipitações, as erosividades e a taxa de assoreamento estão apresentados no **Quadro 7.4**. A taxa de assoreamento (ϕ) encontrada de 0.1% ao ano ou de 1% por década mostra a redução porcentual da capacidade de armazenamento em relação à capacidade inicial e indica que seriam necessários 1.000 anos para que o reservatório após a construção assoreasse completamente.

Quadro 7.4 - Determinação da taxa de assoreamento (ϕ)

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
p (mm)	132.3	198	281.4	269.6	136.6	47.5	19.3	4.8	3.3	6.1	10	40.7	1149.5
R'm	1,00E-06	2,00E-06	3,00E-06	3,00E-06	1,00E-06	2,00E-07	6,00E-08	7,00E-09	4,00E-09	1,00E-08	2,00E-08	2,00E-07	1,00E-05
ϕ (%/ano)	0.1												

8 - BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

CEARÁ, Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH), Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha. Fase A – Estudo de Viabilidade. Etapa A1 – Estudo de Alternativas para a Localização da Barragem e Viabilidade Ambiental. Volume 1 – Relatório de Identificação de Obras – RIO e Estudos de Viabilidade Ambiental – EVA. Tomo 1 - Estudos de Alternativas de Localização da Barragem. Fortaleza, TPF, 2018.

_____, _____, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha. Fase A – Estudo de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 2C – Estudos Topográficos. Fortaleza, TPF, 2019.

_____, _____, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha. Fase A – Estudo de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 3 – Estudos Hidrológicos. Fortaleza, TPF, 2019.

_____, _____, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha. Fase A – Estudo de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 1 – Estudos Básicos. TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos. Fortaleza, TPF, 2019.

_____, _____, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha. Fase A – Estudo de Viabilidade. Etapa A2 – Estudos Básicos e Anteprojeto da Barragem. Volume 2 – Anteprojeto da Barragem. TOMO I – Relatório de Concepção do Anteprojeto. Fortaleza, TPF, 2019.

_____, _____, Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo da Barragem Frecheirinha. Fase A – Estudo de Viabilidade. Etapa A3 – Relatório Final de Viabilidade Técnico, Econômico e Financeiro - RFV. Volume 1 – Relatório Final de Viabilidade Técnico, Econômico e Financeiro. Fortaleza, TPF, 2019.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamenta o Inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal e altera p Art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990;

Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade Federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

Decreto 4.024, de 21 de novembro de 2001, e a Resolução ANA nº 194, de 16 de setembro de 2002, que determinam e orientam a emissão do Certificado de Avaliação da Sustentabilidade da Obra Hídrica – CERTOH;

Agência Nacional de Águas – ANA. Certificado de Avaliação da Sustentabilidade da Obra Hídrica – CERTOH – Manual do Usuário. Brasília, 2009.

Decreto Nº 9.666, de 2 de janeiro de 2019 - Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério do Desenvolvimento Regional.

Decreto 10000, de 03 de setembro de 2019, dispõe sobre o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos.

Lei Estadual nº 11.996, de 24 de julho de 1992, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH e dá outras providências.

Lei Estadual nº 12.217, de 18 de novembro de 1993, que cria a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH.

Decreto nº 27.271, de 28 de novembro de 2003, estabelece normas que disciplinam a concessão da outorga do direito de uso dos recursos hídrico dominiais do Estado do Ceará.

ANEXOS

Orientações gerais para a solicitação, junto à Agência Nacional de Águas – ANA, do Certificado de Avaliação da Sustentabilidade da Obra Hídrica CERTOH

1. Documentos Necessários

a) Ofício de solicitação do CERTOH

Enviado para:

Ao Senhor Superintendente de Outorga e Fiscalização
Agência Nacional de Águas
Superintendente de Outorga e Fiscalização
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco L
CEP 70610-200
Brasília DF

b) Formulários, registros e declarações devidamente preenchidos:

- (Formulário 1 – Dados da Obra; Formulário 2 – Requerimento CERTOH; Formulário 3 – Dados Cadastrais).
- Registro do empreendimento no sistema do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH (<http://www.cnarh.ana.gov.br>).
- Declaração da entidade operadora (COGERH), responsabilizando-se pela operação e manutenção do empreendimento.
- Declaração da entidade (COGERH), que arcará com os custos de operação e manutenção do empreendimento.

