

**MÓDULO III – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM
MARANGUAPE II**

**VOLUME 1 – ESTUDOS BÁSICOS
TOMO 1 – RELATÓRIO GERAL**

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Mai/02	Apresentação – Edição Definitiva	CONSÓRCIO	TAD	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	10
<u>3 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	13
<u>3.1 - TRABALHOS CARTOGRÁFICOS</u>	14
<u>3.2 - TRANSPORTES DE COORDENADAS</u>	14
<u>3.3 - TRANSPORTES DE COTAS</u>	15
<u>3.4 - LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO</u>	17
<u>3.5 - LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA</u>	18
<u>3.5.1 - Cobertura Aerofotogramétrica</u>	18
<u>3.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico</u>	18
<u>3.6 - LEVANTAMENTO DOS EMPRÉSTIMOS</u>	21
<u>3.6.1 - Jazida</u>	21
<u>3.6.2 - Areal</u>	21
<u>3.6.3 - Pedreira</u>	21
<u>3.7 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO</u>	21
<u>4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</u>	22
<u>4.1 - GEOMORFOLOGIA</u>	23
<u>4.2 - GEOLOGIA REGIONAL - BACIA HIDROGRÁFICA</u>	24
<u>4.2.1 - Caracterização Estrutural</u>	26
<u>4.2.2 - Metamorfismo</u>	27
<u>4.3 - GEOLOGIA DO EIXO BARRÁVEL</u>	27
<u>4.3.1 - Estudos Geológicos e Geotécnicos Preliminares</u>	28
<u>4.4 - INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO</u>	29
<u>4.4.1 - Sondagens Realizadas</u>	29

<u>4.5 - INVESTIGAÇÕES DO SANGRADOURO</u>	31
<u>4.5.1 - Sondagens Realizadas</u>	31
<u>4.6 - ESTUDOS DOS MATERIAIS</u>	33
<u>4.6.1 - Jazidas</u>	33
<u>4.6.2 - Areal</u>	35
<u>4.6.3 - Pedreira</u>	35
<u>5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	36
<u>5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA</u>	37
<u>5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS</u>	40
<u>5.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS</u>	41
<u>5.3.1 - Chuvas Intensas</u>	43
<u>5.4 - ESTUDOS DE CHEIAS</u>	44
<u>5.4.1 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1</u>	45
<u>5.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS</u>	47
<u>5.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO</u>	49
<u>5.5.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico</u>	50
<u>5.5.2 - Hidrograma Triangular</u>	51
<u>5.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO</u>	55
<u>5.6.1 - Análise econômica</u>	55
<u>5.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica</u>	55
<u>5.7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO</u>	56
<u>5.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório</u>	56
<u>5.7.2 - Resultados</u>	57

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, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Aduoras 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 Aduoras

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

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 I – Estudos Básicos, Tomo 1 – Relatório Geral da Barragem Maranguape II*, e é parte integrante do *Módulo III*.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório, é parte integrante de um conjunto de estudos que estão sendo apresentados e que permitirão, ao final, definir a solução técnica mais viável para a elaboração do Projeto da Barragem, tendo sido elaborado de forma a atender os requisitos básicos estabelecidos pela SRH, configurados nos Termos de Referência, os quais reúne as informações técnicas essenciais ao desenvolvimento dos trabalhos.

O objetivo desse relatório é fazer uma descrição sintética de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos referentes aos estudos topográficos, cartográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Maranguape II.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

Localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, o município de Maranguape foi criado em 1851 pela lei 553, estando geograficamente definido pelas coordenadas 03°53'27" de latitude Sul e 38°41'08" de longitude Oeste, com uma extensão territorial de 672 km². Limita-se ao Norte com Caucaia e Maracanaú, ao Sul com Palmácia e Caridade, a Leste com Pacatuba e Guaiuba e a Oeste com Pentecoste. O acesso a Fortaleza se faz pela CE-065.

O eixo barrável Maranguape II está localizado no riacho Papara, aproximadamente, 6,00 km ao Sul da sede do município de Maranguape. O acesso local da barragem Maranguape II, é feito partindo-se da cidade de Maranguape em direção ao Sul pela CE-065 por aproximadamente 8,00km, no lugarejo chamado Sapupara, também à margem da rodovia, onde, entra-se à esquerda e, após percorrer 1,00 km, chega-se ao boqueirão. (ver Figura 2.1).

Figura 2.1

Mapa de localização

Arquivo Corel

3 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

3- ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

3.1 - TRABALHOS CARTOGRÁFICOS

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.

A carta da SUDENE utilizada foi a seguinte:

- Fortaleza: folha nº SA.24-Z-C-IV

O contorno da bacia hidrográfica da Barragem Maranguape II está apresentado na Figura 3.1 a seguir.

3.2 - TRANSPORTES DE COORDENADAS

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo. Na barragem Maranguape II, juntamente com a barragem Maranguape I foram implantados 12 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 cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no anexo do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Maranguape II tivemos na planimetria origem no Vértice Bico Fino do IBGE de latitude 03°50'46,4641" S e longitude 38°53'10,6817" W e altitude de 408,67 m, e chegada no Vértice SA-24-1022 do IBGE de latitude 03°52'28,7805" S e longitude 38°31'21,6900" e altitude de 114,23 m.

No Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, do Módulo III, encontram-se os cálculos realizados para o transporte de coordenadas, bem como os procedimentos adotados para a implantação dos marcos.

Quadro 3.1 – Marcos Implantados na Barragem Maranguape

Ponto	Localização (*)	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
M-01	2,66km/LD	9.564.360,536	532.756,819	38°42'17,75498"W	03°56'28,45862"S
M-02	3,28km/LE	9.563.608,0446	532.750,366	38°42'17,95557"W	03°56'52,96601"S
M-03	4,45km/LD	9.563.915,610	531.622,487	38°42'54,53407"W	03°56'42,96164"S
M-04	5,38km/LD	9.563.589,8306	530.6856,332	38°43'24,92075"W	03°56'53,58230"S
M-05	5,25km/LD	9.561.863,588	534.609,747	38°41'17,63805"W	03°57'49,75771"S
M-06	+/-5,00km/LD	9.562.126,1966	535.193,276	38°40'58,71819"W	03°57'41,19782"S
M-07	6,74km/LD	9.560.330,105	535.132,608	38°41'00,33660"W	03°58'39,69394"S
M-08(**)	3,75km/LE	9.556.372,187	533.772,249	38°41'44,76733"W	03°59'10,90822"S
M-09(**)	3,62km/LD	9.559.313,868	533.694,748	38°41'47,27996"W	03°59'12,80851"S
M-10	6,87km/LE	9.560.295,344	535.270,200	38°40'56,20086"W	03°58'40,82430"S
M-11	4,05km/LD	9.564.150,742	531.650,828	38°42'53,61765"W	03°56'35,30376"S
M-12	5,28km/LD	9.563.637,165	530.764,660	38°43'22,34878"W	03°56'52,03982"S

(*) A localização dos marcos teve como Km 00 o a Igreja de Urucará – Maranguape/CE, na rodovia CE-065. Para uma melhor visualização dos marcos no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, no item 11.1, está apresentada a Monografia dos Vértices Implantados.

(**) A localização dos marcos M-08 e M-09 teve como Km 00, a Igreja do Povoado de Ladeira Grande – Maranguape/CE, próximo a rodovia CE-065.

3.3 - TRANSPORTES DE COTAS

Tomou-se como base para a altimetria da barragem Maranguape II, o marco M5, implantado pela empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A, quando da execução de serviços de engenharia cartográfica, localizado na ombreira esquerda do eixo barrável, M5 (BASE). = HE (ombreira esquerda) = M0, com cota igual a 119,787m.

Figura 3.1

Bacia Hidrográfica da barragem Maranguape II

3.4 - 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 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 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Utilizando-se um Teodolito Soksha TM-20-C, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados, numerados e cotados, podendo ser encontradas estacas intermediárias indicando elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

Foram instalados pela empresa BASE 2 marcos de concreto para facilitar uma futura relocação. O primeiro denominado de M5, na estaca 0 = ombreira esquerda do eixo barrável com cota igual a 119,787 m e o segundo, denominado de M6, na estaca 33+15,00m = ombreira direita do eixo barrável, com cota igual a 126,421m.

O levantamento altimétrico da barragem Maranguape II, foi realizado utilizando-se um nível automático Soksha C.3.A, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

Esses levantamentos permitiram a confecção dos desenhos, da seção do boqueirão e do sangradouro com escala vertical 1:200 e horizontal 1:2000, e planta com curvas de nível a cada metro na escala 1:2000. Estes desenhos fazem parte do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

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, sendo menor este espaçamento onde o relevo ou outro fator exigiu maior nível de detalhamento.

3.5 - LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Para a execução dos serviços planialtimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Maranguape II, 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 Maranguape II.

3.5.1 - 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, chasis 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 papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scannerizadas 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.

