

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM JENIPAPEIRO

VOLUME II – ANTEPROJETO

TOMO 1 – RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Mar/02	Apresentação – Edição Preliminar	CONSÓRCIO	FAL/EVO	NKT	NKT
a	Abr/02	Alterações segundo considerações da 37ª Reunião do Painel de Segurança	CONSÓRCIO	JRPB/WBSR	TAD	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	12
<u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u>	15
<u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	16
<u>3.1.1 - Cartografia</u>	16
<u>3.1.2 - Transportes de Coordenadas</u>	16
<u>3.1.3 - Transportes de Cotas</u>	17
<u>3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u>	17
<u>3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u>	18
<u>3.1.6 - Levantamento das Jazidas</u>	20
<u>3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u>	20
<u>3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u>	20
<u>3.2.1 - Geologia Regional</u>	21
<u>3.2.2 - Geologia Local</u>	24
<u>3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície</u>	26
<u>3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	28
<u>3.3.1 - Investigação Geotécnica</u>	29
<u>3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u>	30
<u>3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	33
<u>3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u>	35
<u>3.4.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u>	39
<u>3.4.3 - Classificação do Clima</u>	41
<u>3.4.4 - Estudos Pluviométricos</u>	42
<u>3.4.5 - Estudo de Cheias</u>	47
<u>3.4.6 - Curvas de Regulação do Reservatório</u>	49
<u>3.4.7 - Determinação da Capacidade do Reservatório</u>	51
<u>3.4.8 - Dimensionamento do Sangradouro</u>	52
<u>3.4.9 - Estudos Adicionais</u>	54
<u>4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM</u>	56
<u>4.1 - ESCOLHA DO EIXO</u>	57

<u>4.1.1 - Considerações Finais</u>	58
<u>4.2 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS</u>	59
<u>4.3 - CRITÉRIO E JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DA ALTERNATIVA</u>	60
<u>4.4 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM</u>	65
<u>4.4.1 - Anteprojeto do Sangradouro</u>	71
<u>4.4.2 - Anteprojeto da Tomada D'água</u>	73
<u>4.4.3 - Apresentação do Anteprojeto</u>	73
<u>4.4.4 - Considerações Finais</u>	75

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidade Técnica, Ambientais e Econômicas, EIAS-RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliações Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Adutoras

Módulo II – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/RIMA

Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME II – Anteprojeto

Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral

Tomo 2 – Plantas

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico

Tomo 2 – Programação das Ações

Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Levantamentos Topográficos

Tomo 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II – Anteprojeto

VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento

Tomo 5 – Plantas

Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como Volume II – Anteprojeto, Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral, e é parte integrante do Módulo III..

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato Nº 005-PROGERIRH/PILOTO/CE/SRH/2001 e seus correspondentes anexos, compostos do Edital de Concorrência SDP Nº 05/00-PROGERIR/SRH/CE e a Proposta Técnica e de Preços, referente ao Projeto Executivo da Barragem Jenipapeiro, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Anteprojeto da Barragem Jenipapeiro.

O objetivo deste trabalho é descrever os estudos básicos elaborados e apresentar a concepção do projeto da Barragem Jenipapeiro. Assim sendo, o relatório aborda os seguintes tópicos:

- Localização e Acesso;
- Estudos Básicos;
 - Estudos Topográficos;
 - Estudos Geológicos;
 - Estudos Geotécnicos;
 - Estudos Hidrológicos; e
- Anteprojeto da Barragem.

As principais características da Barragem Jenipapeiro são apresentadas na ficha técnica a seguir:

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM JENIPAPEIRO

– **Identificação**

Denominação: Barragem Jenipapeiro
 Estado: Ceará
 Município: Umari
 Coordenadas Geográficas 06°41’31,72412” S e 38°45’10,89541” W
 Rio Barrado: Rio Jenipapeiro
 Proprietário: Estado do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE
 Data do Projeto: Abril/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área:	186,4km ²
Precipitação média anual:.....	767,8mm
Evaporação média anual:	1.988,1mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 260,0m):	836ha
Volume acumulado (cota 30,50 m):	43,4hm ³
Volume afluente média anual:	4,281hm ³
Volume morto do reservatório:.....	5,07hm ³
Volume de alerta:.....	252,0hm ³
Vazão regularizada (90%):	0,143m ³ /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos)	724m ³ /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos)	124 m ³ /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=10.000anos)	928,35m ³ /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=10.000anos)	171,00m ³ /s
Nível d'água máximo normal:	260,0m
Nível d'água max. maximorum (TR=1.000anos):	261,10m
Nível d'água max. maximorum (TR=10.000anos):	261,40m

– **Barragem**

Tipo:.....	Homôgenea de Solo
Altura máxima:	16,70m
Largura do coroamento:.....	6,0 m
Extensão pelo coroamento:	1.543m
Cota do coroamento:	El. 264,00 m
Largura máxima da base:	83,15 m
Talude de Montante:	1,0 v: 2,5 h
Talude de Jusante:	1,0 v: 2,0h

– **Tomada de Água**

Tipo:Galeria com tubo de ferro fundido
 Número de condutos:.....1 (um)
 Diâmetro: 400mm
 Comprimento do conduto:..... 66m
 Cota da geratriz inferior a montante: El. 251,50m
 Cota de geratriz inferior a jusante: El. 251,50m
 Comprimento: 74,50m
 Localização:Ombreira esquerda estaca 26

– **Vertedouro**

Tipo:Canal escavado em rocha com Perfil Creager
 Largura: 50m
 Extensão total do canal:..... 110m
 Vazão máxima (Tr=10.000 anos):..... 171,0m³/s
 Lâmina máxima Prevista (T.R=1000anos):..... 1,10m
 Lâmina máxima Prevista (T.R=10.000anos):..... 1,40m
 Borda livre:..... 2,60m

– **Muros de Contenção**

Material:Concreto ciclópico
 Altura máxima: 7,00m

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O local do barramento denominado Jenipapeiro, situa-se no riacho Jenipapeiro a jusante da confluência com o riacho Pombas. No local do barramento, o Jenipapeiro situa-se no limite dos municípios de Baixio e Umari no Estado do Ceará.

O município de Baixio, situa-se na região de Lavras da Mangabeira, na porção sudeste do estado do Ceará, seus limites são: ao norte - Umari; ao sul - Ipaumirim; ao leste - Estado da Paraíba e ao oeste - Lavras da Mangabeira. A distância rodoviária a Fortaleza é de 329 km e o seu acesso é feito pela BR-116, CE-286 e CE-151.

O município de Umari situa-se na região de Lavras da Mangabeira, na porção sudeste do Estado do Ceará. Limita-se ao norte com Icó, ao sul com Baixio, e ao leste com Triunfo e Santa Helena na Paraíba e ao oeste com Lavras da Mangabeira e Cedro. A distância rodoviária até Fortaleza é de 415 km. O acesso ao município pode ser feito pela BR-116 e CE-284.

O acesso ao eixo barrável, é feito partindo-se de Fortaleza pela rodovia BR-116, até o quilômetro 404, entroncamento com a CE-284. Neste ponto toma-se na direção leste (esquerda) até a cidade de Umari. A partir de Umari segue-se pela rodovia CE-151 (não pavimentada), em direção a Baixio até aproximadamente 6 km onde toma-se a direita uma estrada carroçável. Percorrendo por essa estrada por mais 5km chega-se ao local do boqueirão na localidade denominada Xique-Xique. (ver Figura 2.1 a seguir).

Mapa de localização fig 2.1

3 - ESTUDOS BÁSICOS

3 – ESTUDOS BÁSICOS

Os estudos básicos consistiram dos estudos topográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Jenipapeiro.

3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia abrangeram os seguintes serviços:

1. Cartografia;
2. Transporte de coordenadas;
3. Transporte de cotas;
4. Levantamento do eixo barrável e de sangradouro;
5. Levantamento da bacia hidráulica;
6. Levantamento de empréstimos.

3.1.1 - Cartografia

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE, na escala de 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40m. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem. Para esses estudos também foram utilizadas fotos aéreas da região e o Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000.

3.1.2 - Transportes de Coordenadas

Foram utilizados como partida, marcos geodésicos do IBGE, implantados na área em estudo, em um ponto do boqueirão. Este ponto serviu de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias a elaboração das plantas topográficas. Foram implantados dois marcos, os quais são descritos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Marcos Topográficos da Barragem Jenipapeiro			
MARCO N°	ESTACA	COORDENADA	
		ESTE (X)	NORTE (Y)
M-01	0+0,00 (Ombreira Direita da Barragem)	528.911,005	9.262.457,250
M-02	29+13,00 (Ombreira Esquerda da Barragem)	527.297,069	9.262.116,191

3.1.3 - Transportes de Cotas

O transporte de cotas se fez a partir do marco do IBGE mais próximo, através de poligonais de nivelamento e de contra-nivelamento levantadas com equipamentos topográficos de precisão compatíveis com os serviços, Nível Wild NAK-1.

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento. Estas poligonais são apresentadas nas cadernetas de campo do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 150 metros à montante e 150 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Os pontos no eixo barrável foram estaqueados, numerados e cotados a cada 10 metros, podendo ser encontradas estacas intermediárias, onde indicam elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc. Foram instalados 5 (cinco) marcos topográficos ao longo do eixo barrável para facilitar uma futura relocação.

Os levantamentos dos eixos longitudinal e transversal do sangradouro seguiram a sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções tiveram seus levantamentos prolongados à montante, até a cota fixada para soleira, e à jusante, até encontrarem o leito do rio. Para distâncias maiores, o levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 40 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. Foram levantados dois canais de fuga para o estudo de implantação do sangradouro, sendo um localizado na ombreira direita, a partir da estaca 22 e um segundo localizado na ombreira esquerda, a partir da estaca 19.

A calha do rio à jusante também foi levantada, desde o eixo barrável até o ponto onde o canal de sangria encontra o rio. As seções são a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado do eixo. Os pontos foram cotados a cada 20 metros, podendo ser menor este espaçamento caso o relevo ou outro fator exija maior nível de detalhamento.

Esses levantamentos permitiram a confecção dos desenhos, da seção transversal do boqueirão sangradouro com escala vertical 1:200 e horizontal 1:2000, e planta com curvas de nível a cada metro na escala 1:2000, apresentados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos

3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Jenipapeiro, o Consórcio firmou contrato com a empresa *BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A*, tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida, na escala 1:15.000 e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica da barragem Jenipapeiro.

- Cobertura Aerofotogramétrica

A cobertura aerofotogramétrica teve todos os serviços executados de acordo com as Especificações Técnicas, sendo isentos de defeitos, de falhas e de omissões.

Toda a área sobrevoada foi realizada com aeronave modelo Navajo PA31 bimotor, equipada à tomada de aerofotos e homologada para vôos aerofotogramétricos.

As fotografias foram obtidas com câmara aerofotogramétrica da marca ZEISS, modelo RMK-TOP, de última geração, dotada de mecanismo compensador do arrastamento de imagens causado pelo deslocamento da aeronave, chassi giro-estabilizado, que compensa instantaneamente as eventuais inclinações da aeronave e mecanismo automático que possibilita o registro das coordenadas do centro da foto no momento da tomada.

Foi utilizado filme aerofotogramétrico colorido de base estável, marca Kodak Aerocolor HS Film SO 846 de alto poder resolutivo e quadro com formato útil de 23 x 23 cm.

O processamento do filme e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando-se papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.

- Mapeamento Planialtimétrico

Para o apoio básico, foram implantados 06 vértices, monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Jenipapeiro tivemos na planimetria origem no Vértice Boqueirão do IBGE de latitude 06°42'30,1175" S e longitude 38°57'00,5680" W e altitude de 478,70 m, e chegada no Vértice Pedra Sozinha do IBGE de latitude 06°51'58,0050" S e longitude 38°46'39,1130" e altitude de 574,38 m..

Foram implantados os vértices M-00 a M-05, nivelados geometricamente tendo como origem a RN-1875R com cota 269,0557m e chegada a RN 1876E com cota 272,6990m, ambas do IBGE. A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

Para a geração dos trabalhos de aerotriangulação, as imagens foram obtidas a partir da scannerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com utilização de "scanner fotogramétrico" com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a scannerização executada.

No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Para a vetorização dos elementos cartográficos: sistema hidrográfico; altimetria; referências de nível; e ortofoto, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Todos os trabalhos seguiram as *Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

3.1.6 - Levantamento das Jazidas

As equipes de estudos geológicos e geotécnicos identificaram e classificaram, como fonte de materiais para construção da barragem, três jazidas de solos, denominadas de J-01, J-02 e J-03, um areal denominado de A-01 e duas pedreiras, denominada de P-01 e P-02, que foram locadas pela equipe de topografia em relação ao eixo da barragem.

3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos

No Tomo 2 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro, conforme a relação dos desenhos a seguir:

II – 2 – 01 / 19 – 002 - Planta da Bacia Hidráulica

II – 2 – 02 / 19 – 002 - Boqueirão e Sangradouro – Planta e Locação das Sondagens

II – 2 – 03 / 19 – 002 - Planta Geral de Locação das Ocorrências

II – 2 – 04 / 19 – 002 - Locação das Ocorrências

3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

A área em estudo para o projeto da barragem Jenipapeiro fica situada entre os municípios de Ipaumirim, Baixio e Umari, no sul do Estado do Ceará, numa região 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:

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- 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 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;

- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:2.000;
- Elaboração de perfil geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala horizontal 1:2.000 e escala vertical 1:200;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Para orientação dos perfis de caminhamentos e localização e indicação dos pontos básicos para o estudo em epígrafe, foram utilizados aparelhos de GPS de mão e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.

3.2.1 - Geologia Regional

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Rio Jaguaribe, executado pelo DNPM, em 1979, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Rio Jaguaribe.

Os cursos fluviais são dominados basicamente pelo sistema do Rio Jaguaribe, tendo como seu principal contribuinte, na região, o Rio Salgado, e apresentando uma drenagem dendrítica e densa, devido à elevada impermeabilidade dos terrenos cristalinos que cobrem a maior parte da área em estudo.

O relevo da região é caracterizado por algumas diferenciações resultantes da variação das características litológicas e, parcialmente, devido à tectônica que influi decisivamente na formação de maciços montanhosos. Configura-se de forma dominante um extenso pediplano, profundamente entalhado por erosão diferencial sobre migmatitos, gnaisses, granitos porfiróides e as extensas baixadas de rochas sedimentares. Vários maciços residuais, em geral de gnaisses graníticos e granitóides sobressaem-se na paisagem arrasada. Ao lado das formas elevadas e onduladas de rochas cristalinas, dispõem-se as amplas baixadas dos sedimentos do Grupo Rio do Peixe, cujos limites com o embasamento cristalino são marcados por flancos abruptos ao longo das falhas de abatimento, com desníveis pequenos, formando áreas mais arrasadas.

A geologia da região é marcada principalmente pela ocupação dominante das rochas cristalinas Pré-Cambrianas, encontrando-se também em menor escala, sedimentos cenozóicos e mesozóicos.

As unidades do Pré-Cambriano passaram por intensos processos tectônicos associados a fenômenos de migmatização e granitização que mascaram

acentuadamente as estruturas originais das rochas, camuflando as possíveis discordâncias entre os grandes grupamentos litológicos. Por este motivo foi adotado uma divisão litológica para estas unidades estratigraficamente indiferenciadas, conseguindo-se desta forma separar quatro unidades litológicas, a seguir descritas:

- **Complexo Caicó:** é a unidade mais abrangente, caracterizando-se por apresentar uma sequência parametamórfica heterogênea, constituindo uma grande variedade litológica, com elevado grau de cristalinidade, composta de gnaisses diversos intercalados com faixas de paranfibolitos, metarcóseos, quartzitos, calcários cristalinos e migmatitos. Os contatos com as demais unidades podem ser concordantes e discordantes, bruscos ou gradacionais. O estilo de dobramento característico é o desarmônico, com sinformes apertadas e antiformes alargadas. As lineações estruturais variam de direção, podendo acontecer segundo NE-SW, ou segundo N-S, sendo responsável por essa variação as intensas movimentações tectônicas a que foi submetida a área. Os importantes falhamentos transcorrentes que ocorrem na região acarretam o aparecimento de feições cataclásticas. As rochas gnáissicas típicas desta sequência encontram-se frequentemente migmatizadas, com composição variada ocasionando o aparecimento de biotita-gnaisses, muscovita-biotita-gnaisses e hornblenda-biotita-gnaisses. Ocorrem ainda gnaisses e migmatitos homogeneizados com núcleos de nebulitos e anatexitos, em que a lineação é difusa ou inexistente.
- **Rochas Plutônicas Granulares:** As rochas dessa unidade estão encaixadas no Complexo Caicó, possuindo em geral forma alongada segundo a estruturação regional, circundadas pelos alinhamentos estruturais. Agrupam diversos tipos litológicos com características texturais semelhantes, incluindo os granitóides que englobam granitos equigranulares de texturas fina e grosseira (pegmatóide) e os granitos e/ou granodioritos porfiróides; os sienitos e os corpos gabróides, constituindo pequenos corpos de gabros. Com exceção dos gabróides, os demais tipos litológicos desta unidade apresentam composição essencialmente granítica e/ou granodiorítica, contendo biotita e hornblenda, textura porfiróide ou equigranular, com certa orientação dos minerais.
- **Grupo Ceará:** representa uma associação de rochas relacionadas a faixas de baixo e alto grau de metamorfismo (xistos verdes e anfibolito), constituindo uma sequência ectinítica parametamórfica, com quartzito basal ao qual sobrepõem-se xistos, filitos, gnaisses e níveis de rochas carbonáticas. Sua forma mais comum de ocorrência é a de sinclinais

simétricas e reviradas, repousando concordantemente sobre rochas do Complexo Caicó.

