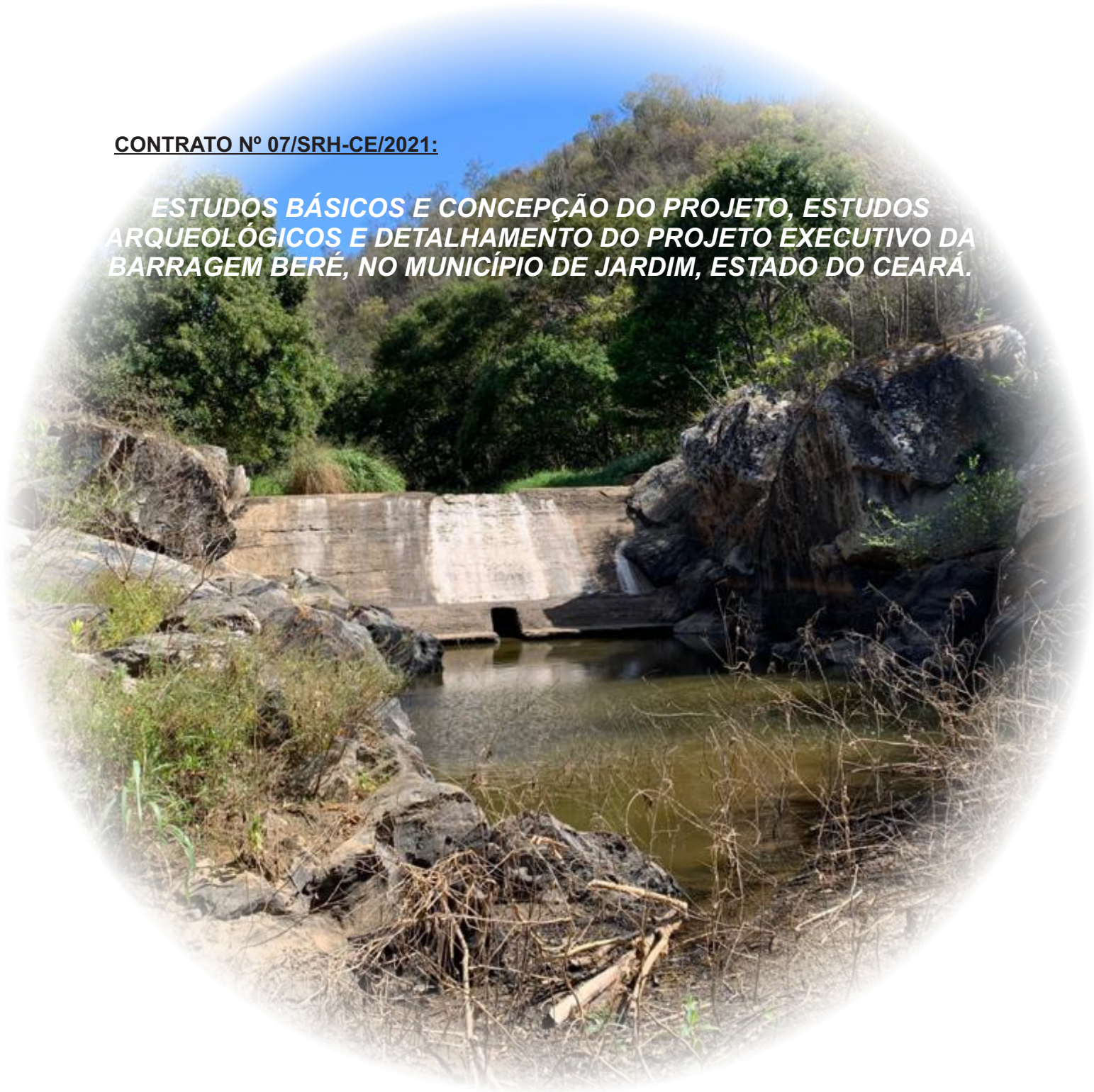


CONTRATO Nº 07/SRH-CE/2021:

ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO DO PROJETO, ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS E DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM BERÉ, NO MUNICÍPIO DE JARDIM, ESTADO DO CEARÁ.



FASE C - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

Volume 1 - Memorial Descritivo do Projeto

Dezembro/2022



CONTRATO Nº 07/SRH-CE/2021:

ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO DO PROJETO, ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS E DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM BERÉ, NO MUNICÍPIO DE JARDIM, ESTADO DO CEARÁ.



**FASE C – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA
BARRAGEM**

Volume 1 – Memorial Descritivo do Projeto

DEZEMBRO – 2022



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A **IBI** Engenharia Consultiva S/S e a **SRH** - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará celebraram o **Contrato nº 07 SRH-CE/2021**, em 20/07/2021, que tem como objetivo a **“Elaboração dos Estudos Básicos e Concepção do Projeto, Estudos Arqueológicos e Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Beré, no Município de Jardim, Estado do Ceará”**, cuja finalidade é consolidar as alternativas de atendimento às demandas de água junto às cidades e aglomerados urbanos que se situam nas áreas de influência direta deste reservatório, promoção da piscicultura intensiva e atividades de lazer.

Para o desenvolvimento dos trabalhos objetos do Contrato firmado, foi seguido os Termos de Referência do Edital: PREGÃO ELETRÔNICO Nº 20210003 – SRH PROCESSO Nº 02985576/2021 UASG:943001 que sugeriu as seguintes fases:

FASE A – ELABORAÇÃO ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO DA BARRAGEM

- Volume 1 – Estudos Cartográficos;
- Volume 2 – Estudos Topográficos;
- Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos;
- Volume 4 – Estudos Hidrológicos (realizados pela FUNCEME);
- Volume 5 – Relatório de Concepção da Barragem.

FASE B – ESTUDOS ARQUEOLÓGICOS E PLANO DE DESMATAMENTO RACIONAL

- Volume 1 – Patrimônio Histórico, Cultural e Arqueológico (IPHAN);
- Volume 2 – Plano de Desmatamento Racional.

FASE C - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM

- **Volume 1 – Memorial Descritivo do Projeto;**
- Volume 2 – Desenhos;

- Volume 3 – Memória de Cálculo;
- Volume 4 – Especificações Técnicas;
- Volume 5 – Quantitativos e Orçamento;
- Volume 6 – Relatório Síntese.

O presente documento é integrante da **FASE C – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM, Volume 1 – Memorial Descritivo do Projeto.**



ÍNDICE

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	15
1.1 - FICHA TÉCNICA	15
1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	19
2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS	24
2.1 - ESTUDOS CARTOGRÁFICOS	24
2.1.1 - METODOLOGIA	24
2.1.2 - RASTREAMENTO DO MARCO B02	26
2.1.3 - APOIO TERRESTRE.....	27
2.1.4 - COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA	27
2.1.5 - FOTOGRAFIAS AÉREAS GERADAS.....	30
2.1.6 - MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) E CURVAS DE NÍVEL	30
2.1.7 - REFERÊNCIAS NORMATIVAS.....	31
2.1.8 - DOCUMENTAÇÃO.....	32
2.2 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS.....	32
2.2.1 - APOIO DE CAMPO.....	33
2.2.2 - RASTREAMENTO DO MARCO B02	33
2.2.3 - APOIO TERRESTRE.....	33
2.2.4 - METODOLOGIA DE EXECUÇÃO.....	33
2.2.5 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	34
2.2.6 - FORMA DE EXECUÇÃO.....	35
2.3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS.....	39
2.3.1 - METODOLOGIA	39
2.3.2 - GEOLOGIA	41
2.3.3 - INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS NOS EIXOS ALTERNATIVOS	49
2.3.4 - ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS.....	56
2.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	59
2.4.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	60
2.4.2 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS.....	64
2.4.3 - ESTUDOS FLUVIOMÉTRICOS.....	68
2.4.4 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	72
2.4.5 - ESTUDO DE CHEIA E DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO.....	73
2.4.6 - RESULTADOS PARA A CONDIÇÃO ATUAL.....	81
2.4.7 - FOLGA E COROAMENTO DA BARRAGEM	82
2.4.8 - COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NOS DOIS ESTUDOS HIDROLÓGICOS DESENVOLVIDOS	83
2.4.9 - ESTUDO DE ASSOREAMENTO	84
3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO	88

3.1 - EIXOS BARRÁVEIS ESTUDADOS	88
3.2 - EIXO ESCOLHIDO	91
3.3 - SOLUÇÃO ADOTADA PARA O BARRAMENTO	92
3.4 - TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES	94
3.5 - SISTEMA DE DRENAGEM	95
3.6 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	95
3.7 - VERTEDOIRO.....	95
3.8 - TOMADA D'ÁGUA.....	97
3.9 - PLANILHA DE QUANTITATIVOS.....	100
3.10 - DESENHOS.....	100
4 - CANTEIRO DE OBRAS	103
5 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	105
6 - EQUIPAMENTO MÍNIMO	107



LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – MAPA DA REGIÃO – DELIMITAÇÃO DO MUNICÍPIO DE JARDIM E OS ACESSOS AS ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DO PROJETO	21
FIGURA 1.2 – MAPA DE ACESSO AO LOCAL DA BARRAGEM BERÉ A PARTIR DE FORTALEZA-CE	22
FIGURA 2.1 – ÁREA DEFINIDA NO EDITAL PARA LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFAMÉTRICO	25
FIGURA 2.2 – SUMÁRIO DO PROCESSAMENTO DO MARCO B02	26
FIGURA 2.3 – COORDENADAS SIRGAS DO MARCO B02	26
FIGURA 2.4 – COORDENADA ALTIMÉTRICA DO MARCO B02	26
FIGURA 2.5 – LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO RTK – LINHAS MAGENTAS.....	27
FIGURA 2.6 – DEMARCAÇÃO DA ÁREA A SER VOADA BASEADA NO SRTM	28
FIGURA 2.7 – DEMARCAÇÃO DA ÁREA A SER VOADA BASEADA EM FOTOS DE SATÉLITE..	28
FIGURA 2.8 – LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFAMÉTRICO DA PRIMEIRA ÁREA VOADA.....	29
FIGURA 2.9 – LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFAMÉTRICO DA SEGUNDA ÁREA VOADA	29
FIGURA 2.10 – LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO SÍTIO DA BARRAGEM BERÉ	Erro!
Indicador não definido.	
FIGURA 2.11 – RESUMO DA CARTA GEOLÓGICA DE FOLHA S.24-Y-D-VI - JARDIM	43
FIGURA 2.12 – RELAÇÕES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS	45
FIGURA 2.13 – GEOLOGIA LOCAL DA BARRAGEM BERÉ	48
FIGURA 2.14 – MODELO DIGITAL DO TERRENO DA BACIA DO RIACHO JARDIM	61
FIGURA 2.15 – CURVA HIPSOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA	62
FIGURA 2.16 – MAPA DE DECLIVIDADES DA BACIA	63
FIGURA 2.17 – COTA-ÁREA-VOLUME.....	64
FIGURA 2.18 – POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS	66

FIGURA 2.19 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA.....	67
FIGURA 2.20 – REPRESENTAÇÃO DO MODELO MODHAC (LANNA, 1997)	69
FIGURA 2.21 – CALIBRAÇÃO DO MODELO MODHAC PARA O POSTO 36250000	71
FIGURA 2.22 – VAZÕES DO MODELO MODHAC PARA O POSTO 36250000	71
FIGURA 2.23 – CURVAS DE REGULAÇÃO DA BARRAGEM BERÉ (RESOLUÇÃO DIRETA DA EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO – GARANTIA DE 99%).....	73
FIGURA 2.24 – VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANUAL DO POSTO 76	76
FIGURA 2.25 – REDE SIMULADA NO HEC-HMS.....	78
FIGURA 2.26 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE À BARRAGEM BERÉ (TR = 1.000 ANOS).....	79
FIGURA 2.27 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE À BARRAGEM BERÉ (TR = 10.000 ANOS)...	80
FIGURA 3.1 – EIXOS ESTUDADOS DA BARRAGEM BERÉ	89
FIGURA 3.2 – LAYOUT GERAL DA BARRAGEM BERÉ	91
FIGURA 3.3 – SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM (INSUBMERSÍVEL).....	92
FIGURA 3.4 – SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM (SUBMERSÍVEL)	93
FIGURA 3.5 – SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM (SUBMERSÍVEL), VERTEDOURO E BACIA DE DISSIPAÇÃO	96
FIGURA 3.6 – SEÇÃO TIPO DA BARRAGEM (INSUBMERSÍVEL) TOMADA D'ÁGUA.....	98
FIGURA 3.7 – CASA DE COMANDO E LAYOUT DOS EQUIPAMENTOS	100
FIGURA 5.1 – CRONOGRAMA FÍSICO PARA A IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM BERÉ.....	105



LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DOS MARCOS RASTREADOS DO EIXO 02	35
TABELA 2.2 – COMPRIMENTOS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DO EIXO 02.....	37
TABELA 2.3 – RESUMO DAS SONDAgens EXECUTADAS NOS EIXOS ESTUDADOS	52
TABELA 2.4 – PROFUNDIDADES DOS POÇOS DE INSPEÇÃO DOS EIXOS ALTERNATIVOS (M)	53
TABELA 2.5 – PROFUNDIDADES DAS SONDAgens SPT NOS EIXOS ALTERNATIVOS (M)	54
TABELA 2.6 – EIXO 02 DA BARRAGEM BERÉ - SONDAgens ROTATIVAS EXECUTADAS (M)	54
TABELA 2.7 – CARACTERÍSTICAS DAS SONDAgens A TRADO DAS JAZIDAS	57
TABELA 2.8 – COTA X ÁREA X VOLUME DO RESERVATÓRIO.....	62
TABELA 2.9 – PRECIPITAÇÃO ANUAL GERADO PELO MÉTODO DE THIESSEN	65
TABELA 2.10 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NA BACIA HIDROGRÁFICA	67
TABELA 2.11 – ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA	68
TABELA 2.12 – CONJUNTO DE PARÂMETROS PARA O MODELO MODHAC	70
TABELA 2.13 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DA BARRAGEM BERÉ (GARANTIA DE 99%).....	72
TABELA 2.14 – MÁXIMOS ANUAIS DA SÉRIE DO POSTO 76	75
TABELA 2.15 – EXTREMOS DE CHUVA (MM) OBTIDOS DA DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	76
TABELA 2.16 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	81
TABELA 2.17 – DEFLÚVIO E SOLO PARA ANÁLISE DE ASSOREAMENTO	85
TABELA 2.18 – PRECIPITAÇÃO E DESCARGA SÓLIDA DE ASSOREAMENTO	85
TABELA 2.19 – SIMULAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO AO LONGO DO TEMPO	85
TABELA 3.1 – RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS DA TOMADA D'ÁGUA	99

TABELA 3.2 – RELAÇÃO DOS DESENHOS DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM BERÉ	101
TABELA 4.1 – RELAÇÃO DAS INSTALAÇÃO MÍNIMAS PARA O CANTEIRO DE OBRA DA BARRAGEM BERÉ	103
TABELA 6.1 – RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTO MÍNIMOS PARA EXECUÇÃO DA BARRAGEM BERÉ	107



1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório é o **Volume 1 - Memorial Descritivo do Projeto** inserido na **Fase C - Projeto Executivo da Barragem**, objeto do **Contrato nº 07 SRH-CE/2021** - Elaboração dos Estudos Básicos e Concepção do Projeto, Estudos Arqueológicos e Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Beré, no Município de Jardim, Estado do Ceará, firmado entre a SRH-Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a Empresa IBI Engenharia Consultiva S/S.

A finalidade deste relatório é apresentação à SRH do Memorial Descritivo do Projeto Executivo da Barragem Beré, o qual está dividido abordando os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos;
- Síntese dos Estudos Básicos;
- Descrição do Projeto;
- Canteiro de Obra;
- Cronograma de Execução;
- Equipamento Mínimo.

1.1 - FICHA TÉCNICA

A seguir é mostrado a Ficha Técnica do Projeto Executivo da Barragem Beré onde se discrimina os principais elementos técnicos.

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM BERÉ

Identificação

Denominação: Barragem Beré

Estado: Ceará

Município: Jardim

Localidade: Sítio Corrente

Coordenadas UTM:..... Leste 480425E / Norte 9153921N

Rio barrado:..... Riacho Jardim

Proprietário: Governo do Estado de Ceará/SRH

Autor do projeto:..... IBI Engenharia Consultiva S/S

Data do projeto:..... Agosto/2022

Bacia Hidrográfica

Área: 1.409,9 km²

Perímetro da bacia hidrográfica: 214,1 km

Comprimento do rio: 76,6 km

Cota do talvegue a montante: 986 m

Cota do talvegue a jusante: 508 m

Declividade média do rio: 6,24 m/km

Características do Reservatório

Área da bacia hidráulica (cota 532,50m): 18,883 ha

Volume hidráulico armazenável (cota 532,50 m): 2,560 hm³

Volume morto do reservatório / mínimo operacional (cota 510,00m): 0,225 hm³

Volume útil p/ vazão sanitária (cota 504,00 a 510,00): 0,051 hm³

Volume médio afluente anual: 89,2 hm³/ano

Vazão Regularizada com 99% de Garantia: 4,18 hm³/ano

Vazão Regularizada com 99% de Garantia: 0,133 m³/s

Vazão afluente max. de projeto/vazão pico (T_R=1.000anos): 1.270,90 m³/s

Vazão max. de projeto amortecida ($T_R=1.000$ anos).....	1.269,50 m ³ /s
Vazão afluente max maximorum/vazão pico ($T_R=10.000$ anos).....	1.622,70 m ³ /s
Vazão max. maximorum amortecida ($T_R=10.000$ anos).....	1.621,10 m ³ /s
Nível d'água max. ($T_R=1.000$ anos):.....	536,35 m
Nível d'água max. maximorum ($T_R=10.000$ anos):.....	537,03 m

Barragem Principal – Tipo CCR

Tipo:.....	Concreto Compactado a Rolo (CCR)
Localização:.....	estaca 0+10,00 a 10+15,00 m
Altura máxima do maciço:.....	45,35 m
Largura do coroamento:.....	6,50 m
Extensão pelo coroamento:	205,00 m
Cota do coroamento:	538,50 m
Revanche Total:	6,00 m
Largura Máxima da Base:	27,50 m

Vertedouro

Tipo:	Perfil Creager, Canal Rápido e Bacia de Dissipação
Cota da soleira do vertedouro:	532,50 m
Largura do vertedouro:	80,00 m
Lâmina máxima ($T_R=1.000$ anos):.....	3,85 m
Lâmina máxima ($T_R=10.000$ anos):.....	4,53 m
Cota da bacia de dissipação:	493,70 m

Largura da bacia de dissipação:60,00 m

Extensão da bacia de dissipação:40,00 m

Tomada de água

Tipo:tubo flangeado em aço carbono envelopado por galeria de concreto

Localização (eixo da barragem):..... Estaca 7+4,00 m (ombreira direita)

Diâmetro:Ø500 mm

Comprimento da galeria:29,00 m

Cota do eixo da tubulação:504,25 m

Controle de montante:

Comporta Stop-Log com Acionamento Manual:01 unidade

Controle de jusante:

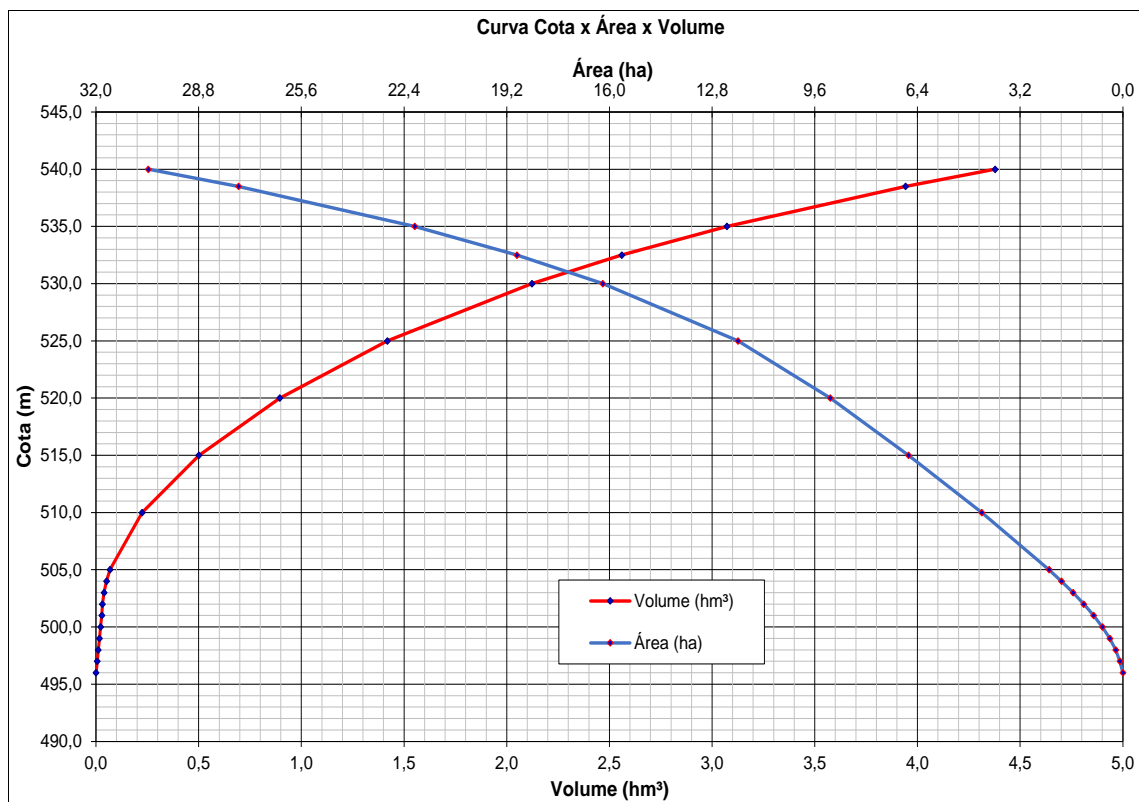
Registro de Gaveta:Ø500 mm

Válvula Borboleta:Ø500 mm

Cota x Área x Volume		
cota (m)	Área (ha)	Volume Acumulado (hm³)
496,00	-	-
497,00	0,089	0,006
498,00	0,221	0,011
499,00	0,406	0,017
500,00	0,638	0,022
501,00	0,909	0,028
502,00	1,216	0,031
503,00	1,553	0,039
504,00	1,914	0,051
505,00	2,297	0,068



Cota x Área x Volume		
cota (m)	Área (ha)	Volume Acumulado (hm ³)
510,00	4,395	0,225
515,00	6,675	0,501
520,00	9,115	0,895
525,00	11,993	1,419
530,00	16,208	2,123
532,50	18,883	2,560
535,00	22,065	3,072
538,50	27,559	3,942
540,00	30,369	4,378



1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A barragem Beré situa-se no município de Jardim-CE, localizado na região sul do estado do Ceará e ocupa uma área de 500,9 Km², com altitude média da sede de 652m acima do nível do mar. Limita-se ao Norte com os municípios de Porteiras, Missão Velha e Barbalha, ao Sul com Penaforte e o estado de Pernambuco, ao Leste com Penaforte, Jati e Porteiras e a Oeste com Barbalha.

A **Figura 1.1** apresenta a localização do eixo da barragem Beré no âmbito do mapa regional, o qual mostra a delimitação do município de Jardim e os acessos às áreas de abrangência do projeto.

O acesso mais curto ao local da barragem, utilizando qualquer veículo, partindo de Fortaleza-CE, pode ser feito da seguinte forma: Inicia-se a viagem pela BR-116 até o entroncamento com a CE-138, em Cristais, seguindo por esta rodovia até a cidade de Morada Nova-CE. Nesta cidade toma-se a CE-371 até a localidade de Caiçara ainda no município de Morada Nova-CE, onde entra para a CE-269, daí segue até chegar novamente na BR-116, no município de Alto Santo-CE, seguindo-se nesta rodovia até o município de Jatí-CE (523km). No entroncamento com a CE-390, pega-se esta rodovia, no sentido de Jardim-CE, percorrendo uma distância de 27 km, chega-se no local Sítio Corrente (552 km) e, deste ponto até o local da barragem tem uma distância de 500 metros, sem estrada de acesso, ver **Figura 1.2**.