3.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico

Para o apoio básico, foram implantados 12 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 Maranguape II tivemos origem no Vértice Bico Fino do IBGE de latitude $03^{\circ}50'46,4641''$ S e longitude $38^{\circ}53'10,6817''$ W e altitude de 408,67 m, e chegada no Vértice SA-24-1022 do IBGE de latitude $03^{\circ}52'28,7805''$ S e longitude $38^{\circ}31'21,6900''$ e altitude de 114,23 m.

Foram implantados os vértices M-01 a M-08 e posteriormente executado um adensamento de mais 4 vértices, M-09 a M-12, para obter-se intervisibilidade.

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. As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma freqüência com duração de rastreio de 01 hora.

Para a geração dos trabalhos de aerotriangulação, as imagens foram obtidas a partir da scanerização 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 scanerização 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.

Figura 3.2

Bacia Hidráulica da barragem Maranguape II

3.6 - LEVANTAMENTO DOS EMPRÉSTIMOS

Com a utilização de um Teodolito Soksha TM-20-C foram realizadas as locações e os levantamentos planialtimétricos das áreas das ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem, e amarradas à poligonal do eixo barrável através de uma linha de base auxiliar (que poderá se constituir no eixo do acesso ao local da obra). Todos os poços escavados na investigação dos empréstimos foram locados, numerados e amarrados à linha de base auxiliar através de eixos de locação. Foram confeccionados desenhos individuais, em escala apropriada, com a planta baixa das áreas dos empréstimos mostrando a localização de todas as ocorrências de material, de forma que possibilite a definição das distâncias de transporte. Tais desenhos e todos os dados necessários para localização e identificação dos empréstimos estão apresentados no *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos*.

3.6.1 - Jazida

Foram estudadas duas jazidas de material terroso, denominadas J 01 e J 02. As jazidas foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m. Suas características são descritas a seguir:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 170.000,00m² e volume útil de 319.000,00m³;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 40.000,00m² e volume útil de 32.000,00m³;

3.6.2 - Areal

Foi estudado um Areal, denominado de A 01, localizado no riacho da Mata, com uma área de 10.000,00m² e um volume útil de 4.100,00m³;

3.6.3 - Pedreira

A pedreira 01 de onde será extraído o material pétreo necessário a construção da barragem está localizada a 600,00m do eixo da barragem com um volume útil de 120.000,00m³.

3.7 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Discriminação do Serviço	Quantidade
Locação e nivelamento do eixo barrável e do sangradouro	1,87 Km
Levantamento das secções do eixo barrável e do sangradouro	31,19 Km
Locação e nível. da poligonal do canal de sangria e da calha do rio	1,85 Km
Levantamento de jazidas (malha 100 x 100)	25,0 Ha

4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4.1 - GEOMORFOLOGIA

Quatro feições morfológicas caracterizam o relevo, em escala regional da área da bacia hidráulica da barragem Maranguape II: o relevo litorâneo, a superfície aplainada das coberturas cenozóicas, o extenso pediplano de rochas cristalinas e os maciços montanhosos cristalinos.

A faixa litorânea é caracterizada por cordões de dunas que se movem de NE para SW, sob a ação dos ventos dominantes de leste e noroeste. Possuem tonalidades avermelhadas, contrastando com os tons esbranquiçados das dunas movediças.

Entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior interpõem-se os primeiros níveis elevados, formados pelos **terrenos cenozóicos de cobertura**. Ocupam uma faixa de largura variável ao longo da costa, formando uma ampla superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar, conhecida como tabuleiros.

O **pediplano de rochas pré-cambrianas** abrange uma vasta região e consiste de um conjunto profundamente arrasado, cujas altitudes crescem progressivamente para o interior. A monotonia de formas levemente ondulada, é interrompida por forte rutura de declive com os morros e serrotes residuais, formados por migmatitos e granitóides mais resistentes.

Tanto na região do pediplano como nos terrenos cenozóicos, a declividade dos talwegues é pequena, próxima do perfil de equilíbrio. Os vales são abertos, com extensas planícies de inundação, separadas por divisores d'água baixos e abaulados. Os cursos d'água são lentos, com pequena capacidade de carga, embora possam ocorrer enchentes violentas durante os períodos de elevadas médias pluviométricas.

A feição morfológica mais característica e que mais se destaca na área do projeto da barragem Maranguape I são os acidentes topográficos relacionados aos **maciços montanhosos cristalinos**, esculpidos em rochas graníticas.

4.2 - GEOLOGIA REGIONAL - BACIA HIDROGRÁFICA

O esboço geológico regional compreende basicamente um complexo de rochas pertencentes ao Pré-Cambriano não diferenciado PEX, que incluem rochas do tipo PI(B), do Proterozóico Inferior. Baseando-se em critérios estritamente litoestratigráficos, foram distinguidas as seguintes unidades pré-cambrianas: complexos Caicó e Tamboril/Sante Quitéria, Complexo Independência e Grupo Ceará e finalmente os diques ácidos.

Esta unidade apresenta como tipo litológico predominante, os migmatitos e gnaisses diversos, com ocorrência maior na parte central da bacia. A área exibe nos relevos elevados, corpos de granitóides de composição granítica a granodiorítica, e granitos diversificados, de textura grosseira e porfiróides, que datam do Proterozóico Inferior onde indicados (Ymi), com ocorrência na parte leste e sudeste da bacia hidráulica.

Toda seqüência variegada, constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na costa, infraquentes às dunas, foi denominada de Grupo Barreiras Indiviso (TQBi). Estes depósitos sedimentares ocorrem por toda a faixa costeira. Individualiza-se como uma região de tabuleiros planos, localmente ondulada com depressões suaves, sendo truncada por falésias e pelos vales dos rios. Todo este pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino em discordância erosiva angular. É capeada na linha da costa pelo cordão litorâneo de dunas, através de discordância e, no interior, passa transicionalmente para as coberturas Colúvio-eluviais indiferenciadas.

Nas áreas onde estão expostas as rochas cristalinas, principalmente na faixa de contato com os sedimentos costeiros, ocorrem tabuleiros constituídos por sedimentos de natureza colúvio-eluvial (TQc). Tais sedimentos foram individualizados como uma unidade com características próprias e bem definida. Estes capeamentos foram definidos como produtos da alteração de rochas cristalinas transformados em sedimentos areno-silto-argilosos inconsolidados, de idade terció-quadernária. Na região de Maranguape, constatou-se uma passagem gradativa para estas coberturas, dando um solo avermelhado com matriz areno-siltosa-ferruginosa contendo fragmentos angulosos de quartzo, pouco espesso, que evolui para um material mais alaranjado, homogêneo e visivelmente mais estável.

Os sedimentos litorâneos definiu-se pelo agrupamento dos cordões areníticos de idade recente, representados pelos arenitos flúvio-marinhos, com os sedimentos inconsolidados de origem eólica representados pelas dunas.

Os sedimentos aluviais do holoceno (Qa) são representados por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes. Compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas depositadas nas calhas dos rios. Litologicamente são representadas pelas argilas, areias argilosas, areias quartzosas, areias puras e cascalho.

Um resumo das principais características de cada um dos grupos litológicos é apresentado a seguir:

- **Unidade sem Denominação – PCX, que incluem rochas do tipo PI(B)**

É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfibolitos, rochas calciosilicáticas, quartzitos e rochas graníticas a dioríticas. Zonas de intensa migmatização com núcleos granitóides e migmatitos homogêneos dominantes onde individualizados – Ymi.

Os gnaisses apresentam-se laminados, algo migmatizados, gradando para anfibolitos. Os biotita-quartzo-feldspato gnaisses exibem tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média podendo variar para fina. Os gnaisses próximos às zonas de falha exibem porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais.

Os migmatitos diversos exibem estruturas flebíticas, estromática, oftálmica, “schlieren” e homofônica; envolvem granitóides geralmente porfiroblástticos. Apresentam coloração cinza-clara a rósea, granulação média e grosseira, textura equigranular, pórfiro-granular, estrutura granítica (isotrópica), constituída essencialmente por quartzo, feldspato plagioclásio e biotita, às vezes muscovita, como minaral acessório.

Os quartzitos ocorrem dispersos e sob a forma de lentes, encaixadas concordantemente ao lineamento das rochas gnáissicas e migmatíticas. Exibem tonalidades esbranquiçadas, granulação que varia de média a grossa, laminadas, quando micáceas.

O granito exhibe coloração cinza-clara, granulação média a grosseira e textura granular. É constituído essencialmente por quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio) e biotita.

- **Grupo Barreiras Indiviso – TQb - TQbi**

Litologicamente, se caracteriza por arenitos argilosos de coloração variegada (tons avermelhados, amarelados e esverdeados), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, algumas vezes silicoso. A granulação apresenta-se de fina à média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base. Apresentam estratificação cruzada e discreta estratificação plano-paralela/fluvial.