- **Diques Ácidos:** são agrupadas nesta unidade todas as rochas filoneanas de caráter petrográfico ácido e hiperácido, como granitos filoneanos, pegmatitos e veios quartzosos e de sílica cripto-cristalina. Essas rochas geralmente não são mapeáveis em escala regional e ocorrem preenchendo fraturas.

O Mesozóico é representado pelos sedimentos cretáceos do Grupo Rio do Peixe.

- **Grupo Rio do Peixe:** distribui-se por diversas bacias de afundamento, com formas de graben a meio-graben. Forma uma sequência padrão que compreende três sub-unidades, da base para o topo: Formação Antenor Navarro, Formação Souza e Formação Rio Piranhas. A Formação Antenor Navarro, essencialmente psamítica, inclui conglomerados brechóides, arenitos conglomeráticos, arenitos finos-médios, siltitos e folhelhos. Sobreposta a esta se encontra a Formação Souza, pelítica, onde predominam arenitos finos, siltitos e folhelhos, incluindo ainda níveis margosos. Finalmente, completando a sequência, tem-se a Formação Rio Piranhas, fundamentalmente psamítica, com domínio de arenitos grosseiros a finos intercalados com níveis silticos e de folhelhos.

O Cenozóico está representado pelos sedimentos que compõem o Grupo Barreiras, e coberturas Tércio-Quaternárias de natureza colúvio-elúvio-aluvial:

- **Grupo Barreiras:** os sedimentos do Grupo Barreiras estão sub-enquadrados na Formação Moura de idade tércio-quaternária, que é formada por conglomerado polimitico, na base, de matriz arenosa de grã grossa, fracamente diagenizada, mal selecionada e pobremente cimentada por material siltico-arenoso de coloração vermelha a creme, bem como areias de granulação variável de colorações avermelhadas e amarelo-claras, e siltitos vermelhos no topo.
- **Aluviões:** são depósitos sedimentares, de idade quaternária, que se concentram nos leitos e margens dos principais rios, compostos de areias, cascalhos e argilas.

Os aspectos estruturais da região mostram uma grande complexidade de efeitos resultantes da dinâmica de movimentação tectônica de natureza plástica e ruptural. Os grandes falhamentos, essencialmente transcorrentes, com eventuais componentes de abatimento e empurrão, representam as linhas estruturais de

rasgamento, destacando-se a falha de Tatajuba, de direção E-W, responsável pela nítida subdivisão da área em dois blocos de comportamento estrutural completamente diverso, com brusca variação nos padrões das linhas estruturais e aparecimento de “drags” sugestivos de movimento dextral. Outros eventos de destaque são a Falha de Orós e a Falha de Jaguaribe, que representam fahamentos transcorrentes de direção NE-SW, com vergamentos na parte sul. A falha de Jaguaribe, de rejeito destrógiro possui extensão total aproximada de 250Km. Ao longo das falhas, são frequentemente encontradas faixas cataclásticas e miloníticas. Através de um intenso processo de reativação das falhas transcorrentes, responsáveis pelos grandes traços estruturais da área, se deu uma fase tectônica de gravidade posterior, responsável pelo aparecimento de autênticas fossas tectônicas, à semelhança de grabens e meio-grabens, ensejando por sua vez, a formação de típicas bacias de afundamento onde se depositaram, naquele ambiente propício, os sedimentos do Grupo Rio do Peixe.

3.2.2 - Geologia Local

O local escolhido para o eixo da barragem fica situado no município de Baixio, na localidade denominada Sítio Xiquexique, distribuindo-se a bacia hidráulica entre os municípios de Ipaumirim, Umari e Baixio.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo do eixo da barragem e sangradouros e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

Predominam no local as rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas pôr veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filoneanos. Há um predomínio dos gnaisses bandeados, com lentes de anfíbolito e leitos de metarcóseos. Na grande maioria dos afloramentos visualizados a rocha apresenta aspecto cataclástico e milonítico, denunciando os efeitos resultantes dos processos de movimentação tectônica ocorridos na área. Ocorrem com frequência, também, gnaisses-migmatíticos, com estruturas planares bem desenvolvidas, de granulação fina a média, cor cinza, com muitos dobramentos, micro-dobramentos desarmônicos, tendo como constituintes básicos do paleossoma os minerais biotita, quartzo e pouca hornblenda, intercalados com veios ou agregações quartzo-feldspática e pegmatóide que constituem a porção neossomática. Essa disposição entre o paleossoma e o neossoma forma estruturas diversificadas como: estromática, flebítica e dobrada. Os gnaisses miloníticos e migmatíticos são dominantes em toda a área estudada, tanto ao longo do eixo locado como na bacia hidráulica.

A foliação dominante na área está orientada segundo NW-SE, com mergulhos, na sua maioria verticais, e quando subverticais, variando predominantemente entre 60° a 88°, ora para SW, ora para NE.

Na porção Este da bacia hidráulica, à montante do eixo locado, próximo a Umari, mais precisamente na fazenda Sta. Teresinha, há uma área com ocorrências de afloramentos graníticos. Os afloramentos ocorrem algumas vezes como pequenos blocos, espalhados de forma dispersa, com granulação fina a média, cor variando de cinza-clara a rósea, composta essencialmente dos minerais quartzo, feldspatos (plagiocásio e ortoclásio), biotita e muscovita, ocorrendo eventualmente pórfiros de ortoclásio, e exibindo comumente alguma orientação dos minerais. Indo em direção ao eixo locado, ou seja, de montante para jusante percebe-se uma certa alternância entre ocorrências gnáissicas e graníticas, sugerindo um contato gradacional.

Na porção mais à montante da bacia hidráulica, já bem próximo a Umari, ocorre nitidamente a litologia de composição arenítica pertencente à Formação Antenor Navarro que constitui, segundo o Projeto Rio Jaguaribe, a unidade basal do Grupo Rio do Peixe, fazendo contato com o embasamento através de falha. Os afloramentos visualizados nos cortes da estrada entre Baixio e Umari exibem arenitos de grã fina creme a avermelhado, com leitos finos intercalados de siltitos e argilitos variegados, com acamamento fino de atitude segundo $N170^{\circ}Az/8^{\circ}NE$, e estratificações cruzadas. Em alguns locais mais erodidos são visualizados leitos conglomeráticos contendo concentrações de seixos de quartzo subangulosos e subarredondados, numa matriz arenosa grosseira, mal selecionada com tons creme, cinzento e róseo.

A drenagem local, na área de domínio dos gnaisses, ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

A área de ocupação da bacia hidráulica da barragem em estudo está situada entre as feições estruturais de maior destaque da região, conforme já descritas no item Geologia Regional, que são as falhas de Tatajuba, Jaguaribe e Orós, além de ser recortada por uma expressiva falha de empurrão ou inversa, com direção segundo NW-SE. Esse tipo de falhamento caracteriza-se por um eixo principal de tensão essencialmente horizontal, com direção de máximo alívio vertical, possuindo movimento com rejeito de mergulho inverso, resultando na subida de um bloco (A), formado pelo embasamento, em relação ao que desce (B), constituindo a bacia sedimentar onde ocorrem os arenitos. A presença dominante dos gnaisses miloníticos e catacláticos que ocorrem por quase toda a faixa de ocupação do eixo locado e em boa parte da bacia hidráulica é resultante de toda essa movimentação estrutural.

Nas margens do Rio Jenipapeiro e do Riacho das Pombas, se formam os depósitos aluviais, constituídos de areias finas mal selecionadas e silte areno-argiloso de cor cinza clara a escura, sendo muito escassa nas calhas dos rios, a formação de depósitos de areias granulares que se prestem para a utilização de agregados para a obra.

Com relação à disponibilidade de materiais pétreos, a área oferece um grande manancial, facilitando sobremaneira a localização e definição de locais propícios para pedreiras.

3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo a identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos.

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 ou as áreas com maior concentração de 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 NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m, e se subdivide em três segmentos contínuos que incluem duas opções de estudo para sangradouro, nas ombreiras, e a barragem, sendo que a marcação do primeiro trecho, a partir da ombreira direita, em uma das opções para sangradouro, se dá de forma decrescente da direita para a esquerda (Est.25 a Est.00=Est.00 da barragem). No ponto onde fica a Est.17 do sangradouro o eixo sofre uma deflexão, mais a frente na Est.11 do sangradouro tem-se outra deflexão, e na Est.00=Est.00 da barragem o eixo sofre mais uma deflexão e o estaqueamento segue a cada 20 metros crescendo da direita para esquerda (Est.00 a Est.31 +3.00m da barragem). A partir da Est.31 + 3.00m (barragem)=Est.00 (sangradouro) o eixo passa por outra deflexão e inicia-se novo trecho com estaqueamento crescente no mesmo sentido do eixo da barragem, constituindo outra opção de estudo para sangradouro (Est.31=Est.00 a Est.22 + 18,00m). Ao longo desse traçado foram identificadas as seguintes litologias:

- Da Est.25 a Est.00 (sangradouro): o terreno apresenta relevo ondulado, com maior declividade para jusante, e há uma presença marcante de afloramentos. O solo de superfície é silto-arenoso, micáceo, pedregulhoso, de cor avermelhada. Ocorrem vários afloramentos a nível superficial de solo, sendo a rocha classificada como um gnaisse milonítico, de cor cinza, mesocrática, ocasionalmente apresentando tons amarelados resultantes da alteração superficial, bandeada, com foliação bem definida, grã fina a média, muitas vezes apresentando estruturas estromáticas, dobradas e microdobramentos e fraturamentos não muito intensos, com mineralogia composta essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio), biotita e hornblenda. Em alguns afloramentos a rocha apresenta-se mais intensamente migmatizada, com diversas estruturas dobradas, inclusive dobras em “S” e dobras em “M”, que indicam forte movimentação tectônica, além da presença de cristais fenoblastos de feldspatos orientados de forma concordante com a foliação e representando indícios de cataclase. Em vários casos a

rocha é recortada por veios quartzo-feldspáticos ou pegmatíticos com espessuras de até 10 cm, concordantes com a foliação. Eventualmente ocorrem disseminados na rocha várias pontuações de mineral de cor escura, muitas vezes orientados, podendo ser turmalina (afrisita). A foliação predominante da rocha neste trecho é N120°Az/80°SW, sendo que em muitos casos o mergulho é vertical. Essa medida indica uma direção preferencial segundo NW-SE, praticamente perpendicular ao fluxo de saída de água por esta opção de sangradouro, representando portanto, uma situação favorável com relação ao sentido preferencial de percolação. A aproximadamente 150 metros à jusante do eixo, nesse trecho, a topografia é plana e o terreno é recoberto por solo silto-areno-argiloso de cor cinza clara, com características de solo elúvio-aluvial. As principais áreas de ocorrências de afloramentos nesse trecho foram delimitadas e estão indicadas em anexo no mapa geológico.

- Da Est.00 a Est.15 (barragem): O terreno se desenvolve com as mesmas características, com declividade suave em direção ao talvegue do rio. Os afloramentos de rocha têm as mesmas características descritas, sendo mais escassos em alguns locais, principalmente para jusante, entre as estacas 7 a 10. Nas áreas onde há escassez de afloramentos o solo tem composição silto-arenosa, de cor avermelhada, recobrando o substrato rochoso com uma espessura, em média, inferior a 1,00 m.
- Da Est. 15 a Est. 21 (barragem): forma-se um extenso e plano terraço aluvionar, desenvolvendo-se de forma mais ampla pela margem direita, onde o solo é constituído de silte areno-argiloso com granulometria fina e cor cinza-clara a escura. No leito do Rio Jenipapeiro, na Est. 20+15,00m, a 20 metros para jusante ocorrem afloramentos de gnaiss milonítico com foliação N110°Az/Vert., ou seja, neste ponto a foliação da rocha se comporta praticamente perpendicular ao fluxo do leito do rio, com mergulho vertical, numa situação perfeitamente favorável no que diz respeito ao sentido preferencial de percolação. Ainda no leito do rio, na estaca 21, a 140 metros para jusante a rocha aflora nas mesmas condições, com foliação N120°Az/80°SW. Na estaca 20, a 25 metros para montante ocorrem, também no leito do rio, afloramentos de gnaiss milonítico.
- Da Est. 21 a Est.31 + 3,00m (barragem): pela margem esquerda do rio a faixa de aluvião é bem mais delgada, tendo-se logo o ressurgimento da rocha cristalina, com diversos pontos de afloramentos de gnaiss apresentando-se na maioria das vezes milonitizados e algumas vezes bastante migmatizados, com as mesmas características supradescritas.
- Da Est.31 + 3,00m=00 a Est.22 + 18,00m (sangradouro): nesse trecho desenvolve-se a outra alternativa de estudo para o sangradouro. A topografia do terreno ao longo do eixo é plana com declividades para

montante e jusante. Os afloramentos ocorrem via de regra ao nível da superfície do solo. Em todo o trecho a rocha apresenta foliação orientada segundo NW-SE, porém com mergulho subvertical para NE. Na Est.8 a 140 metros para jusante, na beira de um açude, ocorrem grandes afloramentos em forma de blocos e lajedos. A rocha em alguns locais tem aspecto de gnaiss, e em outros possui estrutura granítica, com minerais apresentando uma certa lineação, de cor cinza clara, grã fina a média homogênea, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita.

A partir de 435 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e nas alternativas de sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura 3.1, se dá segundo N30°Az a N40°Az, representando um percentual de 28,06% do total medido e entre N40°Az a N50°Az, representando 18,00%. O mergulho se dá preferencialmente vertical, apresentando também muitos valores subverticais (70° a 80°) para NW.

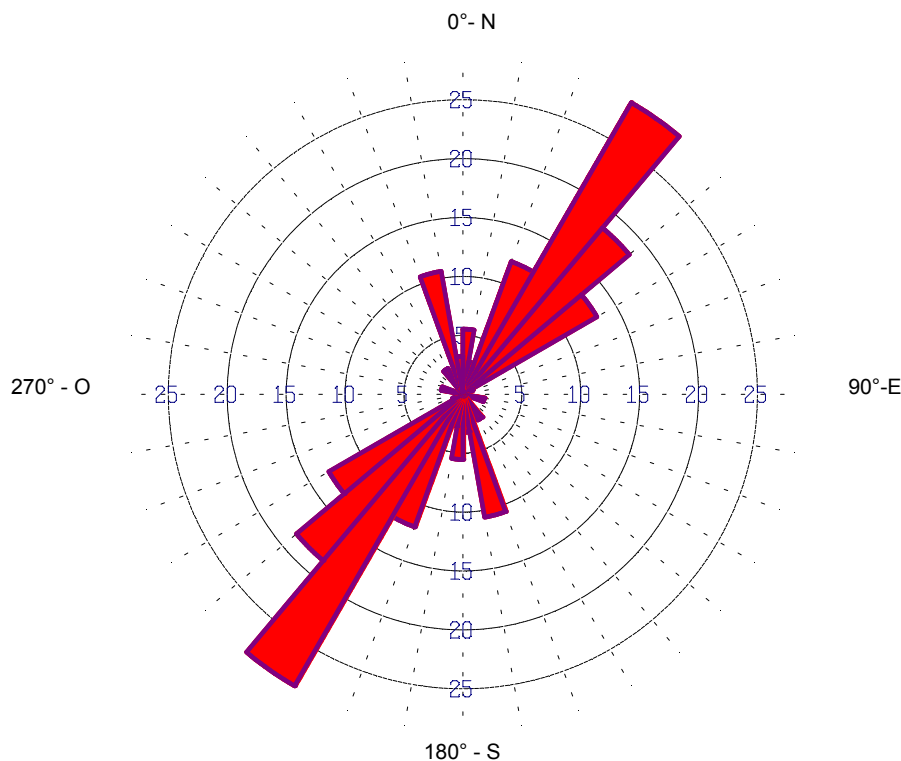


Figura Nº 3.1: Diagrama de Roseta para 435 medidas de direções de fraturas.