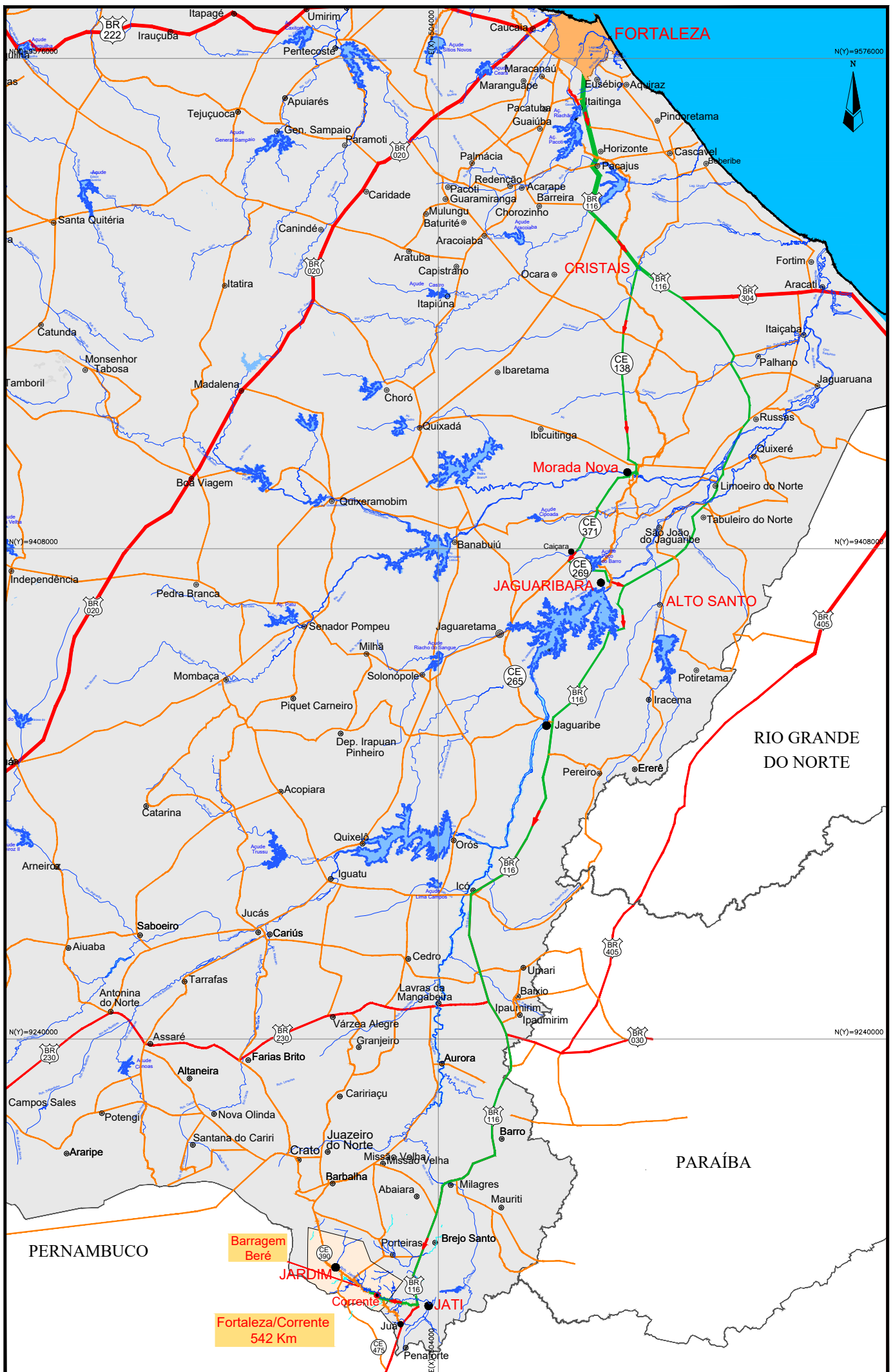


Figura 1.2 - Mapa de Acesso ao Local da Barragem Beré a partir de Fortaleza-CE



2 – SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

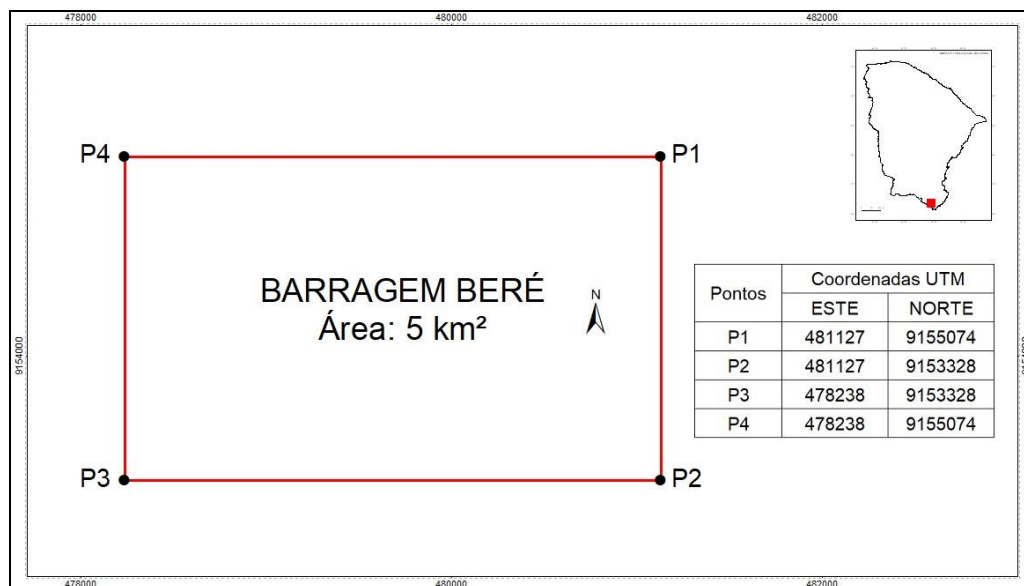
2.1 - ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

2.1.1 - METODOLOGIA

Seguindo os Termos de Referência do Edital os Estudos Cartográficos foram executados da seguinte forma:

- Para iniciar e embasar o Levantamento Planialtimétrico por Aerofotogrametria utilizando VANT, foi planejado e realizado rastreamento com GPS Geodésico em 01/09/2021 das 10:21:51hrs as 14:02:35hrs, com emissão de Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) pelo IBGE, que determinou as coordenadas e altitudes do Marco B02 (N= 9.154.072,043m; E=480.412,715m; Z=539,67m). Também foram rastreados os Marcos M1, M2 e M3-AP;
- Antes da realização do voo aerofotogramétrico com VANT, foram marcados os pontos de apoio visuais, identificados com altitude e coordenadas, e feito o levantamento topográfico com RTK de várias poligonais fechadas de área zero, ou seja, todos os levantamentos foram executados com ida e volta pelo mesmo alinhamento. Com estes levantamentos de vários caminhamentos, executado utilizando o RTK, dentro da área do levantamento aerofotogramétrico, obteve-se uma maior aderência do levantamento de fotogrametria por VANT, obtendo-se precisão igual ao levantamento feito com o LIDAR;
- Na sequência, foi realizado o Levantamento Planialtimétrico por Aerofotogrametria utilizando Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), com objetivo de obter uma cobertura aerofotogramétrica na escala de 1:5.000, feita pelo processo de restituição Aerofotogramétrica, com curvas de nível de metro em metro na escala 1:2.000. O levantamento teve apoio terrestre de 67 pontos de controle;

- O Serviço teve como base a Área de interesse apresentada no Edital e que abrange um polígono de 5,0 km², conforme as definições de coordenadas apresentadas na **Figura 2.1** abaixo:



Fonte: Edital de Licitação

Figura 2.1 – Área Definida no Edital para Levantamento Aerofotogramétrico

O polígono apresentado na **Figura 2.1**, é o indicado no Edital, como sugestão, onde poderia ser executado o voo e, conseqüentemente, a cartografia. A empresa IBI baseou-se, inicialmente, na cartografia SRTM – “Shuttle Radar Topography Mission” elaboradas pela NASA e NIMA, para demarcação mais objetiva da área a ser voada.

- Os serviços de Cobertura Aerofotogramétrica incluíram:
 - A Cobertura Aerofotogramétrica que foi executada por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) Modelo: DJI MATRICE 210 V2 equipada com câmera Zenmuse X5S com lentes DJI MFT 15mm/1.7 ASPH (com anel de equilíbrio e cobertura de lente);
 - Foi utilizado o sistema de fotogrametria por VANT;
 - Foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT);
 - Foram extraídas do sistema (MDT) e desenhadas as curvas de nível de metro em metro.

- O Aerolevanteamento, o Modelo Digital do Terreno (MDT), a extração de curvas de nível, e os pontos de controle abrangeram parcialmente a área de interesse apresentada no Edital, mas esta redução além de abranger a bacia hidráulica e poligonal de desapropriação do Eixo indicado no Edital, atende também, para a mesma finalidade, os outros Eixos Alternativos.

2.1.2 - RASTREAMENTO DO MARCO B02

O início dos serviços de Levantamento Planialtimétrico por Aerofotogrametria foi o rastreamento com GPS Geodésico do Marco B02 e emissão do Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) pelo IBGE, ver no TOMO II Anexo 1 do Volume 1 – Estudos Cartográficos (Fase A – Elaboração Estudos Básicos e Concepção da Barragem). A **Figura 2.2** apresentada a seguir mostra os dados do Processamento e as **Figuras 2.3 e 2.4** mostram os resultados obtidos.

Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2021/09/01 10:21:51,00
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2021/09/01 14:02:35,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPER_V NONE
Órbitas dos satélites:¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena³(m):	1,725
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	2,13 GPS 2,73 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,93 GPS 1,32 GLONASS

Figura 2.2 – Sumário do Processamento do Marco B02

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) ⁴	-7° 39' 10,3810"	-39° 10' 39,3496"	529,75	9154072.043	480412.715	-39
Na data do levantamento ⁵	-7° 39' 10,3729"	-39° 10' 39,3518"	529,75	9154072.292	480412.648	-39
Sigma(95%)⁶ (m)	0,002	0,004	0,005			

Figura 2.3 – Coordenadas SIRGAS do Marco B02

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-9,92	Incerteza (m):	0,07
Altitude Normal (m):	539,67		

Figura 2.4 – Coordenada Altimétrica do Marco B02

2.1.3 - APOIO TERRESTRE

Além do Marco B02 foram implantados, utilizando-se instrumento RTK, 67 pontos de controle levantados em campo, ou seja, média de 17 pontos por km². Na sequência dos serviços, foi executado levantamento topográfico com RTK, totalizando 21,255 km de poligonais fechadas de área zero (ida e volta), pelo mesmo alinhamento, ver **Figura 2.5** e planilha com os dados do levantamento apresentada em anexo no Volume 1 – Estudos Cartográficos (Fase A – Elaboração Estudos Básicos e Concepção da Barragem). Assim, com estas poligonais executadas com RTK dentro da área do levantamento aerofotogramétrico, obteve-se uma maior aderência à realidade do terreno natural, para o levantamento de fotogrametria por VANT, como pode ser visto no Tomo III - Volume 5 da Fase A no desenho BERÉ-DES-PCO-TOP-LAY-02 - Layout Geral das poligonais do Levantamento RTK.

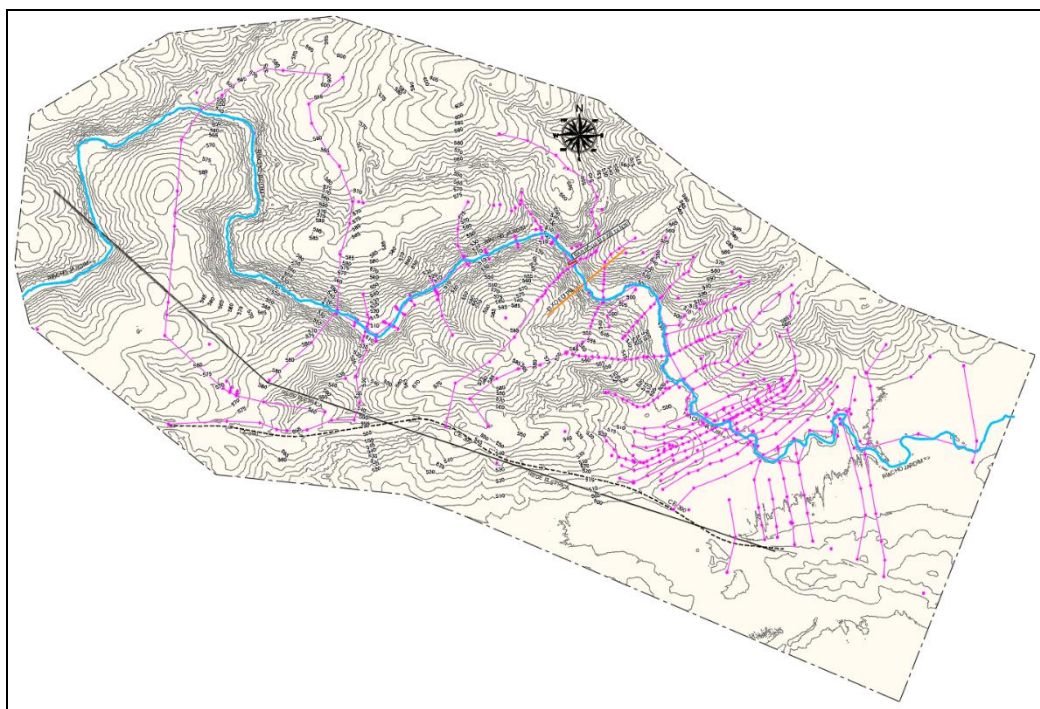


Figura 2.5 – Levantamento Topográfico Utilizando RTK – Linhas Magentas

2.1.4 - COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA

Foram planejados e executados dois voos na área da bacia hidráulica/hidrográfica da barragem Beré, os dois tomando por base a área de interesse apresentada no Edital, polígono de 5,0 km², era apenas uma referência e que foi definida sem base cartográfica, ver **Figura 2.1**. Porém, utilizando-se a cartografia gerada pelo sistema SRTM-NASA, sobrepostas as fotografias da área geradas de satélite do Google

Earth, foi feita a demarcação mais objetiva das áreas a serem voadas, ver **Figuras 2.6 e 2.7** a seguir.

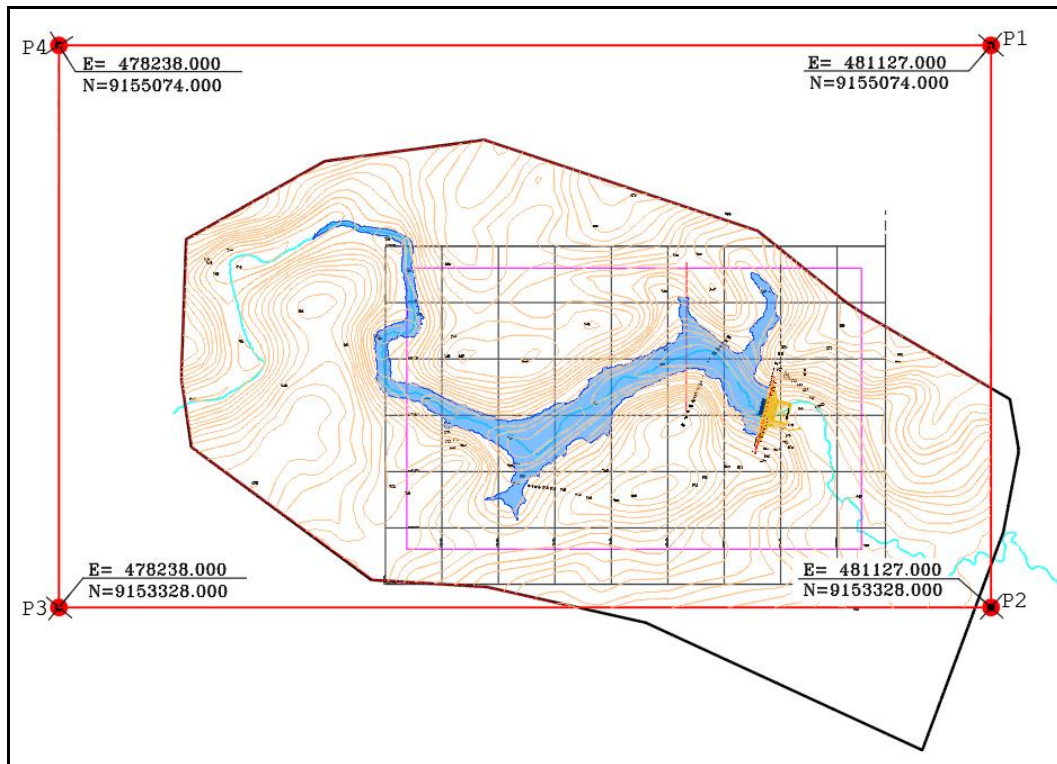
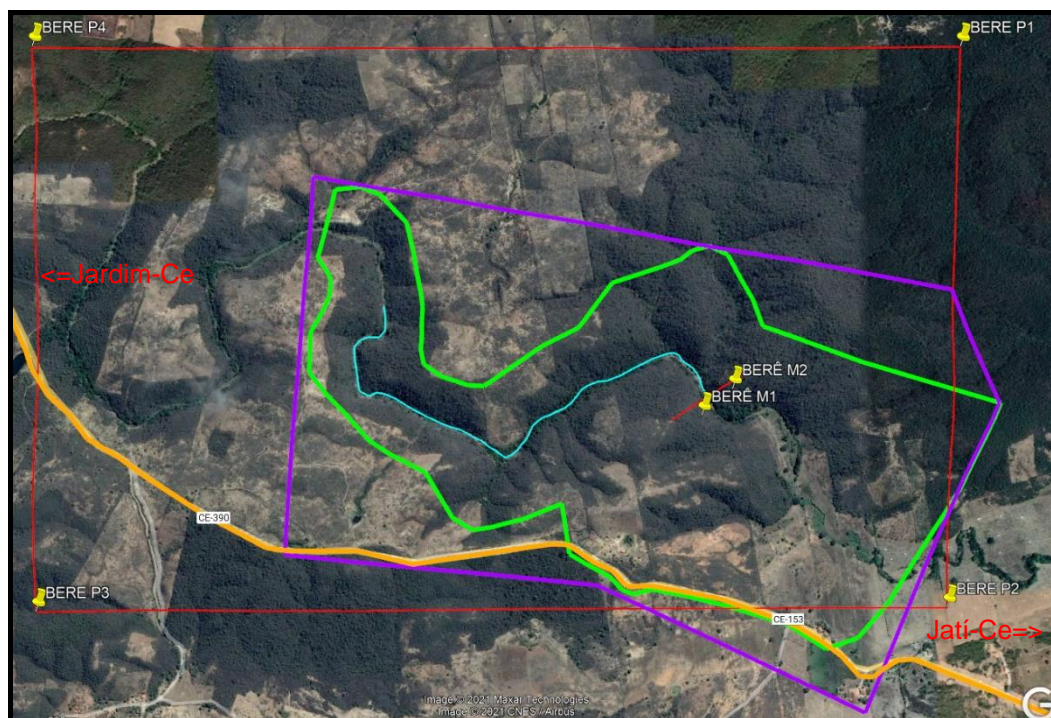


Figura 2.6 – Demarcação da Área a ser Voada baseada no SRTM



Fonte: Google Earth

Figura 2.7 – Demarcação da Área a ser Voada baseada em Fotos de Satélite

A primeira ferramenta auxiliou na demarcação das bacias hidráulicas dos eixos e a segunda mostrou as cercas das propriedades induzindo a demarcação da poligonal do voo, levando-se em conta também os limites das propriedades rurais.

O primeiro voo foi executado em 02/09/2021 em uma área de 3,09 km², ver **Figura 2.8**, mas devido a não cobertura total da área, incluindo a Alternativa 3a, foi efetuado o segundo voo em 15/10/2021, que abrangeu uma área de 3,95 km², ver **Figura 2.9**.

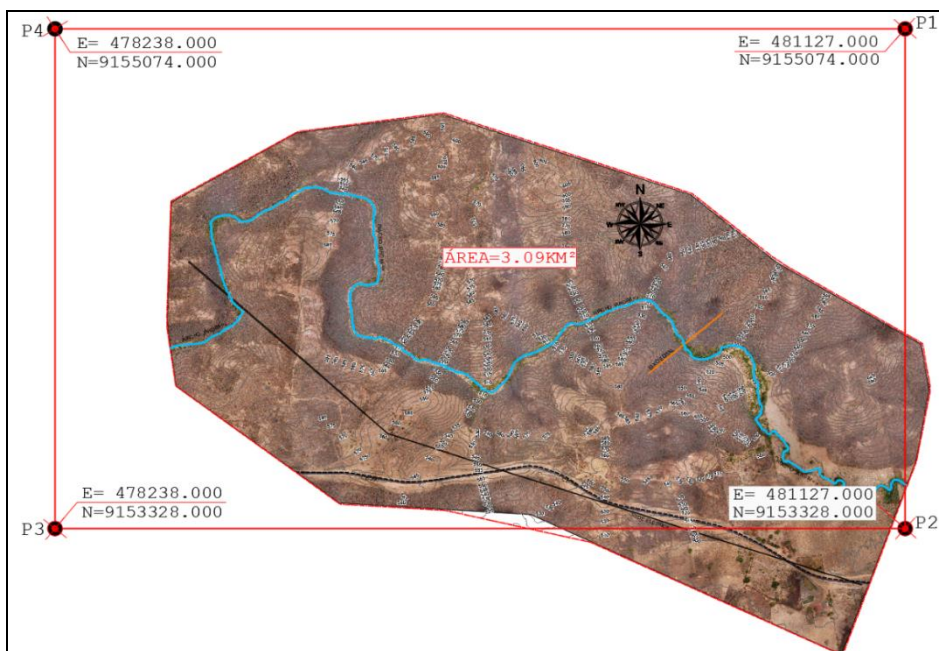


Figura 2.8 – Levantamento Aerofotogramétrico da Primeira Área Voada



Figura 2.9 – Levantamento Aerofotogramétrico da Segunda Área Voada

2.1.5 - FOTOGRAFIAS AÉREAS GERADAS

O recobrimento aerofotogramétrico da área selecionada pelas empresas IBI e G-PLANT, gerou 5.404 fotografias que permitem a execução do processo de estereoscópica digital, para os pares de imagens, e possibilitaram a modelagem tridimensional da superfície levantada, bem como a ortorretificação do mosaico das referidas imagens. A resolução alvo na superfície da área foi de 1,22 cm, quando o especificado em Edital era melhor que 10 cm. Estas informações e dados foram apresentados no Anexo 1 – Dados da Base Rastreada (1.7 - Relatório de Processamento de Imagens de drone da Barragem Beré) do Volume 1 – Estudos Cartográficos (Fase A – Elaboração Estudos Básicos e Concepção da Barragem).

O recobrimento lateral médio entre as faixas foi de 70%, e o recobrimento frontal de 75%. O Edital exige recobrimento lateral médio entre as faixas deverá ser de 30%, não faz referência a recobrimento frontal.

As fotografias foram entregues a SRH-CE numeradas em ordem, com inscrições marginais o nome do contratante e do executante, a escala aproximada, a data da tomada e a altura do voo.

O foto-índice foi elaborado em folha padronizada na escala adaptada ao tamanho A1 e contém o nome da Empresa, a escala das aerofotos, a distância focal da câmara utilizada, os paralelos e meridianos geográficos dos cantos das folhas.

2.1.6 - MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) E CURVAS DE NÍVEL

Com a utilização do sistema de Fotogrametria por VANT e o apoio 67 pontos de controle coletados em campo e o levantamento topográfico com RTK totalizando 21,255 km de poligonais fechadas de área zero (ida e volta) foi gerado o Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolução, em formato GeoTIFF.

Após esse processo foram extraídas curvas de nível de metro em metro, com precisão cartográfica compatível com a escala 1:2.000 e Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Classe A.

Quando da entrega dos Relatórios da Fase A – Elaboração Estudos Básicos e Concepção da Barragem, mais especificamente o Volume 1 – Estudos Cartográficos, foram entregues à SRH, junto com ele os seguintes produtos:

- Mosaico de fotos aerofotogramétricas em formatos GeoTIFF, JP2000 e ECW;
- Modelo Digital de Terreno (MDT) em formato GeoTIFF;
- Curvas de nível de 1x1 metro e pontos cotados, em formatos ESRI Shapefile e Autodesk DWG;
- Foto-índice na escala de 1:25.000;
- Pontos de controle levantados em campo, arquivos RINEX, acompanhado de relatório incluindo croqui e foto de cada ponto (monografia);
- Anotação de Responsabilidade Técnica – ART dos serviços de coleta de pontos de controle em campo e dos serviços de aerofotogrametria;
- 1 (uma) coleção impressa do mosaico de fotos aerofotogramétricas, com as curvas de nível 1x1 metro e pontos cotados, com a altimetria devidamente identificada e rotulada, sobrepostas às fotos, na escala de 1:5.000, em papel tamanho A1;
- Layout em meio digital no formato AUTOCAD (DWG ou DXF);
- Layout de mapa em meio digital no formato ESRI ARCGIS (MXD ou MPK).

Todos os produtos foram configurados no Sistema de Referência Geocêntrico SIRGAS 2000 e Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) Zona 24S.

2.1.7 - REFERÊNCIAS NORMATIVAS

As empresas IBI e G-PLANT executaram os serviços tendo por base o que está escrito e determinado nas seguintes Normas Técnicas:

- Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional;
- Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, aplicada à Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001;
- Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS 2000, conforme Decreto Nº 5.334/2005, Decreto Nº 89.817 (nova redação e resolução do IBGE nº 1/2005).

2.1.8 - DOCUMENTAÇÃO

A empresa contratada para executar o aerolevanteamento foi a G-PLANT ENGENHARIA LTDA que possui vasta experiência neste tipo de levantamento e processamento. A empresa está em processo de inscrição como Entidade Executante de Aerolevanteamento, feito por meio do Sistema de Cadastro de Levantamentos Aeroespaciais do Território Nacional (SisCLATEN), sob o Nº 0041/21, no Ministério da Defesa.

A Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) utilizada nos serviços possui:

- Cadastro de aeronave não tripulada junto à ANAC;
- Certificado de homologação junto à ANATEL, atendendo a regras e critérios das legislações pertinentes;
- Seguro aeronáutico de responsabilidade civil do explorador ou transportador aéreo para DRONE/RPA.

Toda documentação exigida e listada acima está apresentada no TOMO II Anexo 1 do Volume 1 – Estudos Cartográficos (Fase A – Elaboração Estudos Básicos e Concepção da Barragem).

2.2 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os Estudos Topográficos executados na Fase A foram realizados no sítio do Eixo 02, selecionado para detalhamento do projeto, após a realização de estudos de

vários eixos barráveis (E-01, E-02, E-02a, E-02b, E-03a e E-03b), por ser o mais viável para a continuidade do empreendimento, como demonstrado.

2.2.1 - APOIO DE CAMPO

O Apoio de Campo do Levantamento Topográfico foi precedido pelos trabalhos executados nos Estudos Cartográficos: Rastreamento do Marco de referência com GPS Geodésico, implantação de Marcos de Apoio utilizando o RTK e restituição Aerofotogramétrica, ver Relatório dos Estudos Cartográficos da Fase A.

2.2.2 - RASTREAMENTO DO MARCO B02

O início dos serviços de Levantamento Planialtimétrico por Aerofotogrametria foi o rastreamento com GPS Geodésico do **Marco B02** e emissão do Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) pelo IBGE, conforme apresentado no Relatório dos Estudos Cartográficos.

2.2.3 - APOIO TERRESTRE

Além do Marco B02 foram implantados em campo, utilizando instrumentação RTK, 67 pontos de controle levantados em campo, ou seja, média de 17 pontos por km². Na sequência dos serviços, foi executado levantamento topográfico com RTK, totalizando 21,255 km de poligonais fechadas de área zero (ida e volta), pelo mesmo alinhamento. Assim, com estas poligonais executadas dentro da área do levantamento aerofotogramétrico, obteve-se uma maior aderência do levantamento da aerofotogrametria por VANT, como pode ser visto no Tomo III - Volume 5 da Fase A o desenho BERÉ-DES-BAR-PCO-LAY-02 - Layout Geral das poligonais do Levantamento com RTK.

2.2.4 - METODOLOGIA DE EXECUÇÃO

Com base no levantamento Aerofotogramétrico foi possível realizar, com precisão, os estudos cartográficos dos boqueirões (planta e perfil), traçar os gráficos: cota x área x volume e elaborar, preliminarmente, os quantitativos e orçamento dos eixos alternativos. Com base nos resultados obtidos, foi possível escolher o Eixo 2 para continuidade dos trabalhos de elaboração deste Projeto Executivo.

Pelo exposto, os Estudos Topográficos executados na área da barragem Beré se limitaram ao levantamento do sítio do Eixo 02 e abrangeram os seguintes trabalhos:

- Implantação de 2 marcos, no início e fim do Eixo 02;
- Locação e abertura de picadas do Eixo 02 para realização dos serviços, tanto no eixo da barragem como nas seções transversais;
- Os Marcos 01 e 02 implantados no Eixo 02 foram amarrados ao Marco B02, que foi Georreferenciado também para o Levantamento Planialtimétrico por Aerofotogrametria;
- Transporte de coordenadas e cotas do Marco B-02 (Georreferenciado) até o Marco 01 implantado na ombreira esquerda do Eixo 02 ;
- Locação, nivelamento e contranivelamento geométrico do Eixo 02, com estaqueamento a cada 20,0m e levantamento de seções transversais foram realizadas em cada estaca inteira (da EST-0 até a EST-12) com extensões médias de 40,0m para montante e 50,0m para jusante;
- Locação dos furos de sondagem;
- Cálculos e elaboração dos desenhos topográficos.

