



Folha de Dados

IDGED:

246/05/01

LOTE:

2656

AUTOR:

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICO – SRH; GOLDER ASSOCIATES; PIVOT

TÍTULO:

ESTUDOS DE ALTERNATIVA, VIABILIDADE E PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA SELECIONADA DA BARRAGEM TAQUARA

SUBTÍTULO:

TOMO V – PROJETO BÁSICO; VOLUME 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH



PROÁGUA

S E M I - Á R I D O

ESTUDO DE ALTERNATIVAS, VIABILIDADE E
PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA SELECIONADA
DA BARRAGEM TAQUARA

TOMO V - PROJETO BÁSICO

VOLUME 1 - MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Maio - 2001



Lote: 02626 - Prep (X) Scan () Index ()
Projeto Nº 246105/01
Volume 1
Qtd A4 Qtd A3
Qtd A2 Qtd A1
Qtd A0 Outros

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS, VIABILIDADE E
PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA
SELECIONADA DA BARRAGEM TAQUARA**

TOMO V - PROJETO BÁSICO

VOLUME 1

MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Elaborado para

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH – CE
Fortaleza – CE
Brasil

Elaborado por

Consórcio GOLDER-PIVOT
Rua Leonardo Motta, 699
Fortaleza – CE
Brasil

Distribuição

01 Cópia - Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH – CE
01 Cópia - Consórcio GOLDER-PIVOT

Maior, 2001

1111003

009-5601-OS2-014

GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ

Tasso Ribeiro Jereissati

SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS

Hypérides Pereira de Macedo

COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS

Francisco José Coelho Teixeira

GERÊNCIA GERAL ADJUNTA

Ramon Flávio Gomes Rodrigues

GERÊNCIA DE PLANEJAMENTO TÉCNICO

Francisco de Assis Souza Filho

00.0004

EQUIPE DE ELABORAÇÃO

CONSÓRCIO GOLDER – PIVOT	ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH
José Carlos Virgili Geólogo	Francisco de Assis Souza Filho M.S Hidráulica e Saneamento Presidente da Comissão
Jeovah Cardoso de Lima Engº Agrônomo	Lucrécia Nogueira de Sousa Geólogo Membro
Nelson Luiz Ferreira Porto Engº Civil	Dorian Ponte Lima Engº. Civil Membro
Mário Cicareli Pinheiro Engº Civil	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
José Mário Queiroga Mafra Engº Civil	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Tácito Cunha de Souza Geólogo	Ronei Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Márcio Ferreira de Araújo Mendes Engº Civil	
Luciana Flávia Campos Baptista Villefort Engº Civil	
Ronaldo de Azevedo Chaves Engº Civil	
Cláudio Márcio da Silva Geólogo	
Elias Lopes Duarte Coelho Projetista	
Marcus Vinícius Santos Silva Projetista	
Nerilene Aparecida Silva Chaves Secretária de Projeto	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	02
3	FICHA TÉCNICA DO BARRAMENTO	03
3 1	Obras da Barragem	03
3 2	Obras de Proteção da Cidade de Pacujá	06
4	SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS	08
4 1	Estudos cartográficos, topográficos e aerofotogramétricos	08
4 1 1	Cartografia	08
4 1 2	Topografia	09
4 1 3	Aerofotogrametria	09
4.2	Estudos Geológicos e Geotécnicos	10
4 2 1	Geologia e Geomorfologia	10
4 2 1 1	Geomorfologia Regional	10
4.2.1 2	Geomorfologia Local	11
4 2 1 3	Geologia Regional	12
4 2 1.4	Geologia Local	14
4 2 2	Geotecnia	16
4 2 2 1	Investigações do Barramento e Vertedouro – Sondagens e Ensaios de Campo	16
4 2 2 1 1	Investigações Realizadas nos Estudos Anteriores	16
4 2 2 1 2	Investigações Realizadas no Estudo Atual	16
4.2.2.2	Modelo Geomecânico do Maciço	16
4 2 2 2 1	Classificação Geomecânica do Maciço Rochoso	17
4 2 2 2 2	Estratos Geomecânicos do Maciço	26
4 2 2 3	Condições de Fundação e Tratamentos Previstos	26
4 2 2 4	Materiais Naturais de Construção	29
4 2.2 4 1	Materiais Terrosos	29
4 2 2 4 2	Materiais Granulares	35
4 2 2 4.3	Material Pétreo	37
4 3	Estudos Hidrológicos	37
4 3.1	Caracterização da Bacia Hidrográfica	37
4 3 2	Caracterização Climatológica	38
4 3 3	Caracterização Pluviométrica	40
4 3 4	Estudos de Regularização	42
4 3 5	Cheias de Projeto	44
4 3 6	Trânsito de Cheias no Reservatório	47
4 3 7	Cálculo de Borda Livre	48
4.3 8	Estudos de Remanso no Reservatório	49
4 3 9	Análise do Enchimento do Reservatório	51
4 3 10	Vida Útil do Reservatório	52

5	CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DO BARRAMENTO	54
5 1	Dimensionamento Hidráulico	54
5 1 1	Sistema Extravassor (Vertedouro)	54
5 1 2	Tomada de Água	56
5 2	Dimensionamento da barragem de terra	57
5 2 1	Análise de percolação	57
5 2 2	Análise de estabilidade dos taludes da barragem	65
5 3	Dimensionamento das estruturas de concreto	68
5 3 1	Características das fundações das estruturas	68
5 3 2	Crítérios de dimensionamento das estruturas de concreto	69
6	DESCRIÇÃO DO PROJETO BÁSICO DAS OBRAS	72
6 1	Arranjo Geral	72
6 2	Barragem de Terra	72
6 3	Diques de Fechamento	73
6 4	Vertedouro	74
6 5	Tomada de Água	74
6 6	Instrumentação	74
6 6 1	Objetivo da Instrumentação	74
6.6 2	Concepção do Sistema de Instrumentação...	74
6 7	Obras para Proteção da Cidade de Pacujá	75
7	ORÇAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS	76
8	CRONOGRAMA GERAL	83
9	EQUIPAMENTO MÍNIMO	88
10	CANTEIRO DE OBRAS	89
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1. INTRODUÇÃO

Este documento constitui-se no **Memorial Descritivo do Projeto Básico da Barragem Taquara** localizada no rio Jaíbaras, no município de Cariré, Estado do Ceará, elaborado nos Termos de Referência do Contrato nº 001/PROÁGUA/SRH/2000, celebrado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e o Consórcio Golder-Pivot para elaboração dos Estudos de Alternativas, Viabilidade e Projeto Básico de Alternativa selecionada da Barragem Taquara, que faz parte do Sub-Programa Sustentável de Recursos Hídricos da Região do Semi-Árido Brasileiro – PROÁGUA-CE

A Barragem Taquara é parte integrante do PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO - Subprograma de Desenvolvimento Sustentável dos Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro - que tem como finalidade a perenização do rio Jaíbaras no trecho compreendido entre o reservatório a ser formado e o Açude de Aires de Souza, o que beneficiará a população da área e proporcionará o desenvolvimento da agricultura e de projetos de piscicultura

Associa-se ao preenchimento deste vazão hídrico o imediato benefício às populações das cidades localizadas às margens do rio Jaíbaras, a jusante da Barragem Taquara, quais sejam Mucambo, Graça, Pacujá, distrito de Rafael Arruda (Sobral) e o povoado de Cacimbas, cujo abastecimento de água, atualmente feito a partir de mananciais subterrâneos ou de superfície de baixas capacidade e qualidade, agrava-se no período das secas, com prejuízos óbvios na qualidade de vida das populações

Segundo dados constantes do Relatório "Elaboração de Estudos Técnicos e Ambientais do Projeto do Açude Taquara, no município de Cariré, previsto no PROÁGUA, elaborado pela ESC Engenharia, Serviços e Consultoria – Dez/1999, a implantação do empreendimento beneficiará diretamente cerca de 26 000 pessoas no horizonte do projeto. Outro aspecto a ser salientado é que a construção da Barragem Taquara disponibilizará maior quantidade de água do Açude Aires de Souza, para o abastecimento da cidade de Sobral

Já tendo sido objeto de um projeto anterior elaborado em 1977 para o DNOCS - Departamento Nacional de Obras contra as Secas, a concepção e dimensionamento da obra foram submetidos ao Painel de Segurança e Inspeção de Barragens do PROURB-CE, que concluiu pela necessidade de uma revisão geral, motivo do presente Projeto Básico

O Projeto Básico, ora apresentado, está consubstanciado em seis volumes, conforme descrito a seguir

- Projeto Básico
Memorial Descritivo do Projeto – Volume 1
- Projeto Básico
Desenhos – Volume 2
- Projeto Básico
Memória de Cálculo – Volume 3

00000008

- Projeto Básico
Especificações Técnicas- Obras Civis e Equipamentos Hidromecânicos – Volume 4
- Projeto Básico
Quantitativos, Orçamento e Normas de Medição e Pagamento – Volume 5
- Projeto Básico
Relatório Síntese – volume 6

No desenvolvimento deste relatório são apresentados o resumo dos estudos básicos, que subsidiaram a elaboração do projeto, uma descrição detalhada das estruturas componentes do arranjo geral do empreendimento, as diretrizes para implantação do canteiro de obras, bem como a planilha orçamentaria, o cronograma de construção e uma relação de quantidade mínima de equipamentos necessários à execução da obra

Este relatório apresenta, portanto, o resultado final dos estudos que culminaram no Projeto Básico da Barragem Taquara. Salienta-se que durante o desenvolvimento do projeto diversas alterações foram feitas relativamente aos Estudos Básicos. Tais alterações foram sendo incorporadas gradativamente devido ao refinamento dos estudos e/ou devido ao atendimento às sugestões do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH. Assim, podem ser encontradas algumas diferenças entre elementos do Projeto Básico Final e aqueles apresentados nos relatórios anteriores

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O sítio do barramento localiza-se no trecho alto do Rio Jaibas, afluente pela margem esquerda do rio Acaraú

Com coordenadas geográficas aproximadas 40° 30' 04" de longitude oeste e 3° 53' 32" de latitude sul, o eixo do barramento está localizado a cerca de 1,5 km do distrito de Arariús, no município de Cariré

O acesso ao local da obra é feito a partir de Fortaleza pela rodovia BR-222 até a cidade de Sobral. Após a cidade de Sobral, toma-se a rodovia asfaltada, CE-71, a esquerda, em direção a cidade de Cariré. Este trecho tem aproximadamente 36 km. Em Cariré toma-se a direita uma estrada carroçável até Arariús. Este trecho tem aproximadamente 15 km. Atinge-se o eixo do barramento através de uma estrada municipal, carroçável, percorrendo-se a distância de 1,5 km

3. FICHA TÉCNICA DO BARRAMENTO

3.1 Obras da Barragem

– Identificação

- Denominação Barragem Taquara
- Estado Ceará
- Município Cariré
- Rio Barrado Rio Jaibaras
- Proprietário Estado do Ceará/SRH
- Autor do Projeto Golder Associates Brasil Ltda
- Data do Projeto Maio/2001

– Características do Reservatório

- Volume acumulado (cota 132,00 m) $274 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Área da bacia Hidráulica 41 km^2
- Volume de alerta $123,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Volume morto do reservatório $13,7 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Percentual de volume (morto) acumulado 5 %

– Bacia Hidrográfica

- Área $565,73 \text{ km}^2$
- Precipitação média anual 960,4 mm
- Evaporação média anual 1 840 mm
- Coeficiente de escoamento 0,66
- Vazão regularizada (90%).
 $2,65 \text{ m}^3/\text{s}$ (com volume de alerta)
 $3,83 \text{ m}^3/\text{s}$ (sem volume de alerta)

– Barragem

- Tipo. terra
- Altura máxima 31,0 m
- Largura do coroamento 7,0 m
- Extensão pelo coroamento: 2 547 m
- Cota do coroamento El 135,50 m
- Volume de escavação (fundação). $209 850 \text{ m}^3$
- Volume do maciço de solo $1.681 584 \text{ m}^3$
- Volume de enrocamento (rip-rap e rock-fill) $102 130 \text{ m}^3$
- Volume de transições 42.218 m^3
- Volume de areia (filtro e transições) $96 125 \text{ m}^3$

- Largura máxima da base 148 m
- Talude de Montante 1 v 2,3 h e 1 v 2 h
- Talude de Jusante 1 v 2 h e 1 v 1,8 h
- Cortina de injeção altura variável de 8 a 12 m

– Dique 1

- Tipo terra homogênea
- Altura máxima 2,5 m
- Largura do coroamento 6,0 m
- Extensão pelo coroamento 753 m
- Cota do coroamento El 135,50 m
- Volume de escavação (fundação) 9.635 m³
- Volume do maciço de solo 23 835 m³
- Volume de enrocamento fino (proteção de taludes) 2 502 m³
- Largura máxima da base 17,90 m
- Talude de Montante 1,5 h 1v
- Talude de Jusante 1,5 h 1 v

– Dique 2

- Tipo terra homogênea
- Altura máxima 6,5 m
- Largura do coroamento 6,0 m
- Extensão pelo coroamento 584 m
- Cota do coroamento El 135,50 m
- Volume de escavação (fundação) 9 701 m³
- Volume do maciço de solo 37 118 m³
- Volume de enrocamento fino (proteção de taludes) 2 922 m³
- Largura máxima da base 29,30 m
- Talude de Montante 1v 2h
- Talude de Jusante 1v 1.8h

– Dique 3

- Tipo terra homogênea
- Altura máxima 9,5 m
- Largura do coroamento 6,0 m
- Cota do coroamento El. 135,50 m
- Extensão pelo coroamento 1 125 m
- Volume de escavação (fundação) 46 081 m³
- Volume do maciço de solo 150 215 m³
- Volume de enrocamento (rip-rap e rock-fill) 22 423 m³

- Volume de areia (filtro e transições) 10 624 m³
 - Largura máxima da base 42,60 m
 - Talude de Montante 1v 2h
 - Talude de Jusante 1v 1.8h
- **Tomada de água**
- Tipo torre sem ligação com a margem
 - Diâmetro 1000 mm
 - Cota da geratriz inferior a montante El. 110 m
 - Cota de geratriz inferior a jusante El. 110 m
 - Volume de escavação em solo 3 420 m³
 - Volume de escavação em rocha. 2.598 m³
 - Volume de concreto armado 565 m³
 - Volume de concreto de regularização 19,5 m³
 - Descarga máxima de trabalho 7,5 m³/s
 - Comprimento da galeria. 120 m
 - Dissipador de energia bacia de dissipação por impacto tipo VI do Bureau of Reclamation
 - Dispositivos de controle e medição de vazões canal de regularização do fluxo e vertedouro retangular com contrações
 - Localização margem direita do rio Jaibaras
- **Vertedouro**
- Tipo Superfície em soleira livre tipo Creager
 - Largura 200 m
 - Cota da soleira El 132,00m
 - Vazão máxima (Tr=10000 anos). 522 m³/s
 - Lâmina máxima Prevista 1,32 m
 - Borda livre 1,00 m
 - Volume de escavação em solo 100 173 m³
 - Volume de escavação em rocha 110 890 m³
 - Volume de concreto ogiva 1 625 m³
- **Muros laterais (muro 1 =muro 2)**
- Material concreto armado
 - Cota da crista 135,50 m
 - Altura máxima. 6,5 m
 - Comp Na margem direita. 4 725 m
 - Comp Na margem esquerda 4 725 m
 - Volume de concreto estrutural 57 m³

– **Mureta de Proteção entre o Vertedouro e Dique 2 (muro 3)**

- Material concreto armado
- Altura máxima 1.50 m
- Comprimento 15,20 m
- Volume de concreto estrutural 9,6 m³

– **Ensecadeiras**

Ensecadeira 1

- Tipo solo compactado
- Cota do coroamento 112.50 m
- Largura do coroamento 4.00 m
- Extensão pelo coroamento 774 m
- Volume de solo 42 798 m³
- Talude jusante 1,8h 1v
- Talude montante 1,8h 1v

Ensecadeira 2

- Tipo solo compactado
- Cota do coroamento 106.00 m
- Largura do coroamento 4.00 m
- Extensão pelo coroamento 774 m
- Volume de solo 42 798 m³
- Talude jusante 1,5h 1v
- Talude montante 1,5h 1v

3.2 Obras de Proteção da Cidade de Pacujá

– **Dique de Montante**

- Tipo solo compactado
- Altura máxima 2.40 m
- Cota do coroamento 136,70 m
- Largura do coroamento 4,00 m
- Extensão pelo coroamento 348 m
- Volume maciço (solo) 4 395 m³
- Volume de escavação 551 m³
- Largura máxima na base 12.65 m
- Talude montante 1,8h.1,0v
- Talude jusante 1,8h 1.0v

– **Dique de Jusante**

- Tipo solo compactado

- Altura máxima 4,25 m
- Cota do coroamento 136,23 m
- Largura do coroamento 4,00 m
- Extensão pelo coroamento 543 m
- Volume maciço (solo) 12.330 m³
- Volume de enrocamento 760 m³
- Volume de escavação 1 267 m³
- Largura máxima na base 19,3 m
- Talude montate 1,8h 1,0v
- Talude jusante 1,8h 1,0v

– **Vala de Transposição**

- Seção transversal trapezoidal com 3,0 m de largura de fundo
- Volume de escavação em rocha 480 m³
- Volume de escavação em solo 2 058 m³
- Comprimento 575

– **Estação de Bombeamento**

– Poço de bombas

- Volume de escavação comum 28 m³
- Volume de escavação em rocha 9,0 m³
- Volume de concreto 4,2 m³

– Bombas submersíveis

- Quantidade 2
- Tipo submersível
- Capacidade unitária 245 m³/h
- Potência unitária 5 cv
- Altura manométrica 3,30 m

– Bueiro tubular

- Quantidade 1
- Diâmetro 40 cm (tubo de aço) com comporta tipo 'flap' na boca de saída

4. SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Dentre os estudos básicos de maior importância para o projeto da barragem, destacam-se os de Cartografia, Topografia, Aerofotogrametria, Geologia e Geotecnia, Hidrologia e Dimensionamento Hidráulico

Cada um desses temas foi objeto de um relatório específico, contendo descrições detalhadas dos estudos desenvolvidos. No presente Relatório de Projeto Básico foram destacados apenas os tópicos mais relevantes de cada tema, necessários ao entendimento das soluções adotadas. Maiores detalhes dos estudos básicos podem ser obtidos nos seguintes relatórios

- TOMO II - Relatório dos Estudos Básicos

- Volume 1 - Hidrologia e Dimensionamento Hidráulico
- Volume 1A - Hidrologia e Dimensionamento Hidráulico – Memória de Cálculo
- Volume 2 - Topografia
- Volume 2A - Topografia – Desenhos
- Volume 2B - Topografia – Memória de Cálculo
- Volume 2C - Topografia – Caderneta de Campo
- Volume 3 - Aerofotogrametria
- Volume 3A - Aerofotos e Foto Índice
- Volume 3B - Apoio Terrestre
- Volume 3C - Aerotriangulação (Memória de Cálculo)
- Volume 3D - Cartas da Bacia Hidráulica e Arquivos Magnéticos
- Volume 4 - Estudos Geológicos e Geotécnicos
- Volume 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos-Anexos, Parte 1 e Parte 2

4.1 Estudos Cartográficos, Topográficos e Aerofotogramétricos

4.1.1 Cartografia

As características físicas da bacia do rio Jaibas foram determinadas com base na cartografia disponível em escala 1:100 000 listada a seguir

- Carta de “Sobral”, SA 24-X-D-IV, em escala 1.100.000, do Ministério do Exército, de 1972.
- Carta de “Frecheirinha”, SB.24-Y-C-VI, escala 1 100 000, do Ministério do Exército, de 1972.
- Carta de “Ypu”, SB.24-V-A-III, escala 1.100 000, do Ministério do Exército, de 1972

Além dos mapas acima citados, outros, em escala menos detalhada, foram utilizados para visualização global da divisão em sub-bacias e, em destaque, da bacia hidrográfica do rio Jarbaras, estando listados a seguir

- Atlas do Ceará – IPLANCE – FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEARÁ.
- Mapa do Estado Ceará – da SEPLAN. IPLANCE, DCG, escala 1 500 000, de 1994.
- Mapa da Rede de Açudagem de Leitos Perenizados do Estado do Ceará, da COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, escala 1 700 000, de 1999

4.1.2 Topografia

Os trabalhos de topografia constaram dos levantamentos topográficos do eixo barrável, do vertedouro, das jazidas de materiais naturais de construção, da infra-estrutura da bacia hidráulica e de três selas topográficas existentes na região do eixo, onde serão implantados os diques de fechamento

Estes levantamentos estão detalhados nos documentos “Levantamento do Boqueirão, Sangradouro, Diques, Empréstimos e Infra-estrutura da Bacia”, na escala 1 2 000

Os estudos topográficos realizados estão consubstanciados no Tomo II – Volumes 2, 2A, 2B e 2C – que são parte integrante do Relatório de Estudos Básicos da Barragem Taquara

4.1.3 Aerofotogrametria

Os trabalhos de aerofotogrametria constituíram-se na restituição aerofotogramétrica da área da bacia hidráulica da Barragem Taquara até a El 136 000 m. Para tal foi utilizada a cobertura aérea existente na região em escala 1 32 500 executada para o MIRAD em 1988 Estes trabalhos estão consubstanciados nos documentos

- TOMO II – Relatório dos Estudos Básicos

- Volume 3 - Aerofotogrametria
- Volume 3A - Aerofotos
- Volume 3B - Apoio Terrestre
- Volume 3C - Aerotriangulação – Memórias de Cálculo
- Volume 3D - Cartas da Bacia Hidráulica e Arquivos Magnéticos

1111116

4.2 Estudos Geológicos e Geotécnicos

Os estudos geológico-geotécnicos levados a cabo tiveram o objetivo de identificar as características geomecânicas da fundação da barragem, bem como levantar a disponibilidade e características dos materiais naturais de construção

Os estudos geológicos de superfície envolveram os trabalhos de fotointerpretação geológica, mapeamento geológico-geotécnico, reconhecimento dos materiais naturais de construção e levantamento de geologia estrutural

Os estudos geológicos-geotécnicos de subsuperfícies envolveram a execução de sondagens rotativas, sondagens à percussão, ensaios de perda de água sob pressão, ensaios de infiltração e uma campanha de ensaios de laboratório orientados à caracterização dos materiais de construção

Os dados disponíveis referentes às campanhas de investigações anteriores foram também incorporados nesta fase dos estudos

Estes estudos levaram ao estabelecimento da classificação geomecânica do maciço segundo a "Classificação de Bieniawski"

Os estudos geológico-geotécnicos realizados estão apresentados em detalhes no Tomo II – Volume 4 e Volume 4A– Anexos, Parte 1 e Parte 2

4.2.1 Geologia e Geomorfologia

4.2.1.1 Geomorfologia regional

A região onde se insere o empreendimento é constituída por setores de topografia plana, com altitudes inferiores a 200m e declividades iguais ou inferiores a 5° ou suavemente rampeada, que se orientam para os fundos de vales ou para a faixa litorânea. A fisionomia é conferida por feições de topografia aplanada, decorrentes da pequena capacidade de incisão linear proporcionada pela rede de drenagem

Nas áreas em que as cotas são superiores a 200m, resultando numa maior dissecação do relevo, há predomínio das seguintes feições geológicas: formas de topos convexos, lombadas, morros, esporões e feições tabuliformes. Estas áreas com aspecto de rampas degradadas, eventualmente dissecadas, constituem patamares de acesso para os níveis elevados dos maciços residuais ou dos planaltos sedimentares e marcam a transição entre os planaltos e as terras baixas

A vegetação predominante na área é constituída pela caatinga arbustiva aberta e pela caatinga arbórea

Os solos pedológicos de maior ocorrência na região são os litólicos eutróficos e distróficos, os podzólicos vermelho-amarelo eutróficos e distróficos, e os regossolos eutróficos e distróficos

A região, onde a semi-aridez é aguda e as caatingas têm distribuição extensiva, está inserida nas Depressões Sertanejas, com altitudes de, no máximo, 400 m, raramente pouco superiores a este valor, estando embutidas entre os maciços residuais cristalinos ou entre estes e os planaltos sedimentares

A oeste, próximo à divisa com o Estado do Piauí, aparece o planalto de Ibiapaba (Siluro-Devoniano), com altitudes na faixa de 750 a 850 m, declividade de 3 a 10%, apresentando superfície cuestasiforme limitada por escarpa erosiva

Nos locais em que a rede de drenagem se adensa, assumindo um padrão dendrítico, sem qualquer controle estrutural, o sulcamento linear tende a dissecar o relevo, dando ao mesmo feições onduladas

A morfologia das depressões sertanejas se evidencia através de vastas rampas sedimentares, que partem das bases dos maciços residuais, com caimento no sentido dos fundos dos vales

O clima semi-árido, além de ser o principal fator condicionante da desagregação das rochas, contribui para impor os processos de remoção dos colúvios e de deposição deste material a jusante da área fonte. O tipo de revestimento vegetal pouco contribuiu para deter ou atenuar os efeitos do escoamento difuso ou em lençol, que tem salientado seu papel de agente de desgaste

O material carregado seletivamente justifica o adelgaçamento dos solos, pouco espessos em toda a região, sendo que os detritos grosseiros, impondo obstáculos à sua remoção, depositam-se em superfície, dando à mesma o aspecto de chão pedregoso. Quando este material é revestido por colúvio, se expande às áreas cujos solos apresentam linhas de seixos sotopostos aos horizontes superficiais dos solos

No geral, pode-se dizer que a região apresenta as seguintes características geomorfológicas de maior significado: grande variação litológica, truncamento indistinto das litologias por processos de morfogênese mecânica que tenderam a aplainar a superfície, revestimento generalizado de caatinga com capacidade mínima para diminuir a ação de desgaste inerente aos processos de erosão, pequena espessura de manto de alteração das rochas, ocorrência frequente de pavimentos e paleopavimentos dendríticos, pequena capacidade de erosão linear em face da intermitência dos cursos de água, o que justifica a pequena amplitude altimétrica entre os interflúvios e os fundos de vales, presença de altos residuais nos locais de maior resistência litológica, e desenvolvimento de áreas de acumulação inundáveis a jusante das rampas sedimentares

4.2.1.2 Geomorfologia local

O local de implantação da Barragem Taquara situa-se em vale com topografia não muito acidentada, onde o rio Jaibas desenvolve-se com direção aproximada SW-SE, sendo que sua planície apresenta largura em torno de 300 a 400 m, com altitude aproximada de 108 a 110 m. Esta área encontra-se inserida na unidade geomorfológica denominada Planalto Sertanejo que corresponde ao patamar de acesso aos níveis mais altos

A ombreira esquerda situa-se em encosta suave, com altitude máxima em torno de 130 a 135 m. A cerca de 700 m do rio aparece um platô aluvionar com cerca de 100 m de largura e altitude em torno de 120 m, no local denominado Fazenda Flores

A ombreira direita é constituída por encosta também suave, com elevações máximas em torno de 135 m. A outra vertente deste morrote, que constitui sua encosta leste, constitui o local já estudado para a implantação do sangradouro, apresentando declividade suave, decrescente para NE. No local anteriormente previsto para a restituição das águas vertidas, as elevações são da ordem de 120 m

Nas proximidades do eixo estudado, junto à ombreira esquerda, existe um pequeno córrego secundário, que, à época da visita para elaboração da proposta, ao sítio (julho/99), apresentava um poção de água, com extensão longitudinal de cerca de 30 m

A área em apreço, morfologicamente, caracteriza-se por uma intensa dissecação do relevo, resultando em formas predominantemente convexas e aguçadas, dispostas, geralmente, seguindo uma direção preferencial SO-NE e S-N. Trata-se de uma área de grandes dobramentos e falhamentos, que se refletem no relevo através de extensos alinhamentos de cristas, com escarpas íngremes e vales encaixados em "V"

O Planalto Sertanejo apresenta-se como importante centro dispersor de drenagem. Os rios que drenam este planalto possuem os cursos retilíneos, intercalados por curvas e ângulos anômalos, e são marcados por inflexões bruscas em vários sentidos. Correm geralmente encaixados, não permitindo o desenvolvimento de planícies, salvo em pequenos trechos, principalmente nos setores em que interceptam litologias sedimentares. A maior parte do Planalto Sertanejo está incluída na categoria de "Serras Secas", submetidas às deficiências hídricas típicas do clima semi-árido

4.2.1.3 Geologia regional

O estado do Ceará encontra-se, em parte, situado na Província Borborema. Esta Província possui fragmentos crustais antigos bordejados por cinturões orogenéticos de idades paleoproterozóica e meso a neoproterozóicas e por *rifts*, neoproterozóicos a eopaleozóicos.