3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos consistiram na investigação do subsolo no eixo barrável e no eixo do sangradouro e no estudo das ocorrências de materiais para construção. Em função dos resultados destes estudos iniciais poderão ser executadas

investigações das propriedades de engenharia destes materiais (da fundação e de construção).

3.3.1 - Investigação Geotécnica

As sondagens mecânicas realizadas na barragem Jenipapeiro foram realizadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas no quadro 3.2.

Quadro 3.2: Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro		
SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SANGRADOURO		
SM-20	18	Eixo
SM-17	19	Eixo
SM-14	20	Eixo
SM-05	23	Eixo
SM-02	24	Eixo
BARRAGEM		
SP-22	4C	Eixo
SP-23	6C	Eixo
SP-24	8C	Eixo
SP-25	10C	Eixo
SM-28	14	Eixo
SM-31	16	Eixo
SM-34	18	Eixo
SM-37	20	Eixo
SM-40	22	Eixo
SM-43	24	Eixo
SP-45	25	Eixo
SP-26	26	Eixo
SP-46	27	Eixo
SP-47	28	Eixo

3.3.1.1 - Metodologia Empregada

Nas sondagens a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi usado o trado concha de 4”, ao encontra-se o nível d’água ou material impenetrável a esta ferramenta, o furo foi revestido e prosseguido por lavagem até atingir-se por sua vez, material impenetrável a este processo.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2” e ‘ 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por

meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador 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, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de “Standard Penetration Test (SPT)”.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas com uma sonda rotativa. O processo de execução do furo no trecho percussivo obedeceu as diretrizes descritas anteriormente. As sondagens rotativas foram executadas com coroa NX (diâmetro externo igual a 2,965pol e diâmetro interno igual a 2,155pol) de diamante acoplada a um barrilete giratório com caixa de mola. Para cada operação do barrilete foram registrados a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

3.3.1.2 - Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica

A locação dos furos de sondagem é apresentada no Desenho II – 2 – 02 / 19 – 02, Tomo 2 do Anteprojeto.

Os resultados das investigações geotécnicas são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, sob a forma de perfis individuais.

A partir dos boletins de sondagem elaborou-se o perfil geotécnico das camadas do subsolo, mostrado no Desenho II – 2 – 03 / 19 – 02 do Tomo 2 do Anteprojeto.

3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas três jazidas de solos, denominadas de J-01, J-02 e J-03, um areal denominado de A-01 e duas pedreiras, denominada de P-01 e P-02.

3.3.2.1 - Jazida

Foram identificadas três jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01, J-02 e J-03.

No quadro 3.3 são apresentadas as características de cada jazida.

Quadro 3.3: Características das Jazidas			
Característica	JAZIDA		
	J-01	J-02	J-03
ÁREA (m²)	125.000	145.000	365.000
VOLUME ÚTIL (m³)	50.000	62.350	244.550

Quadro 3.3: Características das Jazidas

Característica	JAZIDA		
	J-01	J-02	J-03
VEGETAÇÃO	Rala	Rala	Rala
PROPRIEDADE	-	João P Sales / Gonçalo P Sales	Manoel F Pontes / Raimundo T Gomes
ESPESSURA MÉDIA DE ESPURGO (m)	0,10	0,10	0,10
QUANTIDADE DE FUROS	30	43	94
MALHA (m)	100 X 50	100 X 50	100 X 50

Nas jazidas de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta nos vértices da malha. Nesses furos foram coletadas amostras, as quais foram enviadas ao laboratório e submetidas a ensaios geotécnicos.

Os ensaios de laboratório foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento.
- Limite de Liquidez.
- Limite de Plasticidade.
- Compactação – Proctor Normal.

No quadro 3.4 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro 3.4: Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Jazidas

JAZIDA	GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)							PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
	2''	1''	3/8''	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (g/cm ³)
J-01	100	100	89	83	79	71	44	34	10	SC	13,6	1,765
J-02	100	97	89	82	72	47	21	33	8	SM	13,4	1,775
J-03	100	100	99	98	93	66	37	32	12	SC	13,8	1,810

3.3.2.2 - Areal

Foi identificado um areal para a construção da barragem, denominado de A-01, apresentado no quadro 3.5 a seguir.

Quadro 3.5: Características do Areal	
Característica	Areal A-01
ÁREA (m ²)	20.000
VOLUME ÚTIL (m ³)	24.000

Para o areal foi realizado o ensaio em laboratório de Granulometria por Peneiramento. No quadro 3.6 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro 3.6: Valores Médios dos Ensaio de Laboratório – Areal												
Granulometria (% que passa)											D_{máx}	M.F
2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100		
100	100	100	100	100	96	87	60	25	7	1	4,8	3,50

3.3.2.3 - Pedreira

Foram identificados duas pedreiras para a construção da barragem, denominadas de P-01 e P-02.

Para a pedreira foram realizados ensaios em laboratório de Desgaste de Agregado por Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64)

3.3.2.4 - Apresentação dos Resultados Geotécnicos das Ocorrências

Os resultados dos estudos geotécnicos são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

3.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos tiveram como objetivo o conhecimento dos fenômenos hidroclimatológicos da bacia hidrográfica e que são diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões. Este relatório contém os elementos necessários à tomada de decisão sobre o porte da barragem e suas obras complementares, abordando os seguintes tópicos:

- Caracterização Física da Bacia Hidrográfica
- Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica
- Regime Pluviométrico da Bacia Hidrográfica
- Regime Fluvial e o Dimensionamento do Reservatório
- Regime Fluvial Médio
- Emprego de Metodologias
- Dimensionamento do Vertedor

O quadro 3.7 a seguir, apresenta um sumário técnico dos estudos hidrológicos da bacia hidrográfica da barragem Jenipapeiro.

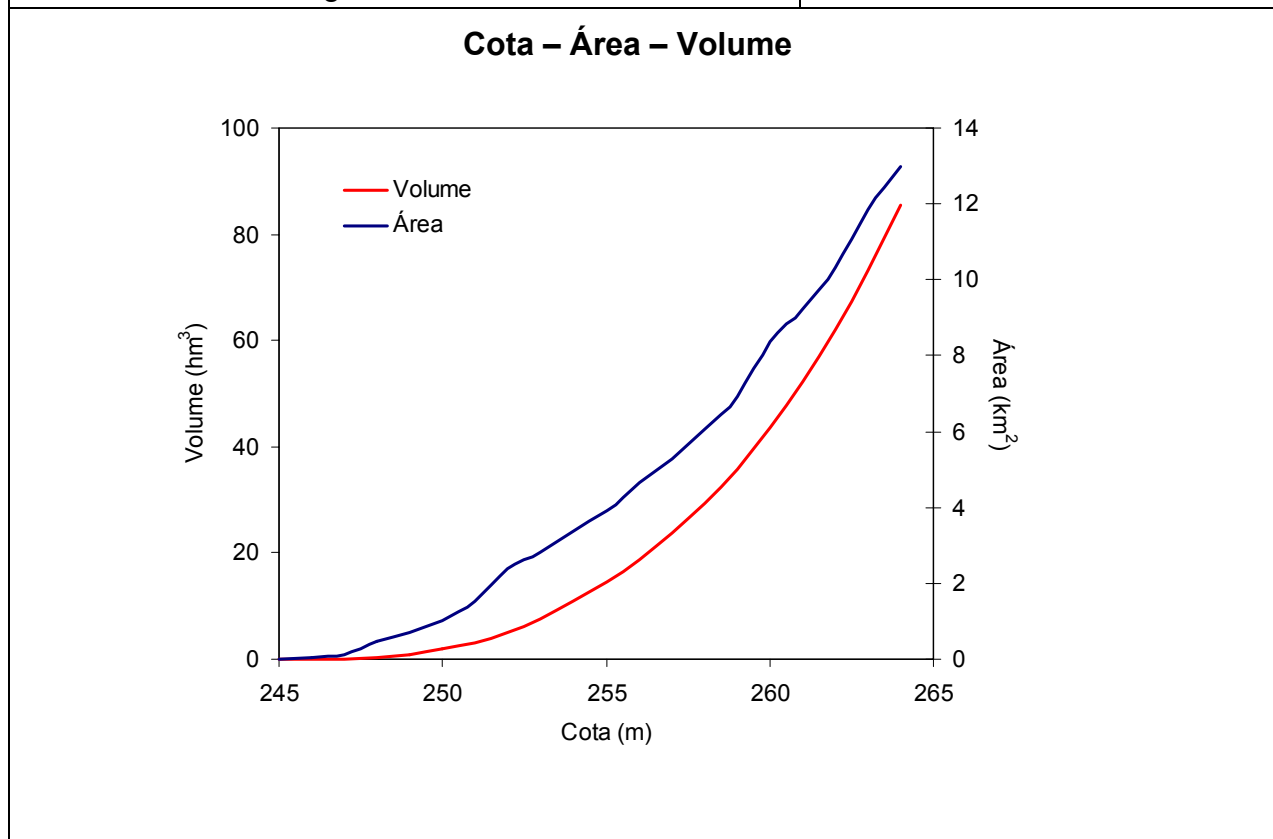
Quadro 3.7 - Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

Caracterização da Bacia	
Área da bacia do Açude Jenipapeiro	186,4 km ²
Perímetro da bacia do Açude Jenipapeiro	74,2 km
Declividade média da bacia do Açude Jenipapeiro	18 m/km
Comprimento do rio principal	27,8 km
Fator de compacidade	1,53
Fator de forma	0,03
Tempo de concentração	4,05 hrs

Hidroclimatologia	
Pluviometria média anual	767,8 mm
Evaporação média anual	1988,1 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1905,0 mm
Insolação média anual	2897,6 h
Umidade relativa média anual	61,8 %
Temperatura média anual: média das máximas	31,7
Temperatura média anual: média das médias	25,6
Temperatura média anual: média das mínimas	20,3
Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	DdA'a'

Estudo de Cheias	
Precipitação efetiva	SCS
Propagação do escoamento na bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	80
Vazão afluente – tempo de retorno = 1000 anos	724,20 m ³ /s
Vazão afluente – tempo de retorno = 10000 anos	928,35 m ³ /s

Capacidade do Reservatório	
Cota da soleira do sangradouro	260 m
Cota de coroamento	264 m
Custo anual do m ³ armazenado	0,006 R\$/ano
Custo anual do m ³ regularizado	0,059 R\$/ano



Capacidade de Regularização			
<i>Resolução Direta da Equação do Balanço Hídrico – Cota 260 m</i>			
Regularizado (hm ³ - %)	Sangrado (hm ³ - %)	Evaporado (hm ³ - %)	Qr 90% (m ³ /s)
4,281 – 24,4%	6,397 – 36,5%	6,685 – 38,15%	0,143
<i>Diagrama Triangular de Regularização – Cota 260 m</i>			
4,375 – 25,0%	6,475 – 37,0%	6,650 – 38,0%	0,139

Dimensionamento do Sangradouro - Perfil Creager: $Z_w = 260,0$ m			
Largura (m)	Q_{out} (m^3/s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Tr = 1000 anos - $Q_{in} = 724,20 m^3/s$			
50	124,0	261,1	1,1
70	157,0	261,0	1,0
90	187,0	261,0	1,0
Tr = 10000 anos - $Q_{in} = 928,35 m^3/s$			
50	171,0	261,4	1,4
70	219,0	261,3	1,3
90	260,0	261,2	1,2

Estudos Adicionais	
<i>Probabilidade Esvaziamento/Enchimento</i>	
Probabilidade de esvaziamento associada à vazão com 90% de garantia	9,2%
Probabilidade de enchimento associada à vazão com 90% de garantia	26,1%
<i>Assoreamento</i>	
Volume final após 100 anos de simulação	39,3 hm^3
% assoreado	9,5%
Descarga sólida média	57866 t/ano

3.4.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica

A bacia do Açude Jenipapeiro abrange uma área de 186,4 km^2 , um perímetro de 74,2 km, uma declividade média de 18 m/km e um comprimento do curso principal de 27,8 km, um fator de forma (k_f) de 0,03 e um fator de compacidade (k_c) de 1,53.

A Figura 3.2 mostra a altimetria da bacia do Açude Jenipapeiro e a Figura 3.3 mostra os municípios que compõem a bacia: Baixio, Icó e Umari.

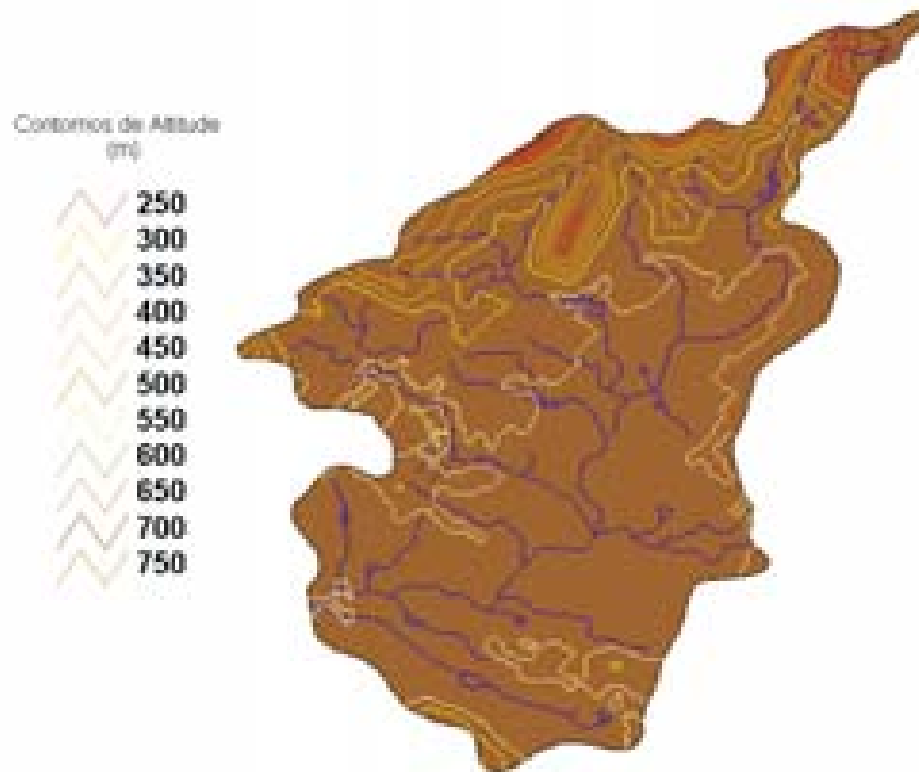


Figura 3.2 - Bacia do Açude Jenipapeiro.



Figura 3.3 - Municípios que compõem a Bacia do Açude Jenipapeiro.

A bacia do Açude Jenipapeiro tem predominantemente, solos Bruno não Cálcico e Solonetz Solodizado (NC4 e SS3, respectivamente, ver Figura 3.4), o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a baixa capacidade de drenagem (Figura 3.5).