2.2.5 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os equipamentos utilizados em campo para rastreamento do Marco B02 e levantamento topográfico dos Eixos estudados, incluindo o levantamento de 21,255 km de poligonais fechadas com RTK da Barragem Beré foram:

- GPS Geodésico de dupla frequência L1, L2 RTK, da Marca TOPCON HIPER V com as seguintes precisões:
 - STATIC/FAST STATIC: Horizontal 3,0mm+0,4 ppm e Vertical 3,0mm+0,5 ppm;
 - PRECISION STATIC: Horizontal 3,0mm+0,1 ppm e Vertical 3,5mm+0,4 ppm;
 - RTK (L1 + L2): Horizontal 5,0mm+0,5 ppm e Vertical 10,0mm+0,8 ppm;
 - GPS Diferencial <0,5m.

- Estação Total da Marca LEICA, Modelo FLEXLIN TS-02, com precisão angular de 7" e linear de 1,5mm+2,0ppm;
- Nível ótico Marca TOPCON, Modelo AT-B4A, com precisão 2,0mm/km.

2.2.6 - FORMA DE EXECUÇÃO

2.2.6.1 - Transporte de Coordenadas e Nível

Os serviços de levantamento topográfico tiveram início com a realização do transporte de coordenadas geográficas e nível para o Marco M-1 (ombreira esquerda), com levantamento feito com RTK, amarrados ao Marco B02, já georreferenciado.

2.2.6.2 - Levantamento do Eixo 02

Os levantamentos topográficos do eixo da barragem foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, locação do eixo com estaqueamento de 20,0m em 20,0m, nivelamento e contranivelamento do eixo e levantamento de seções transversais.

2.2.6.3 - Implantação de Marcos e Locação do Eixo 02

Em cada uma das ombreiras foram implantados marcos de concreto denominados M-1 (Estaca 0) e M-2 (Estaca 12). A **Tabela 2.1** a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

Tabela 2.1 – Características dos Marcos Rastreados do Eixo 02

Marco	Coordenadas UTM (m)		Cotas (m)
	Este	Norte	
B 02 (Rastreado)	480.412,715	9.154.072,043	539,670
M-1	480.455,765	9.154.040,323	550,168
M-2	480.395,850	9.153.807,963	552,126

O ponto de partida para locação do Eixo 02 da barragem Beré, estaca E0 (00+00m), está localizado na ombreira esquerda e o ponto de chegada localizado na ombreira direita, estaca E12 (00+00m), totalizando 240,00 m de comprimento.

Utilizando-se uma Estação Total da Marca LEICA, Modelo FLEXLINE TS-02, o Eixo 02 da barragem Beré 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 identificados através de estacas inteiras ou fracionadas os pontos notáveis tais como: barrancos e leito do riacho Jardim, afloramentos rochosos, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

2.2.6.4 - Nivelamento do Eixo da Barragem

O levantamento altimétrico do eixo principal da barragem Beré foi realizado utilizando-se um Nível ótico Marca TOPCON, Modelo AT-B4A. Foram niveladas e contra niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do Marco B 02 para o Marco 01 e Marco 02, totalizando 240,00 m de comprimento de nivelamento e 240,00m de contranivelamento.

2.2.6.5 - Levantamento das Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo principal da barragem a cada 20 metros, com utilização Estação Total da Marca LEICA, Modelo FLEXLINE TS-02. As seções transversais partiram de cada estaca inteira (da EST-0 até a EST-12) com extensões médias de 40,0m para montante e 50,0m para jusante e totalizaram 1.037,991m de levantamento. Também foi levantada a área da bacia de dissipação e do canal de restituição, com levantamento cadastral do eixo e seções transversais a cada 20 metros totalizando uma extensão de 2.067,160m, conforme mostra a **Tabela 2.2** a seguir.

Na **Figura 2.10** é ilustrado, em escala reduzida, o levantamento topográfico completo do Sitio do Eixo 02, da Bacia de Dissipação e do Canal de Restituição da barragem Beré.



Tabela 2.2 – Comprimentos das Seções Transversais do Eixo 02

SEÇÃO	Nº DE PONTOS	COMPRIMENTO (m)	NUMERAÇÃO DOS PONTOS					
1 - LEVANTAMENTO DO SÍTIO DA BARRAGEM								
EST-0	13	85,724	75	a	87			
EST-1	15	74,935	88	a	102			
EST-2	16	88,479	103	a	118			
EST-3	24	93,931	119	a	138	201	a	204
EST-4	16	84,286	145	a	160			
EST-5	15	76,388	161	a	171	197	a	200
EST-6	15	77,743	172	a	186			
LEITO DO RIACHO	9	42,535	188	a	196			
EST-7 + 10,00m	5	30,340	139	a	143			
EST-8 + 4,00m	16	77,057	59	a	74			
EST-9	14	73,887	45	a	58			
EST-10	15	77,055	30	a	44			
EST-11	14	66,303	16	a	29			
EST-12	14	89,328	1	a	14			
SUB-TOTAL 1	201	1.037,991						
2 - LEVANTAMENTO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO E CANAL DE RESTITUIÇÃO								
EST-E0	26	170,270	1	a	49	ALEATÓRIOS		
EST-E1	37	163,890	2	a	100	ALEATÓRIOS		
EST-E2	33	163,280	41	a	111	ALEATÓRIOS		
EST-E3	19	176,030	74	a	135	ALEATÓRIOS		
EST-E4	26	174,970	109	a	164	ALEATÓRIOS		
EST-E5	30	176,720	4	a	190	ALEATÓRIOS		
EST-E6	22	165,550	152	a	212	ALEATÓRIOS		
EST-E7	25	158,840	179	a	254	ALEATÓRIOS		
EST-E8	31	148,740	205	a	286	ALEATÓRIOS		
ENTRE E-8 E E-9	8	47,890	262	a	304	ALEATÓRIOS		
EST-E9	10	73,850	245	a	315	ALEATÓRIOS		
ENTRE E-9 E E-10	6	49,230	283	a	321	ALEATÓRIOS		
EST-E10	7	84,920	234	a	324	ALEATÓRIOS		
EST-E11	9	101,710	226	a	330	ALEATÓRIOS		
EST-E12	10	109,320	227	a	332	ALEATÓRIOS		
EST-E13	14	101,950	237	a	331	ALEATÓRIOS		
SUB-TOTAL 2	313	2.067,160						
TOTAL GERAL	600	3.105,151						

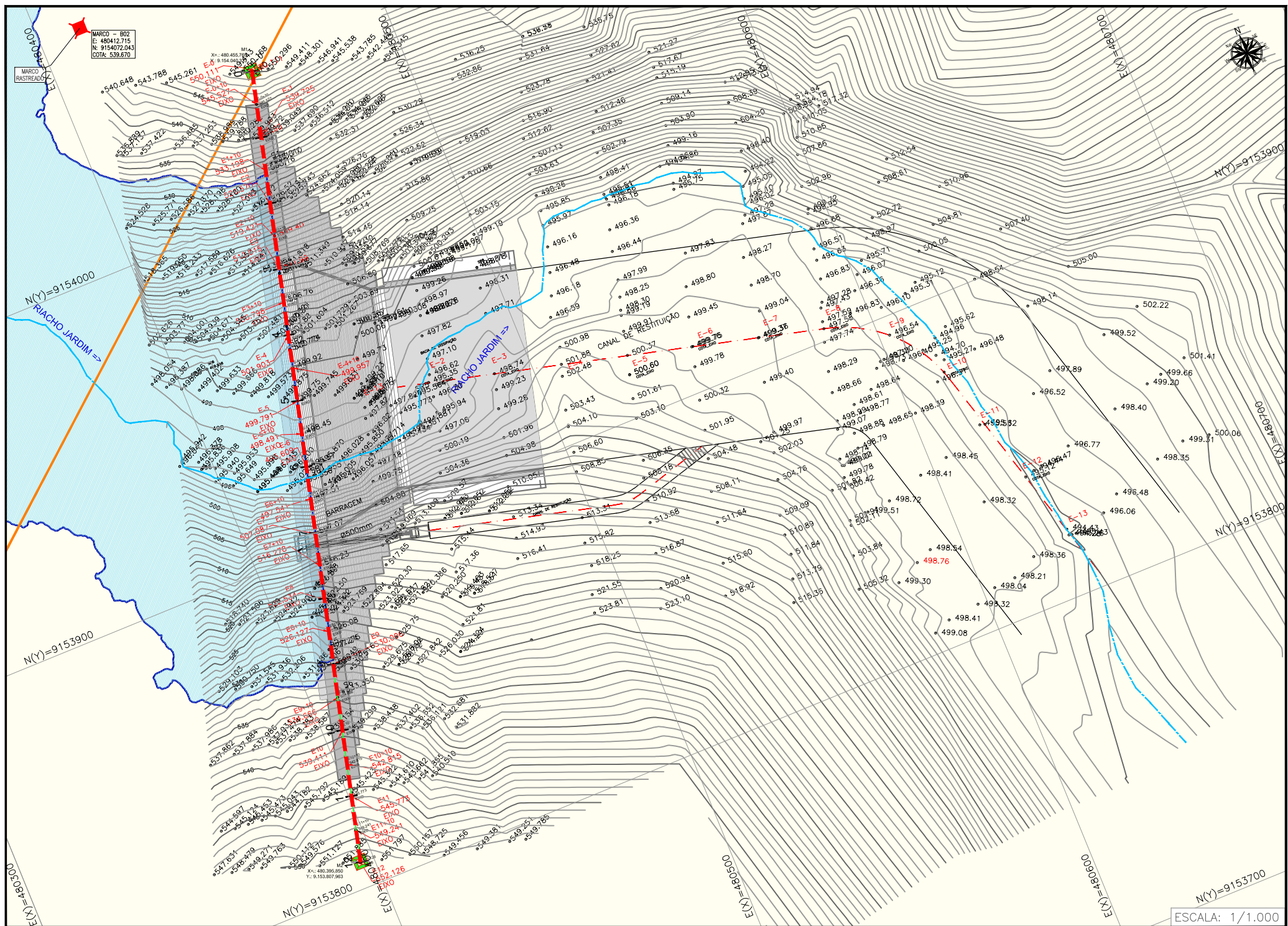


Figura 2.10 – Levantamento Topográfico do Sítio da Barragem Beré

2.3 - ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

2.3.1 - METODOLOGIA

2.3.1.1 - Estudos Geológicos

Os Estudos Geológicos consistiram, inicialmente, na compilação, verificação e conhecimento de Mapas e Relatórios elaborados pela CPRM e Governo do Estado do Ceará para Região e Município.

Na sequência, e baseado nos Mapas e Relatórios disponíveis, foi feita a descrição das feições da geologia regional, abrangendo os Eixos Alternativos e o planejamento da execução das investigações geotécnicas de campo (sondagens) nestes Eixos, para facilitar a escolha do Eixo 2 selecionado e embasar este Projeto Executivo da barragem Beré.

Quando da execução das sondagens e, baseado nas observações de campo, foi feita a descrição da geologia local, com realização de mapeamento superficial detalhado das áreas dos Eixos estudados.

2.3.1.2 - Estudos Geotécnicos

Os estudos geotécnicos consistiram na realização de sondagens a pá e picareta - SPP, sendo executadas no Eixo 03a com retroescavadeira, sondagens à percussão e sondagens rotativas. Nos serviços de sondagens rotativas foram executados, a cada 2 ou 3 metros de penetração, os ensaios de perda d'água.

Os trabalhos geotécnicos foram desenvolvidos de acordo com os seguintes procedimentos:

- As sondagens feitas com poços de inspeção (a pá e picareta), ou máquina retroescavadeira, foram efetuadas até o impenetrável (topo rochoso), para cada situação e, em seguida, colhidas amostras de cada camada diferente, para realização de ensaios geotécnicos, de acordo com o plano de investigação;

- As sondagens à percussão foram executadas com circulação d'água e cravação de tubos de revestimento de 2 1/2" de diâmetro interno, determinado, a cada metro de profundidade, a resistência à penetração das camadas de solos perfuradas. As sondagens prosseguiram até atingir o impenetrável (topo rochoso);
- As sondagens rotativas foram executadas com diâmetro NX e geraram testemunhos que permitem a identificação das características e descontinuidades do maciço rochoso. Foram realizadas também no interior das perfurações os ensaios de perdas d'água (Lugeon).

Foram elaboradas planilhas com a descrição dos diferentes materiais perfurados, as resistências à penetração e outras informações relevantes disponível no Relatório do Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos da Fase A.

Foram elaborados os “Logs” de Sondagem e desenho de caracterização geológica-geotécnica das fundações e ombreiras da barragem, contidos no Relatório do Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos da Fase A.

2.3.1.3 - Materiais a Serem Empregados na Construção

Com base em duas hipóteses para construção da barragem: em CCR (concreto compactado a rolo) e em terra (zoneada ou homogênea), foram pesquisados e quantificados os materiais que poderão ser empregados na construção da barragem: Jazidas de Solos, Areias de Rio e Jazidas de Rochas (adquiridas ou aproveitando as rochas das escavações obrigatórias e/ou presentes na bacia hidráulica). Foram executados os ensaios de caracterização em laboratório dos materiais coletados.

Todas estas atividades foram desenvolvidas de acordo com o plano previamente elaborado e submetido à aprovação da Fiscalização.

Para identificação dos materiais para serem empregados na construção da barragem, inicialmente foi feita uma investigação utilizando cartas topográficas existentes e a visita ao campo em toda região do entorno.

Foram, preliminarmente, selecionadas e identificadas 5 (cinco) jazidas de solos para investigação, observando-se a qualidade, o volume do material, as condições de exploração e as distâncias de transporte.

Em seguida, as jazidas foram investigadas por meio de sondagens a pá e a picareta, segundo uma malha quadrada, previamente definida com a Fiscalização. O material recolhido foi enviado para ensaios em laboratório.

Foram investigadas também, as pedreiras que estão disponíveis na região, para aquisição de britas, para concretos e filtros de drenagem. As jazidas disponíveis tem capacidade para fornecer material adequado e em volume para qualquer tipo de barramento a ser escolhido. Alternativamente, o construtor poderá montar um britador a jusante do eixo barrável e fornecer brita para a construção da barragem.

As jazidas de areia de rio encontram-se muito distantes dos locais das obras: a primeira está situada no riacho das Porteiras a 32,2 km e a segunda no riacho Ritirana, distante 20,6 km, medidas por estradas vicinais. Alternativamente o construtor poderá gerar areia artificial, caso queira montar britador a jusante do eixo barrável.

No desenho 04-BERÉ-DES-BAR-PEX-JAZ-01 do Volume 2 deste Projeto Executivo é apresentado um desenho com a planta geral de localização das jazidas, mostrando a localização espacial das jazidas de solos, as pedreiras e bancos de areia de rio, com relação aos locais alternativos de barramento no riacho Jardim.

2.3.2 - GEOLOGIA

2.3.2.1 - Documentos Disponíveis para Consulta

Para adquirir conhecimento da área sob o aspecto geológico, foram pesquisadas, copiladas e utilizadas cartas geológicas e relatórios geológicos da região elaborados pelo DNPM e, monografias geológicas que dissertaram sobre as formações rochosas predominantes na região e dados necessários à elaboração dos estudos geológicos preliminares de reconhecimento.

Listamos a seguir a cartografia e estudos realizados na região e área da bacia hidrográfica do riacho Jardim cujas informações e dados disponíveis foram utilizadas para a elaboração dos Estudos Geológicos-Geotécnicos:

- Mapa Geológico do Estado do Ceará, na escala 1/1.500.000, elaborado pelo Governo do Estado do Ceará, adaptado do Mapa Geológico do estado elaborado pela CPRM em 2003;
- Carta Geológica de FOLHA S.24-Y-D-VI JARDIM, na escala 1/100.000, publicada pela CPRM (2020), e apresentada na **Figura 2.11**, a seguir;
- Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará – Diagnóstico do Município de Jardim, elaborado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil - Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial - Residência de Fortaleza e publicado em outubro/1998.

2.3.2.2 - Análise do Material Geológico

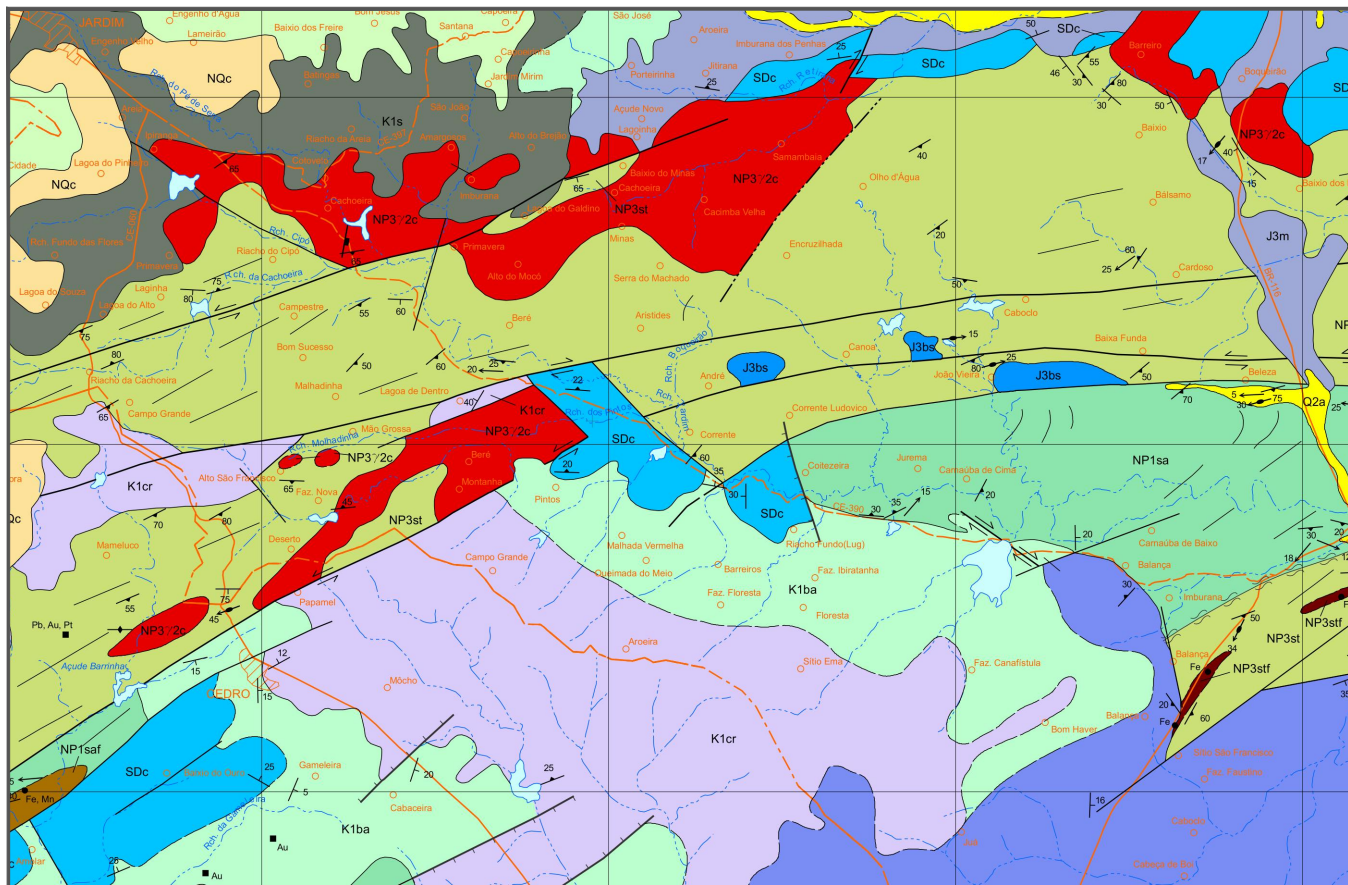
Foram analisados, principalmente o Mapa Geológico do Estado do Ceará, na escala 1/1.500.000 e a Carta Geológica - FOLHA S.24-Y-D-VI Jardim, na escala 1/100.000.

Apresenta-se a seguir a descrição do contexto geológico do município de Jardim.

2.3.2.3 - Aspectos Fisiográficos

As informações que se seguem foram colhidas no Atlas do Ceará (IPLANCE 1997) e no Plano Estadual de Recursos Hídricos, da Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH/CE (1992).

A temperatura média anual varia entre mínimas de 23°C e máximas de 29°C. A precipitação pluviométrica anual atinge 800 mm.



ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	COBERTURAS CONTINENTAIS
CENOZOICO	Quaternário		Q2a Depósitos aluvionares
	Neógeno	12,588	NQc Depósitos colúvio-eluviais
	Paleógeno	23,03	
MESOZOICO	Cretáceo	66	Grupo Araçari K12e Formação Exú
			Grupo Santana K1s Formação Crato K1ba Formação Barbalha
	Jurássico	145,5	Grupo Vale do Cariri K1aa Formação Abaíara J3m Formação Missão Velha J3bs Formação Brejo Santo
		201,3	
		251,9	
PALEOZOICO	Devoniano	358,9	
	Siluriano	419,2	SDc Formação Cariri
	Ordoviciano	485,4	

ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	DOMÍNIO DA ZONA TRANSVERSAL	
			SUBDOMÍNIO SÃO PEDRO	SUBDOMÍNIO PIANCÓ - ALTO BRÍGIDA
FANEROZOICO	Cambriano	485		
		541		
NEOPROTEROZOICO	Ediacarano		NP3/2c Suite Intrusiva Conceição	NP3/2c Suite Intrusiva Conceição
NEOPROTEROZOICO	Criogeniano	635		NP3/2i Granitóides indiscriminados brasileiros NP3/2i Suite Intrusiva Itaporanga NP3/2s Suite Intrusiva Serrita NP3/2m Suite Intrusiva Moreilândia NP3st Formação Santana dos Garrotes
		720		
NEOPROTEROZOICO	Toniano			NP1sa Complexo Salgueiro
PALEO-PROTEROZOICO	Estateriano	1.000		
		1.600		
		1.800		
PALEO-PROTEROZOICO	Orosiriano	2.050	PP3/jg Ortognaisse Granítico José Gomes	
PALEO-PROTEROZOICO	Riaciono	2.300	PP2i Complexo Itaizinho	PP2p Complexo Parnamirim

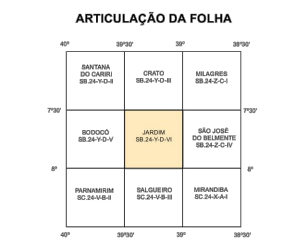


Figura 2.11 – Resumo da Carta Geológica de FOLHA S.24-Y-D-VI - Jardim

O relevo do município de Jardim tem três zonas distintas divididas da seguinte forma, adotando-se o sentido de oeste para leste:

- Região da Chapada do Araripe: possui altitudes que variam de 960m a 840m, com relevo plano em ascensão, com inclinação média de 1%;
- Região das encostas da Chapada do Araripe: possui altitudes que variam de 840m a 680m, com relevo ondulado em forte ascensão (contrafortes da chapada), com inclinação média de 13%;
- Região mais a oeste na extrema com o município de Jati: possui altitudes que variam de 680m a 480m, com relevo fortemente ondulado em ascensão, com inclinação média de 2%.

Os solos encontrados no município de Jardim são dos tipos litólicos, vertissolos e bruno não-cálcicos. Nestes desenvolve-se a vegetação de caatinga arbórea (floresta caducifólia espinhosa), a mata seca (floresta subcaducifólia tropical pluvial), e a mata úmida (floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular). Encontram-se ainda manchas de cerradão (floresta subcaducifólia tropical xeromorfa) e de carrasco.

2.3.2.4 - Geologia Regional

Apresenta-se a seguir a sequência Tectono-Estratigráfica extraída da Carta Geológica - FOLHA S.24-Y-D-VI Jardim, elaborada pelo DNPM, **Figura 2.11**, caracterizando a geologia regional que está apresentada na **Figura 2.12** a seguir.

2.3.2.5 - Geologia do Município de Jardim

O município de Jardim apresenta um quadro geológico relativamente complexo, observando-se em superfície pequenas exposições de rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses e migmatitos diversos, de idade pré-cambriana. Sobre esse substrato, repousam sequências de rochas sedimentares, de idades distintas. As mais antigas abrangem sedimentos cretáceos das formações Santana e Exu, componentes da bacia sedimentar da chapada do Araripe.

ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	COBERTURAS CONTINENTAIS
CENOZOICO	Quaternário	2,588	Q2a Depósitos aluvionares
	Neógeno		NQc Depósitos colúvio-eluviais
	Paleógeno	23,03	
MESOZOICO	Cretáceo	66	Grupo Araripe K12e Formação Exú
			Grupo Santana K1s Formação Crato K1ba Formação Barbalha
	Jurássico	145,5	Grupo Vale do Cariri K1aa Formação Abaiara J3m Formação Missão Velha J3bs Formação Brejo Santo
Triássico	201,3		
PALEOZOICO		251,9	
	Devoniano	358,9	
	Siluriano	419,2	SDc Formação Cariri
	Ordoviciano	485,4	

Fonte: Carta Geológica - DNPM – Jardim

Figura 2.11 – Relações Tectono-Estratigráficas

- Formação Santana dos Garrotes:** Os sedimentos da Formação Santana dos Garrotes são representados por uma sequência basal constituída de arenitos com intercalações de siltitos, folhelhos e carbonatos; uma sequência intermediária composta de calcários com intercalações de siltitos e folhelhos; e, uma superior constituída de folhelhos calcíferos, calcários laminados, margas e gipsita.
- Formação Exu:** A Formação Exu repousa sobre os sedimentos da Formação Santana, sendo constituída de arenitos de granulação fina a grossa, por vezes conglomerática. As sequências mais novas compreendem sedimentos arenosos a areno-argilosos, localmente conglomeráticos, inconsolidados, constituintes das coberturas terció-quaternárias que ocorrem sob a forma de manchas esparsas, ao longo da

região e, das coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas nos principais cursos de água que drenam o município.

2.3.2.6 - Hidrogeologia do Município de Jardim

No município de Jardim pode-se distinguir três domínios hidro geológicos distintos: Rochas sedimentares, Rochas cristalinas e depósitos Aluvionares.

- **Rochas Sedimentares:** As rochas sedimentares são as mais importantes como aquífero. Caracterizam-se por possuírem uma porosidade primária e, nos termos arenosos, uma elevada permeabilidade, traduzindo-se em unidades geológicas com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água para o município. Na região do Cariri, o Grupo Jardim é considerado a unidade hidrogeologia mais importante e mais perfurada para abastecimento, detendo vazões que podem alcançar até 300 m³/h. As formações Santana e Exu apresentam-se como alternativas importantes para captação de água subterrânea;
- **Rochas Cristalinas:** As rochas cristalinas representam o aquífero fissural. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas, e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido é, na maioria das vezes, salinizada. Essas condições atribuem um potencial hidro geológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades, ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem;
- **Depósitos Aluvionares:** Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância

relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas. O principal riacho do município é o Jardim, onde estão localizados estes aluviões e os eixos estudados da futura Barragem Beré.