- **Coberturas Colúvio-Eluviais – TQc / QHa**

Litologicamente, as aluviões estão representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalho. As argilas são abundantes e se encontram com frequência em todas as calhas de rios e riachos. Os cascalhos e areias constituem grandes reservas, constituídas principalmente de areias grossas, mal selecionadas, puras, com seixos de quartzo e rochas cristalinas diversas.

- **As Aluviões – Qa**

São representadas por todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes. Constituem uma unidade importante, tanto do ponto de vista geológico quanto econômico. Compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas das calhas dos rios. Litologicamente, as aluviões estão representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalho. As argilas são abundantes e se encontram com frequência em todas as calhas dos rios. Geralmente são argilas detríticas, de boa plasticidade, de cores muito variadas, quase sempre brancas, amarelas, alaranjadas e vários tons de cinza.

A bacia de contribuição a partir da seção do barramento proposto, encontra-se completamente em terreno do Embasamento Cristalino, compreendidas pelas rochas Pré-Cambrianas e Proterozóicas descritas anteriormente.

4.2.1 - Caracterização Estrutural

A bacia hidrográfica do açude Maranguape II, sofre um controle estrutural ao longo dos seus eixos de drenagem, através de zonas de falhas indiscriminadas (segundo carta geológica da CPRM – Projeto Radam Brasil), com direção preferencial NE/SW.

Outra feição estrutural, peculiar dos plutões concordantes é reconhecida, na área do projeto, nos terrenos altamente metamorfoseados do Complexo Tamboril/Santa Quitéria. A estrutura é de domo gnaisse-granito, formando dois corpos rochosos, alongados e concordantes com o “trend” da estruturação regional. Nestes corpos observa-se uma forte lineação marginal que forma a região transicional entre o

domo e as rochas circundantes, cujos elementos planares vão sendo diluídos da periferia para o núcleo. Nas porções centrais destes corpos, são encontradas rochas graníticas, no lato sensu, cuja formação é derivada da culminação dos processos anatéticos. Estes corpos graníticos apresentam-se homogeneizados, orientados segundo a foliação regional, com uma forte lineação mineral.

Pequenos traços de fraturas, distribuídos com maior intensidade na direção NW/SW denunciam o controle da drenagem. Algumas deflexões abruptas ao longo dos eixos de 1ª ordem e 2ª ordem da drenagem, sugerem zonas de pequenas lineações que caracterizam o complexo litológico dos gnaisses diversos e migmatitos.

A influência dos planos de lineação são identificados do lado oeste da serra de Pacatuba, bordo direito da bacia da barragem Maranguape II.

4.2.2 - Metamorfismo

A grande variedade de rochas que constituem a Unidade sem Denominação (PX) é resultante do metamorfismo regional e está caracterizada por assembléias minerais diversas, que possibilitaram sugerir as condições genéticas da seqüência. As assembléias minerais ocorrem dentro de uma faixa ampla de temperatura e pressão, dentro do metamorfismo regional, e não são suficientemente seguros para determinar condições específicas de metamorfismos. Caracteriza-se pela presença constante de migmatização, que em certos casos leva a mesma a uma homogeneização total, originando núcleos granitóides.

4.3 - GEOLOGIA DO EIXO BARRÁVEL

Na etapa de desenvolvimento dos Estudos Básicos da Barragem Maranguape II, foram realizados estudos geológicos que compreenderam inicialmente consultas a mapas geológicos e bibliografias disponíveis sobre a região. Posteriormente foram efetuadas visitas de inspeção ao local dos serviços onde foi procedida uma campanha de investigações geológicas de campo.

A geologia do sítio da Barragem, principalmente em seu eixo, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre rochas cristalinas do tipo granito. Na área que corresponde à ombreira esquerda, verificou-se um capeamento de solo residual de espessura considerável, podendo chegar até 8 metros, constituído de argila areno-siltosa (laterita), de coloração amarela e vermelha variegada, com muitos seixos rolados e pedregulhos. Esta situação é observada principalmente no trecho entre as estacas 0 e 5 (eixo da barragem) e em direção ao local de implantação do sangradouro até a estaca 9, onde os afloramentos rochosos são inexistentes.

Na área que corresponde à ombreira direita, verificou-se um capeamento de solo de pequena espessura, podendo chegar a 2 metros, constituído de silte arenoso, de coloração creme, amarela e cinza variegada, com muitos seixos rolados (solo residual). Esta situação é observada principalmente no trecho a partir da estaca 29 até a estaca 52+13,00 (eixo da barragem).

Logo abaixo desta camada de solo residual encontra-se rocha granítica pouco a medianamente alterada em superfície, apresentando coloração cinza claro e escuro, com granulação variando de média a grossa. Apresentam pórfiroblastos de feldspatos, de coloração rósea. Os afloramentos de rocha granítica foram observados a partir da estaca 52+13.00, sob a forma de grandes blocos maciços e matacões dispersos. O granito exhibe coloração cinza-clara e escura, granulação média a grosseira e textura granular. É constituído essencialmente por quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio) e biotita.

Estas ocorrências rochosas apresentam características resistentes aos processos de decomposição e recobrem praticamente toda a extensão, a partir da estaca 52+13.00, com grandes afloramentos rochosos.

Na parte baixa do vale, nas margens do rio Papara, entre as estacas 5 e 29, estão restritos os sedimentos colúvio-aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos areno-silto-argilosos com pedregulhos, micáceos, medianamente compacta a compacta, cinza e amarela, do período Terciário e estendem-se por toda a extensão do rio Papara, desenvolvendo planícies aluviais (várzeas), de topografia plana e suave, sujeitas a inundações. Trata-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração das rochas cristalinas transformadas em sedimentos areno-silto-argilosos. Estes sedimentos atingem espessuras que podem chegar a 15 metros.

Em particular, na calha principal do rio, estão os depósitos de aluviões recentes, do período Quaternário, em forma de pequenos bancos de areias, bem graduadas, de cor creme e com granulometria de média a grossa, com pedregulho, medianamente compacta.

4.3.1 - Estudos Geológicos e Geotécnicos Preliminares

Os estudos geológicos e geotécnicos preliminares, quando da visita ao sítio do barramento, foram desenvolvidos ao nível de reconhecimento, baseados na Carta Geológica do Estado do Ceará – DNPM, confeccionada na escala de 1:500.000 e através dos estudos do Projeto RADAMBRASIL. Foram considerados também nesta etapa, todos os estudos geológicos e geotécnicos atualmente existentes e os que foram executados anteriormente, os quais forneceram subsídios para uma melhor definição das características geológicas.

4.4 - INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO

4.4.1 - Sondagens Realizadas

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

Nestas investigações procurou-se identificar as características do pacote aluvionar, quanto ao aspecto hidráulico e de suporte, através das sondagens à percussão e ensaios de infiltração, caracterizar a camada de solo e/ou alteração de rocha, sob o aspecto geomecânico e de transmissibilidade hidráulica, através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água.

Ao longo do eixo barrável foram realizadas 18 sondagens, sendo 12 sondagens à percussão e 06 sondagens mistas.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.4.1.1 - Sondagens à Percussão

O objetivo principal destas sondagens foi à definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT” (STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

Todas as sondagens à percussão foram executadas com diâmetro 2 1/2” polegadas e o critério de paralisação da perfuração foi em função da lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para cada dez minutos de lavagem).

Foram executadas 12 sondagens à percussão na área do eixo da barragem, perfazendo um total de 93,70m sondados. É apresentado a seguir no Quadro 4.1, o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d'água “Lugeon”.

Quadro 4.1 – Resumo das Sondagens à Percussão

Sondagem	Ensaios		Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total	
SP-13	05		5,29		5,29	E-05_Ex 40m J
SP-15	06		6,42		6,42	E-05_Ex 40m M
SP-16	11		11,53		11,53	E-09_Ex 40m J
SP-18	9		9,02		9,02	E-09_Ex 40m M
SP-19	11		12,16		12,16	E-13_Ex 40m J
SP-21	8		8,08		8,08	E-13_Ex 40m M
SP-22	7		6,95		6,95	E-17_Ex 40m J
SP-24	7		7,80		7,80	E-17_Ex 40m M
SP-25	6		7,75		7,75	E-21_Ex 40m J
SP-27	6		6,90		6,90	E-21_Ex 40m M
SP-28	3		3,93		3,93	E-25_Ex 40m J
SP-30	7		7,87		7,87	E-25_Ex 40m M
Total	86		93,70		93,70	

4.4.1.2 - Sondagens Mistas

Foram executadas 06 sondagens mistas, perfazendo um total de 124,30 metros. No Quadro 4.2 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “*Le Franc*” e de perda d’água “*Lugeon*”.

