



CONTRATO Nº 13/SRH/CE/2022

FORTALEZA

ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO, ESTUDO DE VIABILIDADE AMBIENTAL – EVA, PLANO DE DESMATAMENTO RACIONAL E DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM BOA VISTA DOS PARENTES, NO MUNICÍPIO DE SENADOR POMPEU, NO ESTADO DO CEARÁ.

● LOCALIDADE BOA VISTA,
DISTRITO DE ENCANTADO,
QUIXERAMOBIM, DIVISA COM
SENADOR POMPEU/CEARÁ

**FASE C – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM
VOLUME 3 – MEMÓRIA DE CÁLCULO DO PROJETO**

FORTALEZA
JULHO - 2024

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	7
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Contextualização do Projeto da Barragem.....	9
1.2 Localização e Acesso	10
1.3 Características Técnicas da Barragem Boa Vista dos Parentes	12
2 SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS	15
2.1 Estudos Cartográficos.....	15
2.1.1 Cartografia Existente.....	15
2.1.2 Estudos Cartográficos	16
2.1.3 Resultados	20
2.2 Estudos Topográficos	20
2.2.1 Metodologia de Execução	20
2.2.2 Resultados	25
2.3 Estudos Geológicos-Geotécnicos	25
2.3.1 Estudos Geológicos	25
2.3.2 Estudos Geotécnicos	29
2.3.3 Investigação do Sangradouro.....	34
2.3.4 Materiais Naturais de Construção	35
2.3.5 Resultados	38
2.4 Estudos Hidrológicos	38
2.4.1 Caracterização Da Área Em Estudo.....	38
2.4.2 Regime de Chuvas Intensas na Bacia.....	52
2.4.3 Dimensionamento do Reservatório	58
2.4.4 Estudo de Cheias.....	61
2.4.5 Dimensionamento do Vertedouro.....	64
2.4.6 Estudos Adicionais.....	65
3 DESCRIÇÃO DO PROJETO	69
3.1 Introdução.....	69
3.2 Considerações Iniciais	69
3.3 Dimensionamento da Barragem	70
3.3.1 Definição da Geometria da Barragem	70
3.3.2 Fundações da Barragem.....	73
3.3.3 Drenagem Interna da Barragem.....	73
3.3.4 Análise da Estabilidade dos Taludes.....	75
3.4 Dimensionamento do Vertedouro	78

3.5	Dimensionamento da Tomada D'Água	83
3.5.1	Cálculo do Diâmetro em Regime Permanente	83
3.5.2	Verificação do Diâmetro para Esvaziamento do Reservatório.....	85
4	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	91
5	CANTEIRO DE OBRA.....	93
6	EQUIPAMENTOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DA OBRA.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Marcos implantados no eixo da Barragem Boa Vista dos Parentes	23
Tabela 2.2 – Locação e Nivelamento do Eixo Barrável e do Sangradouro	24
Tabela 2.3 – Geologia Regional	26
Tabela 2.4 – Sondagens da Barragem Boa Vista dos Parentes	33
Tabela 2.5 – Jazida de Solo (JS 1) – Material Argiloso para aplicação no maciço.....	36
Tabela 2.6 – Área de Empréstimo 2 – material argiloso para aplicação no maciço	36
Tabela 2.7 – Resumo: Volumes das Áreas de Jazidas de Solo (JS 1 e JS 2.....	36
Tabela 2.8 – Dados físicos da bacia da barragem.....	40
Tabela 2.9 – Caracterização da bacia da barragem	40
Tabela 2.10 – Cota x Área x Volume	42
Tabela 2.11 – Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas (°C).....	46
Tabela 2.12 – Umidade Relativa Média.....	47
Tabela 2.13 – Insolação Média.....	48
Tabela 2.14 – Nebulosidade.....	48
Tabela 2.15 – Precipitação (mm).....	49
Tabela 2.16 – Evaporação total média	50
Tabela 2.17 – Evapotranspiração potencial mensal	50
Tabela 2.18 – Intensidade e direção média mensal dos ventos.....	51
Tabela 2.19 – Área de influência dos postos selecionados	53
Tabela 2.20 – Precipitação máxima (mm) com durações de 1 dia para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos	54
Tabela 2.21 – Precipitações máximas com duração de 24 horas (em milímetros).....	54
Tabela 2.22 – Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora (mm) associadas aos períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos.....	56
Tabela 2.23 – Precipitações máximas intensas com duração de 6 minutos, 1 hora e de 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos	56
Tabela 2.24 – Distribuição acumulada da chuva sobre a bacia de contribuição	57
Tabela 2.25 – Evapotranspiração mensal para bacia hidrográfica do açude Boa Vista	58
Tabela 2.26 – Sumário estatístico das vazões ML1	59
Tabela 2.27 – Sumário estatístico vazões KNN.....	59
Tabela 2.28 – Vazões regularizadas para diferentes garantias	60
Tabela 2.29 – Comparação econômica entre as cotas de alagamento.....	61
Tabela 2.30 – Resultados dos estudos de cheia $Tr=1.000$ anos.....	65
Tabela 2.31 – Resultados dos estudos de cheia $Tr=10.000$ anos.....	65
Tabela 2.32 – Determinação da taxa de assoreamento (ϕ).....	66
Tabela 3.1 - Valores de permeabilidades utilizados nos cálculos de permeabilidade	74

Tabela 3.2 – Resumo dos dados de entrada para os materiais da barragem, nas análises de estabilidade	77
Tabela 3.3 - Resultados obtidos com simulação do vertedouro com o HEC-RAS, para TR = 1.000 anos.....	78
Tabela 3.4 – Coeficientes de perda das peças da tomada d'água.....	84
Tabela 3.5 – Coeficientes de perda da válvula borboleta, considerando seus ângulos de abertura	84
Tabela 3-6 - Dados da curva cota x área x volume.....	86

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Mapa de localização e acesso.....	11
Figura 2.1 – Área Definida no Edital para Levantamento Aerofotogramétrico.....	16
Figura 2.2 – Fluxograma da metodologia utilizada	17
Figura 2.3 – Marcações dos pontos de apoio e o planejamento das missões	17
Figura 2.4 – Interface do aplicativo Pilot e uma das missões planejadas pronto para execução	18
Figura 2.5 – Processamento através do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE ...	22
Figura 2.6 – Mapa geológico da região de estudo	26
Figura 2.7 – Província Borborema em destaque, ao nordeste do Brasil e seus principais traços tectônicos e localização do Domínio Ceará Central (DCC). Modificado de Medeiros (2004), in Almeida et al. (2008).....	27
Figura 2.8 – Mapa geológico do estado do Ceará, cujo arcabouço compreende grande parte do DCC. Na parte central o Arco Mamático de Santa Quitéria e seus principais lineamentos. Em destaque a falha de Groairas, seus limites litológicos e estruturas frágeis internas a arco como falhas e fraturas (linha azul) (CPRM, 2003; imagem modificada de Ancelmi, 2008).....	28
Figura 2.9 – Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem.....	39
Figura 2.10 – Mapa hipsométrico	39
Figura 2.11 – Curva hipsométrica da bacia	41
Figura 2.12 – Curva Cota x Área x Volume	43
Figura 2.13 – Mapa de solos	44
Figura 2.14 – Mapa de Vegetação.....	45
Figura 2.15 – Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas.....	47
Figura 2.16 – Umidade Relativa Média.....	47
Figura 2.17 – Insolação Média, em horas.....	48
Figura 2.18 – Nebulosidade.....	49
Figura 2.19 - Precipitação	49
Figura 2.20 – Evaporação total média	50
Figura 2.21 – Evapotranspiração potencial mensal	51
Figura 2.22 – Intensidade média mensal dos ventos (m/s).....	52
Figura 2.23 – Área de influência dos postos com mais de 30 anos válidos	53
Figura 2.24 – Isozonas do estado do Ceará. (Fonte: Batista, 2018)	55
Figura 2.25 – Chuvas intensas espaciais	57
Figura 2.26 – Mapa de CN da Bacia do barramento Boa Vista dos Parentes.....	62
Figura 2.27 – Vazão de projeto para TR = 1.000 anos	63
Figura 2.28 – Vazão de projeto para TR = 10.000 anos	64
Figura 2.29 – Probabilidade de enchimento de acordo com cotas (anos de 1 a 10).....	67
Figura 3.1 – Seção de estudo.....	74
Figura 3.2 – Rede de fluxo, com equipotenciais em m.	75

Figura 3.3 – Seção tipo adotada para análise da estabilidade.....	76
Figura 3.4 – Curva chave do canal de restituição.....	79
Figura 3-5 - Representação esquemática do vertedouro da Barragem Boa Vista.....	80
Figura 3-6 – Mapa de inundação resultante do vertimento, tomando como base hidrograma afluente relativo ao TR=1.000 anos.	82
Figura 3-7 - Distribuição espacial de velocidades no momento de máxima vazão.....	82
Figura 3-5 - Gráfico altura de carga hidráulica (H) X área do espelho d'água.....	86
Figura 3-6- Esvaziamento do reservatório em função do tempo, para uma tubulação de 450 mm na tomada d'água.	87
Figura 3-7 - Ábaco de vazões devidas à abertura da válvula borboleta, em caso de tomada d'água com diâmetro de 450 mm.	88
Figura 3-8 - Esvaziamento do reservatório em função do tempo, operando uma tubulação de 250 mm na tomada d'água	89
Figura 3-9 - Ábaco de vazões devidas à abertura da válvula borboleta, em caso de tomada d'água com diâmetro de 250 mm	89

APRESENTAÇÃO

A empresa de Consultoria e Engenharia Maximino dos Santos & Cia Ltda – EPP, no âmbito do contrato Nº 13/SRH/CE/2022 assinado em 05/09/2022 com ordem serviço nº 02/2023/SRH emitida em 20/04/2023 tem por finalidade a ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO, ESTUDO DE VIABILIDADE AMBIENTAL-EVA, PLANO DE DESMATAMENTO RACIONAL E DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM BOA VISTA DOS PARENTES, SITUADA NO MUNICÍPIO DE SENADOR POMPEU, NO ESTADO DO CEARÁ.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento ao Termo de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em FASE A – Estudos Básicos, FASE B – Estudos ambientais e FASE C – Detalhamento do Projeto Executivo, conforme são apresentados na sequência:

- ❖ FASE A: Estudos Básicos
 - Volume 1: Estudos Cartográficos;
 - Volume 2: Estudos Topográficos;
 - Volume 3: Estudos Geológico-Geotécnicos;
 - Volume 4: Estudos Hidrológicos;
 - Volume 5: Relatório de Concepção da Barragem
- ❖ FASE B: Estudos Ambientais
 - Volume 1: Estudos de Viabilidade Ambiental – EVA;
 - Volume 2: Plano de Desmatamento Racional – PDR
- ❖ FASE C: Detalhamento do Projeto Executivo
 - Volume 1: Memorial Descritivo do Projeto;
 - Volume 2: Desenhos;
 - Volume 3: Memória de Cálculo;
 - Volume 4: Especificações Técnicas;
 - Volume 5: Quantitativos e Orçamentos;
 - Volume 6: Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao Relatório de **Detalhamento do Projeto Executivo – Volume 1: Memorial Descritivo do Projeto**.

Este relatório tem como principal objetivo apresentar o memorial descritivo do projeto.



1 - INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O presente documento é parte integrante da Fase C e compõe um dos produtos do detalhamento do PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM BOA VISTA DOS PARENTES, a ser construída nos Municípios de Quixeramobim e Senador Pompeu, no Estado do Ceará, objeto do contrato Nº 13/SRH/CE/2022, que tem como objetivo a “Contratação de Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos básicos e Concepção, Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) e Plano de Desmatamento Racional e Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Boa Vista dos Parentes, situada no Município de Senador Pompeu, no Estado do Ceará.

1.1 Contextualização do Projeto da Barragem

A região Nordeste do Brasil é caracterizada por ser semiárida, com chuvas irregulares e períodos prolongados de seca. A escassez hídrica nessa região é um desafio constante, impactando a disponibilidade de água para consumo humano, agricultura e outras atividades econômicas. A gestão sustentável dos recursos hídricos é essencial para lidar com essas condições climáticas adversas.

O Ceará, em particular, enfrenta desafios significativos relacionados à escassez de água. A construção de infraestrutura hídrica, como açudes e sistemas de irrigação, é uma estratégia comum para lidar com a falta de água. Além disso, programas de conscientização sobre o uso eficiente da água e a implementação de tecnologias sustentáveis são fundamentais para enfrentar a escassez hídrica.

A aprimoração do fornecimento de água para diversas finalidades é uma ação essencial para o progresso regional. Dentro desse cenário, a implementação de barragens não apenas se configura como uma alternativa para lidar com as secas recorrentes, mas também como uma estratégia de convivência com essas condições desafiadoras, visando melhorar as circunstâncias adversas.

A Barragem Boa Vista dos Parentes é uma obra planejada, que objetiva o abastecimento da população regional.

Neste contexto, a Barragem Boa Vista dos Parentes terá como finalidade reforçar a garantia hídrica na região entre os municípios de Quixeramobim e Senador Pompeu, permitindo o armazenamento de água durante os períodos de chuva e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

1.2 Localização e Acesso

A barragem Boa Vista dos Parentes será formada pelo barramento do riacho Boa Vista tributário do rio Banabuiú situada a 1,5 km da Sede do Distrito de Encantado, no município de Quixeramobim na divisa com o município de Senador Pompeu, no Estado do Ceará.

A localização da referida barragem está materializada por três marcos implantados no eixo do barramento indicado, com base no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000), conforme a descrição a seguir:

- ✓ Marco (M5) - Estaca 00: 466.862,010E; 9.390.794,696N - Cota 187,20m (margem direita);
- ✓ Marco (M3) - Estaca 09: 466.927,890E; 9.390.628,812N – Cota 164,74m (riacho principal);
- ✓ Marco (M4) - Estaca 14+11,77m: 466.961,911 E; 9.390.520,744 N – Cota 183,71m (margem esquerda).

Partindo de Fortaleza, o percurso pode ser feito pela BR 116 até o Triângulo de Quixadá (67 km). Depois segue-se pela CE 060 / BR 122 até a Sede do Município de Quixeramobim, após passar pela barragem Quixeramobim, entra à esquerda na CE 166, quando se segue até o Distrito de Encantado, num total de 246 km. Para chegar ao local do barramento entra à esquerda na estrada vicinal após o Posto Arruda, e percorre-se 1,5 km até o eixo do barramento proposto situado no Povoado Boa Vista dos Parentes. Ver Figura 1.1 a seguir.

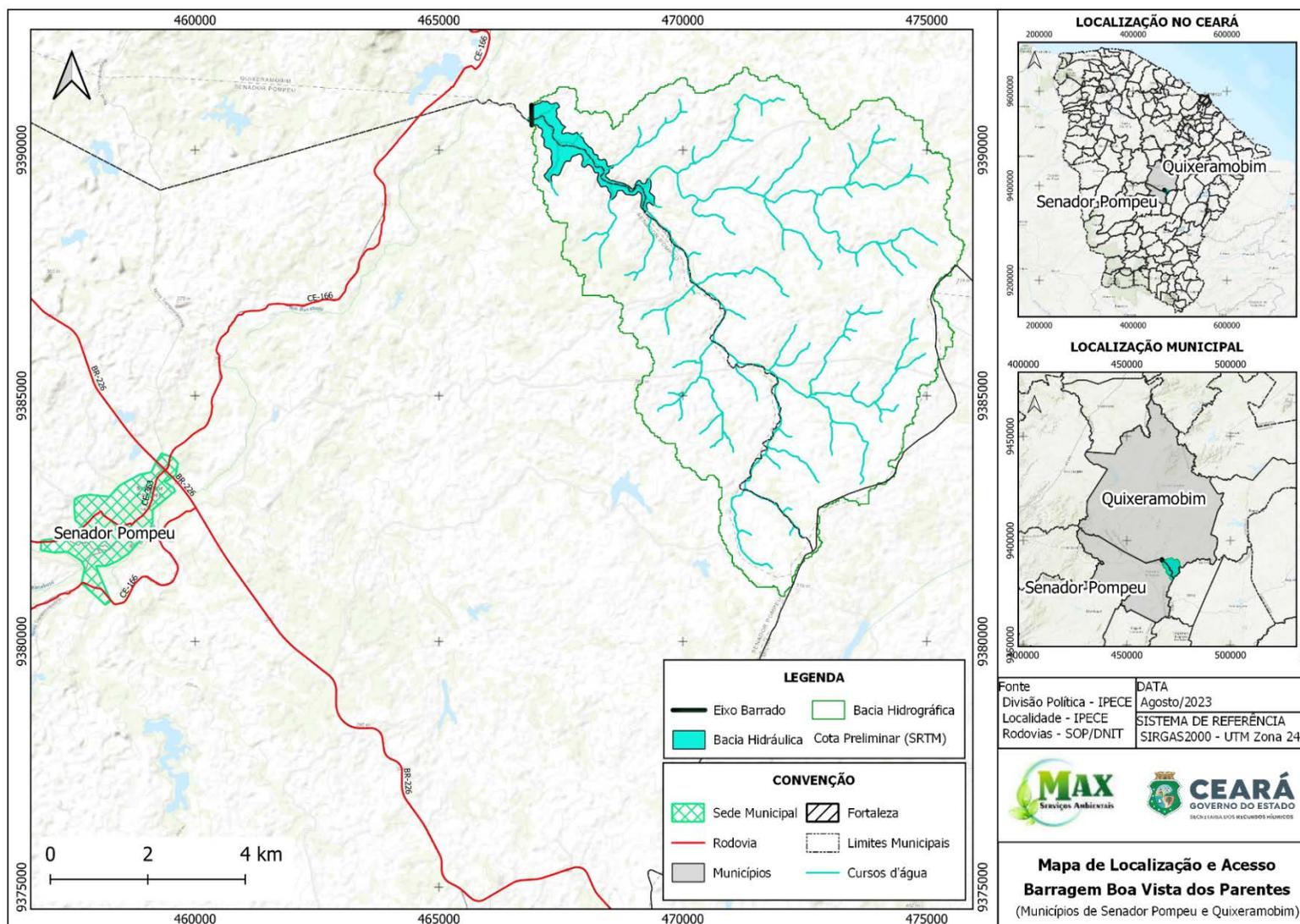


Figura 1.1 - Mapa de localização e acesso

1.3 Características Técnicas da Barragem Boa Vista dos Parentes

Identificação

Denominação:Barragem Boa Vista dos Parentes
 Município:Quixeramobim / Senador Pompeu
 Localidade:Boa Vista dos Parentes
 Estado:Ceará
 Coordenadas: 9.390.628,812N; 466.927,890E
 Curso d'água barrado: Riacho Boa Vista
 Bacia: Rio Banabuiú
 Proprietário:.....Governo do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Max Serviços Ambientais

Bacia Hidrográfica

Área: 58,00 km²
 Perímetro: 50,20 km
 Comprimento do rio: 14,40 km
 Cota do talvegue a montante: 311,00 m
 Cota do talvegue a jusante: 172,00 m
 Declividade média do rio: 9,80 m/km

Características do Reservatório

Área da Bacia Hidráulica 84,07 ha
 Volume de Acumulação (soleira 178,00m): 5,14 hm³
 Volume morto: 0,10 hm³
 Volume útil: 5,04 hm³
 Vazão Afluente Anual: 3,08 hm³
 Vazão afluente máx. de projeto (TR=1.000 anos):355,50 m³/s
 Vazão máxima de projeto amortecida (TR=1.000 anos):221,90 m³/s
 Vazão afluente máx. de projeto de verificação (TR=10.000 anos):.....468,80 m³/s
 Vazão máxima de verificação amortecida (TR=10.000 anos):.....303,20 m³/s
 Vazão regularizada 25,46 L/s

Nível d'água máximo maximorum (TR=1.000 anos): 179,80 m

Nível d'água máximo maximorum (TR=10.000 anos): 180,20 m

Barragem

Tipo: Terra Heterogênea

Altura máxima acima das fundações:20,34 m

Largura do coroamento:5,90 m

Extensão pelo coroamento: 235,80 m

Revanche.....4,50 m

Cota do coroamento : 182,50 m

Talude de montante:2,5 H:1,0 V

Talude de jusante:2,0 H: 1,0 V

Vertedouro

Tipo: Soleira Espessa Escavado em Rocha

Localização (eixo da barragem): Ombreira direita

Cota da soleira: 178,00 m

Largura do vertedouro:60,00 m

Lâmina máxima vertente (TR = 1.000 anos):2,80 m

Descarga de projeto (TR = 1.000 anos):.....221,90 m³/s

Lâmina máxima vertente (TR = 10.000 anos):3,20 m

Descarga de projeto (TR = 10.000 anos):.....302,20 m³/s

Tomada D'água

Tipo:.....Galeria

Localização (eixo da barragem): Ombreira Direita

Vazão regularizada: 25,46 L/s

Número de condutos: 2 un

Diâmetro da tubulação: 250 mm

2 – SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2 SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2.1 Estudos Cartográficos

2.1.1 Cartografia Existente

2.1.1.1 Cartografia Disponível

Inicialmente, os estudos e serviços foram subsidiados pelas informações contidas nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000) e no projeto RADAMBRASIL (escala 1:1.000.000).

Foram utilizadas a carta da EMBRAPA/IBGE SRAM/CEARA- SB-24-V-D-VI, carta esta que foi elaborada com base na fotografia de satélite Land Sat 7 de 2011. Estes produtos foram gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (em inglês, Shuttle Radar Topography Mission), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI).

As cartas são disponibilizadas na escala de 1:250.000, com curvas de nível a cada metro, tendo como fonte de pesquisa o website da Embrapa.

2.1.1.2 Análise da Documentação Cartográfica

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos inicialmente a partir de cartas da SUDENE (SB-24-V-D-VI) digitalizadas em escala 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e a área da bacia hidrográfica, de acordo com o Edital de licitação.

Para uma melhor avaliação topográfica do local indicado pela SRH-CE, embora que de modo expedito, mais em primeira aproximação, foi gerado o MDT utilizando a cartografia SRTM – “Shuttle Radar Topography Mission” elaboradas pela NASA e NIMA, para toda bacia hidrográfica do eixo indicado. Para complementar as informações da carta gerada, foram utilizadas imagens recentes do Google Earth para definir o traçado das rodovias e estradas vicinais, imobiliário de propriedades e delimitação das cercas das propriedades, etc.

Empregando ferramentas computacionais QGis, gerou-se um modelo digital do terreno - MDT da área de estudo, com curvas altimétricas interpoladas a cada um metro, permitindo uma primeira aproximação dos eixos para a escolha do barramento.

A partir da carta topográfica gerada (SRTM + Google Earth), foi possível identificar, em primeira aproximação, os eixos alternativos ao eixo indicado pela SRH-CE, delimitar as bacias hidrográficas e hidráulicas e determinar as curvas: cota x área x volume acumulado do eixo.

2.1.2 Estudos Cartográficos

O Serviço teve como base a Área de interesse apresentada no Edital e que abrange um polígono de 8,0 km², conforme as definições de coordenadas apresentadas na Figura 2.1.

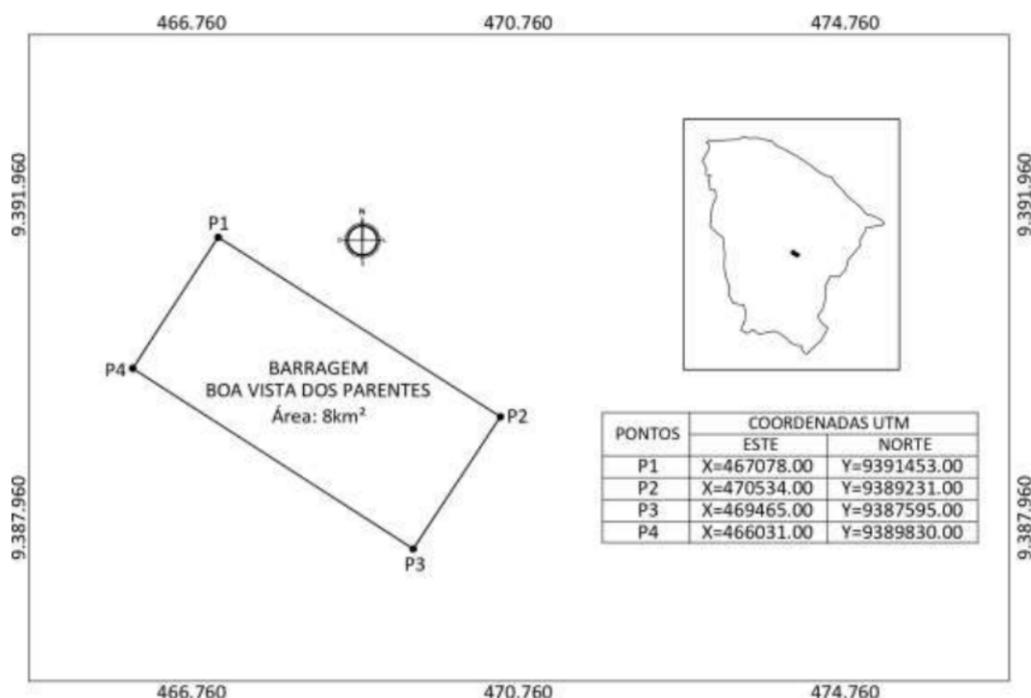


Figura 2.1 – Área Definida no Edital para Levantamento Aerofotogramétrico

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

2.1.2.1 Metodologia do Levantamento

O trabalho consiste basicamente em 06 (seis) etapas distintas:

- i. Planejamento do Levantamento de Campo;
- ii. Levantamento de Campo;
- iii. Processamento das Imagens (Geração do Modelo Digital de Superfície - MDS, Ortorectificação e Geração de Mosaico);
- iv. Conversão de MDS para MDT (Modelo Digital de Terreno);
- v. Extração e Correção Topológica das Curvas de Nível
- vi. Controle de Qualidade dos Dados.

Na Figura 2.2 é possível visualizar o fluxograma com o detalhamento da metodologia.

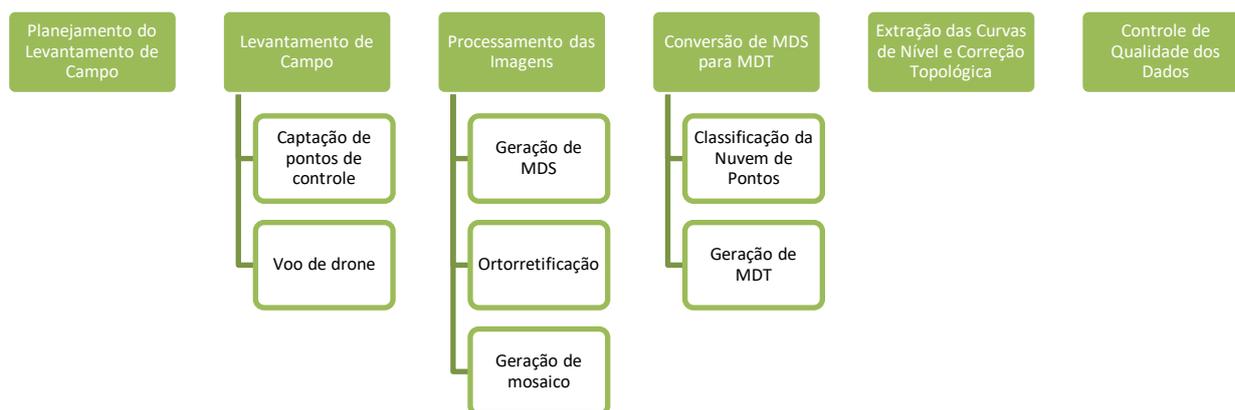


Figura 2.2 – Fluxograma da metodologia utilizada

Na etapa de planejamento do apoio de campo, foi feito um estudo da área da poligonal utilizando o software google earth para marcar a posição dos pontos de apoio e o planejamento das missões, determinando a quantidade e o local de sua execução. É estudado também a logística do trajeto, tendo em vista as opções de estrada de acessos.

Na Figura 2.3 mostra o planejamento do apoio de campo.