2.3.2.7 - Geologia dos Eixos Alternativos

Apresenta-se a seguir na **Figura 2.13** o mapeamento Geológico da região dos Eixos Alternativos da Barragem Beré, que foi feita com auxílio da Carta Geológica - FOLHA S.24-Y-D-VI Jardim e com as observações de campo, são elas:

- NP3st

 Rochas da era Neoproterozoica, período Ediacarano, subdomínio Piancó-Alto Brígida, grupo Cachoeirinha, Formação Santana dos Garrotes. Classificamos como rocha Filítica quartzosa que está presente nos sítios dos eixos 01, 02 e 02a.
- SDC

 Rochas da era Paleozoica, período Siluriano, Formação Cariri. Classificados como arenito médio a grosso, com níveis conglomeráticos e está presente nas ombreiras esquerda dos Eixos 2b e 3b e nas duas ombreiras do Eixo 3a.
- K1cr

 Rochas da era Paleozoica, Período Cretáceo, Grupo Santana dos Garrotes, Formação Crato. Classificamos como rocha Filítica quartzosa que está presente nas ombreiras direita dos Eixos 2b e 3b.
- Q2a

 Era Cenozóico, Período Quaternário. Classificados como depósito aluvionares com areias finas e médias, cascalhos e argilas e está presente no leito do riacho Jardim e em todos Eixos Alternativos.

2.3.3 - INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS NOS EIXOS ALTERNATIVOS

2.3.3.1 - Histórico das Ações de Campo

Com a indicação do Eixo no Edital de licitação e, desde o início dos trabalhos de campo e escritório, que a equipe técnica designada pela Empresa IBI, para elaboração do Projeto Executivo da Barragem Beré, sabia que as condições geológicas, geotécnicas e, principalmente a formação do vale em “V”, um “cânion”, que se estende por quilômetros a montante do eixo indicado, mostrava que a barragem deveria ser em CCR com altura superior a 30,0m e que o maciço da barragem incorporaria o vertedouro desta.

A principal dificuldade de execução da barragem, no local indicado no Edital, seria a construção das estradas de acesso ao sítio da barragem, em vários níveis, durante a construção, com extensão de até 450 metros, pois os taludes do “cânion”, pelo qual atravessa o riacho Jardim, tem declividades muito elevadas e é constituído de pequena camada de solos seguida de rocha, ou, muitas vezes, de rocha aflorando, encarecendo sobremaneira a construção destes acessos e, conseqüentemente, aumentando os custos de construção do empreendimento.

Utilizando-se critérios técnicos (morfologia e geologia do boqueirão, altura do barramento, volume acumulado, tipo de barramento, localização do vertedouro, etc.), foram estudados vários eixos alternativos para a barragem Beré, a saber:

- **Eixo 01** : A montante do Eixo indicado no Edital e distante 51,0m deste;
- **Eixo 02**: A jusante do Eixo do Edital e distante 74,0m deste;
- **Eixo 02a**: A jusante do Eixo do Edital e distante 248,0m deste;
- **Eixo 02b**: A jusante do Eixo do Edital e distante 345,0m deste;
- **Eixo 03b**: A jusante do Eixo do Edital e distante 450,0m deste;
- **Eixo 03a**: A jusante do Eixo do Edital e distante 661,0m deste.

Como o Eixo 03a se mostrou bem mais favorável, em termos de simplicidade de execução e acesso, as investigações geotécnicas foram iniciadas por ele.

Com os resultados das sondagens dos eixos, em aluvião, mostrando as profundidades deste, os eixos foram sendo investigados, um a um, na sequência, em direção a montante, até que as profundidades do solo aluvial fossem satisfatórias e mais econômicas para implantação do empreendimento. Esta foi a diretriz do planejamento das investigações de campo, que será apresentada a seguir.

2.3.3.1.1 - Eixo 03a

O Eixo 03a, mostrou-se bastante favorável pelas condições apresentadas e, por ser uma alternativa em barragem de terra, mais baixa 10m em relação às outras alternativas pois, por estar após a saída do “canion”, a área da bacia hidráulica proporciona maior acumulação de água, para uma altura menor. Contudo, a maior extensão da barragem e a localização do sangradouro escavado na ombreira direita, próximo a CE-390, são fatores negativos para este eixo.

As condições geomorfológicas do boqueirão indicaram que o vertedouro deveria ser localizado na ombreira direita, mas o dimensionado para as vazões das cheias milenar e decamilenar, bem como a proximidade da estrada estadual CE-390, inviabilizaram esta alternativa de locação do vertedouro.

Tentou-se conceber para o Eixo 03a a opção de barragem de terra com vertedouro em CCR no meio do maciço, porém esta alternativa foi também inviabilizada pelo não atendimento ao volume do maciço pelas jazidas de solos estudadas na região, com distâncias de, aproximadamente, 3,0 km do eixo da barragem. Concluiu-se que a barragem deveria ser em CCR, pela abundância de rocha nas proximidades.

Foram executadas investigações geotécnicas no sítio do Eixo 03a, que se apresentou com aluviões espessos, principalmente quando foi executada a sondagem a percussão que chegou na rocha a 9,43m de profundidade. Nestas condições de fundação, a barragem teria uma altura de 30,0m e o volume de CCR ficaria acima de 93 mil m³, inviabilizando o investimento.

2.3.3.1.2 - Eixo 03b

Com o Eixo 03a descartado, também para barragem em CCR, passou-se para o Eixo 03b, situado 211m a montante do Eixo 03a, na tentativa de viabilizar um local na saída do “cânion”. Nesta posição, foram realizadas quatro sondagens a percussão, sendo que duas tiveram profundidades de rocha a 8,20m e 9,30m, inviabilizando também este eixo, pois nestas condições de fundação, a barragem teria uma altura de 40,0m e o volume de CCR ficaria acima de 90 mil m³, inviabilizando o investimento.

2.3.3.1.3 - Eixo 02b

Com o Eixo 03b descartado, para barragem em CCR, passou-se para o Eixo 02b, situado 105m a montante do Eixo 03b, na tentativa de viabilizar um local próximo a saída do “cânion”. Nesta posição, foram realizadas duas sondagens a percussão que tiveram profundidades de rocha a 8,05m e 10,15m. Nestas condições de fundação, a barragem teria uma altura de 42,0m e o volume de CCR ficaria acima de 78 mil m³, inviabilizando o investimento.

2.3.3.1.4 - Eixo 02a

Com o Eixo 02b descartado para barragem em CCR, passou-se para o Eixo 02a, situado 97,0m a montante do Eixo 02b. Neste eixo, duas sondagens a percussão tiveram profundidades de rocha a 6,40m e 9,30m, inviabilizando também este local, pois nestas condições de fundação, a barragem teria uma altura de 42,0m e o volume de CCR ficaria acima de 72,7 mil m³, inviabilizando o investimento.

2.3.3.1.5 - Eixo 02

Com o Eixo 02a descartado para barragem em CCR, passou-se para o Eixo 02, situado 174,0m a montante do Eixo 02a. Neste eixo, as 10 sondagens a trado realizadas, atingiram no máximo a profundidade de 1,10m de solo aluvial viabilizando o Eixo 02. Escolhido o Eixo 02, foram programadas e executadas as sondagens rotativas, com a execução, também, dos ensaios de perda d’água.

As investigações geotécnicas realizadas nos locais dos Eixos Alternativos da barragem Beré promoveram a identificação e compreensão das características e

peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso dos sítios destes Eixos, visando à escolha do local a ser desenvolvido o Projeto Executivo e finalmente a melhor concepção técnica e econômica do tipo de barramento mais adequado e seguro para o local escolhido.

2.3.3.2 - Sondagens Realizadas nos Eixos Alternativos

A **Tabela 2.3** mostra o número e a soma das profundidades das sondagens executadas nos eixos alternativos estudados. Os resultados detalhados das investigações geotécnicas foram apresentados nos Anexos do Volume 3 - Estudos Geológicos-Geotécnicos da Fase A.

Tabela 2.3 – Resumo das Sondagens Executadas nos Eixos Estudados

Nº	EIXO BARRÁVEL	POÇOS DE INSPEÇÃO				SONDAGEM A PERCUSSÃO		SONDAGEM ROTATIVA	
		PÁ E PICARETA		COM MÁQUINA		Nº	H (m)	Nº	H (m)
		Nº	H (m)	Nº	H (m)				
1	EIXO 01								
2	EIXO 02	10	8,00					9	72,50
3	EIXO 02a					4	22,50		
4	EIXO 02b					4	23,13		
5	EIXO 03a			17	21,20	1	9,43		
6	EIXO 03b					4	23,22		
TOTAIS		10	8,00	17	21,20	13	78,28	9	72,50

A **Tabela 2.3** mostra que foram realizadas 49 prospecções mecânicas, que totalizam 179,98m de profundidades, distribuídas ao longo dos sítios dos 6 (seis) eixos alternativos estudados para o barramento.

No Eixo 01 não foram feitas investigações geotécnicas, por ter sido cumprida as metas da diretriz do planejamento das investigações de campo.

No Eixo 02 (adotado) foram realizadas 19 prospecções mecânicas, sendo 10 sondagens à pá e picareta, 9 sondagens rotativas. Nos Eixos 02a, 02b e 03b foram realizadas 4 sondagens à percussão em cada um e no Eixo 03a foi realizada somente uma sondagem a percussão e 17 poços com máquina escavadeira.

A localização de todos os furos da campanha de sondagens é apresentada no desenho 06 - BERÉ-DES-BAR-PEX-SON-01 do Volume 2 deste Projeto Executivo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados aos eixos topográficos implantados e tiveram suas coordenadas UTM registradas, ver Anexos do Volume 3 - Estudos Geológicos-Geotécnicos da Fase A – Elaboração dos Estudos Básicos, boletins de sondagens.

As sondagens investigaram a faixa superficial e fundação da barragem, até uma profundidade máxima da ordem de 9,40 metros, suficiente para definição das condições de contorno do projeto da barragem.

Para avaliar a permeabilidade dos solos da fundação da Barragem e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de perda d'água sob pressão (LUGEON), nos furos de sondagens rotativas, executados no Eixo 02 (selecionado).

2.3.3.2.1 - Poços de Inspeção

Os poços de Inspeção foram executados de duas maneiras: 10 poços a Pá e Picareta no Eixo 02 e 17 poços com Máquina Escavadeira no Eixo 03a, todas executadas até o impenetrável, que pode ser o topo rochoso ou uma zona de transição entre o material de 2ª categoria e 3ª categoria. A **Tabela 2.4** a seguir mostra um resumo destes poços de inspeção.

Tabela 2.4 – Profundidades dos Poços de Inspeção dos Eixos Alternativos (m)

Nº	EIXO BARRÁVEL	POÇOS DE INSPEÇÃO																										
		POÇOS A PÁ E PICARETA										COM MÁQUINA ESCAVADEIRA																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	EIXO 01																											
2	EIXO 02	0,40	0,80	1,00	1,10	0,80	1,10	0,70	0,80	0,60	0,70																	
3	EIXO 02a																											
4	EIXO 02b																											
5	EIXO 03a											0,50	0,90	3,10	1,6	3,20	0,80	3,20	1,10	1,00	0,60	0,80	0,70	0,60	1,10	1,00	0,60	0,40
6	EIXO 03b																											

2.3.3.2.2 - Sondagens à Percussão

As 13 sondagens à percussão na área dos 5 (cinco) eixos de barramento investigados totalizaram 78,28m, representando uma espessura média de 6,02m de solo penetrável a tal ferramenta.

Na **Tabela 2.5**, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas executadas nos eixos alternativos do barramento.

Tabela 2.5 – Profundidades das Sondagens SPT nos Eixos Alternativos (m)

Nº	EIXO BARRÁVEL	SONDAGENS A PERCUSSÃO - SPT			
		1	2	3	4
1	EIXO 01				
2	EIXO 02				
3	EIXO 02a	4,50	6,40	9,30	2,30
4	EIXO 02b	1,48	3,45	10,15	8,05
5	EIXO 03a	9,43			
6	EIXO 03b	1,65	8,20	9,30	4,07
TOTAIS		TOTAL		78,28	

2.3.3.2.3 - Sondagens Rotativas

No Eixo 02, escolhido para elaboração deste Projeto Executivo da Barragem Beré, foram executadas 9 (nove) sondagens rotativas, totalizando 72,50m.

No **Tabela 2.6** apresentado a seguir, são relacionadas as sondagens rotativas, com as respectivas profundidades realizadas no sitio do Eixo 02. As sondagens executadas possuem profundidades variando de 6,50m a 9,40m.

A **Figura 2.14**, apresentada a seguir, mostra a localização das sondagens executadas no Eixo 02 (selecionado) que foram referenciadas ao estaqueamento do eixo e das seções levantadas.

2.3.3.2.4 - Ensaios de Perda D'Água

Nos furos de sondagens rotativas foram executados 10 (dez) ensaios de perda d'água sob pressão, sendo 02 no Furo SR-1 e um ensaio nos demais furos .

Tabela 2.6 – Eixo 02 da Barragem Beré - Sondagens Rotativas Executadas (m)

Nº	EIXO BARRÁVEL	SONDAGENS ROTATIVAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	EIXO 01									
2	EIXO 02	9.00	9.40	8.00	9.20	7.00	7.40	6.50	8.00	8.00
3	EIXO 02a									
4	EIXO 02b									
5	EIXO 03a									
6	EIXO 03b									
TOTAL		72.50								

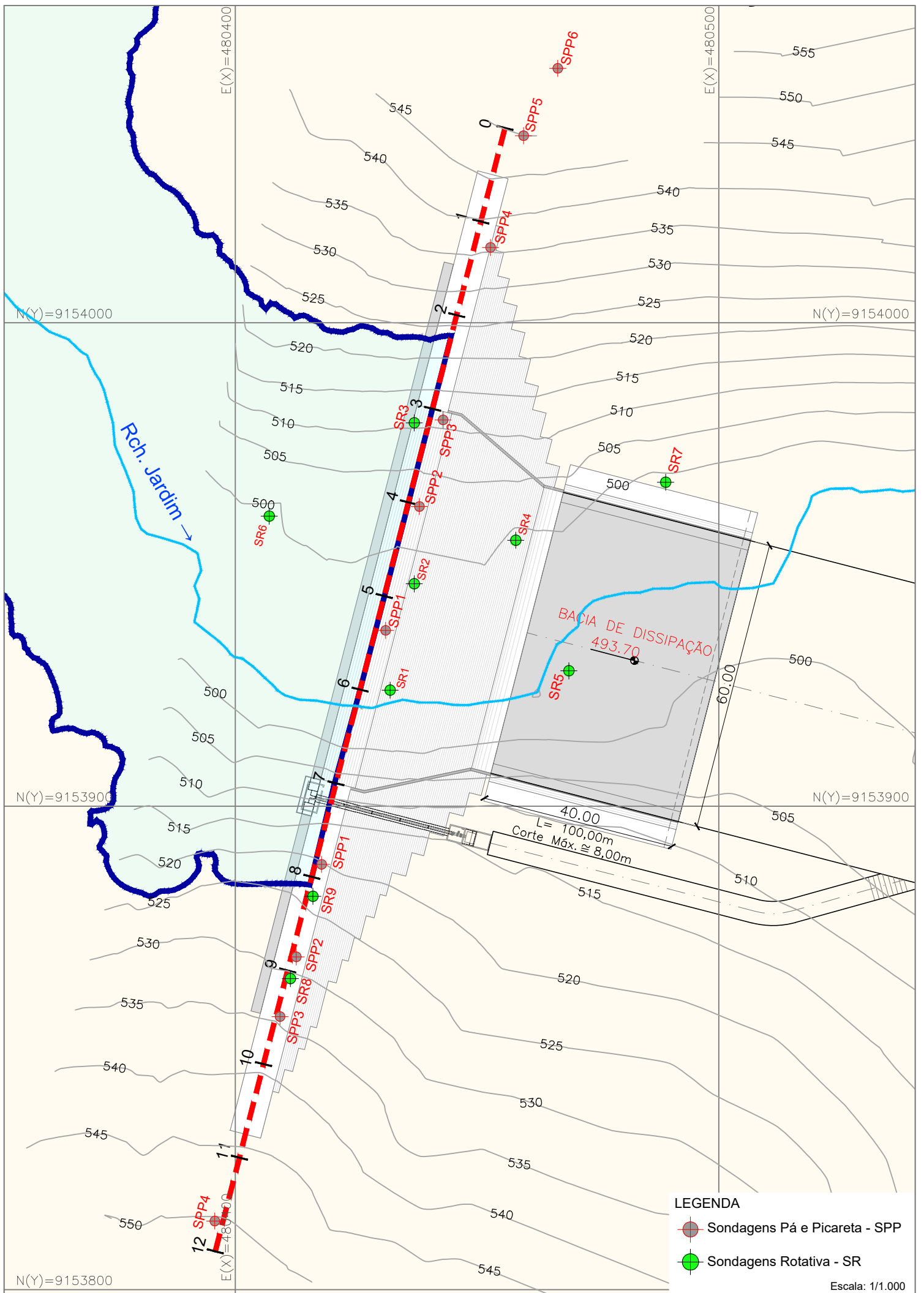


Figura 2.14 – Localização das Sondagens Executadas no Eixo 2 (Selecionado)

2.3.4 - ESTUDOS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

2.3.4.1 - Jazidas de Solos

Visando inicialmente a construção da barragem Beré em maciço de terra, ou zoneada, foi investigada a ocorrência na região de jazidas de solos, onde estão identificadas as seguintes jazidas:

- **Jazida do Ivo:** Localizada nas coordenadas $X=480.567$ e $N=9.153.507$ (centro de massa), no Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=1,03$ m, Área $A=18.456$ m², Volume Bruto $V_{\text{Bruto}}=18.917$ m³ e $V_{\text{Líquido}}=13.242$ m³;
- **Jazida 01 :** Localizada nas coordenadas $X=480.344$ e $N=9.153.533$ (centro de massa), distante 724,0m do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=0,56$ m, Área $A=20.519$ m², Volume Bruto $V_{\text{Bruto}}=11.579$ m³ e $V_{\text{Líquido}}=8.105$ m³;
- **Jazida 02a:** Localizada nas coordenadas $X=479.505$ e $N=9.152.937$ (centro de massa), distante 1.574,0m do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=0,96$ m, Área $A=300.379$ m², Volume Bruto $V_{\text{Bruto}}=289.115$ m³ e $V_{\text{Líquido}}=202.381$ m³;
- **Jazida 02:** Localizada nas coordenadas $X=478.761$ e $N=9.152.746$ (centro de massa), distante 3.619,0m do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=0,78$ m, Área $A=199.756$ m², Volume Bruto $V_{\text{Bruto}}=155.810$ m³ e $V_{\text{Líquido}}=109.067$ m³;
- **Jazida 03:** Localizada nas coordenadas $X=487.217$ e $N=9.149.298$ (centro de massa), distante 8.613,0m do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=2,0$ m, Área $A=360.000$ m², Volume Bruto $V_{\text{Bruto}}=720.000$ m³ e $V_{\text{Líquido}}=504.000$ m³.

Apresenta-se a seguir o **Tabela 2.7** mostrando todas sondagens executadas a Trado em cada Jazida, as áreas das jazidas e os volumes bruto e líquido destas.



Tabela 2.7 – Características das Sondagens a Trado das Jazidas

SSP	COORDENADAS		ALTURAS DOS POÇOS (m)			ÁREA DA JAZIDA (m ²)	VOLUME BRUTO DA JAZIDA (m ³)	VOLUME LÍQUIDO DA JAZIDA (m ³)	DIST. PARA EIXO 3a (Km)
	X	Y	H Total	H 1ª Cat	H 2ª Cat				
JAZIDA - SR. IVO			1,03	0,90	1,25	18.456,00	18.917,00	13.242,00	0,000
1	480.513	9.153.599	0,50	0,50					
2	480.543	9.153.584	1,30	1,00	1,30				
3	480.576	9.153.592	1,20	1,00	1,20				
4	480.638	9.153.665	1,10	1,10					
JAZIDA - 1			0,56	0,34	0,59	20.519,00	11.579,00	8.105,00	0,724
1	480.220	9.153.517	0,50	0,20	0,50				
2	480.273	9.153.507	0,50	0,30	0,50				
3	480.310	9.153.507	0,40	0,20	0,40				
4	480.321	9.153.540	0,60	0,40	0,60				
5	480.311	9.153.511	0,20	0,20					
6	480.360	9.153.515	0,60	0,30	0,60				
7	480.368	9.153.545	0,60	0,40	0,60				
8	480.403	9.153.532	0,70	0,40	0,70				
9	480.394	9.153.562	0,60	0,60					
10	480.391	9.153.560	0,60	0,60					
11	480.410	9.153.582	0,70	0,40	0,70				
12	480.454	9.143.589	0,70	0,40	0,70				
13	480.478	9.153.554	0,60	0,20	0,60				
14	480.496	9.153.594	0,60	0,20	0,60				
JAZIDA - 2			0,78	0,44	0,87	199.756,00	155.810,00	109.067,00	3,619
1	478.549	9.152.896	0,70	0,70					
2	478.656	9.152.866	0,80	0,80					
3	478.755	9.152.849	1,00	1,00					
4	478.849	9.152.837	0,80	0,30	0,80				
5	478.955	9.152.838	0,90	0,15	0,90				
6	478.955	9.152.904	0,90	0,30	0,90				
7	478.860	9.152.948	0,80	0,30	0,80				
8	478.861	9.152.736	0,90	0,10	0,90				
9	478.963	9.152.737	0,90	0,20	0,90				
10	478.928	9.152.646	0,90	0,20	0,90				
11	478.587	9.152.979	0,40	0,40					
12	478.684	9.152.985	0,70	0,40	0,70				
13	478.779	9.152.944	1,10	0,70	1,10				
14	478.817	9.152.637	1,00	0,30	1,00				
15	478.713	9.152.643	0,90	0,30	0,90				
16	478.712	9.152.774	0,60	0,40	0,60				
17	478.605	9.152.799	0,60	0,60					
18	478.762	9.152.551	0,50	0,50					
19	479.110	9.152.849	0,50	0,50					
20	479.240	9.152.848	0,70	0,70					
JAZIDA - 2a			0,96	0,58	1,05	300.379,00	289.115,00	202.381,00	1,574
21	479.352	9.152.871	0,60	0,60					
22	479.475	9.152.913	0,80	0,80					
23	480.086	9.153.050	1,80	1,20	1,80				
24	479.979	9.153.128	0,60	0,20	0,60				
25	479.860	9.153.098	0,60	0,30	0,60				
26	479.835	9.153.025	1,80	0,90	1,80				
27	479.722	91.553.081	0,70	0,40	0,70				
28	479.636	9.153.128	0,80	0,20	0,80				
JAZIDA - 3			2,00	2,00		360.000,00	720.000,00	504.000,00	8,613
TOTAL GERAL						899.110,00	1.195.421,00	836.795,00	

2.3.4.2 - Jazidas de Areia

As jazidas de areia de rio identificadas na região, destinadas a construção de filtros em barragem de maciço de terra, ou zoneada, e destinadas também para confecção dos concretos, estão situadas nos riachos Retirania e Porteiras, ver Volume 2 – Desenhos -Tomo I Parte A da Fase A, e possuem as seguintes características:

- **Jazida do Riacho Retirania:** Localizada nas coordenadas $X=486.953$ e $N=9.160.388$ (centro de massa), **distante 21,59 km** do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=2,50$ m, Área $A=75.440$ m² e Volume $V=188.600$ m³;
- **Jazida do Riacho Porteiras:** Localizada nas coordenadas $X=490.168$ e $N=9.164.720$ (centro de massa), **distante 33,14 km** do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=2,70$ m, Área $A=74.635$ m² e Volume $V=201.514$ m³.

2.3.4.3 - Pedreiras

As Pedreiras identificadas na região, destinadas a construção de filtros em barragem de maciço de terra, ou zoneada, e destinadas também para confecção dos concretos, estão situadas no município de Jati e tem as seguintes características:

- **Pedreira do Beleza (sendo utilizada pela CLC):** Localizada nas coordenadas $X=496.394$ e $N=9.152.098$ (centro de massa), **distante 27,8km** do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=5,00$ m, Área explorada atual de $A=63.563$ m², Área total incluindo a já explorada $A=528.666$ m² e Volume Bruto potencial $V=2.643.330$ m³ e Volume Líquido potencial de $2.114.664$ m³;
- **Pedreira do Jati (desativada):** Localizada nas coordenadas $X=499.988$ e $N=9.151.567$ (centro de massa), **distante 27,8km** do centro do Eixo 03a, com as seguintes características: Altura Média de $H=5,00$ m, Área explorada atual de $A=38.731$ m², Área total incluindo a já explorada $A=300.380$ m² e Volume Bruto potencial $V=1.501.900$ m³ e Volume Líquido potencial de $1.201.520$ m³.

Alternativamente, como o Eixo-02 (selecionado) foi planejado com maciço/vertedouro em CCR, o construtor poderá montar um britador a montante dos eixos barráveis, na área a ser inundada pela bacia hidráulica, e fornecer brita e areia artificial para as obras da barragem, já que a rocha local, disponível em abundância, mostra-se apta para estas finalidades.

No TOMO II - Anexos do Relatório do Volume 3 - Estudos Geológicos-Geotécnicos da Fase A – Elaboração dos Estudos Básicos foram apresentados os resultados dos dois ensaios de abrasão “Los Angeles”, realizados em duas amostras de 10kg das rochas existentes, no local do Eixo 02 e a montante deste eixo.

Pelos resultados, podemos afirmar que o complexo rochoso e aflorante que se apresenta no local do Eixo 02 e a montante deste, em termos de abrasão, poderão ser utilizadas no CCR da barragem e outras obras de concreto.

Quanto a classificação e identificação da rocha, que aflora no local da barragem optou-se por análise da lâmina em laboratório, para ter a certeza que tipo de rocha predomina no sítio do Eixo-02 e na bacia hidráulica do mesmo.

A amostra da rocha estudada, analisada a primeira vista, apresenta cor preta e exibe fratura de coloração branca, entretanto, não é possível a identificação de seus constituintes minerais. Ao ser submetida ao ataque com Ácido Clorídrico (HCl a 10%) a rocha não apresentou efervescência sob condições “in natura”, sendo, imediatamente, descarta a possibilidade de ser de uma rocha carbonática. A rocha analisada está inserida no grupo das rochas cataclásticas que compreendem: as Brechas de Falha, os Cataclasitos e os Milonitos.

2.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos da barragem Beré aqui apresentados foram elaborados pela equipe técnica da IBI, os quais abrangem a caracterização física da bacia hidrográfica, os estudos pluviométricos, os estudos fluviométricos, o dimensionamento do reservatório, o estudo de cheia e dimensionamento do vertedouro e o estudo de assoreamento da barragem Beré. Este estudo foi elaborado de maneira independente ao que foi realizado pela FUNCEME, o qual foi previsto nos referidos Termos de Referência. Ao final deste item será apresentado

um comparativo entre os dois estudos e a indicação de quais resultados foram utilizados para subsidiar o estudo de concepção da barragem Beré e a elaboração do seu Projeto Executivo.

2.4.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

2.4.1.1 - Área, Perímetro e Rio Principal

A bacia hidrográfica do Eixo 02 tem, aproximadamente, 1.409,9 km² de área, perímetro com 214,1 km e seu principal curso d'água, mede 76,6 km.

2.4.1.2 - Curva Hipsométrica

De acordo com a **Figura 2.15** a seguir, podemos observar que a bacia hidrográfica da bacia do riacho Jardim, apresenta cotas variando entre 508 e 986 metros, havendo um predomínio de áreas com cotas entre 900 e 950 metros. A curva hipsométrica representa a variação da elevação dos terrenos da bacia com referência ao nível do mar. A **Figura 2.16**, também a seguir, apresenta a curva hipsométrica para a bacia do riacho Jardim. A cota média da bacia é 891,6 m.