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo: 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Quadro 4.2 – Resumo das Sondagens Mistas

Sondagem	Ensaios		Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total	
SM-14	-	03	8,50	10,55	19,05	E-05_Ex
SM-17	-	03	13,00	10,65	23,65	E-09_Ex
SM-20	-	03	13,50	9,00	22,50	E-12_Ex
SM-23	-	03	11,00	9,00	20,00	E-17_Ex
SM-26	-	03	7,70	10,40	18,10	E-21_Ex
SM-29	-	03	11,00	10,00	21,00	E-25_Ex
Total	-	18			124,30	

4.4.1.3 - Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, em trecho de solo, e nas sondagens percussivas foram executados ensaios de infiltração do tipo *Le Franc*, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. No trecho em rocha das sondagens mistas, foram executados ensaios de perda d’água sob pressão (ensaio de Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso.

Os resultados destes ensaios podem ser encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.5 - INVESTIGAÇÕES DO SANGRADOURO

4.5.1 - Sondagens Realizadas

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas. Ao longo do sangradouro foram realizadas 12 sondagens mistas.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.5.1.1 - Sondagens Mistas

Foram executadas 12 sondagens mistas, perfazendo um total de 141,10 m perfurados. No Quadro 4.3 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento.

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo: 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Quadro 4.3 – Resumo das Sondagens Mistas no Sangradouro

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total	
SM-01			10,20	5,00	15,20	E-09_Ex S 20m J/OE
SM-02			8,40	5,00	13,40	E-09_Ex S/OE
SM-03			7,50	5,00	12,50	E-09_Ex S 20m M/OE
SM-04			8,60	5,00	13,60	E-08_Ex S 20m J/OE
SM-05			5,80	5,00	10,80	E-08_Ex S/OE
SM-06			7,50	5,00	12,50	E-08_Ex S 20m M/OE
SM-07			6,15	5,00	11,15	E-07_Ex S 20m J/OE
SM-08			1,80	5,00	6,80	E-07_Ex S/OE
SM-09			1,20	5,00	6,20	E-07_Ex S 20m M/OE
SM-10			8,55	5,00	13,55	E-06_Ex S 20m J/OE
SM-11			7,80	5,00	12,80	E-06_Ex S/OE
SM-12			7,60	5,00	12,60	E-06_Ex S 20m M/OE
Total	-				141,10	

4.6 - ESTUDOS DOS MATERIAIS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Maranguape II tiveram início com o reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento para a seleção das ocorrências aproveitáveis, considerando a qualidade e o volume dos materiais disponíveis.

Foram estudadas as seguintes ocorrências:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 170.000,00m² e volume útil de 319.000,00m³;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 40.000,00m² e volume útil de 32.000,00m³;
- Areal 01 - Areia de rio (Riacho da Mata) que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos, com uma área de 10.000m² e um volume útil de 4.100,00m³;
- Pedreira 01 - Para a produção de pedra para enrocamento e brita. É uma pedreira de exploração comercial, localizada a 600,00m de distância do eixo da barragem, com volume útil de 120.000,00m³.

As localizações e acessos a todas as ocorrências, em relação ao eixo barrável, estão apresentadas em croquis individuais específicos no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.6.1 - Jazidas

As jazidas de materiais terrosos (J 01 e J 02) foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m. na Jazida 01 foram executados 51 poços, com um total de 67,00m de sondagem e na Jazida 02 foram executados 12 poços, perfazendo 15,80m de sondagem. Das jazidas foram coletadas amostras para a execução dos seguintes ensaios de laboratório: Granulometria por Peneiramento, Granulometria por Sedimentação, Limites de Consistência, Peso Específico dos Grãos, Umidade Natural e Ensaio de Compactação (Proctor-Normal). Foram realizados ainda os seguintes ensaios especiais: Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento.

A seguir é apresentado um resumo dos ensaios geotécnicos realizados na Jazida 01. A classificação táctil-visual e os resultados dos ensaios são apresentados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

Quadro 4.4 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 01

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS												
		01	02	03	04	05	09	11	13	15	17	19	21	22
Granulometria por Sedimentação	11	X		X			X		X			X		
Permeabilidade (Carga Variável)	11	X		X			X		X			X		
Cisalhamento Direto	04			X								X		
Compactação (Proctor Normal)	29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Continuação

ENSAIOS	FUROS COLETADOS															
	24	25	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	49	50
Granulometria por Sedimentação			X		X		X		X		X		X			
Permeabilidade (Carga Variável)			X		X		X		X		X		X			
Cisalhamento Direto									X				X			
Compactação (Proctor Normal)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 4.5 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 02

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS							
		01	02	03	04	06	09	11	12
Granulometria por Sedimentação	05			X		X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Variável)	05			X		X	X	X	X
Cisalhamento Direto	02					X			X
Compactação (Proctor Normal)	08	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	08	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	08	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	08	X	X	X	X	X	X	X	X

4.6.2 - Areal

No Areal 01 foram coletadas amostras para a classificação táctil-visual e para a realização, em laboratório de ensaios de Granulometria por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante. Os resultados dos ensaios realizados estão apresentados no Capítulo 6 – Anexos. A seguir é apresentado um quadro com o resumo dos ensaios do Areal (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos do Areal 01

ENSAIOS	FUROS COLETADOS									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Granulometria	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Constante)		X		X	X	X			X	

4.6.3 - Pedreira

Para a Pedreira 01 foram coletadas três amostras para a realização do ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. O resultado deste ensaio está apresentado no Capítulo 6 – Anexos.

5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O açude Maranguape II barra o rio Papara nas coordenadas UTM _____E e _____N. A barragem situa-se próximo da localidade denominada de Sapupara no município de Maranguape - CE. O quadro a seguir apresenta um resumo dos dados característicos da bacia em estudo.

Quadro 5.1 – Caracterização da Bacia

Área da bacia do Açude Maranguape II	18,5 km ²
Perímetro da bacia do Açude Maranguape II	18,31 km
Declividade média da bacia do Açude Maranguape II	28,15 m/km
Comprimento do rio principal	4,65 km
Fator de compacidade	1,20
Fator de forma	0,85
Tempo de concentração	0,86 hrs

A Figura 5.1 a seguir mostra a altimetria da bacia hidrográfica do Açude Maranguape II.

As definições de solos e cobertura vegetal da área em estudo constituem elementos importantes na formação do regime de escoamento superficial. A cobertura vegetal representa o primeiro obstáculo encontrado pela precipitação e tem papel importante na interceptação e na evapotranspiração. Os solos através da sua capacidade de infiltração, capacidade de retenção de água próximo à superfície e da presença de depressões evaporativas, definem os movimentos das águas que ultrapassaram a cobertura vegetal.

A bacia do Açude Maranguape II tem predominantemente solos Bruno não Cálcico - NC8 e Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico - PE3, (ver Figura 5.2), o que, associado com o relevo da bacia, resulta em solos com baixa capacidade de drenagem (Figura 5.3). A vegetação predominante é a Caatinga Arbustiva Densa e a Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial – Mata Seca (Figura 5.4) e o principal uso é a Agricultura – [culturas anuais, temporárias e permanentes] e [Horticultura e remanescentes florestais] (Figura 5.5).

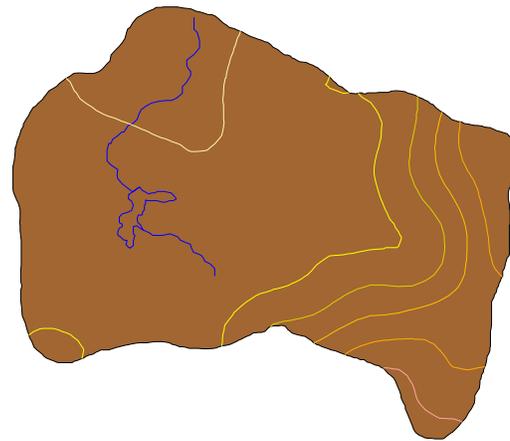


Figura 5.1. Bacia do Açude Maranguape II.

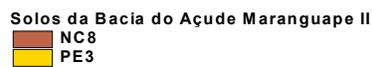
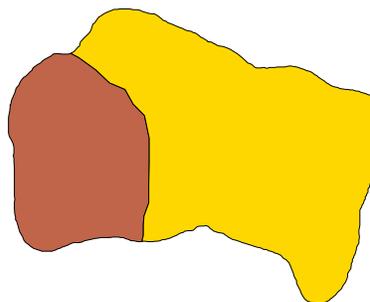


Figura 5.2. Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).