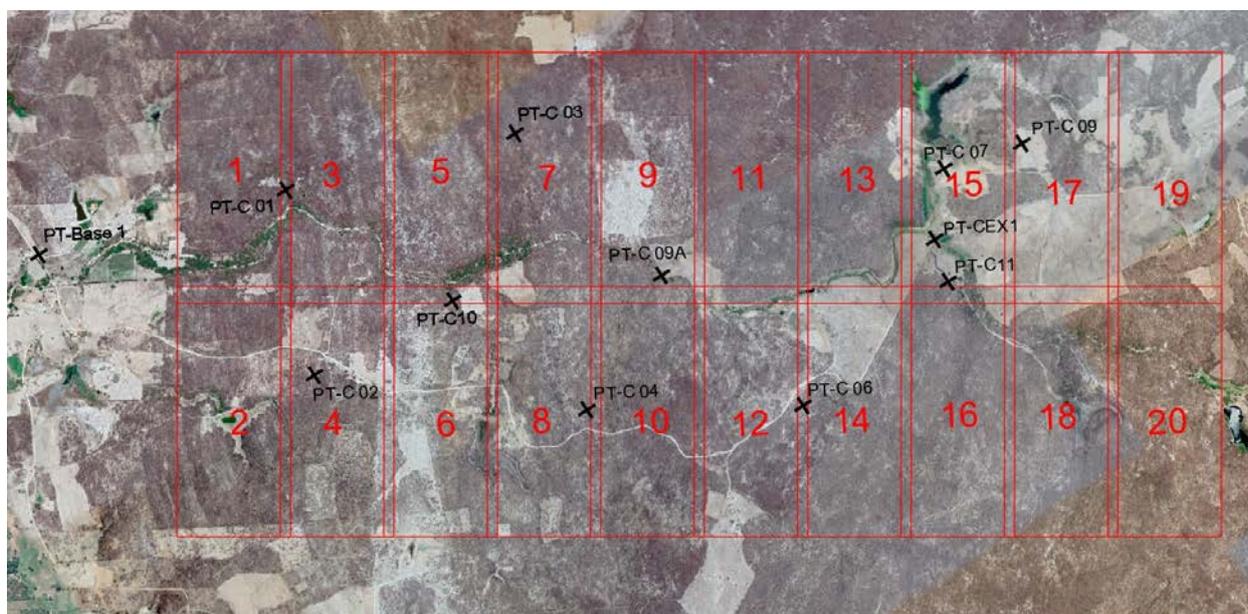


Figura 2.3 – Marcações dos pontos de apoio e o planejamento das missões

O levantamento de campo realizado englobou as seguintes atividades:

- I. Captação de Pontos de Controle
 - o Mobilização e deslocamento da equipe para os locais dos pontos de apoio marcados previamente;

- Marcação dos pontos marcados e posicionados conforme indicação inequívoca da localização para serem medidos, constando da indicação detalhada da feição correspondente no croqui de localização;
 - Rastreo dos pontos materializados para servir de apoio ao aerolevanteamento. Foram utilizados nesta atividade receptores GPS geodésico;
 - Medição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro dos pontos de controle para apoio terrestre do mapeamento por imagens, com receptores GPS geodésico e topográfico.
- II. Após os alvos serem devidamente marcados e medidos é dado o início os voos de Drone, seguindo a logística de execução das missões programadas e devidamente configuradas com os parâmetros adequados para o aerolevanteamento; tais como a altura de voo, o tipo de câmera do drone, a sobreposição das imagens e a velocidade do voo. Para execução das missões foi utilizado o aplicativo “Pilot” da própria fabricante do drone.

Na Figura 2.4 mostra o trajeto que o drone vai fazer já com as configurações inseridas no aplicativo PILOT.



Figura 2.4 – Interface do aplicativo Pilot e uma das missões planejadas pronto para execução

O processamento das imagens é feito através da técnica de Fotogrametria, que envolve coordenadas estimadas de pontos de um objeto tridimensional. Estes pontos são determinados por medidas feitas em duas ou mais fotografias tiradas em diferentes posições determinando a localização tridimensional do ponto. Esse processo é obtido em ambiente computacional.

Para o processamento das imagens foi utilizado o software Pix4D, ele trabalha com três passos sequenciais:

a) O primeiro passo é feito a calibração de câmeras do drone, geração dos pontos homólogos e a ortorretificação das imagens. Após o término dessa etapa são inseridos os pontos de apoio (GCPs) para a realizar as pontarias nas imagens adquirindo um maior ângulo de elevação utilizando o (MDS), corrigindo os deslocamentos dos pixels de uma imagem devido ao relevo melhorando a acurácia do levantamento. Desta forma, vale destacar que a coleta de pontos de controle citada e a utilização de marcos da topografia foram imprescindíveis para garantir a acurácia do MDE e da ortorretificação. Durante esta etapa de ortorretificação, o referencial geodésico das imagens de saída foi convertido para SIRGAS 2000. Após o término das pontarias citado a cima, ocorre o reprocessado do primeiro passo corrigindo e melhorando a acurácia dos pontos.

b) O segundo passo é gerar a nuvem densa de pontos e a classificação deles. Essa classificação é dada em relação as elevações do MDE, como árvores, edificações e outros e segue critérios técnicos para sua construção.

c) O terceiro passo é gerado os produtos base da cartografia, como: ortomosaico das imagens; Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT) e as curvas de nível.

2.1.2.2 Elementos Produzidos

Os elementos que foram produzidos a partir do processo de imageamento por satélite, destinado a delimitação da bacia hidráulica, e que foram entregues a SRH, conforme a lista a seguir:

- 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.

2.1.3 Resultados

Os elementos que foram produzidos foram entregues a SRH, na fase de estudos básicos através do relatório **Volume 1 – Estudos Cartográficos**.

2.2 Estudos Topográficos

2.2.1 Metodologia de Execução

Os serviços de levantamento topográfico tiveram início com realização do transporte de coordenadas geográficas, utilizando GPS (Sistema de Posicionamento Global) Geodésico de dupla frequência, L1 e L2, amarrados na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC. Foram determinadas as coordenadas e cotas dos Marcos (M5); (M3) e (M4) indicados acima (item 2), alinhados com o eixo da barragem com base no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000).

Os serviços executados na área da barragem e vertedouro seguiram as orientações indicadas nos termos de referência e obedeceram aos seguintes trabalhos de campo:

- Implantação de cinco (5) marcos de concreto para servir de apoio nos serviços construtivos;
- Locação e abertura de variantes no eixo da barragem e vertedouro, e seções transversais a cada 20,00 metros através de Estação Total – Modelo CTS 3005W, com precisão angular de 5" e linear de 1mm, marca TOPCON;
- Locação das áreas de empréstimos (solo argiloso, areia e rocha para proteção de taludes) e sondagens para investigação da fundação;
- Georreferenciamento dos marcos implantados com o equipamento GPS Geodésico de dupla frequência L1 e L2 – RTK, precisão horizontal e vertical de 3mm + 0,5ppm;

2.2.1.1 Transporte de Cota e Coordenadas

Para o transporte de coordenadas do eixo da barragem Boa Vista dos Parentes, utilizou-se a metodologia do IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso), que é um serviço on-line gratuito para o pós-processamento de dados GPS (Global Positioning System). Ele permite aos usuários de GPS, obterem coordenadas de boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF). No posicionamento com GPS, o termo Posicionamento por Ponto Preciso normalmente refere-se à obtenção da posição de uma estação utilizando as

observáveis fases da onda portadora coletadas por receptores de duas frequências e em conjunto com os produtos do IGS (International GNSS Service). O resultado do IBGE-PPP independe de qualquer ajustamento de rede geodésica e não está associado às realizações ou ajustamentos de rede planimétrica.

Para o Levantamento de campo foi utilizado equipamento tipo GPS RTK (REAL TIME CENTIMETRO), tendo sido corrigida a coordenada e cota da Base pelo PPP (Posicionamento por Ponto Preciso, do IBGE). O equipamento utilizado foi GPS TOPCON HIPER V, com precisões Horizontal e vertical de 3,00 mm.

Uma forma de avaliar a qualidade das coordenadas determinadas com o PPP é através da verificação do sigma, apresentado na Figura 2.5, para as componentes; latitude, longitude e altitude. A outra forma é avaliar a diferença entre as coordenadas determinadas pelo PPP, com as coordenadas conhecidas em um marco de referência.

O desvio padrão, representado pelo símbolo s , é usado para quantificar a dispersão em torno da média das observações. Este indicador é a medida de precisão mais utilizada, porém devido ao grande número de observações em um sistema de equações de uma solução GPS ele se torna um indicador muito otimista. A precisão absoluta é a proximidade da coordenada de uma estação com relação ao seu referencial, e a precisão relativa é um indicador da qualidade na medida entre dois pontos, que no caso poderão ser as linhas de base GPS observadas através do posicionamento relativo. A acurácia, ou certeza de uma solução, pode ser quantificada por múltiplos do desvio padrão ou por uma determinada função de probabilidade de distribuição das observações. A função de probabilidade de distribuição normal fornece o relacionamento entre os dois (observações e modelo matemático de distribuição), como por exemplo, uma observação qualquer dentro de um conjunto tem 95,45% de probabilidade de estar contida em $\pm 2s$ da média.

Em nosso trabalho foi realizado o transporte para apenas determinado ponto de base de partida, localizado na ombreira direita da barragem.

Sumário do Processamento do marco: log0729q GE20

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/07/29 16:27:25,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/07/29 20:28:16,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPER_SR NONE
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	0,000

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (8 a quo deve ser usada) ⁴	-5° 30' 50,0655"	-39° 17' 53,7861"	173,12	9390520.474	466961.988	-39
Na data do levantamento ⁵	-5° 30' 50,0567"	-39° 17' 53,7886"	173,12	9390520.744	466961.911	-39
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,002	0,007	0,009			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	-10,59	Incerteza (m): 0,06
Altitude Normal (m):	183,71	

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

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

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

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

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

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

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

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Figura 2.5 – Processamento através do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE

2.2.1.2 Levantamento da Área do Eixo Barrável e do Vertedouro

O levantamento da área da barragem teve como base o levantamento de dois eixos, o primeiro a ser levantado foi eixo da barragem. O estaqueamento iniciou na ombreira direita na estaca 0 e terminou na estaca 14 + 11,77, perfazendo um total da 291,77 m. Adiante foram levantadas as alternativas de sangradouro, com extensão de 120,00 m. A Tabela 2.1 apresenta a relação de marcos implantados ao longo o eixo a ser barrado.

Tabela 2.1 – Marcos implantados no eixo da Barragem Boa Vista dos Parentes

MARCOS IMPLANTADOS-BARRAGEM BOA VISTA-SEN.POMPEU/QUIXERAMOBIM/CE					
Nº	ESTACA	POSIÇÃO	COORDENADAS		COTA (M)
			E	N	
M2	E4	Omb. Direita	466.889,42	9.390.719,54	177,03
M3	E9	Leito riacho	466.927,89	9.390.628,81	164,75
M4	E14+11,77	Omb.Esquerda	466.961,91	9.390.520,74	183,71
M5	E0	Omb. Direita	466.862,01	9.390.794,69	187,20
M6	E5S+10	Sangradouro	466.933,84	9.390.878,00	192,84

O levantamento das seções transversais do eixo barrável, abrangeu uma faixa de domínio de 100 metros a montante e a jusante do referido eixo. Tendo sido levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada. Os pontos foram estaqueados, numerados e cotados a cada 20 metros, tendo sido implantadas estacas intermediárias indicando elementos importantes como talwegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno etc.

Para o eixo da barragem foram executadas 10 seções de levantamento, com total levantado de 2.000 m.

O levantamento dos eixos longitudinal e transversal do vertedouro obedeceu à sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções foram prolongadas a montante, até uma cota pré-determinada para soleira, e a jusante até o leito do rio. O levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 20 metros, com 40,00 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Para o eixo do vertedouro foram executadas 10 seções de levantamento, com total levantado de 800,00m. A Tabela 2.2 apresenta a locação dos principais pontos do eixo barrado.

Tabela 2.2 – Locação e Nivelamento do Eixo Barrável e do Sangradouro

LEVANTAMENTO EIXO E SANGRADOURO DA BARRAGEM BOA VISTA				
ESTACA	POSIÇÃO	COORDENADAS UTM SIRGAS 2000		COTA
		ESTE	NORTE	
EIXO DA BARRAGEM				
E0 (M5)	Omb.Direita	466.862,01	9.390.794,69	187,20
E1	Omb.Direita	466.875,71	9.390.757,12	186,67
E2	Omb.Direita	466.868,86	9.390.775,92	184
E3	Omb.Direita	466.867,64	9.390.779,27	180,29
E4(M2)	Omb.Direita	466.889,42	9.390.719,54	176,88
E5	Eixo	466.896,27	9.390.700,74	173,067
E6	Eixo	466.903,13	9.390.681,94	168,96
E7	Eixo	466.909,98	9.390.663,15	165,305
E8	Eixo	466.916,83	9.390.644,35	164,495
E8 + 5,77	Eixo	466.918,81	9.390.638,94	164,487
E9 (M3)	Eixo	466.923,67	9.390.625,61	164,59
E10	Eixo	466.930,54	9.390.606,77	164,666
E10 + 4,94	Eixo	466.932,23	9.390.602,15	164,537
E11	Eixo	466.937,13	9.390.588,71	162,31
E12	Eixo	466.944,25	9.390.569,18	166,54
E13	Eixo	466.951,09	9.390.550,42	170,84
E14	Omb.Esquerda	466.957,95	9.390.531,61	179,76
E14 + 11,73(M4)	Omb.Esquerda	466961,968	9390520,582	183,71
VERTEDOURO				
E0S	Vertedouro	466.889,65	9.390.812,67	189,149
E1S	Vertedouro	466.900,67	9.390.829,38	189,919
E2S + 10,00	Vertedouro	466.906,16	9.390.837,72	190,321
E3S	Vertedouro	466.911,68	9.390.846,09	190,765
E4S	Vertedouro	466.922,67	9.390.862,77	191,704
E5S + 10 (M6)	Vertedouro	466.933,69	9.390.879,49	192,84
MARCOS TOPOGRÁFICOS				
M2 (E4)	Omb. Direita	466.889,42	9.390.719,54	177,03
M3 (E9)	Eixo	466.927,89	9.390.628,81	164,745
M4(E14+11,77)	Omb.Esquerda	466.961,91	9.390.520,74	183,71
M5 (E0)	Omb. Direita	466.862,01	9.390.794,69	187,294
M6 (E5S + 10)	Vertedouro	466.933,84	9.390.878,00	192,84

2.2.1.3 Levantamento da Área de Jazida

O levantamento planimétrico das jazidas foi realizado nas áreas de ocorrências de materiais identificadas pela equipe de campo, materiais estes que serão utilizados na construção da barragem. Através do transporte de coordenada todos os furos foram levantados e a poligonal de cada jazida foi amarrada ao eixo da barragem. Todos os poços escavados na investigação das jazidas foram locados, nivelados, numerados e georreferenciados topograficamente. O Anexo 02 do relatório **Volume 2 – Estudos Topográficos**, apresenta planta baixa das áreas das jazidas, mostrando a localização de todas as ocorrências de material, em escala apropriada.

Foi elaborada uma planta com a localização das jazidas (solo argiloso, areia e rocha)

Para o caso específico da jazida de areia, foi levantado topograficamente todos os pontos de prospecção feito ao longo do rio Banabuiú. Tendo sido realizado levantamento 2,0km ao longo do rio, sendo feito furos a cada 100 m. Do total das 20 prospecções de areia foram selecionadas duas (02) amostras para ensaios de laboratório.

2.2.2 Resultados

Os elementos que foram produzidos foram entregues a SRH, na fase de estudos básicos através do relatório **Volume 2 – Estudos Topográficos**.

2.3 Estudos Geológicos-Geotécnicos

2.3.1 Estudos Geológicos

2.3.1.1 Geologia Regional

A bacia hidrográfica do Açude Boa Vista dos Parentes está situada na microregião geográfica do Banabuiú, no Estado do Ceará, numa área em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

Os estudos geológicos foram realizados visando fornecer dados litológicos e estruturais relacionados às feições geológicas, tendo-se adotado as seguintes etapas de trabalho:

- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 200m, sendo 100m para montante e 100m para jusante;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:1.000.

A unidade litoestratigráfica que compõe a área, está indicada na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Geologia Regional

PERÍODO	UNID. LITOESTRATIGRÁFICA	OBSERVAÇÃO
Quaternário	Aluviões	
Proterozóico	muscovita-biotita-gnaisses bandado, quartzitos, granulometria média, cor clara.	Grupo Ceará – Unidade Geológica Acopiara

Para ilustrar apresenta-se a Figura 2.6 – mapa geológico da área da barragem

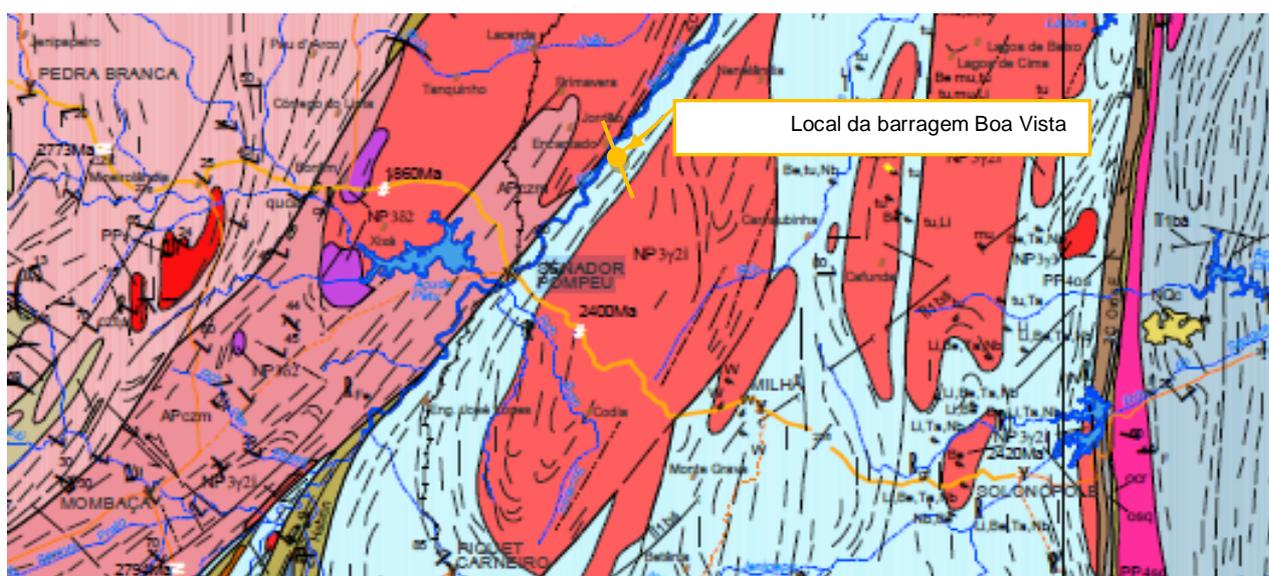


Figura 2.6 – Mapa geológico da região de estudo

A área em estudo está inserida na Província Borborema (Almeida *et. al.* 1977 e 1981), mais especificamente no Domínio Ceará Central. Nesta porção afloram terrenos pré-cambrianos de idade variando entre o Arqueano e o Neoproterozóico.

Tendo como base as características geológicas, os extensos lineamentos transcorrentes, Brito Neves *et al.* (2000) subdividiram a Província Borborema em cinco domínios tectônicos principais:

- i. Domínio Tectônico Médio Coreaú (DMC) – localizado a norte do Lineamento Transbrasiliano e a sul da margem retrabalhada do Cráton São Luís;
- ii. Domínio Tectônico Ceará Central (DCC) – onde está inserida a área de estudo e está situada entre os lineamentos Transbrasiliano e Senador Pompeu;
- iii. Domínio Tectônico Rio Grande do Norte (DRGN) – localizado entre os lineamentos Senador Pompeu e Patos;
- iv. Domínio Tectônico Zona Transversal (ZT) – limitada pelos lineamentos Patos e Pernambuco; e

- v. Domínio Tectônico Meridional (M) – situado entre o lineamento Pernambuco e a borda norte do Cráton São Francisco. Ver Figura 2.7.

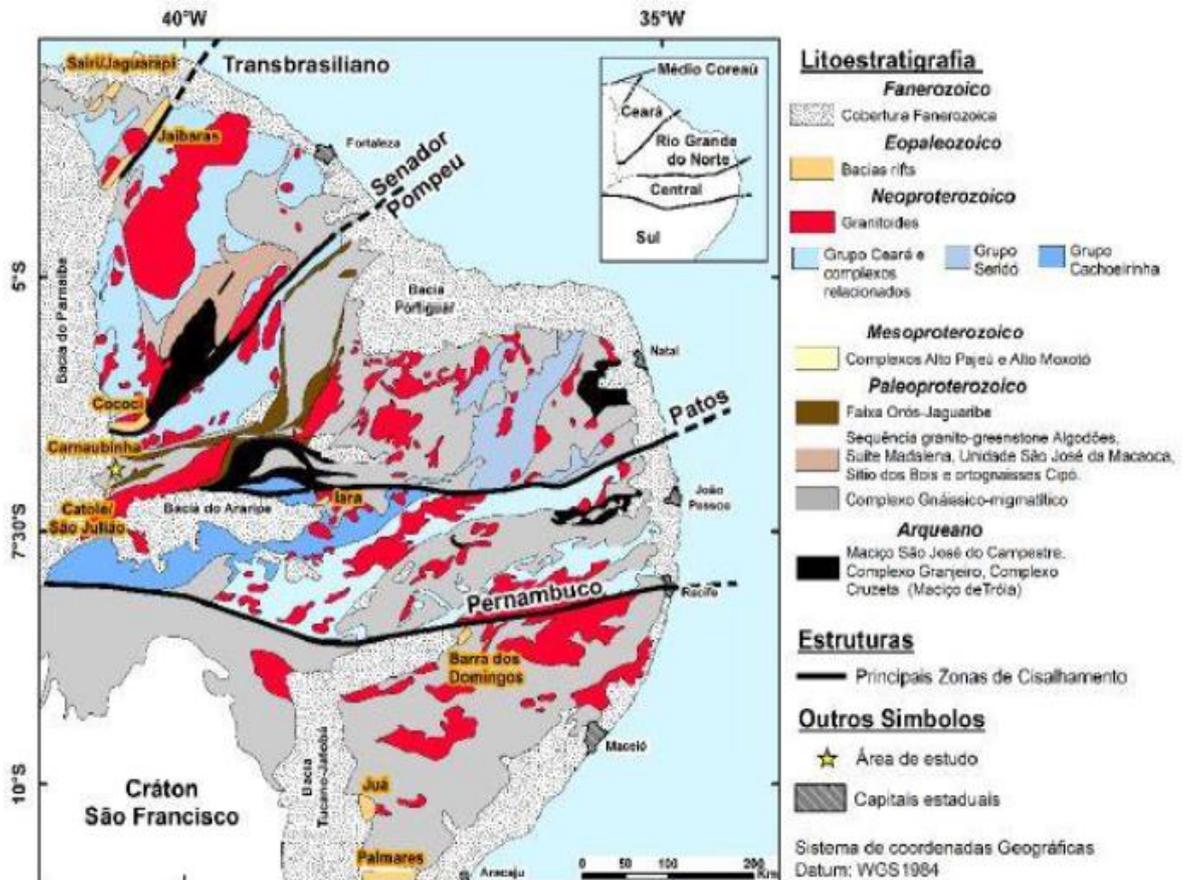


Figura 2.7 – Província Borborema em destaque, ao nordeste do Brasil e seus principais traços tectônicos e localização do Domínio Ceará Central (DCC). Modificado de Medeiros (2004), in Almeida et al. (2008)

Arthud *et al.* (1998) compartimentou o Pré – Cambriano do Estado do Ceará em cinco Domínios Tectônicos: NW Ceará, Ceará Central, Orós-Jaguaribe, Granjeiro e Piancó-Alto Brígida. Dentre esta divisão, a área do barramento está inteiramente contida no Domínio Ceará Central, a seguir:

O Domínio Ceará Central é a mais extensa unidade geotectônica da porção norte da Província Borborema e alcança quase a totalidade do Estado do Ceará.

É delimitado a NW pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) e a SE pela zona de cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP), sendo encoberto a SW-W pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba.

O embasamento arqueano/paleoproterozóico do Domínio Ceará Central é coberto principalmente, pelo Grupo Ceará de idade Neoproterozoica (em azul na Figura 2.8) e recortado pelos granitos Brasilianos (600Ma) em cor vermelha na Figura 2.8.

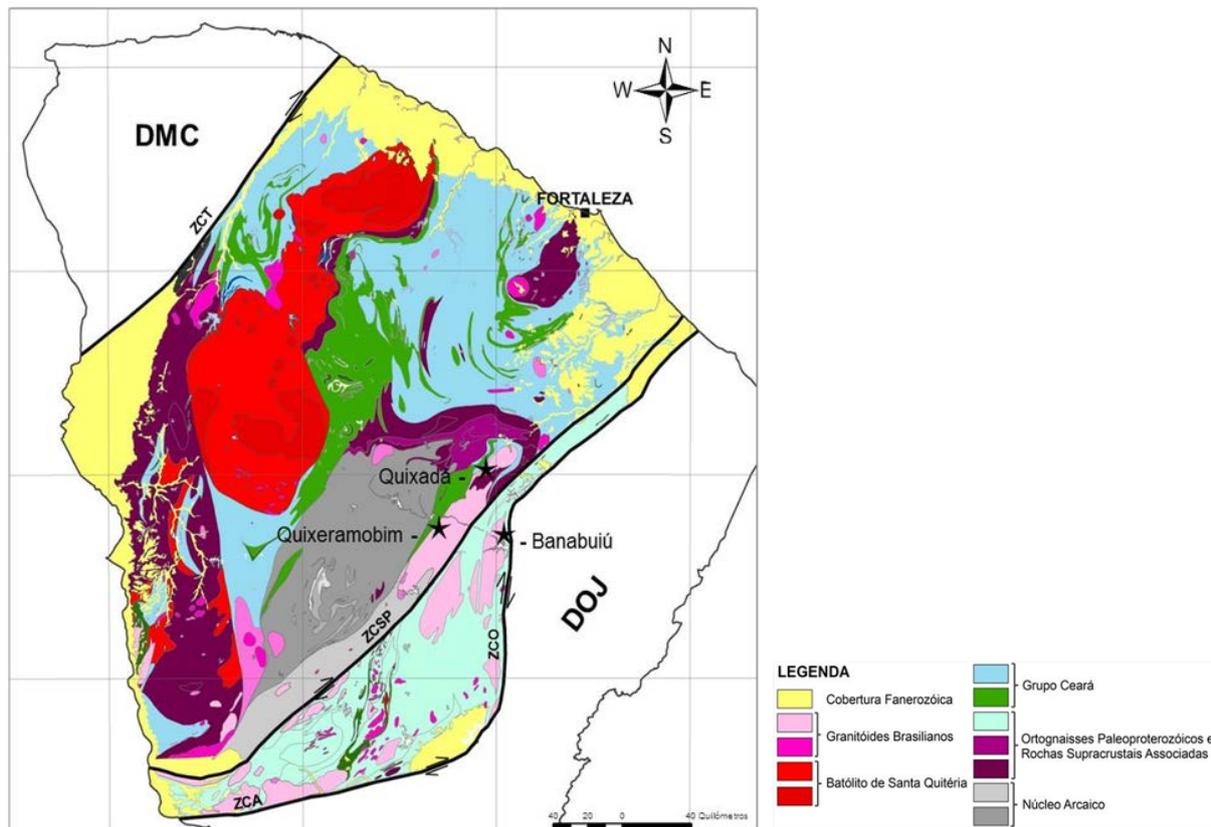


Figura 2.8 – Mapa geológico do estado do Ceará, cujo arcabouço compreende grande parte do DCC. Na parte central o Arco Mamático de Santa Quitéria e seus principais lineamentos. Em destaque a falha de Groiras, seus limites litológicos e estruturas frágeis internas a arco como falhas e fraturas (linha azul) (CPRM, 2003; imagem modificada de Ancelmi, 2008)

2.3.1.2 Geologia Local

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, teve como principal objetivo a identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que geralmente, no âmbito regional, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino de idade Pré-Cambriana.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado, que tem orientação geral segundo N-S, está estaqueado em campo a cada 20m, sendo esta marcação iniciada a partir da estaca 00 até à estaca 14+11,77m.

O levantamento do sangradouro se inicia no eixo da barragem na Est. 00+17,15m=Est.00S com deflexão à esquerda azimute de 128°. Assim, o eixo do sangradouro encontra-se na Est.3S+10,00m.

O terreno da área do sangradouro apresenta afloramentos formados por rochas gnáissicas, sendo observada a lineação estrutural dos minerais, apresentando uma granulometria média a grossa que possui cor cinza-clara com tons amarelados de alteração, contendo essencialmente feldspato, biotita, moscovita e quartzo. Nessa área a foliação se dá preferencialmente em torno de N33°Az, ou seja, a direção se orienta praticamente segundo E-W, com mergulhos sub-verticais. Essa condição é favorável com relação ao fluxo de percolação de montante para jusante na área do sangradouro, pois o eixo locado fica posicionado obliquamente ou quase perpendicular à foliação.