2.4.1.3 - Declividade Média

A declividade dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial. Quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, menor o tempo de concentração e maior os picos de cheias.

A partir da **Figura 2.17**, constata-se a existência de diferentes classes de declividades, sendo o predomínio (aproximadamente 89%) de declividades menores que 5%, ou seja, de áreas planas, cujo escoamento superficial é muito lento.

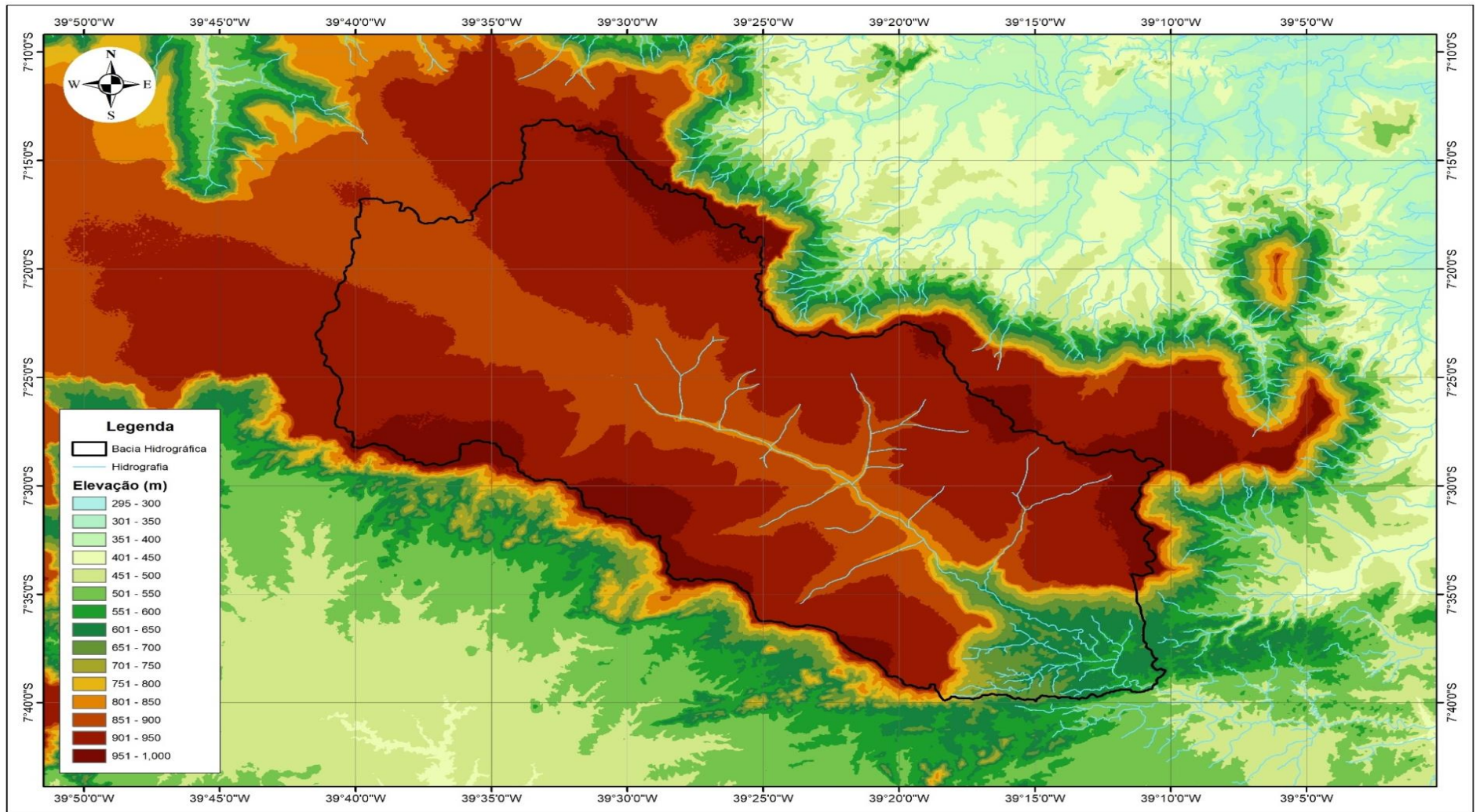


Figura 2.13 – Modelo Digital do Terreno da Bacia do Riacho Jardim

2.4.1.4 - Cota x Área x Volume da Bacia Hidráulica

A seguir são apresentadas as curvas de cota x área x volume. Estes dados são apresentados na **Tabela 2.8** e na **Figura 2.18**.

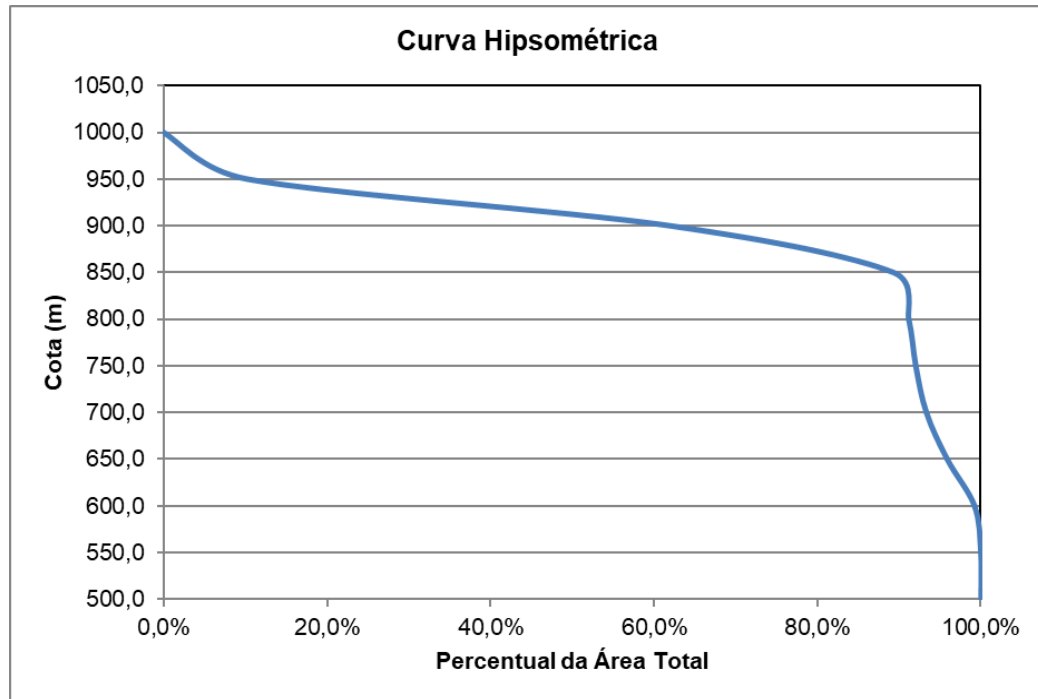


Figura 2.14 – Curva Hipsométrica da Bacia Hidrográfica

Tabela 2.8 – Cota x Área x Volume do Reservatório

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
510,00	0,04	0,23
515,00	0,07	0,50
520,00	0,09	0,89
525,00	0,12	1,42
530,00	0,16	2,12
532,50	0,19	2,56
535,00	0,22	3,07
538,50	0,28	3,94
540,00	0,30	4,38

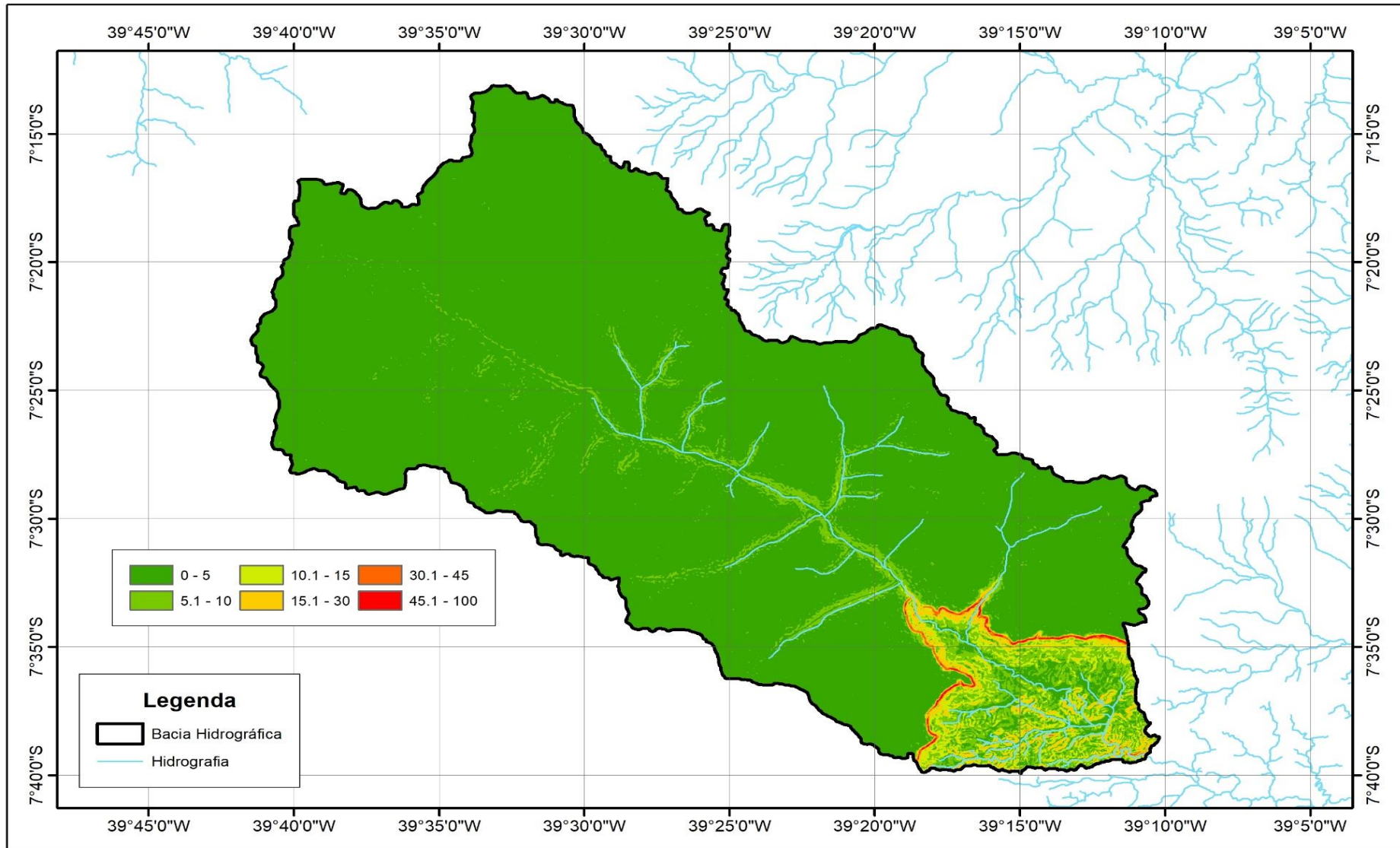


Figura 2.15 – Mapa de Declividades da Bacia

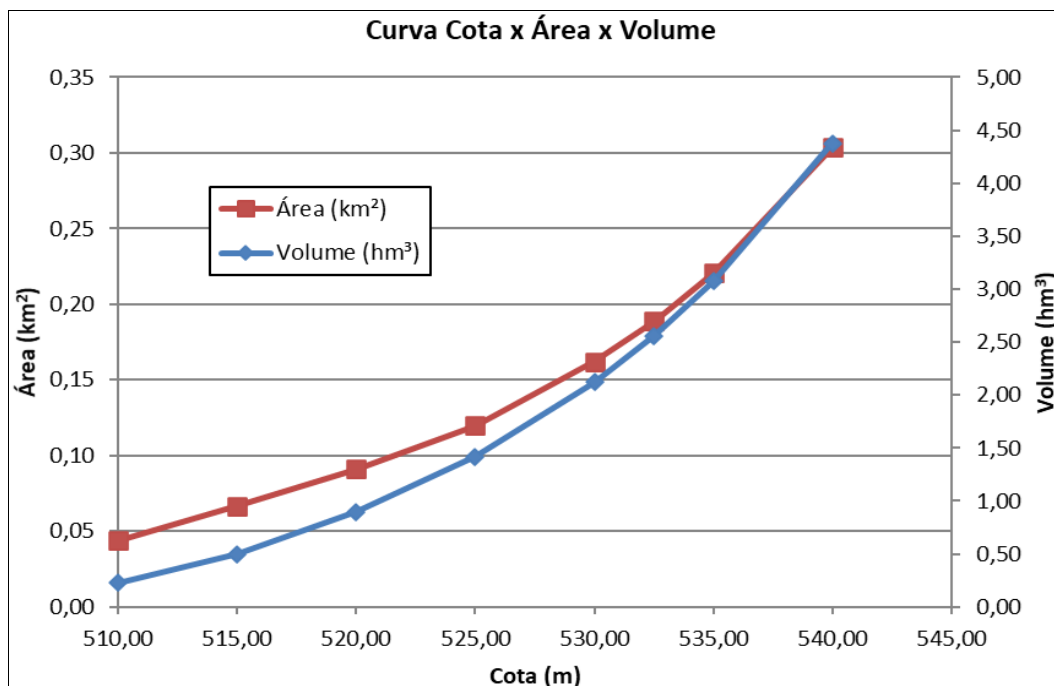


Figura 2.16 – Cota-Área-Volume

2.4.2 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

2.4.2.1 - Diagnóstico da Base de Dados Pluviométricos

Através do Banco de Dados HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) foi identificado apenas dois postos pluviométricos localizados internamente à bacia hidrográfica da Barragem Beré.

Da literatura especializada sabe-se que a cobertura de um posto pluviométrico é de 25 km². Desta forma requer-se 56 postos para termos uma cobertura ideal da bacia. Contudo, está bacia apresenta um cobertura deficitária. Decidiu-se, portanto, pela utilização de postos localizados nas proximidades da mesma.

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Thiessen. Foram analisadas todas as estações pluviométricas localizadas nas proximidades da bacia hidrográfica da Barragem Beré.

2.4.2.2 - Caracterizações do Regime Pluviométrico

2.4.2.2.1 - Nível Anual

A precipitação média anual observada na bacia de drenagem da barragem Beré é de 973,4 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,31. A distribuição anual da precipitação média sobre a bacia é observada na **Tabela 2.9**.

Tabela 2.9 – Precipitação anual gerado pelo método de Thiessen

Ano	(mm)	Ano	(mm)	Ano	(mm)	Ano	(mm)
1911	659,55	1939	948,35	1967	1024,5	1995	917,12
1912	847,37	1940	1559,3	1968	533,35	1996	1151,2
1913	955,53	1941	1152,2	1969	694,51	1997	880,65
1914	804,73	1942	623,58	1970	402,3	1998	786,71
1915	582,48	1943	1189,1	1971	982,32	1999	899,43
1916	980,37	1944	848,9	1972	900,2	2000	808,55
1917	1310,2	1945	1106,6	1973	913,71	2001	604,55
1918	1044,5	1946	1208,4	1974	1137,7	2002	770,39
1919	422,91	1947	1293,7	1975	804,71	2003	837,08
1920	1181,1	1948	955,58	1976	1014,4	2004	1299,1
1921	1223,1	1949	1096,2	1977	1232,6	2005	1084,5
1922	1587,6	1950	1241,8	1978	1172,6	2006	1065,7
1923	1078,4	1951	717,77	1979	1146,6	2007	837,17
1924	1931,7	1952	801,89	1980	992,39	2008	1191,5
1925	1292,2	1953	722,59	1981	801,28	2009	1211,00
1926	808,59	1954	810,78	1982	622,54	2010	1019,8
1927	724,12	1955	1253,2	1983	654,98	2011	1287,6
1928	749,06	1956	1096,8	1984	1276,4	2012	566,68
1929	667,13	1957	63,345	1985	2262,00	2013	845,61
1930	729,87	1958	542,63	1986	1170,8	2014	1038,7
1931	829,84	1959	959,04	1987	1065,3	2015	786,91
1932	1031,5	1960	938,94	1988	1293,00	2016	701,1
1933	1260,7	1961	1338,7	1989	1255,9	2017	605,61
1934	1271,6	1962	1083,3	1990	718,89	2018	1040,1
1935	1010,2	1963	1088,7	1991	721,89	2019	964,68
1936	694,49	1964	1108,4	1992	1002,8	2020	1271,8
1937	1051,6	1965	956,21	1993	502,73	2021	1037,5
1938	921,48	1966	842,98	1994	1033,2		

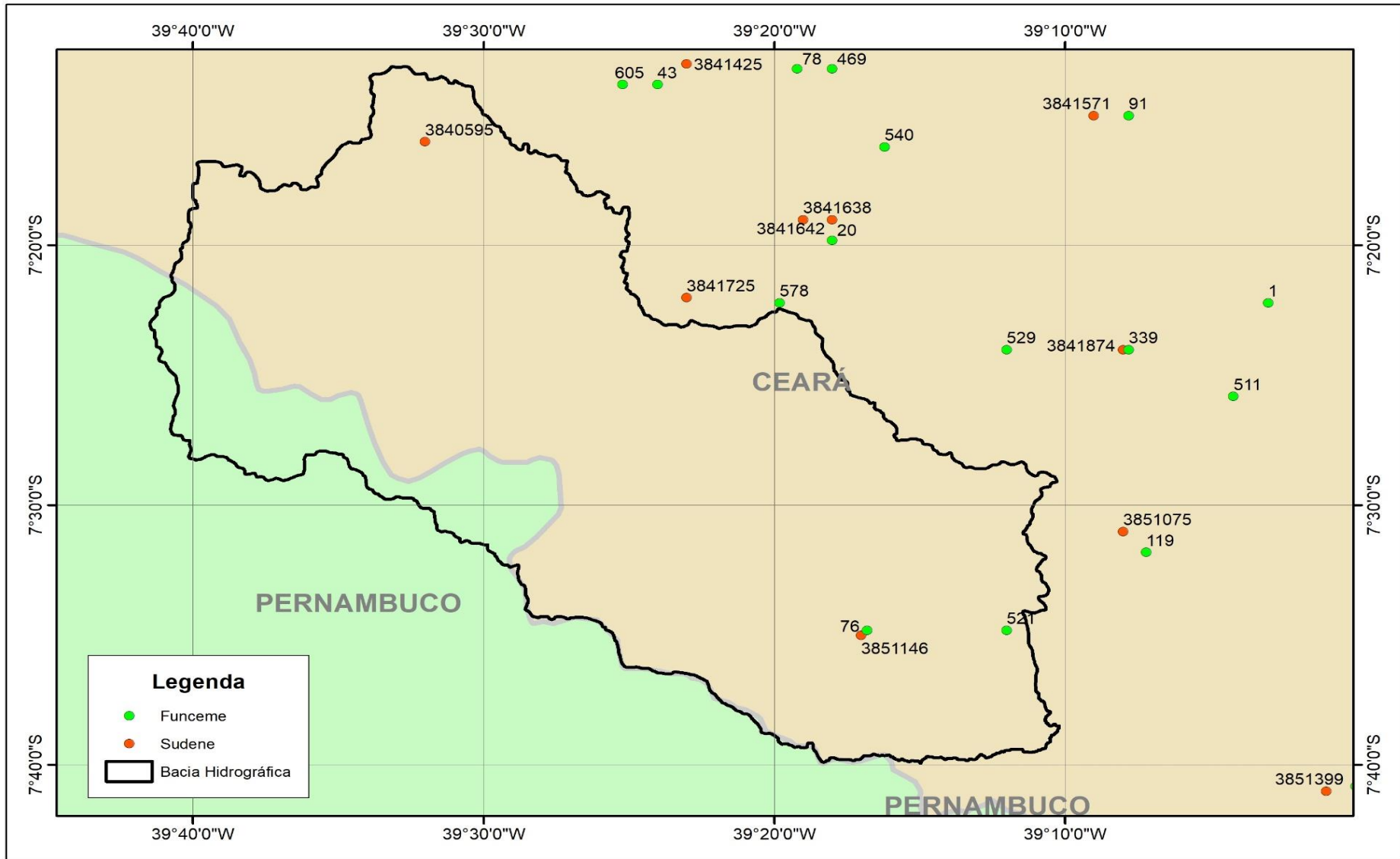


Figura 2.17 – Postos pluviométricos utilizados

2.4.2.2.2 - Nível Mensal

As precipitações estão concentradas no semestre composto pelos meses de Dezembro a Maio, onde ocorrem 87,2% do total anual. O mês mais chuvoso é Março (223,0 mm) e os meses de Agosto ocorre o menor índice de precipitação (5,8 mm). A distribuição temporal da precipitação média mensal é apresentada na **Tabela 2.10** e na **Figura 2.20**.

Tabela 2.10 – Precipitação média mensal na bacia hidrográfica

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
P(mm)	144,4	183,4	223,0	155,6	61,9	29,1	16,2	5,8	9,1	23,0	41,7	80,3

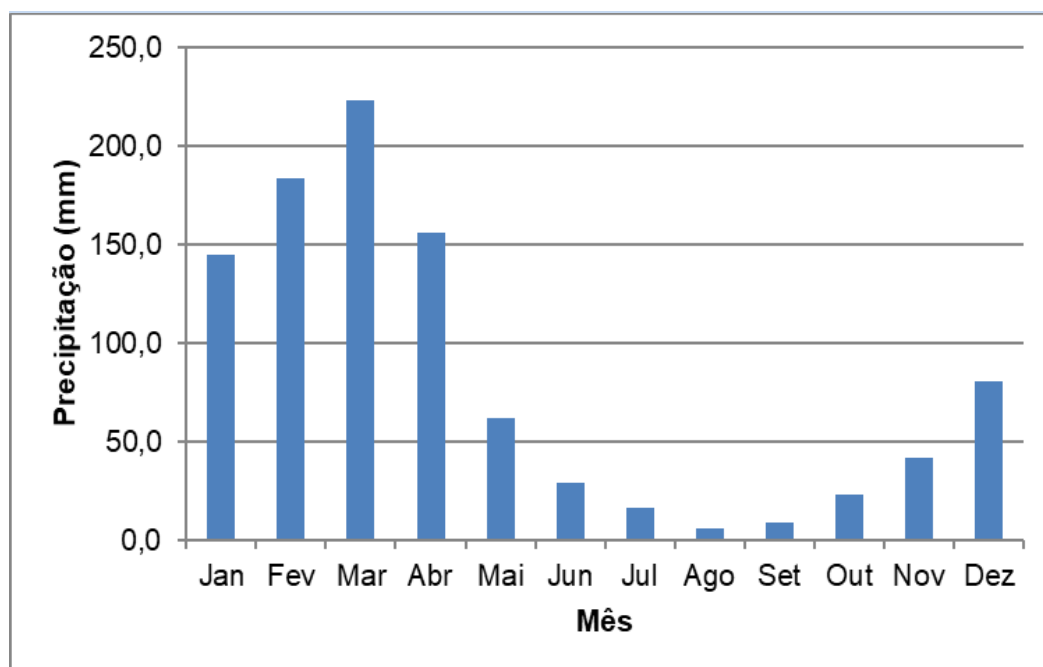


Figura 2.18 – Precipitação média mensal sobre a bacia hidrográfica

A nível trimestral, nota-se mais ainda a concentração temporal, onde constata-se que 63% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano: Março, Abril e Maio. Neste trimestre, o mês de Março corresponde ao mais chuvoso, com 22,9% do total anual. Destaca-se também Fevereiro com precipitação média de 183,41 mm.

Na **Tabela 2.11** mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), proveniente da **Tabela 2.10**.

Tabela 2.11 – Índices de concentração pluviométrica média

MÊS	VALOR	%TOT
Março	156,0	20,7%
TRIMES	VALOR	%
FMA	397,1	52,8%
SEM	VALOR	%
Dez a Mai	619,7	82,4%

2.4.2.2.3 - Nível Diário

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

2.4.3 - ESTUDOS FLUVIOMÉTRICOS

Os estudos hidrológicos são fundamentais para elaboração de projetos e para um adequado gerenciamento dos recursos hídricos. Infelizmente, na maioria dos casos, a informação hidrológica não está disponível para a região objeto destes estudos. Nestes casos, a regionalização hidrológica é uma das formas encontradas de transferir informações para locais onde não existem dados com base em registros existentes em outras regiões.

A escassez de dados tem dois parâmetros básicos, a disponibilidade temporal e espacial da informação. Muitos postos com poucos anos, não retratam necessariamente uma amostra representativa de muitos anos (postos correlacionáveis).

2.4.3.1 - Diagnóstico da Base de Dados Fluviométricos

Inicialmente avaliou-se a atual condição de monitoramento das estações fluviométricas. Através do banco de dados HydroWeb, de propriedade da Agência Nacional de Águas, não foram identificadas estações fluviométricas na bacia hidrográfica da barragem Beré com registros de vazões. Desta forma, optou-se por utilizar a estação Podimirim 36250000.

2.4.3.2 - Modelo Hidrológico MODHAC

O modelo hidrológico utilizado para a calibração e geração de vazões utilizadas no presente estudo foi o MODHAC (*Modelo Hidrológico Auto-Calibrável*), desenvolvido por Lanna e Schwarzbach (1989). O MODHAC é um modelo chuva-vazão do tipo conceitual e concentrado. Assim como outros modelos conceituais, procura representar o armazenamento e os fluxos de água na bacia através de reservatórios fictícios. O modelo possui uma estrutura relativamente simples, composta por três reservatórios que tentam representar o armazenamento e os fluxos na superfície, na camada superior do solo e no aquífero, como pode ser visualizado na **Figura 2.21**.

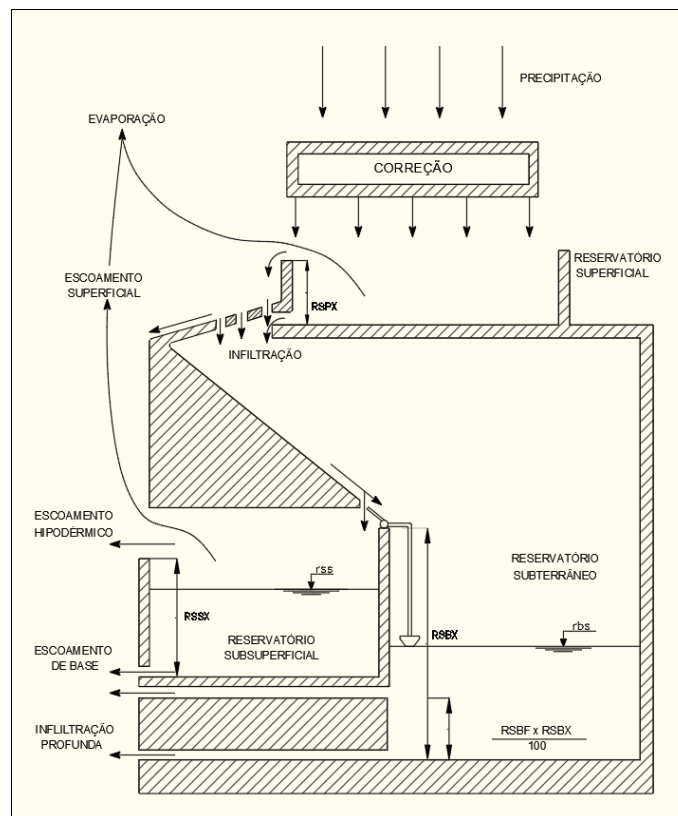


Figura 2.19 – Representação do modelo MODHAC (Lanna, 1997)

O modelo *MODHAC* consiste de quinze parâmetros, os quais possuem uma interpretação física, possibilitando assim uma possível determinação a partir de informações físicas/ambientais. São eles:

- RSPX - capacidade máxima do reservatório superficial.
- RSSX - capacidade máxima do reservatório subsuperficial.
- RSBX - capacidade máxima do reservatório subterrâneo.