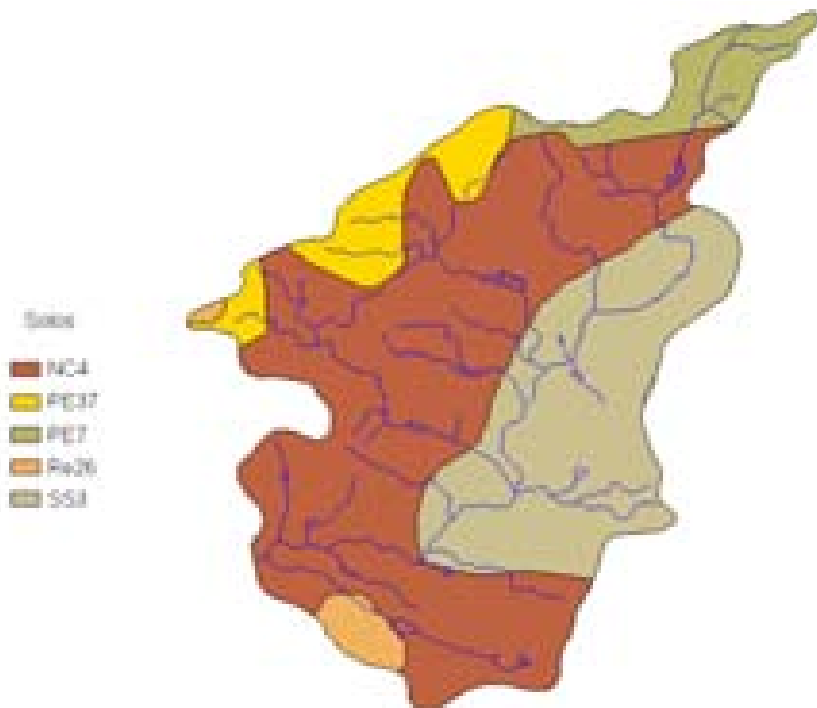


Figura 3.4 - Solos da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

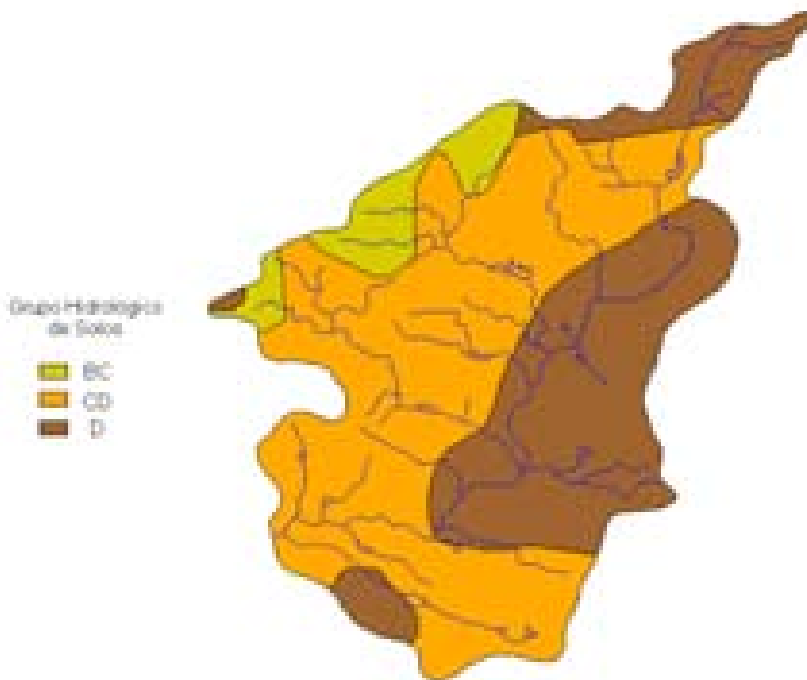


Figura 3.5 - Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

A vegetação predominante é a Floresta Caducifólia Espinhosa ou Caatinga Arbórea (Figura 3.6) e o principal uso é a agricultura (culturas anuais, temporárias e permanentes) e vegetação natural composta de matas e capoeiras (Figura 3.7).

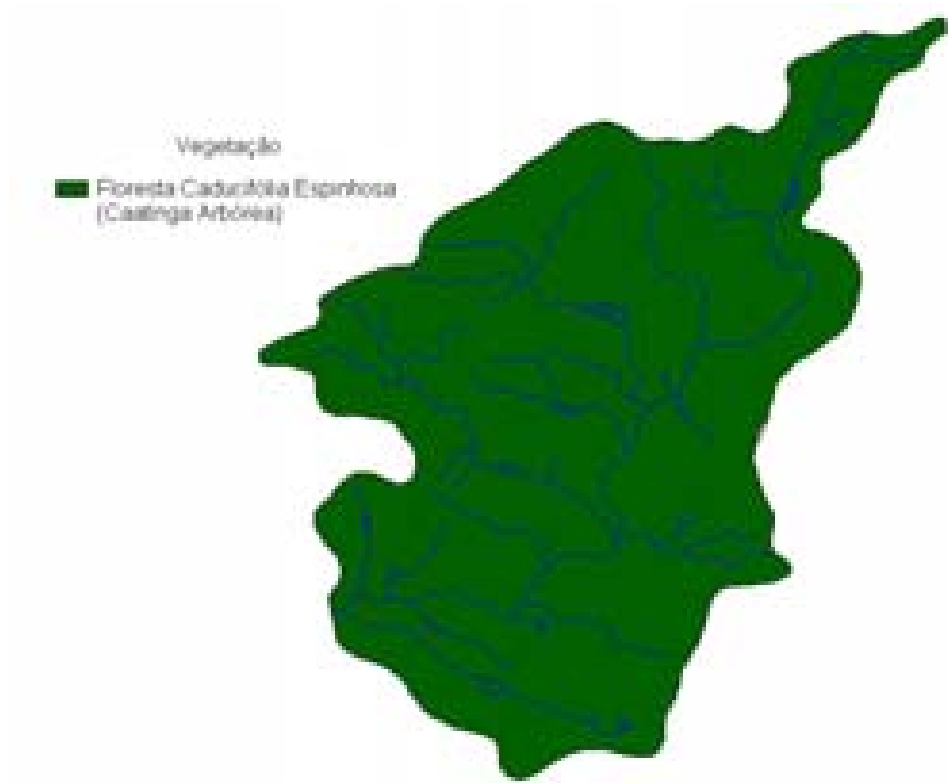


Figura 3.6 - Vegetação da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

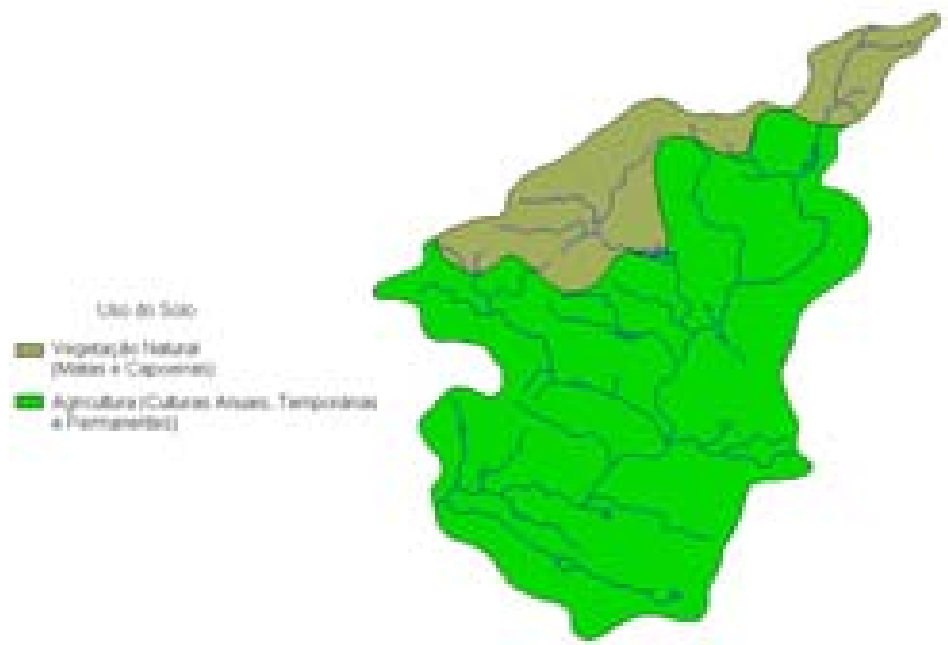


Figura 3.7 - Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

3.4.2 - Estudos Hidroclimatológicos

Não existe nenhuma estação hidroclimatológica nos domínios da bacia, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Iguatu, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991). As normais climatológicas aqui apresentadas são referentes aos dados coletados pelo INEMET entre o período 1969-1989. Os principais parâmetros são:

3.4.2.1 - Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes. A temperatura compensada apresenta uma variação de 3,7 °C, isso para os meses de outubro (27,3 °C) e junho (23,6 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de Outubro (33,9 °C) e Julho (20,2 °C), conforme se observa no Quadro 3.8.

Quadro 3.8: Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Iguatu

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	33,3	32,0	31,2	29,8	27,8	27,3	28,5	33,2	33,2	33,9	35,2	34,7
Comp.	26,4	26,7	24,3	24,2	24,6	23,6	25,5	25,5	26,4	27,3	26,5	26,7
Mínima	22,5	22,8	20,8	21,6	21,8	21,7	20,2	21,1	22,0	22,7	23,2	23,5

FONTE: INEMET (1991)

3.4.2.2 - Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 32%, referente aos meses de Abril (78%) e Novembro (46%), como se pode verificar no Quadro 3.9. Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria, que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a umidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

Quadro 3.9 - Umidade Relativa na estação de Iguatu

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
%	66	70	75	78	77	69	60	53	48	50	46	49

FONTE: INEMET (1991)

3.4.2.3 - Insolação Média

O Quadro 3.10 mostra, o número de horas de exposição no local da estação de Iguatu e sua distribuição mensal. Em termos atuais, no mesmo período, tem-se 2897,6 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 66% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/ abril, apresenta, por razões óbvias, os menores valores.

Quadro 3.10 - Insolação Média na estação de Iguatu

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
horas	218,8	179,6	203,0	196,5	247,1	235,5	244,5	284,1	307,0	280,8	266,7	234,0

FONTE: INEMET (1991)

3.4.2.4 - Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 1988,1 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 3.11. O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (236,6 mm).

Quadro 3.11 - Evaporação Média na estação de Iguatu

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	161,4	113,6	89,5	86,4	100,9	147,1	188,1	217,8	218,9	236,6	214,9	212,9

FONTE: INEMET (1991)

3.4.2.5 - Evapotranspiração

O Quadro 3.12 apresenta a evapotranspiração potencial mensal obtida segundo Hargreaves, totalizando 1905 mm.

Quadro 3.12 - Evapotranspiração Potencial (Hargreaves) na estação de Iguatu

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	192	144	140	125	123	120	142	160	176	190	194	199

3.4.2.6 - Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa à água aplicado a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração). Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1990), obtém-se o Quadro 3.13. A primeira coluna (P) representa os valores da precipitação mensal do posto Umari, escolhido como representativo da bacia hidrográfica do Jenipapeiro. A coluna da evapotranspiração potencial foi preenchida com os dados da Evapotranspiração Potencial, calculada por Hargreaves; a coluna NEG (negativo acumulado) representa um hipotético potencial matricial expresso em milímetros de déficit de água para o solo; ETR indica o valor da evapotranspiração real; a coluna DEF representa o déficit de água à planta a última coluna EXC representa a quantidade de água que ultrapassou a capacidade de retenção máxima do perfil considerado.

**Quadro 3.13 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather
Capacidade de Armazenamento = 100 mm**

Mês	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	81,90	192,00	-110,10	0,00	0,00	0,00	81,90	110,10	0,00
Fev	141,80	144,00	-2,20	2,20	0,00	0,00	141,80	2,20	0,00
Mar	204,50	140,00	64,50	43,00	64,50	64,50	140,00	0,00	0,00
Abr	147,20	125,00	22,20	15,00	86,70	22,20	125,00	0,00	0,00
Mai	73,80	123,00	-49,20	64,20	52,00	-34,70	108,50	14,50	0,00
Jun	31,90	120,00	-88,10	152,30	21,00	-31,00	62,90	57,10	0,00
Jul	16,70	142,00	-125,30	277,60	6,00	-15,00	31,70	110,30	0,00
Ago	7,40	160,00	-152,60	430,20	0,00	-6,00	13,40	146,60	0,00
Set	5,30	176,00	-170,70	600,90	0,00	0,00	5,30	170,70	0,00
Out	6,80	190,00	-183,20	784,10	0,00	0,00	6,80	183,20	0,00
Nov	14,10	194,00	-179,90	964,00	0,00	0,00	14,10	179,90	0,00
Dez	36,40	199,00	-162,60	1126,60	0,00	0,00	36,40	162,60	0,00
ANO	767,80	1905,00	-1137,20		230,20	0,00	767,80	1137,20	0,00

3.4.3 - Classificação do Clima

3.4.3.1 - Classificação segundo Köeppen

Segundo Köeppen existem cinco zonas diferentes de clima na terra, associadas a valores de temperatura e precipitação de acordo com a vegetação.

De acordo com esta classificação, a região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas Secos, tipo B. As chuvas são classificadas como do tipo Bwx', uma vez que a distribuição temporal da precipitação da área abrange o verão e o outono. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo muito quente, ou megatérmico.

3.4.3.2 - Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima.

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima semi-árido; tipo D, com índice efetivo de umidade variando entre -20% e -40%; clima seco, sub-tipo d, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (DdA'a').

3.4.4 - Estudos Pluviométricos

A série pluviométrica utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978) por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos, destinado à identificação de inconsistências nas séries históricas.

Apenas uma estação foi utilizada neste estudo, a mais próxima da área de interesse, bacia do Açude Jenipapeiro, que possui uma área de 186,4 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo.

O Quadro 3.14 mostra o posto pluviométrico utilizado neste estudo. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

Quadro 3.14 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional

Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Umari	3832361	1912 - 1988	6°39'	38°42'	350

Fonte: PERH-CE (1990)

3.4.4.1 - Caracterização do Regime Pluviométrico

Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 3.8 e 3.9, que mostram a região norte do Estado, onde se encontra a área do estudo, que apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica em torno de 800 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,35.

Para o posto de Umari temos uma média anual de 778 mm, um desvio padrão de 269 mm e um coeficiente de assimetria de 0,995. Uma análise freqüencial foi

realizada para o posto Umari (3832361), sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 3.15 resume esta análise de frequência.

Quadro 3.15 - Análise de Frequência dos Totais Anuais - Distribuição Pearson III.

Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	1141,44	1478,59	1617,96	1756,05	1938,1	2076,2	2542,79