Os Fragmentos Crustais Antigos

Estes fragmentos de idade arqueana são constituídos por ortognaisses e gnaisses variados, bimodais-félsicos e máficos, sequências de rochas supracrustais metamáfica-ultramáficas, com finas intercalações de metassedimentos clástico-químicos. Os principais litotipos são: gnaisses variados, leptinitos, anfíbolitos, serpentinitos ricos em cromo, tremolita-anfíbolita-xistos, ultrabásitos, quartzitos, quartzitos ferríferos e rochas carbonáticas/dolomíticas grafitosas pertencentes a uma associação metassedimentar do tipo *greenstone belt*

Os Cinturões Paleoproterozóicos (Jaguaribiano)

Compreendem uma sequência de rochas supracrustais metamorizadas na fácies anfibolito superior, onde são reconhecidos três domínios litotectônicos

Domínio oeste e norte ou zona externa onde predominam quartzitos, metacarbonatos, xistos e paragneisses granatíferos rochas originadas em um ambiente de margem continental passiva

Domínio central ou zona interna onde ocorrem granitos anatóticos e migmatitos com associações de gnaisses aluminosos e peraluminosos

Domínio leste e sul onde predominam suites granitóides (ortognáissicas) com vestígios de rochas supracrustais (anfibolitos, xistos, gnaisses, rochas calcissilicáticas e formações ferríferas) Estas suites granitóides são derivadas de uma série calcialcalina de arco magmático tipo Andino com domínio de suites sódicas e potássicas ao oeste e leste respectivamente

Dois estilos tectônicos são caracterizados na região o mais antigo Transamazônico responsável por uma deformação em regime compressivo, tangencial, dúctil, associado a metamorfismo de fácies anfibolito superior e o mais recente, Brasileiro caracterizado por uma tectônica transcorrente dextral, com metamorfismo de fácies xisto verde restrito às zonas de cisalhamento.

As Faixas Móveis Meso a Neoproterozóicas

Constituem um sistema ramificado de faixas orogênicas localizadas entre o domínio Jaguaribiano e o cráton do São Francisco As rochas supracrustais desses cinturões compreendem sequências de idade mesoproterozóica (sedimentação terrígena e menos carbonática, com alguma contribuição vulcânica e vulcanismo bimodal) e outra de idade esteniano-neoproterozóica discordante e localmente preservada

Os Rifts Mesoproterozóicos

Constituídos por estreitas faixas limitadas por falhas preenchidas por sequências metavulcanossedimentares, com vulcanismo bimodal ou do tipo félsico.

O sistema *rift* de Orós-Jaguaribe é constituído por metassedimentos psamíticos, associados a magmatismo intraplaca, sucedidos por sequência turbidítica, intrudidos por metagabros e ortogneisses graníticos A porção oriental deste segmento ocorrem rochas plutonovulcânicas. O regime tectônico é transpressivo com estruturas de três fases de deformação sendo a segunda com metamorfismo de fácies anfibolito enquanto as outras duas de fácies xistoverde

No sistema *rift* do Médio Coreaú, O Gráben de Martinópolis é preenchido por uma sequência metassedimentar marinha, transgressiva com evidências de uma tectônica transpressiva dextral, com estruturação final em flor positiva Sofreu influência dos eventos Uruçuano e Brasileiro

Os Rifts Neoproterozóicos

Formação de bacias transpressivas do tipo *pull-apart*. Deposição da sequência cuprífera de Pedra Verde, no *Graben* de Martinópolis, constituída por metapelitos e metamargas.

No *Graben* de Ubajara ocorre a preservação de uma sequência sedimentar terrígeno-carbonática marinha (Grupo Ubajara) que representa uma sedimentação transgressiva-regressiva.

As Bacias Eopaleozóicas

As primeiras bacias do tipo *pull-apart* formadas no Fanerozóico estão ligadas, em regime rúptil, das falhas transcorrentes, sendo preenchidas por uma sequência de sedimentos molássicos continentais em ambiente oxidante. As rochas sedimentares possuem intercalações de vulcânicas alcalinas, ácida a intermediária, pós-Brasíliano que são intrudidas por granitos subvulcânicos alcalinos. As bacias Cacoci, Jaibas e outras foram deformadas por uma tectônica vertical rúptil e/ou transcorrente dextral.

4.2.1.4 Geologia local

A região do futuro barramento do açude de Taquara está inserida na porção sul do chamado *Graben* de Jaibas. A evolução da sequência litológica que ocorre na Bacia de Jaibas estaria relacionada, inicialmente, pela atuação de uma tectônica extensional, em ambiente intracontinental, estabelecida no Neoproterozóico e relacionada à implantação da bacia Ubajara concomitante à deposição da Formação Pacujá, num ambiente de baixa energia, sujeito a ondas e tempestades, com exposições subaéreas devido a exposições regulares.

No mapeamento geológico-geotécnico foram identificadas as seguintes litotipos:

Rochas Vulcano-Plutônicas

Ocorrem na região ombreira direita rochas vulcânicas com estruturas maciças e texturas que variam de amigdaloidais a porfíricas e cumuloíricas, onde observam-se acumulações de cristais de plagioclásio em formas de ripas. Os fenocristais de plagioclásio apresentam-se, por vezes, com bordas corroídas. A matriz é vítrea de coloração castanha a cinza-escuro em tons arroxeados. Este tipo de rocha ocorre desde o riacho afluente da margem direita do Rio Jaibas, na região do eixo, até a região central da alternativa atual do vertedouro, na ombreira direita.

Na região do vertedouro, nos testemunhos das sondagens, as vulcânicas apresentam-se intercaladas por metarenitos finos arcóseos. Esta zona de intercalação deve estender-se por cerca de 170m na superfície, a partir de algum ponto entre os SM-15 e SM-16, em direção ao Rio Jaibas. O contato possui direção aproximada em torno de N30°E com caimentos da ordem de 30° a 45°SE, na região próxima ao vertedouro, infletindo para leste tanto ao norte quanto ao sul desta região. As vesículas encontradas na sondagem SM-12 podem ser indicativas de topo do derrame vulcânico.

Já na região junto ao riacho afluente da margem direita do rio Jaibaras, a aproximadamente 280m a montante do eixo, no que provavelmente corresponde a base do derrame, ocorrem brechas vulcânicas e/ou conglomerados vulcanoclásticos de matriz arcoseana, com abundantes seixos arredondados de rochas vulcânicas alteradas e oxidadas, de dimensões variadas, intercalados por pacotes centimétricos de metarenitos e metapelitos arcoseanos. A espessura deste pacote varia em torno de 3 a 7m, na região do leito do riacho, sendo que, a geometria do contato dá-se através de uma discordância angular.

Na região do leito do Rio Jaibaras, numa faixa de aproximadamente 200 a 300 metros de largura e cerca de 1.500m de extensão, alinhada segundo a direção N30°E, ocorre uma rocha magmática/metamórfica, de cor cinza escura e com textura microporfirítica a porfirítica fina, mas suas características diferem consideravelmente das lavas vulcânicas que ocorrem na ombreira direita, apresentando basicamente biotita. Designaremos estas rochas como gabróides.

A forma aparentemente alongada deste corpo, sugere que o mesmo possa tratar-se de um dique ou *sill*, ou mesmo, que este corpo configure a expressão megascópica de uma possível interdigitação entre os derrames vulcânicos e rochas sedimentares adjacentes.

As lavas que ocorrem na região sul do *Graben* de Jaibaras, no eixo Arariús-Jaibaras e entre as cidades de Ararius e Cacimbas, são predominantemente de composição basáltica.

Rochas Siliciclásticas

Os tipos de rochas sedimentares que ocorrem na região de implantação da Barragem de Taquara são metarenitos arcoseanos, às vezes micáceos, de granulometria fina a grossa, intercalados por metasiltitos e metaconglomerados polimíticos. A matriz é predominantemente constituída por materiais terrígenos siltico-argilosos, o que confere uma característica de imaturo a esses arenitos. Distribuem-se por três regiões distintas, a saber: vertedouro e região das barragens auxiliares na margem direita, entre o riacho afluente da margem direita e as rochas gabróides, e em toda a extensão da ombreira esquerda até os limites da região mapeada.

Nas proximidades do vertedouro e das barragens auxiliares, ocorrem metarenitos intercalados por metaconglomerados polimíticos com seixos subangulosos de rochas vulcânicas, rochas granito-gnáissicas e rochas metassedimentares (arenitos e siltitos). A matriz é silto-argilosa de coloração castanho avermelhada. À medida em que se afasta do vertedouro em direção às barragens auxiliares as intercalações de materiais grossos dão lugar às intercalações centimétricas de metassiltitos. Em alguns afloramentos é possível de se notar a diminuição granulométrica da sequência em direção ao topo, o que confere uma granodecrescência ascendente. Estratificações cruzadas acanaladas também são observadas nestes afloramentos e parecem corroborar a idéia original de topo da sequência para leste. As camadas exibem direções em torno de N43°-75°E com mergulhos de 25° a 36SE.

Na região adjacente ao leito do Rio Jaibaras, os metassedimentos caracterizam-se principalmente pela presença de arenitos finos, de cor cinza a marrom, finamente intercalados por siltitos e argilitos ou folhelhos. As camadas exibem, na região do ponto PT-10, direções em torno de N30°-60°E com mergulhos da ordem de 20° a 45° para SE, sendo seu contato com as vulcânicas porfiríticas marcado por uma discordância angular.

000022

Por fim, ao longo de toda a ombreira esquerda, ocorre um grande pacote de metarenitos finos, arcoseanos, intercalados por siltitos e argilitos. Predominam nessas rochas cores avermelhadas, podendo às vezes, adquirirem cores acinzentadas. As camadas apresentam-se com direções semelhantes às descritas anteriormente nas outras ocorrências de metarenitos. No entanto, o mergulho é de médio grau, cerca de 60° para NW. Este comportamento prossegue até a região do dique da ombreira esquerda. Não foram observados os contatos desta sequência com outras rochas.

O metamorfismo que atuou na região são no geral de baixas temperaturas não devendo ultrapassar as condições de fácies xistoverde, podendo ser observado localmente cloritização e sericitização.

Aluviões quaternários ocorrem no açude da Fazenda Flores e numa faixa de 350 m de largura ao longo do Rio Jaibaras, com espessuras de até 12 metros de areias finas silto-argilosas e siltes arenosos a argilosos.

4.2.2 Geotecnia

4.2.2.1 Investigações do Barramento e Vertedouro – Sondagens e Ensaio de Campo

4.2.2.1.1 Investigações Realizadas nos Estudos Anteriores

As campanhas de sondagens realizadas anteriormente à atual fase de estudos de viabilidade da Barragem de Taquara estão resumidas na Tabela 4.1. Cabe-nos aqui salientar que os dados das campanhas anteriores foram utilizados com certa ressalva, principalmente pela incerteza nas locações dos furos e, quando da não disponibilidade de dados recentes.

4.2.2.1.2 Investigações Realizadas no Estudo Atual

Para o desenvolvimento da atual fase de estudos foi realizada uma campanha de sondagens rotativas, sondagens a percussão e perfuração de poços de inspeção que subsidiaram os estudos de caracterização geológico-geotécnica e geomecânica aqui desenvolvidos (TABELA 4.2 e 4.3).

4.2.2.2 Modelo Geomecânico do Maciço

Para a elaboração do modelo geomecânico do maciço foram desenvolvidas as seguintes atividades: descrição dos testemunhos de sondagens, elaboração de seções geomecânicas e classificação do maciço.

A caracterização geotécnica dos testemunhos de sondagem, foi realizada nos furos SM-01 a SM-17.

000023

Os testemunhos de sondagens foram descritos segundo os critérios sugeridos pela ISRM (Internacional Society for Rock Mechanics – 1981), juntamente com as classificações de Bieniawski (1989)

A Tabela 4 4 apresenta os graus de alteração, a Tabela 4 5 os graus de resistência e a Tabela 4 6 a classificação de Bieniaswiski (1989), adotados na descrição dos testemunhos

4.2.2.2.1 Classificação Geomecânica do Maciço Rochoso

Para a classificação geomecânica do maciço foi utilizada a classificação de Bieniawski (1989) apresentada na Tabela 4 6, aplicada aos testemunhos de sondagens da atual campanha

A Tabela 4 7 apresenta a caráter ilustrativo, a correlação entre as classificações de Bieniawski e de Barton *et al* no que se refere ao RMR e aos índices de Q, bem como uma avaliação entre as classe, apesar desta última classificação não ter sido empregada na atual fase dos estudos

000024

TABELA 4.1
RESUMO DAS CAMPANHAS DE SONDAGENS ANTERIORES

SONDAGENS A PERCUSSÃO		
FURO	PROF(m)	EXECUTORA
SP-2	2,35	SEEBLA
SP-3	4,32	SEEBLA
SP-4	4,25	SEEBLA
SP-5	3,37	SEEBLA
SP-7	0,39	SEEBLA
SP-9	0,67	SEEBLA
SP-10	0,76	SEEBLA
SP-11	0,90	SEEBLA

SONDAGENS ROTATIVAS VERTICAIS		
FURO	PROF(m)	EXECUTORA
SR-1	10,00	GEONORTE
SR-2	10,50	GEONORTE
SR-3	16,00	GEONORTE
SR-4	9,00	GEONORTE

SONDAGENS ROTATIVAS INCLINADAS					
FURO	PROF(m)	EXECUTORA	INICIO	TERMINO	INCL.
SR-01	17,70	GEOTOP	17/12/80	20/12/80	30°
SR-02	19,50	GEOTOP	02/01/81	05/01/81	30°
SR-03	30,18	GEOTOP	23/12/80	05/01/81	30°
SR-04	30,18	GEOTOP	20/12/80	28/12/80	30°
SR-05	19,00	GEOTOP	03/01/81	09/01/81	30°

POÇOS DE INSPEÇÃO			
POÇO Nº	PROF(m)	EXECUTORA	OBSERVAÇÕES
PI-1	0,54	GEONORTE	
PI-2	0,57	GEONORTE	
PI-3	0,86	GEONORTE	
PI-4	0,00	GEONORTE	Rocha Aflorante
PI-5	0,33	GEONORTE	
PI-6	1,65	GEONORTE	
PI-7	1,00	GEONORTE	
PI-8	0,45	GEONORTE	
PI-9	0,40	GEONORTE	
PI-10	0,40	GEONORTE	
PI-11	0,40	GEONORTE	
PI-12	0,45	GEONORTE	
PI-13	0,55	GEONORTE	
PI-14	0,48	GEONORTE	
PI-15	0,43	GEONORTE	
PI-16	0,68	GEONORTE	
PI-17	0,65	GEONORTE	
PI-18	0,90	GEONORTE	
PI-19	0,60	GEONORTE	
PI-20	0,50	GEONORTE	

500025

TABELA 4.2

SONDAGENS ROTATIVAS E A PERCUSSÃO DA ATUAL FASE DE ESTUDOS

SOND. Nº	COORDENADAS E N		PROFUNDIDADE (m)				PROF. TOTAL (m)	DATA		Nº DE ENSAIOS			
			SOLO		ROCHA					LE FRANC.		LU GEON.	
			Prev.	Real	Prev.	Real		INÍCIO	TÉRMINO	Prev.	Real	Prev.	Real
SONDAGENS ROTATIVAS													
SM-01	321.169,88	9.569.109,44	14,00	10,90	12,00	12,60	23,50	04/05/00	18/05/00	10	4	4	4
SM-02	321.238,98	9.569.069,21	6,00	8,60	9,00	12,40	21,00	13/04/00	20/04/00	4	4	3	4
SM-03	321.117,83	9.569.139,93	4,00	12,70	9,00	15,30	28,00	13/04/00	03/05/00	3	6	3	5
SM-04	321.477,21	9.568.931,46	6,00	0,30	9,00	9,20	9,50	25/04/00	26/04/00	4	0	3	3
SM-05	320.996,94	9.569.209,33	2,00	11,20	9,00	9,60	20,80	12/04/00	19/04/00	1	6	3	3
SM-06	321.344,87	9.569.009,26	2,00	0,80	6,00	15,70	16,50	23/05/00	26/05/00	1	0	2	5
SM-07	321.064,90	9.569.170,73	2,00	8,55	6,00	15,60	24,15	10/05/00	15/05/00	1	4	2	5
SM-08	321.551,06	9.568.888,94	4,00	0,80	12,00	15,20	16,00	12/05/00	14/05/00	2	0	4	5
SM-09	320.824,14	9.569.309,75	4,00	1,30	8,00	8,70	10,00	22/05/00	24/05/00	-	1	-	3
SM-10	320.529,03	9.569.481,05	4,00	0,20	8,00	9,30	9,50	16/05/00	17/05/00	-	0	-	3
SM-11	320.252,93	9.569.639,77	4,00	0,45	8,00	6,55	7,00	20/05/00	21/05/00	-	0	-	2
SM-12	322.448,30	9.568.859,03	1,00	0,90	9,00	3,70	4,60	19/06/00	20/06/00	0	0	0	0
SM-13	322.554,89	9.568.814,45	1,00	1,00	9,00	9,00	10,00	17/06/00	19/06/00	0	0	0	0
SM-14	322.652,56	9.568.881,03	1,00	0,70	9,00	9,30	10,00	16/06/00	16/06/00	0	0	0	0
SM-15	322.537,93	9.568.995,22	1,00	0,70	9,00	9,30	10,00	09/06/00	10/06/00	0	0	0	0
SM-16	322.543,20	9.568.938,58	1,00	2,15	9,00	7,85	10,00	11/06/00	12/06/00	0	0	0	0
SM-17	322.550,80	9.568.869,08	1,00	0,50	19,00	18,50	19,00	13/06/00	15/06/00	0	0	6	6
TOTAL PARCIAL ROTATIVA			58,00	61,75	160,00	187,80	249,55	-	-	26	25	30	48

000026

SONDAGENS À PERCUSSÃO

SP-01	321.063,14	9.569.169,00	10,00	10,53	-	-	10,53	16/05/00	16/05/00	7	5	-	-
SP-03	321.036,46	9.569.118,21	10,00	10,37	-	-	10,37	17/05/00	17/05/00	7	5	-	-
SP-04	321.209,57	9.569.113,97	10,00	6,30	-	-	6,30	20/04/00	20/04/00	7	3	-	-
SP-05	321.183,00	9.569.171,04	10,00	6,60	-	-	6,60	22/04/00	22/04/00	7	3	-	-
SP-06	321.123,45	9.569.067,33	14,00	6,75	-	-	6,75	23/04/00	23/04/00	10	3	-	-
SP-07	320.667,20	9.569.496,82	14,00	2,50	-	-	2,50	24/04/00	24/04/00	10	1	-	-
SP-08	321.312,26	9.569.073,53	14,00	2,17	-	-	2,17	24/04/00	24/04/00	10	1	-	-
SP-09	320.399,27	9.569.652,68	14,00	3,39	-	-	3,39	24/04/00	24/04/00	10	2	-	-
SP-10	321.429,01	9.568.958,92	14,00	1,25	-	-	1,25	27/04/00	27/04/00	10	0	-	-
SP-11	321.460,22	9.569.010,45	5,00	0,25	-	-	0,25	27/04/00	27/04/00	3	0	-	-
SP-11A	321.462,34	9.569.014,99	0,00	0,25	-	-	0,25	27/04/00	27/04/00	0	0	-	-
SP-11B	321.429,21	9.568.991,81	0,00	0,30	-	-	0,30	27/04/00	27/04/00	0	0	-	-
SP-11C	321.461,60	9.569.009,66	0,00	0,20	-	-	0,20	27/04/00	27/04/00	0	0	-	-
SP-12	321.400,46	9.568.907,25	5,00	1,39	-	-	1,39	23/05/00	23/05/00	3	1	-	-
SP-13	321.344,99	9.569.008,02	5,00	0,20	-	-	0,20	22/05/00	22/05/00	3	0	-	-
SP-13A	321.329,01	9.569.024,96	5,00	0,40	-	-	0,40	22/05/00	22/05/00	3	0	-	-
SP-13B	321.345,86	9.569.011,93	5,00	0,30	-	-	0,30	22/05/00	22/05/00	3	0	-	-

401027

SP-13C	321.341,56	9.569.005,82	5,00	0,55	-	-	0,55	22/05/00	22/05/00	3	0	-	-
SP-14	321.603,71	9.568.859,30	5,00	0,30	-	-	0,30	12/05/00	12/05/00	3	0	-	-
SP-15	320.945,96	9.569.239,18	5,00	3,33	-	-	3,33	19/05/00	19/05/00	3	1	-	-
SP-16	320.883,49	9.569.269,26	4,00	0,25	-	-	0,25	12/05/00	12/05/00	2	0	-	-
SP-17	320.719,95	9.569.370,16	4,00	0,35	-	-	0,35	12/05/00	12/05/00	2	0	-	-
SP-18	320.599,27	9.569.439,90	4,00	0,60	-	-	0,60	12/05/00	12/05/00	2	0	-	-
SP-19	320.374,21	9.569.569,96	4,00	0,45	-	-	0,45	12/05/00	12/05/00	2	0	-	-
SP-20	320.165,74	9.569.690,38	4,00	0,95	-	-	0,95	24/05/00	24/05/00	2	0	-	-
SP-21	321.057,19	9.569.233,96	4,00	8,29	-	-	8,29	30/05/00	30/05/00	2	4	-	-
SP-22	321.006,04	9.569.145,30	4,00	7,28	-	-	7,28	29/05/00	30/05/00	2	3	-	-
SP-23	321.100,16	9.569.149,57	4,00	5,12	-	-	5,12	31/05/00	31/05/00	2	2	-	-
SP-24	321.093,03	9.569.094,98	4,00	7,25	-	-	7,25	31/05/00	31/05/00	2	3	-	-
SP-25	321.144,81	9.569.181,23	4,00	6,30	-	-	6,30	01/06/00	01/06/00	2	3	-	-
SP-26	321.204,74	9.569.089,76	4,00	4,30	-	-	4,30	01/06/00	01/06/00	2	2	-	-
SP-27	321.412,10	9.568.927,43	4,00	0,20	-	-	0,20	11/06/00	11/06/00	2	0	-	-
SP-27A	321.418,37	9.568.940,14	4,00	0,90	-	-	0,90	11/06/00	11/06/00	2	0	-	-
SP-27B	321.427,85	9.568.941,37	4,00	0,95	-	-	0,95	11/06/00	11/06/00	2	0	-	-
TOTAL PARCIAL PERCUSSAO			216,00	100,52	0,00	0,00	100,52	-	-	137	42	0	0
TOTAL GERAL			274,00	162,27	160,00	187,80	350,07	-	-	163	67	30	48