- RSBF - Armazenamento mínimo do reservatório subterrâneo para haver escoamento de base.
- IMAX - permeabilidade do solo.
- IMIN - infiltração mínima.
- IDEC - coeficiente de infiltração.
- ASP - expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial.
- ASS - expoente da lei de esvaziamento do reservatório subsuperficial.
- ASB - expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo.
- PRED - correção da precipitação.
- CEVA - parâmetro da lei de evapotranspiração do solo.
- CHOM - fração da evapotranspiração potencial.
- TS - tempo de trânsito do escoamento superficial
- TB - tempo de trânsito do escoamento subterrâneo.

Os dados de entrada do modelo são a precipitação média na bacia (P), dada em mm, a evapotranspiração potencial (EP), também em mm, e a área de drenagem da bacia (A) em km².

2.4.3.3 - Estação 36250000

A Frente de Pareto identificada e os hidrogramas calculados durante a calibração são apresentados nas **Figuras 2.22 e 2.23**, respectivamente. Adotou-se como ajuste a ser utilizado na geração das vazões aquele associado ao melhor Nash da série completa. Entende-se que esse apresenta bons resultados para os picos. Os valores das funções objetivo e respectivos parâmetros são apresentados na **Tabela 2.12**.

Tabela 2.12 – Conjunto de parâmetros para o modelo MODHAC

CALIBRAÇÃO			PARÂMETROS					
Período	Nash Total	Nash Curva de Permanência	RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN
						162,8	3333	1609,2
1973-1991	87,5%	99%	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA
			0,25	0,001	0,013	0,280	999,0	0,965

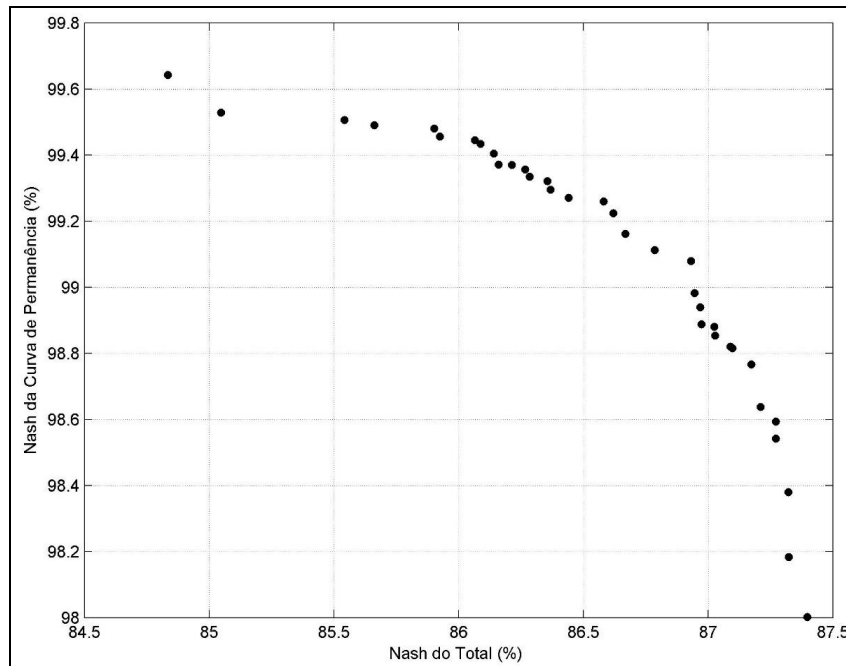


Figura 2.20 – Calibração do modelo MODHAC para o posto 36250000

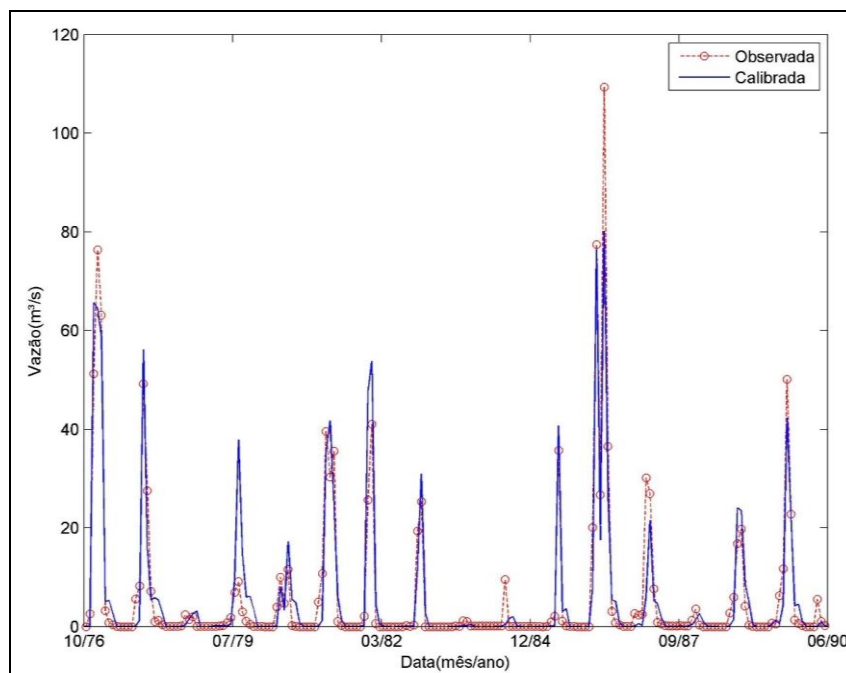


Figura 2.21 – Vazões do modelo MODHAC para o posto 36250000

2.4.3.4 - Vazões Afluentes ao Barramento

Foi realizada a simulação das vazões afluentes para a bacia do reservatório, utilizando os parâmetros encontrados para o posto fluviométrico 36250000. Os dados de evapotranspiração foram obtidos através do método de Thornthwaite.

2.4.4 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifique os investimentos a serem realizados.

Hidrologicamente, os objetivos centrais deste capítulo são:

- Análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade da barragem; e,
- Estimativa das perdas por evaporação e sangria.

O traçado das curvas de regulação inclui: volume evaporado (E), volume liberado (M) e volume sangrado (S) versus capacidade (K) e dM/dK versus K.

2.4.4.1 - Resultados Para Condição Atual

Os resultados obtidos demonstram ganhos incrementais na capacidade de regularização com o aumento do barramento para além da cota 532,5. Para a capacidade de 2,56 hm³ e uma garantia de 99%, este regulariza 4,7% do volume afluente médio, ou seja, 4,18 hm³/ano (0,133 m³/s). A **Tabela 2.13** mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG).

Tabela 2.13 – Estudo incremental de capacidades da barragem Beré (Garantia de 99%)

Cota (m)	K (hm ³)	fk=K/m	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	dM/dK	Q99
525,00	1,42	0,02	3,8%	3,34	0,2%	0,14	96,1%	85,50		0,106
530,00	2,12	0,02	4,4%	3,91	0,2%	0,20	95,4%	84,88	0,80	0,124
532,50	2,56	0,03	4,7%	4,18	0,3%	0,24	95,0%	84,57	0,63	0,133
535,00	3,07	0,03	5,0%	4,43	0,3%	0,28	94,7%	84,28	0,49	0,141
540,00	4,38	0,05	5,2%	4,65	0,5%	0,41	94,3%	83,92	0,26	0,148

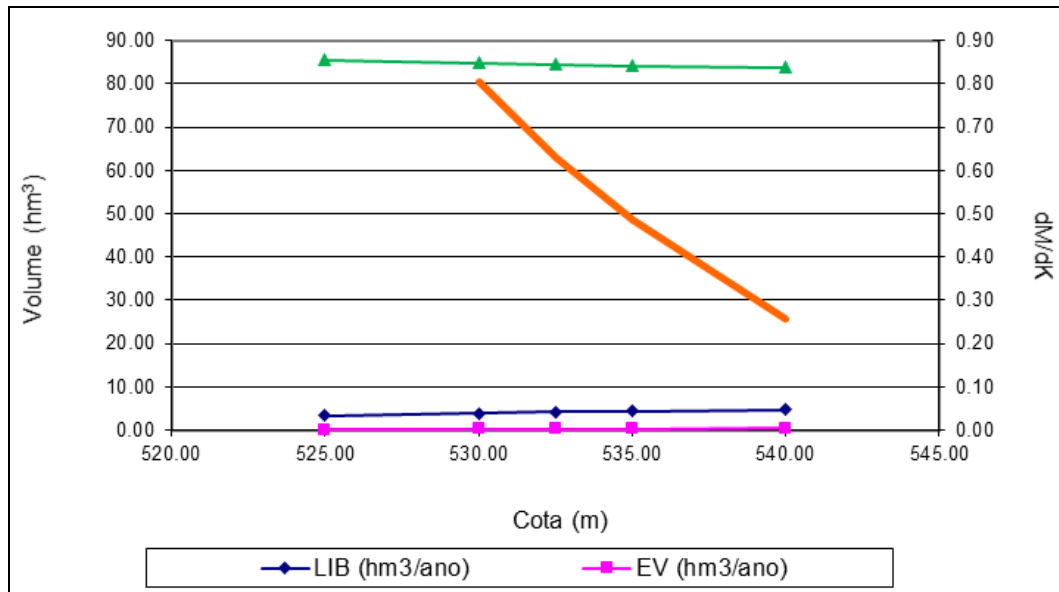


Figura 2.22 – Curvas de regulação da barragem Beré (Resolução direta da equação do balanço hídrico – Garantia de 99%)

2.4.5 - ESTUDO DE CHEIA E DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do vertedouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

2.4.5.1 - Metodologia

A metodologia utilizada procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta a ser utilizada para a implementação desta metodologia será o programa HEC-HMS¹.

¹US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER.

2.4.5.2 - Estudo de Chuvas Intensas

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de baixa frequência assumem uma importância maior com relação aos de alta. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários escolhidos entre os “n” maiores valores disponíveis na série histórica.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, sendo que o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade-duração-frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Relações das Durações e o Método das Isozonas. O estudo realizado considerou o Método das Isozonas.

2.4.5.2.1 - Método das Isozonas (TORRICO,1975)²

Este método consiste na desagregação da chuva de 1 dia em 24 horas e a partir desta em durações menores. A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de intervalos de tempo de menor duração consiste nas seguintes etapas de cálculo:

- Multiplicar a chuva de um dia de duração por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
- Determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica;
- Estimar, para os diferentes períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R1h;

²TORRICO, J.T., 1975. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS, 2a. Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO.

- Plotar os valores P24h e P1h em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias.

2.4.5.2.2 - Valores Extremos

A determinação dos eventos extremos de precipitação, correspondentes a um determinado tempo de recorrência, baseia-se no ajuste de uma distribuição de frequência (probabilidade) adequada aos dados extremos observados.

Para o estudo de chuvas extremas na bacia hidrográfica da barragem Beré foi escolhido o posto pluviométrico Jardim (76) da FUNCENE, como pode ser verificado na **Tabela 2.14** e **Figura 2.25**, o qual possui uma série longa para a análise de extremos.

Tabela 2.14 – Máximos anuais da série do posto 76

Ano	Máx. Anual (mm)	Ano	Máx. Anual (mm)	Ano	Máx. Anual (mm)	Ano	Máx. Anual (mm)
1979	94,4	1989	55	1999	117	2009	101
1980	90,4	1990	74	2000	47,1	2010	70
1981	63,8	1991	37	2001	110	2011	100
1982	49,6	1992	69	2002	75	2013	137
1983	50	1993	54	2003	80	2014	68
1984	68,2	1994	75	2004	68	2016	85
1985	89,4	1995	61	2005	83	2018	70
1986	63	1996	89,4	2006	80	2021	85
1987	42,8	1997	115	2007	101		
1988	93	1998	105	2008	80		

Com base na série anual de máximos diários, ajustou-se distribuições de probabilidade (Normal Truncada, LogNormal 2P, LogNormal 3P, Extremo Tipo I, LogExtremo Tipo I, Pearson Tipo III e LogPearson Tipo III), verificando-se os ajustes através do teste de aderência χ^2 .

Com este procedimento, estimaram-se as precipitações diárias para os tempos de retorno de 10, 20, 50, 100, 1.000 e 10.000 anos, conforme pode ser visto na **Tabela 2.15**, na qual se encontram ilustrados tais valores de chuvas máximas, assim como a distribuição de probabilidade adotada.

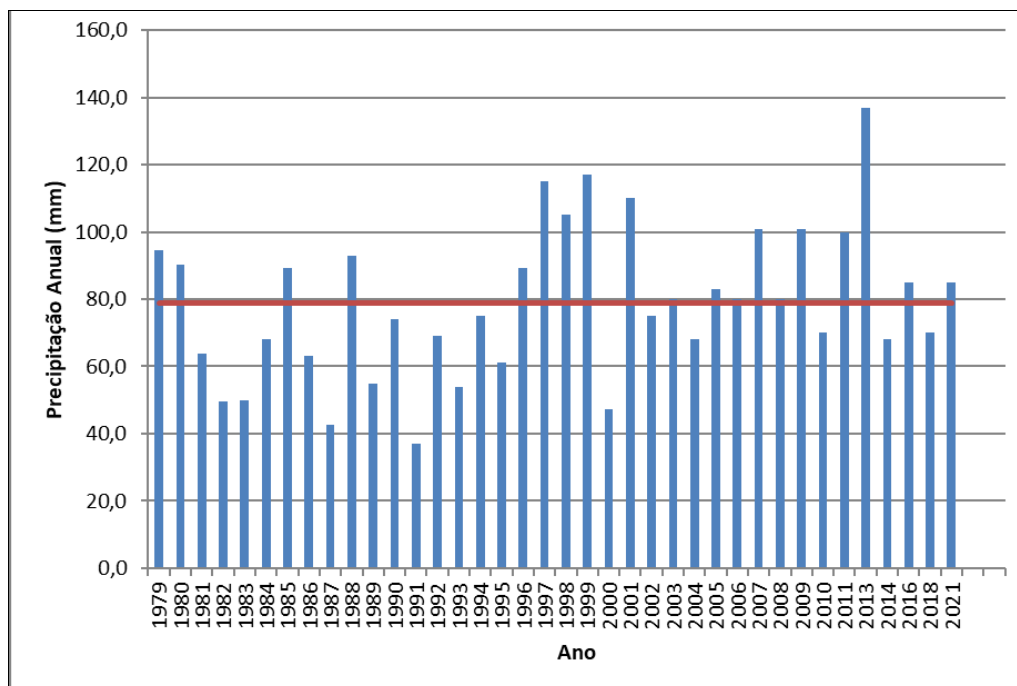


Figura 2.23 – Variação da precipitação anual do posto 76

Tabela 2.15 – Extremos de chuva (mm) obtidos da distribuição de probabilidade

Tr (anos)	Precipitação Máxima Diária (mm)	Distribuição de Probabilidade Adotada	Valor do c^2 da Distribuição	Limite Estatística c^2 (95% de Confiança)
10	108,76	Lognormal 3-par	0,21	11,07
20	118,86			
50	131,11			
100	139,89			
1000	167,73			
10000	195,34			

A região em estudo encontra-se na isozona D. Assim, com os coeficientes e o ábaco de desagregação foram obtidos os valores de precipitação para os intervalos de 0,1, 0,25, 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas para períodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 1.000 e 10.000 anos.

O hietograma de projeto tem uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula de Dodge:

$$T_c = 21,88 \times A^{0,4} \times S_0^{-0,17}$$

Em que T_c = tempo de concentração (minutos); A = área da bacia, km^2 ; S_0 = declividade média do talvegue, em m^{-1} . Dodge foi determinada para bacias rurais

com áreas variando de 140 a 930 km², desta forma, mais adequada a região do que a fórmula de Kirpich.

2.4.5.2.3 - Precipitação Efetiva

O modelo HEC-HMS refere-se à interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante considerado precipitação efetiva.

2.4.5.2.4 - Hidrograma Unitário – SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (*lag*) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário. A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por:

$$Q_p = 208 \cdot \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

em que, Q_p é a vazão de pico (m³/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km² e Δt = o intervalo de cálculo. A **Figura 2.26** apresenta a rede modelada no HEC-HMS.

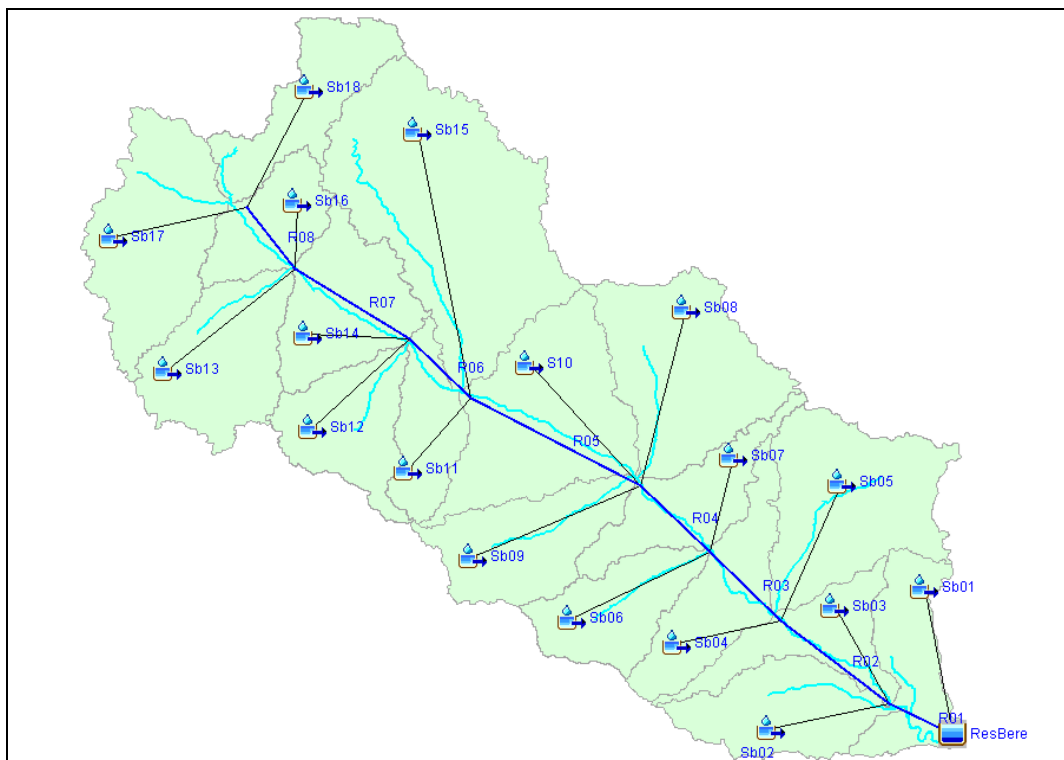


Figura 2.24 – Rede simulada no HEC-HMS

As **Figuras 2.27 e 2.28** apresentam os hidrogramas afluentes à barragem Beré correspondentes aos tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos. As vazões de pico do hidrograma foram 1270,9 m³/s para o período de retorno de 1.000 anos; e, 1622,7 m³/s para o período de retorno de 10.000 anos.

Simulation Run: Run1000		Reservoir: ResBere	
Start of Run:	01Jan2000, 00:00	Basin Model:	Bere
End of Run:	03Jan2000, 00:00	Meteorologic Model:	Met1000
Compute Time:	21Jan2022, 01:26:06	Control Specifications:	Control
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Inflow :	1270.95 (M3/S)	Date/Time of Peak Inflow :	01Jan2000, 20:15
Peak Outflow :	1269.90 (M3/S)	Date/Time of Peak Outflow :	01Jan2000, 20:20
Total Inflow :	58.42 (MM)	Peak Storage :	3285.71 (1000 M3)
Total Outflow :	58.39 (MM)	Peak Elevation :	535.82 (M)

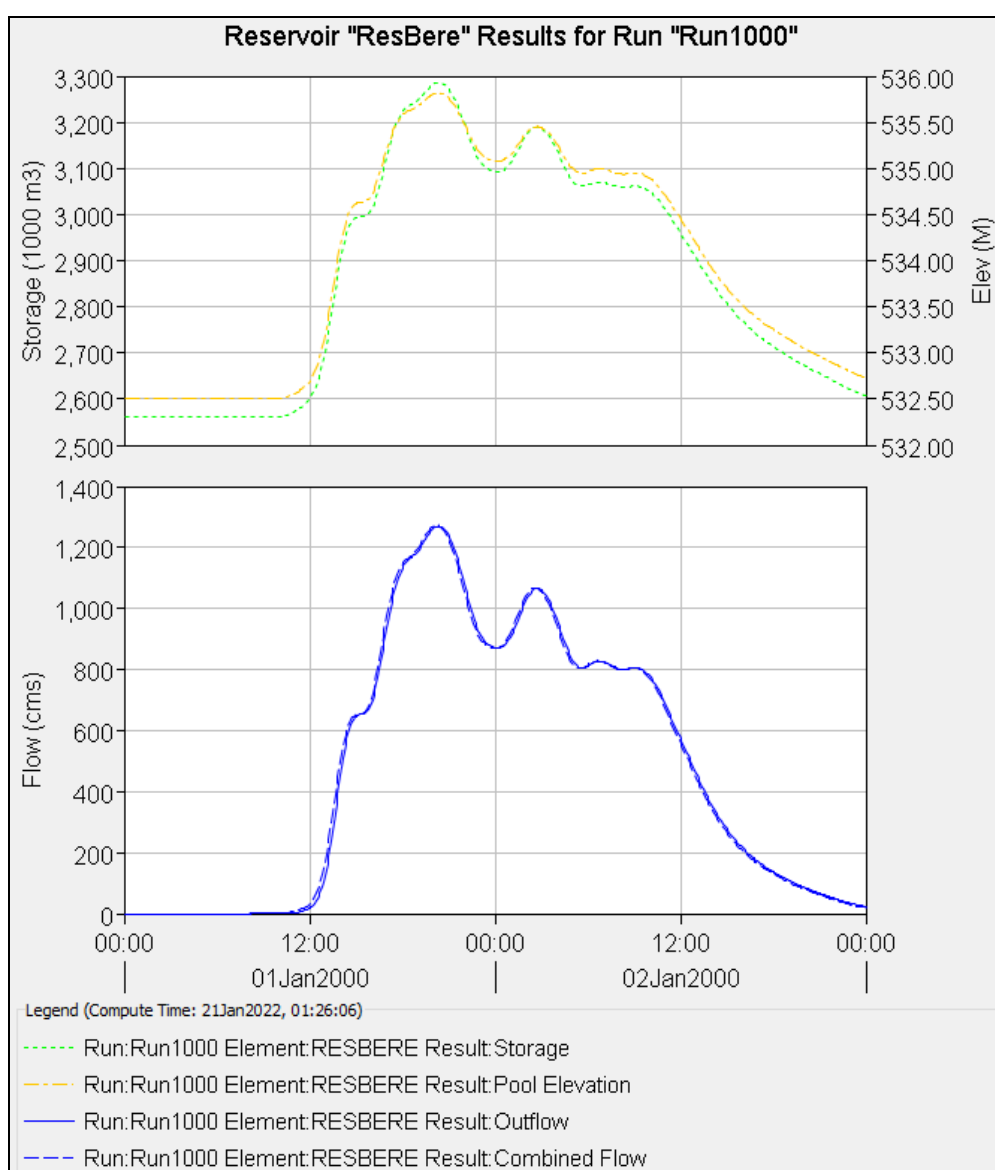


Figura 2.25 – Hidrograma total afluente à barragem Beré (Tr = 1.000 anos)



Simulation Run: Run10000		Reservoir: ResBere	
Start of Run:	01Jan2000, 00:00	Basin Model:	Bere
End of Run:	03Jan2000, 00:00	Meteorologic Model:	Met10000
Compute Time:	21Jan2022, 01:26:34	Control Specifications:	Control
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Inflow :	1622.74 (M3/S)	Date/Time of Peak Inflow :	01Jan2000, 20:10
Peak Outflow :	1621.42 (M3/S)	Date/Time of Peak Outflow :	01Jan2000, 20:15
Total Inflow :	74.65 (MM)	Peak Storage :	3439.13 (1000 M3)
Total Outflow :	74.60 (MM)	Peak Elevation :	536.41 (M)

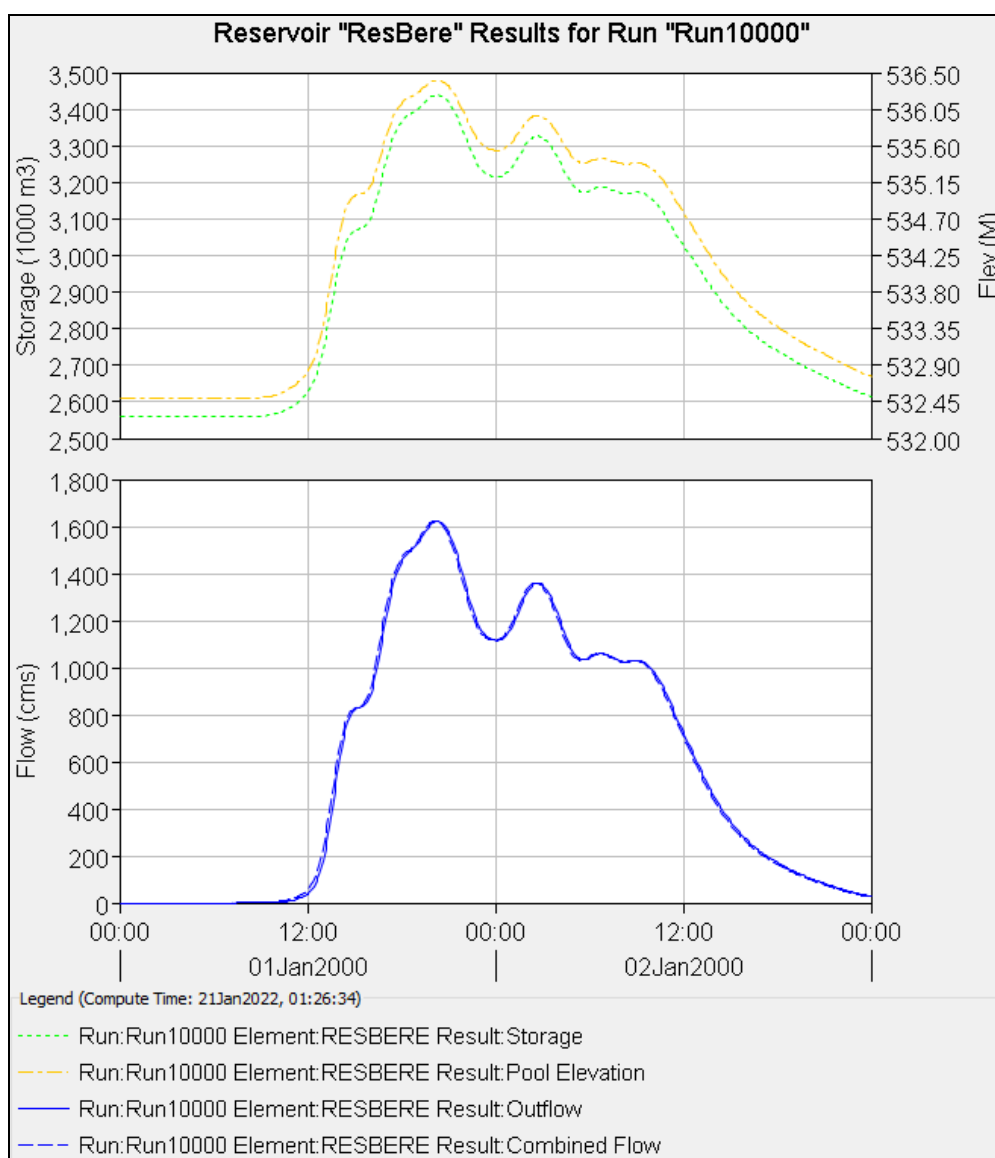


Figura 2.26 – Hidrograma total afluente à barragem Beré (Tr = 10.000 anos)

2.4.5.3 - Propagação da Cheia no Reservatório

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

A barragem Beré foi simulada com um vertedouro com perfil tipo Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2,10. Todas as simulações adotaram a cota de soleira 532,50 m.