2.3.1.3 Características Geomorfológicas

De um modo geral, na área estudada é possível identificar uma feição de relevo, denominada de Tabuleiros Interiores, a qual relaciona-se com os conceitos geomorfológicos (de Sousa, et al, 1979; e Lima, et al, 2000). São constituídos por superfícies inclinadas com declives de aproximadamente 2 – 5°, com solo espesso a raso, às vezes, com intenso uso agrícola. Com relação ao aspecto climático encontra-se sob o efeito do clima semiárido com irregularidade do regime pluviométrico que tem o rio Banabuiú como principal curso d'água da região.

2.3.2 Estudos Geotécnicos

2.3.2.1 Metodologia Utilizada Para as Sondagens

Sondagem mista é aquela executada por sondagem a percussão em todos os tipos de terreno penetráveis por esse processo, seguida de execução de sondagem rotativa nos materiais impenetráveis a percussão. No caso da sondagem rotativa, somente o trecho em rocha é executado.

Os furos têm início com sondagem percussiva no diâmetro 2 ½”, definindo-se a espessura de solo sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas traduzidas através dos valores de “SPT”. Para a extração das amostras será utilizado o amostrador padrão de 2” e 1 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual será cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador serão registrados os números de golpes necessários para fazer tal ferramenta penetrar cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, está apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens, esta soma de golpes é denominada de “Standard Penetration Test (SPT)”.

Para as sondagens no eixo da barragem não foram realizados ensaios de infiltração, conforme definido com a fiscalização, a pequena espessura do solo existente sobre o maciço rochoso impossibilitava sua execução e seus resultados poderiam ser duvidosos.

Para os trechos em rocha, foi utilizada sonda rotativa, acoplada a um calibrador e a um barrilete NX - duplo-móvel e coroa diamantada para recuperação do testemunho. Deverão ser obtidas informações da alteração, do fraturamento e da estanqueidade da rocha.

Preferencialmente os furos foram executados a partir do terreno natural.

Os equipamentos a serem utilizados na execução dos furos foram os convencionais utilizados nas sondagens com retirada de testemunhos em rocha. Durante os serviços foram executados ensaios de perda d'água específica.

2.3.2.1.1 Ensaios de Permeabilidade "in situ" com Carga Constante e Ensaios de Perda d'água Específica

Com o intuito de avaliar a permeabilidade da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de perda d'água em todos os furos das sondagens mistas do eixo.

Os resultados destas sondagens e ensaios de campo serão apresentados em desenhos na forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram georreferenciados ao eixo topográfico implantado, com suas coordenadas UTM-SIRGAS 2000 e cotas altimétricas definidas, através de levantamento de todas as cotas das bocas dos furos levantadas através de nivelamento topográfico.

2.3.2.1.2 Ensaios de Permeabilidade "in situ" com Carga Constante:

Nos Ensaios de Permeabilidade "in situ" com Carga Constante, mantém-se a vazão até que as condições de fluxo se estabilizem, e a carga (altura d'água no furo) se torne constante. Nestas condições, medem-se a vazão e a carga para aplicação das fórmulas apropriadas. Este tipo de ensaio pode ser usado para solos que se situem abaixo ou acima do nível estático da água (NA). Entretanto, considerando-se as sondagens realizadas fundação (cut off) e taludes das ombreiras observou-se materiais silte arenoso e solo de alteração nas ombreiras com profundidades variando de 0,60 a 3,45m, os quais serão retirados para aplicação de material argiloso impermeável. Diante do fato, foram desconsideradas as realizações dos ensaios de Permeabilidade "in situ" com carga constante.

2.3.2.1.3 Ensaios de Perda d'água Específica

É prática corrente observar-se, no decorrer da execução de sondagens rotativas, perdas d'água parciais ou totais, dependendo da importância e densidade do fraturamento da rocha.

O ensaio de perda d'água específica nada mais é do que um aperfeiçoamento desta observação empírica e qualitativa. Ele permite uma informação quantitativa sobre circulação da água em rochas fissuradas, com o objetivo de julgar as possibilidades de consolidação por injeções.

Este ensaio consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem. Foi realizado em 05 (cinco) estágios de pressão, sendo o 1º e 5º estágios sob pressão mínima; os 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária; e o 3º estágio sob uma pressão máxima.

2.3.2.2 Procedimentos de Campo

Foram realizados no total de 07 (sete) furos de Sondagem Mista (percussão + rotativa).

Na execução foram utilizadas sondas rotativas da SONDEQ modelo 920 de avanço hidráulico, empregando-se coroa diamantada de diâmetro NWM e barrilete duplo móvel.

As amostras foram coletadas a cada metro de profundidade através do amostrador padrão e acondicionadas em sacos plásticos para posterior reclassificação táctil-visual em laboratório.

Os índices de penetração foram obtidos pela cravação do amostrador padrão através de quedas sucessivas do martelo padronizado com massa de ferro de 65 kg caindo da altura de 0,75 m, até se atingir a penetração de 0.30 m, anotando-se o número de golpes necessários à cravação de cada 0,15 m do referido amostrador padrão, ou conforme orientações da Norma Brasileira NBR-6484/FEV2001.

Ao atingir o topo rochoso, foi iniciada a perfuração com o emprego de barrilete duplo giratório modelo NWM (NX), com comprimento livre de 1,65 metros. A cada manobra efetuada, foi anotada a profundidade inicial e final, bem como, o comprimento dos testemunhos recuperados.

As sondagens pelo processo rotativo foram executadas nos trechos em rocha e obedeceram às recomendações Norma Brasileira NBR-6484/FEV2001.

Nos trechos em solos, a sondagem foi executada por lavagem direta com coleta de amostras e medida de SPT (Standard Penetration Test.). As amostras de rocha recuperadas foram acondicionadas obedecendo a sequência da perfuração em caixas de madeira com divisões apropriadas e encaminhadas para análise no laboratório.

A permeabilidade e a condutividade hidráulica do maciço rochoso, ao longo do eixo barrável e suas proximidades, frente à percolação d'água através dos seus planos de descontinuidades (fraturas, falhas e fissuras), foram calculadas a partir dos ensaios padronizados de perda d'água sob pressão realizados nessa fundação, através dos furos de sondagens mistas.

2.3.2.2.1 Ensaios de Perda D'água Específica

É prática corrente observar no decorrer da execução da sondagem rotativa, perdas d'água parciais ou totais, dependendo da importância e densidade do fraturamento da rocha.

O ensaio de perda d'água específica nada mais é do que um aperfeiçoamento desta observação empírica e qualitativa. Ele permite uma informação quantitativa sobre circulação da água em rochas fissuradas, com o objetivo de julgar as possibilidades de consolidação por injeções.

Este ensaio consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem. Foi realizado em 05 (cinco) estágios de pressão, sendo o 1º e 5º estágios sob pressão mínima; os 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária; e o 3º estágio sob uma pressão máxima.

Como medida a favor da segurança da obra, todos os trechos ensaiados contemplaram os estágios acima explanados.

2.3.2.2.2 Sondagens Realizadas

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

Para concretização deste objetivo foram realizadas 07 prospecções mecânicas mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Sondagens da Barragem Boa Vista dos Parentes

EIXO BARRAGEM E SANGRADOURO – SENADOR POMPEU/QUIXERAMOBIM-CEARÁ					
Nº	ESTACA	POSIÇÃO	COORDENADAS		COTA(m)
			E	N	
SM 1	E7+10m	Leito riacho	466914,810	9390654,368	162,459
SM 2	E9 + 10m	Leito riacho	466927,300	9390620,020	163,359
SM 3	E11	Leito riacho	466937,737	9390588,863	162,260
SM 4	E5	Omb. Direita	466896,272	9390700,740	173,067
SM 5	E12 + 10m	Omb. Esquerda	466947,669	9390559,798	168,601
SM 6	E3S + 10m	Eixo Sangrad.	466906,162	9390837,724	190,320
SM 7	E3S + 10m	Sangradouro	466873,070	9390860,000	181,950
	(40m à Jusante)				

Portanto, na região do maciço foram executadas 7 sondagens mistas, totalizando 40,20m, dos quais 7,60 m com emprego de equipamento percussivo e 32,60m com equipamento rotativo.

2.3.2.3 Comentários

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

- i. Na zona da calha do rio, aproximadamente entre estacas 5 e 8 (60m de extensão), ocorre um depósito aluvionar com espessura rasa, atingindo na estaca 6+10,00 um total de 3,5m de profundidade. Este pacote aluvionar está em contato com o maciço rochoso caracterizado por gnaisse. O nível d'água, na região da calha do rio, foi encontrado nas profundidades limites de 2,06m (estaca 6+10), entre agosto e setembro/2023;
- ii. Não foram encontrados materiais argilosos/siltosos de compatibilidade preocupante em nenhum furo da campanha de sondagem;
- iii. As perdas d'água no ensaio Lugeon indicaram, de um modo geral, valores pouco significativos nas ombreiras e na calha do rio, onde obteve-se o valor de perda d'água específica de 0,213 l/min/m/atm., e Coeficiente de Permeabilidade (k) igual a 2,23 cm/s para a carga efetiva máxima aplicada. Neste caso, o comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente fechado, sem deformação. Portanto, com base nestes ensaios, é de se prever que o substrato rochoso não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica, mesmo na calha do rio.
- iv. Na calha do rio subjacente ao pacote aluvionar, constatou-se a presença de uma rocha biotita-gnaisse, com veios de quartzito, muito dura com RQD em média de 80%.

- v. Na ombreira esquerda o topo rochoso encontra-se pouco profundo, inclusive aflorando em várias locais, subjacente a um delgado manto de solo residual silte arenoso com fragmentos de rocha. A rocha foi classificada como biotita-gnaissse com veios de quartzito, muito dura, com excelente recuperação, mostrando RQD (Rock Quality Designations) de 100%.
- vi. Na parte alta da ombreira direita ocorrem também solos residuais, de composição silto arenosa ou silto argilosa, micáceos, com pequena espessura. A rocha subjacente foi classificada como biotita-gnaissse, que até 0,80m de profundidade apresenta-se medianamente alterada, dura, com RQD em média de 60%, e a partir desta profundidade mostra-se muito dura, geralmente sã, com RQD em média acima de 80%.

2.3.3 Investigação do Sangradouro

2.3.3.1 Sondagens Realizadas

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

Para este fim foram realizados 2 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa), nas posições indicadas no mapa em anexo do Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são, também, apresentados nos Desenhos do Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram georeferenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM – SIRGAS 2000 registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa. O processo de execução destas sondagens obedeceu ao mesmo processo descrito anteriormente para sondagens a percussão e rotativa.

Na Tabela 2.4, apresenta as sondagens realizadas no local do sangradouro.

2.3.3.2 Sondagens Mistas

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. O processo de execução do trecho percussivo foi semelhante ao descrito anteriormente. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850 e a SS21-SONDEC. Para cada operação do

barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

2.3.4 Materiais Naturais de Construção

Este item trata do estudo das fontes de obtenção, das propriedades geotécnicas e da aplicabilidade dos materiais naturais de construção às diversas partes da obra.

2.3.4.1 Materiais Terrosos

Próximo ao eixo do barramento, as ocorrências de solos são escassas, não tendo sido identificada no reconhecimento de campo, nenhuma área potencialmente aproveitável como área de empréstimo. No entorno do eixo é generalizada a ocorrência de solo residual de gnaíse, cuja espessura é igual 0,60m, nas ombreiras. No leito do rio ocorrem aluviões silto arenosos com espessuras variáveis, atingindo até 3,45m.

Áreas com ocorrências de solos argilosos impermeáveis, com características adequadas à construção de barragens, foram identificadas na área do reservatório, a distâncias de 7,00 km. Nestas áreas, o capeamento de solo apresenta espessura média da ordem de 2,40m m de material aproveitável. Assim, extensas áreas tiveram de ser pesquisadas, para obtenção de material em volume suficiente para execução do maciço.

A investigação dos empréstimos foi executada apoiada nos trabalhos de mapeamento geológico, que identificaram os locais onde ocorrem os depósitos mais promissores. Nestes locais foram executados poços de investigação, distanciados a cada 100 m. Assim, foram selecionadas duas áreas de empréstimo, cujas características são apresentadas a seguir.

Os volumes cubados nas duas áreas estudadas são apresentadas nas Tabelas 2.5 e 2.6, deste relatório. Foram apresentados os boletins de sondagens e os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais geotécnicos de laboratório no Volume 3 – Estudos Geológicos-Geotécnicos.

Tabela 2.5 – Jazida de Solo (JS 1) – Material Argiloso para aplicação no maciço

Área estudada	45.000 m ²
Nº de poços executados	09
Espessura média do expurgo	0,10 m
Espessura média de mat. utilizável	2,30 m
Volume de material utilizável	103.500 m ³
Volume de expurgo	4.500 m ³
Distância ao eixo da barragem	7,00 km
Massa Específica Aparente Seca Máxima	1,941 g/cm ³
Umidade Ótima (h)	11,00 %
Índice de Plasticidade	9,00%
Coefficiente de Permeabilidade (k)	5,6 E-05 cm/min.
Coesão (c')	13,0 kPa
Ângulo de Atrito (ø)	29,5°
Classificação USCS-Solo	SC

Tabela 2.6 – Área de Empréstimo 2 – material argiloso para aplicação no maciço

Área estudada	55.000 m ²
Nº de poços executados	12
Espessura média do expurgo	0,10 m
Espessura média de mat. utilizável	2,50 m
Volume de material utilizável	137.500 m ³
Volume de expurgo	5.500 m ³
Distância ao eixo da barragem	7,00 km
Massa Específica Aparente Seca Máxima	1,943 g/cm ³
Umidade Ótima (h)	9,60%
Índice de Plasticidade	7,00%
Coefficiente de Permeabilidade (k)	6,7 E-05 cm/min.
Classificação USCS-Solo	SM - SC

Tabela 2.7 – Resumo: Volumes das Áreas de Jazidas de Solo (JS 1 e JS 2

LOCAL	Volume (m ³)	
	Utilizável	Expurgo
Jazida de Solo (JS 1)	103.500	4.500
Jazida de Solo (JS 2)	137.500	5.500
Volume Total	241.000	10.000

A localização das Jazidas de Solo (JS 1 e JS 2) e dos respectivos poços de investigação estão indicados no Desenho - Localização das Áreas de Jazidas – parte integrante do Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos.

Os solos ocorrentes, foram classificados segundo a USCS, como solos areno argilosos e argilosos de baixa plasticidade e pouco compressíveis, tipo SC e SM-SC, respectivamente. A

análise das curvas de distribuição granulométrica e da carta de plasticidade revelam que os solos das duas áreas selecionadas são razoavelmente uniformes.

Os ensaios de permeabilidade, em permeâmetro de carga constante, revelaram para Jazida de Solo (JS 1), os seguintes valores para o coeficiente de permeabilidade:

- Amostra nº 1: $k = 5,6 \times 10^{-5}$;
- Amostra nº 2: $k = 6,7 \times 10^{-5}$;
- Amostra nº 3: $k = 5,3 \times 10^{-7}$;
- Amostra nº 4: $k = 5,1 \times 10^{-7}$

Observa-se também através da permeabilidade, uma excelente uniformidade dos solos das duas áreas selecionadas como fonte de material para construção do maciço.

No que diz respeito à resistência ao cisalhamento, foi ensaiada uma amostra de solo da Jazida de Solo (JS 1) indeformado e realizado o ensaio em câmara triaxial, na condição não drenada. Assim, os valores de c' e ϕ' a serem utilizados nos estudos e análises de estabilidade da Barragem Boa Vista, são os valores de $c' = 13$ kPa e $\phi' = 29,5^\circ$.

Todos os furos de sondagem foram georreferenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM – SIRGAS 2000 registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

2.3.4.2 Materiais Granulares

Um extenso lastro de areia foi identificado à jusante do barramento, no leito do rio Banabuiú, o qual se inicia a 3,0 km do eixo da barragem e possui extensão de 2,0 km. Este banco de areia foi denominado Jazida de Areia (JA 1), com dimensões (2.000x40x1,10)m apresentando volume igual a 88.000m³, sendo suficiente para o atendimento às necessidades da obra.

A exploração da areia será bastante facilitada, considerando que, na maior parte do ano, os bancos não estão submersos.

Quanto à permeabilidade, os ensaios no permeâmetro de carga variável revelaram os seguintes valores médios para o coeficiente de permeabilidade:

- Jazida 1(areia): $k = 4,75 \times 10^{-3}$ cm/s
- Jazida 2(areia): $k = 5,36 \times 10^{-3}$ cm/s

Observa-se também para as duas amostras de areias, um comportamento bastante uniforme, no respeitante à permeabilidade, o que as qualifica como material para construção do sistema de drenagem interna da barragem.

2.3.4.3 Material Pétreo

A obtenção de material rochoso para aplicação nas obras do rip rap, rock fill e talude de jusante deverão ser usados os materiais das escavações obrigatórias do sangradouro, e se necessário escavações complementares na Pedreira 01(150 x 100m) nas proximidades do sangradouro. Ver localização no Anexo 3 do Volume 3 – Estudos Geológico-Geotécnicos.

Com relação a aquisição de brita para confecção de concreto, destaca-se que seu fornecimento deverá ser do tipo adquirida, uma vez que, a britagem da rocha existente (gnaisse com estrutura laminada não produz brita adequada para concreto com boa trabalhabilidade. A britagem com este tipo de rocha produz brita lamelar (formato retangular, às vezes triangular) sem contar com a perda excessiva de material).

2.3.5 Resultados

Os elementos que foram produzidos foram entregues a SRH, na fase de estudos básicos através do relatório **Volume 3 – Estudos Geológicos-Geotécnicos**.

2.4 Estudos Hidrológicos

2.4.1 Caracterização Da Área Em Estudo

2.4.1.1 Bacia Hidrográfica

Por definição, uma bacia hidrográfica é determinada espacialmente por divisores topográficos (cotas elevadas), de forma que a água, precipitada internamente nesses divisores, obrigatoriamente irá escoar através da sua seção de exultório. Para a delimitação da bacia, se faz necessário o conhecimento prévio do relevo ou topografia da região.

Para esta avaliação morfológica do local de estudo, utilizou-se a imagem de um modelo digital de elevação (MDE) derivado da imagem SRTM, obtida pelo projeto Topodata (www.dsr.inpe.br/topodata) em escala 1:250.000, com curvas de nível a cada 30 metros. O MDE é um arquivo tipo *raster*, formado por *pixels* com informações de coordenadas e elevação, possibilitando a representação contínua das superfícies.

Empregou-se a ferramenta computacional *Quantum GIS (QGIS)*, versão 3.18.0 (www.qgis.org), junto ao *plugin Grass* na versão 7.0, onde, primeiramente, a imagem foi reprojeta, passando do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas planas; esse procedimento foi necessário para determinação de área e perímetro.

Na Figura 2.9 são apresentados o traçado da bacia e a rede de drenagem classificada segundo o critério de *Strahler* (1952). Na Figura 2.10 tem-se ilustrado o mapa hipsométrico da área de estudo, em conformidade com os limites hidrográficos estabelecidos.

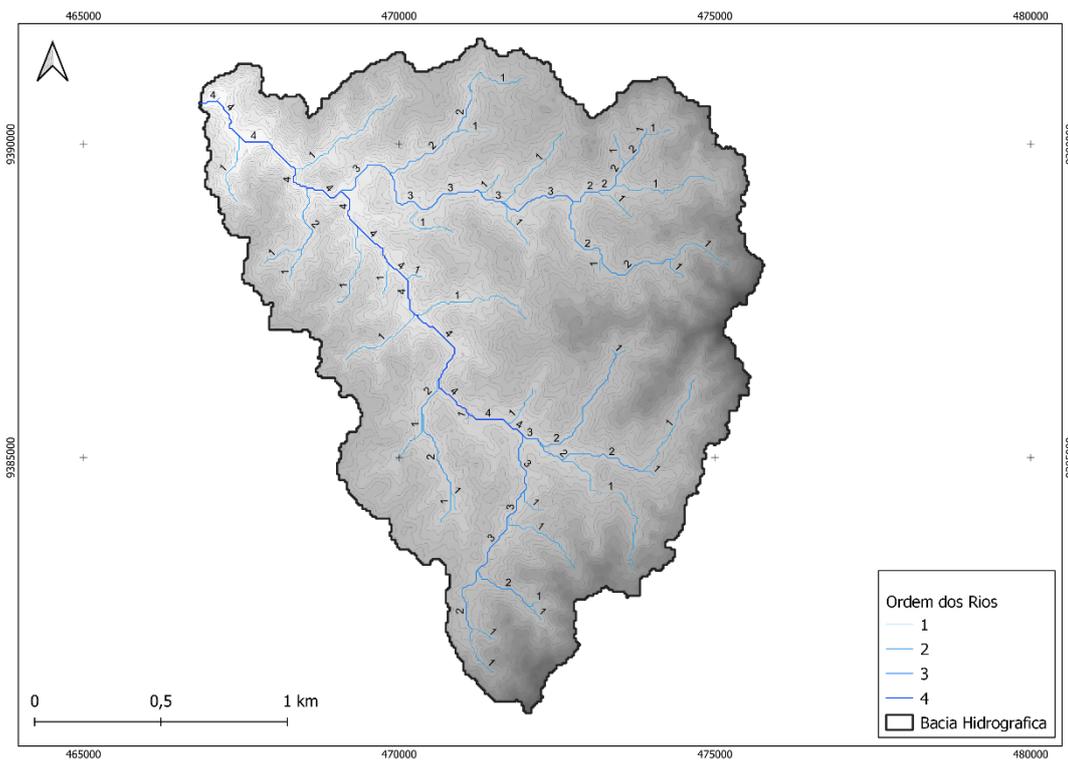


Figura 2.9 – Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem

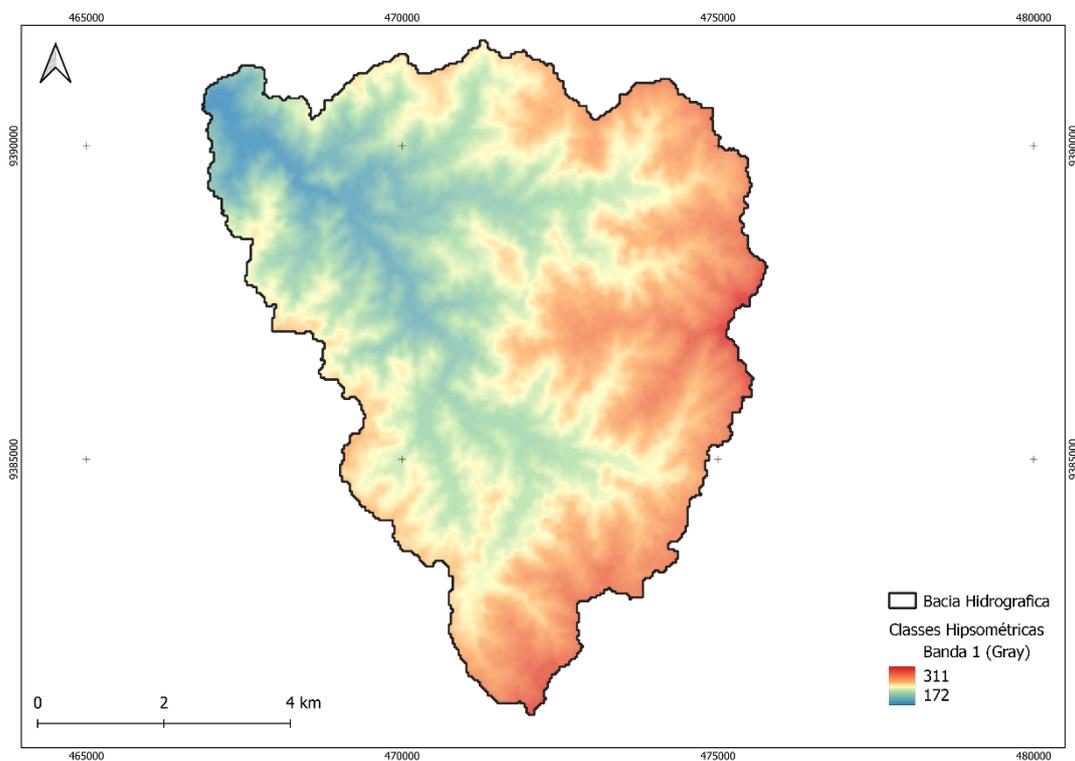


Figura 2.10 – Mapa hipsométrico

Na Tabela 2.8 a seguir é apresentado um resumo das características físicas da bacia.

Tabela 2.8 – Dados físicos da bacia da barragem

Área da Bacia Hidrográfica (Km ²)	Perímetro (km)	Comprimento do Rio (km)	Cota do Talvegue à Montante (m)	Cota do Talvegue à Jusante (m)
58,00	50,20	14,40	311,00	172,00

2.4.1.2 Características Físicas da Bacia

As características físicas e morfológicas de uma bacia hidrográfica têm grande importância em seu comportamento hidrológico, existindo uma correlação entre o regime hidrológico e estes elementos que permitem conhecer a variação no espaço do regime hidrológico.

Estas características podem afetar variáveis como o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exultório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Enquanto o fator de forma relaciona a forma da bacia com um retângulo, sendo calculado pela relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A densidade de drenagem, por sua vez, fornece uma indicação da eficiência de drenagem da bacia. O tempo de concentração é calculado por meio da fórmula de *Kirpich* modificada (DNIT, 2005), fórmula adaptada e recomendada pelo DNIT para bacias grandes com área maior que 100 hectares. Assim, cada bacia pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma:

$$K_C = 0,28 \frac{P_{bacia}}{\sqrt{A}} \quad (\text{Coeficiente de Compacidade})$$

$$K_f = \frac{A}{L_x^2} \quad (\text{Fator de Forma})$$

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (\text{Densidade de Drenagem})$$

$$t_c = 85,2 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (\text{Tempo de Concentração})$$

A bacia de contribuição é traçada segundo os critérios mencionados, apresentado uma área de abrangência de $A= 58,00 \text{ km}^2$ e um perímetro de $P=50,20 \text{ km}$. Possui ainda um comprimento do curso principal de $L=14,40 \text{ km}$ e seu comprimento axial de $11,20 \text{ km}$ para um desnível de $H=141,00 \text{ metros}$, resultando numa declividade média de $9,80 \text{ m/km}$. Aplicando esses dados nas equações supracitadas, obtém-se os resultados apresentados na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Caracterização da bacia da barragem

Fator de compacidade (K_C)	Fator de forma (K_f)	Densidade de drenagem (D_d)	Tempo de concentração (horas) (t_c)
1,86	0,28	0,015	3,07

De acordo com os resultados do valor de K_c , pode-se afirmar que a bacia hidrográfica se mostra pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade. O fator de forma apresentou um valor baixo, caracterizando a bacia com uma forma mais alongada.

A Figura 2.11 mostra a representação da curva hipsométrica, que é a representação gráfica do relevo médio da bacia hidrográfica em estudo. Esta representa a variação da elevação dos vários terrenos da bacia em relação ao nível médio do mar. Essa variação é indicada em um gráfico que mostra a porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações, planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível da bacia. O uso da curva hipsométrica com valores em percentuais é mais vantajoso pois permite que a curva obtida seja comparada com outras curvas de bacias hidrográficas com tamanhos, formas e altitude diferentes.

Pode-se perceber que, aproximadamente, 50% da área da bacia encontra-se abaixo da cota de 240 metros e menos de 20% encontra-se entre 260 e 311 metros.

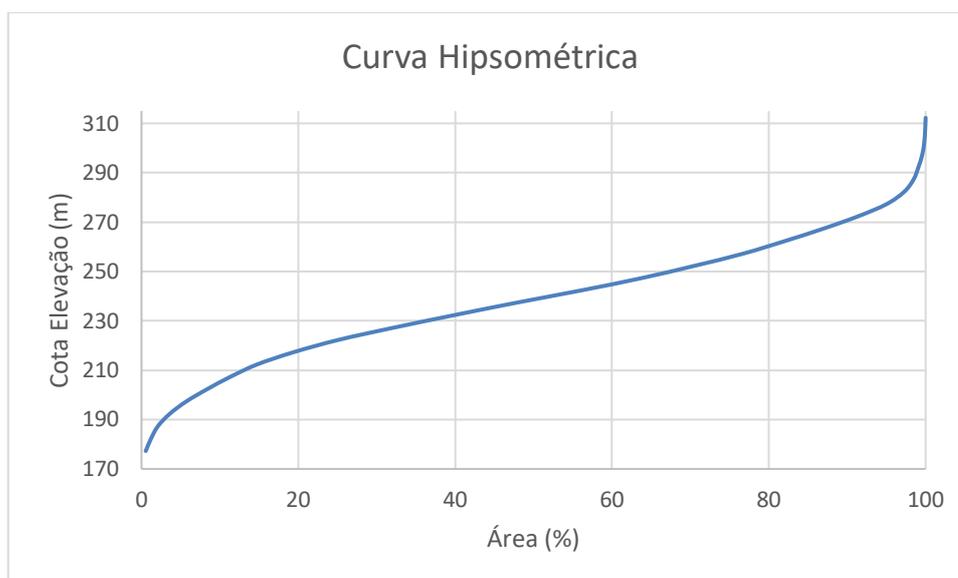


Figura 2.11 – Curva hipsométrica da bacia

2.4.1.3 Topografia da Bacia Hidráulica (Caracterização Morfológica)

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

Através da cartografia realizada durante o estudo básico deste projeto, foi definida a bacia hidráulica da área do estudo, a partir da qual permite-se observar a relação do diagrama detalhado na Tabela 2.10 e na Figura 2.12.