11.10.08

**TABELA 4 3 - POÇOS DE INSPEÇÃO NAS BARRAGENS/DIQUES
BARRAGEM DE TAQUARA**

DIQUE MARGEM DIREITA			DIQUE MARGEM ESQUERDA				
POÇO Nº	ESTACA	PROF. (m)	OBS	POÇO Nº	ESTACA	PROF. (m)	OBS
P1	0 - B2	0,00	Topo Rochoso Aflorante	P1	E - 0	0,00	Topo Rochoso Afloran
P2	1 - B2	0,00	Topo Rochoso Aflorante	P2	E - 1	0,10	
P3	2 - B2	0,20		P3	E - 3	0,40	
P4	3 - B2	0,30		P4	E - 5	0,30	
P5	4 - B2	0,25		P5	E - 7	0,40	
P6	5 - B2	0,40		P6	E - 9	1,25	
P7	6 - B2	0,50		P7	E - 11	0,80	
P8	7 - B2	0,40		P8	E - 13	0,00	Topo Rochoso Afloran
P9	8 - B2	0,20		P9	E - 15	0,50	
P10	9 - B2	0,30		P10	E - 17	0,40	
P11	10 - B2	0,18		P11	E - 19	1,30	
P12	11 - B2	0,10		P12	E - 21	1,10	
P13	12 - B2	0,10		P13	E - 23	1,05	
P14	13 - B2	0,30		P14	E - 25	0,80	
P15	14 - B2	1,60		P15	E - 27	1,08	
P16	15 - B2	1,58		P16	E - 29	1,10	
P17	16 - B2	0,15		P17	E - 31	1,08	
P18	17 - B2	0,30		P18	E - 33	1,10	
P19	18 - B2	0,00	Topo Rochoso Aflorante	P19	E - 35	0,50	
P20	19 - B2	0,20		P20	E - 37	0,40	
P21	20 - B2	0,50		P21	E - 39	0,00	
P22	21 - B2	0,42		P22	E - 41	0,38	
P23	22 - B2	0,47		P23	E - 43	0,40	
P24	23 - B2	0,40		P24	E - 45	0,32	
P25	24 - B2	0,20		P25	E - 47	0,10	
P26	25 - B2	0,30		TOTAL		14,86	
P27	26 - B2	0,30					
P28	27 - B2	0,20					
TOTAL		9,85					

METRAGEM TOTAL = 24,71m

000029

TABELA 4.4

GRAUS DE ALTERAÇÃO

Grau	Termo	Descrição
A1	Rocha Sã	Alteração mineralógica nula a incipiente. Minerais preservam brilho original, cor e clivagem. Eventual descoloração nas descontinuidades. Foliação visível e selada. Resistência original da rocha não afetada pela alteração
A2	Rocha Pouco Alterada	Alteração mineralógica perceptível, cores esmaecidas e perda do brilho. Leve descoloração e oxidação na matriz e ao longo das descontinuidades. Foliação visível e selada. Juntas fechadas, paredes ligeiramente alteradas. Resistência original da rocha parcialmente afetada pela alteração.
A3	Rocha Moderadamente Alterada	A matriz apresenta-se descolorida, com evidências de oxidação. Juntas abertas (< 1,0 mm) e oxidadas, podendo ocorrer material mais alterado ao longo das descontinuidades. Foliação realçada pelo intemperismo. Resistência afetada pelo intemperismo.
A4	Rocha Muito Alterada	Alteração mineralógica muito acentuada, alguns minerais parcialmente decompostos em argilo-minerais. Matriz totalmente oxidada e cores muito modificadas. Fraturas abertas (2 < e < 5 mm) e oxidadas, preenchidas por materiais alterados. Foliação realçada pelo intemperismo. Desplacamentos ao longo da foliação. Resistência muito afetada pela alteração.
A5	Rocha Completamente Alterada	Todo o material está completamente alterado para solo estruturado. Extremamente descolorido, minerais resistentes quebrados e outros transformados em argilo-minerais. Foliação preservada. Juntas não discerníveis. Desintegra em água após um período de imersão.

Referência: Adaptado de Brown, 1981 "Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring"- ISRM

000030

**TABELA 4.5
GRAUS DE RESISTÊNCIA/COERÊNCIA**

Grau	Descrição	Características	Resistência Uniaxial (σ_C) Estimada (Mpa)
R0	Extremamente Branda e Solo Estruturado Coesivo. Rijo a Duro	<ul style="list-style-type: none"> - Penetrada pela ponta do dedo polegar - Moldada pelas mãos - Facilmente penetrada pelo canivete e martelo de geólogo - Escavada por equipamento manual 	0,25 - 1,0
R1	Muito Branda	<ul style="list-style-type: none"> - Esmigalha-se facilmente sob o impacto de martelo de geólogo - Indentada facilmente pela ponta fina do martelo de geólogo. - Riscada e raspada facilmente pelo canivete - Desplacamentos ao longo da foliação sob pressão dos dedos - Bordas dos fragmentos facilmente quebradas pela pressão dos dedos - Pequenos fragmentos (2 x 2 x 2 cm) não quebram sob pressão dos dedos - Escavação por equipamentos mecanizados 	1,0 - 5,0
R2	Rocha Branda	<ul style="list-style-type: none"> - Quebra-se sob único impacto do martelo - Indentação rasa sob impacto firme da ponta fina do martelo de geólogo - As bordas dos fragmentos podem ser quebradas pela pressão dos dedos - A lâmina do canivete provoca sulco acentuado na superfície do fragmento - Podem ser raspadas pelo canivete - Escavação por equipamentos mecanizados, exigindo em alguns casos, fogo de afrouxamento do maciço 	5,0 - 25,0
R3	Medianamente Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécimes de mão podem ser quebradas sob poucos golpes firmes do martelo de geólogo - Bordas finas dos fragmentos podem ser quebradas pelas mãos com certa dificuldade - Superfície pouco riscável por lâmina de aço - Não pode ser raspada pelo canivete - Escavada por desmonte a fogo 	25,0 - 50,0
R4	Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécimes de mão requerem alguns golpes do martelo para serem quebrados - Bordas dos fragmentos dificilmente quebradas pelas mãos - Superfície dificilmente riscada pelo canivete - Escavada por desmonte a fogo 	50,0 - 100,0
R5	Muito Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécimes de mão requerem muitos golpes do martelo para serem quebrados - Fragmentos possuem bordas cortantes que resistem ao corte por lâmina de aço - Superfície praticamente não riscada pelo canivete - Escavada por desmonte a fogo 	100 - 250
R6	Extremamente Resistente	<ul style="list-style-type: none"> - Espécime somente lascados com uso do martelo 	> 250

Referência: Adaptado de Brown, 1981 "Suggested Methods for Rock Characterization Testing and Monitoring"- ISRM

000031

TABELA 4.6
CLASSIFICAÇÃO RMR (BIENIAWISKI, 1989)

Resistência da rocha intacta	Índice puntiforme (MPa)	10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Utilizar compressão simples		
	Compressão simples (MPa)	250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	15 - 25	1 - 15	1
Peso Relativo		15	12	7	4	2	1	0
RQD (%) (Designação de Qualidade da Rocha)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Peso Relativo		20	17	13	8	3		
Espaçamento de fraturas		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60mm		
Peso Relativo		30	25	10	8	5		
Condições das fraturas		Superfícies muito rugosas não contínuas fechadas paredes duras	Superfícies pouco rugosas abertura < 1 mm paredes duras	Superfícies pouco rugosas abertura < 1 mm paredes molres	Superfícies estratadas ou preenchimento < 5 mm ou abertura 1 - 5 mm contínuas	Preenchimento mole > 5 mm ou abertura > 5 mm contínuas		
Peso Relativo		30	25	20	10	0		
Água subterrânea	Infiltração em 10 m de tunel (l/min)	Nenhuma (ou)	< 1,0	< 25 (ou)	25 - 125 (ou)	> 125 (ou)		
	Relação [pressão de água na fratura / tensão principal máxima]	0 (ou)	< 0,1	0,1 - 0,2 (ou)	0,2 - 0,5 (ou)	0,5 (ou)		
	Condições gerais	Completamente seco		Umidade	Água sob pressão moderada	Problemas graves de água		
Peso Relativo		10		7	4	0		
Ajuste para orientação das descontinuidades								
Direção e mergulho		Muito favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito desfavorável		
Peso Relativo	Túneis	0	-2	-5	-10	-12		
	Fundações	0	-2	-7	-15	-50		
	Taludes	0	-2	-25	-50	-60		
Classes do maciço rochoso								
Classe		I	II	III	IV	V		
Descrição		Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Muito pobre		
Soma dos Pesos		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20		
Significado das classes								
Classe		I	II	III	IV	V		
Tempo médio de auto-sustentação		10 anos	6 meses	1 semana	5 horas	10 minutos		
vão da seção (m)		15	10	5	2,5	1,0		
Coesão (KPa)		> 400	400 - 300	300 - 200	200 - 100	< 100		
Ângulo de atrito (°)		> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		

TABELA 4.7
CLASSES DE MACIÇO
CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DE BIENIAWISKI E BARTON

CLASSE	I	II	III	IV	V
RMR	100 – 80	80 – 60	60 - 40	40 – 20	20 – 0
TERMO DESCRITIVO	Muito bom	Bom	Regular	Pobre	Solo / rocha alterada

4.2.2.2 Estratos Geomecânicos do Maciço

O modelo geomecânico da região de implantação da Barragem de Taquara, elaborado com base na caracterização dos testemunhos de sondagem e nas seções geomecânicas, demonstrou que existem 3 classes geomecânicas principais no maciço rochoso:

- Classe V-IV - Estrato Superior – constituído por solo residual, saprolito e aluvião, com resistência muito branda (R1), e material extremamente alterado (A5), ocorrendo com espessuras muito reduzidas, variando de algumas dezenas de centímetros a poucos metros, nas regiões das ombreiras. Já na região do leito do rio Jaibaras, a camada aluvionar atinge cerca de 10 a 12 m de espessura.
- Classe III – Estrato Intermediário - correspondendo maciço rochoso muito fraturado (F4) a extremamente fraturado (F5), composto por rochas medianamente resistentes a resistentes (R3 e R4) e pouco alteradas (A2) a medianamente alteradas (A3). Em termos práticos, o critério mais marcante para este limite de classe foi o grau de alteração por ser este mais marcante e mensurável.
- Classe II-I – Estrato inferior correspondente ao maciço rochoso bom a muito bom, pouco fraturado, muito resistente (R5), composta por rocha sã (A1).

4.2.2.3 Condições de Fundação e Tratamentos Previstos

As condições de fundação da barragem e do vertedouro podem ser consideradas boas. O grau de fraturamento do maciço rochoso, em geral, é maior nos primeiros metros mais superficiais e diminui consideravelmente com a profundidade.

Conforme indicaram os estudos de geologia de subsuperfície, as fraturas e juntas presentes estão, na sua maioria seladas, o mesmo acontecendo com o acamamento sedimentar. Estas condições do maciço se correlacionam muito bem com os resultados dos ensaios de perda de água que apresentaram, em geral, perdas baixas (perda específica 0,1 a 3,0 l/min x m x kg/cm²) na maior parte das duas ombreiras.

Nos trechos do maciço mais próximos da zona mais baixa do eixo da barragem – região do leito do rio – os ensaios de perda de água revelaram perdas médias (perda específica de 1,0 a 5,0 l/min x m x kg/cm²).

A zona mais baixa do eixo (região entre as estacas 15 + 6.0 a 28 + 6.0) é constituída por sedimentos aluvionares compostos por solos areno siltosos com espessuras que atingem até 12.00 m. As sondagens realizadas mostraram tratar-se de sedimentos com índice de resistência à penetração elevado, apresentando SPT > 7 a profundidades da ordem de 3.00 m. O coeficiente de permeabilidade médio desta camada aluvionar, determinada nos ensaios de infiltração é de 4.54×10^{-5} cm/s, demonstrando ser um material de baixa permeabilidade. Os diversos furos de sondagem executados nesta região mostraram que a camada aluvionar é bastante homogênea, não apresentando regiões com concentração de pedregulhos ou lentes de areia, que poderiam condicionar percolações importantes pela fundação, nem regiões com material de baixa resistência, que poderiam causar problemas de estabilidade do conjunto maciço-fundação. Além disso, os coeficientes de permeabilidade obtidos nos ensaios de infiltração realizados nos diversos furos e em diferentes profundidades foram da ordem de 10^{-5} cm/s, demonstrando tratar-se de um material com elevado grau de homogeneidade, sendo adequado como fundação para a barragem de terra. Na Figura 4.1 estão apresentadas as curvas de distribuição granulométrica do solo da fundação da barragem no leito do rio. A análise das curvas mostra um solo com características bastante uniformes, e condizente com os resultados dos ensaios de infiltração. Assim, nas duas ombreiras, a barragem terá como fundação o maciço rochoso tipo III/IV e na zona mais baixa do eixo, sedimentos aluvionares argilo-arenoso.

A fundação do vertedouro será constituída integralmente por maciço tipo I/II. Embora de excelente qualidade, o maciço apresenta-se bem fraturado superficialmente. Os ensaios de perda de água indicaram tratar-se de maciço com condutividade hidráulica média (perda específica de 1.00 a 5.00 l/min x m x kg/cm²).

Das condições descritas, conclui-se da necessidade de adoção de uma cortina de injeções de impermeabilização, nas ombreiras, para homogeneizar as permeabilidades e eliminar os maiores valores de perda de água. Esta cortina de injeções poderá iniciar com furos exploratórios espaçados a cada 48.00 m e prosseguir fechando o espaçamento nos pontos onde os ensaios de perda de água apresentarem absorções maiores do que 5.00 l/min x m x kg/cm².

Tendo em vista a inexistência de condicionantes geológicas específicas, a profundidade dos furos de injeção deverá ser da ordem de 0.4h, sendo h a carga hidráulica sobre a fundação. Assim, os furos de injeção terão profundidade máxima da ordem de 12.00 m. A esta cortina de injeções de impermeabilização deverão ser associadas duas linhas de furos rasos, uma a montante e outra a jusante, com profundidade de 4.00 m e espaçados a cada 8.00 m, para injeção das fraturas mais frequentes, à pequena profundidade.

Estão previstos três diques de fechamento de pontos de fuga, dois na margem direita e um na margem esquerda. Considerando a pequena altura destes diques, máxima de 9.50 m sobre a fundação e carga hidráulica máxima de 7.30 m, não foi previsto para estas estruturas tratamentos de fundação profundos. Todas as fundações dos diques serão em rocha.

A zona mais baixa do eixo, trecho entre as estacas 21+00 e 34+00, é constituída por sedimentos aluvionares composto por solos areno siltosos com espessuras que atingem até 12.00 m.

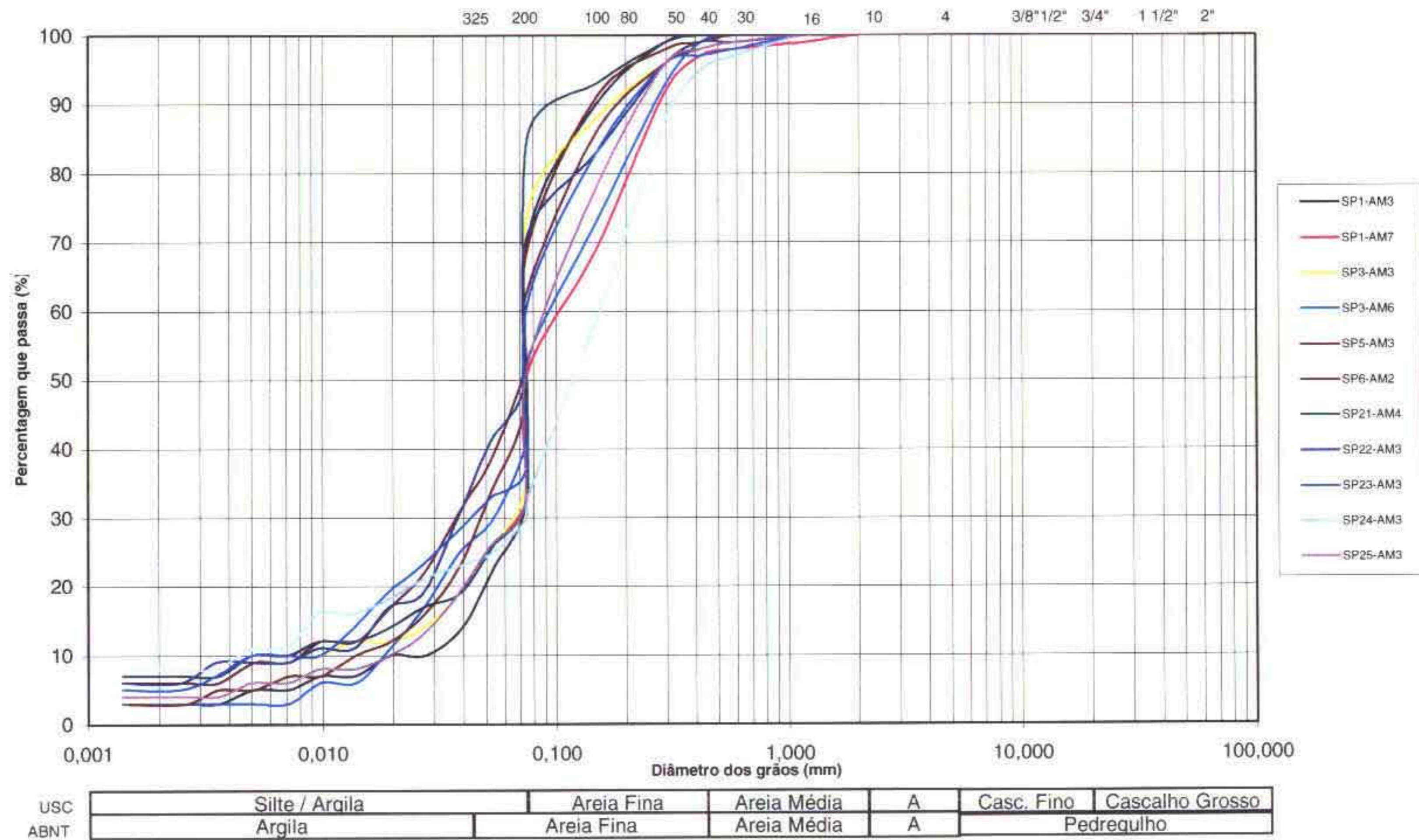


Figura 4.1 – Solo da fundação da barragem – região do eixo do rio – Curvas de distribuição granulométrica.

00035

4.2.2.4 Materiais Naturais de Construção

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

4.2.2.4.1 Materiais Terrosos

Próximo ao eixo do barramento, as ocorrências de solos são escassas, não tendo sido identificada, no reconhecimento de campo, nenhuma área potencialmente aproveitável como área de empréstimo. No entorno do eixo é generalizada a ocorrência de solos residuais de arenito, siltito e riohito cuja espessura varia de 0,30 a 0,50 m, nas ombreiras. No leito do rio ocorrem solos aluvionares, silto arenosos, com espessuras variáveis de 5,00 m a 12,00 m.

Áreas com ocorrências de solos coluvionares, com características adequadas à construção de barragens, foram identificadas na região do futuro reservatório, a distâncias que variam de 6,8 a 10,2 km do eixo do barramento, o que significa uma distância média de transporte de 8,34 km. Nestas áreas, o capeamento de solo também é pouco espesso, apresentando espessura média da ordem de 1,40 m de material aproveitável. Assim, extensas áreas tiveram de ser pesquisadas, para obtenção do material em volume suficiente para execução do maciço.

A investigação dos empréstimos foi executada apoiada nos trabalhos de mapeamento geológico, que identificaram os locais onde ocorrem os depósitos mais promissores. Nestes locais foram executados poços de investigação, distanciados a cada 200 m. Assim, foram selecionadas três áreas de empréstimo, cujas características são apresentadas a seguir.

Os volumes cubados nas três áreas estudadas são apresentados nas Tabelas 4.8 a 4.10. No Volume 4A – Estudos Geológicos e Geotécnicos - Anexos, são apresentados os boletins de sondagem e os ensaios de laboratório.

TABELA 4.8

ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 - PROPRIETÁRIO: MANOEL CARLOS

Área estudada	759 486 m ²
Nº de poços executados	30
Espessura média do expurgo	0,11 m
Espessura média de mat. Utilizável	1,38 m
Volume de material utilizável	995 900 m ³
Volume de expurgo	117 300 m ³
Distância ao eixo da barragem	10,2 km

TABELA 4.9
ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 - PROPRIETÁRIO: ROSENO

Área estudada	480.118 m ²
Nº de poços executados	22
Espessura média do expurgo	0,12 m
Espessura média de mat. Utilizável	1,27 m
Volume de material utilizável	692.800 m ³
Volume de expurgo	71.000 m ³
Distância ao eixo da barragem	6,8 km

TABELA 4.10
ÁREA DE EMPRÉSTIMO 3 - PROPRIETÁRIO FONTELES

Área estudada	1.680.000 m ²
Nº de poços executados	56
Espessura média do expurgo	1,4 m
Espessura média de mat. Utilizável	1,27 m
Volume de material utilizável	2259.100 m ³
Volume de expurgo	194600 m ³
Distância ao eixo da barragem	8,0 km

A Tabela 4.11 apresenta o resumo do volume cubado nas três áreas selecionadas.

TABELA 4.11
RESUMO DOS VOLUMES DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO

Local	Volume (m ³)	
	Utilizável	Expurgo
Área de empréstimo 1	995.900	117.300
Área de empréstimo 2	692.800	71.000
Área de empréstimo 3	2.259.100	194.600
Volume Total	3.947.800	382.900

A localização das áreas de empréstimo e dos respectivos poços de investigação estão indicados no desenho TAQ-300-DE-005.

As principais características dos solos coluvionares dos empréstimos são apresentadas nas Tabelas 4.12 a 4.14 – Resumo dos Ensaio de Caracterização, na Figura 4.2 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Curvas de Distribuição Granulométrica, na Figura 4.3 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 - Compactação – Proctor Normal e na Figura 4.4 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Carta de Plasticidade.