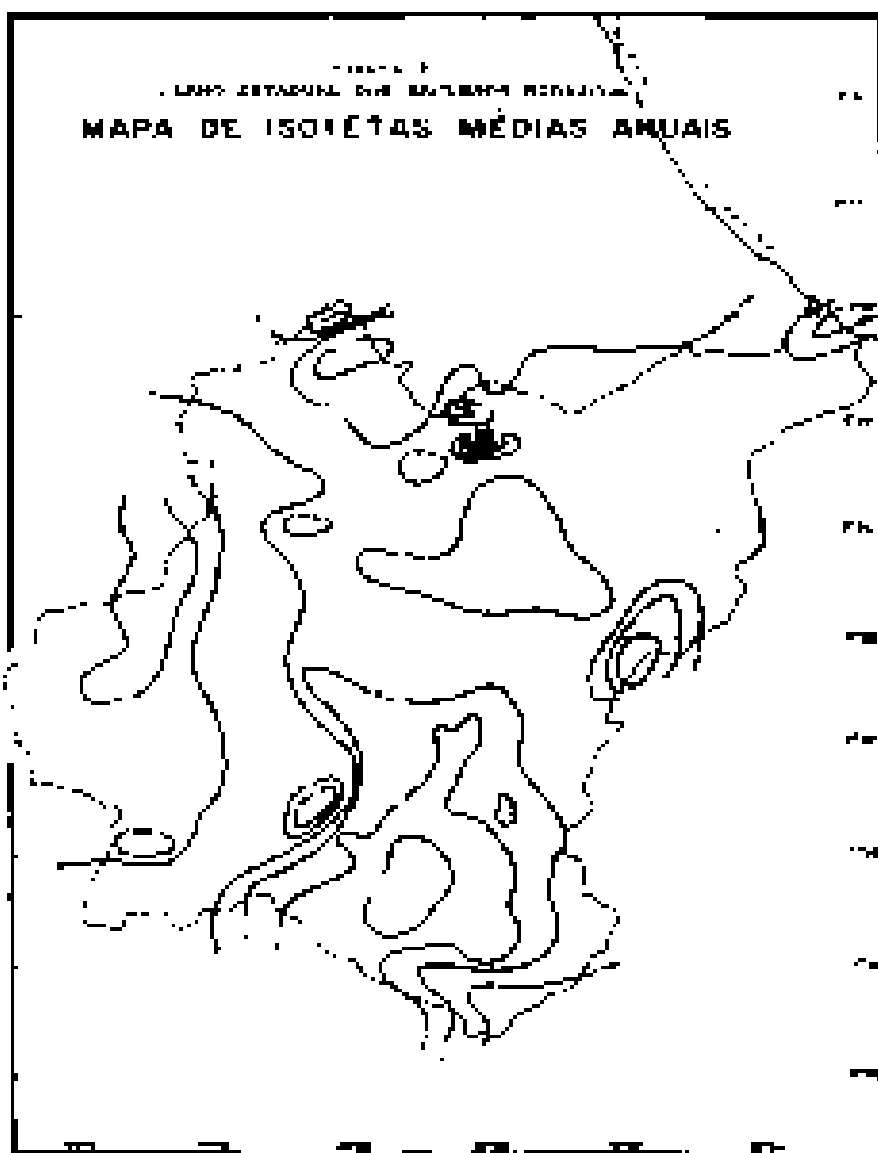


Figura 3.8 – Isoietas

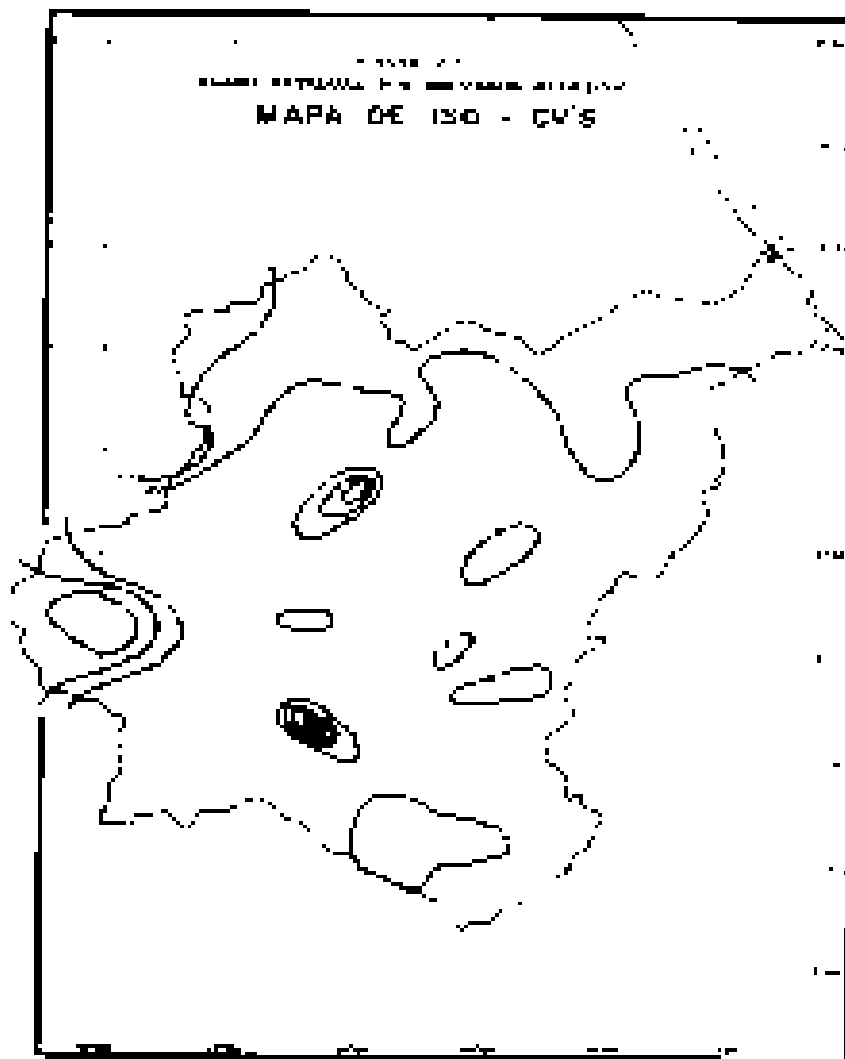


Figura 3.9 – Iso-cv's

Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 90% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde se constata que cerca de 65% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano. Neste trimestre, o mês de março corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 27% do total anual.

No Quadro 3.16 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 3.17 apresenta-se um resumo da análise de freqüência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado: Março. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

Quadro 3.16: Índices de Concentração Pluviométrica - Série de Valores Médios Mensais.

Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
3832361	MARÇO	204,5	26,6	FMA	493,5	64,3	1	681,1	88,7

Quadro 3.17 - Análise de Freqüência-Nível Mensal-Distribuição Pearson III.

Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	347,83	470,58	520,38	569,29	633,21	681,31	841,88

Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico, ou lenta, neste caso quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não são incomuns.

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

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as freqüências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 3.18.

Quadro 3.18 - Análise de Freqüência-Nível Diário-Distribuição Pearson III.

Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	96,60	120,01	129,61	139,09	151,53	160,94	192,56

Chuvas Intensas

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

Como alternativa ao método tradicional, tem-se o Método das Isozonas (TORRICO, 1975), que partindo da transformação da chuva de 1 dia em 24 horas, permite estimar valores para intervalos de menor duração. A Figura 3.10 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno obtidas a partir do posto de Umari (3832361) com a metodologia de Taborga.

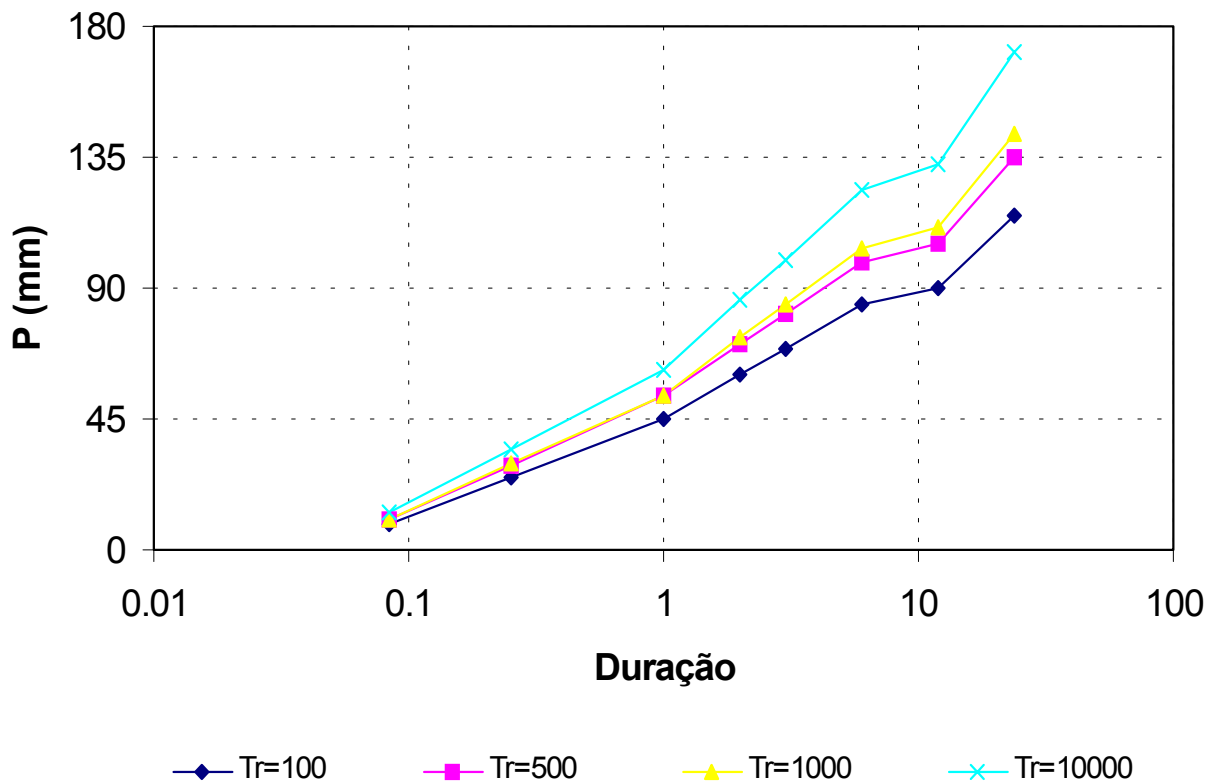


Figura 3.10 – Curvas intensidade-duração-freqüência

3.4.5 - Estudo de Cheias

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

3.4.5.1 - Precipitação

Para o cálculo do escoamento superficial da bacia do Açude Jenipapeiro foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas nos estudos hidroclimatológicos, sendo ajustado à área da bacia. O Quadro 3.19 apresenta a chuva pontual e a reduzida, esta última obtida com a aplicação do fator redutor de área da primeira.

**Quadro 3.19 - Valores Reduzidos de Chuva de 24 horas (mm)
Chuvas Pontual e Reduzida**

Duração								
Chuva Pontual								
	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 100	11,4	30,8	55,3	74,3	85,5	104,5	111,6	142,6
P(mm) - TR 500	12,5	36,0	65,7	87,7	100,6	122,6	130,8	166,7
P(mm) - TR 1000	13,3	36,5	65,9	90,1	104,3	128,5	137,5	177,0
P (mm) - TR 10000	15,9	42,8	76,7	106,2	123,4	152,9	163,8	211,8
Chuva Reduzida								
P(mm) - TR 100	9,2	24,9	44,7	60,1	69,1	84,4	90,2	115,2
P(mm) - TR 500	10,1	29,1	53,1	70,9	81,3	99,1	105,7	134,7
P(mm) - TR 1000	10,7	29,5	53,2	72,8	84,3	103,9	111,1	143,1
P (mm) - TR 10000	12,8	34,6	62,0	85,8	99,7	123,5	132,4	171,2

3.4.5.2 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1

O modelo utilizado pelo HEC-1 refere-se à interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

O método Curva-Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Açude Jenipapeiro foi adotado um CN = 80 com base nos mapas de solos (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

3.4.5.3 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas.

As Figuras 3.11 e 3.12 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes a barragem Jenipapeiro obtidos através do uso do modelo HEC - 1 correspondentes aos tempos de retorno 1000 e 10000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi 724,2 m³/s para o período de retorno de 1000 anos, e 928,35 m³/s para o período de retorno de 10000 anos.

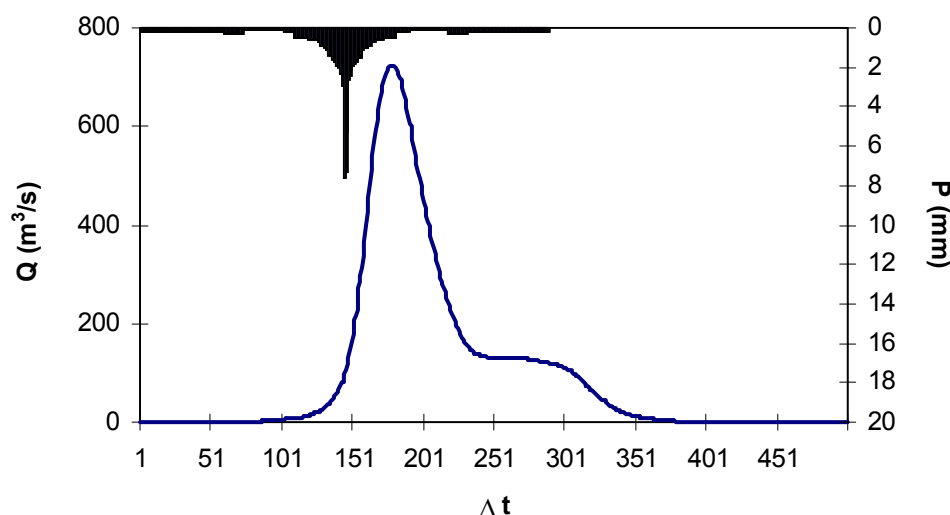


Figura 3.11 - Hidrograma total afluente ao Açude Jenipapeiro (Tr = 1000 anos).

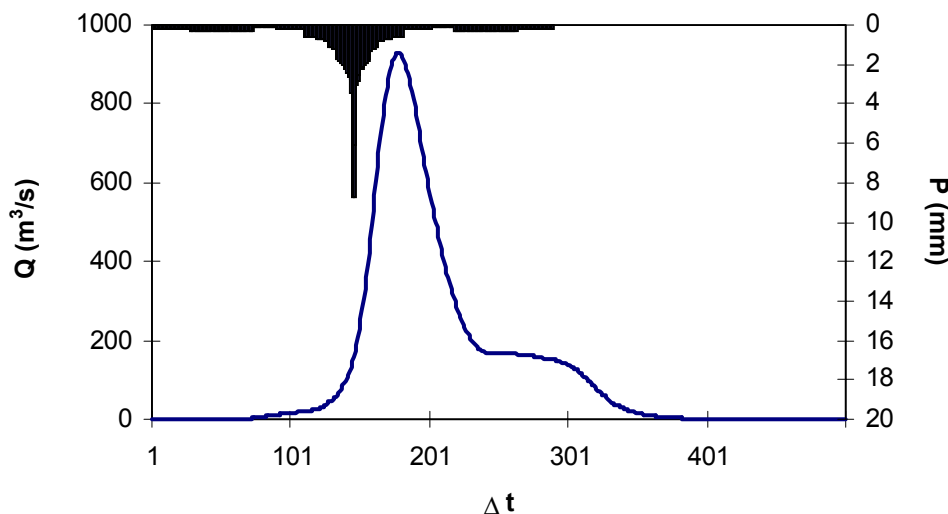


Figura 3.12 - Hidrograma Total Afluente ao Açude Jenipapeiro (Tr = 10000 anos).

3.4.6 - Curvas de Regulação do Reservatório

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foram utilizados dois métodos, a saber:

1. Solução direta da equação de balanço hídrico;
2. Diagrama Triangular de Regularização.

No Quadro 3.20 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ) para a barragem Jenipapeiro. A Figura 3.13 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Jenipapeiro, que nada mais são que a graficação dos valores apresentados no Quadro 3.20.

A Figura 3.13 e os dados apresentados no Quadro 3.20 sugerem que a partir da cota 260 m (volume em torno de $43,4 \text{ hm}^3$) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 24,4% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, $4,281 \text{ hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de $0,144 \text{ m}^3/\text{s}$. O Quadro 3.21 mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG). Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,33$, $f_K = 2,48$ e $CV = 1,4$, obtem-se um volume de $4,375 \text{ hm}^3$ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,139 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro 3.21).

Quadro 3.20 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Jenipapeiro

Cota (m)	K (hm ³)	fk=K/μ	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	dM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
250	1.8302	0.10	1.58	0.277	92.58	16.221	4.70	0.824	-----	0.0090	0.2846
251	3.1156	0.18	3.12	0.547	89.01	15.595	6.73	1.180	0.2186	0.0179	0.5657
252	5.0724	0.29	5.82	1.020	83.91	14.702	9.17	1.606	0.2552	0.0338	1.0650
253	7.6743	0.44	9.14	1.602	77.93	13.655	11.85	2.076	0.2434	0.0539	1.6982
254	10.7631	0.61	11.03	1.933	72.77	12.750	15.14	2.652	0.1101	0.0646	2.0382
255	14.3976	0.82	13.11	2.298	67.33	11.797	18.49	3.241	0.1042	0.0766	2.4169
256	18.6777	1.07	15.85	2.777	61.29	10.739	21.83	3.825	0.1193	0.0928	2.9276
257	23.6423	1.35	18.53	3.247	55.22	9.675	25.26	4.425	0.1021	0.1089	3.4346
258	29.3155	1.67	20.58	3.606	49.53	8.678	28.92	5.067	0.0668	0.1209	3.8137
259	35.8059	2.04	22.35	3.916	43.93	7.697	32.76	5.740	0.0500	0.1312	4.1380
260	43.4495	2.48	24.43	4.281	38.15	6.685	36.51	6.397	0.0517	0.1438	4.5335
261	52.2521	2.98	25.69	4.502	32.81	5.748	40.61	7.115	0.0268	0.1512	4.7698
262	62.0263	3.54	26.82	4.700	27.68	4.850	44.65	7.823	0.0217	0.1580	4.9823
263	73.0997	4.17	27.79	4.870	22.68	3.974	48.70	8.534	0.0161	0.1636	5.1605
264	85.5154	4.88	29.06	5.091	17.94	3.143	52.16	9.139	0.0193	0.1712	5.4002

Quadro 3.21 - Distribuição do volume afluyente e Qr (90%) para o Res. Jenipapeiro

Equação do Balanço Hídrico – Cota 260 m			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m ³ /s)
4,281 – 24,4%	6,397 – 36,5%	6,685 – 38,15%	0,143
Diagrama Triangular de Regularização – Cota 260 m			
4,375 – 25,0%	6,475 – 37,0%	6,650 – 38,0%	0,139

EV - Volume Evaporado (hm³/ano)
 RG- Volume Regularizado (hm³/ano)

SG - Volume Sangrado (hm³/ano)
 Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m³/s)

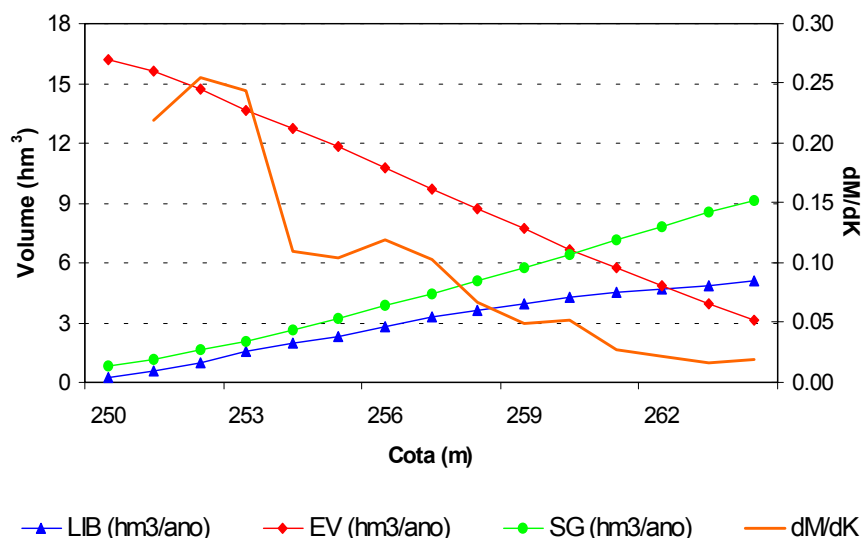


Figura 3.13 - Curvas de Regulação do Reservatório Jenipapeiro.