Tabela 2.10 – Cota x Área x Volume

Cota (m)	Área (ha)	Volume (m3)
161	0,01	6,41
162	0,18	510,61
163	1,14	6.627,91
164	2,93	26.365,04
165	5,21	66.763,56
166	8,54	133.660,45
167	13,21	242.140,36
168	18,15	397.840,35
169	23,01	603.914,63
170	28,11	859.014,19
171	33,90	1.168.540,76
172	39,69	1.536.347,00
173	45,90	1.963.430,76
174	52,46	2.454.715,11
175	59,46	3.014.386,70
176	66,57	3.643.687,86
177	74,73	4.349.682,80
178	84,07	5.142.049,75
179	94,15	6.030.743,34
180	106,39	7.031.478,06
181	120,36	8.165.669,81
182	134,50	9.439.479,16
183	150,01	10.859.119,26
184	167,42	12.445.354,01

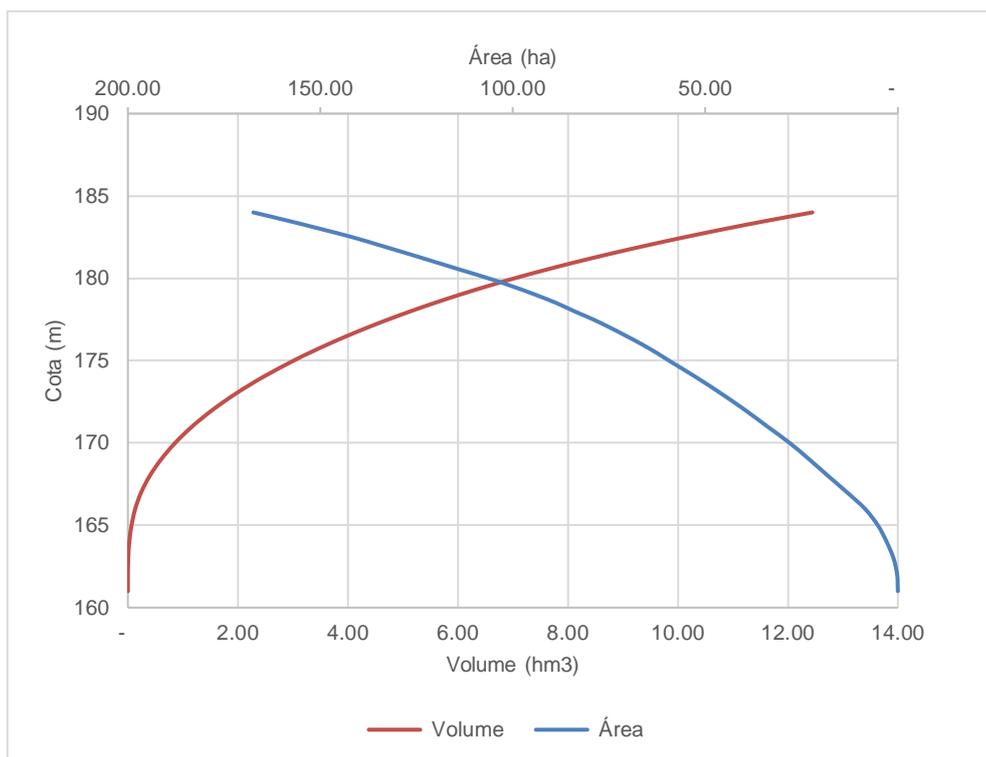


Figura 2.12 – Curva Cota x Área x Volume

2.4.1.4 Solos

A Sub-bacia do Banabuiú apresenta um padrão geológico simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino (96,53%), representadas por gnaisses e migmatitos diversos, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica, Pré-Cambriano. Sobre esse substrato, repousam os sedimentos (3,47%) terciários do Grupo Barreiras, coberturas terciário-quadernárias, que afloram sob a forma de manchas esparsas, ao longo da região, e coberturas aluviais, densidade quadernária, encontradas ao longo dos cursos d'água.

As litologias do embasamento cristalino são recobertas por solos rasos onde há maior ocorrência de solos Neossolos Litólicos, Planossolos e Vertissolos nos sedimentos Cenozóicos do período Quadernário (recentes) e nos Aluviões do rio Banabuiú (solos Neossolos Flúvicos, com grande potencial agrícola), e rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano no restante da área, onde predominam Luvisolos (solos medianamente profundos e moderadamente ácidos, porém pedregosos e susceptíveis à erosão) e Planossolos Solódicos (rasos, susceptíveis à erosão, com limitada fertilidade natural), além de manchas de Argissolos Eutróficos (solos medianamente profundos e com grande potencial agrícola), conforme ilustrado na Figura 2.13.

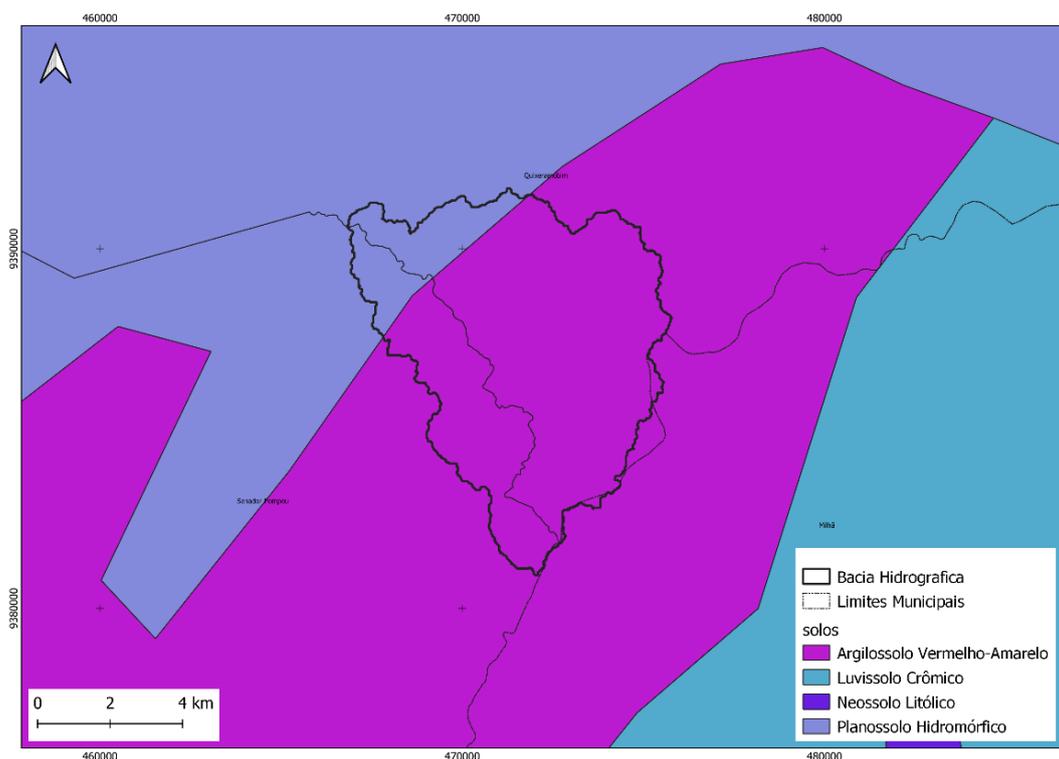


Figura 2.13 – Mapa de solos

2.4.1.5 Vegetação

O tipo de vegetação predominante nos quadrantes da região hidrográfica do Banabuiú com ampla ocorrência, concentradas ou presente em descontínuas faixas vegetacionais, é a Savana-Estéptica Arborizada, segundo a Chave de Classificação do IBGE (2012). É também chamada de Caatingas do Cristalino, Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta.

As caatingas arbustivas são as mais comuns entre todos os tipos de caatingas. O pequeno porte é a regra em sua fisionomia, sendo espaçadas ou fechadas. São caducifólias e xeromórficas. Ocupam as terras dos sertões, genericamente.

Atualmente, as áreas onde a vegetação típica da caatinga predomina são intercaladas por áreas de pastagens e lavouras e outras áreas modificadas pelo homem, como assentamentos e rodovias. A vegetação nativa apresenta sinais de uso, devido, por exemplo, à exploração da madeira e ao pisoteio pelo gado bovino e caprino. conforme ilustrado na Figura 2.14.

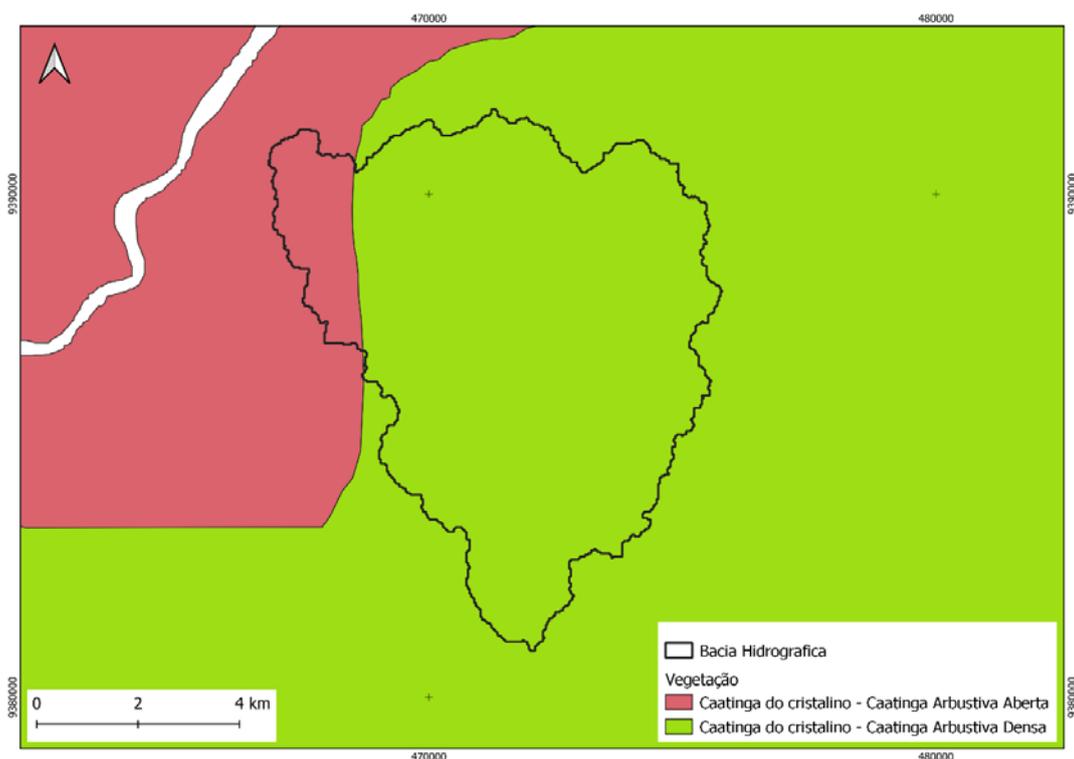


Figura 2.14 – Mapa de Vegetação

A abordagem da climatologia visa caracterizar a área de estudo nos seus mais variados elementos hidro meteorológicos. Para caracterizar a hidro climatologia da região, foi considerada representativa a estação de Quixeramobim - 82586 (estação disponível mais próxima da área de estudo). A caracterização hidro climatológica da zona é feita utilizando-se as normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2018), as quais foram obtidas a partir do monitoramento das variáveis de interesse durante os anos de 1981 a 2010.

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

2.4.1.6 Caracterização Climatológica

A abordagem da climatologia visa caracterizar a área de estudo nos seus mais variados elementos hidro meteorológicos. Para caracterizar a hidro climatologia da região, foi considerada representativa a estação de Quixeramobim - 82586 (estação disponível mais próxima da área de estudo). A caracterização hidro climatológica da zona é feita utilizando-se as normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2018), as quais foram obtidas a partir do monitoramento das variáveis de interesse durante os anos de 1981 a 2010.

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

2.4.1.6.1 Temperatura

A distribuição temporal de temperaturas diárias mostra pequenas variações para três pontos discretos de monitoramento realizadas às 12:00; 18:00 e 24:00 do tempo do meridiano de Greenwich – TMG, sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes.

A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas na estação meteorológica, fazendo-se uso da fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial-OMM, em que:

$$T_{comp} = (TMÁX + TMÍN + T12 + T24)/5$$

Tcomp = Temperatura média compensada;

T12 = Temperatura observada às 12:00 TMG;

T24 = Temperatura observada às 24h00min TMG;

TMÁX = Temperatura máxima do dia;

TMÍN = Temperatura mínima do dia.

As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, nos meses de novembro (35,5°C) e julho (21,8°C), conforme se observa na Tabela 2.11 e na Figura 2.15.

Tabela 2.11 – Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas (°C)

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	33,90	33,30	32,40	31,40	31,00	31,10	32,10	33,40	34,80	35,40	35,50	35,10
Mínima	23,80	23,60	23,20	22,90	22,50	21,80	21,80	22,20	22,90	23,40	23,80	24,00
Média	27,80	27,50	26,80	26,40	26,00	25,70	26,20	27,10	27,90	28,20	28,50	28,50

Fonte: INMET (2018)

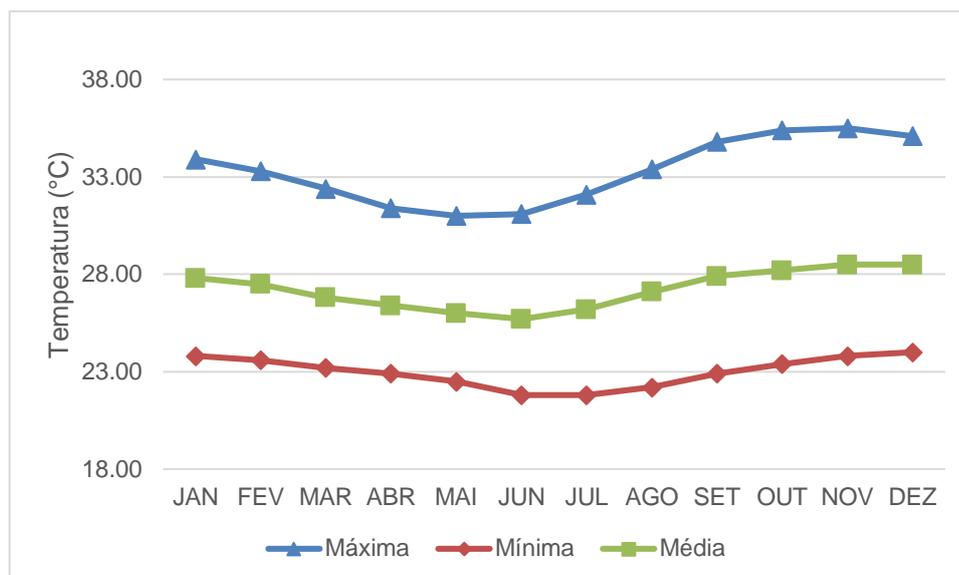


Figura 2.15 – Temperaturas Médias Máximas, Mínimas e Compensadas

2.4.1.6.2 Umidade Relativa

A umidade relativa média possui uma variação máxima de 30% ocorrida entre os meses de Abril (73,30%) e Setembro (52,00%), como pode ser verificado na Tabela 2.12 e na Figura 2.16.

Tabela 2.12 – Umidade Relativa Média

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
%	63,00	66,40	71,90	73,30	72,90	66,80	59,30	53,40	52,00	53,10	54,80	58,10

Fonte: INMET (2018)

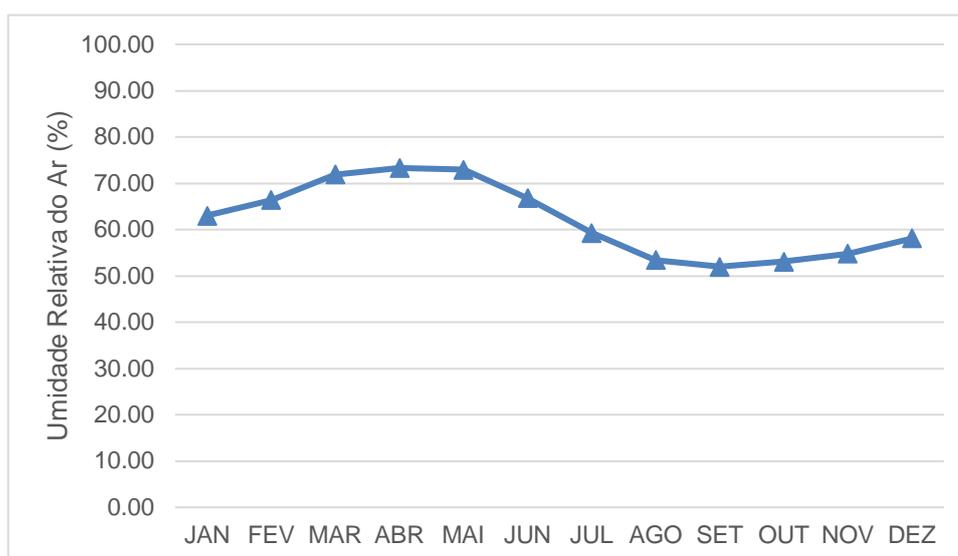


Figura 2.16 – Umidade Relativa Média

2.4.1.6.3 Insolação Média

A Tabela 2.13 e a Figura 2.17 mostram, respectivamente, o número de horas médio de exposição solar e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 2.891,70 horas de exposição. Durante o trimestre agosto/setembro/outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação, ao passo que os menores valores ocorrem no trimestre fevereiro/março/abril. O mês de outubro apresenta o maior índice de insolação (292,50 horas) e o mês de abril o menor (195,30 horas).

Tabela 2.13 – Insolação Média

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Horas	220,10	197,90	206,30	195,30	215,20	226,10	255,40	279,30	282,40	292,50	268,20	253,00

Fonte: INMET (2018)

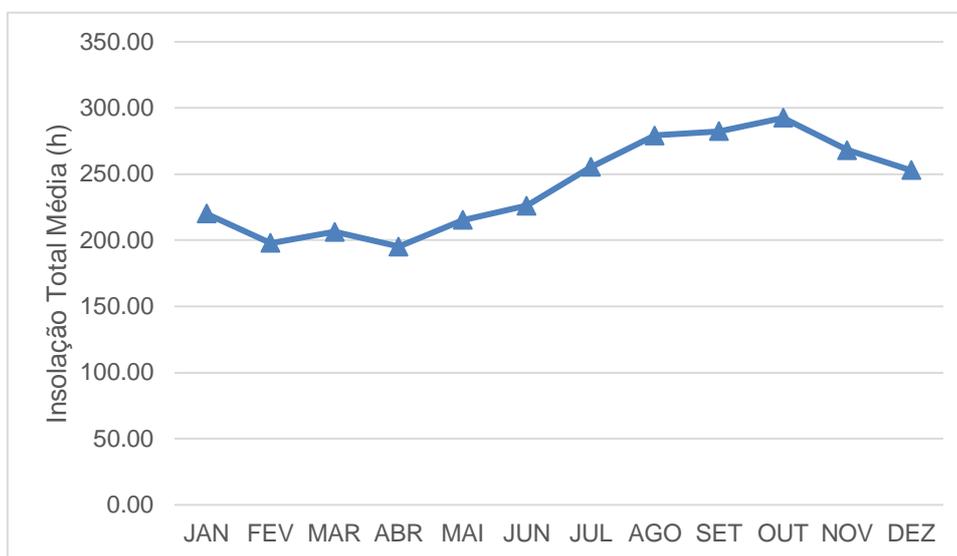


Figura 2.17 – Insolação Média, em horas

2.4.1.6.4 Nebulosidade

Segundo os dados utilizados, entre os meses de janeiro a maio é apresentado maior índice de nebulosidade (0,7) e o de menor nos meses de setembro e outubro (0,30). A Tabela 2.14 e a Figura 2.18 permitem observar a variação temporal desta variável.

Tabela 2.14 – Nebulosidade

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Décimos	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,30	0,40	0,50

Fonte: INMET (2018)

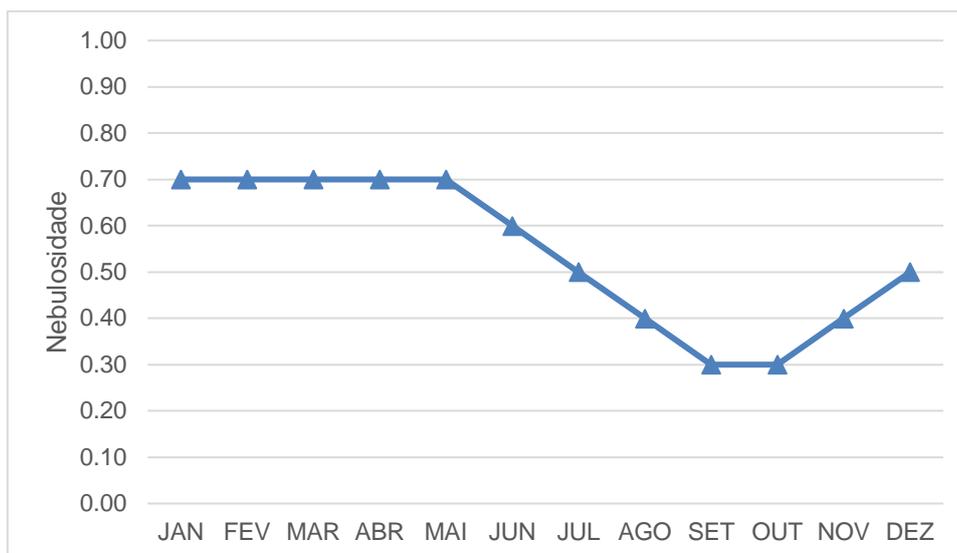


Figura 2.18 – Nebulosidade

2.4.1.6.5 Precipitação Total

A precipitação total anual média observada na região é de 712,8 mm, de acordo com as normais climatológicas do período de 1981-2010, obtidas do site do INMET. O trimestre mais chuvoso é março/abril/maio com 60% do total e o trimestre menos chuvoso é setembro/outubro/novembro em que precipita menos de 1% do total anual. O mês mais chuvoso é abril (24% do total anual) e no mês de outubro ocorre o menor índice de precipitação (1,30 mm). A distribuição temporal da precipitação é apresentada na Tabela 2.15 e na Figura 2.19.

Tabela 2.15 – Precipitação (mm)

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	87,70	77,80	146,20	173,10	105,20	55,30	23,40	16,30	2,30	1,30	3,30	20,90

Fonte: INMET (2018)

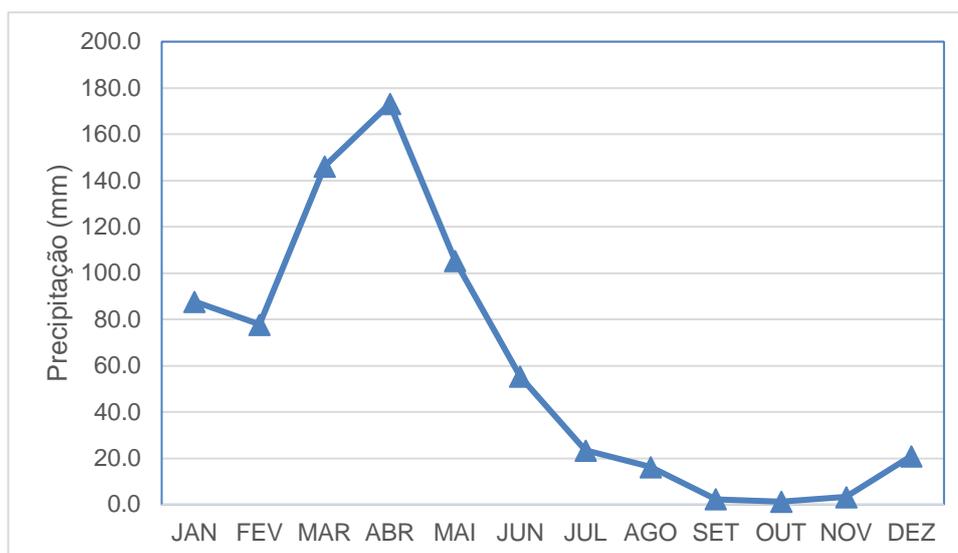


Figura 2.19 - Precipitação

2.4.1.6.6 Evaporação Total

A evaporação média anual na estação, medida em Evaporímetro de Piché foi de 2.529,70 mm distribuída ao longo dos meses conforme demonstram a Tabela 2.16 e a Figura 2.20. Os meses que apresentam os maiores valores de evaporação correspondem a setembro/outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em setembro (307,10 mm).

Tabela 2.16 – Evaporação total média

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	224,30	183,30	144,20	125,90	120,60	149,50	197,60	239,30	307,10	292,90	278,80	266,20

Fonte: INMET (2018)

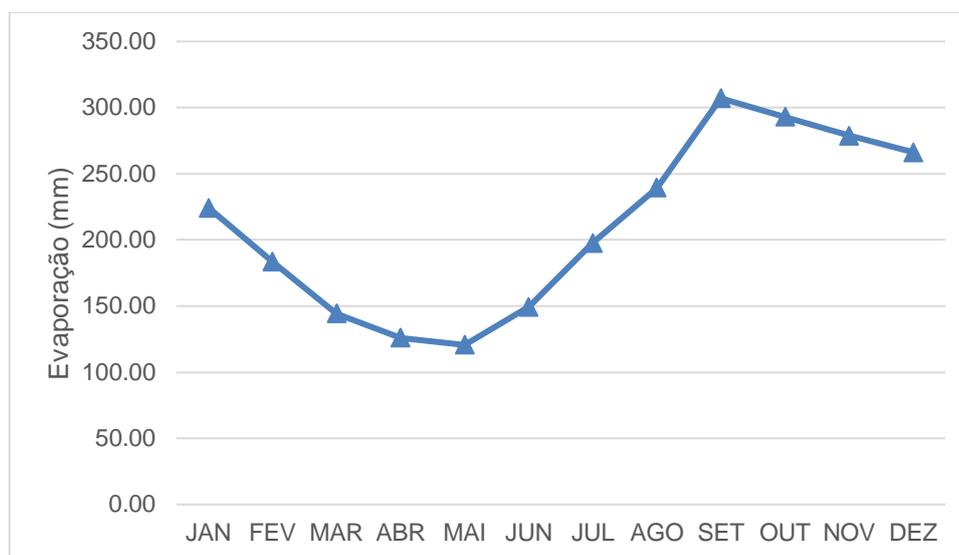


Figura 2.20 – Evaporação total média

2.4.1.6.7 Evapotranspiração Potencial

A evaporação potencial disponibilizada nas normais climatológicas pelo INMET foi calculada pelo método de Thornthwaite (1948). Os valores mensais da estação de Quixeramobim estão apresentados na Tabela 2.17 e na Figura 2.21.

Os maiores valores são observados para os meses de dezembro e janeiro, variando entre 214,00 a 221,40 mm. O menor valor é relativo ao mês de junho (137,60 mm).

Tabela 2.17 – Evapotranspiração potencial mensal

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	214,00	186,20	184,10	160,10	151,40	137,60	158,10	177,00	182,90	201,10	205,20	221,40

Fonte: INMET (2018)

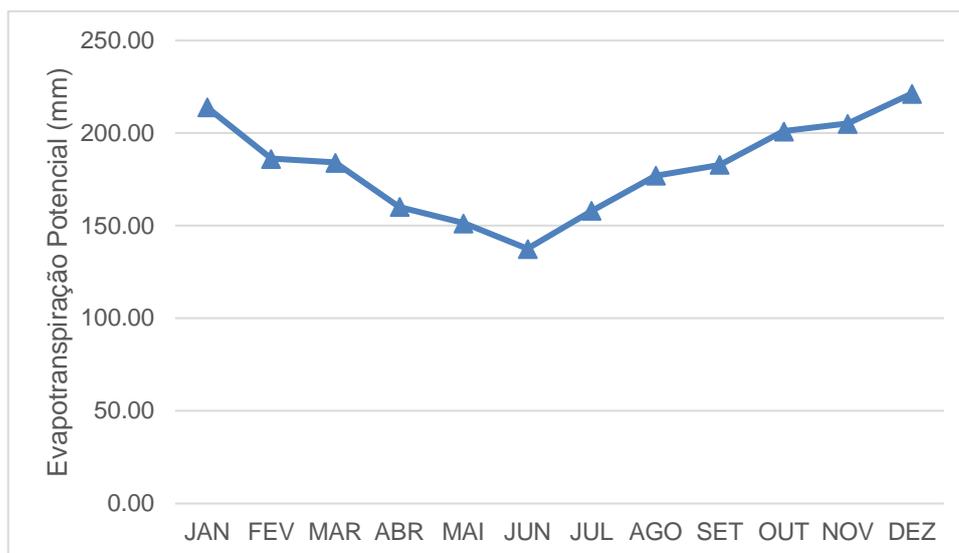


Figura 2.21 – Evapotranspiração potencial mensal

2.4.1.6.8 Intensidade de Ventos

As normais climatológicas do INMET fornecem os resultados de intensidade e direção dos ventos, sendo apresentadas na tabela e figura que seguem.