000037

TABELA 4.12

ÁREA DE EMPRÉSTIMO 1 – RESUMO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Peneira		GRANULOMETRIA																	
		Poço de Investigação Nº																	
		1	2	3	5	6	9	11	12	14	15	17	19	21	22	23	27	28	30
2	Percentagem Passante (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11/2		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3/4		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100
1/2		100	100	99	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100	100
3/8		100	100	99	97	100	99	100	99	100	100	100	100	100	94	100	100	99	98
Nº 4		96	100	95	94	100	98	98	97	99	98	99	98	97	98	97	97	94	94
Nº 10		84	93	85	86	92	88	88	88	92	90	92	91	89	76	90	88	84	85
Nº 40		47	54	50	74	58	73	61	65	64	70	67	68	72	43	68	73	69	62
Nº 200		26	27	28	56	31	58	45	47	40	48	45	47	50	25	47	57	55	46
<0,005	13	14	10	28	11	30	22	20	17	21	20	21	22	12	19	27	23	21	
LIMITES DE ATTERBERG																			
Lim. de Liquidez LL (%)		30	30	30	36	33	37	35	34	33	34	34	34	35	29	35	36	35	34
Lim. de Plasticidade LP (%)		23	24	23	20	22	20	22	21	21	21	21	20	21	24	21	20	20	21
Índice de Plasticidade I.P. (%)		7	6	7	16	11	17	13	13	13	13	14	14	5	14	16	15	13	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																			
Classificação U.S.C.S.		SM	SM	SM	CL	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM	SC	CL	CL	SC	
COMPACTAÇÃO																			
Densidade Seca (max) - γ_{dmax} (g/cm ³)		1,986	1,996	1,970	1,660	1,750	1,628	1,720	1,717	1,730	1,670	1,710	1,675	1,683	1,990	1,680	1,660	1,665	1,700
Umidade ótima - w_{opt} (%)		11,1	10,4	11,5	19,8	17,0	19,8	17,7	18,0	17,5	18,1	17,8	18,2	19,0	10,8	18,0	19,7	19,7	18,0
Umidade Natural - w_n (%)		11,85	9,94	20,73	20,67	9,47	20,46	11,88	16,22	11,59	18,94	17,54	17,44	14,17	10,14	13,23	14,45	18,91	11,68

TABELA 4.13

ÁREA DE EMPRÉSTIMO 2 – RESUMO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Peneira		GRANULOMETRIA														
		Poço de Investigação Nº														
		1	2	7	8	9	13	14	15	16	17	19	20	21	22	
2	Percentagem Passante (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
11/2		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3/4		100	100	98	100	100	100	100	100	100	99	100	100	99	96	100
1/2		100	100	96	99	99	99	99	100	100	99	100	100	97	94	99
3/8		100	95	96	98	98	99	100	100	98	100	100	97	92	92	96
Nº 4		98	88	81	91	95	97	100	97	97	100	99	91	86	88	
Nº 10		93	79	62	80	86	88	92	89	88	90	92	80	77	79	
Nº 40		73	63	43	60	68	69	71	69	53	48	74	60	60	53	
Nº 200		52	44	23	44	54	49	46	49	31	17	57	44	40	32	
<0,005	23	18	8	20	24	19	20	22	12	6	27	19	17	12		
LIMITES DE ATTERBERG																
Lim. de Liquidez LL (%)		36	34	32	34	36	36	36	36	33	31	37	34	34	33	
Lim. de Plasticidade LP (%)		20	21	23	21	20	21	23	21	23	24	20	21	22	23	
Índice de Plasticidade I.P. (%)		16	13	9	14	16	15	13	15	10	7	17	13	12	10	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																
Classificação U.S.C.S.		CL	SC	SC	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SM	CL	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO																
Densidade Seca (max) - γ_{dmax} (g/cm ³)		1,710	1,756	1,830	1,740	1,692	1,730	1,740	1,700	1,820	1,876	1,690	1,747	1,786	1,847	
Umidade ótima - w_{opt} (%)		16,7	16,2	14,0	16,6	17,0	16,8	16,6	18,5	14,7	12,3	18,6	16,6	15,8	14,8	
Umidade Natural - w_n (%)		10,24	10,84	13,07	10,48	9,95	10,30	10,48	9,19	12,38	15,25	9,09	10,52	11,30	12,48	

TABELA 4.14
ÁREA DE EMPRÉSTIMO 3 - RESUMO DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

		GRANULOMETRIA																																
Peneira		Posto de Investigação N°																																
		1	2	3	4	5	8	9	11	12	14	15	16	18	20	22	24	25	29	31	32	34	36	37	40	41	45	48	49	50	52	53	54	
2"	Percentagem Passante (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1 1/2"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3/4"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1/2"		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
3/8"		100	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100	98
N° 4		99	98	99	94	97	99	98	98	98	100	97	95	98	96	100	96	98	95	100	91	98	99	99	99	100	98	97	99	99	86	98	91	
N° 10		90	94	95	86	91	92	92	93	92	94	91	87	91	89	93	85	93	87	93	82	96	93	96	90	93	84	88	89	93	78	90	84	
N° 40		69	78	80	66	70	67	76	77	76	74	72	68	73	72	57	67	77	58	71	53	82	68	74	64	71	49	65	62	60	62	62	68	
N° 200		50	63	65	49	47	49	58	56	55	50	58	48	60	52	29	52	55	37	48	31	65	47	51	47	54	27	45	41	35	36	41	36	
<0,075	23	31	31	16	17	20	29	23	24	22	25	22	28	21	10	25	22	19	22	10	34	20	17	15	21	10	18	15	11	14	15	28		
		LIMITES DE ATINGIMENTO																																
Lim. de Liquidez LL - (%)		35	36	38	37	36	36	37	36	37	36	38	36	37	36	37	37	32	35	36	38	35	37	36	37	27	36	36	32	33	35	37		
Lim. de Plasticidade - LP (%)		22	21	21	22	23	21	22	22	23	22	23	22	22	21	23	22	20	21	25	22	21	22	23	23	19	21	22	21	20	21	22		
Índice de Plasticidade (%)		13	15	17	15	13	15	15	14	14	14	15	14	15	14	9	14	15	12	14	11	16	14	15	13	8	15	14	11	13	14	15		
		CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																																
Classificação U.S.C.S.		SC	CL	CL	SC	SC	SC	CL	CL	CL	SC	CL	SC	CL	CL	SC	CL	CL	SC	SC	SC	SC	CL	SC	CL	SC	CL	SC	SC	SC	SC	SC		
		COMPACTAÇÃO																																
Densidade Seca (máx.) - g/cm ³		1,705	1,595	1,57	1,662	1,782	1,67	1,68	1,66	1,665	1,657	1,61	1,67	1,64	1,602	1,932	1,648	1,66	1,59	1,718	1,72	1,55	1,695	1,71	1,714	1,688	1,973	1,87	1,633	1,904	1,65	1,625	1,608	
Umidade Ótima - h _{ótima} (%)		18,7	20	20,4	21	16	20,4	19,9	19,3	19,2	21,3	21	20	22,2	22,2	12	21	20,5	19,5	18,2	18,5	20	18,7	18,3	18,8	18	10,3	12,5	19,7	13,5	21	18,5	22	
Umidade Natural - h (%)		16,25	16,43	15,24	16,38	14,72	18,07	16,33	22,28	16,61	20,11	23,13	18,11	18,64	17,28	10,41	21,85	18,96	17,57	15,74	16,92	17,65	14,17	16,97	12,99	20,95	9,87	16,14	14,97	10,15	16,13	15,44	17,25	

000039

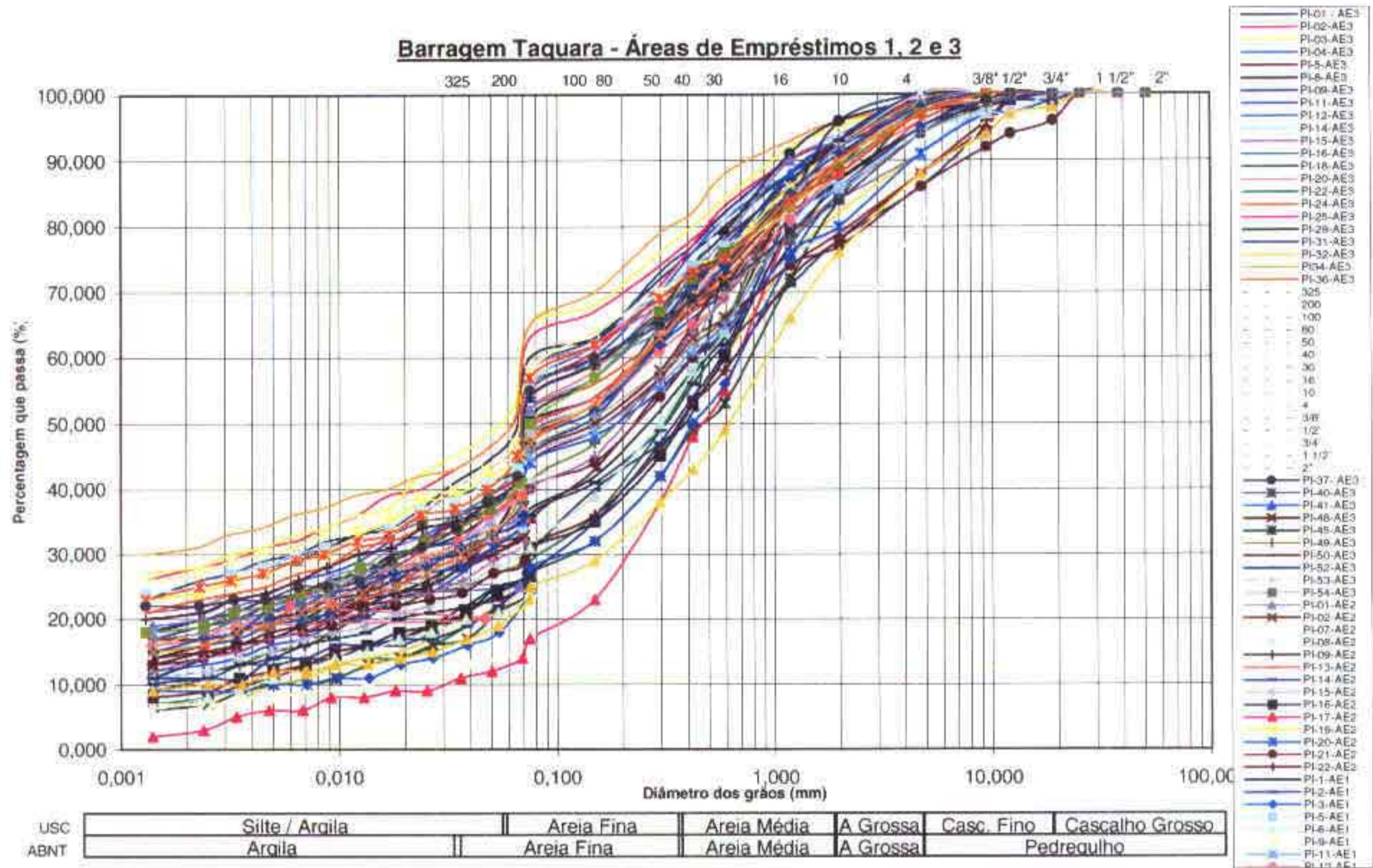


Figura 4.2 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Curvas de Distribuição Granulométrica.

000040

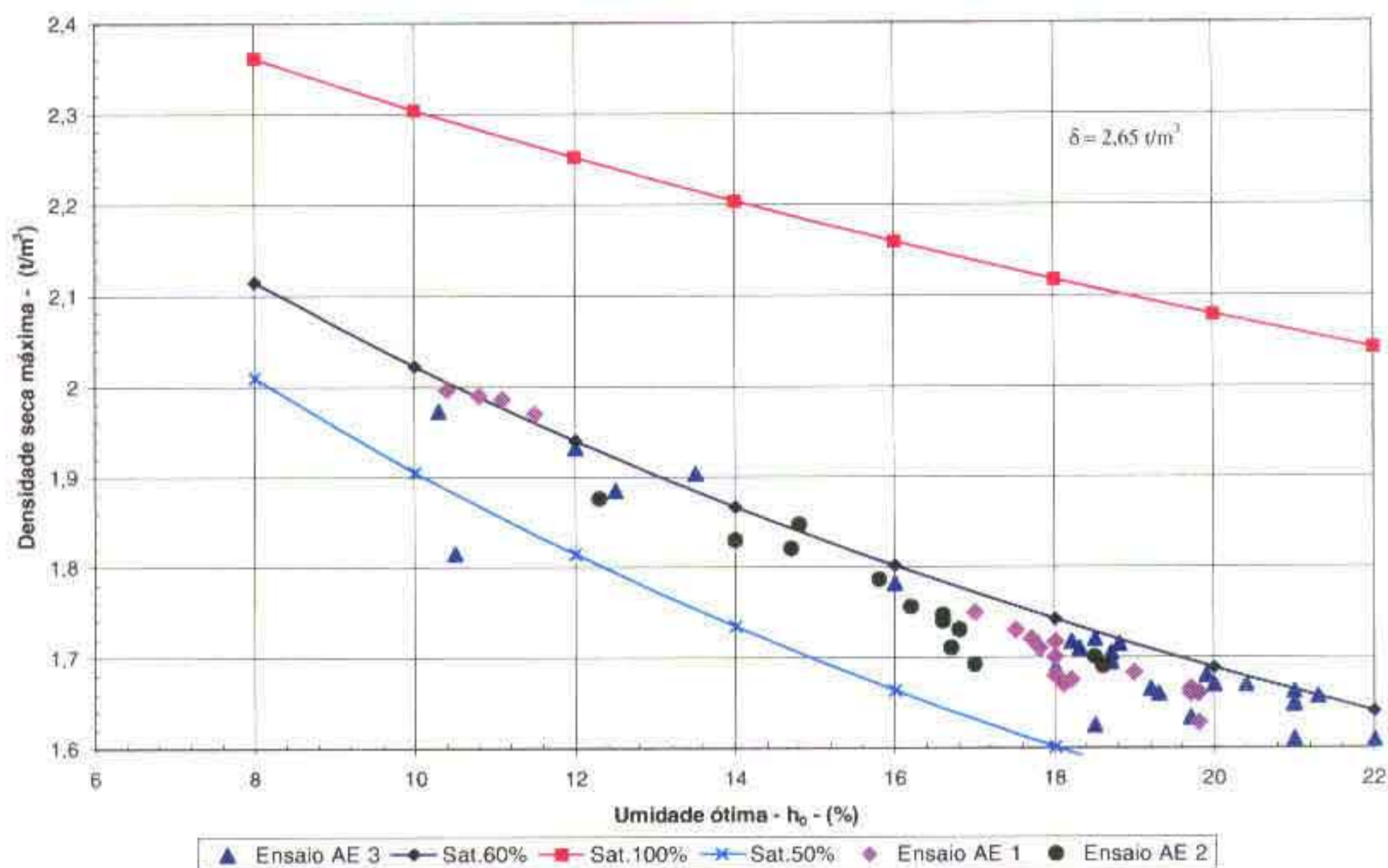


Figura 4.3 – Áreas de Empréstimo 1,2 e 3 – Compactação Proctor Normal

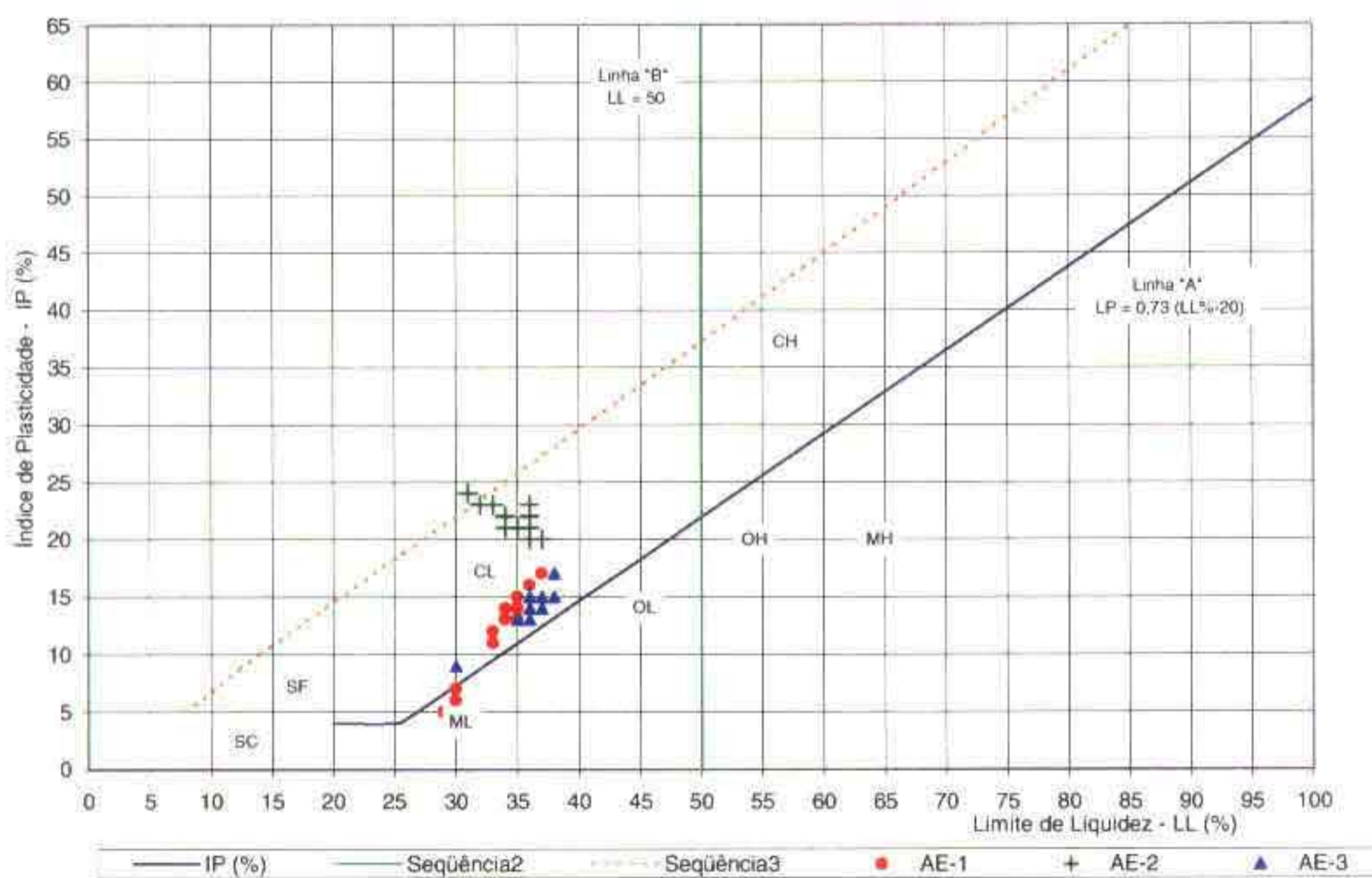


Figura 4.4 – Áreas de Empréstimo 1, 2 e 3 – Carta de Plasticidade

000041

Os solos ocorrentes, classificados segundo a USCS, correspondem a solos areno argilosos e argilosos de baixa plasticidade e pouco compressíveis. A análise das curvas de distribuição granulométrica e da carta de plasticidade revela que os solos das três áreas selecionadas são razoavelmente uniformes.

No respeitante à umidade natural, esta se apresenta, em geral, inferior à umidade ótima para compactação determinada no ensaio de Proctor Normal, o que exigirá tratamento corretivo de umidificação para enquadrar os solos na faixa de umidade adequada à compactação. Salienta-se que as amostras foram coletadas nos meses de março e abril, período de chuvas na região, e que nos meses de verão, a umidade natural certamente apresentará valores mais baixos.

Quanto ao tratamento corretivo de umidificação, este poderá ser executado na praça de trabalho do maciço ou na própria área de empréstimo. É conveniente aqui salientar que, o tratamento na praça de trabalho tem o inconveniente de provocar o ressecamento superficial do solo quando as operações de gradeamento se estendem por longos períodos. Tal fato propicia a formação de películas endurecidas, que dificultam o destorroamento e o umedecimento homogêneo do material.

Os ensaios de permeabilidade, em permeâmetro de carga variável, revelaram para as áreas de empréstimo, os seguintes valores médios para o coeficiente de permeabilidade:

Empréstimo nº 1	$k = 9,06 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$	$\bar{k} = 9,15 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$
Empréstimo nº 2	$k = 9,83 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$	
Empréstimo nº 3	$k = 8,55 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$	

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

4.2.2.4.2 Materiais Granulares

Três jazidas de areia foram identificadas nas vizinhanças do eixo da barragem a distâncias de transporte entre 0,50 km e 1,60 km. Tendo em vista que as investigações geotécnicas foram feitas no período de chuvas, as jazidas estavam submersas. Entretanto, o histórico de vazões do rio Jaibaras mostra que entre os meses de agosto e janeiro ele apresenta-se seco. Este fato facilitará a exploração da areia, que pode ser feita a seco fora do período de chuvas, sendo que o material necessário poderá ser estocado. Nas três jazidas pesquisadas cubou-se um volume de 140 000 m³, suficiente ao atendimento às necessidades das obras.

Na Figura 4.5, são apresentadas as curvas de distribuição granulométrica da areia disponível nas jazidas. A análise destas curvas mostra que os materiais das três jazidas apresentam-se bastante uniformes, e do ponto de vista granulométrico, adequados para aplicação tanto nos filtros da barragem, quanto como agregado para concreto.

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

Jazida 1 – $k = 2,42 \times 10^{-3}$ cm/s

Jazida 2 – $k = 1,60 \times 10^{-3}$ cm/s

Jazida 3 – $k = 3,30 \times 10^{-3}$ cm/s

$$\bar{k} = 3,66 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

No respeitante à resistência ao cisalhamento, foram ensaiadas três amostras de solos compactados do empréstimo 3 em câmara triaxial, na condição não drenada, tanto na umidade de compactação, como na saturada. Os resultados destes ensaios forneceram valores muito baixos e discrepantes para c' e ϕ' , entre os diversos tipos de ensaios (Q , \bar{R} , \bar{R}_{sat}). Assim sendo, estes ensaios não foram considerados. Já os ensaios de cisalhamento direto forneceram valores bastante coerentes entre os diversos ensaios realizados. O confronto entre os valores de c' e ϕ'' , obtidos nos ensaios de cisalhamento direto, com dados de ensaios pesquisados na literatura, permitiram estabelecer os valores de c' e ϕ' a serem utilizados nos estudos e análises de estabilidade da Barragem Taquara. Foram adotados então os valores de $c' = 15$ kPa e $\phi' = 29^\circ$ para o aterro compactado. Para o aluvião de fundação foram adotados os valores de $c' = 0$ e $\phi'' = 27^\circ$, e para os enrocamentos $c' = 0$ e $\phi'' = 40^\circ$.

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

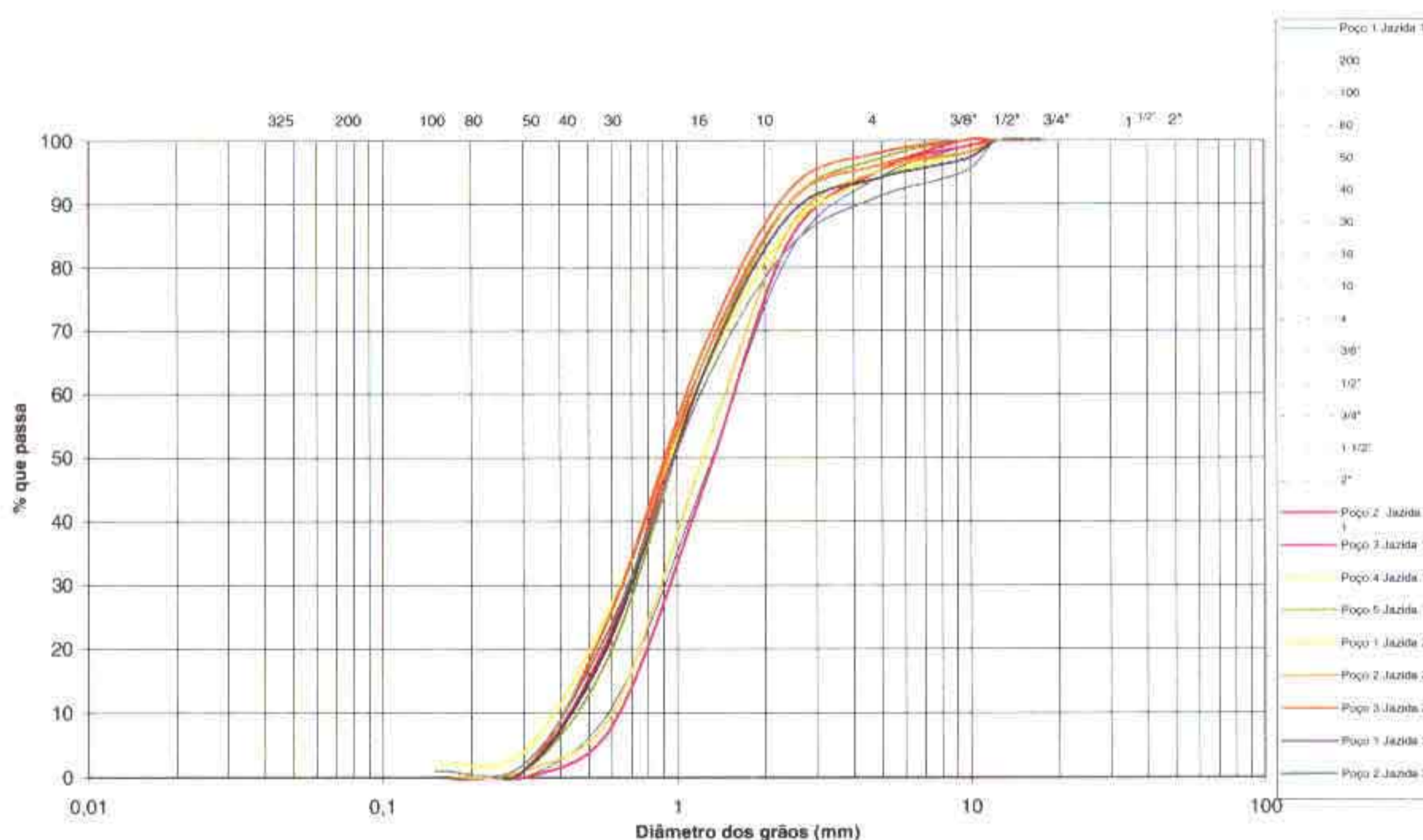


Figura 4.5 – Curvas de distribuição granulométrica da areia.

000043

As curvas granulométricas mostram que cerca de 8 % do material é maior do que a malha nº 4, o que poderá exigir o peneiramento da areia para aplicação nos concretos

4.2.2.4.3 Material Pétreo

A obtenção de material pétreo para os enrocamentos de proteção da barragem de terra e para produção de agregados para concreto será proveniente das escavações em rocha para execução do vertedouro e da pedreira localizada a 2,8 km do eixo da barragem. Salienta-se que sendo a cobertura de solo pouco expressiva em toda a região vizinha ao eixo, o construtor poderá pesquisar fontes de obtenção de rocha mais próximas o eixo da barragem.

As características visíveis da rocha e sua correlação com litologias semelhantes permitem afirmar que a alterabilidade dos arenitos é incipiente na escala da vida útil da obra. A resistência a compressão simples é alta e a perda máxima por "Abrasão Los Angeles", graduação F, foi de 26,6% bastante inferior ao limite especificado pela Norma NBR 6465/84 da ABNT, que é de 50%.

Para a execução dos concretos deverá ser utilizado agregado obtido a partir da rocha vulcânica. Assim, durante as escavações do vertedouro esta litologia deverá ser separada para produção do agregado graúdo.

4.3 Estudos Hidrológicos

Neste item são apresentadas as atividades relacionadas aos estudos hidrológicos, que foram elaborados especificamente para a definição das grandezas básicas do empreendimento, incorporando as recomendações do Painel de Inspeção.