3.4.7 - Determinação da Capacidade do Reservatório

A curva de regulação do reservatório sugere que a partir da cota 260 m os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Esta cota corresponde a capacidade de acumulação de 43,4 hm³. Para esta capacidade o reservatório regulariza 24,4% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume 4,281 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,144 m³/s. A topografia aqui não foi um fator limitante na escolha da capacidade de acumulação.

3.4.7.1 - Análise econômica

Para facilitar a escolha da capacidade da barragem foi elaborado um gráfico contendo as seguintes informações:

- Variação do custo anual do m³ de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a uma taxa de 8%;
- Variação do custo anual do m³ de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a uma taxa de 8%;
- Variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK);

A análise dos resultados da Figura 3.14 mostra que:

- O custo anual do m³ regularizado variou entre R\$ 0,059 (cota 259 e 260 m) e R\$ 0,062 (cota 262 m).
- O custo anual do m³ de acumulação variou entre R\$ 0,008 (cota 258 m) e R\$ 0,005 (cota 262 m).

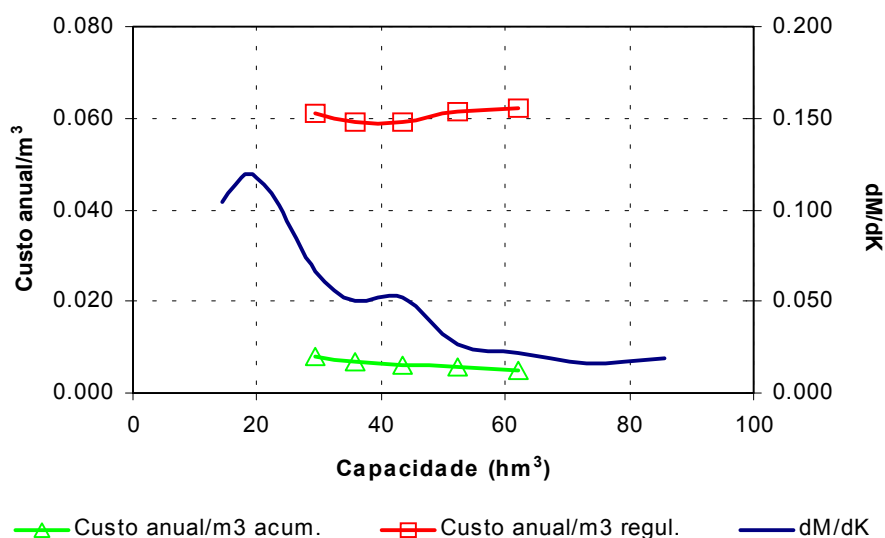


Figura 3.14. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Jenipapeiro.

3.4.7.2 - Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

O custo anual por m³ regularizado tem o seu mínimo nas cotas 259 - 260 m. Acima destas cotas os ganhos na capacidade de regularização por incremento de volume armazenado não compensam o aumento nos respectivos custos. Assim, considerando os aspectos hidrológico-econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 260 m (volume de armazenamento = 43,4 hm³).

3.4.8 - Dimensionamento do Sangradouro

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

3.4.8.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

O vertedouro é do tipo Perfil Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2,1. Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 3.22, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.15 abaixo mostra para o tempo de retorno $T_r=1000$ anos, o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Jenipapeiro. Os resultados para o tempo de retorno de 10.000 anos são apresentados na Figura 3.16.

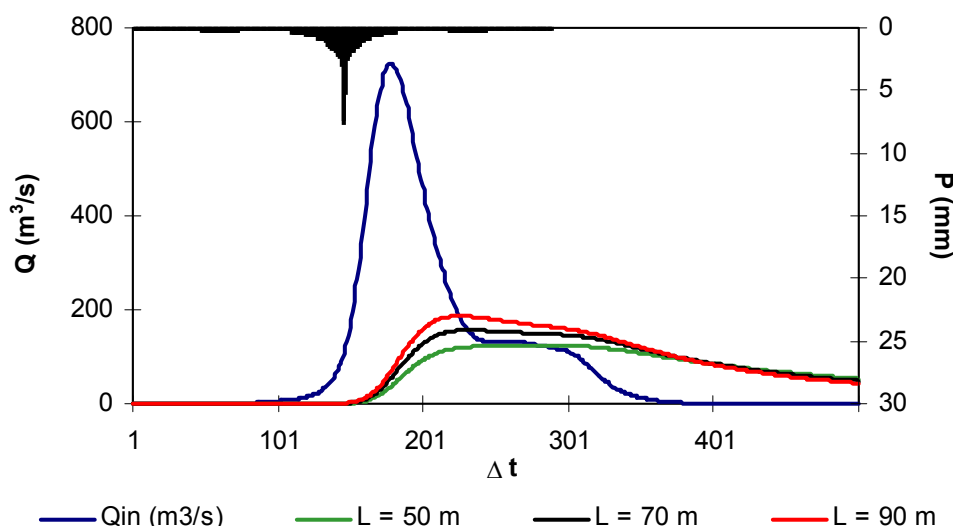


Figura 3.15 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Jenipapeiro $T_r=1000$ anos. Perfil Creager. Cota 260 m. L = 50, 70 e 90 m

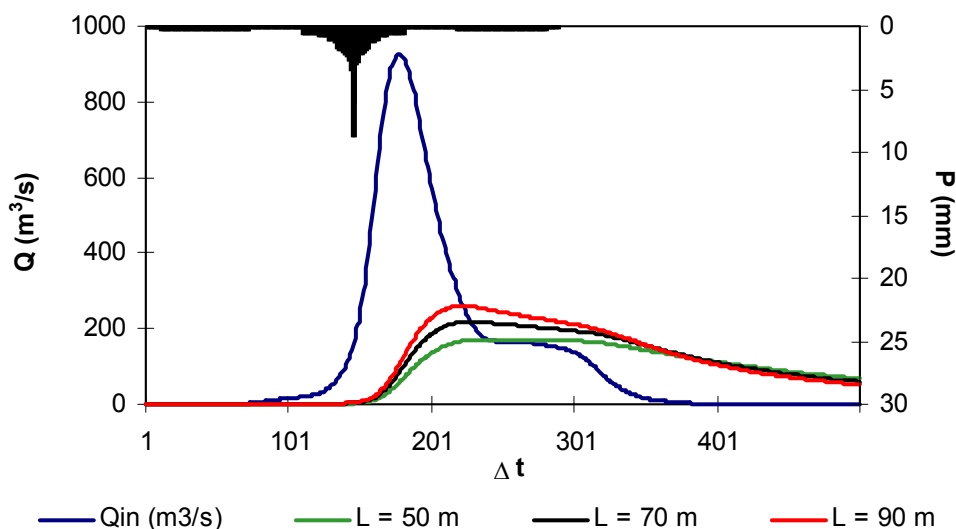


Figura 3.16 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Jenipapeiro $T_r=10000$ anos. Perfil Creager. Cota 260 m. $L = 50, 70$ e 90 m

Quadro 3.22 - Resultado da simulação acima descrita

L (m)	Q_{out} (m^3/s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Perfil Creager: $Z_w = 260,0$ m			
$T_r = 1000$ anos - $Q_{in} = 724,20$ m^3/s			
50	124,0	261,1	1,1
70	157,0	261,0	1,0
90	187,0	261,0	1,0
$T_r = 10000$ anos - $Q_{in} = 928,35$ m^3/s			
50	171,0	261,4	1,4
70	219,0	261,3	1,3
90	260,0	261,2	1,2

L = Largura do Sangradouro
 Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Z_w = cota da soleira do sangradouro
 Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

3.4.9 - Estudos Adicionais

3.4.9.1 - Probabilidades de enchimento e esvaziamento - Equilíbrio

Neste tópico foi utilizada a teoria de Matriz de Transição para o cálculo da probabilidade de esvaziamento e enchimento em equilíbrio. A análise probabilística de enchimento na fase de equilíbrio mostra que em cerca de 40% dos anos ocorre sangria quando não há retirada anual do reservatório, caindo para 12% dos anos quando a retirada anual é de 40 hm³. A Figura 3.17 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se ainda observar que para uma retirada igual a 4,281 hm³/ano (Curva de regulação do reservatório, volume liberado com 90 % de garantia) tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.

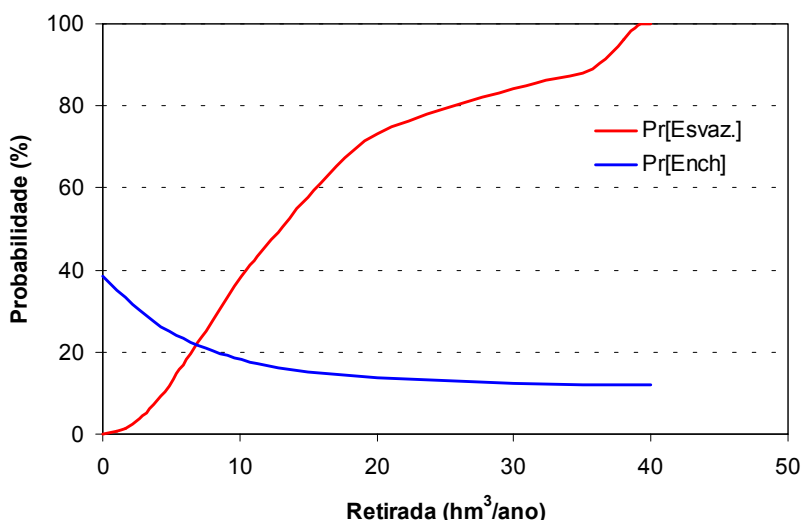


Figura 3.17. Probabilidades de Esvaziamento e Enchimento do açude Jenipapeiro

3.4.9.2 - Assoreamento do açude Jenipapeiro

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

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 17% de Argila, 13% de Silte e 70% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados fórmulas

empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

Peso específico aparente inicial - γ_i (t/m ³):	1,331
Coefficiente de consolidação médio - K :	0,0266
Descarga sólida média (t/ano):	57866
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):	310,4
Razão de transporte ("delivery ratio") - T	0,132

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos Δt igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Jenipapeiro foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. O Quadro 3.23 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como do sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 39,3 hm³, havendo uma redução de 9,5% no volume útil do açude Jenipapeiro, o qual era inicialmente de 43,4 hm³. Deve-se ressaltar, entretanto que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada em face de inexistência de registros de dados sedimentológicos.

Quadro 3.23 - Simulação do assoreamento do reservatório ao longo do tempo

Período Parcial (anos)		Volume inicial (hm ³)	Volume/ μ	Er	γ_T (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	43,4	2,5	1,0	1,3	564,6	0,4	43,0
10	20	43,0	2,5	1,0	1,4	564,6	0,8	42,6
20	30	42,6	2,4	1,0	1,4	564,6	1,3	42,2
30	40	42,2	2,4	1,0	1,4	564,6	1,7	41,8
40	50	41,8	2,4	1,0	1,4	564,5	2,1	41,4
50	60	41,4	2,4	1,0	1,4	564,5	2,5	41,0
60	70	41,0	2,3	1,0	1,4	564,5	2,9	40,5
70	80	40,5	2,3	1,0	1,4	564,4	3,3	40,1
80	90	40,1	2,3	1,0	1,4	564,4	3,7	39,7
90	100	39,7	2,3	1,0	1,4	564,4	4,1	39,3

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

4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM

4 - ANTEPROJETO DA BARRAGEM

O anteprojeto da Barragem Jenipapeiro foi elaborado a partir da apresentação de soluções técnicas alternativas, vistas como as mais viáveis técnicas e economicamente. Em seguida, foi feito o confronto dos custos e dificuldades de implantação da obra para as alternativas. Finalmente, foi feita a seleção da melhor opção na visão do Consórcio Projetista, para ser apresentada como seção de anteprojeto. Este capítulo foi desenvolvido abordando os seguintes tópicos:

- Escolha do Eixo Barrável;
- Alternativas de Maciço Estudadas;
- Critério e Justificativa da Escolha da Alternativa; e
- Concepção Geral da Barragem.

4.1 - ESCOLHA DO EIXO

Foram estudados três eixos, com o objetivo de selecionar o mais atrativo do ponto de vista técnico-econômico, ou seja, considerando os condicionantes topográficos, geológicos, geotécnicos e ambientais, para implantação da barragem.

Verificou-se em visitas técnicas ao campo que os eixos selecionados se tratam de boqueirões com limitações topográficas e alturas máximas de barramento variando de 12,0m a 16,0m. Porém os boqueirões possuem boas características geomorfológicas e geotécnicas, com substrato rochoso quase aflorando, encoberto apenas por uma delgada camada de solo de alteração, bem característico da região, constituída por rochas do embasamento cristalino. Os sangradouros dos eixos selecionados poderão ser colocados tanto nas ombreiras direita como na ombreira esquerda, já que as condições existentes são favoráveis.

Dos três eixos selecionados, o Eixo – 1 corresponde ao sítio do projeto básico elaborado anteriormente pela empresa KL – Serviços de Engenharia Ltda, em 1995, para a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH/CE) e está localizado em uma fazenda denominada Xique-Xique. O Eixo – 2 situa-se a 800m a montante deste sítio. O Eixo – 3 encontra-se em uma pequena localidade chamada Ubaieiras, situada bem a jusante do Eixo – 1. Uma pequena descrição das principais características dos eixos selecionados são descritas a seguir:

Eixo – 1

O Eixo – 1 está localizado exatamente a jusante da fazenda-povoado denominado Xique-Xique. O mesmo barra o rio Jenipapeiro, 400m a jusante da confluência dos rios Pombas/Cajazeiras/Flores. Neste eixo a barragem tem um comprimento pelo coroamento de 540m e o sangradouro, bem posicionado em uma

sela topográfica de superfície rochosa na margem esquerda, com uma largura de 100,0m. A baixada correspondente ao manto aluvial tem comprimento aproximado de 100m, com espessura média de 3,50m, constituído de um depósito de areia quartzo-feldspática de granulometria grossa a fina. A capacidade de acumulação neste local é da ordem de 40hm³, para um nível d'água de 12,0m de altura, cobrindo uma área de acumulação de 366ha, para uma bacia hidrográfica de 189km².

Eixo – 2

O Eixo – 2, situado a 800m a montante do Eixo – 1, tem o comprimento da barragem pelo coroamento de 380m, para uma altura de 12,0m. Um dique situado na margem esquerda de 370m de comprimento por 8,0m de altura, sendo um sangradouro posicionado na margem direita, com largura de 100,0m. O manto aluvial tem 170m de extensão, com espessura média da ordem de 2,0m a 4,0m. A estimativa de acumulação é de 35hm³, para um nível d'água máximo de 9,0m de altura, forçados pelos limites topográficos do boqueirão.

Eixo – 3

O Eixo – 3 está localizado a 6,0km a jusante do Eixo – 1, no distrito de Ubaieiras. O barramento terá uma extensão pelo coroamento de 700m por 15,0m de altura. Um dique na sua margem direita, com 160m de comprimento e altura de 7,0m, sendo o sangradouro posicionado na sua margem direita, com largura de 100m. O manto aluvial tem extensão aproximada de 240m e espessura entre 2,0m a 4,0m.

4.1.1 - Considerações Finais

O aspecto hidrológico mais relevante de suporte à seleção de alternativas de eixos de barramento refere-se à magnitude da área de drenagem da bacia de contribuição, o qual condiciona o potencial de regularização de vazões e a geração de cheias, e à morfologia da bacia hidráulica do reservatório que, para um mesmo volume de acumulação determina a altura do maciço da barragem. Como as áreas de drenagem dos eixos analisados apresentam diferenças de magnitudes relativamente pequenas, com exceção do Eixo – 3, pode-se considerar que os potenciais de regularização de vazões e de geração de hidrogramas de cheias sejam pouco distintas.