A equação adotada para os vertedouros fica da seguinte forma:

$$Q = C L (Z - Z_w)^{1.5}$$

2.4.6 - RESULTADOS PARA A CONDIÇÃO ATUAL

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 10, 100, 1.000 anos e verificar para o hietograma de 10.000 anos. A **Tabela 2.16** apresenta os resultados da simulação do vertedouro.

Tabela 2.16 – Resultados da simulação

L (m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Creager: Z_w = 532,50 m			
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 1270,9 m³/s			
80	1269,5	536,35	3,85
100	1269,9	535,82	3,32
150	1270,3	535,03	2,53
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 1622,7 m³/s			
80	1621,1	537,03	4,53
100	1621,4	536,41	3,91
150	1622,0	535,48	2,98

2.4.7 - FOLGA E COROAMENTO DA BARRAGEM

Entende-se por folga da barragem a diferença entre a cota do coroamento e a cota do nível máximo da água. O cálculo desta é feito levando em consideração a ação dos ventos sobre o lago, que provocam ondas, elevando assim o nível máximo obtido para o estudo de cheia.

O cálculo da folga (Vieira *et al*, 1996) é dado pelas etapas a seguir.

- a) Cálculo da altura da onda (h) formada pela ação do vento sobre o espelho d'água do lago:

$$h = 0,75 + 0,34F^{\frac{1}{2}} - 0,26F^{\frac{1}{4}} \quad F < 18 \text{ Km}$$

$$h = 0,34F^{\frac{1}{2}} \quad F > 18 \text{ Km}$$

em que, F é a distância máxima (km) em linha reta entre qualquer extremidade do lago e um ponto qualquer sobre o barramento (Fetch).

- b) Cálculo da velocidade da onda (v):

$$v = 1,5 + 2h \text{ (m/s)}$$

- c) Cálculo da folga (f):

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

ou, substituindo os valores de h e v :

$$f = 1,02 + 0,0232F - 0,0362F^{\frac{3}{4}} + 0,482F^{\frac{1}{2}} - 0,354F^{\frac{1}{4}} \quad F < 18 \text{ Km}$$

$$f = 0,1147 + 0,3640F^{\frac{1}{2}} + 0,0236F$$

$$F > 18 \text{ Km}$$

A cota de coroamento (c) é dada por:

$$c = H + f + s$$

em que, H é a lâmina máxima de sangria; f é a folga da barragem; e, s é a cota da soleira do vertedouro.

Para o caso da barragem Beré, temos:

- Distância máxima (F): 380 m;
- Folga (f): 1,03 m.
- Lâmina máxima de sangria (H): 3,85 m;
- Cota da Soleira (s): 532,50 m;
- Cota de Coroamento (c) – adotada: 538,50 m.

2.4.8 - COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NOS DOIS ESTUDOS HIDROLÓGICOS DESENVOLVIDOS

Foi previsto nos Termos de Referência que os estudos hidrológicos da Barragem Beré seria desenvolvido pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e fornecido pela SRH (Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará) para servir de base para o dimensionamento do reservatório e a definição das estruturas hidráulicas componentes do eixo barrável. Por sua vez, a empresa IBI também elaborou de maneira independente outro estudo hidrológico com a finalidade de comparar e validar os resultados obtidos com o estudo desenvolvido pela FUNCEME, o qual é apresentado no ANEXO do relatório do Volume 4 – Estudos Hidrológicos da Barragem Beré (Fase A).

Em termos de vazão regularizada, os estudos hidrológicos desenvolvido pela IBI apresentam para a garantia de 99% 0,133 m³/s (133 l/s), enquanto o relatório da FUNCEME indica 34,7 l/s, uma diferença de quase 100 l/s, isto possivelmente se deve ao fato do runoff calculado pela FUNCEME ser da ordem de 3%, o que pode ser entendido como sendo um valor bastante conservador para a região em estudo. Por serem valores relativamente baixos, esta diferença encontrada não interfere significativamente na obra da galeria da tomada d'água, pois a seção escolhida terá, além da função de transpor com folga as vazões regularizadas e ecológica, capacidade de descarregar (esvaziar) o reservatório no tempo adequado.

Nos referidos estudos hidrológicos realizados também foram calculadas as cheias milenar e decamilenar para dimensionamento do vertedouro da barragem Beré. No relatório da IBI a cheia milenar obtida foi de 1.270,9 m³/s e a cheia decamilenar foi de 1.622,7 m³/s, enquanto no relatório da FUNCEME a cheia milenar calculada resultou em 1.085,5 m³/s e a cheia decamilenar foi de 1.848,0 m³/s. A diferença entre as cheias milenares calculadas nos dois estudos é bastante significativa e devido a isto optou-se por ser mais conservador e utilizar no dimensionamento do vertedouro o valor da cheia obtida pela IBI.

2.4.9 - ESTUDO DE ASSOREAMENTO

O assoreamento de um reservatório ao longo da sua vida útil é inevitável, porquanto a erosão e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica são processos naturais que, com a formação do lago, sofrem interferência no seu equilíbrio. O menor ou maior grau de assoreamento a que estará sujeito o reservatório depende de vários fatores, onde pode-se destacar aqueles inerentes à hidrologia da bacia hidrográfica, capacidade de armazenamento do reservatório frente ao volume afluente, conformação geométrica da bacia hidráulica e a composição dos sedimentos.

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 8% de Argila, 4% de Silte e 85% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso), foram utilizados formulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório. A **Tabela 2.17** apresenta o deflúvio anual médio e a composição do solo para análise de assoreamento. Por sua vez, a **Tabela 2.18** mostra em resumo as precipitações médias e descarga sólida de assoreamento.

Tabela 2.17 – Deflúvio e solo para análise de assoreamento

Deflúvio anual médio (hm ³)		84,9	
Área (km ²)		1409,9	
Composição média dos sedimentos (%)			
Argila	Silte	Areia	Outros
8	4	85	3

Tabela 2.18 – Precipitação e descarga sólida de assoreamento

Precipitação do mês mais chuvoso (mm):	156
Precipitação média anual (mm):	973,4
Peso específico aparente inicial - gamai (t/m ³):	1,411
Coefficiente de consolidação médio - K :	0,0119
Descarga sólida média (t/ano):	104116
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):	73,8
Razão de transporte ("delivery ratio") - T	0,092

A **Tabela 3.3** apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como sedimento acumulado e do volume efetivo. Obte-se ao final do período de 100 anos uma redução total do volume útil, o qual era inicialmente de 2,56 hm³. Esse fato deve-se principalmente ao grande volume afluente comparado com o volume de acumulação do barramento. Deve-se ressaltar, entretanto, que a aplicabilidade desta metodologia ao semiárido não foi verificada face à inexistência de registros de dados sedimentológicos.

Tabela 2.19 – Simulação do assoreamento do reservatório ao longo do tempo

Período Parcial (anos)		Ve inicial (hm ³)	Ve/D	Er	g _r (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	2,56	0,03	0,71	1,42	734,26	0,52	2,04
10	20	2,04	0,02	0,66	1,42	685,53	1,00	1,56
20	30	1,56	0,02	0,60	1,42	622,42	1,44	1,12
30	40	1,12	0,01	0,52	1,43	540,46	1,81	0,75

Período Parcial (anos)		Ve inicial (hm ³)	Ve/D	Er	g _r (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
40	50	0,75	0,01	0,42	1,43	436,18	2,12	0,44
50	60	0,44	0,01	0,30	1,43	312,26	2,34	0,22
60	70	0,22	0,00	0,18	1,43	185,96	2,47	0,09
70	80	0,09	0,00	0,08	1,43	87,48	2,53	0,03
80	90	0,03	0,00	0,03	1,43	33,52	2,55	0,01
90	100	0,01	0,00	0,01	1,43	12,06	2,56	0,00

Veiga Lopes, Ayde, Aplicação de Métodos de Previsão de Assoreamento de Reservatórios. Dissertação de Mestrado, Campinas, SP (1993).

3 – DESCRIÇÃO DO PROJETO

3 - DESCRIÇÃO DO PROJETO

3.1 - EIXOS BARRÁVEIS ESTUDADOS

O Eixo apresentado no Edital do Pregão Eletrônico Nº 20210003 da SRH-CE, com as respectivas coordenadas de localização da barragem Beré, foi identificado em campo com o auxílio de GPS durante as visitas técnicas realizadas pelas equipes multidisciplinares da Empresa IBI e constatou-se visualmente que haveria, possivelmente, naquele alinhamento, condições melhores em outras seções da calha do riacho Jardim a montante e jusante deste local, tanto em termos topográficos como geológico/geotécnico, como descrito anteriormente neste relatório.

Apesar de não está previsto nos Termos de Referência, a equipe técnica da empresa IBI fez a opção de não estudar apenas o eixo proposto no referido edital, e sim buscar uma seção que tivesse maior viabilidade técnica e que também fosse economicamente viável. Assim, diante desta constatação inicial de que outros eixos poderiam ser estudados, verificou-se in loco outras seis seções do riacho Jardim que seriam alternativas ao eixo proposto no edital. Estas alternativas foram denominadas de Eixo 01, Eixo 02, Eixo 02a, Eixo 02b, Eixo 03a e Eixo 03b. Os eixos escolhidos para estudo são apresentados na **Figura 3.1**.

Na tentativa de encontrar um eixo mais viável para a barragem Beré, a equipe técnica estudou de maneira criteriosa seis eixos alternativos, dos quais um fica situado imediatamente a montante do eixo previsto nos Termos de Referência e os demais situam-se localizados a jusante. Os eixos estudados são assim localizados em relação ao eixo de referência apresentado no Edital:

- **Eixo 01** : A montante do eixo indicado no Edital e distante 51,0m deste, ficando localizado na seção do riacho que coincide com uma pequena barragem existente;



Figura 3.1 – Eixos estudados da barragem Beré

- **Eixo 02:** A jusante do Eixo do Edital e distante 74,0m deste, situado de tal modo que o seu alinhamento da ombreira esquerda coincida com a ombreira esquerda do eixo de referência;
- **Eixo 02a:** A jusante do Eixo do Edital e distante 248,0m deste, sendo uma variante do Eixo 02;
- **Eixo 02b:** A jusante do Eixo do Edital e distante 345,0m deste, sendo uma variante do Eixo 02a;
- **Eixo 03b:** A jusante do Eixo do Edital e distante 450,0m deste, sendo uma variante da alternativa Eixo 02b e está posicionada no último trecho do riacho onde a seção do boqueirão é do tipo “V”, de certo modo encaixada;

- **Eixo 03a:** A jusante do Eixo do Edital e distante 661,0m deste, estando este posicionado mais distante do eixo de referência e sua seção é a mais aberta de todas as alternativas estudadas.

O eixo de referência proposto no Edital, conforme indica o relatório dos estudos hidrológicos da Barragem Beré elaborado pela FUNCEME, formava um reservatório que acumulava da ordem de 11 milhões de metros cúbicos e a altura do barramento do tipo CCR se aproximava dos 55,0 metros, o que de imediato apresenta indicativos de que não alcança minimamente os critérios para uma viabilidade técnica e econômico-financeira, tanto em termos topográficos como geológico/geotécnicos. Diante desse aspecto, foi firmado um consenso entre a SRH e a empresa IBI de que a acumulação máxima do reservatório seria dentro do intervalo de 2 e 3 milhões de metros cúbicos (m³) para que a obra pudesse ser viável.

Este critério estabelecido, com base principalmente nos novos estudos hidrológicos realizados e nas condições topográficas locais que subsidiaram a geração das novas curvas cota x área x volume reais da bacia hidráulica, é amplamente justificável devido ao incremento de volume ser insignificante em relação à elevação do nível d'água. Por exemplo, no Eixo 2, ao se dobrar o volume de 2,50 hm³ de acumulação o impacto na elevação da cota do nível d'água seria da ordem de 10,0m de altura, passando a altura máxima da barragem de cerca de 45 m para 55 m, o que de imediato apresenta-se como condição extrema em termos da busca por viabilidade técnica e econômica devido às dificuldades de engenharia de execução de uma obra dessa magnitude.

Seguindo este critério do volume máximo de acumulação ser da ordem de 2,50 hm³, para cada eixo estudado foi verificado o limite máximo para as cotas do sangradouro e do coroamento, e como consequência a determinação da respectiva bacia hidráulica e suas áreas a serem inundadas.

3.2 - EIXO ESCOLHIDO

Dentre todas as alternativas de eixo estudadas, a solução definitiva para a barragem Beré, de acordo com as características observadas nas condições geológicas/geotécnicas regionais e locais foi o Eixo 02, o qual foi escolhido ainda por apresentar geometricamente o segundo menor volume total de CCR, sendo superior apenas ao volume total de CCR da seção da alternativa do Eixo 01. Contudo, de maneira bastante simplificada, ao se estudar a área do projeto, como já descrito anteriormente, pôde-se constatar que a escolha do Eixo 02 apresenta também o menor grau de dificuldade de execução e logística para construção do barramento, se comparado com o Eixo 01, principalmente no que se refere à concepção da geometria (locação e critério de rampas máximas) e da execução dos caminhos de serviço e da estrada de acesso que são totalmente inviáveis.

Assim, em função de ter apresentado o menor volume de CCR dentre as alternativas mais viáveis, a escolha da alternativa do Eixo 02 deu-se prioritariamente em função do custo total da obra. No Volume 05 deste relatório é apresentado o orçamento detalhado do projeto executivo da alternativa escolhida.

Na **Figura 3.2** é apresentado o layout geral proposto da barragem Beré contendo nele o arranjo final das estruturas componentes: maciço, vertedouro, bacia de dissipação, tomada d'água e canais de restituição do vertedouro e tomada d'água.

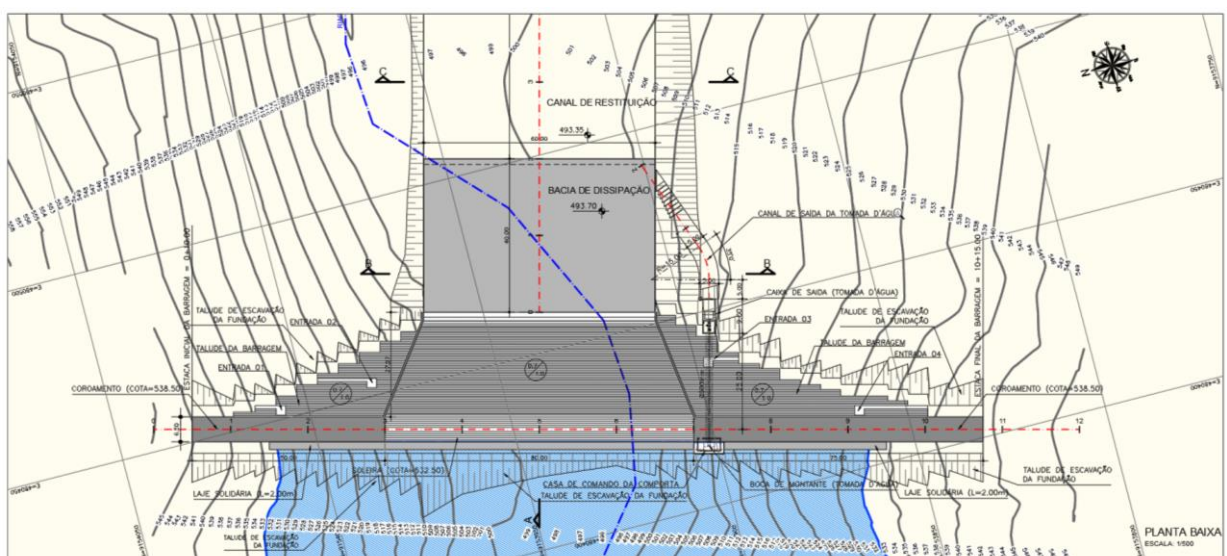


Figura 3.2 – Layout geral da barragem Beré

O arranjo final do projeto executivo da barragem Beré é composto por uma barragem (maciço principal) de seção do tipo em CCR, um vertedouro posicionado no centro do maciço composto por uma soleira tipo creager e uma queda em degraus, uma bacia de dissipação com laje em concreto que deságua no canal de restituição escavado e uma tomada de água com galeria envelopada na ombreira direita (est. 7+4,00), conforme a **Figura 3.2**. (ver desenho 09-BERÉ-DES-BAR-PEX-LGO-01).

3.3 - SOLUÇÃO ADOTADA PARA O BARRAMENTO

A solução adotada para o barramento é constituída de uma seção tipo barragem de gravidade de concreto, a qual será composta de um maciço em CCR (concreto compactado a rolo) e aplicação de concreto convencional de face no contato com a água na face de montante e na soleira e degraus do vertedouro, de acordo com a seção tipo da barragem na **Figura 3.3** (insumersível) e **Figura 3.4** (submersível).

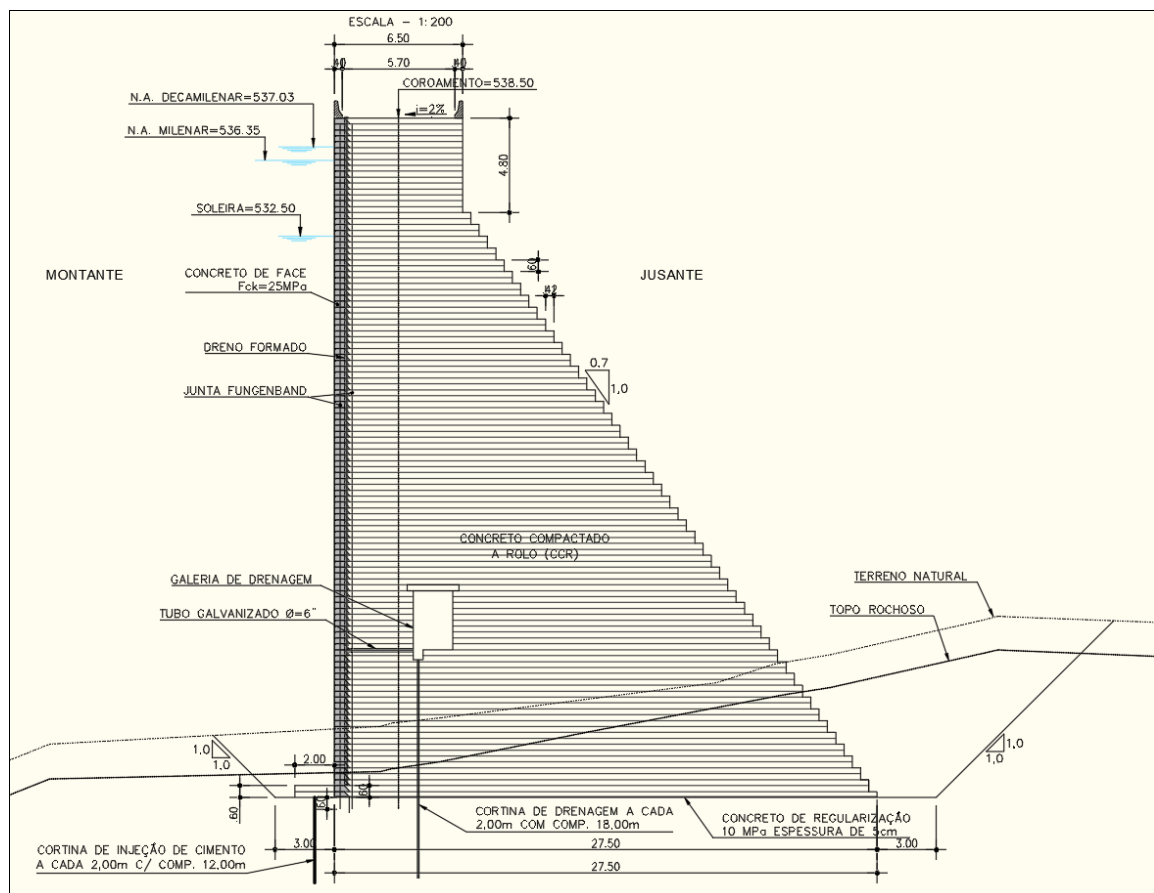


Figura 3.3 – Seção tipo da barragem (insumersível)

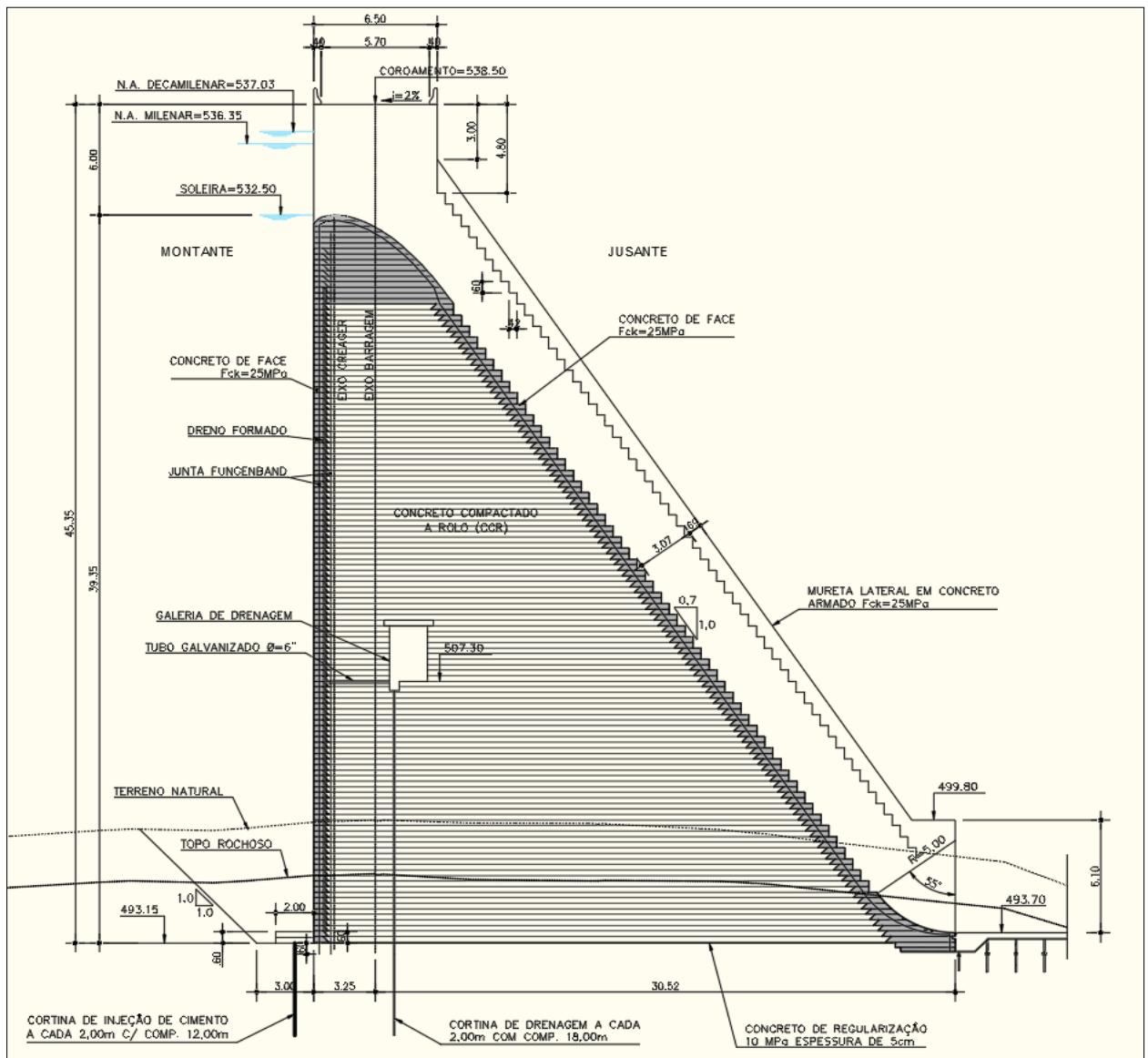


Figura 3.4 – Seção tipo da barragem (submersível)

O maciço da barragem será construído entre as estacas 0+10,00 a 10+15,00, sendo que os trechos 0+10,00 a 3+0,00 e 7+0,0 a 10+15,00 são de seções insubmersíveis, enquanto o trecho 3+0,00 a 7+0,0 são seções submersíveis (trecho do vertedouro).

A crista do coroamento foi projetada na cota 538,50 m, com largura total do coroamento igual a 6,50 m, incluindo guardas corpos, e seção máxima com altura de 45,35 m.

No trecho vertente existe uma camada de concreto de face com $f_{ck} \geq 25\text{MPa}$ em montante e jusante. Nos trechos não submersíveis esse concreto de face existe só no paramento de montante.

A partir dos resultados das sondagens realizadas e apresentadas no Volume 3 - Estudos Geológicos-Geotécnicos da Fase A, foram definidas as profundidades de escavação em patamares escalonados para assentamento da barragem, levando em conta o tipo de barragem que foi concebida.

A barragem é toda formada em módulo de 20,00m de extensão. Há um dreno formado e um envolvimento nas juntas de concreto que serão vedadas com juntas de impermeabilização termoplásticas de PVC de 22 cm de largura, do tipo Fugenband O-22.

A galeria de inspeção será implantada entre as estacas 1+11,80 e 9+4,20. No trecho entre as estacas 1+11,80 e 4+3,00 e 6+13,00 e 9+4,20 ela será inclinada e no trecho entre as estacas 4+3,00 e 6+13,00 ela será horizontal na cota 507,30 m.

No **Volume 2 - Desenhos**, são apresentados os desenhos executivos da barragem Beré com o detalhamento da solução para o maciço, fundações e estruturas componentes.