Através dos estudos hidrológicos, foram definidos elementos que permitiram concretizar as dimensões principais das obras, além de subsidiar as análises de remanso e vida útil do reservatório.

4.3.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica

Empregando a base cartográfica disponível, em escala 1:100 000 (folhas AS-24-Y-C-VI, Frecheirinha e SB-24-V-A-III, Ipu), elaboradas pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército, foi feita a delimitação da bacia hidrográfica e calculados os principais parâmetros físicos da bacia do rio Jaibaras, a montante do local do eixo da Barragem Taquara, que estão resumidos a seguir:

- Área de drenagem $A = 565,73 \text{ km}^2$
- Comprimento do talvegue principal $L = 42,75 \text{ km}$
- Declividade média equivalente $S_e = 0,00249 \text{ m/m}$

11.11.04

- Perímetro $P = 108.50 \text{ km}$
- Coeficiente de compactidade $K_c = 1.29$
- Fator de forma $K_f = 0.31$
- Tempo de concentração $t_c = 14 \text{ h}$

Os aspectos geológicos e geomorfológicos da bacia foram analisados em detalhe, visando a caracterização hidrológica dos solos e a associação com taxas de escoamento superficial. Conforme destacado no item 4.2, a predominância na bacia de unidades estruturais do Complexo Cristalino condiciona a ocorrência de solos pouco permeáveis os quais, associados a um relevo que apresenta feições bastante fortes nas cabeceiras e na parte média da bacia, tornando-se suave nas partes finais, contribuem para a geração de hidrogramas de cheias com vazões de pico acentuadas, durante o período chuvoso.

Associando, assim, as características de relevo com os tipos de solo e de vegetação dominante na bacia, o PERH/CE (SRH/CE, 1992) definiu valores para o parâmetro CN (número da curva índice) da metodologia do SCS – Soil Conservation Service, empregada nos estudos de modelagem hidrológica, para o cálculo da precipitação efetiva. O valor obtido para CN foi igual a 55.6, para a Condição II de umidade antecedente do solo, sendo majorado para a Condição III (valor igual a 74.2), para aplicação nas rotinas de geração das cheias de projeto.

4.3.2 Caracterização Climatológica

O clima do Estado do Ceará e, particularmente, da bacia do Alto e Médio Jaibas, pode ser caracterizado pelas massas de ar que predominam na região. Segundo NIMER (1979), na maior parte do tempo, entre os meses de julho a dezembro, o Estado fica influenciado pela massa Equatorial atlântica (mEa), de características estáveis. A partir de janeiro, a mEa começa a se deslocar, pelo avanço da Convergência Intertropical (CIT) em direção ao Hemisfério Sul, permitindo a instabilidade da atmosfera e a consequente indução de precipitações.

A mEa é constituída pelos ventos alísios de direção predominante SE, formados pelo anticiclone semifixo do Atlântico Sul, que apresenta uma extensa abrangência, desde a costa oeste da África até o litoral e a Região Sudeste brasileira. O anticiclone é dominado pela subsidência do ar quente e seco das latitudes tropicais, assegurando pressões atmosféricas elevadas e inversão térmica em baixa altitude. Todas essas características são condicionantes de tempo estável, impedindo a ascensão das massas de ar úmidas e a formação de precipitações. Nos períodos de domínio da mEa, pode ocorrer alguma instabilidade atmosférica apenas na orla do litoral brasileiro e nas regiões de relevo mais acentuado.

A CIT é formada pela faixa de convergência dos ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul, circundando todo o globo terrestre, mais ou menos em torno do Equador. O encontro dos ventos alísios causa uma grande descontinuidade térmica, de natureza frontogenética, com ascensão permanente das massas de ar e formação de uma extensa faixa de baixas pressões atmosféricas, condicionando a ocorrência de altos índices pluviométricos.

A partir do mês de janeiro, o intenso resfriamento do Hemisfério Norte impulsiona a CIT para o sul, iniciando o processo de instabilidade atmosférica no Estado do Ceará. Entretanto, é no período de março a maio que o anticiclone do Atlântico Sul desloca-se mais para leste, permitindo o maior avanço da CIT sobre o Estado, quando então tem lugar a estação chuvosa na bacia do Alto e Médio Jaibaras.

Ainda de acordo com o mencionado autor, o clima da região de interesse pode ser classificado como tropical quente e semi-árido, com ocorrência de 7 a 8 meses secos no ano. A precipitação média anual na bacia é da ordem de 1000 mm, sendo a temperatura média de, aproximadamente, 27°C, com extremos médios máximos e mínimos de 30°C e 20°C, respectivamente. Do total anual precipitado, um percentual de 70% estão concentrados em apenas 3 meses consecutivos, de fevereiro a abril. O período seco abrange o período de junho a dezembro.

As variáveis de maior importância para uma caracterização mais detalhada do clima da região, de interesse para o presente trabalho, são a precipitação, a evaporação, a temperatura e a insolação. Nos estudos de base do PERH/CE (SRH/CE, 1992), são apresentados os dados de diversas estações climatológicas da bacia do rio Acaraú, com histogramas de valores médios mensais e processamento do balanço hídrico.

A estação climatológica de Sobral foi considerada como representativa do clima da região de interesse, pelo fato de ser a mais próxima da bacia do Alto e Médio Jaibaras. A Tabela 4.15 resume os valores médios mensais das variáveis climatológicas de maior relevância.

TABELA 4.15

NORMAIS DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE SOBRAL

Mês	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação (horas)	Direção Vento
JAN	101,6	158	68	187	NE-SE
FEV	129,1	105	73	162	NE-SE
MAR	231,2	75	83	156	NE-SE
ABR	218,5	71	84	163	NE-SE
MAI	149,5	78	80	194	NE-SE
JUN	59,0	108	73	212	NE-SE
JUL	24,8	154	67	233	NE-SE
AGO	5,1	199	59	271	NE-SE
SET	1,7	215	57	258	NE-SE
OUT	6,2	247	58	258	NE-SE
NOV	8,8	220	58	241	NE-SE
DEZ	24,9	210	60	221	NE-SE
ANUAL	960,4	1840	-	2556	-

SE – sudeste
NE – nordeste

Fonte: PERH/CE (SRH/CE, 1992)
(1) Fonte: INEMET, 1992

000046

Os registros diários de temperatura podem ser sintetizados nos valores de média compensada, de média das máximas e de média das mínimas. A Tabela 4.16 resume esses valores, para a estação climatológica de Sobral.

TABELA 4.16**DADOS DE TEMPERATURA DA ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE SOBRAL**

Mês	Média Compensada (°C)	Média Das Máximas (°C)	Média Das Mínimas (°C)
JAN	27,7	33,9	23,2
FEV	27,1	32,7	22,8
MAR	26,2	31,3	22,4
ABR	26,2	31,2	22,5
MAI	26,1	31,2	22,1
JUN	26,0	31,8	21,4
JUL	26,4	33,0	21,0
AGO	27,3	34,7	21,4
SET	28,0	35,8	22,5
OUT	28,1	36,0	22,7
NOV	28,3	35,7	22,9
DEZ	28,3	35,3	23,2

Com as variáveis climatológicas sintetizadas nas Tabelas 4.15 e 4.16, os estudos contidos no PERH/CE (1992) permitiram a elaboração do balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite, que indicou valores de 4,4% para o índice de aridez, 55,6% para o índice efetivo de umidade e -29,0% para o índice hídrico global, permitindo assim uma classificação climática do tipo DdA`a` (D – clima semi-árido com índice efetivo de umidade ou índice hídrico, variando entre -20 a -40%; d – indica pequeno ou nenhum excesso de água no decorrer do período; A` – clima megatérmico, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C; a` – baixa variação estacional na evapotranspiração).

4.3.3 Caracterização Pluviométrica

Para a caracterização do regime pluviométrico da bacia do Alto e Médio Jaibaras, em termos de isoietas médias anuais, foram selecionadas as estações pluviométricas com maiores comprimentos de histórico de dados. Essas estações encontram-se listadas na Tabela 4.17.

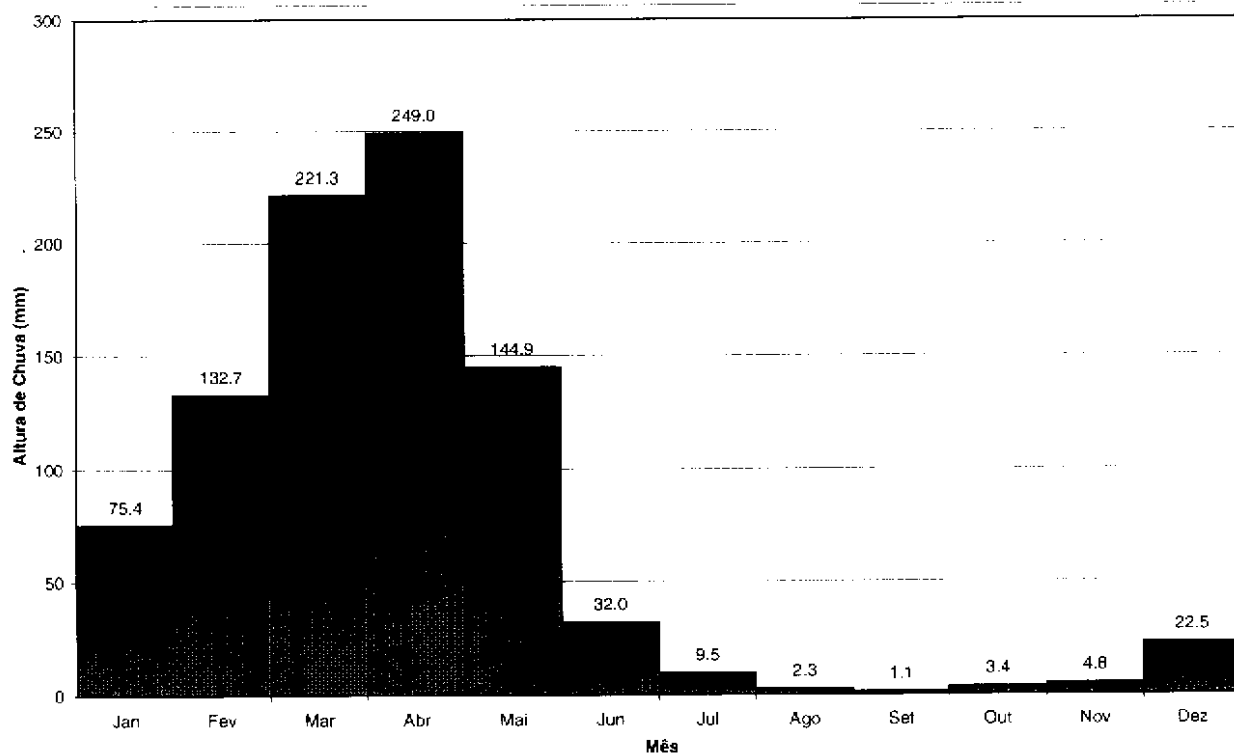
11.1147

TABELA 4.17
ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS

Código	Estação	Entidade Operadora	Período De Dados
00340015	Frecheirinha	DNOCS	1934 – 2000
00340029	Tapera	DNOCS	1934 – 1976
00340023	Mucambo	DNOCS	1933 – 1990
00340018	Ibiapina	DNOCS	1912 – 1990
00340022	Graça	DNOCS	1930 – 1990
00440000	Reriutaba	DNOCS	1912 – 1990
00440023	Guaraciaba do Norte	DNOCS	1933 – 1990
00440026	São Benedito	DNOCS	1926 – 1990

As estações pluviométricas selecionadas foram utilizadas também na análise da distribuição espacial da chuva do ano de 1974, responsável pela gênese de uma das maiores cheias registradas na bacia do rio Jaibas.

Considerando a estação pluviométrica de Tapera como representativa da área de inserção da bacia hidráulica do futuro reservatório, a Figura 4.6 mostra a variação sazonal dos totais médios mensais de precipitação. Essa variação, que também ocorre nas demais estações, é função principal das características do clima, conforme descrito no Capítulo 3. O período mais chuvoso concentra-se entre os meses de março a abril, quando precipitam cerca de 60% do total anual. Os meses de julho a novembro são os mais secos, com valores pouco expressivos de precipitação.


Figura 4.6 – Histograma de Chuva Mensal da Estação Pluviométrica de Tapera

4.3.4 Estudos de Regularização

A caracterização do regime fluviométrico do rio Jaibaras, no local de implantação da Barragem Taquara, foi elaborada com a finalidade de definir o potencial de regularização do aproveitamento, em termos de garantir descargas firmes nos meses de estiagem ou de aumentar a eficiência operacional do reservatório do Açude Aires de Souza.

A metodologia de cálculo (CAMPOS, 1996) baseou-se em simulações da operação dos reservatórios, empregando séries sintéticas de vazões afluentes. Como resultado, obteve-se a vazão regularizada para diversas alturas de acumulação (ou volume útil de regularização) no reservatório da Barragem Taquara, bem como foi possível estimar os impactos causados na descarga regularizada pelo Açude Aires de Souza, em função da retenção de volumes a montante.

As vazões afluentes aos reservatórios da Barragem Taquara e do Açude Aires de Souza foram calculadas a partir dos registros históricos de vazões médias anuais nas estações fluviométricas do rio Jaibaras em Arariús (Código – 3526000) no período de 1984 a 1994, consistidos pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 1996).

Além dos dados de séries de vazões afluentes, para a simulação do balanço hídrico é necessária a determinação das características da bacia hidráulica do reservatório, representadas pelas relações cota-área e cota-volume, conforme apresentado na Tabela 4.18 e na Figura 4.7.

TABELA 4.18

ELEMENTOS DA RELAÇÃO COTA-ÁREA-VOLUME

Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
102.5	0	0
105	13.098	10.915
106	28.688	31.306
108	131.448	179.003
110	544.093	807.652
112	1.361.047	2.651.442
114	2.500.709	6.455.866
116	3.785.185	12.697.548
118	5.950.533	22.351.981
120	8.147.880	36.297.723
122	10.541.533	54.831.132
124	12.262.776	78.583.423
126	18.096.422	109.817.700
128	23.692.723	151.481.374
130	29.320.629	204.394.868
132	41.070.951	274.457.228
134	51.790.554	367.111.803
135	55.979.261	420.983.138

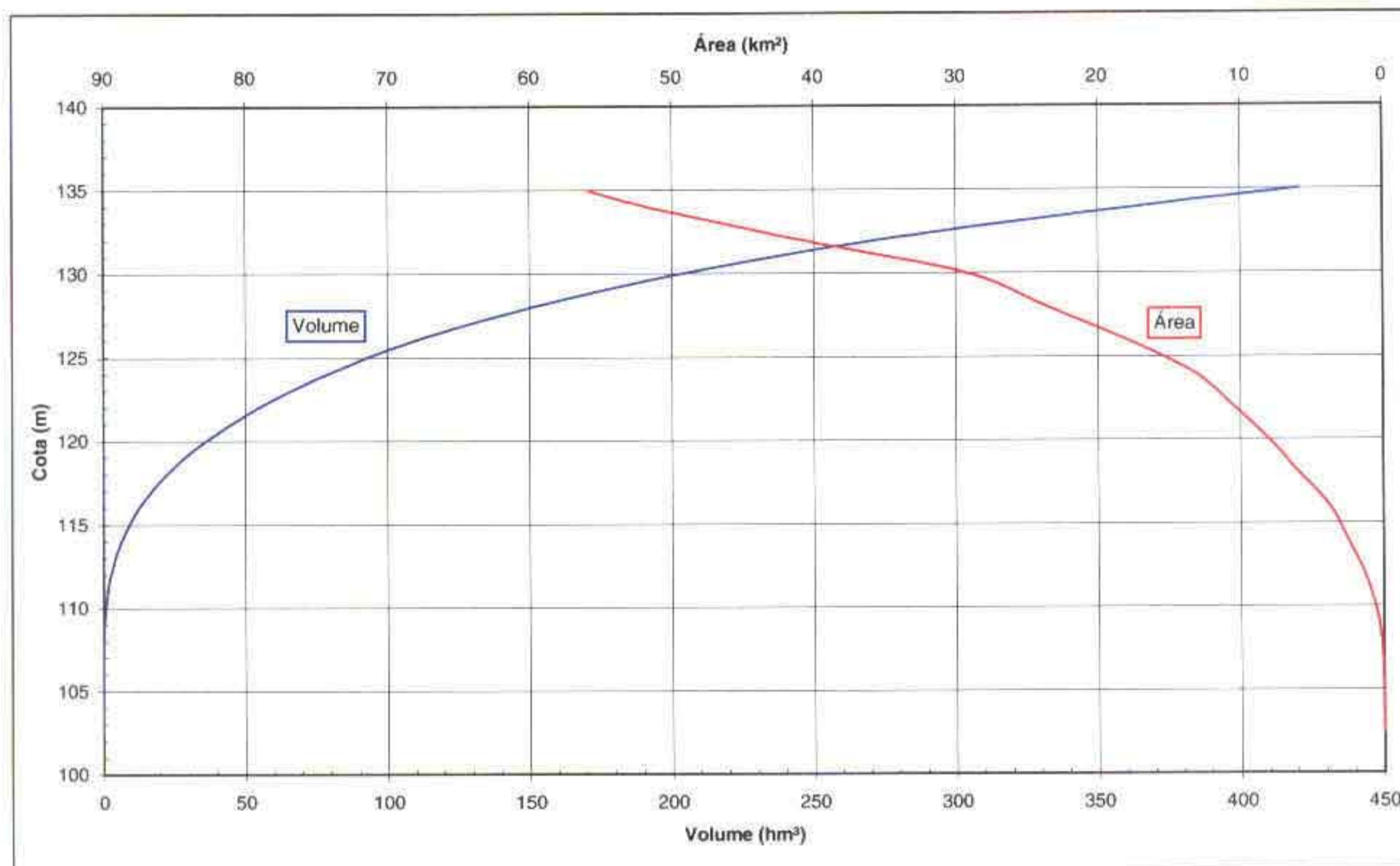


Figura 4.7 – Relações Cota-Área-Volume do Reservatório da Barragem Taquara

A metodologia de simulação foi aplicada para diversos níveis de armazenamento no reservatório, variando entre a El. 128,00 m e a El. 134,00 m, conforme critérios apresentados por ARAÚJO (2000). O volume ótimo de acumulação, que apresentou o menor custo unitário para a água armazenada, foi calculado, pelos estudos de simulação do reservatório, como sendo 274.460.000 m³. Esse volume fica alocado na El. 132,00 m, que corresponde ao NA máximo normal de operação do reservatório.

A região na qual está inserida a Barragem Taquara, de clima semi-árido, apresenta uma estrutura temporal de ocorrência de falhas nos reservatórios que pode se estender por vários meses ou anos. Desta forma, para minorar as conseqüências de tal situação, determina-se um *Volume de Alerta* no reservatório (SRH/CE, 1992), a partir do qual apenas um percentual da vazão regularizada pode ser retirado. A Tabela 4.19 resume os resultados dos estudos regularização, considerando as hipóteses de operação com e sem a inclusão do volume de alerta.

TABELA 4.19
**CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO REGULARIZADA COM 90% DE GARANTIA
PARA A BARRAGEM TAQUARA**

Característica do Reservatório da Barragem Taquara	Vazão de Regularização com 90% de Garantia	
	(m ³ /s)	(mm/ano)
Sem Volume de Alerta	3,83	120,89
Com Volume de Alerta	2,65	83,51

4.3.5 Cheias de Projeto

Mesmo com a localização da estação fluviométrica do rio Jaibaras em Arariús, próxima ao eixo da barragem, os seus registros não podem ser utilizados diretamente para a determinação das cheias de projeto. De fato, a estação está equipada apenas com réguas limimétricas, não dispondo de aparelho registrador, necessário à definição completa dos hidrogramas. Além disso, sempre permanecem as dúvidas a respeito da confiabilidade do ramo superior da curva-chave, que determina a magnitude dos picos das cheias.

Assim, optou-se pelo cálculo indireto das vazões de cheias, através da aplicação de modelagem matemática através da seguinte metodologia de cálculo que foi adotada:

- Estudo de chuvas máximas nas estações pluviométricas selecionadas, definindo os quantis de precipitação máxima anual, correspondentes às durações de 1 dia e a alguns períodos de retorno notáveis.
- Reprodução da cheia de 1974, empregando a distribuição espacial segundo Thiessen e o modelo matemático de simulação hidrológica, tendo como dados de entrada a chuva verificada e o parâmetro da curva índice do método do SCS, determinado em função das características físicas da bacia hidrográfica.
- Abatimento das chuvas com períodos de retorno de 25, 100 e 10.000 anos, para compensar a distribuição espacial das mesmas em toda a área da bacia hidrográfica.
- Determinação dos hidrogramas das cheias de projeto, empregando-se as chuvas máximas abatidas e o modelo de simulação hidrológica.

O estudo de chuvas máximas foi baseado na análise de frequência das amostras dos máximos anuais de precipitação de 1 dia de duração, conforme apresentado na Figura 4.8. Considerando a existência de uma uniformidade regional na bacia hidrográfica de contribuição, em termos das características dos eventos extremos de precipitação, a composição das amostras foi feita pelo método denominado estação-ano, que consiste em agrupar os máximos anuais de todas as estações em uma única amostra, reduzindo assim os problemas de tendências que podem aparecer em pequenos agrupamentos de dados. As estações pluviométricas utilizadas são aquelas que aparecem listadas na Tabela 4.17.

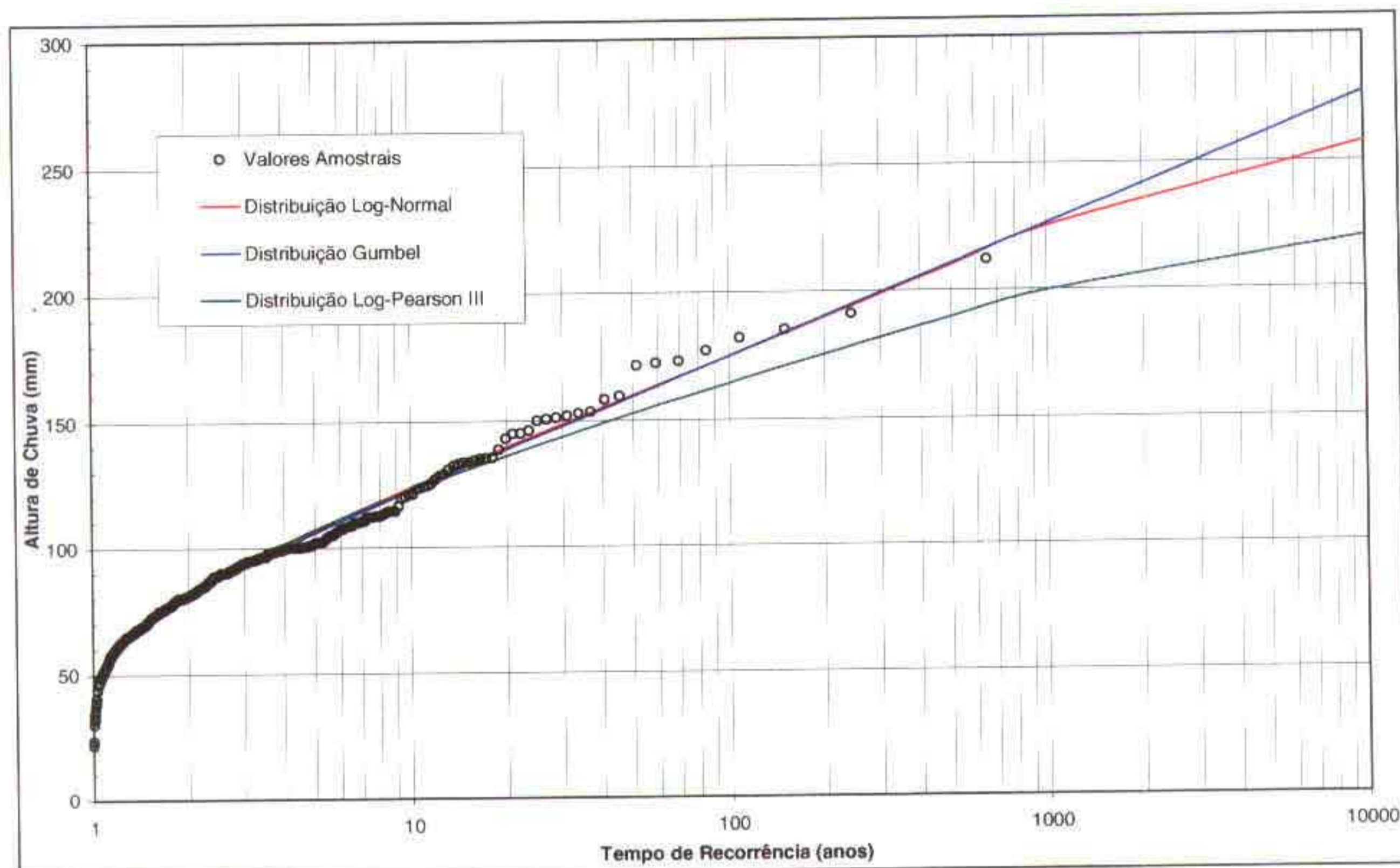


Figura 4.8 – Análise de Frequência dos Máximos Anuais de Altura de Chuva de 1 Dia

A Tabela 4.20 resume os resultados dos estudos de frequência de chuvas máximas, listando os quantis, correspondentes a alguns períodos de retorno notáveis, obtidos do ajuste da distribuição de probabilidade Gumbel.