Assim sendo, o condicionante hidrológico básico fica por conta da morfologia da bacia hidráulica do reservatório. Desta maneira, percebe-se que a bacia hidráulica para o Eixo – 1, pela sua morfologia, apresenta maior volume de acumulação, em relação ao Eixo – 2 e sendo semelhante em relação ao Eixo – 3.

Do ponto de vista geológico e geotécnico, não há diferenças significativas, pois os três eixos são semelhantes nestes aspectos, sendo às mesmas adequadas para a implantação da barragem.

Tanto as jazidas de terra de material silico-argiloso, como as pedreiras apresentam-se bastante favoráveis e próximas aos eixos. A exceção encontra-se no areal, a qual deverá ser transportada de maiores distâncias, pela inexistência de quantidades desse material na redondeza.

Dos três eixos identificados e visitados para barrar o rio Jenipapeiro, o que apresenta melhores condições geomorfológicas e geotécnicas é o Eixo – 1. O boqueirão se apresenta com uma configuração estreita. O sangradouro poderá ser posicionado na ombreira esquerda, onde a topografia é mais suave e onde as condições geotécnicas são muito boas, pela qualidade da rocha existente.

Em função dos condicionantes topográficos, os Eixos - 2 e 3 são mais desfavoráveis, pois apesar da pouca diferença entre comprimento e altura, os mesmos somam em seus quantitativos os volumes dos diques nestas duas opções. Além disso, apresentam maiores volumes de escavação no sangradouro e conseqüentemente, maiores custos de implantação. Outro condicionante desfavorável para o Eixo – 3 é o seu posicionamento a jusante e a sua maior distância dos centros a serem abastecidos, Umari, Baixio e Ipaumirim, contribuindo para custos maiores de adução.

Diante do exposto, recomenda-se o Eixo – 1 como alternativa mais promissora ao desenvolvimento do projeto da Barragem Jenipapeiro.

4.2 - ALTERNATIVAS DE MACIÇO ESTUDADAS

Diante dos condicionantes topográficos, geológicos e geotécnicos, foram concebidas as duas melhores alternativas para o sítio a ser barrado. Nessa escolha, foram cotejados os seguintes elementos, a saber: tamanho e forma do boqueirão, disponibilidade dos materiais construtivos, características do subsolo e facilidades construtivas.

A seguir passa-se a descrever, de forma sucinta, as características de cada uma das alternativas.

1. Maciço Tipo – 1: **Barragem em Maciço de Terra com Cutoff**

- ✓ A seção tipo – 1 consiste em uma barragem de terra executada com materiais das jazidas J-01, J-02 e J-03, com taludes de montante com inclinação de 1,0:2,5 (V:H) e talude de jusante de 1,0:2,0 (V:H). A cota de coroamento é a 264,00m e a soleira na cota 260,00m. Na cota 256,00m existe uma berma, com largura de 2,0m, no talude de jusante.
- ✓ De acordo com as investigações geotécnicas no vale do rio, entre as estacas 12 a 26, existe um aprofundamento maior da aluvião, chegando a 8,0m de espessura. Por isso, nessa opção está prevista a execução de um cutoff total, interceptando completamente a aluvião e repousando sobre o topo rochoso ou o solo residual de rocha.
- ✓ A seção idealizada é provida de estrutura de proteção dos taludes e drenagem interna e dreno de pé de jusante.

2. Maciço Tipo – 2: Maciço de Terra com Tapete a Montante

- ✓ As características geométricas do maciço da barragem nessa alternativa são os mesmos da Seção Tipo – 1, com a diferença de que nessa concepção foi retirado o cutoff e acrescentado um tapete impermeável de montante, executado com material das jazidas J-01, J-02, J-03. O tapete impermeabilizante de montante será executado entre as estacas 12 e 26, com 120,0m de comprimento e altura variando de 3,0m no pé de montante e 0,60m, na extremidade final.
- ✓ Não foi previsto cutoff parcial tendo em vista que a redução de fluxo pela fundação destes é insignificante.

4.3 - CRITÉRIO E JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DA ALTERNATIVA

Aproveitando todo o potencial topográfico do boqueirão e respaldado na capacidade hidrológica, as seções foram previstas nas cotas máximas, ou seja, coroamento na cota 264,0m e soleira na cota 260,0m. A partir daí, preparou-se a cubação de cada seção para a obtenção do custo. Foram levantados somente os grandes itens, ficando de fora aqueles que são comuns, tais como sangradouro e tomada d'água.

As seções tipos das duas alternativas são mostradas nas Figuras 4.1 e 4.2. enquanto que os custos relativos são mostrados nos Quadros 4.1 e 4.2.

Confrontando valores encontrados e as dificuldades de implantação da obra, fez-se a opção pela alternativa 1, ou seja, barragem com maciço de terra com *cutoff*. As principais razões a qual levaram a eleger tal alternativa para desenvolver o anteprojeto são citadas a seguir:

1. O custo para a implantação desta alternativa é menor.
2. Para a implantação de uma barragem com tapete impermeabilizante de montante exigiram os serviços de desmatamento, destocamento e de limpeza de uma grande área na calha do rio, com a remoção das obstruções naturais, tais como, árvores, arbustos, tocos, raízes, entulhos, matacões, entre outros.
3. Alternativa de maciço de gravidade ou maciço em concreto compactado a rolo (CCR) para formar a Barragem Jenipapeiro foram desconsideradas pela característica topográfica do boqueirão muito aberto, com dimensões extensas.

Figura N° 4.1

SRH/CE - Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará

Barragem Jenipapeiro

Quadro 4.1: Seção Tipo 1 (Seção de Terra e Cutoff)

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)		
					UNITÁRIO	TOTAL	
1.	BARRAGEM						
1.1	Fundação						
1.1.1	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria até 200m (núcleo)	SRH/CE	m³	21.100,00	2,24	47.264,00	
1.1.2	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria da fundação, com rebaixamento do lençol freático, com bota-fora de 300m	SRH/CE	m³	21.100,00	6,68	140.948,00	
	Compactação de aterro em barragens - material argiloso	SRH/CE	m³	21.100,00	1,17	24.687,00	
1.2	Maciço						
1.2.1	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria até 200m (núcleo)	SRH/CE	m³	255.000,00	2,24	571.200,00	
1.2.2	Compactação de aterro em barragens - material argiloso	SRH/CE	m³	255.000,00	1,17	298.350,00	
TOTAL DO CUSTO							1.082.449,00

4.4 - CONCEPÇÃO GERAL DA BARRAGEM

A barragem foi concebida como sendo um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente das jazidas J-01, J-02 e J-03.. A barragem ficará com coroamento na cota 264,00m, com altura máxima de 16,70m na estaca 14. A soleira será implantada na cota 260,00m, acumulando 43,4hm³.

De acordo com os resultados das sondagens ao longo do eixo barrável, verifica-se que a barragem terá um *cutoff* entre a estaca 10A e a estaca 28, com profundidade variando de 2,00m a 8,00m, repousando sobre o topo rochoso ou solo residual. Os taludes de escavação do *cutoff* serão de 1,0(V):1,0(H), até a profundidade de 4,00m. Quando a escavação do *cutoff* superar os 4,00m, será executado uma berma de largura de 2,00m na profundidade de 2,00m e as escavações prosseguirão com taludes de 1,0(V):1,5(H). A largura do *cutoff* será de 6,00m, quando a sua profundidade for inferior a 4,00m. Quando a profundidade do *cutoff* for superior a 4,00m, a sua largura será de 8,00m.

A crista da barragem terá 6,0m de largura com caimento de 2% para montante. A camada final com 0,20m de espessura será executada com cascalho argiloso. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios com abertura para montante.

O talude de montante terá inclinação de 1,0(V):2,5(H) em toda a sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um *riprap*. O *riprap* será formado por uma camada de 0,70m de espessura de blocos de rocha sã assentes sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada por produto de britagem.

O enrocamento do *riprap* a ser utilizado tem as seguintes características:

$$\begin{array}{ll}
 P_{50} = 0,45\text{tf} & D_{50} = 0,62\text{m} \\
 P_{\text{mín}} = 0,112\text{tf} & D_{\text{mín}} = 0,39\text{m} \\
 P_{\text{máx}} = 0,64\text{tf} & D_{\text{máx}} = 0,70\text{m}
 \end{array}$$

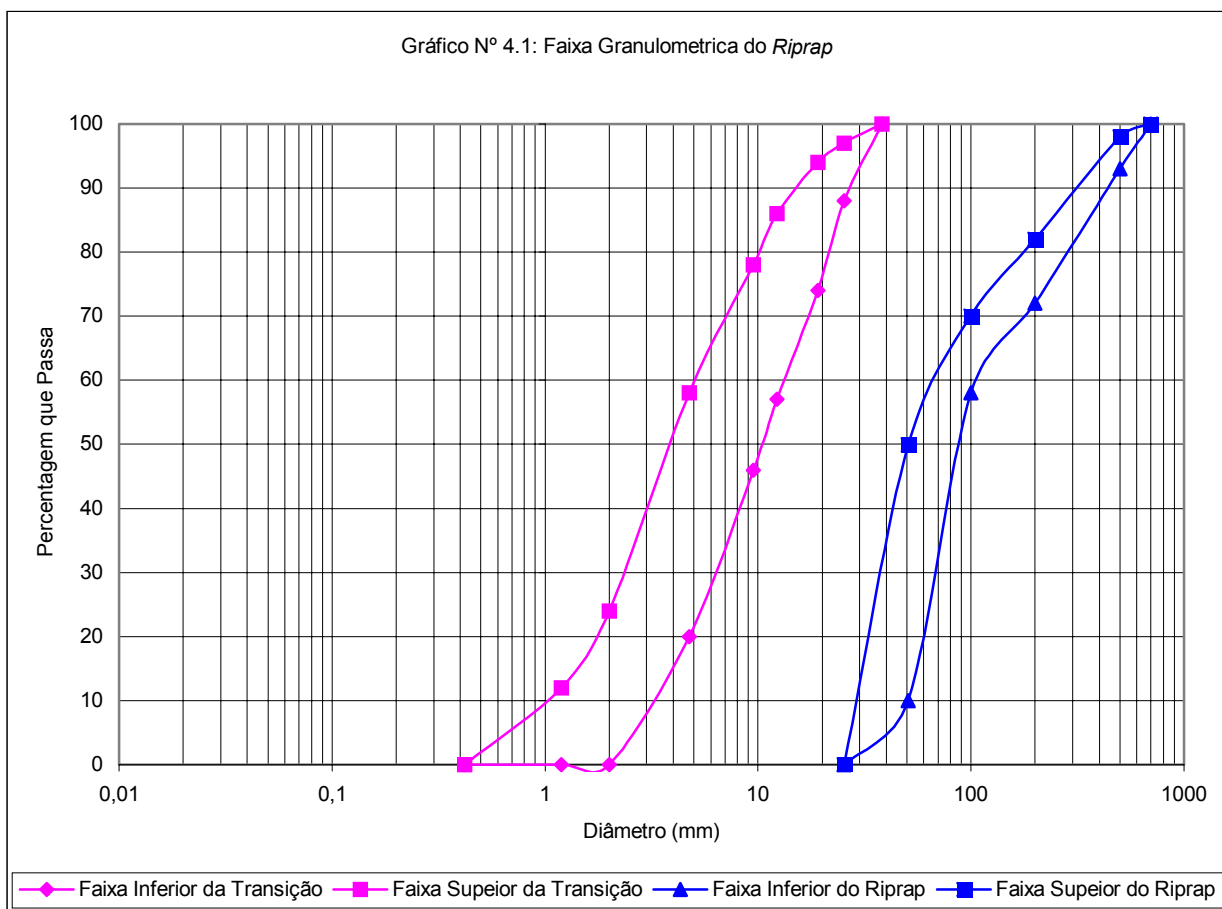
A camada de transição tem a granulometria mostrada no quadro 4.3.

Quadro 4.3: Material do Enrocamento do Riprap	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
700mm	100
500mm	93 – 98
200mm	72 – 82
100mm	58 – 70
390mm	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no quadro 4.4.

Quadro 4.4: Material de Transição	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
1 1/2" (38,0mm)	100
1" (25,4mm)	88 – 97
3/4" (19,10mm)	74 – 94
1/2" (12,27mm)	57 – 86
3/8" (9,52mm)	46 – 78
Nº 4 (4,76mm)	20 – 58
Nº 10 (2,00mm)	0 – 24
Nº 16 (1,19mm)	0 – 12
Nº 40 (0,42mm)	0

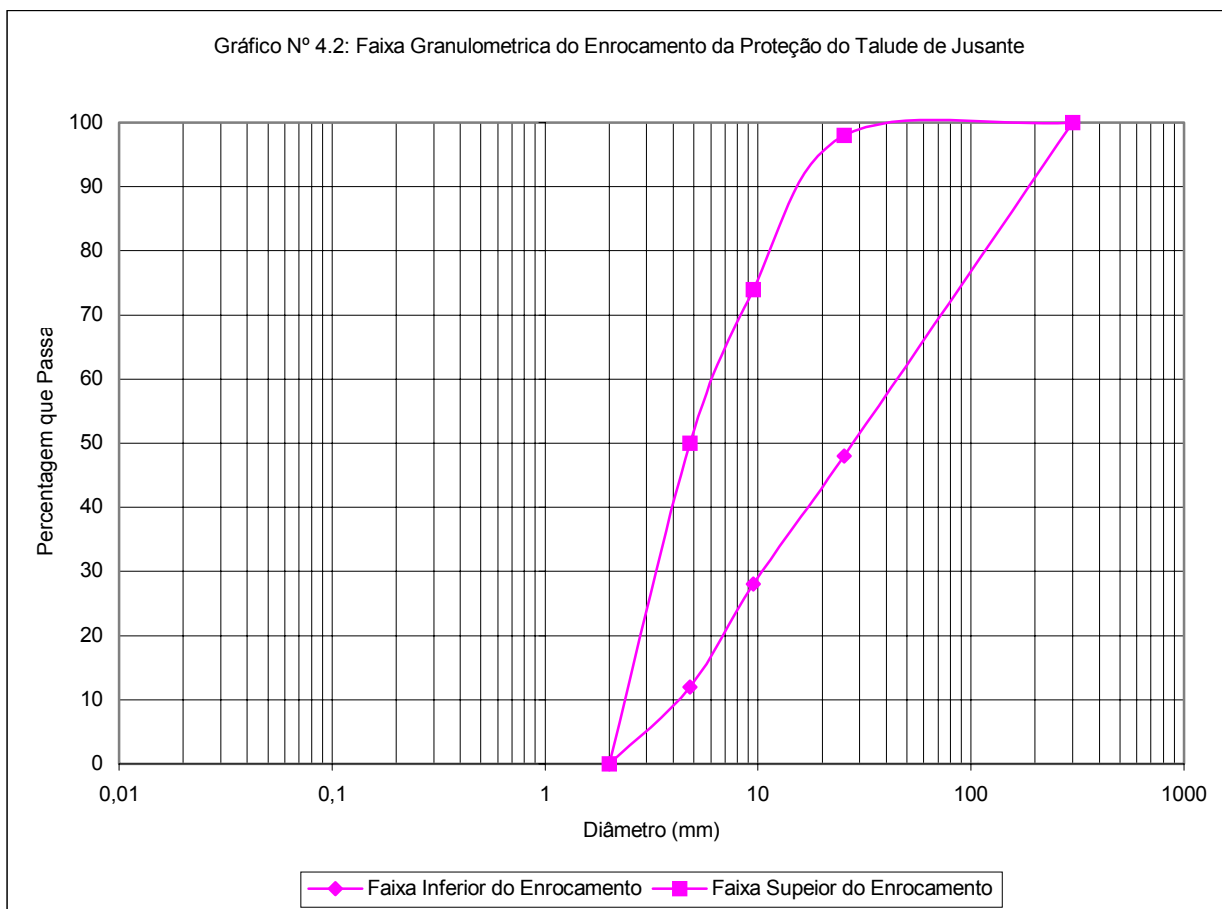
No gráfico 4.1 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do *riprap*.



O talude de jusante terá inclinação de 1,0(V):2,0(H) em toda a sua extensão. Na cota 256,00m será colocada uma berma de 2,0m de largura. A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no quadro 4.5.

Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
Nº 4 (4,8mm)	12 – 50
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico Nº 4.2 é mostrado as faixas granulométricas dos materiais constituintes do enrocamento de proteção o talude de jusante.