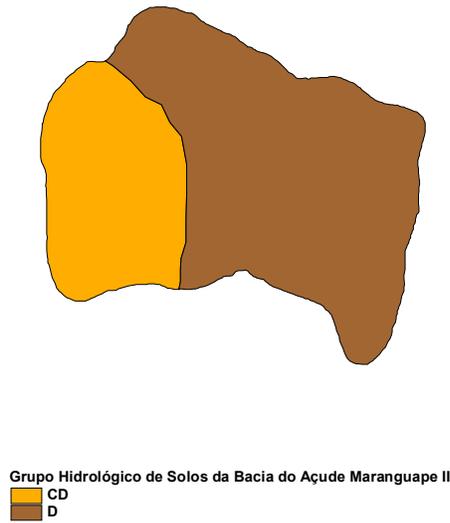
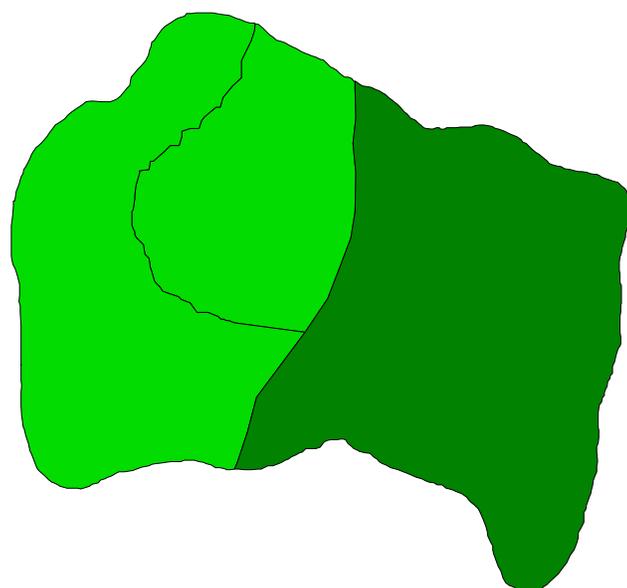


Figura 5.3. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).



Figura 5.4. Vegetação da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).



Uso do Solo da Bacia do Açude Maranguape II
■ Agricultura (Horticultura) e Remanescentes Florestais
■ Agricultura (Culturas Anuais, Temporárias e Permanentes)

Figura 5.5. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Maranguape II (Fonte: FUNCEME).

5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do Maranguape II, principalmente aquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 18,50 km² no local a ser barrado. A referida bacia não tem estação hidroclimatológica localizada em seus domínios, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Fortaleza, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)¹.

O Quadro 5.2, a seguir, apresenta uma síntese dos indicadores do clima da bacia em estudo.

¹INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

Quadro 5.2 – Resumo dos Indicadores Climáticos

Pluviometria média anual	1386 mm
Evaporação média anual	1468 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1563,1 mm
Insolação média anual	2694,3 h
Umidade relativa média anual	78,3 %
Temperatura média anual: média das máximas	29,9 °C
Temperatura média anual: média das médias	26,6 °C
Temperatura média anual: média das mínimas	23,5 °C
Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	C2S2A'a'

5.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978), destinado à identificação de inconsistências na série histórica. Estas inconsistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrer sistematicamente ou isoladamente em um certo período.

Um posto foi utilizado neste estudo, o mais próximo da área de interesse que possui uma bacia hidrográfica com 18,50 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados postos reunidos nos denominados grupos regionais, (PERH, 1990), por apresentarem médias dos totais anuais mais próximas, além de estarem localizados em regiões de pouca variação de altitude.

Inicialmente foi considerado o intervalo anual, para o qual analisou-se a dupla massa entre a pluviometria anual e a série sintética obtida a partir do vetor regional associado. Esta análise permite a identificação de anomalias, ou seja, valores que divergem do padrão, este definido com base na informação de todos os postos pelo princípio da máxima verossimilhança.

A seguir prossegue-se com a análise, a nível mensal, utilizando o vetor regional mensal, buscando os meses que apresentam desvios consideráveis para aqueles anos de desvios consideráveis em relação ao valor sintético, sendo corrigidos os de maior contribuição para o desvio a nível anual. Os valores diários são compatibilizados pelo princípio da desagregação nos meses que sofreram a correção. Para maiores detalhes, consultar o PERH - SRH, 1990 - Relatório Geral - Diagnóstico.

O Quadro 5.3 mostra os postos pluviométricos que foram utilizados neste estudo e que compõem o grupo regional PACOTI. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

**Quadro 5.3 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional:
Grupo Pacoti**

Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
MARANGUAPE	2872766	1912 - 1982	03°53'	38°41'	67

Fonte: PERH-CE (1990)

Uma análise freqüencial foi realizada para o postos de Maranguape, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 5.4 resume esta análise de freqüência.

Quadro 5.4 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais - Distribuição Pearson III.

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2872766	75	2092,4	2723,6	2981,0	3234,3	3566,0	3816,3

No Quadro 5.5 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 5.6 apresenta-se um resumo da análise de freqüência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

**Quadro 5.5 - Índices de Concentração Pluviométrica.
Série de Valores Médios Mensais.**

Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
2872766	MARÇO	323,2	23,3	FMA	825,4	59,6	1	1236,7	89,2

**Quadro 5.6 - Análise de Freqüência-Nível Mensal-Distribuição Pearson III
(mês mais chuvoso = março).**

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2872766	75	528,6	716,1	793,2	869,4	969,7	1045,6

5.3.1 - Chuvas Intensas

Na área em estudo inexistem registros pluviográficos, 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, estabeleceu-se uma equação que relaciona intensidade, duração e frequência 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.

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

O posto de Maranguape (2872766) foi escolhido uma vez que tem uma série extensa e uma boa representatividade do regime de chuvas da região. A Figura 5.6 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.

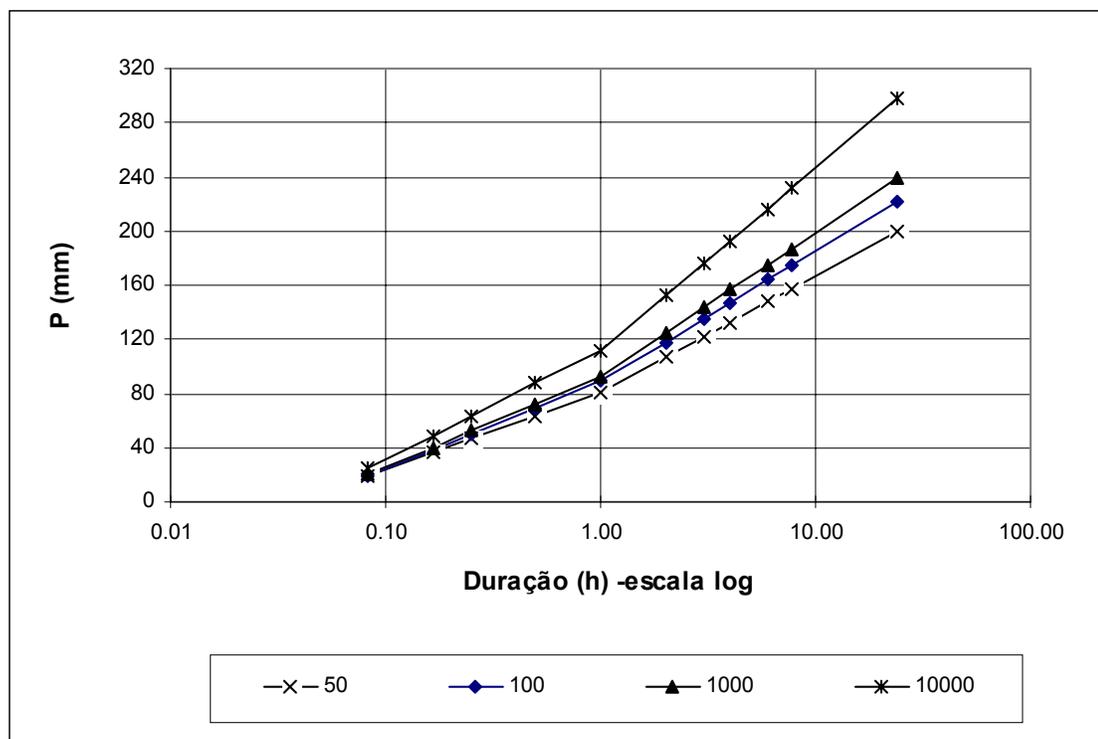


Figura 5.6 - Curvas Intensidade-Duração-Freqüência

5.4 - ESTUDOS 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.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Maranguape II foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietogramas de projeto correspondentes a 1000 anos (T_r = tempo de retorno).

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Maranguape II, foi considerada 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 através do método de Taborga. Na Figura 5.8 apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo. Como a área da bacia é da ordem de 19 km² para ambas opções de eixo analisadas, foi utilizada a chuva pontual, não sendo realizado nenhum ajuste para correção de área.