TABELA 4.20

QUANTIS DOS MÁXIMOS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO

Período de Retorno (anos)	Precipitação Máxima Anual (mm) Duração 1 Dia
2	81,0
5	107,0
10	123,7
25	144,5
50	159,7
100	174,7
200	189,7
500	209,7
1000	224,8
10.000	257,4

A cheia de 1974 é considerada como referência de eventos extremos máximos no Estado do Ceará, especialmente na bacia do rio Jaibas. No presente trabalho, a oportunidade de utilização das informações desse evento, como critério de avaliação da gênese de cheias na bacia e para a calibração do modelo de simulação hidrológica, surgiu com a disponibilidade da curva-chave da estação fluviométrica do rio Jaibas em Arariús.

A distribuição espacial da precipitação geradora da enchente foi definida conforme o método dos Polígonos de Thiessen.

Utilizando os valores da curva índice do método do SCS, conforme determinados no Item 2.2 do presente relatório, foi aplicado o modelo HEC-HMS para a estimativa indireta do hidrograma da cheia de 1974. Para simular uma condição de saturação do solo devido a dias anteriores chuvosos, considerou-se que os valores da curva índice, válidos para a condição III de umidade antecedente do solo da bacia, fossem representativos para o evento. Com base nesse procedimento, a vazão de pico estimada foi igual a 205 m³/s.

Uma vez estimada a vazão de pico, foi verificado se o valor estava compatível com a vazão estimada da cota máxima da estação fluviométrica de Arariús. Através da curva-chave desta estação, apresentada no relatório da SEEBLA (1977) e extrapolada pelo método de Stevens para cotas acima de 2,18 m, pode-se estimar a vazão máxima da cheia de 1974, da ordem de 200 m³/s.

A determinação dos hidrogramas das cheias de projeto, para as recorrências de 25, 100 e 10 000 anos, também foi feita através de métodos indiretos de transformação chuva-vazão através dos seguintes passos de cálculo:

- Adoção de uma duração crítica de 1 dia para a chuva de projeto, em função do tempo de concentração da bacia.
- Maximização dos valores de CN determinados para a condição II de umidade antecedente do solo (ver Item 2.2), considerando a condição III como a mais crítica para a geração de altas taxas de escoamento superficial.
- Transformação dos quantis de chuvas máximas de 1 dia em quantis de chuvas máximas com duração igual a 24 h, através da relação $P_{24h} = 1,1 \times P_{1dia}$.
- Abatimento dos quantis de chuvas máximas com duração igual a 24 h, para considerar a distribuição espacial da chuva pontual, através da relação $P_{abatida} = P_{24h} \left(1 - 0,10 \log \frac{A}{25} \right)$, onde A é a área da bacia hidrográfica, em km².
- Desagregação dos quantis de chuvas máximas abatidas com duração igual a 24 h, em blocos horários, empregando a metodologia de Huff, para o segundo quartil e 50% de probabilidade de ocorrência.

- Aplicação do modelo HEC-HMS para a estimativa indireta dos hidrogramas das Cheias de Projeto.

Na Figura 4.9, a seguir, estão apresentados os hidrogramas das Cheias de Projeto, para os períodos de retorno de 25, 100 e 10.000 anos, obtidos das aplicações do modelo HEC-HMS. As vazões específicas máximas de projeto para a Barragem Taquara apresentam-se em conformidade com as envoltórias empíricas de Creager

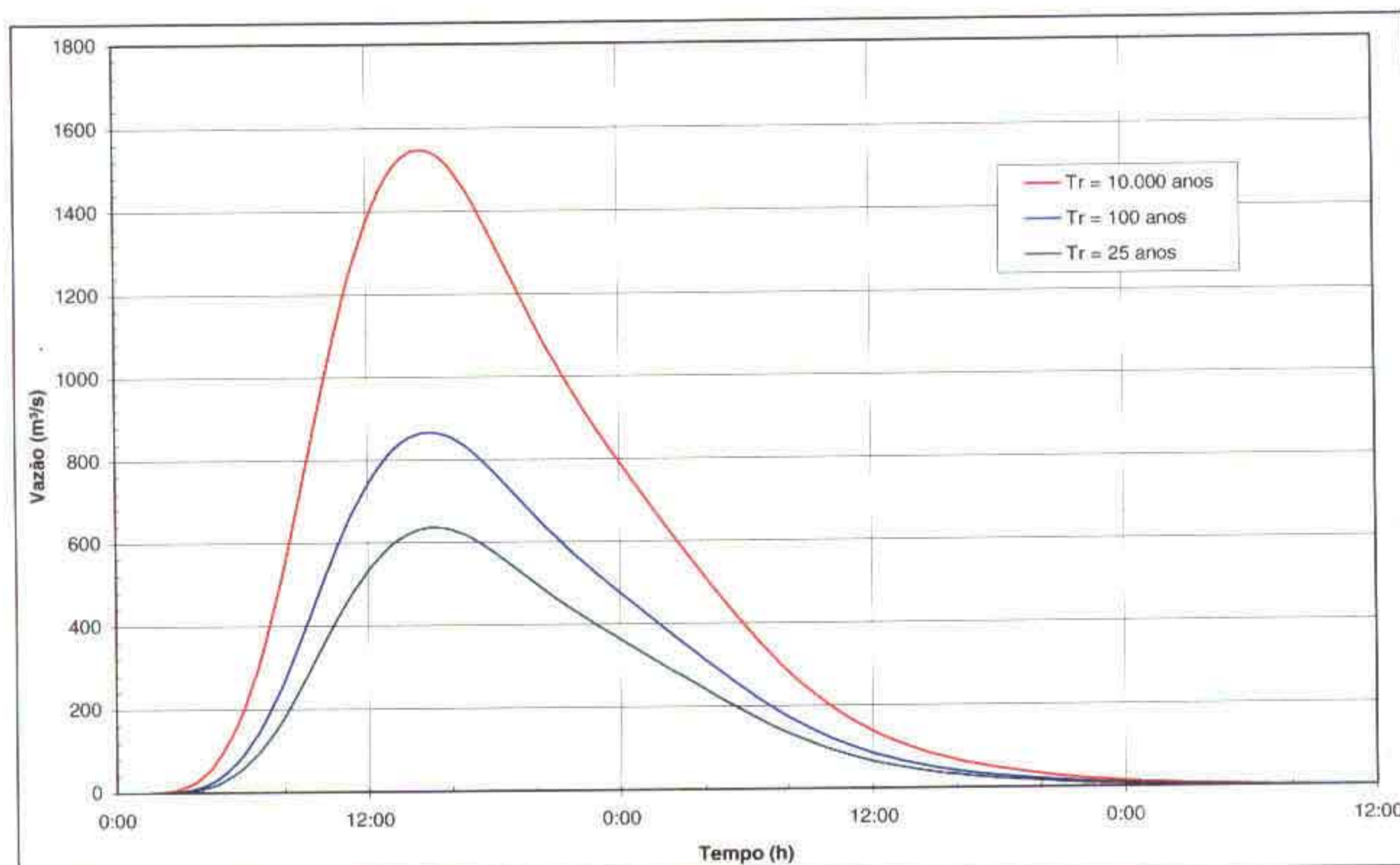


Figura 4.9 – Hidrogramas das Cheias de Projeto

4.3.6 Transito de Cheias no Reservatório

O trânsito das cheias de projeto pelo reservatório da Barragem Taquara foi simulado através da aplicação do método de Puls Modificado, o qual foi incorporado no modelo HEC-HMS.

Para a definição da curva de descarga do vertedouro da Barragem Taquara utilizou-se um modelo de perfil do escoamento, o qual simula as perdas de cargas geradas no canal de aproximação do vertedouro. A curva de descarga do vertedouro está apresentada na Tabela 4.21.

TABELA 4.21
CURVA DE DESCARGA DO VERTEDOIRO DA BARRAGEM TAQUARA

Cota (m)	Vazão (m ³ /s)
132	0
133	400
134	910
135	1680

Os resultados da modelação do trânsito das ondas de cheias de projeto, com os parâmetros definidos na análise da cheia de 1974, estão resumidos na Tabela 4.22.

TABELA 4.22
RESULTADOS DO TRÂNSITO DE CHEIAS NO RESERVATÓRIO DA BARRAGEM TAQUARA

Recorrência (anos)	Vazão Máxima (m ³ /s)		Nível de Água Máximo (m)
	Afluente	Defluente	
25	635	211	132,53
100	866	285	132,71
10.000	1544	522	133,24

Desta forma, conforme o trânsito da cheia de projeto com recorrência de 10.000 anos, o NA máximo maximorum da Barragem Taquara foi fixado na El. 133,25 m

4.3.7 Cálculo da Borda Livre

A determinação da borda livre na Barragem Taquara baseou-se no critério de Saville. Este critério prevê que a borda livre deve ser maior ou igual à altura máxima de influência da onda, gerada no reservatório, no talude da barragem.

Levando-se em conta as características físicas do reservatório e do paramento da barragem, definiu-se o valor da Borda Livre igual a 2,15 m, para um velocidade média do vento sobre o lago igual a 80 km/h. A Tabela 4.23 apresenta os principais resultados do cálculo da borda livre.

TABELA 4.23
RESULTADOS DO CÁLCULO DA BORDA LIVRE

Parâmetro	Valor	Unidade
Fetch Efetivo (F)	4,42	km
Velocidade do Vento (V_w)	80	km/h
Profundidade Média (d)	15	m
Declividade do Talude (S_0)	0,4	m/m
Comprimento da Onda (λ)	18,04	m
Altura da Onda (z_w)	1,33	m
Altura de Arrebentação (z_s)	0,03	m
Sobreelevação da Onda (z_r)	0,80	m
Borda Livre (Z)	2,15	m

Logo, a cota de coroamento da Barragem Taquara foi fixada na El. 135,40 m.

O rio Jaibaras, por estar inserido em uma região de clima semi-árido, apresenta características típicas de rios intermitentes, com ausência completa de escoamento em grande parte do período de seca. Desta forma, não foi previsto nenhum tipo de estrutura de desvio do rio para o período de construção.

4.3.8 Estudos de Remanso no Reservatório

Os estudos de remanso induzido pelo reservatório da Barragem Taquara foram baseados em modelação do perfil do escoamento, através do modelo HEC-RAS que simula um escoamento em regime permanente e gradualmente variado.

Foram levantadas 16 seções topobatimétricas no rio Jaibaras, num trecho de 20 km de distância em relação ao eixo do barramento, 14 seções no rio Poço dos Cavalos, num trecho de 5,3 km desde a confluência com o rio Jaibaras até a cidade de Pacujá, e 6 seções no afluente da margem direita do rio Poço dos Cavalos, num trecho de 1,6 km desde a sua foz até a localidade de Pacujá.

As análises para o estudo de remanso foram empreendidas considerando-se a vazão com 100 anos de recorrência no rio Jaibaras e nos rio Poço dos Cavalos e seu afluente vazões variando desde 2 anos até 100 anos de recorrência. As vazões utilizadas estão apresentadas na Tabela 4.24.

TABELA 4.24
VALORES DE VAZÕES UTILIZADAS NOS ESTUDOS DE REMANSO

Rio	Recorrência (anos)	Vazão (m ³ /s)
Jaibaras	100	866
Poço dos Cavalos	2	57,9
	5	105
	10	136
	25	180
	50	208
	100	245

As Figuras 4.10 e 4.11, respectivamente, apresentam os resultantes das análises, considerando-se as vazões com 100 anos de recorrência, para os trechos do rio Poço dos Cavalos e seu afluente da margem direita até a localidade de Pacujá.

Nestas figuras estão apresentados os perfis do escoamento para a situação atual (sem barramento) e para a situação após a implantação da Barragem Taquara com NA máximo normal localizado na El. 132,00 m.

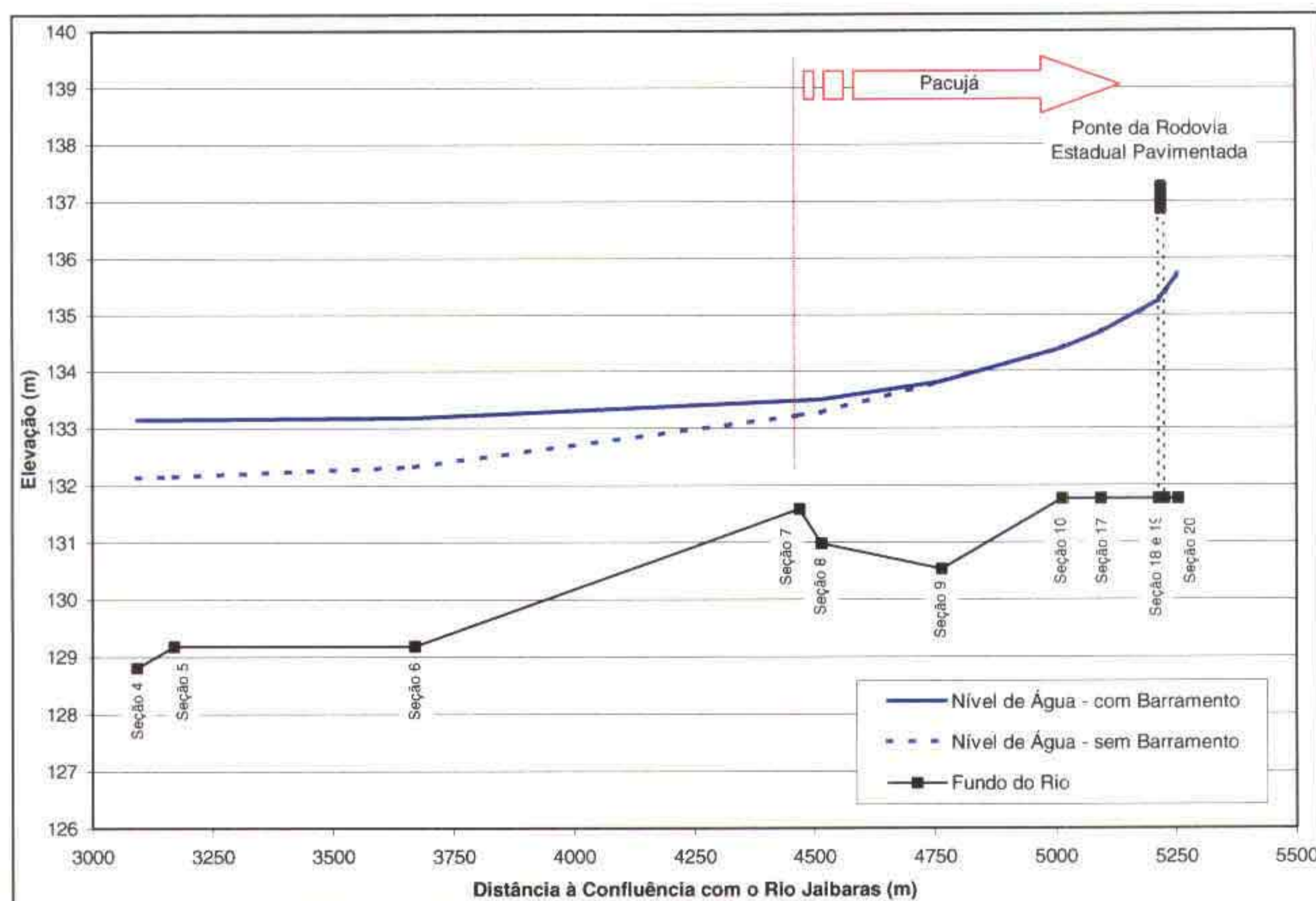


Figura 4.10 – Curva de Remanso no Rio Poço dos Cavalos para T = 100 anos.

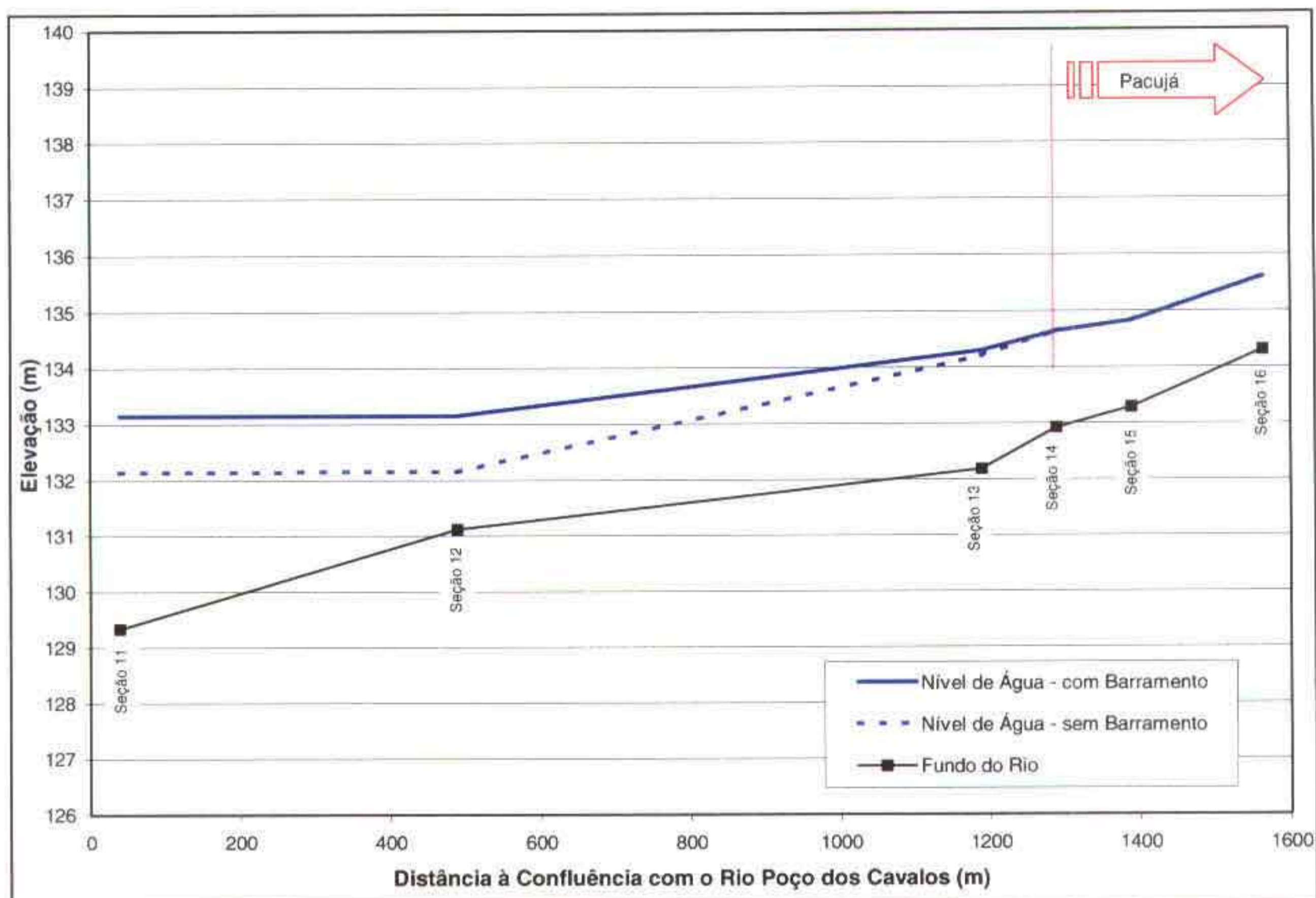


Figura 4.11 – Curva de Remanso no Afluente da Margem Direita do Rio Poço dos Cavalos para T = 100 anos.

A análise das figuras anteriores mostra pouca (rio Poço dos Cavalos) ou nenhuma (afluente da margem direita) influência do remanso induzido pelo reservatório da Barragem Taquara na localidade de Pacujá, para cheias com recorrência de até 100 anos.

4.3.9 Análise do Enchimento do Reservatório

A análise empreendida para o estudo de enchimento do reservatório da Barragem Taquara foi baseada no cálculo do tempo necessário para a elevação do nível de água do reservatório alcançar o NA máximo normal (nível de água máximo normal), ou seja, a cota da soleira do vertedouro, a partir de cada ano do histórico de dados, considerando as características dos anos subsequentes.

Os 5.000 anos de dados de vazões médias anuais utilizados foram gerados a partir de histórico de vazões médias anuais compreendidas entre os anos 1984 e 1994 da estação Arariús, enquanto o histórico de evaporação utilizado foi aquele apresentado na Tabela 4.15, para o reservatório da Barragem Taquara.

A análise de enchimento do reservatório ainda considerou diversas vazões defluentes, variando de nulo até valores próximos à vazão regularizada com 90% de garantia.

000058

Os resultados das análises de enchimento do reservatório da Barragem Taquara estão apresentados na Figura 4.12, sintetizados na forma de curvas de frequência.

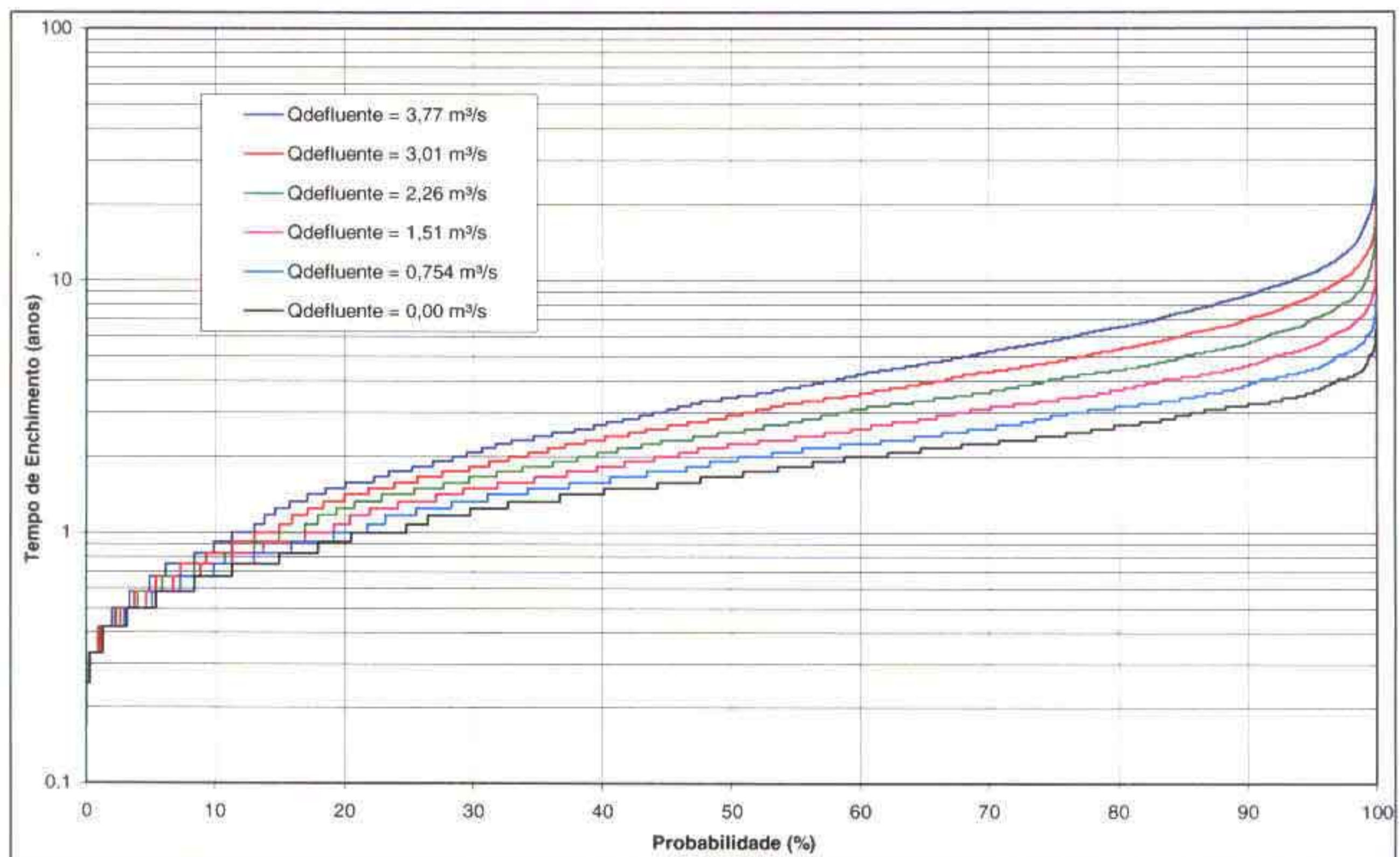


Figura 4.12 – Frequência para o Enchimento do Reservatório da Barragem Taquara em Função da Vazão Defluente.

4.3.10 Vida Útil do Reservatório

A definição da vida útil do reservatório da Barragem Taquara foi baseada na aplicação do método de redução empírica de área, de Borland e Miller, associado à curva de eficiência de retenção de Brune.

Os estudos de FERNANDES (2000) mostram que, nas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro, os períodos de maior produção de sedimentos coincidem com os períodos de maiores enchentes e que a eficiência de retenção máxima nos açudes localizados nessas regiões deve ser considerada aproximadamente igual a 70%, para volumes de acumulação superiores ao deflúvio médio anual.