Observa-se a maior intensidade média dos ventos (a 10 m) para os meses de setembro a dezembro, onde outubro e novembro apresentaram o maior valor (4,60 m/s). O menor valor ocorreu no mês de maio (2,50 m/s).

A direção dos ventos é classificada predominantemente como Nordeste, exceto para os meses abril e maio, cujas normais classificam como calma.

Na Tabela 2.18 e na Figura 2.22 apresenta os dados de intensidade e direção média mensal dos ventos.

Tabela 2.18 – Intensidade e direção média mensal dos ventos

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
m/s	3,70	3,40	3,00	2,70	2,50	2,80	3,20	3,70	4,40	4,60	4,60	4,40

Fonte: INMET (2018)

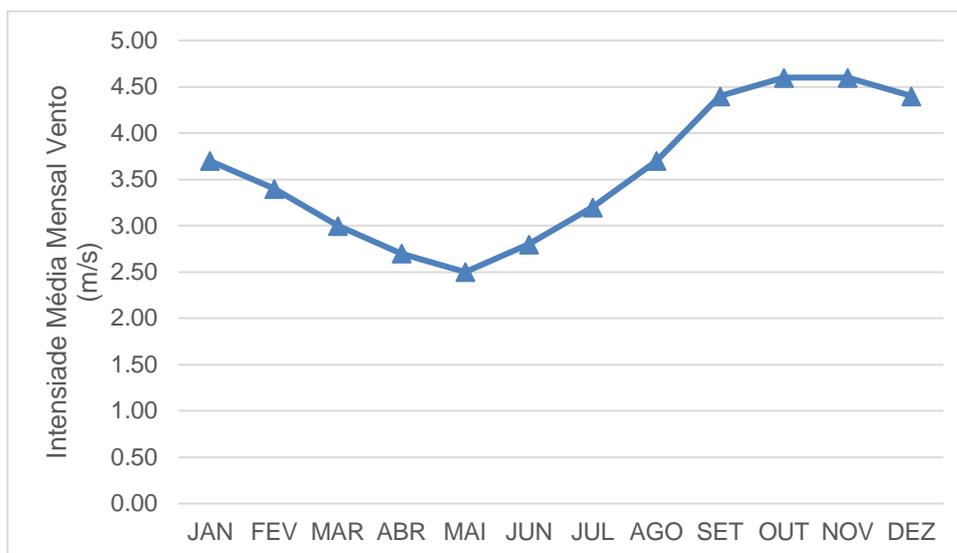


Figura 2.22 – Intensidade média mensal dos ventos (m/s)

2.4.1.7 Sinopse Climatológica

Elementos Hidrometeorológicos	Revisão
Pluviometria média anual (Média na Bacia Hidrográfica)	742,50 mm
Evaporação média anual	2.529,70 mm
Evapotranspiração Potencial média mensal	181,60 mm
Insolação média anual	2.891,70 h
Umidade relativa média anual	62,10%
Temperatura média anual: média das máximas	35,50 °C
Temperatura média anual: média das médias	24,00 °C
Temperatura média anual: média das mínimas	28,50 °C
Classificação climática segundo Köppen-Geiger	BSh

2.4.2 Regime de Chuvas Intensas na Bacia

O presente capítulo tem como objetivo principal a determinação das chuvas intensas, com períodos de retorno igual a 100, 1.000 e 10.000 anos, sobre a área de drenagem da Barragem Boa Vista dos Parentes. A metodologia utilizada foi a das Isozonas (Torrice, 1975), na qual são estimadas as precipitações máximas espaciais com duração de 1 (um) dia sobre as bacias.

2.4.2.1 Postos Pluviométricos Potencialmente Utilizáveis

No capítulo anterior foi verificada a existência de poucos postos pluviométricos próximos à bacia hidrográfica. Foram utilizados os postos com séries maiores que 30 anos válidos. A precipitação local foi obtida através dos polígonos de Thiessen. Os postos utilizados e suas áreas de influência, calculadas através do método de Thiessen, estão expostos na Tabela 2.19.

Os anos com falhas de preenchimento foram desconsiderados, visto que cada ano é considerado uma realização da variável aleatória e que a série é estacionária.

Tabela 2.19 – Área de influência dos postos selecionados

CÓDIGO	POSTO	ÁREA (km ²)	INFLUÊNCIA (%)	PERÍODO DA SÉRIE	ANOS INCOMPLETOS
539072	ENCANTADO	41,64	71,79	01/01/1917 a 01/03/1976	1917, 1919, 1947, 1951, 1976
539019	ITABATINGA	16,36	28,21	01/01/1988a 01/12/2023	1988, 1993, 1994, 1995, 2012
TOTAL		58,00	100%	-	-

A Figura 2.23 ilustra a área de influência dos postos utilizados no estudo de cheias.

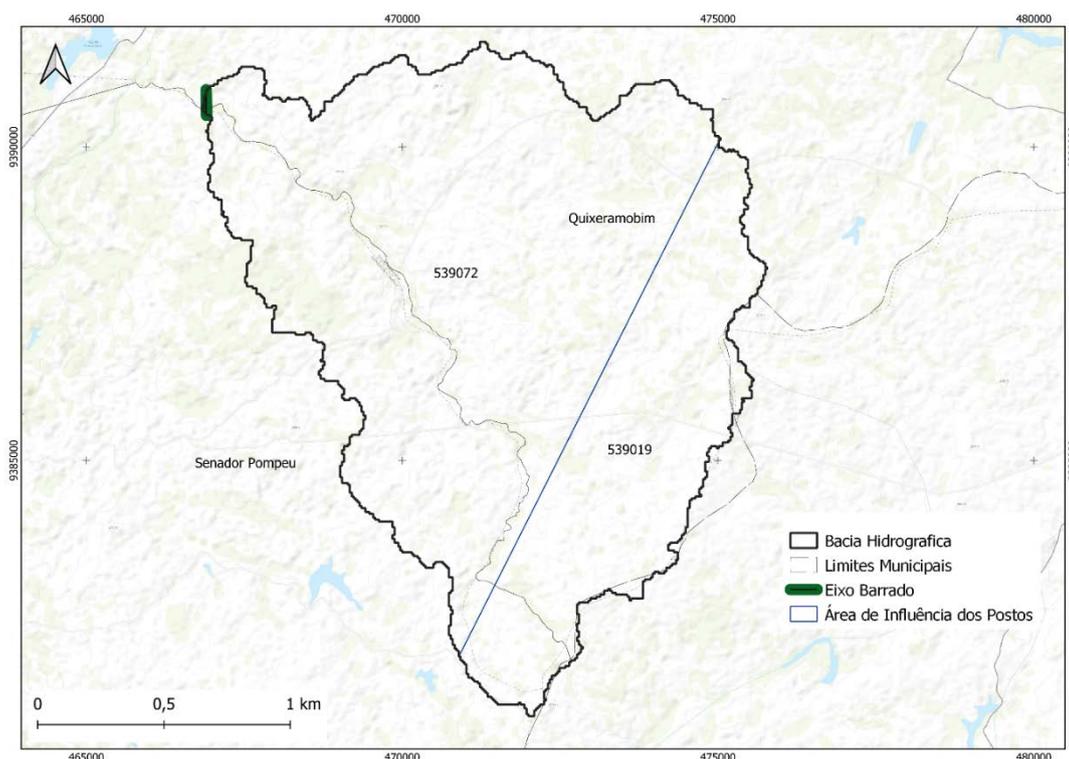


Figura 2.23 – Área de influência dos postos com mais de 30 anos válidos

2.4.2.2 Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas

Para o cálculo das chuvas intensas utilizou-se o Método das Isozonas. O Método das Isozonas (Torrice, 1975) é uma alternativa ao método clássico dos pluviogramas. Este método

utiliza dados de chuvas diárias e, através de um processo de desagregação, transforma, para um dado período de retorno, a chuva de 1 dia de duração em chuvas de duração variando de 6 minutos a 24 horas.

2.4.2.3 Seleção da Distribuição de Probabilidades e Estimativas dos Valores das Precipitações Máximas Anuais

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.

O ajuste de diferentes distribuições de probabilidades (log-normal, gama, weibull, logística e gumbel) foi testado para cada uma das séries de chuvas máximas anuais de cada posto. Para isso, foram utilizados dois testes de aderência: Qui-quadrado e Anderson-Darling (AD).

2.4.2.4 Chuvas Máximas com Duração de 24 Horas

Após a determinação da distribuição de melhor ajuste para cada posto, através da função de distribuição cumulativa inversa, foram obtidos os valores da precipitação máxima de um dia de duração para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos para cada posto, resumidos na Tabela 2.20.

Tabela 2.20 – Precipitação máxima (mm) com durações de 1 dia para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos

Tr (anos)	Precipitação Máxima Diária (mm)	
	539072	539019
100	153,30	140,60
1.000	194,90	174,50
10.000	236,50	208,50

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas na Tabela 2.21, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas na Tabela 2.20 pelo fator 1,1 (para P1dia).

Tabela 2.21 – Precipitações máximas com duração de 24 horas (em milímetros)

Tr (anos)	Precipitação Máxima Diária (mm)	
	539072	539019
100	168,63	154,66
1.000	214,39	191,95
10.000	260,15	229,35

2.4.2.5 Chuvas Máximas com Duração de 1 Hora

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas (Tabela 2.22) pelo fator R.

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

A fim de identificar em qual isozona a bacia da barragem Boa Vista dos Parentes está contida, sua área foi sobreposta ao mapa das isozonas do Ceará (Batista, 2018). Verificou-se que a bacia está inserida nas isozonas G e H. Entretanto, a maior parte de sua área (cerca de 57,38%) está localizada na isozona G. Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos da tabela contida na Figura 2.24.

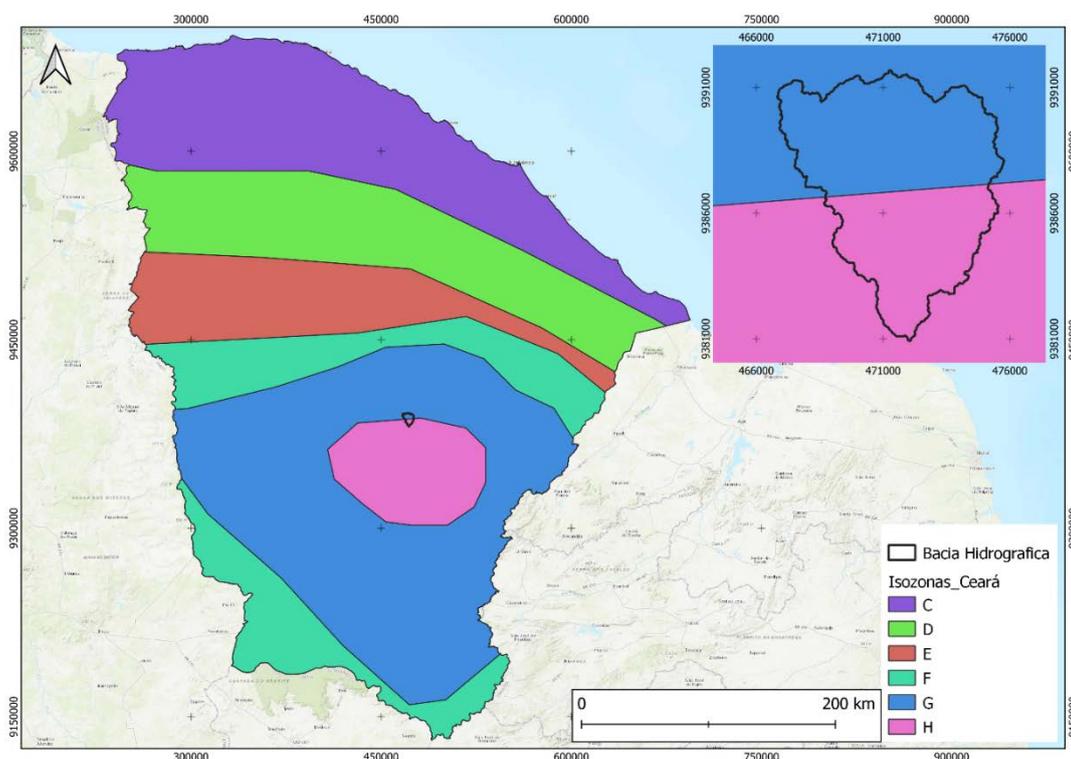


Figura 2.24 – Isozonas do estado do Ceará. (Fonte: Batista, 2018)

Assumindo que a barragem Boa Vista dos Parentes está localizada na Isozona G, foram corrigidos os valores de precipitação a partir do fator R correspondente. Os valores de precipitação corrigidos estão exibidos na Tabela 2.22.

Tabela 2.22 – Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora (mm) associadas aos períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos

Tr (anos)	R (Isozona G)	Precipitação Máxima Diária 1h (mm)	
		539072	539019
100	0,459	77,40	70,99
1.000	0,445	95,40	85,42
10.000	0,431	112,12	98,85

2.4.2.6 Chuvas Máximas com Duração de 1 Hora e de 24 Horas sobre a Área da Bacia

A fim de obter as precipitações máximas de 24h e de 1h de duração sobre a bacia, foram utilizadas as áreas dos polígonos de Thiessen. Assim, foram calculadas as chuvas de 24h e de 1h de duração pela média ponderada das áreas de influência de cada posto para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos. Os resultados estão dispostos no Tabela 2.23.

A ponderação pelo método de Thiessen é realizada para que se tenha um valor de chuva extrema que seja representativo para a bacia. A ponderação precisa considerar um único posto (o de maior série, o de maior área de influência ou o de maior intensidade de chuva) como representativo da bacia visto o seu tamanho e heterogeneidade espacial. A ponderação produz resultados de chuvas extremas menores que ao considerar o posto de maior intensidade como representativo, entretanto tem maior precisão, visto que considera a distribuição espacial dos postos ao longo da bacia. Logo, adotar o posto de maior intensidade de precipitação extrema (Posto Encantado – 539072) significaria em um sobredimensionamento da cheia.

Tabela 2.23 – Precipitações máximas intensas com duração de 6 minutos, 1 hora e de 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos

Tr (anos)	Precipitação Máxima (mm)		
	P24h	P1h	P6min
100	151,45	69,51	17,29
1.000	191,33	85,14	21,84
10.000	231,24	99,67	26,40

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas para a bacia da Barragem Boa Vista dos Parentes podem ser observadas na Figura 2.25.

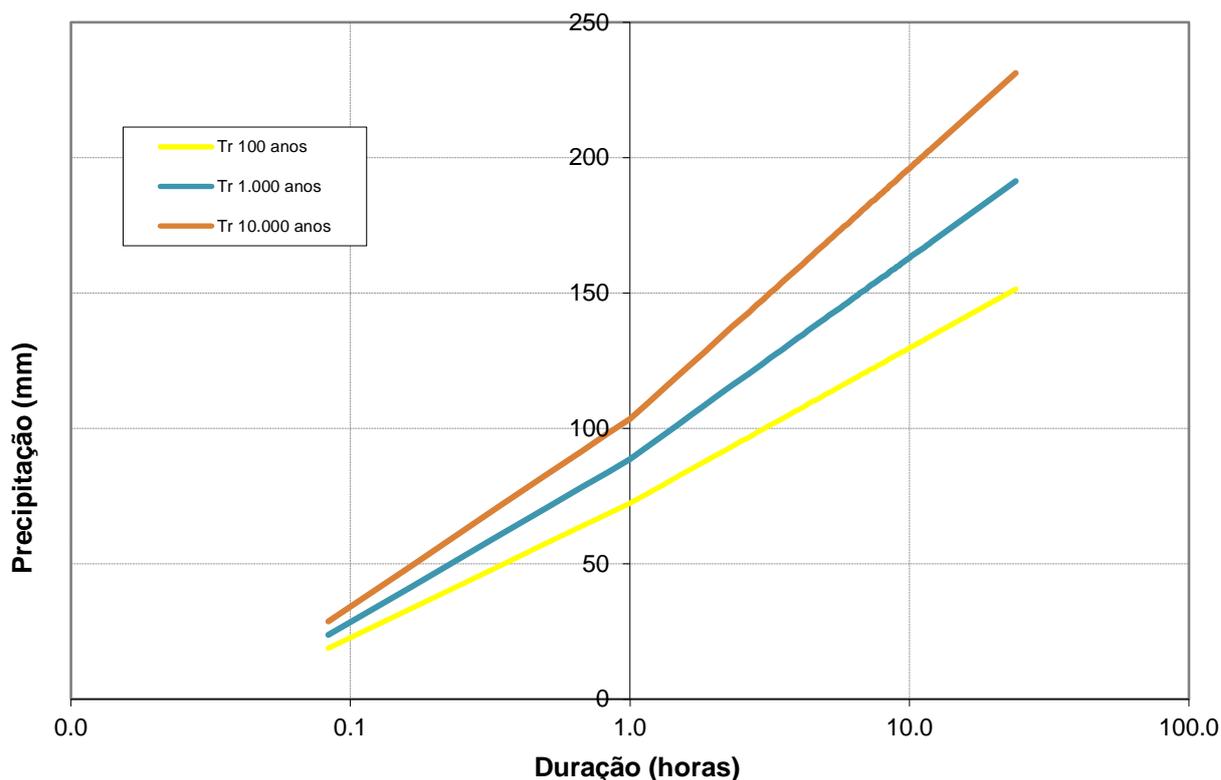


Figura 2.25 – Chuvas intensas espaciais

Para o desenvolvimento da cheia de projeto em capítulo posterior, dois parâmetros devem ser estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, no mínimo, igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração da bacia da Barragem Boa Vista dos Parentes é igual a 3,10 horas, valor assumido equivalente à duração da chuva de projeto. A Tabela 2.24 exhibe a distribuição acumulada da precipitação máxima sobre a área da bacia do barramento Boa Vista dos Parentes, obtida através da interpolação logarítmica entre os valores da chuva de 24h e de 1h de duração exibidos na Tabela 2.23.

Tabela 2.24 – Distribuição acumulada da chuva sobre a bacia de contribuição

Duração da Chuva	Precipitação (mm)	
	1.000	10.000
01:00	85,14	99,67
02:00	108,30	128,36
03:00	121,85	145,15
03:10	123,66	147,39
04:00	131,46	157,06
05:00	138,92	166,30
06:00	145,01	173,85
07:00	150,16	180,23
08:00	154,62	185,76
09:00	158,56	190,63
10:00	162,08	195,00
11:00	165,26	198,94
12:00	168,17	202,54

Observa-se que a chuva milenar é de 123,66 mm e a decamilenar é de 147,39 mm.

2.4.2.7 Chuva de Projeto

Os valores de pluviometria apresentados na Tabela 2.23 são de precipitação acumulada da chuva em períodos de 1 hora, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos. Porém, para simulação adequada dos hidrogramas de cheias há necessidade de se adotar um padrão temporal (Hietograma) de chuva regional, uma vez que não há elementos para se desenvolver curvas intensidade-duração-frequência (IDF) para o posto pluviométrico selecionado na bacia. A precipitação foi distribuída em intervalos de 10 minutos de duração e foi calculada a precipitação, através de interpolação logarítmica, para cada um deles. Dessa forma, as chuvas foram acumuladas até o último intervalo de tempo e foram calculados os incrementos dos totais acumulados por intervalos. Os incrementos obtidos foram rearranjados de acordo com o método dos blocos alternados, de forma que no centro da duração do evento de precipitação se situa o bloco maior, e em seguida os demais blocos são dispostos em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior, alternadamente.

2.4.3 Dimensionamento do Reservatório

2.4.3.1 Caracterização Pluviométrica

A análise pluviométrica realizada utilizou a metodologia de Thiessen, selecionando os postos pluviométricos mais próximos à área da bacia de interesse, englobando um raio de aproximadamente 7 km. Quatro postos foram inicialmente selecionados, nesta análise, sendo que apenas dois deles (539019, 539072) se mostraram com dados adequados para prosseguimento do cálculo da precipitação média mensal por Thiessen (também denominado polígono de Voronoi).

2.4.3.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial foi calculada pela equação de *Penman-Monteith*, utilizando as informações de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento medidas nas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) sobre o território cearense. A Tabela 2.25 apresenta os resultados obtidos com método de Thiessen para a área de interesse:

Tabela 2.25 – Evapotranspiração mensal para bacia hidrográfica do açude Boa Vista

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	196,91	155,50	139,40	122,71	119,86	124,40	149,06	195,21	231,31	255,55	225,98	207,54

2.4.3.3 Cálculo das Afluências

Para a caracterização do escoamento afluente à barragem, base para os estudos de regularização, primeiramente foram verificados os postos fluviométricos no entorno do ponto

barrado do riacho da Boa Vista - no mesmo curso do riacho -, mas não foram encontradas estações fluviométricas com dados de vazão válidos. Recorreu-se a modelos matemáticos de conversão de chuva em vazão, dentre os quais o “Soil Moisture Accounting Procedure” - SMAP (LOPES, 1982), que vem sendo utilizado na Universidade de São Paulo e desde 2013 no Ceará, em trabalhos de pesquisa da Universidade Federal do Ceará.

A calibração destes parâmetros, pela ausência de posto fluviométrico no curso do riacho barrado, bem como por restrição de informações devido a Agência Nacional de Águas está com seu banco de dados indisponível, utilizou-se dois modelos de regionalização. Os modelos de regionalização utilizados no projeto foram: Modelagem Linear (ML1) e Vizinhos Mais Próximos (KNN).

A Tabela 2.26 apresenta resumo dos dados estatísticos das vazões geradas pelos modelos ML1.

Tabela 2.26 – Sumário estatístico das vazões ML1

Q (hm ³ /mês)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Média	0,01	0,04	0,20	0,75	0,71	0,28	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	2,13
Desvio	0,06	0,13	0,55	2,04	1,42	0,64	0,24	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	4,20
CV	4,20	3,37	2,68	2,72	2,01	2,27	2,28	2,84	4,93	3,86	4,18	3,42	1,97
Máximo	0,42	0,79	3,45	15,90	9,03	4,85	1,66	0,31	0,24	0,03	0,03	0,03	28,57
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

As tabelas 2.27 apresenta resumo dos dados estatísticos das vazões geradas pelos modelos KNN.

Tabela 2.27 – Sumário estatístico vazões KNN

Q (hm ³ /mês)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Média	0,03	0,07	0,46	1,65	1,13	0,36	0,15	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	4,02
Desvio	0,06	0,23	1,27	4,15	1,93	0,56	0,28	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	6,64
CV	1,82	3,07	2,78	2,52	1,71	1,56	1,86	0,99	0,92	0,85	0,85	0,85	1,65
Máximo	0,39	1,28	7,54	32,35	12,93	2,63	2,01	0,23	0,18	0,10	0,09	0,07	42,65
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03

Considerando que os modelos apresentaram vazões distintas (2,13 e 4,02 hm³/ano) será utilizada a média desses modelos para geração das vazões para a barragem Boa vista dos Parentes. Este método é o mesmo utilizado para a geração das vazões afluentes dos açudes do estado do Ceará (Projeto Alocar, 2021), com a adaptação dos coeficientes levando-se em conta a obtenção de dados pluviométricos por polígonos de Thiessen.

Observa-se, através dos dados apresentados, que a lâmina média escoada na área em estudo é de 53,0 mm/mês, com um coeficiente de escoamento médio na bacia de 7,80% e um volume afluente anual médio de 3,08 hm³/ano.

2.4.3.4 Análise da Capacidade do Reservatório

Para a análise da capacidade de armazenamento da barragem Boa Vista dos Parentes foi adotado o procedimento de simulação do balanço hídrico do reservatório para as vazões existentes na série histórica apresentada (78 anos), considerando-se a série de vazões mensais pseudo-históricas obtidas da aplicação do modelo SMAP de passo mensal com os parâmetros de calibração do projeto Alocar, com uma vazão afluente anual de 3,08 hm³.

O reservatório foi simulado para cada uma das séries geradas com garantias de 90%, 95% e 98%, apresentadas na Tabela 2.28.

Tabela 2.28 – Vazões regularizadas para diferentes garantias

Cota de soleira (m)	Capacidade (hm³)	Q90 (l/s)	Q95 (l/s)	Q98 (l/s)
174	2,45	19,03	14,36	11,85
175	3,01	20,22	15,32	12,51
176	3,64	22,11	16,41	13,07
177	4,34	23,22	17,41	13,31
178	5,14	25,46	18,09	13,66
179	6,03	27,41	18,30	13,86
180	7,03	28,61	18,62	14,26
181	8,17	30,55	19,75	14,72
182	9,44	31,89	19,93	14,68

2.4.3.5 Critérios e Justificativa de Escolha da Cota de Alagamento

Aproveitando todo o potencial topográfico e hidrológico do boqueirão de cada alternativa e simuladas as quantificações dos materiais necessários à execução com detalhamento suficiente para possibilitar o levantamento dos grandes itens, iniciou-se o processo de escolha da solução ótima.

A metodologia de escolha foi iniciada pela avaliação das variáveis condicionantes técnicas que se destacam e na sequência, as avaliações econômicas inerentes a cada alternativa.

A partir de então, procedeu-se a um confronto econômico entre as opções de cotas de coroamento, destacando-se fatores diferenciadores como custo total do empreendimento, volume de acumulação, custo/m³ de água acumulada, regularização anual, apresentados na Tabela 2.29.

Tabela 2.29 – Comparação econômica entre as cotas de alagamento

Fatores	Cotas de Coroamento (m)		
	181	183	185
Volume Acumulado (m³)	3.519.263,87	5.142.049,75	7.031.478,06
Cota da soleira (m)	176	178	180
Área da Bacia Hidráulica (Hectares)	66,57	84,07	106,39
Volume Afluente Médio (hm³/ano)	3,08	3,08	3,08
Volume Regularizado (hm³/ano)	0,73	0,83	0,92
Custo da Construção	R\$ 14.590.455,09	R\$ 15.207.185,30	R\$ 16.606.657,13
Custo da Água em Relação a sua Construção (R\$/m³)	R\$ 4,15	R\$ 2,96	R\$ 2,36

Com base nestes dados, na presente fase de realização do projeto, a alternativa de barragem que se mostrou mais indicada é barragem de terra, com sangradouro escavado em rocha e soleira espessa com largura de 60 metros; cota de sangria = 178,00 m e cota de coroamento = 183,00 m.

Neste caso, obtém-se como pode-se observar na curva cota x área x volume, um volume da ordem de 5.142.049,75m³, inundando uma área de 84,07 hectares.

Conforme planilha apresentada referente ao orçamento, necessitará de recursos estimados nessa fase para a implantação do barramento estão na ordem de R\$ 15.207.185,30.

2.4.4 Estudo de Cheias

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de cheia sintética, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. No presente capítulo, as cheias de projeto com período de retorno de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da Barragem Boa Vista dos Parentes, no sentido de verificação da capacidade atual de regularização da estrutura vertente. Os períodos de retorno selecionados estão de acordo com as orientações sobre do Manual do Empreendedor para Segurança de Barragens, volume V (ANA, 2016). O programa utilizado é o HEC-HMS, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineer Center*, do *U.S. Army Corps of Engineers (EUA)*.

Nos padrões definidos pelo *U.S. Army Corps of Engineers* - e disponíveis no programa - são três os diferentes métodos para a determinação das cheias sintéticas:

- I. a cheia de projeto padrão (*standard project storm*);
- II. a cheia máxima provável e,
- III. a cheia de projeto de diferentes durações derivadas de dados área-altura de chuva.

O método da cheia de projeto de diferentes durações foi desenvolvido pelas agências americanas *National Weather Service (NWS)* e *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. O método também é conhecido como cheia balanceada, porque suas alturas incrementais acumuladas podem ser organizadas em relações consistentes frequência x duração para cada intervalo de duração da chuva total. Isso significa que intervalos de chuvas de diferentes durações - 1h, 2h, 4h, 8h - produzem totais de chuva com a mesma frequência de excedência (ou período de retorno). Aceitando-se os princípios do NWS, optou-se, para o presente estudo, adotar uma cheia de projeto balanceada usando-se os parâmetros do clima local.