Quadro 5.7 - Chuvas Pontual e Reduzida

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	18,6	46,3	81,2	107,0	122,1	147,9	157,5	199,5
P(mm) – TR 100	18,5	49,8	89,3	118,1	135,0	163,9	174,6	221,6
P(mm) – TR 1000	19,9	52,2	93,0	124,8	143,3	175,1	186,9	238,6
P (mm) – TR 10000	24,8	63,3	111,8	152,3	176,0	216,4	231,4	297,4

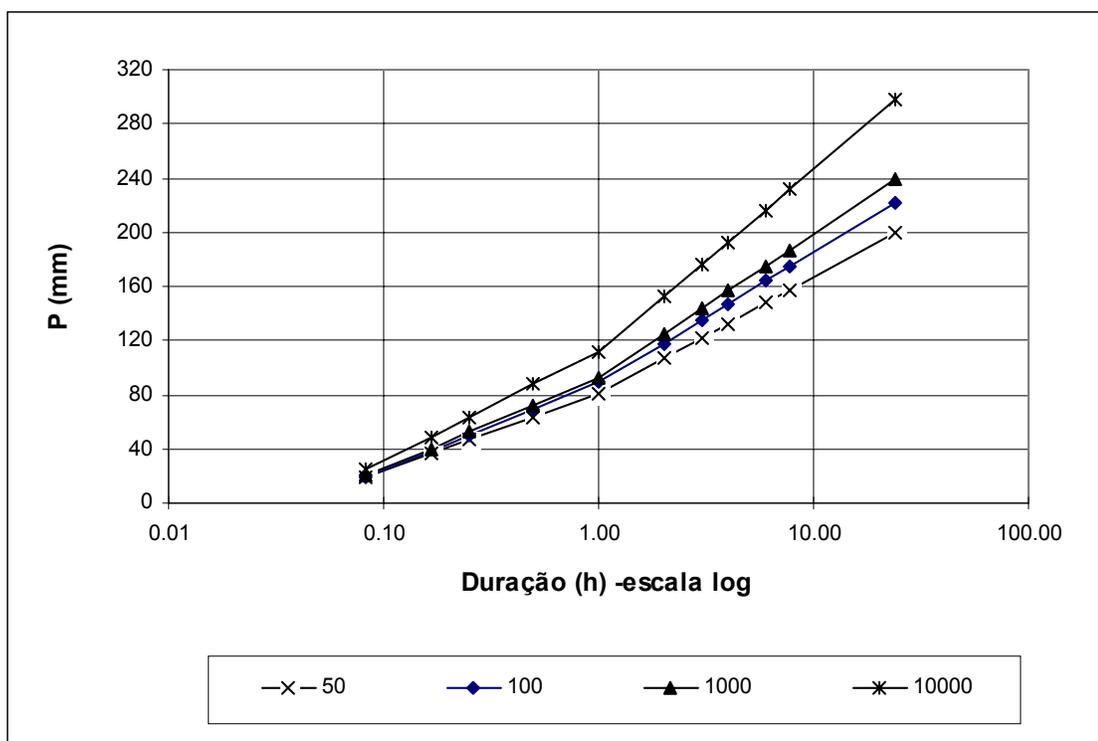


Figura 5.7 – Curvas intensidade-duração-freqüência

O HEC-1 utiliza os dados da curva intensidade-duração-freqüência para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tempestade (tempestade balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

$$P_{10min} = 0,41.P_{5min} + 0,59.P_{15min}$$

$$P_{30min} = 0,51.P_{15min} + 0,49.P_{60min}$$

Onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos. Adotou-se um hietograma de projeto com duração de 24 horas.

5.4.1 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1

O modelo HEC-1 refere-se a 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 cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do Soil Conservation Service.

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 Maranguape II foi adotado um CN = 70 com base nos mapas de solos (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por

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

onde Q = escoamento; P = precipitação; S = capacidade máxima de armazenamento do solo; I_a = perdas antes do início do escoamento.

As perdas antes do início do escoamento (I_a) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração. I_a é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias I_a é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20.S$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se I_a , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S}$$

onde S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

CONDIÇÕES SECAS

$$CN (I) = \frac{4,2.CN(II)}{10 - 0,058.CN(II)}$$

CONDIÇÕES ÚMIDAS

$$CN (III) = \frac{2,3.CN(II)}{10 + 0,13.CN(II)}$$

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas.

Como já mencionado, o CN foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir:

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração, solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundos.
- D - solos contendo argilas expansivas, pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

5.4.2 - 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. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o TLAG. Este parâmetro, TLAG, é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

O tempo de concentração da bacia foi estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Onde TC = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Maranguape II tem-se:

$$L = 4,65 \text{ km} \quad \Delta H = 131 \text{ m} \quad S = 28,15 \text{ m/km} \quad v \text{ (m/s)} = 1,51 \text{ m/s}$$

o que resulta $T_c = 0,86 \text{ h}$; $T_{LAG} = 0,515 \text{ h}$ para a Barragem Maranguape II.

A vazão de pico e o tempo de pico são, assim, calculados por:

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

Onde Q_p = é a vazão de pico (m^3/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km^2 e Δt = o intervalo de cálculo. No quadro 5.8 a seguir estão indicados os dados dos hidrogramas de cheia milenar e decamilenar.

QUADRO 5.8

Cheia	Δt (minutos)	Chuva Total (mm)	Perdas (mm)	Chuva efetiva (mm)
1.000	1	236,42	94,00	142,42
10.000	1	294,68	99,59	195,09

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação $\Delta t = 0,20 t_p$, não devendo exceder $0,25 t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60 T_c \quad \text{e} \quad 1,7 t_p = \Delta t + T_c$$

Onde T_c = é o tempo de concentração da bacia. O Δt utilizado foi de 1 minuto. O HEC-1 sugere que $\Delta t \leq 0,29 T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

A Figura 5.8 abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Maranguape II obtido através do uso do modelo HEC-1, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi $378 \text{ m}^3/s$. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de $500 \text{ m}^3/s$ (Figura 5.9).

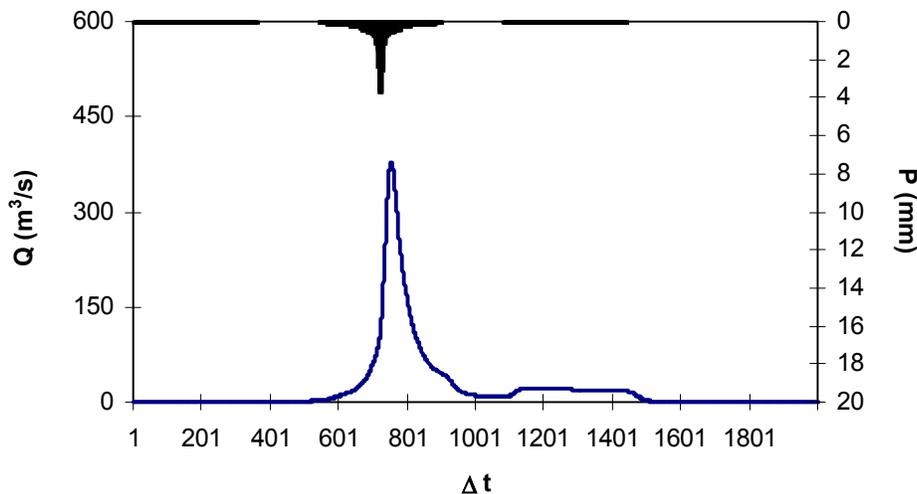


Figura 5.8 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 1000 anos).

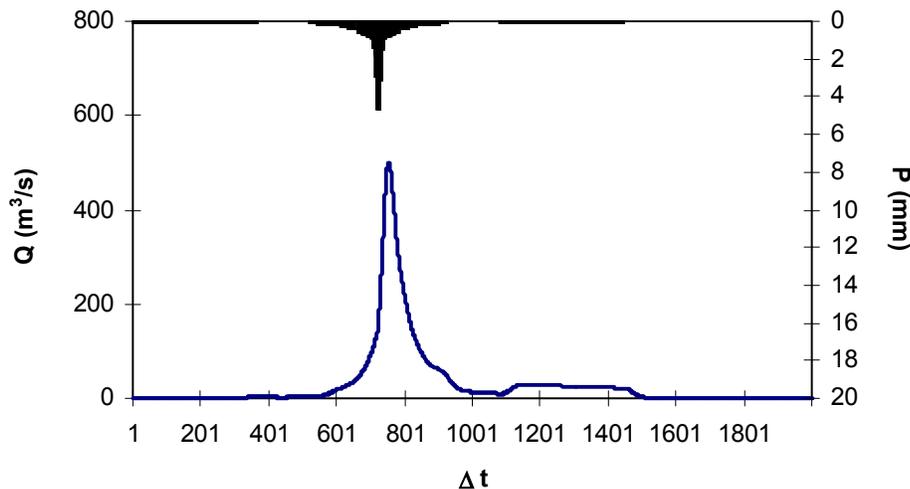


Figura 5.9 - Hidrograma total afluente ao Maranguape II (Tr = 10000 anos).

5.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

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

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

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

5.5.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por:

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

$$S_t = \max(B - K; 0)$$

Com

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

Onde:

Z_t = volume armazenado no início do ano t ;

I_t = volume afluyente ao reservatório durante o ano t ;

A_t = área do espelho d'água no início do ano t ;

E = lâmina evaporada durante o ano t , suposta constante ao longo dos anos;

K = capacidade do reservatório;

S_t = volume perdido por sangria durante o ano t .