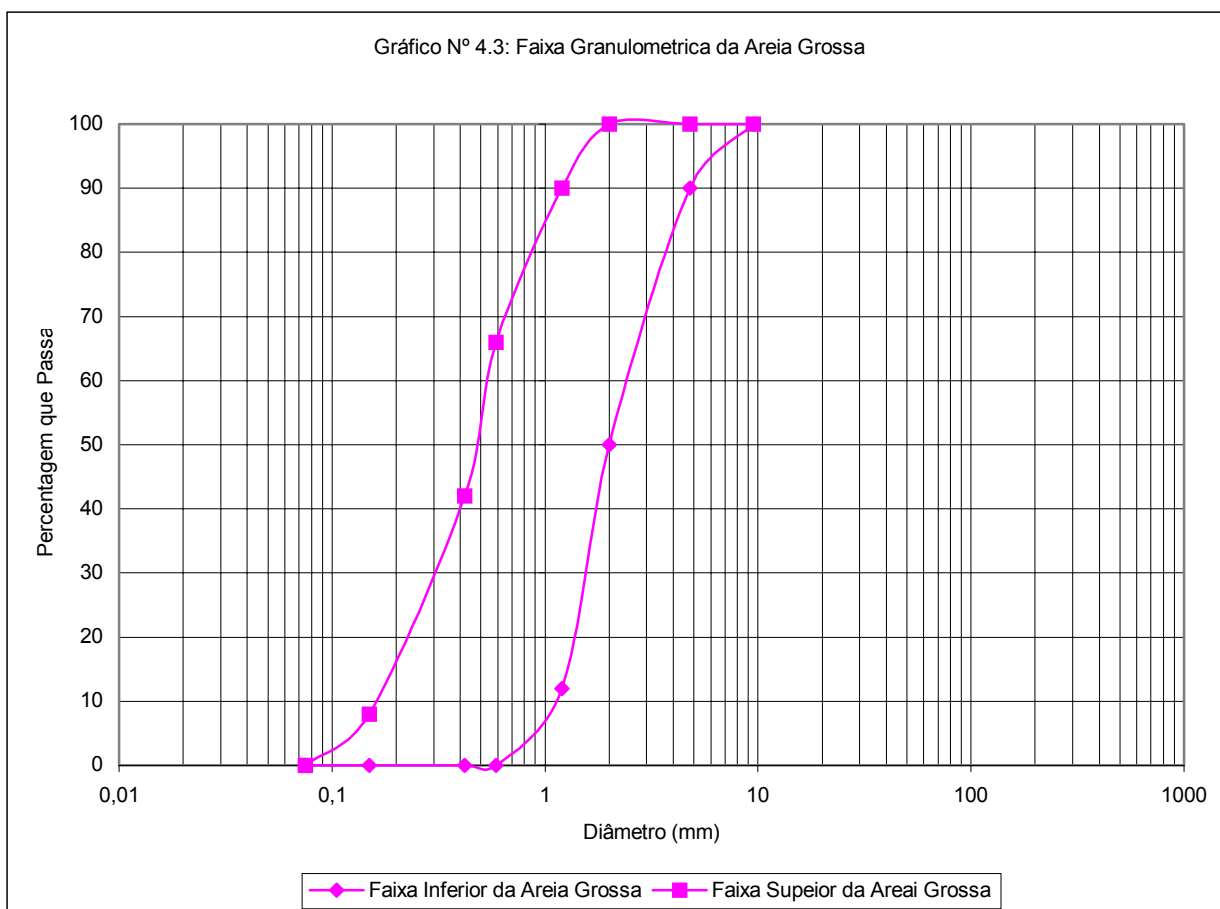


Para a drenagem interna do maciço da Barragem Jenipapeiro, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 261,40m, coincidindo com a cota da cheia decamilenar. O tapete horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01 e com espessura de 1,00m.

No quadro 4.6 é mostrada a faixa granulométrica a qual a areia grossa deverá estar enquadrada para formar o filtro e o tapete do sistema de drenagem interna da barragem.

Quadro 4.6: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
3/8" (9,5mm)	100
Nº 4 (4,8mm)	90 – 100
Nº 10 (2mm)	50 – 100
Nº 16 (1,2mm)	12 – 90
Nº 30 (0,59mm)	0 – 66
Nº 40 (0,42mm)	0 – 42
Nº 100 (0,15mm)	0 – 8
Nº 200 (0,075mm)	0

No gráfico 4.3 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da barragem.



Entre as estacas 13+10 a 24+10 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com crista na cota 251,00m e largura da crista de 2,0m, em toda a sua extensão, com talude de 1,0 (V): 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de brita.

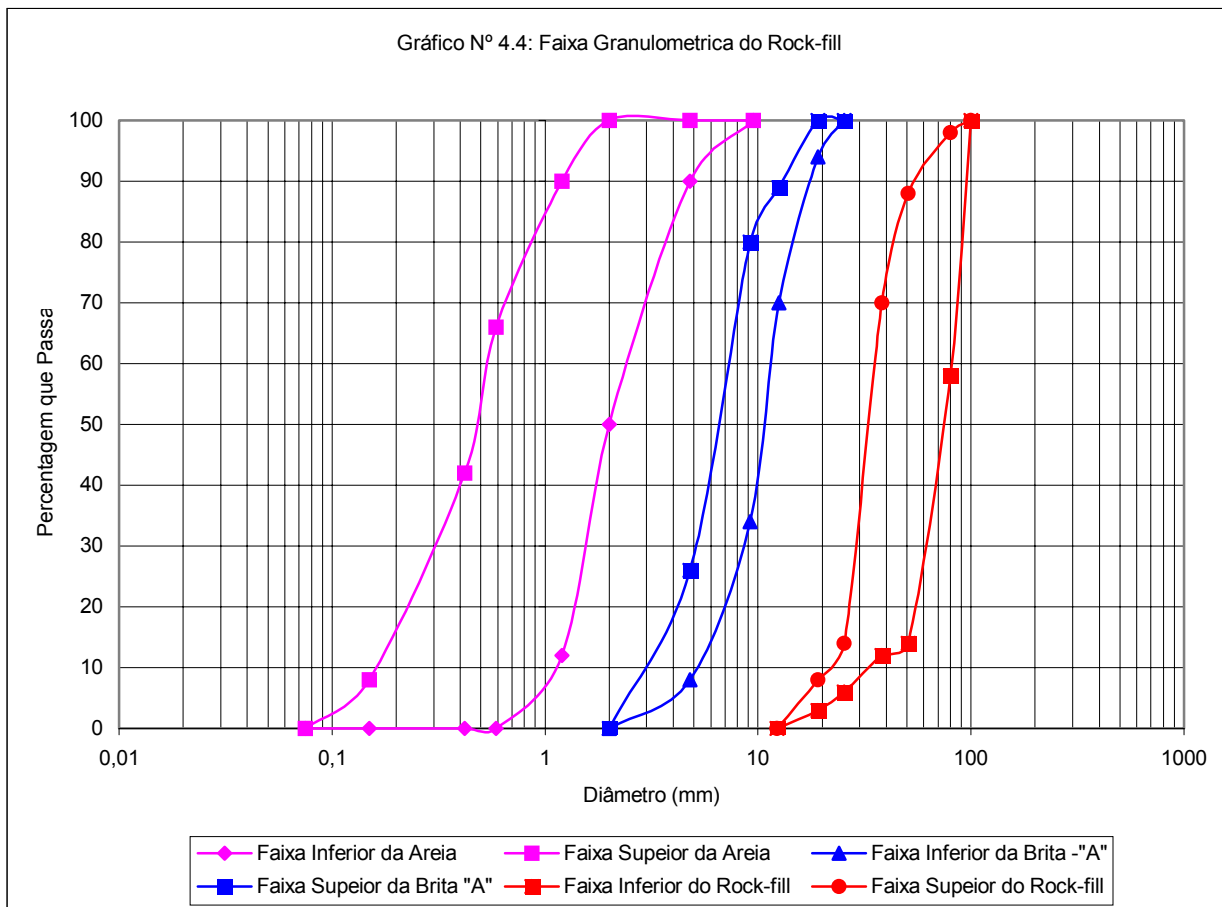
A areia grossa que formará a transição do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no quadro 4.6. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no quadro 4.7.

Quadro 4.7: Brita “A”	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
1” (25,4mm)	100
¾” (12,5mm)	94 – 100
½” (12,5mm)	70 – 89
3/8” (9,2mm)	34 – 80
Nº 4 (4,8mm)	8 – 26
Nº 10 (2,0mm)	0

O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrado na faixa granulométrica apresentada no quadro 4.8.

Quadro 4.8: Enrocamento do Rock-fill	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
100mm	100
80mm	58 – 98
2” (50,80mm)	14 – 88
1 ½” (38,10mm)	12 – 70
1” (25,10mm)	6 – 14
¾” (19,10mm)	3 – 8
½” (12,27mm)	0

No gráfico 4.4 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais que formam o sistema de drenagem interna da barragem, ou seja, areia grossa, brita “A” e enrocamento do rock-fill.



Na ombreira direita, entre as estacas 18 a 20+10 e 23+10 a 25, deverá ser construída uma barragem auxiliar, para o fechamento de uma sela topográfica. As características da barragem auxiliar serão as mesmas adotadas na barragem principal, ou seja:

1. Coroamento na cota 264,00m.
2. Largura de coroamento de 6,0m, com declividade de 2% para montante.
3. Talude de montante com inclinação de 1,0 (V) para 2,5 (H), protegido por *riprap*.
4. Talude de jusante com inclinação de 1,0 (V) para 2,0 (H), protegido por um enrocamento com produto de britagem.

4.4.1 - Anteprojeto do Sangradouro

O anteprojeto do sangradouro foi elaborado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local do sangradouro.

A solução adotada caracteriza-se pela simplicidade do arranjo, decorrente de condicionantes geológicos e geotécnicos do local de implantação do sangradouro. A ombreira direita do boqueirão da Barragem Jenipapeiro apresenta uma pequena cobertura de solo e uma topografia suave, viabilizando assim a implantação da estrutura do sangradouro neste local.

O eixo longitudinal do canal do sangradouro está localizado perpendicularmente ao eixo barrável na estaca 22. O sangradouro terá uma largura de 50,0m.

O canal sangradouro será escavado em rocha na cota 257,0m, em uma extensão de 100,0m pelo eixo longitudinal. O talude de escavação de corte adotado é 10,0(V):1,0(H). O volume de escavação encontrado foi de 15.893,57m³.

A partir da cota 257,0m, nível de escavação, foi projetado um perfil Creager, com 3,0m de altura, estando sua ogiva implantada na cota 260,0m. O dimensionamento do Creager foi projetado para dar vazão a uma descarga de 124m³/s, com lâmina de 1,10m.

4.4.1.1 - Perfil Creager

A ogiva do Creager foi dimensionada pelos procedimentos recomendados pelo *Bureau of Reclamations*. Esses dimensionamentos são mostrados a seguir.

$$h_0 = 1,10\text{m}$$

$$p = 3,0\text{m}$$

$$L = 50,0\text{m}$$

$$Q = 124\text{m}^3 / \text{s}$$

$$q = \frac{124}{50} = 2,48\text{m}^3 / \text{s.m}$$

Sabendo que:

$$q = CH_0^{3/2}$$

$$v_a = \frac{q}{p + h_0}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2g(p + h_0)^2} = 0,02\text{m}$$

$$H_0 = h_0 + h_a = 1,12\text{m}$$

A equação do Creager a jusante é dada por:

$$\frac{y}{H_0} = -K \left(\frac{x}{H_0} \right)^n$$

Onde K e n são tirados de ábacos, em função da relação de $\frac{h_a}{H_0}$

Para $\frac{h_a}{H_0} = 0,01$, tem-se K = 0,502 e n = 1,868. Portanto:

$$\frac{y}{1,12} = -0,502 \cdot \left(\frac{x}{1,12} \right)^{1,868}$$

$$y = -0,454 \cdot x^{1,868}$$

Fazendo a derivada de y em relação a x, tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -0,848 \cdot x^{0,868}$$

Fazendo $\frac{dy}{dx} = -1,0$, que corresponde um talude de 1,0(V):1,0(V), tem-se:

$$x = 1,208$$

$$y = -0,646$$

A curva do Creager é dada no quadro 4.9 a seguir:

Quadro 4.9: Coordenadas do Perfil Creager	
x	y
0,00	0,00
0,20	-0,0022
0,40	-0,081
0,60	-0,174
0,80	-0,299
1,00	-0,454
1,208	-0,646

As curvas circulares de montante da ogiva são determinadas em ábacos a partir da relação $\frac{h_a}{H_0} = 0,01$.

Dessas curvas tira-se:

$$\frac{x_c}{H_0} = 0,278 \Rightarrow x_c = 0,31$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,123 \Rightarrow y_c = 0,14$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,525 \Rightarrow R_1 = 0,58$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,228 \Rightarrow R_2 = 0,25$$

4.4.2 - Anteprojeto da Tomada D'água

O anteprojeto da tomada d'água consiste de uma tubulação de ferro fundido de diâmetro $\phi 400\text{mm}$, localizada na estaca 26, envelopada em uma galeria de concreto armado. O eixo da tubulação ficará na cota 251,50m. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de $0,143\text{m}^3/\text{s}$.

O volume de porão da Barragem Jenipapeiro será na cota 252,0m, com um armazenamento de $5,07\text{hm}^3$, correspondente a aproximadamente 11,7% da capacidade do reservatório.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto, com grade de malha 100mm X 100mm.

No lado de jusante, serão colocados um registro de gaveta e uma válvula borboleta para a operação da tomada d'água. Será também prevista uma caixa de jusante em concreto armado com a finalidade de dissipar a energia e medir a vazão. A medida da vazão será feita através de um vertedouro triangular isósceles.

4.4.3 - Apresentação do Anteprojeto

No Tomo 2 são apresentados os desenhos do anteprojeto da Barragem Jenipapeiro, como discriminado no quadro 4.10 a seguir.

Quadro 4.10: Relação dos Desenhos do Anteprojeto	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
II – 2 – 01 / 19 – 001	Bacia Hidráulica – Planta
II – 2 – 02 / 19 – 001	Planta de Locação das Sondagens
II – 2 – 03 / 19 – 001	Perfil Geológico do Subsolo
II – 2 – 04 / 19 – 001	Planta Geral da Locação das Ocorrências
II – 2 – 05 / 19 – 001	Locação das Ocorrências
II – 2 – 06 / 19 – 001	Arranjo Geral da Barragem e Sangradouro
II – 2 – 07 / 19 – 001	Perfil da Barragem e Sangradouro
II – 2 – 08 / 19 – 001	Seção Máxima e Detalhes
II – 2 – 09 / 19 – 001	Seções Tipo da Barragem
II – 2 – 10 / 19 – 001	Seções Transversais da Barragem (01/03)
II – 2 – 11 / 19 – 001	Seções Transversais da Barragem (02/03)
II – 2 – 12 / 19 – 001	Seções Transversais da Barragem (03/03)
II – 2 – 13 / 19 – 001	Seção da Tomada D'água e Detalhes
II – 2 – 14 / 19 – 001	Caixa de Montante e Caixa de Jusante da Tomada D'água
II – 2 – 15 / 19 – 001	Escavação da Tomada D'água – Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 16 / 19 – 001	Escavação do Sangradouro – Planta, Perfil e Seção Tipo
II – 2 – 17 / 19 – 001	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro
II – 2 – 18 / 19 – 001	Arranjo Geral do Sangradouro
II – 2 – 19 / 19 – 001	Detalhes do Sangradouro

4.4.4 - Considerações Finais

O Anteprojeto da Barragem Jenipapeiro permitiu escolher o local de implantação da obra, além de assumir, justificar e quantificar a opção do maciço, sangradouro e tomada d'água.

Os estudos básicos, ou seja, a hidrologia, a geologia, a geotecnia e a topografia, estão consistentes. Os estudos básicos foram integrados no Anteprojeto, sendo que todas as opções de projeto assumidos tiveram esses elementos considerados e analisados.

Alguns aspectos que se prevê equacionar e discretizar na etapa seguinte dos trabalhos, podem ser sistematizados nos seguintes itens, a saber:

1. Apresentação da cortina de injeção.
2. Projeto estrutural da galeria da tomada d'água.
3. Detalhamento dos dispositivos de drenagem superficial da barragem.
4. Detalhamento dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água.
5. Elaboração de especificações técnicas e construtivas.
6. Apresentação do programa de trabalho.
7. Planilha orçamentária com os dados da tabela unificada da SEINFRA.