A SRH/COGERH deverá preparar uma declaração informando sua responsabilidade pela operação e manutenção do CAC, com a devida cobertura dos custos.

c) Comprovação de que o empreendimento poderá receber recursos da União para sua implementação no todo ou em parte (Rubricas orçamentárias);

Deverá ser apresentada a Classificação Funcional no Orçamento Geral da União, a Estrutura Programática, a Modalidade de Aplicação e a Dotação Orçamentária.

- d) Projeto Básico ou Executivo completo e respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica da empresa projetista;
- e) Outorga preventiva ou de direito de uso dos recursos hídricos ou instrumento equivalente, emitido pela autoridade competente.

Obs: A documentação de solicitação do CERTOH pode ser encaminhada concomitantemente com o pedido de outorga. No entanto, a ANA considera que a outorga é elemento primário para a obtenção do CERTOH.

REQUERIMENTO

(Nome ou Razão Social do requerente); **SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH CEARÁ**
 () CPF; (**x**) CNPJ: **11.821.253/0001-42** , vem requerer à Agência Nacional de Águas - ANA o especificado no quadro abaixo e o que consta dos formulários anexos e do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH, de acordo com o disposto na Resolução n.º 16, de 08 de maio de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, na Lei n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997, na Lei n.º 9.984, de 17 de julho 2000, no Decreto n.º 3.692, de 19 de dezembro de 2000, no Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934, e na legislação correlata.

Número da Declaração de Uso do CNARH: (<http://www.cnarh.ana.gov.br>)

Possui Licença Ambiental? () Sim () Não. Qual? () LP () LI () LO.

Nome do Órgão que concedeu a licença: _____

Possui Protocolo de Pedido de Licença Ambiental? () Sim () Não. Qual? () LP () LI () LO.

Nome do Órgão que emitiu o Protocolo: _____

Faça um **X** à esquerda da opção desejada para formular o pedido de outorga.

CATEGORIA	USO	FINALIDADE
<input checked="" type="checkbox"/> Outorga Preventiva *	Captação ou derivação de água	Abastecimento Público
<input type="checkbox"/> Outorga de direito de uso	Lançamento de efluentes	Aqüicultura
<input type="checkbox"/> Renovação	Micro Centrais Hidrelétricas ***	Combate a incêndio
<input type="checkbox"/> Alteração	Outros (especificar):	Dessedentação (e criação) Animal
<input type="checkbox"/> Transferência**	*** Aproveitamento de potenciais hidrelétricos com potência instalada igual ou inferior a 1000 kw.	Esgotamento Sanitário
* Indicada para empreendimentos que estão em fase de estudo. ** A Transferência só poderá ser realizada nas mesmas condições da outorga original. É obrigatório o envio do formulário específico preenchido pelo novo titular da outorga.		Indústria
		Irrigação
		Mineração
		<input checked="" type="checkbox"/> Obras Hidráulicas (barramento, canalização e retificação de rios)
		Serviços (desassoreamento, derrocamento, recuperação e limpeza de margens)
		Termelétrica
		Travessia (ponte, duto, passagem molhada)
	Outras Finalidades (paisagismo, lazer)	

Declaro que as informações prestadas são a expressão da verdade, sujeitando-me às penas da Lei. Declaro, também, que ficarão disponíveis à ANA, para consulta, durante o prazo especificado no ato da outorga, se for o caso, a documentação necessária que comprove a veracidade das informações prestadas neste Requerimento, nos demais documentos, formulários e na declaração CNARH.

Termos em que,
P. Deferimento.

_____, _____ de _____ de _____.

(Assinatura do requerente ou de seu representante legal)

Nome do representante legal: _____ CPF: _____.

Importante: Deverá ser enviada Procuração autenticada em cartório quando houver representante legal.

ENDEREÇO PARA ENVIO DO PEDIDO DE OUTORGA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA / SUPERINTENDÊNCIA DE OUTORGA E FISCALIZAÇÃO Setor Policial, Área 05 - Quadra 03, Bloco L, CEP: 70.610-200 – Brasília-DF. Informações: (61) 2109-5251/5228 Fax: 2109-5281 E-mail: geout@ana.gov.br ; cnarh@ana.gov.br

DOCUMENTAÇÃO A SER ANEXADA

Abastecimento Público:

Planilha ABASTECIMENTO, disponível no sítio da ANA na *internet*, preenchida e com declaração quanto aos valores de vazão futura resultantes. Caso V.S.^a concorde com tais valores, esses serão utilizados na análise do pedido. Descrição e croqui do sistema de abastecimento; contrato de concessão firmado entre a prestadora do serviço de água e a prefeitura, no caso de concessionárias; estudo de alternativas para o abastecimento público (informar a existência de fontes alternativas); justificativa do consumo *per capita* (para valores abaixo de 100L/hab.dia e para valores maiores que 200L/hab.dia); registros do sistema, caso o mesmo já esteja operando, mesmo parcialmente, contendo, para um período em comum o volume produzido, volume hidrometrado, o percentual de hidrometração e a população atendida; estudo populacional (somente para comunidades com mais de 2000 habitantes) para o período compreendido entre o ano base para a população atual até o fim de plano (horizonte de projeto); Descrição da forma de disposição dos efluentes da ETA; Descrição do sistema de coleta, tratamento e lançamento de esgotos.