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros devem ser inicialmente estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. A duração da chuva foi considerada igual ao tempo de concentração da bacia.

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

A Bacia Hidrográfica da barragem Boa Vista dos Parentes está situada numa região com CNs entre 73 e 81, conforme a Figura 2.26. O valor de CN da bacia foi adotado como o médio ponderado pelas áreas, que resultou em 75,89.

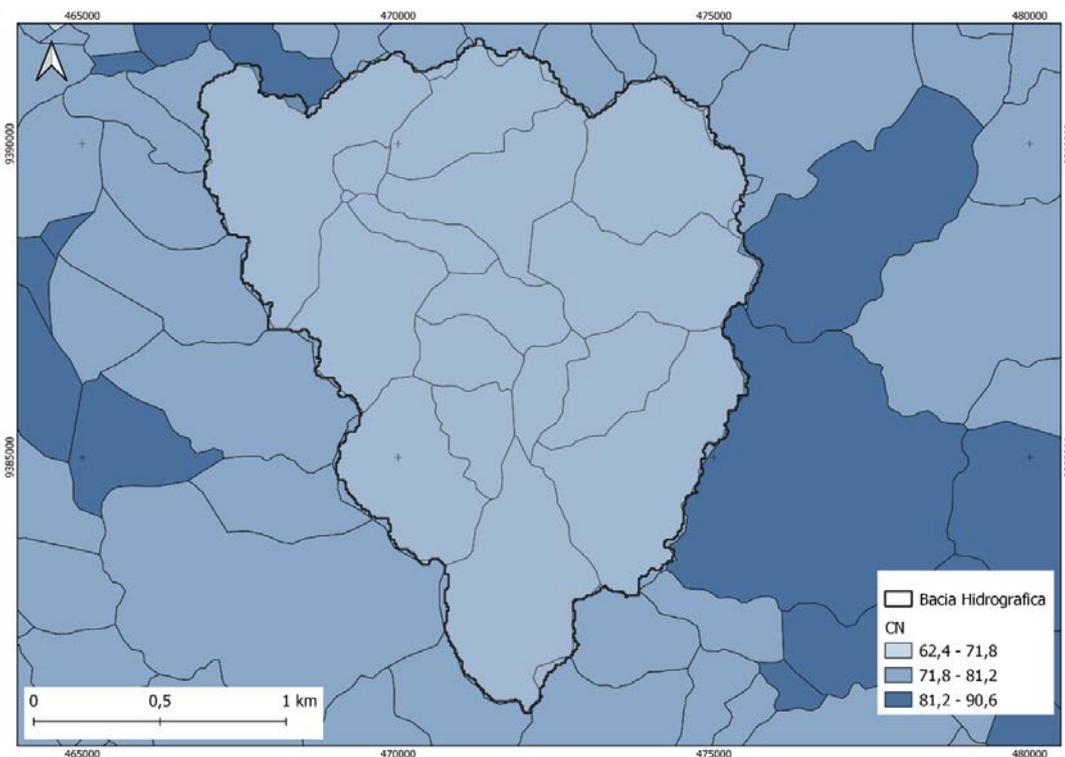


Figura 2.26 – Mapa de CN da Bacia do barramento Boa Vista dos Parentes

apresentados nas Figura 2.27 e 2.28 para as chuvas de 1.000 e 10.000 anos respectivamente (vazões de pico: 355,50 m³/s e 468,80m³/s).

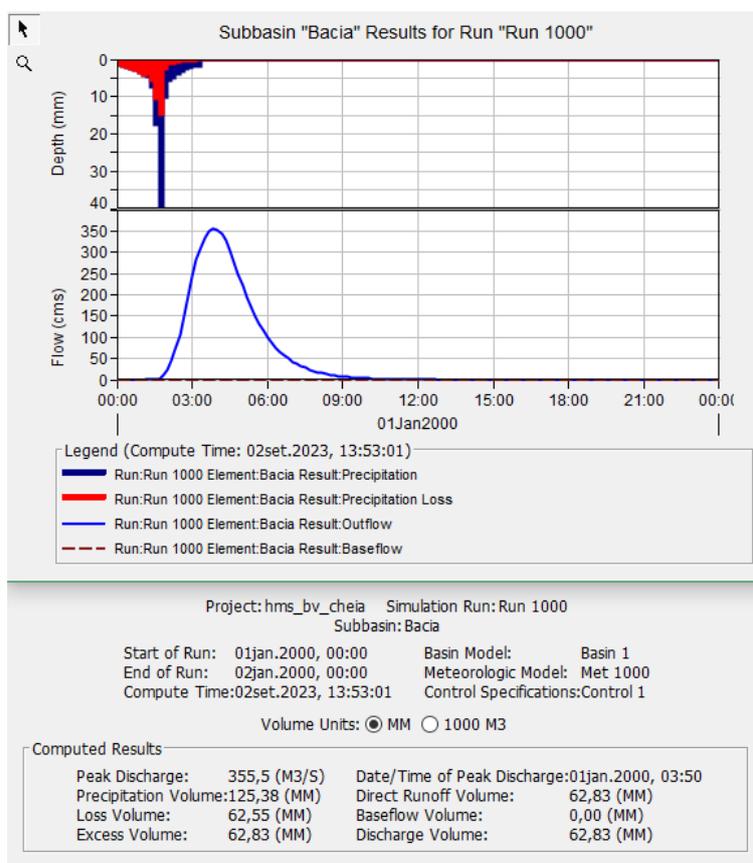


Figura 2.27 – Vazão de projeto para TR = 1.000 anos

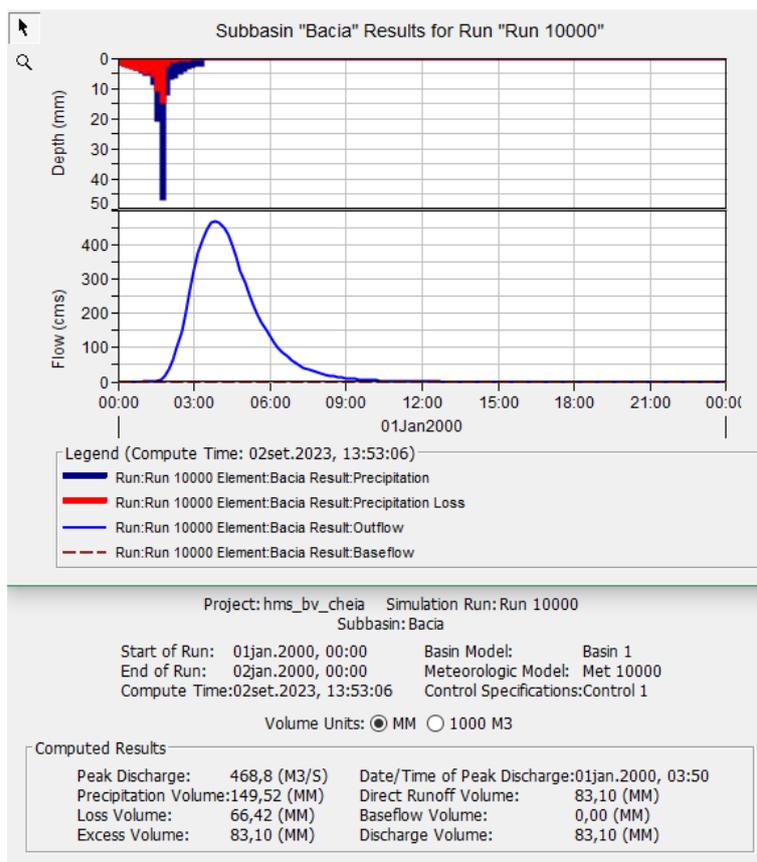


Figura 2.28 – Vazão de projeto para TR = 10.000 anos

2.4.5 Dimensionamento do Vertedouro

Para o dimensionamento do vertedouro foi escolhido o tipo soleira espessa, com canais de aproximação e restituição escavados em rocha, com o objetivo da simulação do reservatório e das lâminas de inundação preliminares para que possam servir de guia para a definição do local em que deverá ser escavado o vertedouro. A definição final do sistema do vertedouro será feita apenas na fase do relatório de concepção, onde será definida a capacidade final da barragem, o tipo da barragem a ser utilizada e, consequência, o tipo de vertedouro.

Adotando um cenário de cheia do reservatório para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, de acordo com informações obtidas no Estudo de Cheias, considerando três opções para a largura do vertedouro tipo soleira espessa – 40, 60 e 80 m para três tamanhos de reservatório – 3,52 hm³, 5,14 hm³ e 7,03 hm³ (Cotas de soleira 176, 178 e 180 m respectivamente). Foram obtidos os seguintes resultados, apresentados nas Tabelas 2.30 e 2.31, para lâmina de sangria, vazões afluentes e efluentes.

Tabela 2.30 – Resultados dos estudos de cheia Tr=1.000 anos

Tr = 1.000 anos	V = 3,64 hm ³			V = 5,14 hm ³			V = 7,03 hm ³		
	H = 176,00 m			H = 178,00 m			H = 180,00 m		
	L=40m	L=60m	L=80m	L=40m	L=60m	L=80m	L=40m	L=60m	L=80m
Cheia Afluente	355,50 m ³ /s								
Cheia Efluente	212,40 m ³ /s	250,40 m ³ /s	274,30 m ³ /s	183,70 m ³ /s	221,90 m ³ /s	248,50 m ³ /s	154,80 m ³ /s	191,70 m ³ /s	218,90 m ³ /s
Cota operacional	178,30 m	177,90 m	177,70 m	180,10 m	179,80 m	179,60 m	181,80 m	181,60 m	181,50 m
Lâmina	2,30 m	1,90 m	1,70 m	3,10 m	2,80 m	2,60 m	1,80 m	1,60 m	1,50 m
Amortecimento	40,25%	29,56%	22,84%	48,33%	37,58%	30,10%	56,46%	46,08%	38,42%

Tabela 2.31 – Resultados dos estudos de cheia Tr=10.000 anos

Tr = 10.000 anos	V = 3,64 hm ³			V = 5,14 hm ³			V = 7,03 hm ³		
	H = 176,00 m			H = 178,00 m			H = 180,00 m		
	L=40m	L=60m	L=80m	L=40m	L=60m	L=80m	L=40m	L=60m	L=80m
Cheia Afluente	468,80 m ³ /s								
Cheia Efluente	290,40 m ³ /s	339,60 m ³ /s	371,20 m ³ /s	252,90 m ³ /s	303,20 m ³ /s	338,30 m ³ /s	215,20 m ³ /s	265,30 m ³ /s	300,30 m ³ /s
Cota operacional	178,80 m	178,40 m	178,10 m	180,60 m	180,20 m	180,00 m	182,30 m	182,00 m	181,80 m
Lâmina	2,80 m	2,40 m	2,10 m	3,60 m	3,20 m	3,00 m	2,30 m	2,00 m	1,80 m
Amortecimento	38,05%	27,56%	20,82%	46,05%	35,32%	27,84%	54,10%	43,41%	35,94%

Observa-se que a cheia milenar atinge valores de 355,50 m³/s e a decamilenar de 468,80 m³/s. O amortecimento da cheia para os vertedouros simulados também foi significativo, variando aproximadamente entre 56,46% a 20,82%.

A partir dos resultados apresentados, foi adotada uma largura de 60 m para o vertedouro.

2.4.6 Estudos Adicionais

2.4.6.1 Análise da Possibilidade de Assoreamento do Reservatório

Neste estudo foi utilizado o modelo empírico desenvolvido por Negreiros e Lima Neto (2014), que relaciona a taxa de assoreamento dos reservatórios exclusivamente ao regime de precipitação da bacia hidrográfica. Este modelo, denominado de Método Simplificado, foi calibrado e teve seus parâmetros determinados para os reservatórios do Estado do Ceará, resultando na seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{i)} \quad & V_{t+1} = V_t \times (1 - \varphi) \\ \text{ii)} \quad & \varphi = 93,9 \times \sum_1^{12} R_m \\ \text{iii)} \quad & R_m = p^{3/2} / p^3 \end{aligned}$$

Onde:

- V_{t+1} = volume do reservatório ao final do ano t;
- V_t = volume do reservatório no início do ano t;
- φ = taxa de assoreamento anual do reservatório;
- R_m = erosividade média da chuva para cada um dos meses;

- p = precipitação média do mês; e
- P = precipitação anual média.

O Método Simplificado foi o adotado neste projeto e a taxa de assoreamento calculada está apresentada na Tabela 2.32:

Tabela 2.32 – Determinação da taxa de assoreamento (ϕ)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Prec (mm)	64,6	93,8	157,4	167,7	104,9	44,6	23,7	7	4	3,2	6,4	15,4	694,1
Erosividade	2E-06	3E-06	6E-06	6E-06	3E-06	9E-07	3E-07	6E-08	2E-08	2E-08	5E-08	2E-07	5E-05

A taxa de assoreamento (ϕ) encontrada de 0,20% ao ano ou de 2% a cada 10,00 anos mostra a redução percentual da capacidade de armazenamento em relação à capacidade inicial e indica que seriam necessários mais de 350 anos para o reservatório, após a construção, assorear em metade de sua capacidade.

2.4.6.2 Estudo de Probabilidade de Enchimento

A variação de volume do reservatório para conjuntos de anos da série histórica de vazões afluentes, cujas vazões foram obtidas por meio da média dos dois modelos (ML1 e KNN), utilizando-se como retirada a vazão regularizada Q90.

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

$$Vol_{t+1} = Vol_t + Q_{Afl} + (E \times A(Vol_t)) - Q_{Reg} - Vert_t$$

Onde:

- Vol_{t+1} = volume armazenado no final do mês t (hm^3);
- Vol_t = volume armazenado no início do mês t (hm^3);
- Q_{Afl} = vazão afluente ao reservatório ($hm^3/mês$);
- A = área do espelho d'água (ha), função do volume no início do mês;
- E = lâmina média evaporada (hm);
- $Vert_t$ = volume perdido por vertimento durante o mês t;
- Q_{Reg} = vazão regularizada/retirada ($hm^3/mês$);

Para encontrar as probabilidades de enchimento, foram simulados os conjuntos sequenciais de anos da série de vazões afluentes e analisada a frequência com que o reservatório alcançou o volume máximo nas simulações; nestes casos, foram analisados reservatórios com capacidade máxima de – 3,52 hm^3 , 5,14 hm^3 e 7,03 hm^3 (Cotas de soleira 176, 178 e 180 m respectivamente).

Deste modo, caso o reservatório apresentasse probabilidade de enchimento de 0,5 para 6 anos, por exemplo, significaria que em 50% de todos os conjuntos de 6 anos sequenciais da série histórica, o reservatório apresentaria volume completo. Neste estudo foram realizadas análises para os conjuntos de 1 a 10 anos sequenciais; as probabilidades de enchimento estão apresentadas na Figura 2.29.

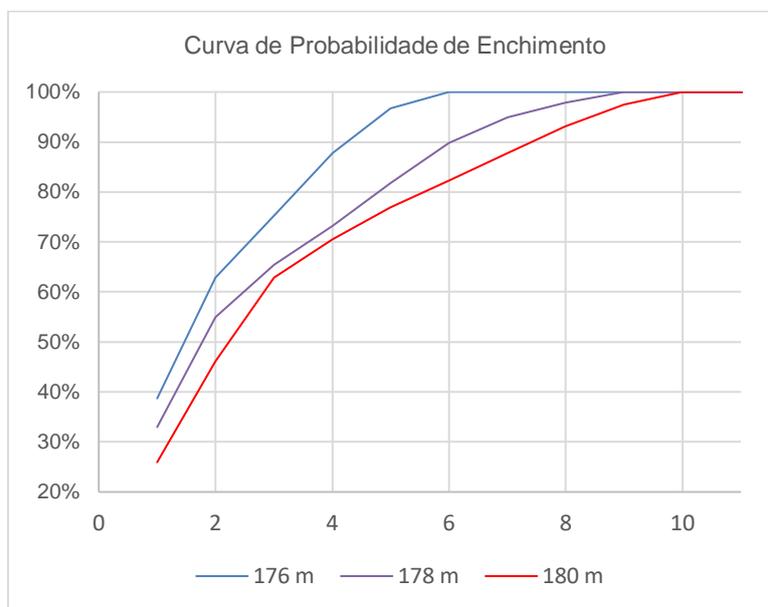


Figura 2.29 – Probabilidade de enchimento de acordo com cotas (anos de 1 a 10)

Verifica-se que as cotas de soleira 176, 178 e 180 m alcançam 100% de probabilidade de enchimento em ao menos um ano, respectivamente, aos 7, 9 e 10 anos.

3 – DESCRIÇÃO DO PROJETO

3 DESCRIÇÃO DO PROJETO

3.1 Introdução

A seguir é apresentada a síntese dos dimensionamentos do Projeto Executivo da Barragem Boa Vista dos Parentes.

Vale ressaltar que as considerações e detalhamentos dos cálculos estão apresentados no **Detalhamento do Projeto Executivo – Volume 3: Memorial de Cálculo**.

Os dados que forneceram subsídios para os dimensionamentos foram aqueles apresentados nos volumes de Estudos Básicos, e apresentados em síntese anteriormente.

3.2 Considerações Iniciais

Conforme exposto nos estudos básicos e na análise de alternativas, a Barragem Boa Vista dos Parentes será composta de uma estrutura em solo compactado com vertedouro escavado em rocha. A concepção do vertedouro contará com uma estrutura composta por um canal de aproximação, uma soleira espessa e um canal de restituição.

A constituição do maciço em terra homogênea terá um material predominantemente classificado como tipo SM - SC, de acordo com os resultados dos ensaios de laboratório efetuados nas amostras de solo coletadas, apresentados no Volume 3 – Estudos Geológicos-Geotécnicos dos Estudos Básicos (Fase A), com os materiais provenientes das jazidas JS-1 e JS-2 delimitadas.

A fundação do barramento será realizada diretamente sobre no substrato rochoso, após limpeza composta através de escavação, conforme sondagens realizadas ao longo do eixo da barragem e apresentadas no Volume 3 – Estudos Geológicos-Geotécnicos dos Estudos Básicos (Fase A).

Para caracterização da fundação do barramento foram realizados 7 furos de sondagens mistas, conforme mapa apresentado no Volume 3 – Estudos Geológicos-Geotécnicos dos Estudos Básicos (Fase A). Observou-se que na zona da calha do rio ocorre um depósito aluvionar com espessura rasa, em contato com o maciço rochoso caracterizado por gnaisse. Na calha do rio subjacente ao pacote aluvionar, constatou-se a presença de uma rocha biotita-gnaisse, com veios de quartzito, muito dura com RQD em média de 80%. Na ombreira esquerda o topo rochoso encontra-se pouco profundo, inclusive aflorando em várias locais. Na parte alta da ombreira direita ocorrem também solos residuais, de composição silto arenosa ou silto argilosa, micáceos, com pequena espessura.

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material

rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas. Para este fim foram realizados 2 furos de sondagens mistas, conforme mapa apresentado no Volume 3 – Estudos Geológicos-Geotécnicos dos Estudos Básicos (Fase A).

Está prevista uma tomada d'água situada na ombreira direita, composta por tubulação em linha dupla, com material em aço com diâmetro de 250 mm.

O vertedouro projetado foi posicionado na ombreira direita, do tipo soleira espessa e escavado em rocha, composto por um canal de aproximação, cordão de fixação e um canal de restituição.

A seguir serão apresentadas, com memoriais descritivos e de cálculo, as principais características técnicas das obras e estruturas que compõem a solução proposta para a Barragem Boa Vista dos Parentes.

3.3 Dimensionamento da Barragem

3.3.1 Definição da Geometria da Barragem

A capacidade da Barragem Boa Vista dos Parentes foi definida nos estudos hidrológicos em 5,14 hm³, com 5,04 hm³ de volume útil. A soleira do vertedouro foi fixada na cota 178,00m e no dimensionamento apresentado no memorial de cálculo.

A borda livre (ou “folga”, “revanche”, “freeboard”) é a distância vertical entre a crista da barragem e a cota da soleira do vertedouro, proporcionando proteção e objetiva a segurança contra o transbordamento, que pode ser provocado pela ação de ondas formadas pela ação dos ventos, evitando danos e erosão no talude de jusante.

Para a análise dos ventos, utilizou-se a Estação Meteorológica de Quixeramobim, com dados disponíveis de julho de 2007 à novembro de 2023, de modo a determinar a direção predominante dos ventos.

A folga da barragem (F) é dimensionada em função da ação dos ventos sobre a superfície da água e pode ser estimada através da equação empírica abaixo:

$$F = 0,75 \times h_o + \frac{v_o^2}{2g}$$

Em que:

h_o = altura das ondas (m);

v_o = velocidade da onda (m/s), determinada pela expressão $V_o = 1,5 + 2h$ (m/s);

g = aceleração da gravidade admitida como 9,81m/s².

Para o cálculo da altura das ondas, utilizou-se a seguinte equação empírica:

$$h_o = 0,75 + 0,34\sqrt{f} - 0,26\sqrt[4]{f} \quad \text{para } f < 18 \text{ km}$$

$$h_o = 0,34\sqrt{f} \quad \text{para } f > 18 \text{ km}$$

Em que:

$f = fetch$ - distância máxima (em km) em linha reta entre qualquer extremidade do lago e um ponto qualquer sobre o barramento.

Para o cálculo do “fetch” efetivo utilizou-se a metodologia Saville Modificado. Saville *et al.* (1954) propõe um método que consiste na construção de 19 linhas radiais a partir do ponto de incidência da onda em intervalos de 5° , de tal modo que as radiais extremas formem com a direção do vento um ângulo de 45° . Cada uma destas radiais deve se estender até a margem.

Desta forma, a folga da Barragem Boa Vista dos Parentes pode ser determinada através das seguintes expressões abaixo:

$$h_o = 0,75 + 0,34 \times \sqrt{0,398} - 0,26 \times \sqrt[4]{0,398} = 0,766 \text{ m}$$

$$V_o = 1,5 + 2 \times 0,758 = 3,031 \text{ m/s}$$

$$F = 0,75 \times 0,766 + \frac{(3,031)^2}{2 \times 9,81} = 1,043 \text{ m}$$

A cota do coroamento pode ser determinada pela expressão abaixo:

$$CC = C_s + H_s + F$$

Em que:

C_s = cota da soleira do sangradouro = 178,00 m;

H_s = Lâmina máxima de sangria (TR = 1.000 anos) = 2,8 m

F = folga da barragem = 1,043 m

$$CC = 178,0 + 2,8 + 1,043 = 181,843 \text{ m}$$

$$CC_{adotada} = 182,0 \text{ m}$$

Como forma de verificar a cota de coroamento adotada para a cheia decamilenar ($H_s = 3,20$), adotou-se a folga de segurança recomendada por Cruz (1996) de 0,5 m a partir da altura das ondas calculada anteriormente:

$$CC = 178,0 + 3,2 + 0,766 + 0,50 = 182,466 \text{ m}$$

$$CC_{adotada} = 182,5 \text{ m}$$

A altura máxima do barramento é definida como sendo a diferente entre a cota calculado do coroamento e a cota do terreno na seção máxima considerada e pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$H_B = C_c - C_t$$

Em que:

C_c = Cota do coroamento: 182,50 m

C_t = Cota do terreno na seção máxima considerada: 162,159 m

$$H_B = 182,50 - 162,159$$

$$H_B = 20,341 \text{ m}$$

A largura do coroamento de um barramento pode ser definida pela fórmula de Preece, descrita a seguir:

$$L_C = 1,10\sqrt{H_B} + 0,90$$

Em que:

L_C = Largura da barragem (m);

H_B = Altura da barragem (m).

Para a barragem Boa Vista dos Parentes, calculou-se a seguinte largura do coroamento:

$$L_C = 1,10\sqrt{20,34} + 0,90 = 5,9 \text{ m//}$$

Para permitir o escoamento das águas que precipitarem sobre o coroamento, este será concebido com um abaulamento de 2%, com meios fios de concreto simples em toda a extensão.

Será previsto ainda um revestimento de 0,30 m de espessura de material granular (cascalho natural ou produto de britagem).

Para a definição das inclinações dos taludes de montante e jusante, utilizou-se as recomendações do U.S. Bureau of Reclamation. A barragem apresentará dois taludes em materiais distintos. O talude de montante em solo compactado, utilizará material predominante nas jazidas de solo (JS-01 e JS-02), que se apresentam conforme exposto nos Estudos Geotécnicos (SC, SM-CL). Assim, este talude da seção do barramento foi definida com inclinação de montante de 2,5:1,0. O talude de jusante será constituído de enrocamento com inclinação de jusante de 2,0:1,0.

Sendo a barragem heterogênea, com talude de jusante em enrocamento e talude de montante em solo compactado, somente este talude de montante deverá receber proteção contra erosão causada pela ação das ondas que se formarão no lago (montante).

No talude de montante, será adotada a solução em *rip-rap*, formado por uma camada de enrocamento (*rip-rap*), de 0,60 m, e outra camada de transição produzida na obra de 0,30 m, totalizando, como proteção uma espessura total de 0,90 m.

3.3.2 Fundações da Barragem

Para determinação do substrato de fundação que receberá as cargas solicitantes da barragem, foi considerado que:

- A escavação para as obras do vertedouro torna imperiosa a utilização de material de 3ª categoria na constituição do maciço da barragem, tendo sido recomendado o uso desse material para as obras do talude de jusante;
- Barragens de enrocamento exigem substrato de fundação mais resistentes às maiores cargas solicitantes;
- Os resultados dos levantamentos geológicos e geotécnicos, por intermédio dos quais se identificou que o substrato rochoso se situa em profundidades não superiores a 3,5 m, sendo identificadas ainda significativas áreas de rocha aflorante.

Haja vista essas considerações, recomenda-se que a fundação da barragem seja executada em rocha. Para tanto, será necessária a retirada de todo o material aluvionar e silto argiloso presente ao longo da área que será ocupada pelo maciço, conforme indicado em desenhos que orientam a escavação.

3.3.3 Drenagem Interna da Barragem

Os estudos de percolação efetuados tiveram como objetivo avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação, visando o dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna.

A permeabilidade do maciço da barragem foi obtida a partir das análises dos ensaios de granulometria efetuados nos materiais das jazidas, bem como dos ensaios de permeabilidade realizados nas amostras de materiais coletados e conforme já citado, apresentados nos volumes de estudos básicos.