Representando-se a bacia hidráulica por

$$Z(h) = \alpha \cdot h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \cdot \alpha \cdot h^2,$$

h - altura d'água α - fator de forma (obtido por regressão entre z e h^3)

Supondo um modelo mutuamente exclusivo com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos seguindo uma distribuição Gamma de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990) [CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.], a saber:

1. estabelece-se um valor inicial para a retirada M ;
2. considera-se um volume inicial igual $\text{MIN}(0,5 K; 0,5 \mu)$;
3. Calcula-se

$$Z_U = Z_t + I_t \quad \text{p/ } Z_t + I_t \leq K$$

$$Z_U = K \quad \text{caso contrário}$$

$$D_S = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$$

onde Z_U é o volume armazenado no final da estação e D_S o volume sangrado no ano t ;

4. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:

a) divide-se M e E em L partes (no caso L=6)

b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_2 = Z_1 - M / L \quad \text{se } Z_1 - M / L > Z_{MIN}$$

$$Z_2 = Z_{MIN} \quad \text{caso contrário (ANO FALHO)}$$

$$Z_{MIN} = MAX(0,05.K;0,20.\mu)$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left(\frac{Z_2}{\alpha} \right)^{1/3}$$

c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_3 = h_2 - E / L \quad \text{se } h_2 - E / L \geq 0$$

$$h_3 = 0 \quad \text{caso contrário}$$

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha.h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração;

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;

6. Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05%, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidade. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1.

5.5.2 - Hidrograma Triangular

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um reservatório para um período longo:

$$\sum I = \sum M + \sum S + \sum E + Z$$

Onde $\sum I, \sum M, \sum S, \sum E$ representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N , sendo N suficientemente grande, obtém-se:

$$\mu = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

Onde $E \{.\}$ representa operador valor esperado, e μ o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para estabelecer como esta divisão se processa em função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990).

• Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 322 mm
- volume afluente médio escoado (μ): 5,957 hm³/ano

O coeficiente de variação de $CV = 0,85$ foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma α , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que se pretende analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$E_L = 0,85 \cdot (80,5 + 100,6 + 129,0 + 142,6 + 147,5 + 142,9 + 131,2)$$

$$= 743,1 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 1884,1$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0,15$$

No Quadro 5.9 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ). A Figura 5.10 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Maranguape II, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no Quadro 5.9.

Quadro 5.9 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Maranguape II

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)
88	2.082	0.35	19.79	1.194	4.79	0.289	75.42	4.549	----	0.039	1.239
90	3.879	0.65	29.55	1.781	7.68	0.463	62.77	3.784	0.334	0.058	1.840
92	6.236	1.05	41.26	2.486	10.43	0.629	48.31	2.911	0.317	0.082	2.587
94	9.148	1.54	50.20	3.024	13.47	0.811	36.33	2.188	0.195	0.100	3.156
95	10.862	1.82	54.13	3.260	15.03	0.905	30.84	1.858	0.146	0.108	3.405
96	12.720	2.14	57.94	3.488	16.43	0.989	25.64	1.544	0.133	0.116	3.653
97	14.701	2.47	60.75	3.656	17.87	1.076	21.38	1.286	0.091	0.122	3.833
98	16.781	2.82	62.68	3.772	19.31	1.162	18.01	1.084	0.058	0.125	3.954
99	18.962	3.18	64.65	3.892	20.56	1.238	14.79	0.890	0.060	0.130	4.086
100	21.256	3.57	66.09	3.978	21.86	1.316	12.06	0.726	0.040	0.133	4.179
101	23.655	3.97	67.34	4.053	23.03	1.386	9.62	0.579	0.035	0.135	4.262
102	26.143	4.39	68.17	4.102	24.19	1.456	7.64	0.459	0.018	0.137	4.307
103	28.761	4.83	69.15	4.160	25.06	1.507	5.79	0.348	0.024	0.139	4.369
104	31.510	5.29	69.93	4.205	25.77	1.549	4.30	0.258	0.019	0.140	4.421
105	34.343	5.77	70.44	4.234	26.36	1.584	3.20	0.192	0.012	0.141	4.454
106	37.267	6.26	70.69	4.248	26.98	1.621	2.34	0.140	0.004	0.142	4.465
107	40.373	6.78	71.00	4.266	27.44	1.649	1.56	0.094	0.007	0.142	4.486
108	43.674	7.33	71.24	4.282	27.77	1.669	0.98	0.059	0.005	0.143	4.501
109	47.086	7.90	71.32	4.286	28.06	1.686	0.62	0.038	0.001	0.143	4.505
110	50.591	8.49	71.38	4.290	28.22	1.696	0.40	0.024	0.001	0.143	4.510

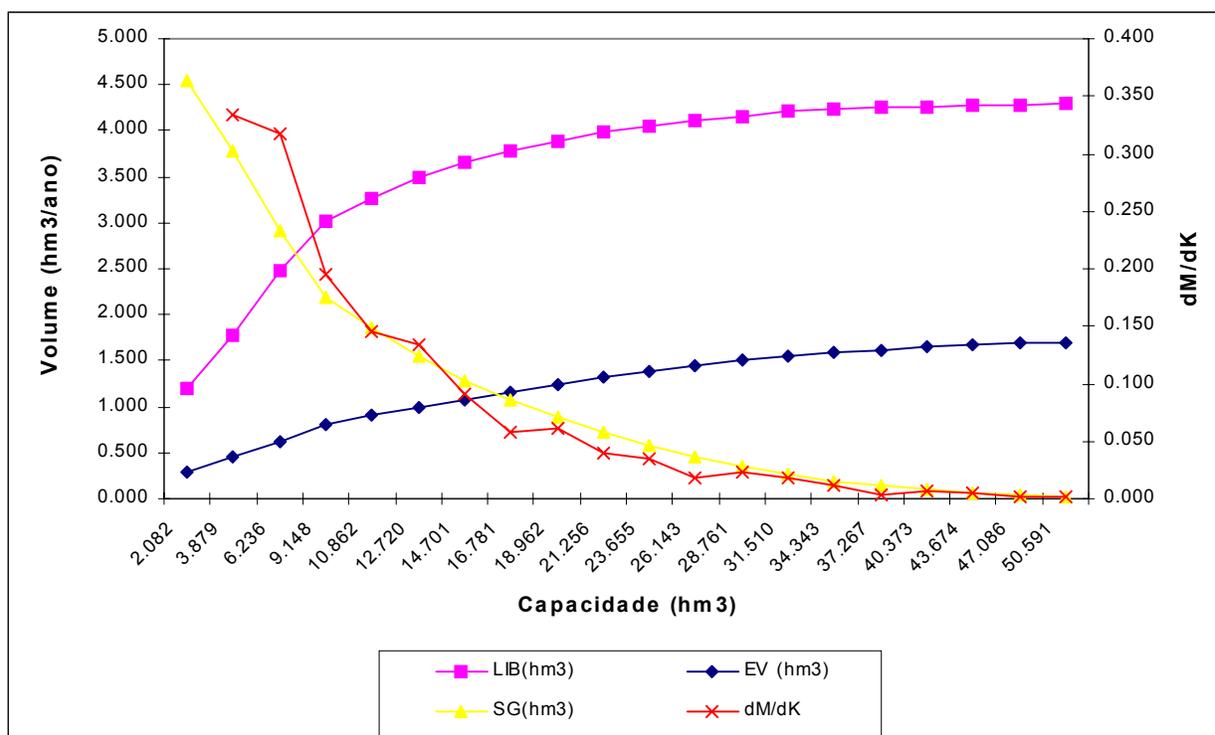


Figura 5.10 - Curvas de Regulação do Reservatório Maranguape II

A Figura 5.10 e os dados apresentados no Quadro 5.9 sugerem que a partir da cota 94 m (volume em torno de 9,148 hm³) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 50,2% do volume afluente médio anual, ou seja, 3,024hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,100m³/s. O Quadro 5.10 mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG).

Quadro 5.10 - Distribuição do volume afluente e Qr (90%) para o Reservatório Maranguape II

Equação do Balanço Hídrico			
LB - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m ³ /s)
3,024 – 50.2%	2,188 – 36.33%	0,811 – 13.47%	0,100

EV - Volume evaporado (hm³/ano); SG - Volume sangrado (hm³/ano)

LB- Volume liberado (hm³/ano);

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m³/s)

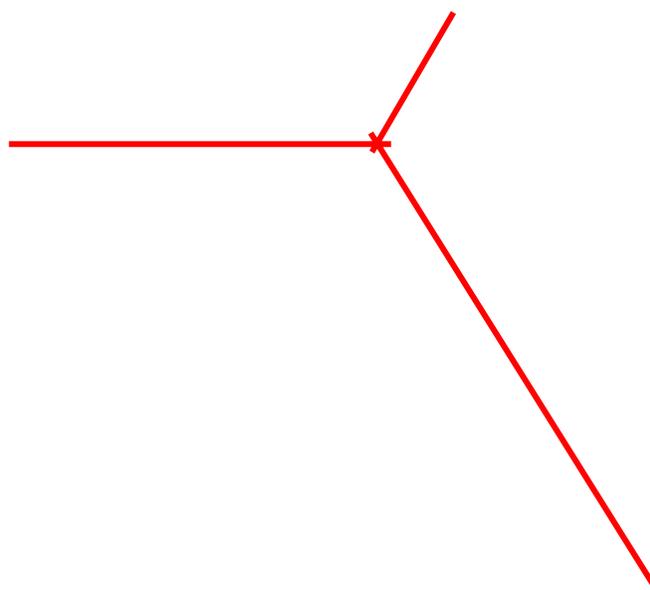


Figura 5.11 – Diagrama Triangular de Regularização aplicado a Barragem de Maranguape II.