Como não existem registros sedimentométricos na bacia e mesmo nos cursos de água da região, a produção da bacia foi estimada a partir de curvas regionalizadas de produção específica, aproximadas da curva de valores normais de produção sedimentos, apresentada por CARVALHO (1994), conforme características regionais obtidas dos estudo da ELETROBRÁS (1998). A Figura 4.13 apresenta as curvas de produção específica de sedimentos consideradas.

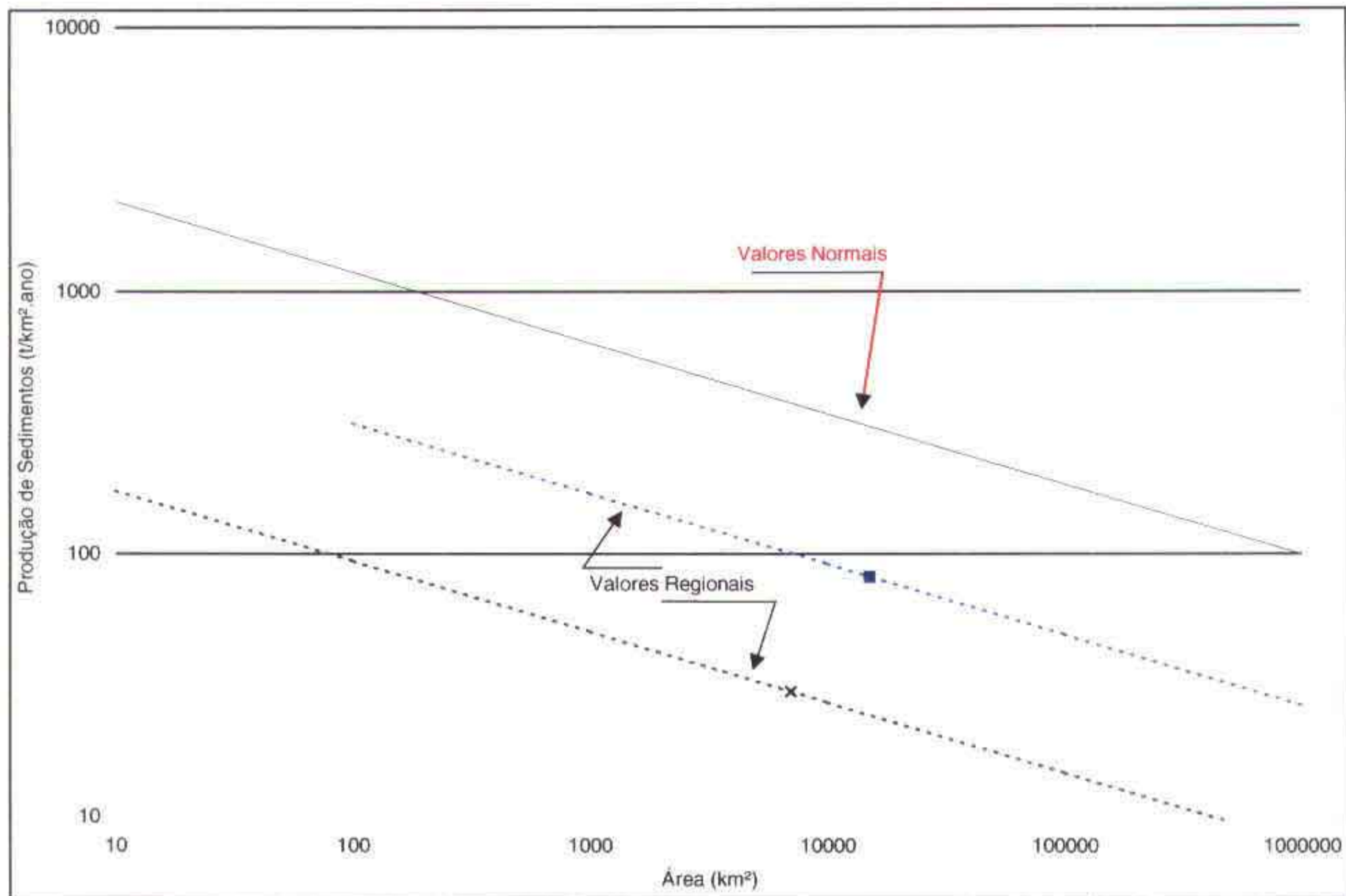


Figura 4.13 – Curvas de Produção Específica de Sedimentos

Logo, considerando-se uma produção específica de sedimentos na bacia igual a $200 \text{ t/km}^2\text{-ano}$, correspondente a uma área de drenagem igual a 566 km^2 , e um peso específico médio do sedimento igual a $1,65 \text{ t/m}^3$, o aporte médio de sedimentos ao reservatório da Barragem Taquara será igual a $2.401.212 \text{ m}^3$.

Porém, segundo os critérios de CAMPOS (1986), o volume morto considerado para o reservatório da Barragem Taquara foi igual a $13.722.861 \text{ m}^3$, para uma Vida Útil igual a 280 anos, por se tratar do maior valor entre os limites de 20% do volume médio anual afluyente e 5% da capacidade do reservatório.

Existe uma relação entre a forma do reservatório e a porcentagem de sedimentos depositados ao longo do leito e em diversas alturas do lago formado. Desta forma, conforme as características físicas da bacia hidráulica, determinou-se que o reservatório da Barragem Taquara é do tipo II, de acordo com a classificação do US Bureau of Reclamation.

Visando avaliar a distribuição dos sedimentos no interior do reservatório, definindo o avanço das frentes de assoreamento e altura de deposição junto ao maciço da barragem, após o período de vida útil, foi empregado o método de redução empírica de área. A Figura 4.14 apresenta os resultados desse estudo.

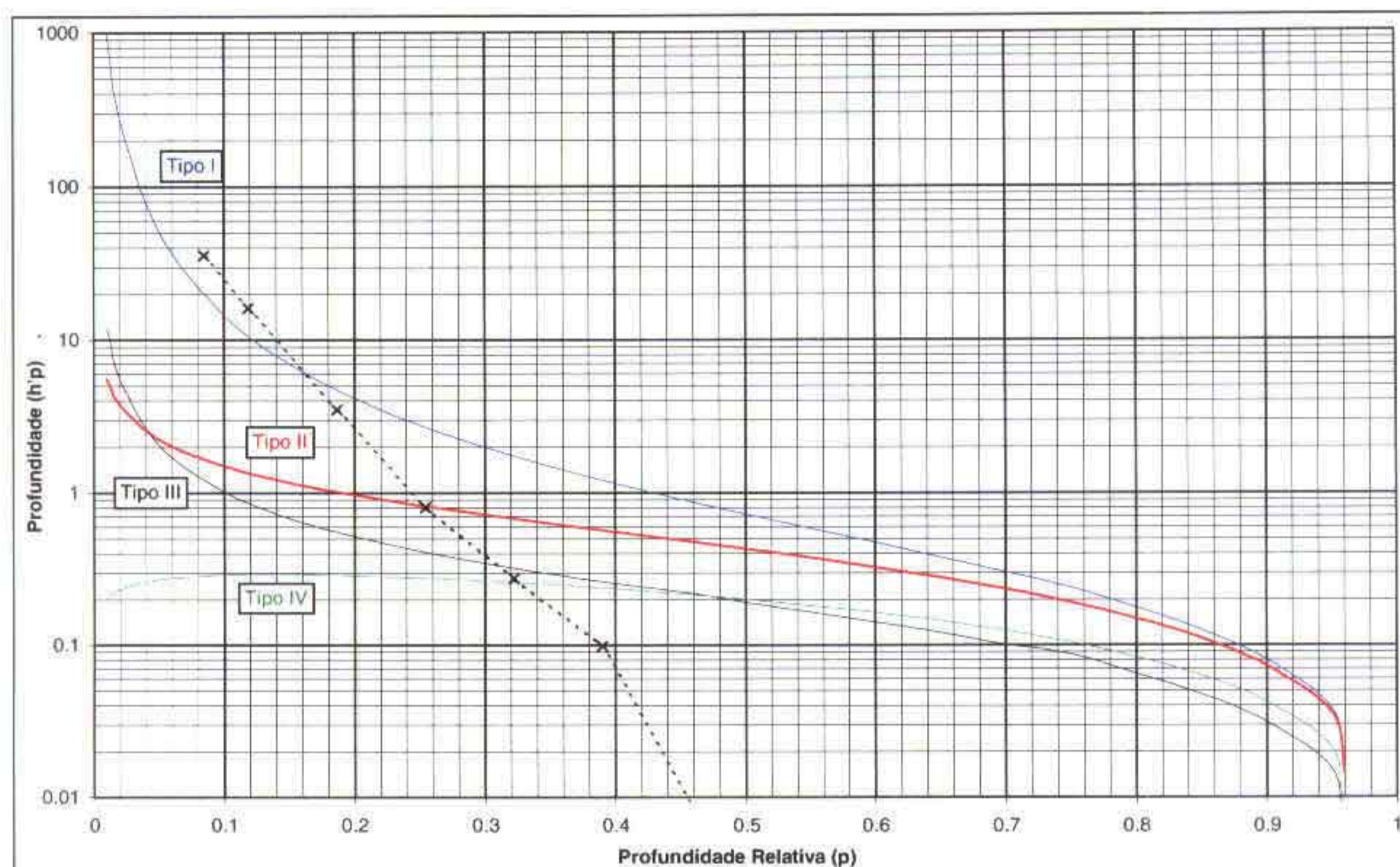


Figura 4.14 – Curva de Brune para Determinação da Profundidade do Depósito de Sedimentos na Tomada de Água.

Como resultado da aplicação do citado método, a altura de depósito de sedimentos junto ao maciço da Barragem Taquara será de 7,40 m, após o período de vida útil. Desta forma, a cota da geratriz inferior das estruturas de tomada de água foi fixada na El. 110,00 m, correspondente ao NA mínimo operativo.

5. CRITÉRIOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DO BARRAMENTO

5.1 Dimensionamento Hidráulico

Os cálculos hidráulicos foram aplicados na determinação das dimensões básicas e das características geométricas dos dispositivos de extravasamento e de tomada de água.

5.1.1 Sistema Extravasor (Vertedouro)

O sistema extravasor da Barragem Taquara é constituído por um vertedouro com vão de 200 m, concebido para operar em lâmina livre, estabelecendo as dimensões da soleira compatíveis com os estudos de amortecimento de ondas de cheias no reservatório e com a fixação do NA máximo maximum. As principais diretrizes para o dimensionamento do vertedouro foram baseadas nos

critérios do US BUREAU OF RECLAMATION (1974), adaptados posteriormente por SENTURK (1994).

Tanto o canal de aproximação quanto o canal de restituição apresentam profundidade mínima por vão igual a 2,0 m em relação a cota da crista do vertedouro. E na entrada do canal de aproximação foram dimensionados muros de ala para minimizar a perda de carga.

Na Tabela 5.1 estão apresentadas as principais dimensões e cotas dos componentes do sistema extravasor e a Figura 5.1 apresenta a curva de descarga.

TABELA 5.1

DIMENSÕES E COTAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA EXTRAVASOR

Descrição	Dimensões
Largura (m)	250
Cota do Canal de Aproximação (m)	130,00
Cota da Crista (m)	132,00
Cota do Canal de Restituição (m)	132,00
Borda Livre no Canal de Restituição (m)	1,00
Cota do Muro Lateral do Canal de Restituição (m)	131,50

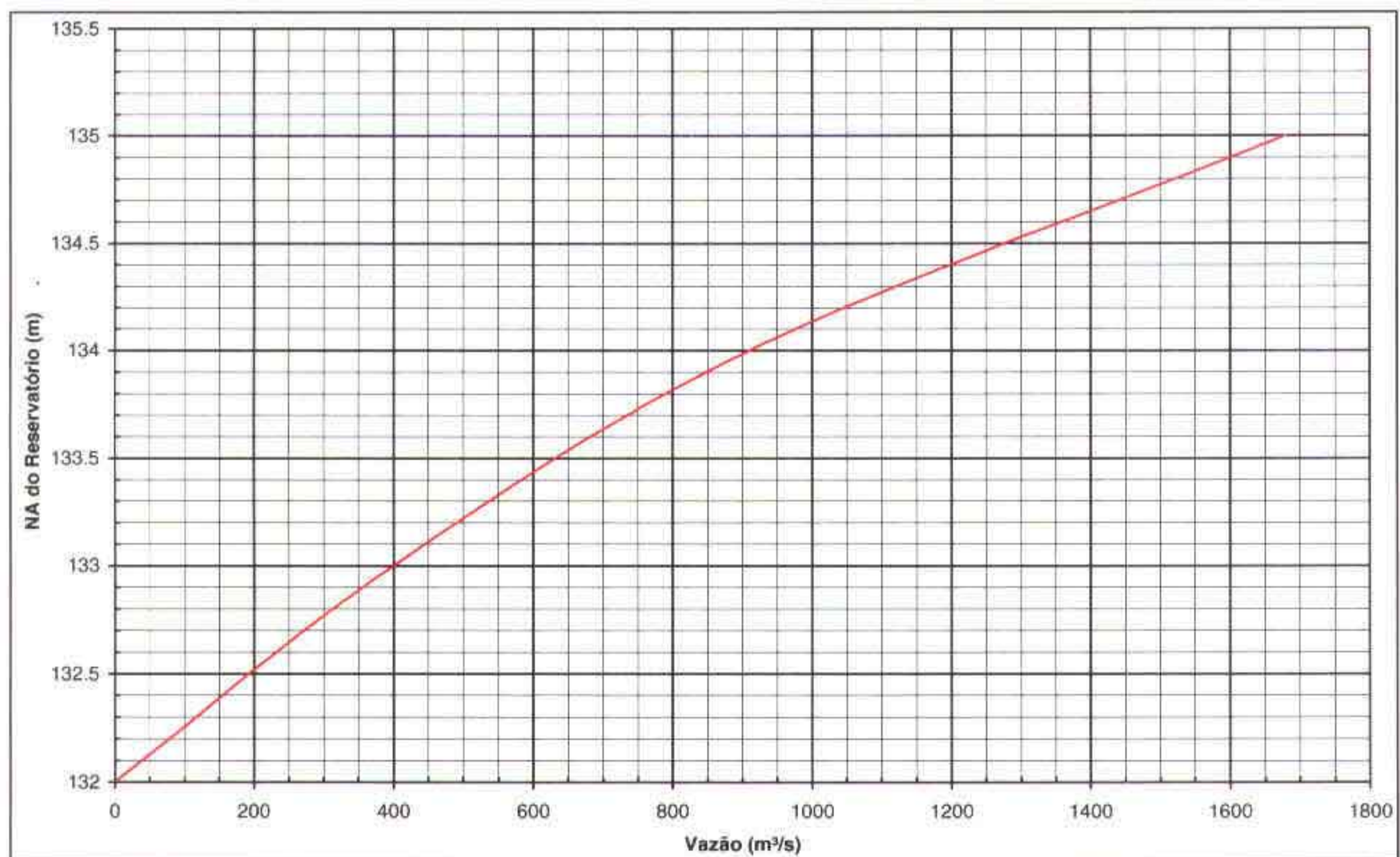


Figura 5.1 – Curva de Descarga do Sistema Extravasor da Barragem Taquara

5.1.2 Tomada de Água

A tomada de água foi concebida em forma de conduto forçado de seção inicial quadrada, com dimensões 1,00 m × 1,00 m, seguida de seção circular, com diâmetro igual a 1,00 m, com geratrizes inferiores localizadas na El. 110,00 m, correspondente ao NA mínimo operativo.

Na entrada do conduto foi prevista uma grade com inclinação $\theta = 86,7^\circ$ com o intuito de proteger a estrutura quanto à entrada e o acúmulo de detritos na mesma, e a curvatura de uma elipse para minimizar as perdas de carga. Além disso, ainda no trecho de seção quadrada, o conduto dispõe de ranhuras para a necessidade de eventual utilização de comporta ensecadeira (stop log), cujo acionamento é feito através de uma talha localizada na torre de tomada de água.

A jusante da barragem, o controle de vazões é feito através de uma válvula borboleta, com diâmetro igual a 1,00 m, protegida por um registro de gaveta de igual diâmetro. Como a tubulação funcionará sob pressão, a descarga controlada pela válvula borboleta será função do ângulo de abertura da palheta e do desnível da linha piezométrica entre as extremidades da estrutura.

Na Figura 5.2 estão apresentadas as curvas de descarga da tomada de água para a porcentagem do ângulo de fechamento da válvula borboleta variando de 0% a 100%.

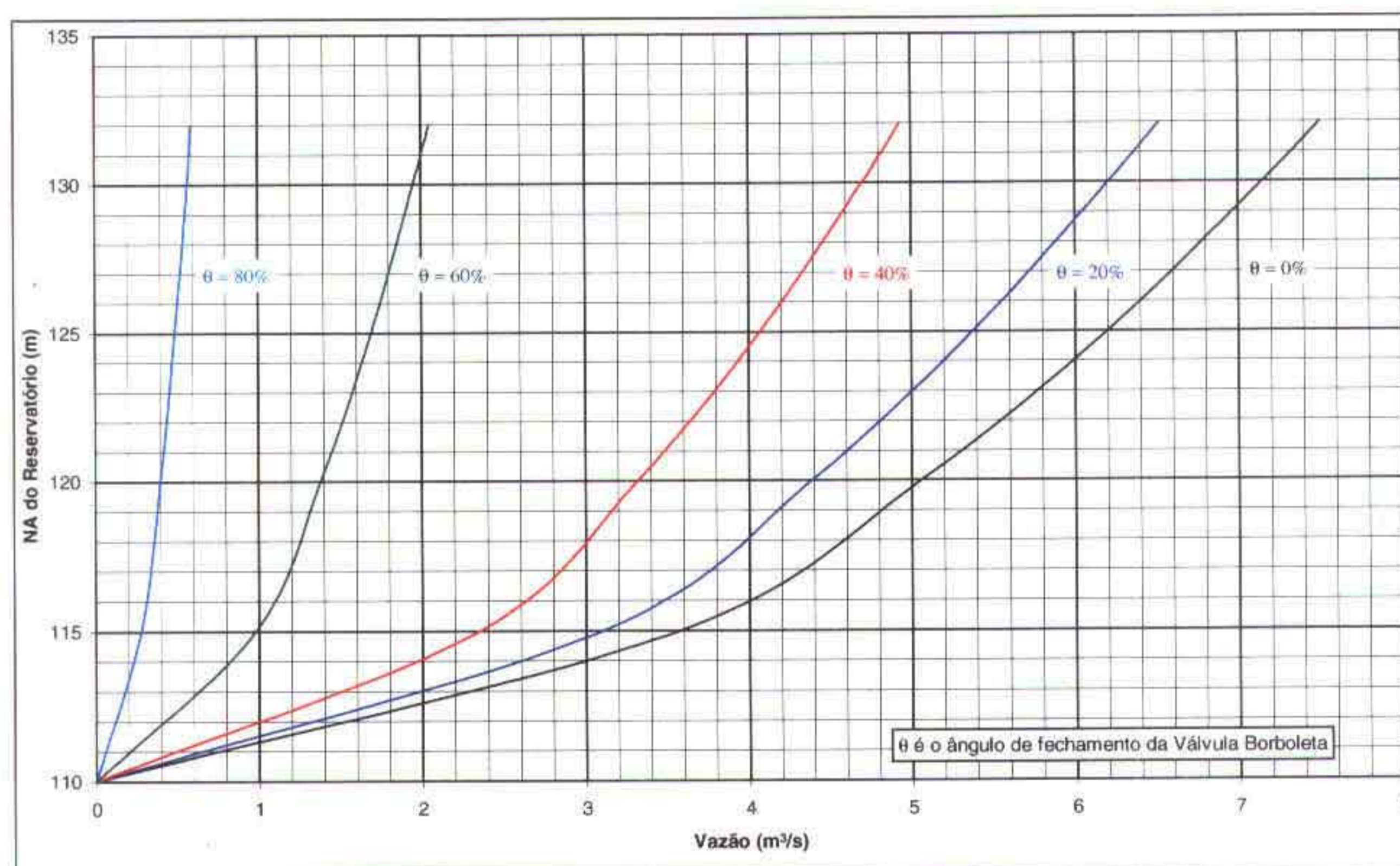


Figura 5.2 – Curvas de Descarga da Tomada de Água da Barragem Taquara

Na saída do conduto da tomada de água foi prevista uma bacia de dissipação por impacto, do tipo VI do US Bureau of Reclamation (PETERKA, 1984) seguida de um canal de regularização do fluxo, com 10,0 m de comprimento, e um vertedouro retangular com contrações para medição da descarga, de largura igual a 4,20 m e soleira na El. 110,00 m, o qual possui uma curva de descarga conforme apresentada na Figura 5.3.

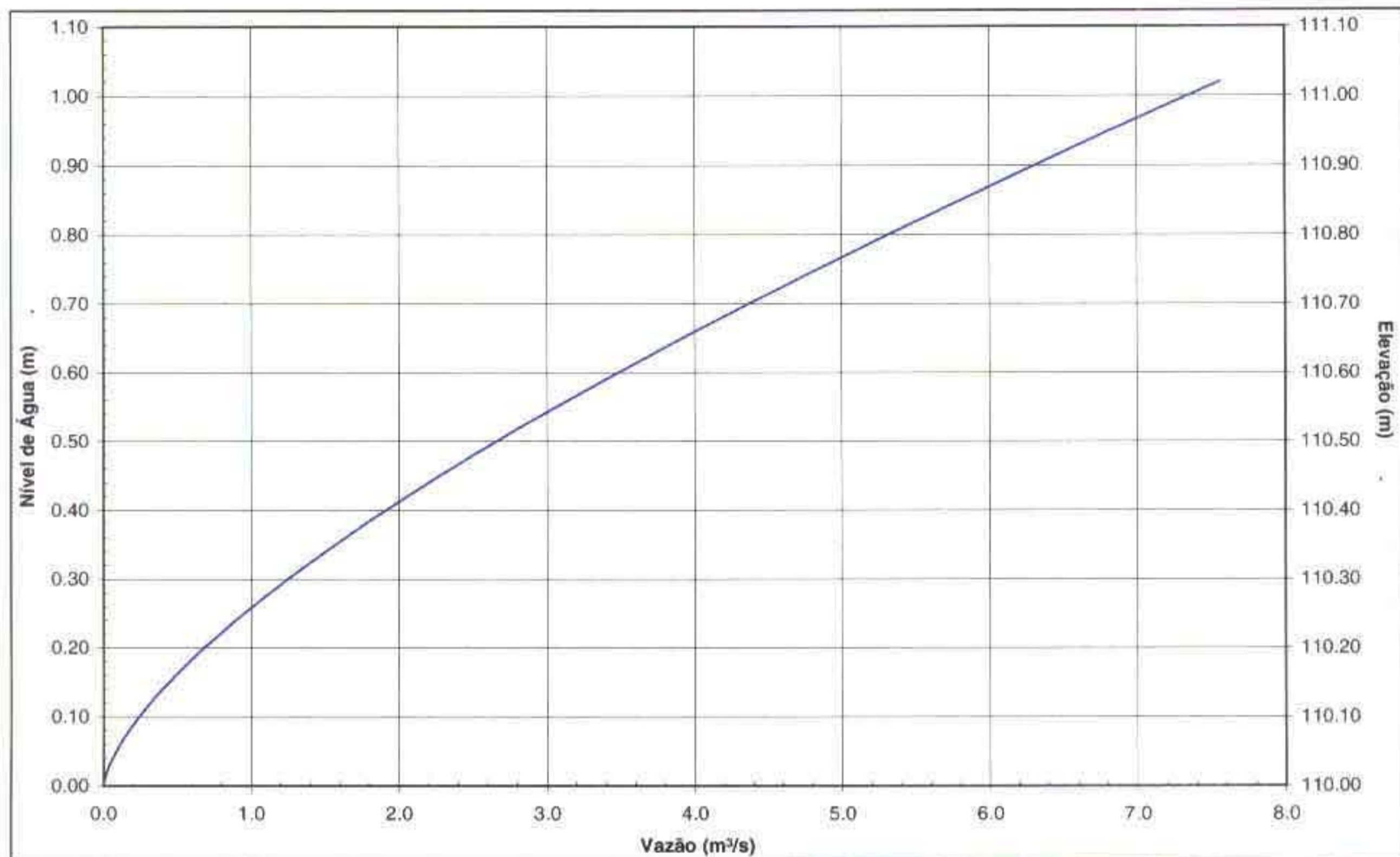


Figura 5.3 – Curva de Descarga do Vertedouro de Medição de Vazão da Tomada de Água

5.2 Dimensionamento da barragem de terra

A barragem terá seção homogênea de solo, com tapete impermeabilizante a montante (entre estacas 28 + 6,0 a 43 + 6,0) e sistema de controle de percolação constituído por filtro vertical e tapete drenante horizontal.

5.2.1 Análise de percolação

Nas análises de percolação utilizou-se o programa computacional **GMS/SEEP 2D** desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers (ECGL, 1999), que analisa problemas de fluxo bidimensional e tem como base o método dos elementos finitos. O programa permite representar o fluxo em materiais anisotrópicos, ou seja, possibilita adotar permeabilidade diferentes em cada direção. No caso de solos compactados há uma tendência de maiores permeabilidade na direção horizontal. Assim, adotou-se a permeabilidade na direção horizontal K_h nove vezes maior do que a permeabilidade vertical K_v (Cruz, 1996).