A análise dos resultados foi realizada e foram adotadas permeabilidades representativas dos ensaios, conforme apresentado na Tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Valores de permeabilidades utilizados nos cálculos de permeabilidade

Material	Talude	k (m/s)
Solo compactado	Montante	1,00E-08
Solo compactado	Montante	1,00E-08
Enrocamento	Jusante	1,00E-04
Enrocamento	Jusante	1,00E-04
Areia do filtro	-	5,00E-05
Brita de transição	-	1,00E-04

Portanto, as análises do fluxo pelo maciço e fundações foram elaboradas combinando a seção máxima (seção tipo) com os valores de permeabilidade apresentados, tendo como resultado a seguinte seção de estudos esquematizada na Figura 3.1

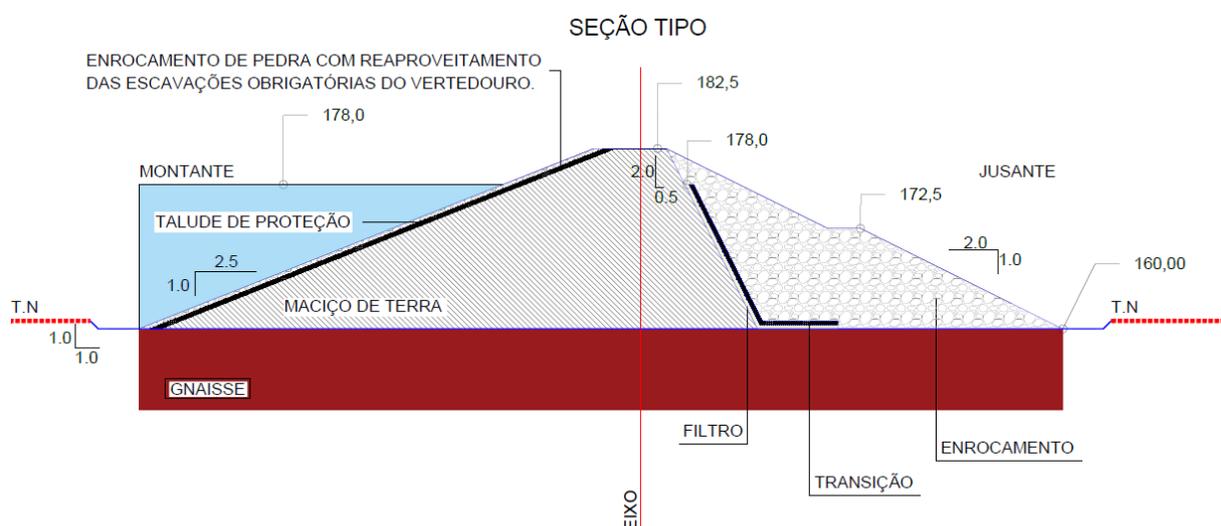


Figura 3.1 – Seção de estudo

A rede de fluxo gerada está representada na Figura 3.2 a seguir:

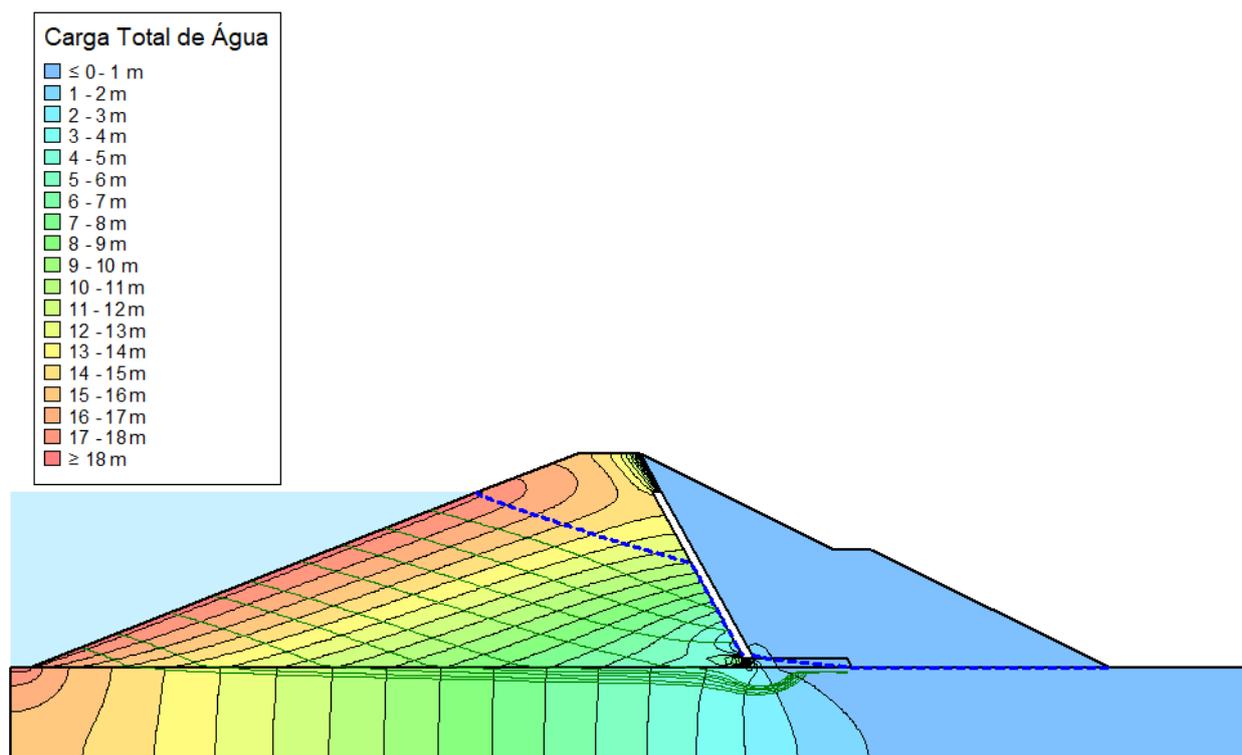


Figura 3.2 – Rede de fluxo, com equipotenciais em m.

Portanto, os resultados gerados pelo programa SEEP/W, em termos de vazões foram os seguintes:

- $Q_{\text{maciço}} = 6,40 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$
- $Q_{\text{fundações}} = 2,51 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

O sistema de drenagem interna da barragem será constituído por um dreno de pé, situado na extremidade do talude de jusante, ligado a um tapete horizontal drenante que, por sua vez, está ligado ao filtro vertical para montante, face a altura da barragem.

3.3.4 Análise da Estabilidade dos Taludes

Para avaliar a estabilidade da solução proposta foram efetuados cálculos utilizando-se a análise estática com base no método de equilíbrio limite e adotando-se a metodologia segundo Morgenstern-Price, implementada automaticamente através do programa de cálculos SLOPE/W. A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima (Estaca 7+10,00), pois esta apresenta as condições mais desfavoráveis. As avaliações foram embasadas na comparação entre os fatores de segurança (FS) calculados com os admissíveis para o projeto. A Figura 3.3 ilustra a seção tipo adotada.

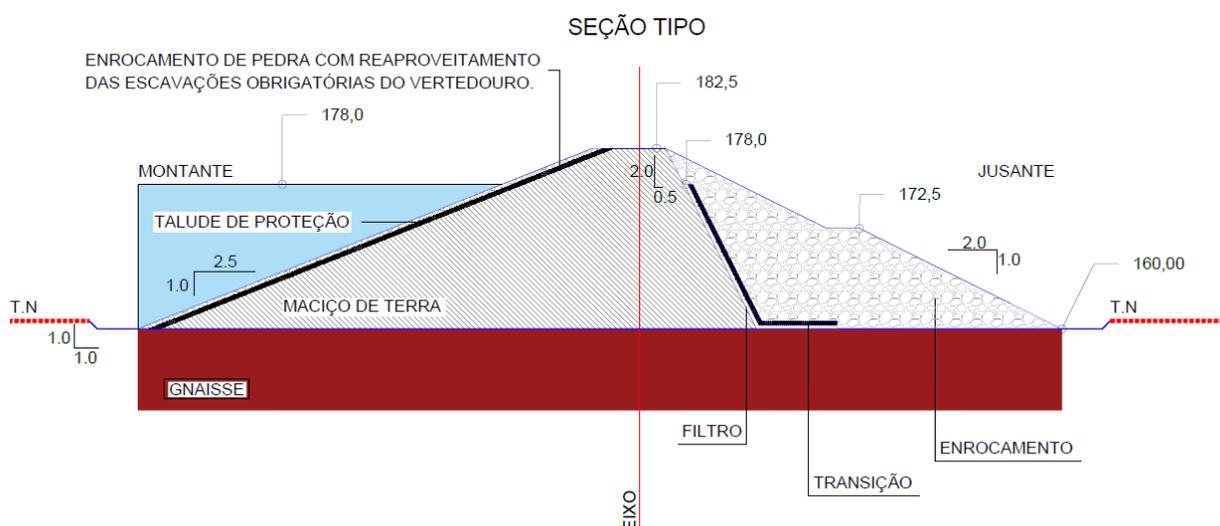


Figura 3.3 – Seção tipo adotada para análise da estabilidade

É importante ressaltar que não foram consideradas na análise as camadas existentes no coroamento, *rip-rap* e proteção superficial de jusante. Esta simplificação é a favor da segurança, já que os materiais destas camadas foram substituídos por outros com parâmetros de resistências inferiores. Desta forma, foram analisadas as seguintes situações:

- Final de Construção – análise feita para os taludes de montante e jusante;
- Regime Permanente (Operação) – análise feita no talude de jusante;
- Regime Permanente com sismo - análise feita no talude de jusante;
- Regime Transiente, com esvaziamento rápido - análise feita no talude de montante.

O cálculo de estabilidade do talude de montante considera os parâmetros medidos nos ensaios de laboratório para as jazidas de solo (JS-01 e JS-02) apresentados no volume de estudos básicos supracitado. Basicamente, apresentam-se aqui as características dos seguintes materiais a serem utilizados nas obras:

- Solo compactado dos taludes de montante;
- Enrocamento do talude de jusante;
- Areia do filtro vertical;
- Brita 1, a ser usada na transição e filtro horizontal.

A Tabela 3.2 apresenta o resumo dos dados de entrada para os materiais da barragem, nas análises de estabilidade.

Tabela 3.2 – Resumo dos dados de entrada para os materiais da barragem, nas análises de estabilidade

Material	Condição	Talude	k (m/s)	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	C' (kPa)
Solo compactado	Final de Obra	Montante	1,00E-08	20,32	29,50	13,00
Solo compactado	Rebaixamento rápido	Montante	1,00E-08	20,32	29,50	13,00
Enrocamento	Final de Obra	Jusante	1,00E-04	25,00	-	0,00
Enrocamento	Operação	Jusante	1,00E-04	25,00	-	0,00
Areia do filtro	-	-	5,00E-05		30,00	0,00
Brita de transição	-	-	1,00E-04			0,00

Para a análise do talude de jusante composto por enrocamento, foi utilizado o critério de ruptura proposto por Hoek-Brown (1980). Este critério permite representar a resistência do maciço rochoso adequadamente sendo aplicável em taludes executados em enrocamento. A determinação dos parâmetros de resistência pode ser realizada com o conhecimento da resistência a compressão simples da rocha, da litologia e da condição do maciço rochoso, representada pelo fraturamento e condição das descontinuidades.

Foram analisadas as condições de estabilidade do talude de jusante considerando a barragem sujeita a rebaixamento rápido do nível de seu reservatório, conforme condições apresentadas como critério de dimensionamento da tomada d'água.

Ao analisarmos a estabilidade do talude de montante na condição de final de construção, observou-se uma resistência ao cisalhamento com fator de segurança de 1,51, frente ao fator de segurança de 1,30 admissível recomendado pelas normas da Eletrobras, indicando que o talude é estável nesta condição.

Ao analisarmos a estabilidade do talude de jusante na condição de final de construção, observou-se uma resistência ao cisalhamento com fator de segurança de 2,77, frente ao fator de segurança de 1,30 admissível recomendado pelas normas da Eletrobras, indicando que o talude é estável nesta condição.

Ao analisarmos a estabilidade do talude de jusante na condição de regime permanente (operação), observou-se uma resistência ao cisalhamento com fator de segurança de 1,70, frente ao fator de segurança de 1,50 admissível recomendado pelas normas da Eletrobras, indicando que o talude é estável nesta condição.

Ao analisarmos a estabilidade do talude de jusante na condição de regime permanente com sismo, observou-se uma resistência ao cisalhamento com fator de segurança de 2,28, frente ao fator de segurança de 1,20 admissível recomendado pelas normas da Eletrobras, indicando que o talude é estável nesta condição.

Ao analisarmos a estabilidade do talude de montante na condição de rebaixamento rápido do reservatório, observou-se uma resistência ao cisalhamento com fator de segurança de 1,40,

frente ao fator de segurança entre 1,1 e 1,30 admissível recomendado pelas normas da Eletrobras, indicando que o talude é estável nesta condição.

3.4 Dimensionamento do Vertedouro

O vertedouro adotado para a Barragem Boa Vista dos Parentes será um vertedouro do tipo canal escavado em rocha de alta declividade, dadas as condições do maciço. Para a determinação da crista vertente e o projeto da bacia de dissipação, será seguida a metodologia apresentada neste capítulo, seguindo as recomendações do *United States Bureau of Reclamation* (USBR).

Ressalta-se que nos estudos hidrológicos entregues na **FASE A** foi considerada uma largura de vertedouro igual a 60,0 m, vertendo vazões de 355,50 m³/s – cheia milenar – a 468,80 m³/s – cheia decamilenar.

Para escolha do tipo de bacia de dissipação e para o dimensionamento das estruturas que farão papel de anteparo causador de ressalto, foi necessário o cálculo da velocidade no pé do canal vertedouro.

A Tabela 3.3 apresenta os resultados obtidos com simulação do vertedouro, a serem utilizadas para o dimensionamento da bacia de dissipação.

Tabela 3.3 - Resultados obtidos com simulação do vertedouro com o HEC-RAS, para TR = 1.000 anos.

Estaca	Q Total (m ³ /s)	Cota da Soleira (m)	Cota N.A (m)	Nível Crítico (m)	Vel (m/s)	Froude
11	250.4	178.00	179.21	179.21	3.46	1.01
9.9	250.4	177.20	177.96	178.40	5.47	2.01
8.8	250.4	176.40	177.16	177.60	5.47	2.01
7.7	250.4	175.60	176.36	176.80	5.47	2.01
6.6	250.4	174.80	175.56	176.01	5.47	2.00
5.5	250.4	174.00	174.76	175.20	5.46	2.00
4.4	250.4	173.20	173.96	174.41	5.47	2.01
3.3	250.4	172.40	173.16	173.61	5.47	2.01
2.2	250.4	171.60	172.36	172.80	5.46	2.00
1.1	250.4	170.80	171.56	172.00	5.47	2.01
0	250.4	170.00	170.76	171.21	5.46	2.00

Após cálculo do Número de Froude ($Fr = 2,00$) a jusante (pé do canal vertedouro), optou-se pela solução utilizando-se da Bacia de Dissipação Tipo I, do *Bureau of Reclamation*¹.

Os parâmetros para o dimensionamento da bacia serão:

$$y_l = \text{tirante no pé do canal (m)}$$

¹ UNITED STATES OF AMERICA. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Model Studies of Imperial Dam, Desilting Works, All-American Canal Structures, Boulder Canyon Project – Final Report, Hydraulic Investigations, Washington, Bulletin 4, Part VI, 1948.

$$y_l = 0,76m$$

y_r = tirante pós-ressalto (escoamento fluvial)

$$\frac{y_r}{y_l} = 0,5 \times \sqrt{1 + 8 \times F^2} - 1$$

sendo $F = 2,00$

$$y_r = \left(0,5 \times \sqrt{1 + 8 \times 2,00^2} - 1 \right) \times 0,76 \Rightarrow y_r = 1,81m$$

Para a determinação do comprimento teórico do ressalto (L_b) de dissipação, utilizou-se a equação proposta por Simões (2008):

$$L_b = y_r \cdot \left(\frac{F^2 - 81,85 \cdot F + 61,13}{-0,62 - 10,71 \cdot F} \right) \Rightarrow L_b = y_r \cdot \left(\frac{2,0^2 - 81,85 \cdot 2,0 + 61,13}{-0,62 - 10,71 \cdot 2,0} \right) = 8,06m$$

Adotou-se, no projeto, a bacia de dissipação com um comprimento, no sentido do fluxo igual a 8,06m.

Para determinação da altura dos muros laterais, utilizaram-se as seguintes expressões:

$$f = 0,1 \times (V_1 + y_r) \Rightarrow f = 0,1 \times (5,46 + 1,81) = 0,73 m$$

$$H_L = f + y_r \Rightarrow H_L = 0,73 + 1,81 = 2,54 m$$

Em que:

f = Folga calculada;

H_L = Altura do muro lateral.

Adotou-se, no projeto, a altura dos muros laterais de 2,55 m.

A Figura 3.4 apresenta a curva chave do canal de restituição na seção imediatamente após a bacia de dissipação.

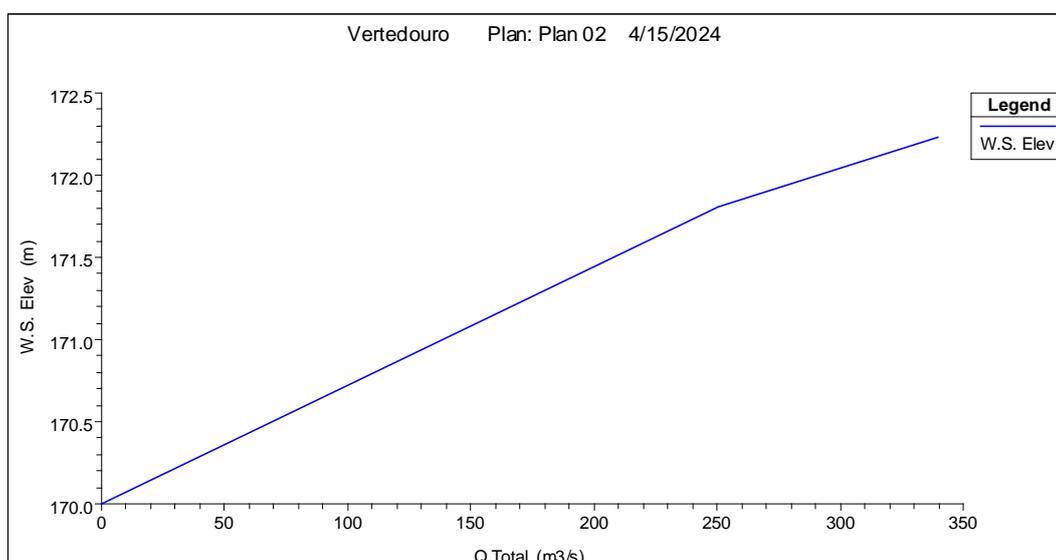


Figura 3.4 – Curva chave do canal de restituição.

A condução da água vertida para jusante do rio barrado será realizada por um canal de restituição, de seção trapezoidal, a ser situado a jusante da bacia de dissipação a partir de sua última estaca, como representado na Figura 3-5. Este canal será constituído em toda sua integralidade por rocha oriunda da escavação do vertedouro, correspondendo em parte à área de descarga do material rochoso não utilizado nos elementos estruturais de maciço da barragem e enseadeira.

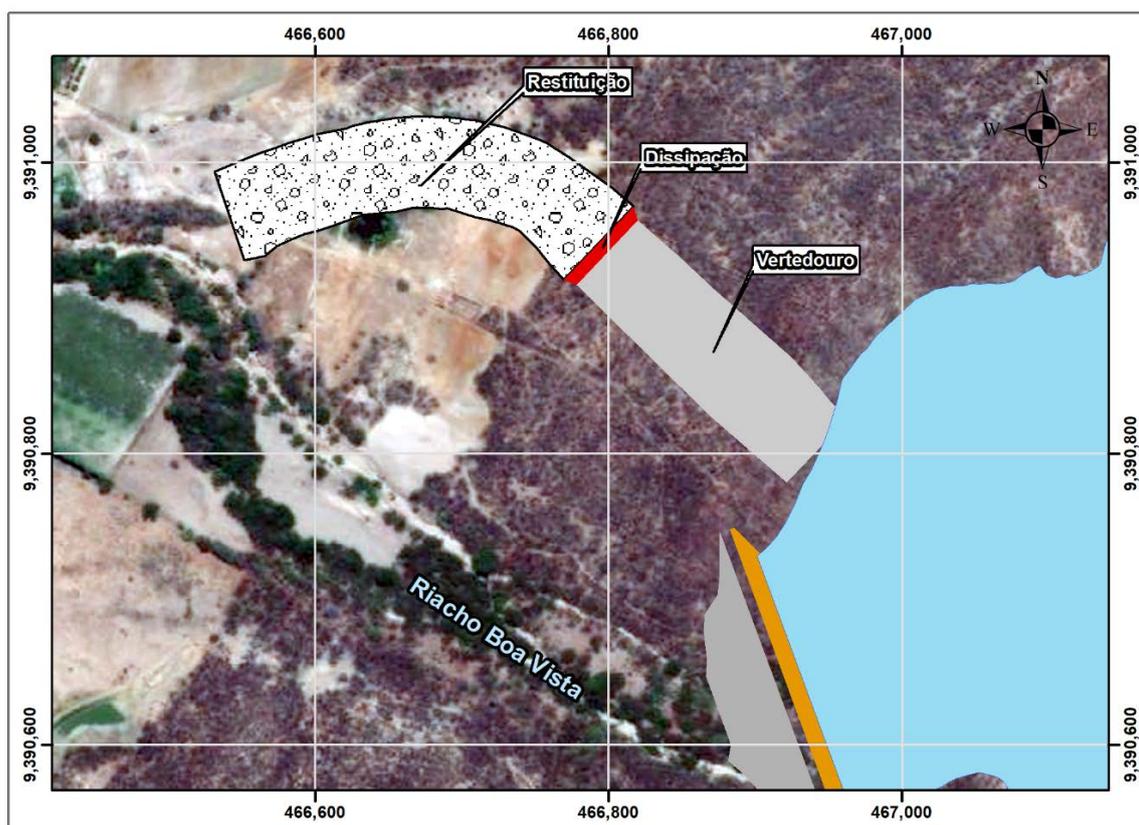


Figura 3-5 - Representação esquemática do vertedouro da Barragem Boa Vista

Foi mantida a largura do canal do vertedouro (60,0 m) e definida uma declividade longitudinal de 2,37%. Os taludes de corte são de 2,0:1,0. Para realização de aterro, não será necessário garantir a seção trapezoidal em toda a extensão do canal, pois este, em alguns trechos, se confundirá com leitos coletores naturais. O que se recomenda é a garantia das dimensões apresentadas nos desenhos, para que as condições hidráulicas simuladas sejam coerentes com a realidade.

Foi realizada uma simulação hidráulica do conjunto vertedouro, bacia de dissipação, canal de restituição, com o objetivo de se definirem as condições hidráulicas do escoamento na restituição e de serem determinados os impactos ao leito natural do Rio Boa Vista, bem como as edificações existentes. Esta simulação parte da solução numérica das Equações de Navier

Stokes em duas dimensões (2D), utilizando o conjunto de modelos computacionais disponível no HEC-RAS.

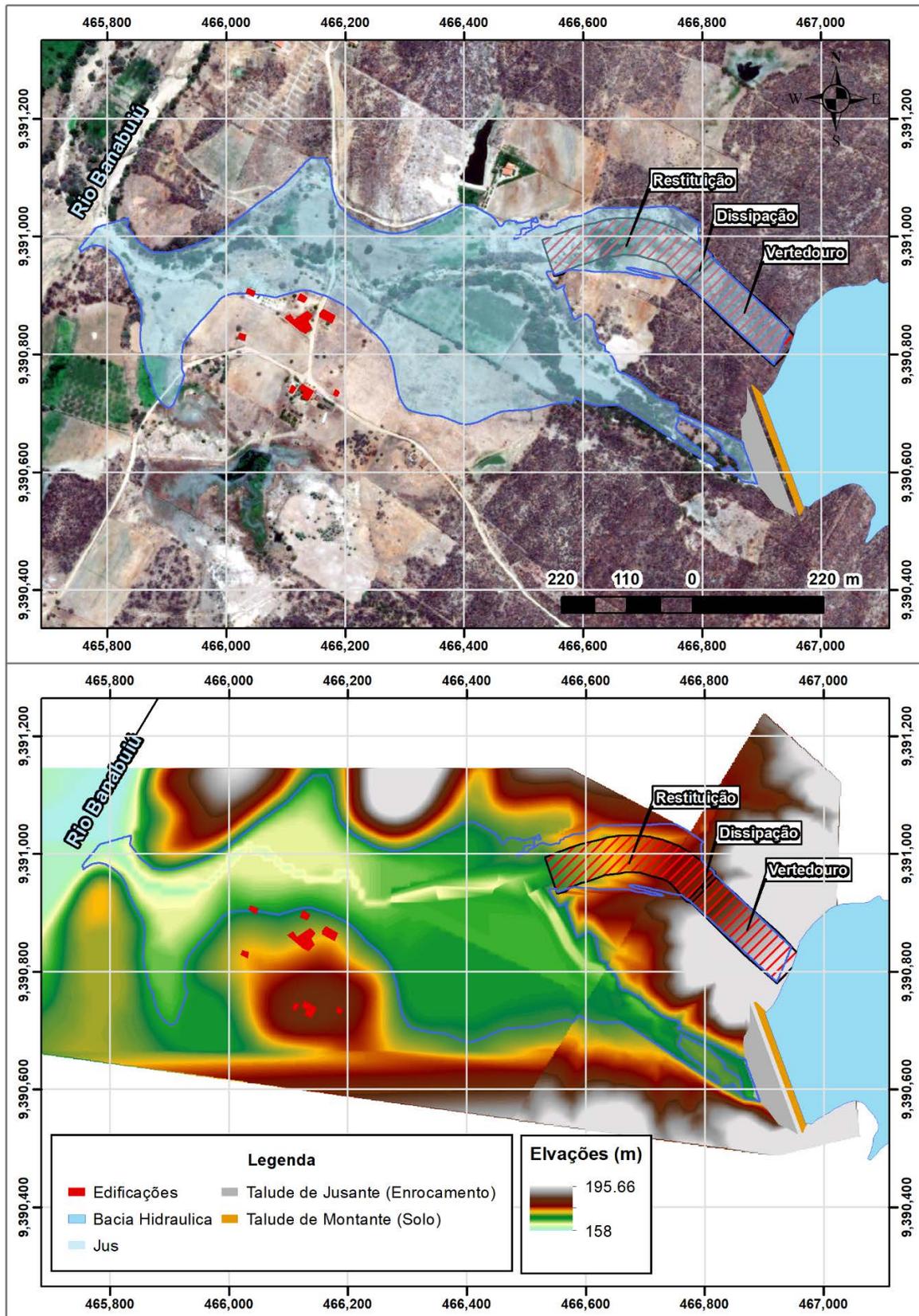


Figura 3-6 – Mapa de inundação resultante do vertimento, tomando como base hidrograma afluente relativo ao TR=1.000 anos.

A Figura 3-6 apresenta o mapa de inundação resultante da simulação do vertimento, tomando como base hidrograma afluente relativo ao TR=1.000 anos. Com base nos resultados da geração dessa mancha de inundação pode-se observar:

- Impacto sobre edificações e áreas utilizadas para plantio;
- Vertimento dessa magnitude atinge 2 pequenos açudes, sendo necessária, inclusive para a regularização do Canal de Restituição, a demolição daquele situado logo a jusante da bacia de dissipação;
- Assoreamento da calha do rio, dada a forma como se apresenta seu uso e ocupação, ocasiona estrangulamento da calha do rio, redundando em fluxo na direção do maciço, embora gerando lâminas que não excedem 50 cm, nas proximidades do talude de jusante da barragem, o qual é constituído de enrocamento, e portanto, não vulnerável ao efeito de poropressões, sob o ponto de vista de sua estabilidade;
- Velocidades no canal de restituição não excedem 4,5 m/s e ocorrem durante curto intervalo de tempo, ao ser atingido o pico de vazão do hidrograma. A Figura 3-7 ilustra a distribuição espacial das velocidades no momento de máxima vazão.

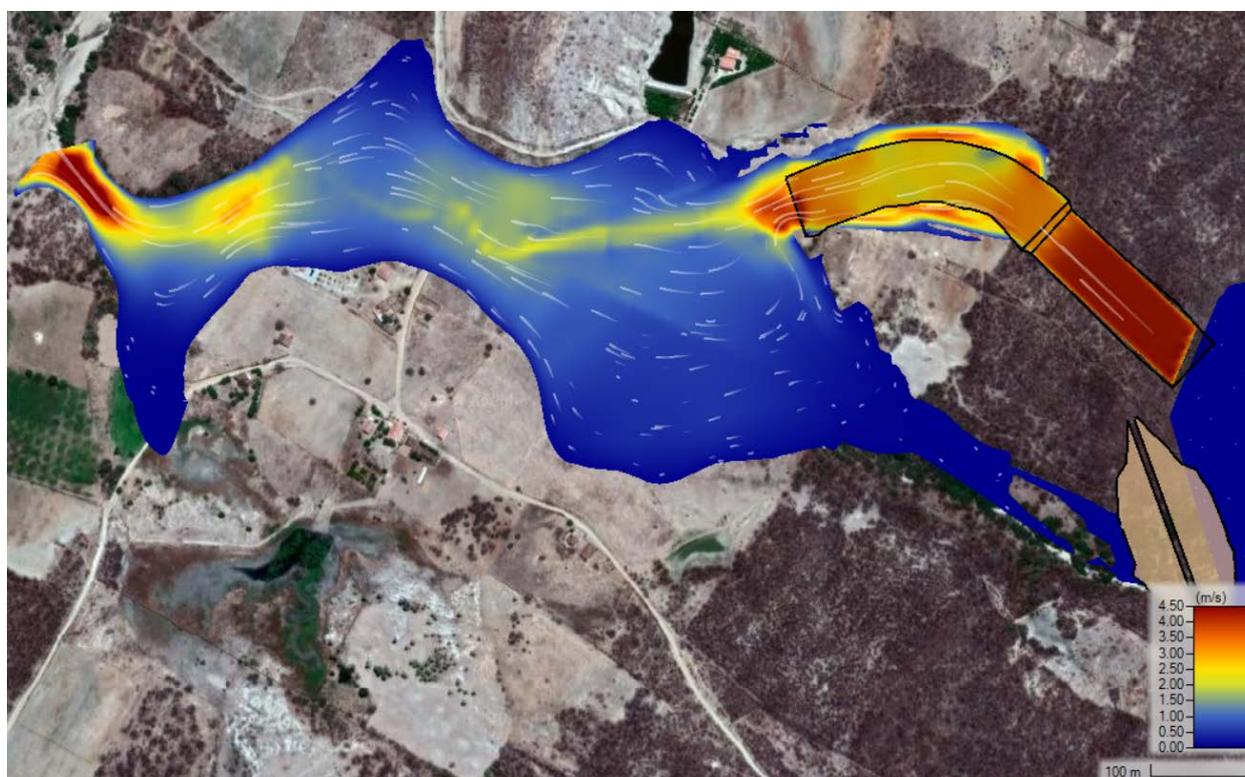
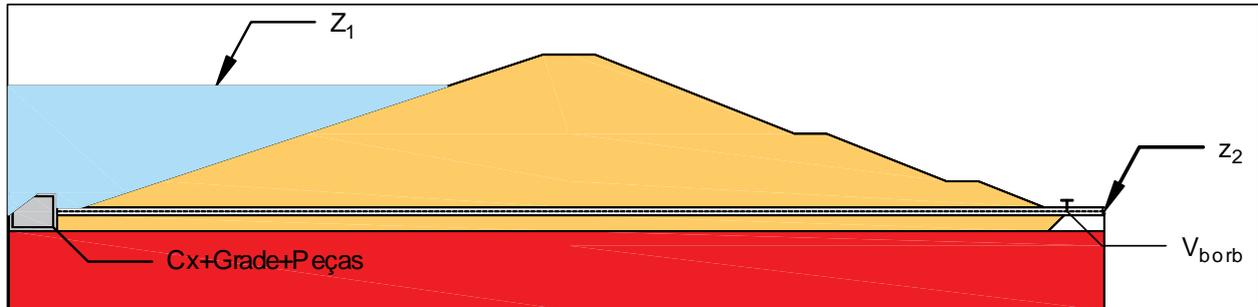


Figura 3-7 - Distribuição espacial de velocidades no momento de máxima vazão.