3.4 - TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

O tratamento das fundações será executado com sonda rotativa diâmetro $\varnothing = \text{NX}$ (75,3 mm) e equipamento roto-percursor. Os furos serão executados por montante sobre uma laje solidária ao maciço da barragem e terão profundidades variando de 12,00 m entre as estacas 3+10,00 e 6+10, de 9,00 m entre as estacas 2+10,00 e 3+10,00 e 6+10,00 e 7+10,00 e de 6,00 m entre as estacas 1+11,71 e 2+10,00 e 7+10,00 e 9+10,29.

Os furos serão verticais e fisicamente ficarão em uma mesma linha. Eles receberão as denominações de furos exploratórios, primários e secundários. Os furos exploratórios serão executados de 20,00 em 20,00 m. Esses furos serão executados

com sonda rotativa diâmetro $\varnothing = NX$ (75,30 mm). Os furos secundários ficarão espaçados de 4,00 em 4,00 m e são defasados de 2,00 m dos primários.

A maneira de executar os furos, as caldas a serem utilizadas bem como os critérios de paralisação são indicados no **Volume 4 - Especificações Técnicas**.

O projeto de injeção é apresentado em planta e perfil no desenho 30-BERÉ-DES-BAR-PEX-LFI-01 no **Volume 2 - Desenhos**.

3.5 - SISTEMA DE DRENAGEM

Para aliviar as tensões sob o maciço foi projetado um sistema de drenagem que será executado dentro da galeria após a conclusão das injeções. Os furos de drenagem serão executados com sonda rotativa com diâmetro $\varnothing = NX$ (75,3 mm) e terão profundidade de 12,00 m entre as estacas 1+13,00 a 2+9,00 e entre as estacas 7+13,00 a 9+3,00, e profundidade de 15,00 m entre as estacas 2+11,00 a 3+9,00 e entre as estacas 6+13,00 a 7+11,00, e com profundidade de 18,00 entre as estacas 3+11,00 a 6+11,00. Os furos serão espaçados de 2,0 em 2,0 metros e localizados conforme mostram os desenhos das seções transversais do **Volume 2 - Desenhos**.

3.6 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Entre todos os materiais pesquisados para construção da barragem de CCR serão usados os seguintes: areal A-01 (Riacho Retirana) e pedreira P-01 de rocha gnaiss com Los Angeles que varia de 23% a 25%.

3.7 - VERTEDOURO

Na parte central da barragem de CCR encontra-se o vertedouro do tipo soleira Creager, largura total de 80,00 m e fixada na cota 532,50 m, que corresponde a uma acumulação de 2,56 hm³.

A vazão afluyente para a cheia milenar ($Q_{100\text{anos}}$) é de 1.270,90 m³/s, considerando o pequeno amortecimento no lago a vazão efluente calculada é igual a 1.269,50 m³/s, de acordo com os estudos hidrológicos. A partir da equação geral dos vertedouros, apresentada no item 2.4.5.3 deste relatório, a lâmina máxima calculada foi de 3,85 m

o que gera uma folga total de 2,15 m para o coroamento da barragem (cota 538,50 m). No item 2.4.7 deste relatório foi calculada a folga total considerando a cheia milenar e realizada a verificação para transpor a cheia decamilenar.

O vertedouro é do tipo soleira Creager com largura inicial de 80,00 m e varia na queda até a largura final de 60,00 m na entrada da bacia de dissipação. Essa queda foi projetada em degraus, com trecho em tangente com inclinação de 1:0,70 (V:H), e foi revestida no fundo e nas laterais pelo concreto de face da soleira, tendo sido projetadas muretas adicionais com alturas de 1,20 m a 1,80 m nas suas laterais posicionadas sobre o concreto de face. **A Figura 3.5** apresenta a seção tipo da barragem (submersível), o perfil do vertedouro e da bacia de dissipação da barragem Beré.

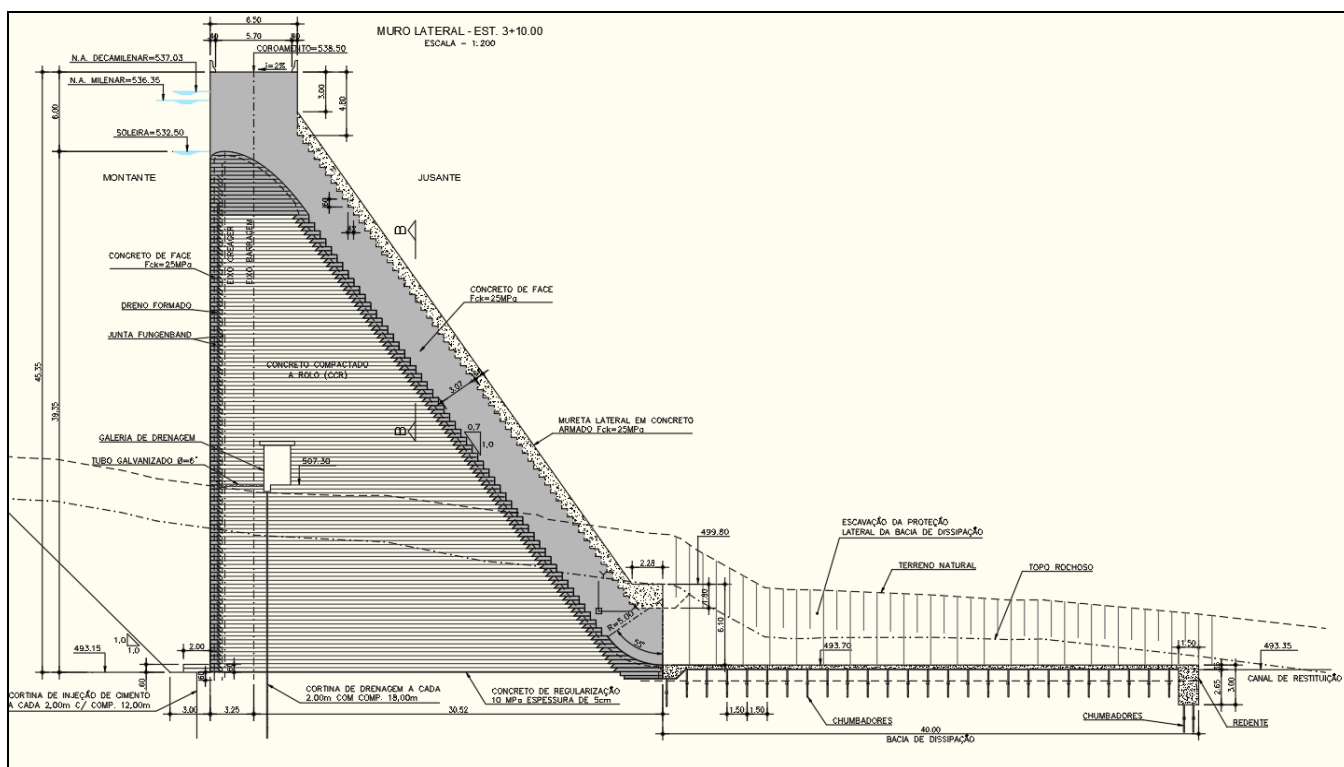


Figura 3.5 – Seção tipo da barragem (submersível), vertedouro e bacia de dissipação

A cheia efluente após a queda do vertedouro ocorre diretamente sobre a laje de concreto armado na bacia de dissipação, a qual possui largura de 60,00 m e topo na cota 493,70 m. A laje da bacia de dissipação tem 40,00 m de extensão e sob ela foram projetados chumbadores para ancorá-la na rocha. No final da extremidade da

laje foi projetado um redente de amarração que tem dimensões de 1,50m por 3,0m de profundidade. Esse redente também será chumbado ao maciço rochoso.

Na laje da bacia de dissipação serão construídas juntas longitudinais e transversais em toda a sua extensão, num espaçamento de 20,00 m. As juntas longitudinais totalizam 4 unidades enquanto as transversais são 3 unidades. Essas juntas do concreto serão vedadas com juntas termoplásticas de PVC de 22 cm de largura, do tipo Fugenband O-22.

O canal de restituição será escavado sem revestimento e preserva a mesma largura útil de 60 m da bacia de dissipação, ele possui cerca de 140,00 m de extensão e termina no nível do leito do riacho Jardim.

No **Volume 3 - Memória de Cálculo**, apresenta-se a memória de cálculo do vertedouro da barragem Beré.

No **Volume 2 - Desenhos**, são apresentados os desenhos executivos da barragem Beré com o detalhamento da solução para o vertedouro, bacia de dissipação e canal de restituição.

3.8 - TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 7+4,00 m do eixo barrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão aproximada de 29,00 m 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 504,25 m. O corpo do tubo será envolvido em concreto estrutural (envelopamento), de acordo com a **Figura 3.6**.

No lado de montante, o extremo da tubulação será implantada uma comporta tipo stop-log com torre de concreto armado e pedestal de manobra situada na casa de comando da comporta.

No lado de jusante será construída uma caixa de concreto armado com duas 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, o qual permite pela sua equação que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

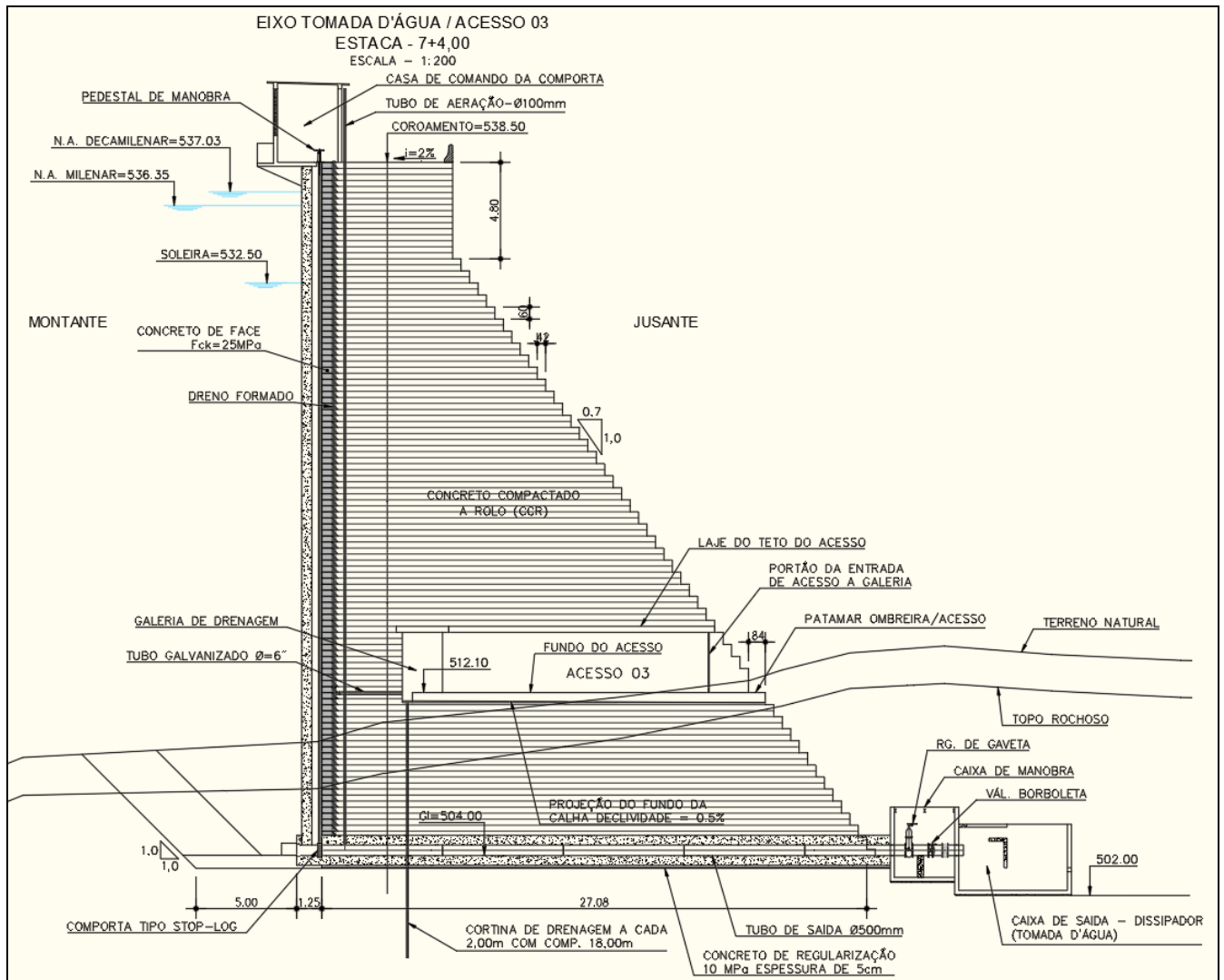


Figura 3.6 – Seção tipo da barragem (insubmersível) tomada d'água

A Barragem será operada entre os níveis de cota 532,50 m e 504,00 m, onde os volumes são de 2,56 hm³ que corresponde a 100,0% de capacidade e 0,101 hm³ que corresponde a 3,96% da capacidade, respectivamente.

Os equipamentos hidromecânicos e as estruturas componentes da tomada d'água da barragem Beré foram concebidos também com a finalidade de promover o esvaziamento rápido do reservatório em caráter emergencial no tempo médio calculado de aproximadamente 21 dias.

As escavações obrigatórias atingirão as cotas que permite a implantação da tomada d'água e o seu canal de restituição, de acordo com as cotas projetadas.

No **Volume 3 - Memória de Cálculo**, apresenta-se a memória de cálculo da tomada d'água da barragem Beré.

No **Volume 2 - Desenhos**, são apresentados os desenhos executivos da barragem Beré com o detalhamento da tomada d'água.

A **Tabela 3.1** apresenta a relação dos equipamentos hidromecânicos projetados da tomada d'água da barragem Beré.

Tabela 3.1 – Relação dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	DN (mm)	L(m)	UNID.	QUANT.
1	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO	500	1.00	PÇ	1
2	REGISTRO GAVETA FLANGEADO, ACIONAMENTO POR VOLANTE COM BY PASS.	500	-	PÇ	1
3	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO	500	0.80	PÇ	1
4	VÁLVULA BORBOLETA FLANGEADA, ACIONAMENTO POR VOLANTE	500	-	PÇ	1
5	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO	500	0.50	PÇ	1
6	JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE	500	-	PÇ	1
7	TUBO FLANGE-PONTA EM AÇO CARBONO	500	1.00	PÇ	1
8	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO COM BOCA DE SINO	500	1.20	PÇ	1
9	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO COM DERIVAÇÃO DE Ø=100mm	500	2.00	PÇ	1
10	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO	500	6.00	PÇ	4
11	TUBO FLANGEADO EM AÇO CARBONO	500	2.00	PÇ	1
12	TUBO FLANGEADO SCH 20 EM AÇO CARBONO	100	6.00	PÇ	7
13	COMPORTA TIPO "STOP LOG" EM AÇO CARBONO	0.50x0.80	-	PÇ	1
14	PEDESTAL DE SUSPENSÃO COM ENGRENAGENS	-	-	PÇ	1
15	ESCADA TIPO MARINHEIRO	-	3.00	PÇ	1
16	GRADE DE PROTEÇÃO - CAIXA DE DISSIPÇÃO	3.00x1.00	-	PÇ	3
17	VERTEDOURO TRIANGULAR	3.00x1.20	-	PÇ	1
18	GRADE DE PROTEÇÃO - BOCA DE MONTANTE	1.30x1.30	-	PÇ	1
19	HASTE DE PROLONGAMENTO	Ø1. 1/8"	5.00	PÇ	6
20	HASTE DE PROLONGAMENTO	Ø1. 1/8"	3.70	PÇ	1
21	LUVA PARA HASTE DE PROLONGAMENTO	Ø1. 1/8"	-	PÇ	6
22	MANCAL INTEMEDIÁRIO PARA HASTE A CADA 2.00m	Ø1. 1/8"	-	PÇ	16

A **Figura 3.7** mostra o layout do ambiente da casa de comando que abriga os equipamentos necessários ao funcionamento e operação da comporta tipo stop-log.

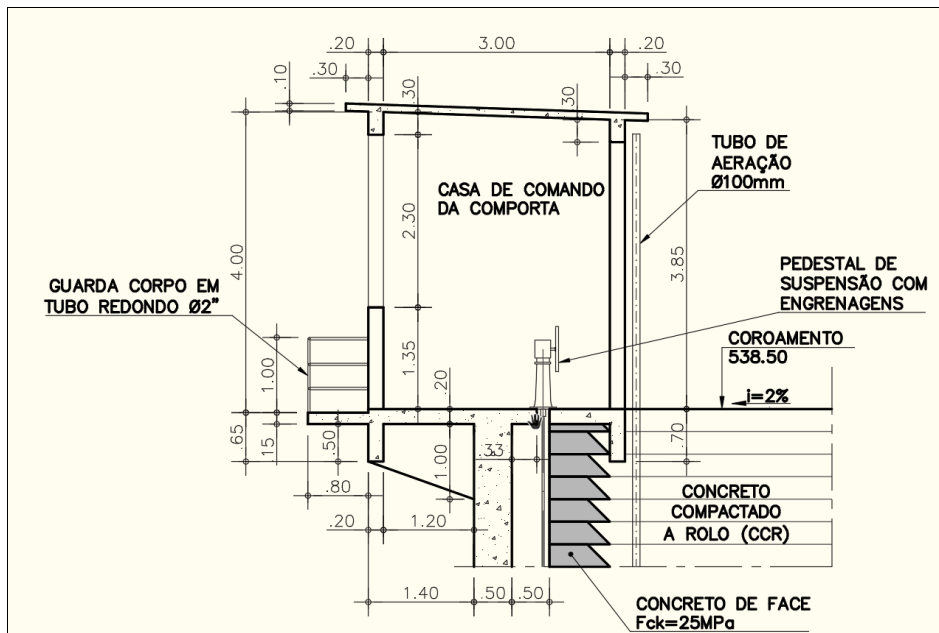


Figura 3.7 – Casa de comando e layout dos equipamentos

3.9 - PLANILHA DE QUANTITATIVOS

No **Volume 5 - Quantitativos e Orçamento**, são apresentados os quantitativos e orçamento do projeto do projeto executivo.

3.10 - DESENHOS

Os desenhos do Projeto Executivo da Barragem Beré são apresentados nesse relatório **Volume 2 - Desenhos**.

Os desenhos que compõem o Projeto Executivo da barragem Beré são relacionados a seguir na **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2 – Relação dos desenhos do projeto executivo da barragem Beré

DESENHO	TÍTULO	IDENTIFICAÇÃO
TOMO I		
01	Layout Geral - Bacia Hidrográfica com Imagem	BERÉ-DES-BAR-PEX-BHG-01
02	Layout Geral - Bacia Hidrográfica sem Imagem	BERÉ-DES-BAR-PEX-BHG-02
03	Layout Geral - Bacia Hidráulica	BERÉ-DES-BAR-PEX-BHL-01
04	Planta de Localização - Jazidas	BERÉ-DES-BAR-PEX-JAZ-01
05	Layout Geral - Mapa de Geologia	BERÉ-DES-BAR-PEX-GEO-01
06	Planta de Localização - Sondagens e Perfil - Pá e Picareta-SSP / Rotativa-SR	BERÉ-DES-BAR-PEX-SON-01
07	Layout Geral - Acesso a Barragem	BERÉ-DES-BAR-PEX-ACE-01
08	Acesso - Planta e Perfil	BERÉ-DES-BAR-PEX-ACE-02
09	Seções do Acesso - Terraplenagem	BERÉ-DES-BAR-PEX-ACE-03
10	Seções do Acesso - Terraplenagem	BERÉ-DES-BAR-PEX-ACE-04
11	Layout Geral - Levantamento Topográfico Planialtimétrico - Convencional Eixo 02	BERÉ-DES-BAR-PEX-LET-01
12	Layout Geral das Obras - Planta Baixa	BERÉ-DES-BAR-PEX-LGO-01
13	Layout Geral das Obras - Cortes	BERÉ-DES-BAR-PEX-LGO-02
14	Escavação das Obras - Planta Baixa	BERÉ-DES-BAR-PEX-ESC-01
15	Barragem - Planta Baixa e Perfil	BERÉ-DES-BAR-PEX-PER-01
16	Seções Tipo - Eixo da Tomada D'água / Acesso 03	BERÉ-DES-BAR-PEX-SET-01
17	Seções Tipo - Muros Laterais	BERÉ-DES-BAR-PEX-SET-02
18	Seção Tipo (Máxima) - Trecho Insubmersível - Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-STM-01
19	Seção Tipo (Máxima) - Trecho Insubmersível - Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-STM-02
20	Seções - Barragem	BERÉ-DES-BAR-PEX-SEC-01
TOMO II		
21	Seções - Barragem	BERÉ-DES-BAR-PEX-SEC-02
22	Seções - Barragem	BERÉ-DES-BAR-PEX-SEC-03
23	Seções - Barragem	BERÉ-DES-BAR-PEX-SEC-04
24	Seções - Barragem	BERÉ-DES-BAR-PEX-SEC-05
25	Galeria de Drenagem - Planta e Cortes	BERÉ-DES-BAR-PEX-GAL-01
26	Galeria de Drenagem - Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-GAL-02
27	Galeria de Drenagem - Acesso Acesso 2 - Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-AGA-01
28	Galeria de Drenagem - Acesso Acesso 3 - Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-AGA-02
29	Bacia de Dissipação - Chumbadores, Juntas e Armadura	BERÉ-DES-BAR-PEX-BDI-01
30	Bacia de Dissipação - Chumbadores, Juntas e Armadura	BERÉ-DES-BAR-PEX-BDI-02
31	Maçiço e CCR - Juntas e Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-CCR-01
32	Maçiço e CCR - Juntas e Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PEX-CCR-02
33	Localização dos Furos de Injeção - Planta e Perfil	BERÉ-DES-BAR-PEX-LFI-01
34	Tomada D'água - Seção logitudinal - Cortes e Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PBA-TDA-01
35	Tomada D'água - Caixa de Jusante e Escavação do Canal a Jusante - Cortes e Detalhes	BERÉ-DES-BAR-PBA-TDA-02
36	Tomada D'água - Caixa de Jusante e Galeria - Armaduras	BERÉ-DES-BAR-PBA-TDA-03
37	Tomada D'água - Casa de Comando e Torre - Formas e Armaduras	BERÉ-DES-BAR-PBA-TDA-04
38	Tomada D'água - Casa de Comando, Torre e Mureta do Vertedouro - Formas e Armaduras	BERÉ-DES-BAR-PBA-TDA-05
39	Tomada D'água - Torre e Mureta do Vertedouro - Formas e Armaduras	BERÉ-DES-BAR-PBA-TDA-06

4 – CANTEIRO DE OBRAS

4 - CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada ao canteiro de obra está localizada a cerca de 300 m a jusante do eixo barrável, no lado esquerdo do Riacho Jardim, em área lindeira à estrada vicinal existente que liga o local do eixo barrável à rodovia estadual. O local encontra-se fora da área do futuro reservatório e de sua respectiva faixa de preservação ambiental, nas proximidade da localidade de Sítio Corrente, no município de Jardim, distando cerca de 17 km da sede deste município.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente em leito natural, com partida através da rodovia na localidade de Sítio Corrente. O local previsto para a Central de Concreto situa-se na margem direita do rio, a direita do canal de restituição do sangradouro. Com a previsão da instalação da central de britagem, a instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos seguintes elementos, conforme apresenta a **Tabela 4.1**:

Tabela 4.1 – Relação das instalações mínimas para o canteiro de obra da barragem Beré

1	Escritório da Administração
2	Escritório da Fiscalização e Supervisão
3	Laboratório de solo e concreto
4	Depósito de cimento
5	Central de concreto
6	Posto de Abastecimento, Lavagem e Lubrificação
7	Oficina Mecânica
8	Almoxarifado
9	Central de Carpintaria
10	Central de Armação
11	Refeitório
12	Portaria
13	Ambulatório
14	Alojamentos
15	Casa de visita p/ Engenheiros
16	Sanitários e Vestiários

Nos desenhos 49 a 57 do Tomo 2 - Desenhos, Volume I, são apresentadas as instalações do canteiro de obras.

5 – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

5 - CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Preveu-se, de acordo com as dimensões das obras da Barragem Beré e com as características climáticas da Região, um prazo de 09 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a sequência de execução dos serviços, a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

Na **Figura 5.1** apresenta-se o Cronograma Físico baseado nas etapas construtivas concebidas no projeto.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	MESES									VALOR
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL (%)
1.0	INSTALAÇÃO DA OBRA	19.44%	19.44%	7.02%	7.02%	7.02%	7.02%	7.02%	13.02%	13.02%	100.00%
1.1	INSTALAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS	50.00%	50.00%								100.00%
1.2	ADMINISTRAÇÃO LOCAL	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	11.11%	100.00%
1.3	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DA OBRA	25.00%	25.00%						25.00%	25.00%	100.00%
2.0	SERVIÇOS PRELIMINARES	12.50%	25.00%	37.50%	25.00%						100.00%
3.0	BARRAGEM PRINCIPAL			12.50%	15.00%	17.50%	20.00%	15.00%	10.00%	10.00%	100.00%
4.0	TOMADA D'ÁGUA					15.00%	15.00%	20.00%	25.00%	25.00%	100.00%

Figura 5.1 – Cronograma físico para a implantação da barragem Beré



6 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

6 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

No quadro a seguir são apresentados os equipamento mínimos para o devido cumprimento do cronograma de implantação prevista no projeto.

Tabela 6.1 – Relação dos equipamento mínimos para execução da barragem Beré

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT. MÍNIMA
1	TRATOR DE ESTEIRA COM POTÊNCIA IGUAL OU SUPERIOR A 270HP	2
2	TRATOR DE ESTEIRA COM POTÊNCIA IGUAL OU SUPERIOR A 140HP	2
3	TRATOR DE PNEUS COM POTÊNCIA IGUAL OU SUPERIOR A 100HP	2
4	CARREGADEIRA DE PNEUS COM POTÊNCIA IGUAL OU SUPERIOR A 170HP	4
5	MOTONIVELADORA COM POTÊNCIA IGUAL OU SUPERIOR A 125HP	2
6	GRADE DE DISCO PESADA	2
7	CAMINHÃO PIPA COM CAPACIDADE DE 8000L	5
8	CAMINHÃO BASCULANTE COM CAPACIDADE DE 12M ³	15
9	ROLO LISO DUPLO TANDEM AUTOPROPULSOR DO TIPO CC 431 DYNAPAC OU SIMILAR	1
10	ROLO PÉ DE CARNEIRO TIPO CA-25 DYNAPAC	2
11	RETRO ESCAVADEIRA SOBRE ESTEIRA COM CAPACIDADE DE 1,8M ³	1
12	CONJUNTO DE BRITAGEM COM CAPACIDADE DE 50M ³ /H	1
13	COMPRESSOR DE AR COM CAPACIDADE IGUAL OU SUPERIOR A 700PCM (PÉS CÚBICOS POR MINUTO)	2
14	CARRETA DE PERFURAÇÃO COM CAPACIDADE IGUAL OU SUPERIOR A 500PCM	2
15	COMPRESSOR DE AR PORTÁTIL COM CAPACIDADE SUPERIOR A 250PCM	2
16	SAPO MECÂNICO	4
17	MARTELETE DE 24KG	5