Aqüicultura:

Descrição geral do empreendimento e das instalações a serem utilizadas na aqüicultura; Cálculo das necessidades de água para captação (considerar o aporte de água pela precipitação pluvial provável na região e as perdas de água por infiltração e evaporação).

Combate a incêndio:

Cálculo das necessidades de água para combate a incêndios; Cálculo das perdas de água; Descrição resumida do empreendimento; Descrição do sistema de tratamento de efluentes e de águas pluviais, com indicação da destinação das águas residuárias provenientes do combate a incêndio.

Dessedentação (e criação) Animal:

Descrição das demandas hídricas; Em caso de produção intensiva, projeto contendo descrição geral do empreendimento, com dados de produtividade, conversão alimentar, números de ciclos por ano, sistemas de produção, entre outros.

Esgotamento Sanitário:

Planilha ESGOTAMENTO, disponível no sítio da ANA na *internet*, preenchida e com declaração quanto aos valores de vazão futura e de concentrações de poluentes resultantes. Caso V.S.^a concorde com tais valores, esses serão utilizados na análise do pedido. Descrição do sistema de coleta, de tratamento e disposição do(s) efluente(s) produzido(s); Descrição do sistema de abastecimento de água existente; Planta de localização dos pontos de lançamento e de captação; Registros do sistema de abastecimento, contendo, para um período em comum o volume produzido, volume hidrometrado, o percentual de hidrometração e a população atendida

Indústria:

Descrição geral do empreendimento; Fluxograma simplificado do processo industrial, indicando todas as fases em que é utilizada a água (balanço hídrico); Demonstrativo de cálculo das necessidades de água, tanto para o processo industrial, quanto para outros usos.

Irrigação:

Planilha de IRRIGAÇÃO, disponível no sítio da ANA na *internet*

Mineração:

Plano de utilização da água (PUA), de acordo com a Resolução CNRH n.º 55/2005.

Obras Hidráulicas (barramento, canalização, retificação):

Descrição geral da obra e sua finalidade; Mapa de região onde será implantada a obra e sua localização; Estudos hidrológicos e hidráulicos; Laudo Técnico da Capitania dos Portos para verificação de interferência com a navegação; Fotos da barragem ou canalização, no caso de obra já existente.

Termelétrica:

Resumo do projeto e descrição do sistema; Balanço hídrico do processo; Fluxograma simplificado do processo indicando as fases em que é utilizada a água.

Travessia (ponte, duto, passagem molhada):

Descrição geral da obra e finalidade; Estudos hidrológicos e hidráulicos visando à caracterização da seção hidráulica para escoamento de cheia de TR de 100 anos, no caso de pontes ou estruturas intermediárias; Laudo Técnico da Capitania dos Portos para verificação de interferência com a navegação; Fotos da travessia, no caso de obra já existente.

Outras Finalidades (paisagismo, lazer):

Cálculo das necessidades de água para captação e lançamento (retorno ao manancial); Cálculo das perdas de água (por infiltração e por evaporação), se houver represamento.

NO CASO DE ALTERAÇÃO OU RENOVAÇÃO DE OUTORGA, INFORMAR

Entidade outorgante:

Nº do processo:

Nº da Portaria/Resolução:

Data da publicação da Portaria/Resolução

Validade da outorga: ___ anos e ___ meses

Vencimento: ___/___/___

___/___/___

DADOS DA OBRA ANEXO II

Atenção! Esta página deve ser preenchida com informações de apenas um tipo de obra. Se houver mais de uma, **tirar cópias da mesma antes de preenchê-la.**

IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE OBRA HIDRÁULICA			
Tipo de obra de reservação			
<input type="checkbox"/> Barragens	<input checked="" type="checkbox"/> Açudes	<input type="checkbox"/> Tanques de reservação	<input type="checkbox"/> Diques de proteção
<input type="checkbox"/> Diques	<input type="checkbox"/> Soleiras de nível	<input type="checkbox"/> Outros: _____	
Tipo de obra de adução, desvio ou derivação			
<input type="checkbox"/> Canais	<input type="checkbox"/> Retificação	<input type="checkbox"/> Espigões	<input type="checkbox"/> Desvios
<input type="checkbox"/> Tubulação _____			

DADOS DO PONTO OU SEÇÃO DE INTERFERÊNCIA Ou CAPTAÇÃO			
Município FRECHEIRINHA			UF CE
Coordenadas UTM:			
m N		m E	Meridiano Central
Coordenadas Geográficas			
°	'	"	Latitude <input type="checkbox"/> Sul <input type="checkbox"/> Norte
°	'	"	Longitude Oeste

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO HÍDRICO	
Tipo	
<input type="checkbox"/> Rio	<input checked="" type="checkbox"/> Reservatório/Açude
<input type="checkbox"/> Lago natural	<input type="checkbox"/> Lagoa
<input type="checkbox"/> Outro	
Nome corpo hídrico	
BARRAGEM FRECHEIRINHA	
Para o caso de obras hidráulicas em reservatório ou açude informar o nome do curso d'água formador do mesmo	
Nome do rio de 1ª ordem Rio Coreaú	Nome do rio de 6ª ordem
Nome do rio de 2ª ordem Riacho Caiçara	Nome do rio de 7ª ordem
Nome do rio de 3ª ordem	Nome do rio de 8ª ordem
Nome do rio de 4ª ordem	Nome do rio de 9ª ordem
Nome do rio de 5ª ordem	Nome do rio de 10ª ordem

VAZÃO
Vazão Regularizada (m³/s)
Vazão de Adução (m³/s)

DOCUMENTAÇÃO ESPECÍFICA A SER ANEXADA
I - projeto básico, conforme definido no inciso IX do art. 6º da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993;
II - cópia de outorga preventiva ou de direito de uso dos recursos hídricos, ou ainda instrumento equivalente, emitido pela autoridade competente, quando de domínio estadual ou do Distrito Federal;
III - documentação que comprove a sustentabilidade operacional da infra-estrutura:
a) demonstração da capacidade técnica e operacional do órgão ou entidade responsável pela operação e manutenção da obra;
b) demonstração das fontes de recursos destinadas à operação e à manutenção da obra;
c) definição da sistemática de operação e manutenção permanente da obra; e
d) comprovação dos recursos financeiros ou financiamento assegurado das obras eventualmente necessárias para o atendimento ao usuário final, ou da existência das mesmas.
IV - documentação que comprove a sustentabilidade hídrica:
a) estudo hidrológico que demonstre a não diminuição, no caso de barramento, da vazão regularizada com níveis de confiança de 90, 95 e 99%, em qualquer ponto da bacia hidrográfica onde estiver localizado o empreendimento;
b) comprovação da garantia hídrica dos volumes a serem retirados, no caso de obras de adução;
c) previsão da implantação, operação e manutenção de estruturas de medição e controle de vazão.

REQUERIMENTO - CERTOH

IDENTIFICAÇÃO

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ

11.821.253/0001-42

(Nome ou Razão Social)

(CPF ou CNPJ)

vem requerer junto à Agência Nacional de Águas o Certificado de Sustentabilidade da Obra Hídrica – CERTOH, conforme as especificações no quadro abaixo e as constantes dos formulários, de acordo com o disposto no Decreto n.º 4024, de 21/11/2001.

MODALIDADE	FINALIDADE
<input checked="" type="checkbox"/> Reservação	<input checked="" type="checkbox"/> Irrigação
<input type="checkbox"/> Adução	<input checked="" type="checkbox"/> Saneamento
<input type="checkbox"/> Desvio	<input type="checkbox"/> Indústria
	<input checked="" type="checkbox"/> Aqüicultura
	<input type="checkbox"/> Avicultura/Bovinocultura Suinocultura / outros
	<input type="checkbox"/> Geração de Energia
	<input type="checkbox"/> Outros usos – especificar _____

Declaro que as informações prestadas são a expressão da verdade, sujeitando-me às penas da Lei.

Termos em que,
P. Deferimento.

_____, _____ de _____ de _____.

(Assinatura do requerente ou de seu representante legal)

Nome do representante

legal: _____;

CPF: _____.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA:

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA
Setor Policial Sul, Área 05 -Quadra 3, Bloco L
CEP: 70.610-200 – Brasília/DF
INFORMAÇÕES: (61)445.5252