3.5 Dimensionamento da Tomada D'Água

3.5.1 Cálculo do Diâmetro em Regime Permanente

A escolha do diâmetro da tomada d'água é realizado a partir da aplicação da Equação de Bernoulli entre o nível do reservatório e a cota definida para a tomada d'água.



$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h_t$$

Para a perda de carga total Δh_t , tem-se

$$\Delta h_t = \Delta h_d + \Delta h_{loc}$$

Em que,

Δh_d : Perda de carga distribuída, calculada por

$$\Delta h_d = f \frac{L V_2^2}{D 2g}$$

f : fator de atrito, calculado por:

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Rey} \right)^8 + 9,5 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Rey} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125}$$

L : comprimento da tubulação (131,0 m)

D : diâmetro da tubulação (250 mm);

V_2 : velocidade da água na tomada d'água;

g : gravidade;

Rey : número de Reynolds, calculado por:

$$Rey = \frac{\rho V_2 D}{\mu}$$

ρ : massa específica da água;

μ : viscosidade da água;

ε : rugosidade absoluta do material da tubulação (ferro fundido = 0,25 mm);

Δh_{loc} : perda de carga localizada, calculada por:

$$\Delta h_{loc} = \left(\sum k \right) \frac{V_2^2}{2g}$$

$\sum k$: totalidade dos coeficientes de perdas de carga das peças;

Para os coeficientes de perda de carga localizada foram utilizados os valores apresentados na Tabela 3.4. A Tabela 3.5 apresenta os coeficientes de perda da válvula borboleta, considerando seus ângulos de abertura.

Tabela 3.4 – Coeficientes de perda das peças da tomada d'água

Peça	K
Grade	1,45
Crivo	2,3
Registro de Gaveta	0,1
Entrada	1
Saída	1

Tabela 3.5 – Coeficientes de perda da válvula borboleta, considerando seus ângulos de abertura

Aberta									
α	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
k	670	145	47	18	7	3	1,4	0,7	0,36

Como resultado da aplicação da equação de Bernoulli, conforme descrito, obteve-se a equação para a velocidade e posteriormente, aplica-se a equação da continuidade, para a obtenção da vazão (Q).

$$z_1 - z_2 = \frac{V_2^2}{2g} \left(\sum k + f \frac{L}{D} + 1 \right)$$

$$V_2 = \left[\frac{2g(z_1 - z_2)}{\left(\sum k + f \frac{L}{D} + 1 \right)} \right]^{0,5}$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V_2$$

Foram calculadas vazões considerando-se a operação da válvula borboleta com ângulos de abertura que variaram de 10° a 90° (totalmente aberta), além de terem sido simuladas cotas de operação variando de 166,0 m a 178,0 m (cota da soleira do vertedouro) tendo como base a vazão regularizada com 90% de garantia (25,46 L/s). Para a solução do sistema de equações apresentado, utilizou-se um método iterativo, através de planilha eletrônica.

3.5.2 Verificação do Diâmetro para Esvaziamento do Reservatório

Para a verificação do esvaziamento do reservatório pela tomada d'água, contemplando o cumprimento da **PORTARIA Nº2003/SRH/CE**, de 24 de setembro de 2021, será considerado o funcionamento da tomada d'água como orifício. Portanto, foi calculado um coeficiente de descarga compatível com as vazões que passam pela tubulação com a válvula borboleta completamente aberta ($\alpha = 90^\circ$).

Consideremos a redução do volume do reservatório com o tempo de ocorrência de vazão. Esta redução de volume acarreta diminuição da carga hidráulica, fazendo com que a própria vazão seja também reduzida. Portanto, o tempo de esvaziamento pode ser calculado mediante a taxa de redução do volume do reservatório.

$$dVol = A_{(z)} \cdot dt$$

$$dVol = Q \cdot dt$$

Em que,

$dVol$: elemento de variação volumétrica;

$A_{(z)}$: área em função da cota z , obtida mediante análise da cota x área x volume;

dt : elemento de variação do tempo;

Q : descarga em orifício segundo a equação:

$$Q = C_d \cdot A_{or} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

C_d : coeficiente de descarga;

A_{or} : área da seção transversal da tubulação da tomada d'água (orifício);

g : gravidade;

h : altura de carga hidráulica;

$$h = Z_w - Z_t$$

Z_w : cota do espelho d'água;

Z_t : cota do eixo da tomada d'água.

Ressalta-se que a área do espelho d'água, que interfere no cálculo do volume armazenado do reservatório, é variável em função da cota do espelho d'água. Dessa forma, para resolver as equações supracitadas, tendo como objetivo o cálculo do diâmetro da tubulação da tomada d'água, faz-se necessário determinar a função que relaciona área com cota do espelho d'água. Dessa forma, lançou-se mão dos dados de cota x área x volume, apresentados na Tabela

3-6, para se determinar uma curva $A = f(H)$, traçando-se curva de tendência do tipo polinomial de grau 2. Para isso, foi considerado o eixo da tomada d'água assente sobre a cota 165,0 m.

Tabela 3-6 - Dados da curva cota x área x volume.

Z (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
161	100,00	6,41
162	1.800,00	510,61
163	11.400,00	6.627,91
164	29.300,00	26.365,04
165	52.100,00	66.763,56
166	85.400,00	133.660,45
167	132.100,00	242.140,36
168	181.500,00	397.840,35
169	230.100,00	603.914,63
170	281.100,00	859.014,19
171	339.000,00	1.168.540,76
172	396.900,00	1.536.347,00
173	459.000,00	1.963.430,76
174	524.600,00	2.454.715,11
175	594.600,00	3.014.386,70
176	665.700,00	3.643.687,86
177	747.300,00	4.349.682,80
178	840.700,00	5.142.049,75

A Figura 3-8 apresenta o gráfico altura de carga hidráulica (H) X área do espelho d'água.

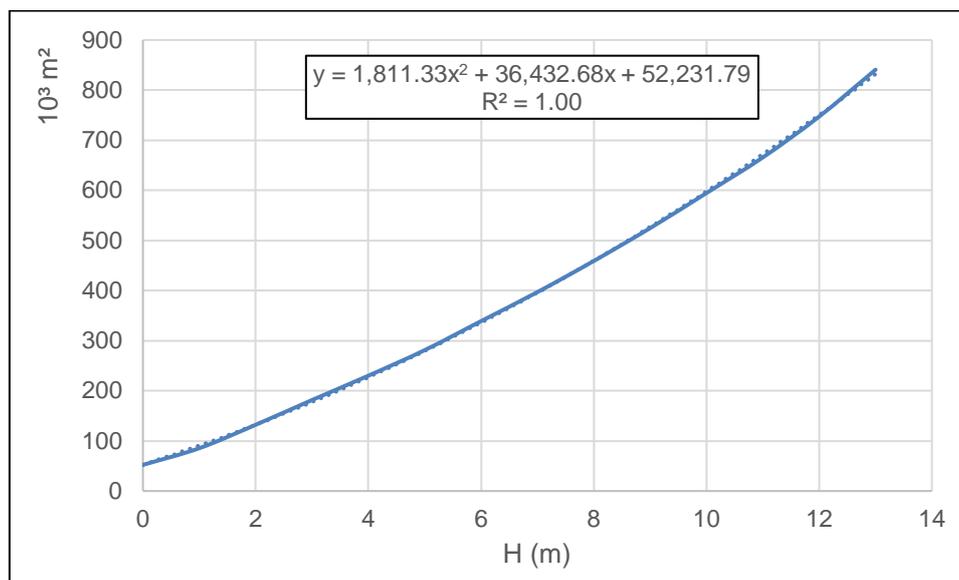


Figura 3-8 - Gráfico altura de carga hidráulica (H) X área do espelho d'água.

Com isso, a solução do sistema de equações para o cálculo do tempo de esvaziamento apresentado previamente é dado por:

$$t = \frac{1}{C_d \cdot A_{or} \cdot \sqrt{2} \cdot g} \int_0^H \frac{ah^2 + bh + c}{h^{1/2}} \cdot dh$$

Em que,

a : coeficiente segundo Figura 2-23 igual a 1.811,33;

b : coeficiente segundo Figura 2-23 igual a 36.432,68;

c : coeficiente segundo Figura 2-23 igual a 52.231,79;

t : tempo em segundos.

Para a realização dessa simulação, foram feitas as seguintes considerações:

- Tomada d'água funcionando como orifício;
- Esvaziamento do reservatório correspondente à variação da cota do espelho d'água entre o nível de soleira do vertedouro ($Z_w = 178,00\text{ m}$) e o nível do eixo do tubo da tomada d'água ($Z_t = 165,00\text{ m}$);
- Coeficiente de descarga teórico considerando comprimento relativo ($L/D > 300$), sendo portanto $C_d = 0,38$;
- Foi considerado somente a retirada de água pela tomada d'água, desprezando-se qualquer possível aporte ou perdas de outras naturezas, tais quais infiltrações, percolações ou evapotranspiração.

Utilizando-se o critério recomendado na portaria citada, que estabelece prazo de 90 dias para esvaziamento do reservatório, foi calculada uma área de orifício aproximada equivalente a um tubo com diâmetro nominal de 450 mm, sendo este capaz de esvaziar o reservatório – dadas as condições predefinidas – em 84 dias, como pode ser observado no gráfico da Figura 3-9.

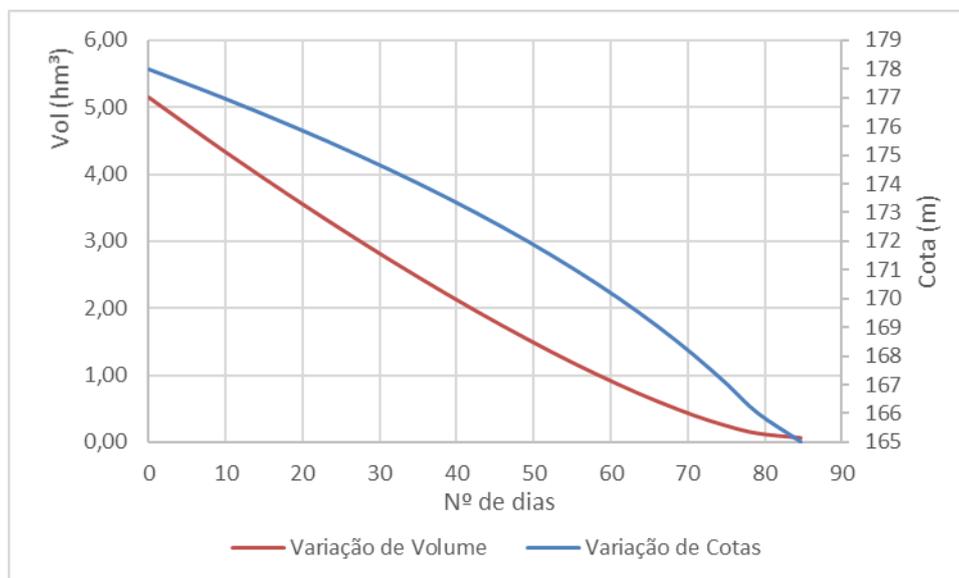


Figura 3-9- Esvaziamento do reservatório em função do tempo, para uma tubulação de 450 mm na tomada d'água.

Apesar de a solução com diâmetro de 450 mm atender à recomendação da portaria, esse diâmetro pode apresentar dificuldades à parte operacional, pois qualquer mínima abertura de válvula poderia ocasionar uma descarga superior à vazão de projeto ($Q_{90} = 25,46$ l/s), sobretudo nas ocasiões de muita carga hidráulica – quando do espelho d’água com cotas mais próximas à cota de soleira do vertedouro, como se pode observar no ábaco da Figura 3-10.

Sendo assim, com o objetivo de compatibilizar viabilidade de operação com atendimento à **PORTARIA 2003/SRH/CE**, recomenda-se uma linha dupla de tubos de 250 mm de diâmetro, sendo uma linha para operação com uma reserva para caso em que se necessite do esvaziamento rápido. Dessa forma, o tempo de esvaziamento passa para 124 dias, resultando numa faixa mais ampla de operação da válvula para atingir a vazão de referência (Figura 3-11 e Figura 3-12).

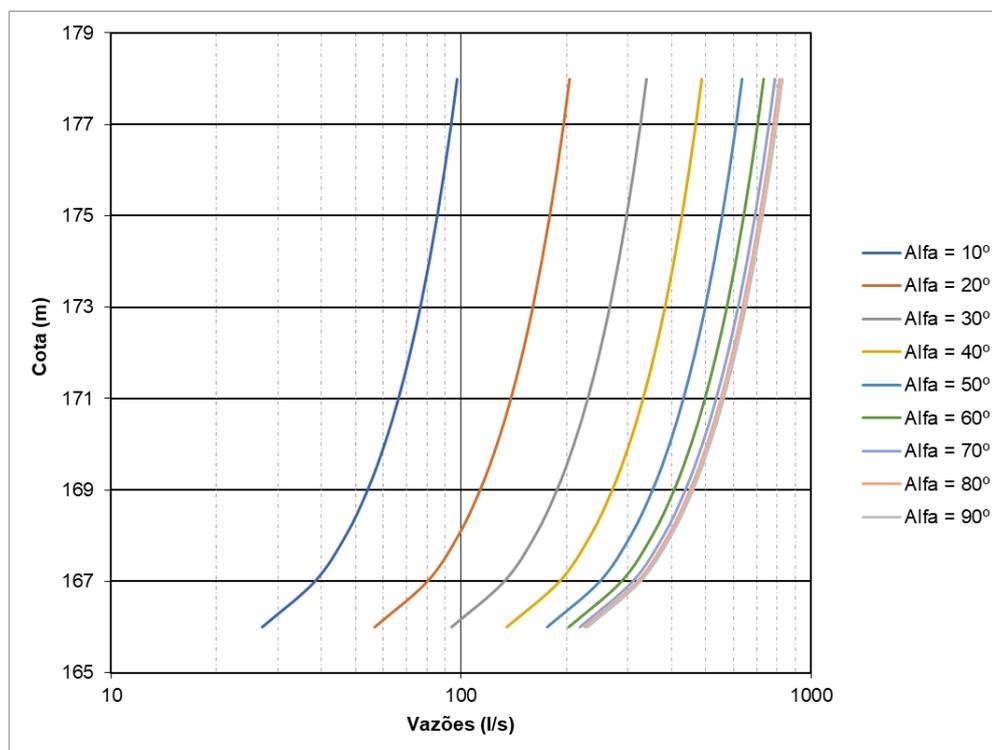


Figura 3-10 - Ábaco de vazões devidas à abertura da válvula borboleta, em caso de tomada d’água com diâmetro de 450 mm.

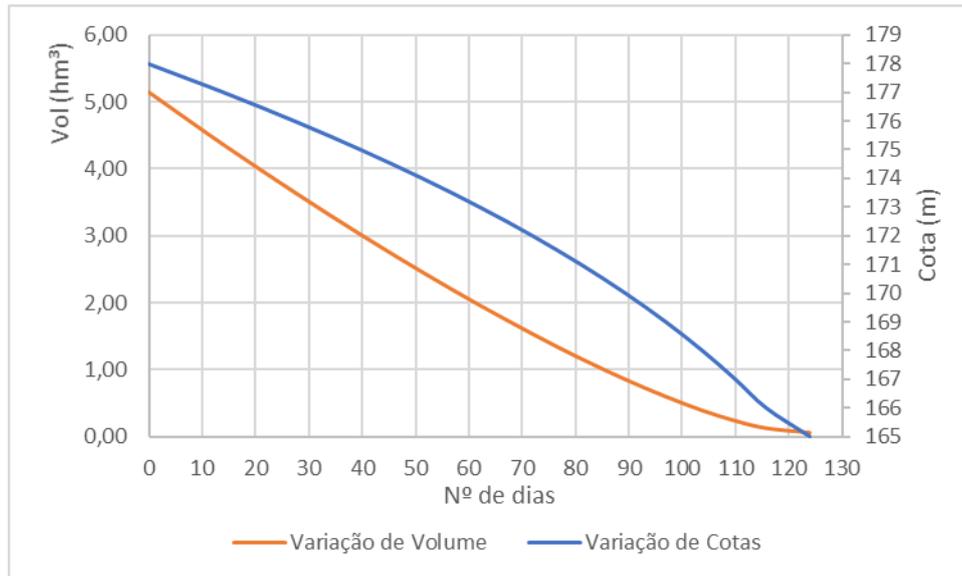


Figura 3-11 - Esvaziamento do reservatório em função do tempo, operando uma tubulação de 250 mm na tomada d'água

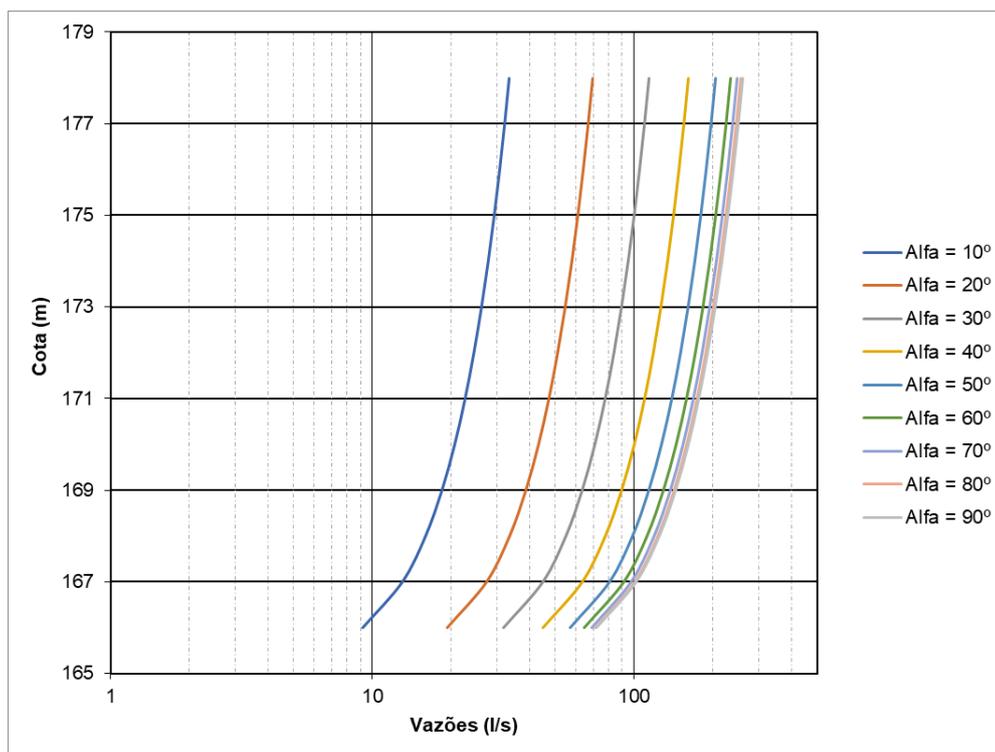


Figura 3-12 - Ábaco de vazões devidas à abertura da válvula borboleta, em caso de tomada d'água com diâmetro de 250 mm

4 – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO



4 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	TOTAL	CRONOGRAMA - FÍSICO FINANCEIRO														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	INSTALAÇÃO DA OBRA	3,473,204.32	40.00%	20.00%	20.00%	20.00%											
			1,369,281.73	694,640.86	694,640.86	694,640.86											
2	REDE VIÁRIA INTERNA	726,808.29	50.00%	50.00%													
			363,404.15	363,404.15													
3	BARRAGEM EM SOLO	4,299,684.38		9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.09%	9.10%
			-	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	390,841.31	391,271.28
4	VERTEDOIRO	4,546,098.19		16.67%	16.67%	16.67%	16.67%	16.67%	16.67%	16.65%							
			-	757,834.57	757,834.57	757,834.57	757,834.57	757,834.57	757,834.57	756,925.35							
5	TOMADA D'ÁGUA	691,029.44							25.00%	25.00%	25.00%	25.00%					
									172,757.36	172,757.36	172,757.36	172,757.36					
6	SERVIÇO NA BACIA HIDRÁULICA	892,645.96									20.00%	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%
			-	-	-	-	-	-	-	-	178,529.19	178,529.19	178,529.19	178,529.19	178,529.19	178,529.19	178,529.19
TOTAL GERAL		14,629,470.58															
	PARCIAL	(%)	11.98%	15.08%	12.60%	12.60%	7.85%	9.03%	9.03%	5.07%	5.07%	3.89%	3.89%	3.89%			
	TOTAL	(%)	11.98%	27.06%	39.66%	52.26%	60.12%	69.15%	78.18%	83.25%	88.32%	92.21%	96.11%	100.00%			
	PARCIAL	(R\$)	1,752,685.87	2,206,720.89	1,843,316.74	1,843,316.74	1,148,675.88	1,321,433.24	1,320,524.02	742,127.86	742,127.86	569,370.50	569,370.50	569,800.47			
	TOTAL	(R\$)	1,752,685.87	3,959,406.76	5,802,723.50	7,646,040.25	8,794,716.12	10,116,149.36	11,436,673.38	12,178,801.24	12,920,929.11	13,490,299.61	14,059,670.11	14,629,470.58			

5 – CANTEIRO DE OBRA

5 CANTEIRO DE OBRA

As instalações básicas do canteiro de obras contarão com as seguintes edificações:

- Escritório;
- Refeitório e Cozinha;
- Almoxarifado;
- Guarita;
- Sanitários e Vestiário;
- Estacionamento.

6 – EQUIPAMENTOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DA OBRA

6 EQUIPAMENTOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS À EXECUÇÃO DA OBRA

Deverão ser utilizados, durante o período construtivo, os equipamentos nas quantidades mínimas indicadas abaixo e ofertadas pela EMPREITEIRA na sua Proposta de Licitação.

Item	Descrição	Quant. (Total)
1.1	TRATOR DE EST. CAT. D-8 R C/ ESCARIFICADOR OU SIMILAR	2,00
1.2	TRATOR DE ESTEIRAS : CATERPILLAR : D6M - COM LÂMINA	2,00
1.3	TRATOR DE PNEUS	2,00
1.4	CARREGADEIRA DE PNEUS : CATERPILLAR : 924G - 1,80 M3	4,00
1.5	MOTONIVELADORA 120H	2,00
1.6	GRADE DE DISCO PESADA	2,00
1.7	CAMINHÃO TANQUE : MERCEDES BENZ : L1620/51 - 8.000 L	6,00
1.8	CAMINHÃO BASCULANTE MERCEDES BENZ 14 M3 OU SIMILAR	8,00
1.9	ROLO LISO VIBRATÓRIO AUTO-PROPULSORDYNAPAC MOD. CA-25 D	1,00
1.10	ROLO PÉ DE CARNEIRO VIBRATÓRIO AUTO-PROPULSORDYNAPAC MOD. CA-25 PD OU SIMILAR	2,00
1.11	RETRO-ESCAVADEIRA CASE 580 L 4X4 OU CAT 416 D OU SIMILAR	1,00
1.12	BRITADOR CAP. 80,00 M³/H	1,00
1.13	COMPRESSOR PORT. GR. ATLAS COPCO XAH-360 OU SIMILAR	1,00
1.14	EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO ROTATIVA TIPO NX	1,00
1.15	COMPACTADOR VIBRATÓRIO DYNAPAC TIPO SAPO A DIESEL MOD. CM-20 D	2,00
1.16	ROMPEDOR DE CONCRETO ATLAS COPCO MOD. TEX-41 OU SIMILAR	2,00
1.17	ÔNIBUS	1,00
1.18	MOTO-BOMBA CENTRIFUGA A GASOLINA VAZÃO Q=22,00M3/H	1,00
1.19	VIBRADOR DE IMERSÃO VIBRODYNAPAC A GASOLINA DIAM. 25MM AA-S 25 OU SIMILAR	1,00
1.20	GRUPO GERADOR GEHM-180 LEON HEIMER OU SIMILAR	2,00
1.21	CAVALO MECÂNICO C/ REBOQUE	1,00
1.22	CAMINHÃO BETONEIRA MERCEDES BENZ OU SIMILAR	1,00

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, A.M.B; MARTINS, E.S.; CLARKE, R.T; REIS JR, D.S. (2005). “Regionalização de parâmetros de modelos hidrológicos” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 17 p.

ANA (Agência Nacional de Águas). Manual do empreendedor sobre segurança de barragens. Diretrizes para elaboração de projetos de barragens - Volume V. Brasília – DF. 2016.

CRUZ, P. T. 100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto. 2. ed. São Paulo-SP: Oficina de Textos, FAPESP, 2004.

Cruz, P.T., Materón, B., Freitas, M. Barragens de Enrocamento com Face de Concreto. (Concrete Face Rockfill Dams).São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2009.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de transporte). Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisa Rodoviárias. Manual de hidrologia básica para estrutura de drenagem. - 2 ed. – Rio de Janeiro. 2005. 133p. (IPR. Publ. 715).

ESTACIO, S. A. B.; COSTA, C. A.; SOUZA FILHO, F. DE A.; ROCHA, R. V. Uncertainty analysis in parameter regionalisation for streamflow prediction in ungauged semi arid catchments. Hydrological Sciences Journal, 2020.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A., Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99, 1985.

Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). v4.11. 2023. **US Army Corps of Engineers**. Disponível em < <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> >.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil, 1981-2010, 2018, Brasília, DF. Disponível em < <https://portal.inmet.gov.br/normais> >.

KÖPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

LOPES, João Eduardo G.; BRAGA, Benedito B. F. Jr.; CONEJO, João Gilberto L., 1982. SMAP A Simplified Hydrologic Model. In: SINGH, P. VIJAY (Org.). Applied Modeling in Catchment Hydrology. Water Resources Publications. p. 167–176.

MARQUES, Marcelo & Maciel, Geraldo & Sobrinho, Milton. (2007). Estimativa das máximas pistas de vento no reservatório da barragem de Ilha Solteira, Estado de São Paulo. Acta Scientiarum-technology - ACTA SCI-TECHNOL. 29. 10.4025/actascitechnol.v29i1.112.

MCCUEN, R.H. (2005) Hydrologic Analysis and Design. 3rd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.

NEGREIROS, J. R. Q., & Lima Neto, I. E. Relações simplificadas para estimativa do assoreamento de reservatórios.

PROJETO ALOCAR. Relatório de Cálculo das Afluências aos Reservatórios Estratégicos do Ceará: Definição das Vazões Oficiais. Fortaleza: FUNCAP/UFC/COGERH, 2021a. Disponível em: < <https://portal.cogerh.com.br/definicao-das-vazoes-oficiais-dos-reservatorios-monitorados-pela-cogerh> >.

SAVILLE, T. et al The effect of fetch width on wave generation. J. Tech. Mem., Washington, D.C, n. 70, 1954.

SOUZA, Mariana Miranda de. Estudo para o projeto geotécnico da barragem Alto Irani, SC. 2013. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PLANERH 2005), Fortaleza, SRH, 2005.

Soil Conservation Service, 1972, National Engineering Handbook, Sec. 4, Hydrology, U. S. Department of Agriculture.

STRAHLER, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63(11), 1117-1142.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

TORRICO, J. J. T. Práticas hidrológicas, Rio de Janeiro: Transcom, 1975, 120p.

TUCCI, C.E.M. (1998). Modelos Hidrológicos. Editora da UFRGS ABRH 650p.