5.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

5.6.1 - 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 5.12 mostra que:

- o custo anual do m³ regularizado variou entre R\$0,0467 (cota 97 m) e R\$0,0486 (cota 92 m).
- o custo anual do m³ de acumulação variou entre R\$ 0,0094 (cota 97) a R\$ 0,0152 (cota 92).

5.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica

Apesar de tanto o custo anual do m³ regularizado como também de custo anual do m³ acumulado ter uma tendência negativa, quando variamos a cota de soleira entre 92 e 97 m, o aumento do custo relativo é pequeno. Assim, considerando os aspectos construtivos, hidrológicos e econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 94 m (volume de armazenamento = 9,148 hm³).

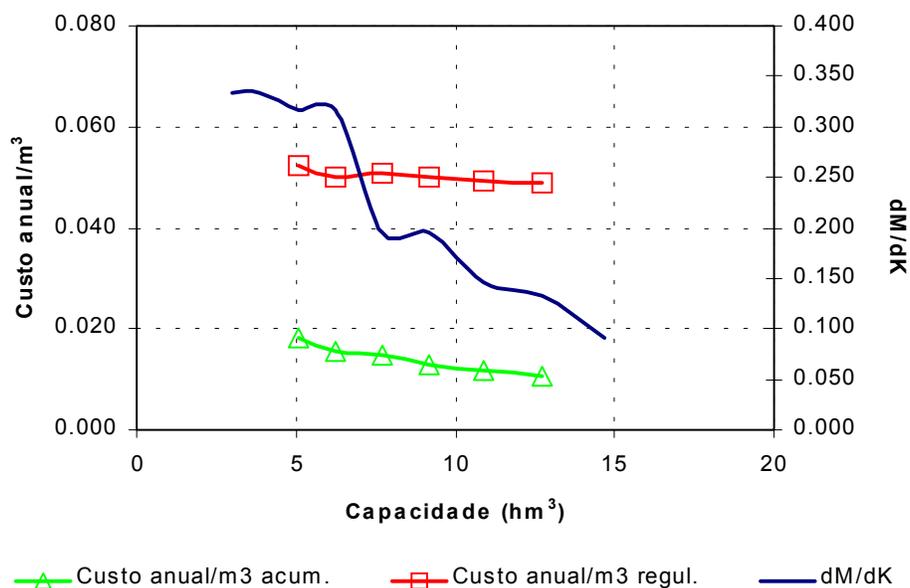


Figura 5.12. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Maranguape II.

5.7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos do capítulo anterior, faz-se necessário agora o dimensionamento do sangradouro visando definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada.

5.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

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

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (1)$$

Onde I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório em t e $t+1$; Q_t e Q_{t+1} = vazões de saída ao reservatório em t e $t+1$; S_t e S_{t+1} = armazenamento em t e $t+1$; Δt = intervalo de tempo. As incógnitas Q_{t+1} e S_{t+1} podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Conhecendo-se a função $Q = f(S)$, constrói-se uma função $Q = h(Q + 2S/\Delta t)$, resultando no seguinte processo de cálculo:

1. determinação do volume inicial S_0 (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se Q_0 ;
2. calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;
3. com este valor $(Q_{t+1} + 2 \cdot S_{t+1} / \Delta t)$ é possível obter Q_{t+1} através de $Q = h(Q + 2S/\Delta t)$ e S_{t+1} através de $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$;
4. repetem-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

Foram analisadas duas alternativas para o vertedouro, o primeiro escavado em rocha com coeficiente de descarga 1,4, e o outro um perfil Creager com coeficiente de descarga 2,1, ficando suas equações características, respectivamente:

$$Q = 1,4 L (Z - Z_w)^{1,5} \quad \text{e} \quad Q = 2,1 L (Z - Z_w)^{1,5}.$$

5.7.2 - Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=94 m), elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 5.11, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 5.13 abaixo mostra o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Maranguape II correspondente ao tempo de retorno $T_r=1,000$ anos para as duas alternativas de vertedouros: escavado em rocha (verde) e em perfil Creager (vermelho). Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na Figura 5.14.

Quadro 5.11 - Resultado da simulação acima descrita

Cota (m)	Cota de pico (m)	Lâmina (m)	Q_{out} (m ³ /s)
Tr = 1.000 anos - $Q_{in} = 378 \text{ m}^3/\text{s}$			
Escavado em rocha: L = 90 m			
94	94,79	0,79	92,0
Perfil Creager: L = 60 m			
94	94,79	0,79	90,0
Tr = 10.000 anos - $Q_{in} = 500,0 \text{ m}^3/\text{s}$			
Escavado em rocha: L = 90 m			
94	95,04	1,04	137,0
Perfil Creager: L = 60 m			
94	95,04	1,04	135,0

L = Largura do sangradouro

Z_w = Cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

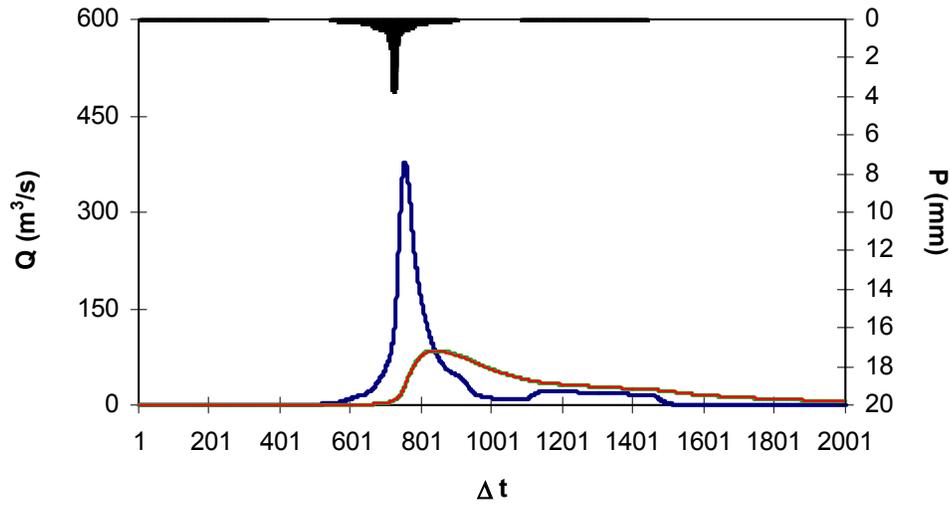


Figura 5.13 - Hidrogramas de Entrada e de Saida do Reservatório Maranguape II (Tr=1.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).

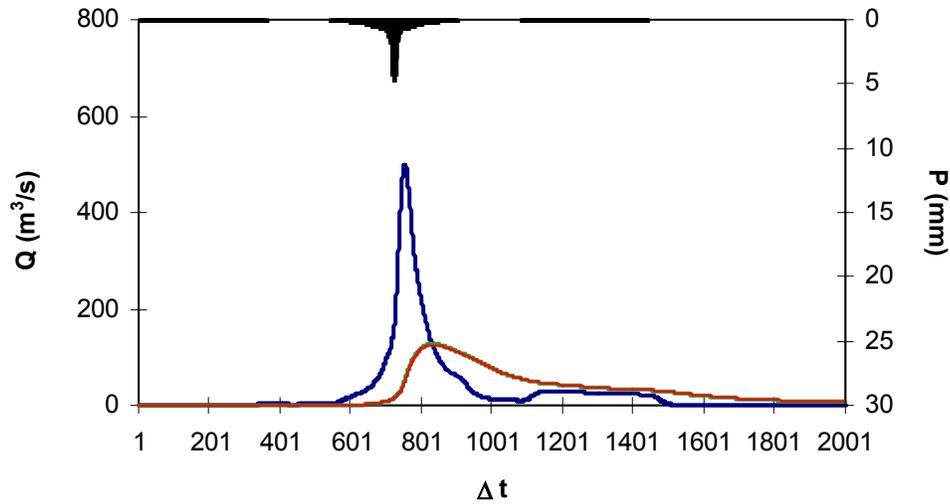


Figura 5.14 - Hidrogramas de Entrada e de Saida do Reservatório Maranguape II (Tr=10.000 anos). Escavado em Rocha (verde) e em Perfil Creager (vermelho).