000064

O valor médio obtido em laboratório para a permeabilidade vertical foi

$K_h = 9,15 \times 10^{-7}$ cm/s, assim a permeabilidade horizontal adotada nos cálculos foi de $K_v = 8,24 \times 10^{-6}$ cm/s

Os resultados obtidos nas análises estão indicados nas figuras 5 1 e 5 2 para a seção representativa do leito do rio (trecho com fundação em solo aluvionar e tapete impermeabilizante a montante), nas figuras 5 3 e 5 4 para a seção representativa da zona baixa do eixo (trecho onde a fundação é em rocha) e nas figuras 5 5 e 5 6 para a seção representativa das ombreiras (onde a fundação é em rocha) Os pares de figuras representam a rede de fluxo e as isolinhas de pressão neutra para cada caso analisado As isolinhas de pressão neutra foram utilizadas para representar as pressões neutras do material de aterro e fundação, nas análises de estabilidade dos taludes de montante e jusante, que estão descritas no item 5 2 2 deste relatório Outro resultado obtido dessa análise é o valor de vazão percolada através do maciço da barragem e da fundação, que é necessário ao dimensionamento do filtro e do tapete drenante

Para a fundação foi determinada a permeabilidade média $K_h = K_v = 5 \times 10^{-5}$ cm/s Esta permeabilidade foi determinada através de ensaios de infiltração Assim sendo, conforme recomenda Cruz (1996) o valor adotado no cálculo foi k (fundação) = $10 \times k$ (determinado no ensaio de infiltração)

Para as análises efetuadas, representou-se a situação mais crítica, ou seja, a montante o NA máximo normal na El 132,00 m e a jusante NA coincidente com a superfície do terreno natural, para o trecho com fundação em solo aluvionar Para os trechos em fundação em rocha não foi considerado NA a jusante

Foram analisadas três seções transversais da barragem, sendo a primeira representativa das condições do leito do rio, onde a fundação é em solo aluvionar, a segunda representativa das condições da zona baixa do eixo, onde a fundação é em rocha, e a terceira representativa das condições das ombreiras, onde a fundação também é em rocha.

BARRAGEM TAQUARA
ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO - REDE DE FLUXO

(Carga total em m)

Vazão total percolada pelo maciço e pela fundação = 0,548 (m³/d)/m

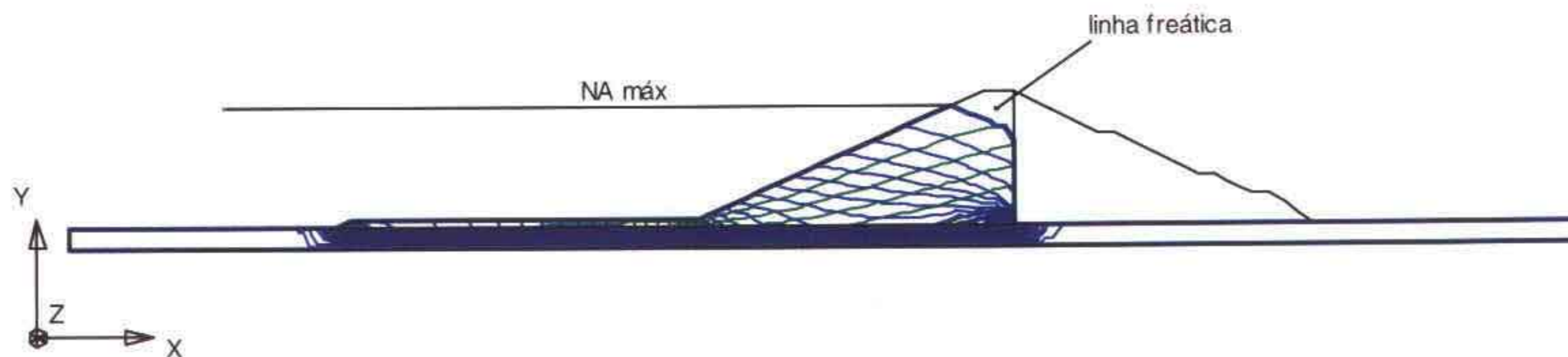


Figura 5.1 – Análise de percolação – Seção no leito do rio – fundação em solo aluvionar – rede de fluxo.

341066

BARRAGEM TAQUARA
 ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO - ISOLINHAS DE PRESSÃO NEUTRA
 (Pressão em kPa)

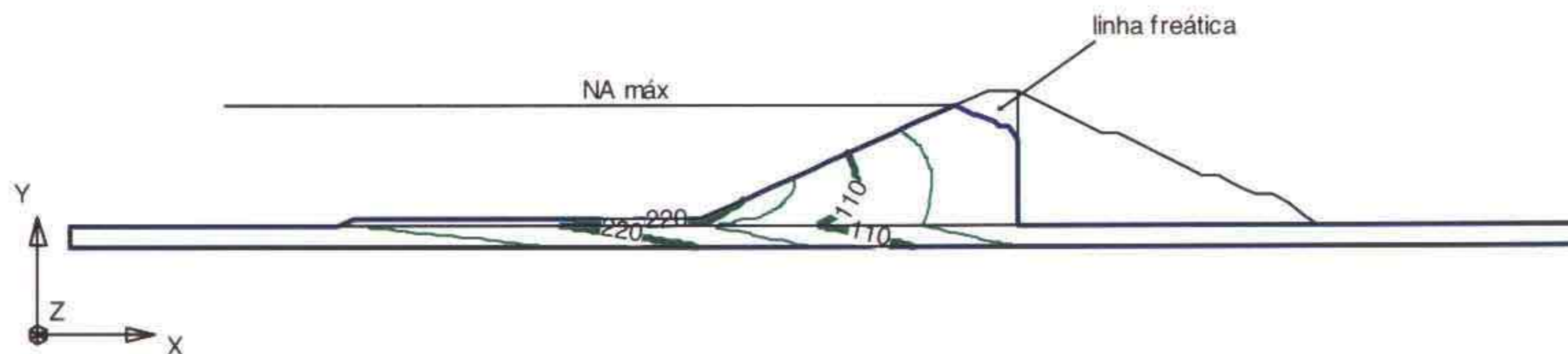


Figura 5.2 – Análise de percolação – Seção no leito do rio – fundação em solo aluvionar – isolinhas de pressão neutra

BARRAGEM TAQUARA
 ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO - REDE DE FLUXO
 (Carga total em m)
 Vazão percolada pelo maciço e pela fundação = 0,070 (m³/d)/m

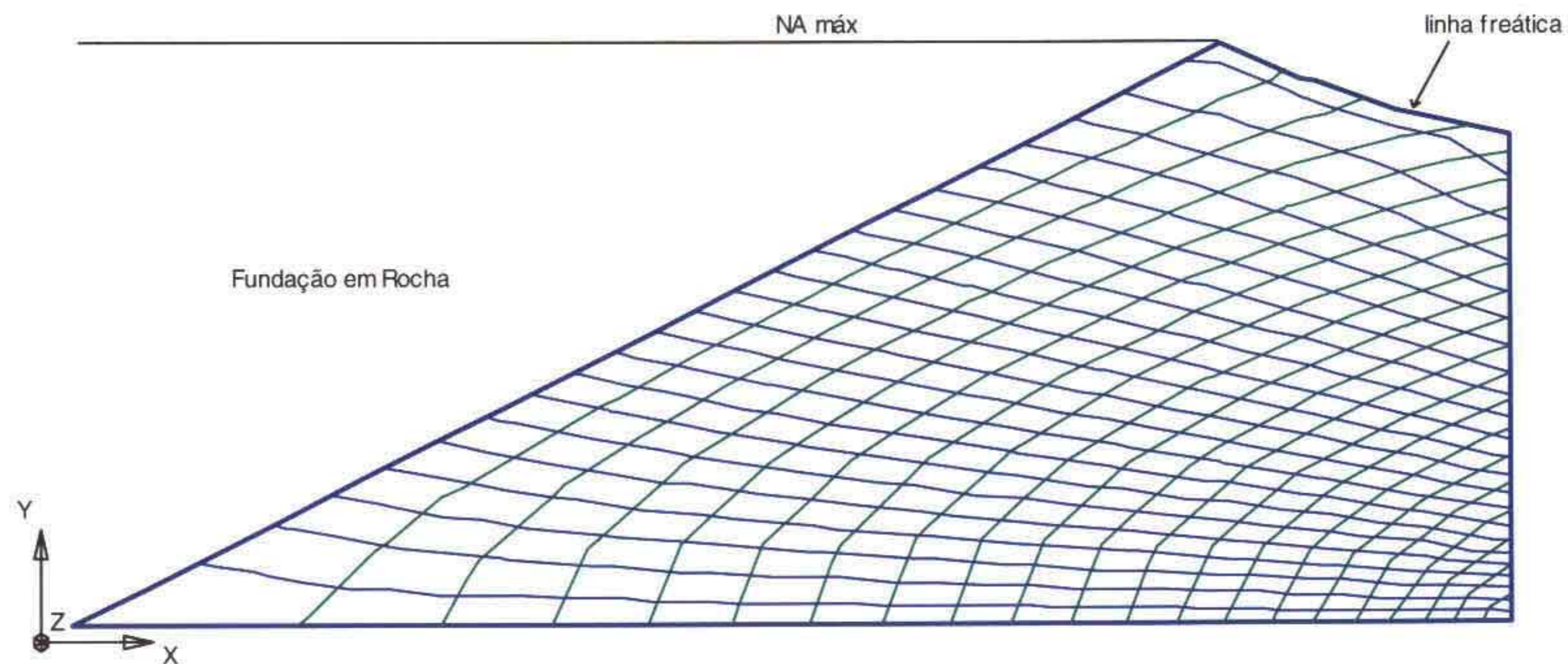


Figura 5.3 – Análise de percolação – Seção na zona baixa do eixo – fundação em rocha – rede de fluxo.

1110068

BARRAGEM TAQUARA
 ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO - ISOLINHAS DE PRESSÃO NEUTRA
 (Pressão em kPa)

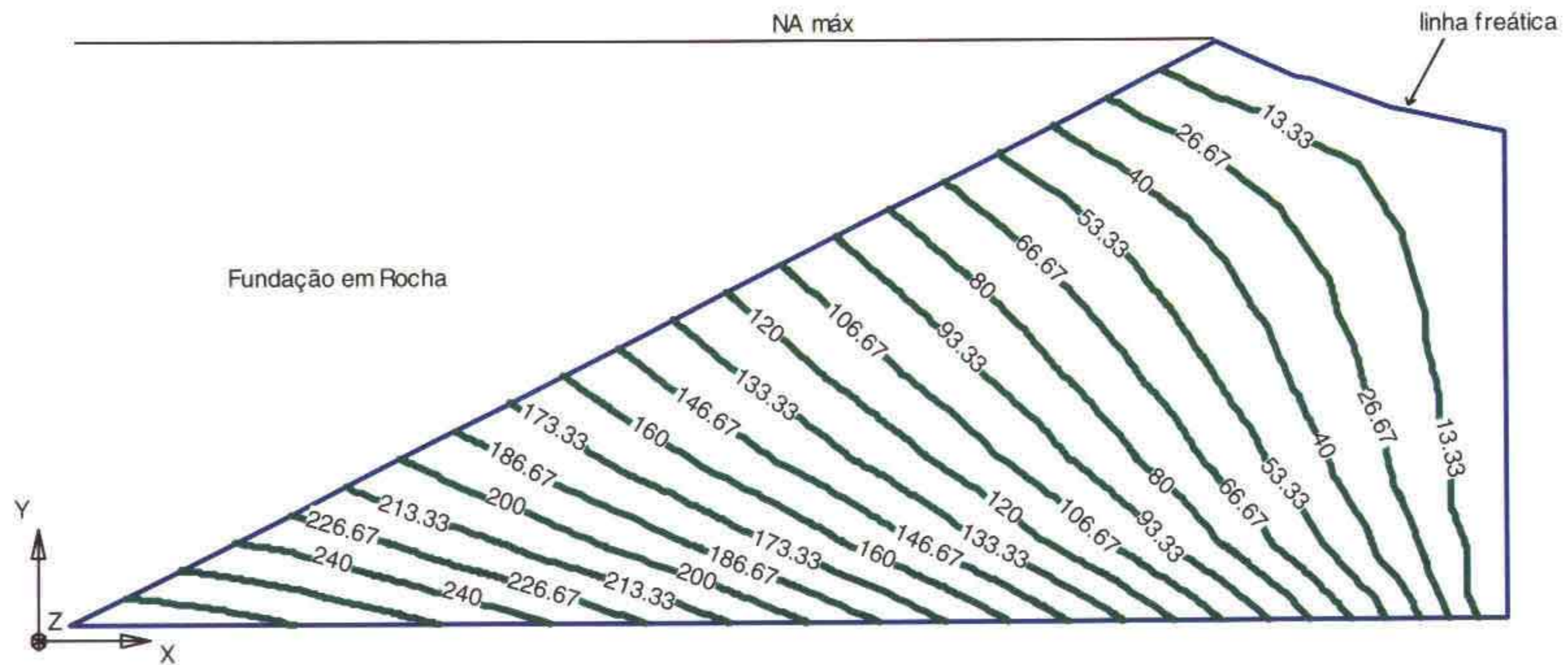


Figura 5.4 – Análise de percolação – Seção na zona baixa do eixo – fundação em rocha – isolinhas de pressão neutra.

BARRAGEM TAQUARA

ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO - REDE DE FLUXO

(Carga total em m)

Vazão percolada pelo maciço e pela fundação = 0,038 (m³/d)/m

Seção típica das ombreiras

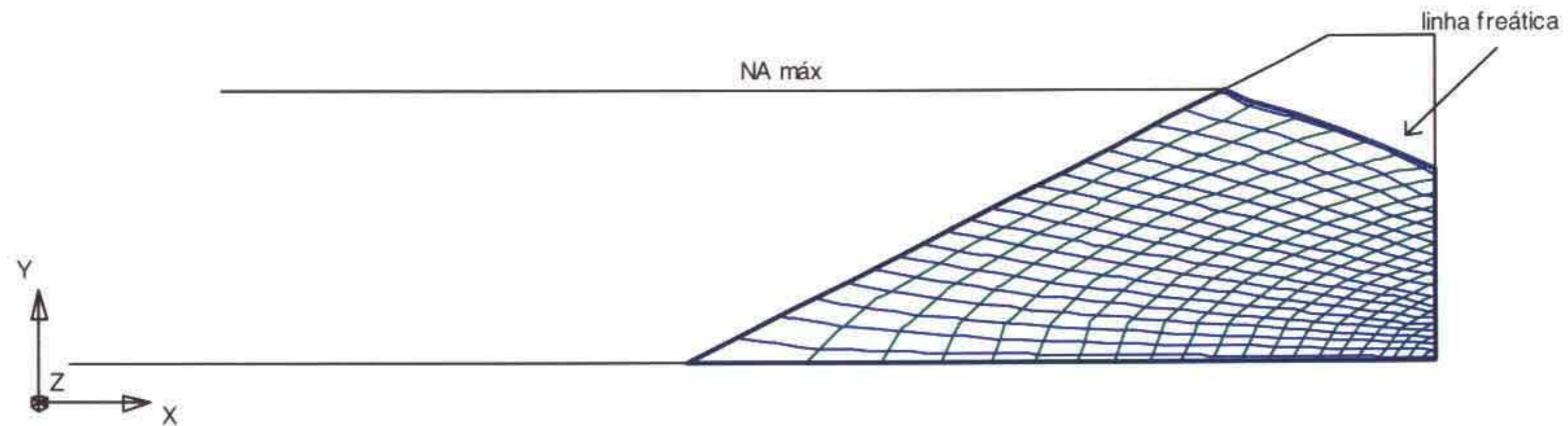


Figura 5.5 – Análise de percolação – seção nas ombreiras – fundação em rocha – rede de fluxo.

000070

BARRAGEM TAQUARA
 ANÁLISE DE PERCOLAÇÃO - ISOLINHAS DE PRESSÃO NEUTRA
 (Pressão em kPa)

Seção típica das ombreiras

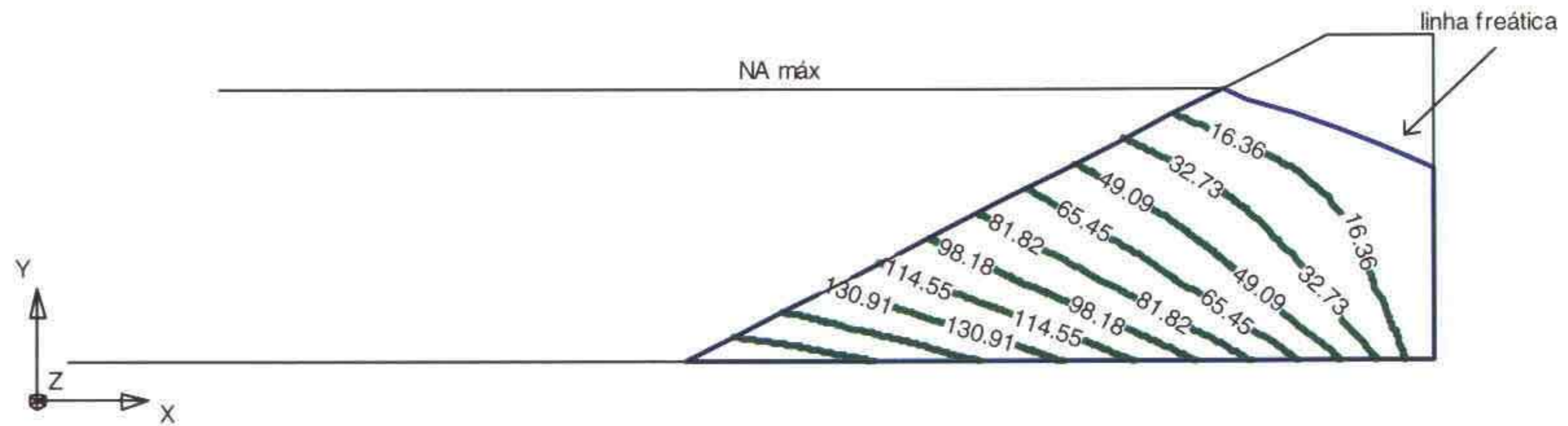


Figura 5.6 – Análise de percolação – seção nas ombreiras – fundação em rocha – isolinhas de pressão neutra.

000071

5.2.2 Análise de Estabilidade dos Taludes da Barragem

A análise da estabilidade da Barragem Taquara foi elaborada recorrendo ao **Método de Spencer**. Para os cálculos foi utilizado o programa computacional **Slide Versão 3.0** desenvolvido pelo Rock Engineering Group da Universidade de Toronto – Canadá, que admite a representação de envoltórias de resistência não lineares. O Método de Spencer é um método de equilíbrio limite por corte ao longo da superfície de deslizamento. Trata-se de método das lamelas - a massa delimitada pela superfície de deslizamento é subdividida em um número de fatias variável, que é função da geometria da massa deslizante e dos diferentes tipos de materiais que a constituem. O fator de segurança ao deslizamento de um determinado talude é calculado através de processo numérico iterativo que satisfaz à todas as condições de equilíbrio. Adotou-se este método, por ser considerado, na literatura, como o mais rigoroso.

No respeitante às superfícies de deslizamento, a sua definição foi feita por busca automática, pelo programa Slide. Define-se uma malha onde será feita a procura do círculo mais desfavorável, malha esta que é "varrida" por incrementos segundo os eixos dos "x" e "y" pré-estabelecidos, sendo também variável o raio do círculo. Foram sempre analisados círculos superficiais, intermediários e profundos.

No que respeita à consideração das pressões neutras o programa permite o recurso a hipóteses alternativas, tendo sido no caso em estudo, recorrido as seguintes:

- Parâmetro B

Esta hipótese foi utilizada no estudo da fase de construção tendo o parâmetro B sido caracterizado em função dos materiais constantes da seção transversal. A pressão neutra em um dado ponto foi tomada igual ao produto $n = B \sigma_v$, onde σ_v é a tensão vertical neste ponto. O parâmetro de pressão neutra $B = 0.10$ foi estimado a partir da análise dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos dos empréstimos. Com base neste critério foi estabelecida a malha de pontos de pressão neutra para entrada no programa computacional.

- Rede de Fluxo

Hipótese utilizada para a fase de operação, tendo sido a malha de pontos de pressão neutra calculada a partir das linhas equipotenciais obtidas na análise de percolação.

A barragem foi dimensionada considerando-se as condições de carregamento clássicas nas análises de estabilidade de barragens, que são, para a obra em tela, final de período construtivo e período de funcionamento.

Para as seções mais desfavoráveis foram analisadas as seguintes situações da vida da obra

- Fase de Construção - talude de jusante.
- Fase de Operação - talude de jusante.

a- Características geotécnicas dos materiais

Apresentam-se em seguida as propriedades geotécnicas dos materiais constituintes do corpo da barragem e do trecho da fundação em solo aluvionar cuja definição teve em conta a caracterização geotécnica constante no **TOMO II - Volumes 4 e 4A - Estudos Geológicos e Geotécnicos e seus anexos.**

Assim foram definidas as seguintes propriedades

- aterro compactado

peso específico . $\gamma = 20.34 \text{ kN/m}^3$,
coesão . $c' = 15 \text{ kPa}$,
ângulo de atrito interno . $\phi' = 29^\circ$
envoltória de resistência de Mohr-Coulomb

- fundação

peso específico . $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$,
coesão . $c' = 0$,
ângulo de atrito interno . $\phi' = 27^\circ$

- enrocamento

peso específico . $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$,
coesão . $c' = 0$,
ângulo de atrito interno . $\phi' = 40^\circ$

b- Análise dos resultados obtidos

Apresentam-se nas Tabela nº 5 2 e 5 3 os fatores de segurança que traduzem a estabilidade global do corpo da barragem para as seções analisadas

TABELA 5.2

**ESTABILIDADE DOS TALUDES DA BARRAGEM – SEÇÃO NO LEITO DO RIO –
TRECHO COM FUNDAÇÃO EM SOLO ALUVIONAR
FATORES DE SEGURANÇA**

Situação Analisada	Fatores de Segurança Obtidos	Critérios de Segurança (*)
Fase de Construção Talude Montante	1,62	1,3
Fase de Operação Talude Jusante	1,60	1,5

(*) Cruz, 1996.

TABELA 5.3

**ESTABILIDADE DOS TALUDES DA BARRAGEM – SEÇÃO NA ZONA BAIXA DO
EIXO – TRECHO COM FUNDAÇÃO EM ROCHA
FATORES DE SEGURANÇA**

Situação Analisada	Fatores de Segurança Obtidos	Critérios de Segurança (*)
Fase de Construção Talude Jusante	1,57	1,3
Fase de Operação Talude Jusante	1,74	1,5

(*) Cruz, 1996.

TABELA 5.4

**ESTABILIDADE DOS TALUDES DA BARRAGEM – SEÇÃO NAS OMBREIRAS
FATORES DE SEGURANÇA**

Situação Analisada	Fatores De Segurança Obtidos	Critérios De Segurança (*)
Fase de Construção Talude Jusante	1,56	1,3
Fase de Operação Talude Jusante	1,68	1,5

(*) Cruz, 1996.

000074

5.3 Dimensionamento das estruturas de concreto

As estruturas de concreto que compõem o arranjo da Barragem Taquara são

- Vertedouro.
- Tomada de água, galeria de descarga e dissipador de energia

A seguir são resumidas as características geotécnicas das fundações e os critérios adotados para o dimensionamento das estruturas de concreto

5.3.1 Características das fundações das estruturas

As estruturas de concreto, tanto do vertedouro, quanto da tomada de água serão assentes no maciço rochoso tipo III/IV Para verificação da segurança das fundações foram estimados os parâmetros de resistência c e ϕ A definição destes parâmetros foi feita com base no critério generalizado de resistência não linear de maciços rochosos de Hoek e Brown (Hoek, 1998), definido pela equação

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

onde σ_1 e σ_3 são as tensões máximas na ruptura, m_b é o valor da constante m de Hoek-Brown para o maciço rochoso. s e a são valores que dependem das características do maciço e σ_{ci} a tensão de compressão simples dos blocos de rocha intactos. Os valores destas constantes (m_b , s e a) são calculadas através da classificação geomecânica.

A partir da equação de Hoek e Brown é calculada a envoltória não linear de Mohr-Coulomb, onde são tomados os valores de c e ϕ relativamente ao nível de tensões atuantes no maciço, impostas pelo carregamento das estruturas Para o trecho do maciço onde serão implantadas as estruturas foram determinados

- | | |
|------------------|--------------------|
| - tomada de água | $c' = 0,375$ MPa |
| | $\phi' = 49^\circ$ |
| - vertedouro | $c' = 4$ MPa |
| | $\phi' = 60^\circ$ |

Os cálculos elaborados são apresentados detalhadamente no Volume 3 – Memória de Cálculo

000075

5.3.2 Critérios de dimensionamento das estruturas de concreto

Resume-se neste item os critérios gerais observados no dimensionamento das estruturas de concreto

a- Condições de carregamento

Os seguintes casos de carregamento foram considerados nos estudos de estabilidade e respectivos cálculos dos esforços internos (tensões)

- Carregamento normal – corresponde a todas as combinações de ações que apresentem grande probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, durante a operação normal ou manutenção normal da obra, em condições hidrológicas normais
- Carregamento excepcional corresponde a quaisquer ações de carga de ocorrência eventual de baixa probabilidade de condições hidrológicas excepcionais, manobras de caráter excepcional, efeito sísmico, etc
- para avaliação de subpressão na fundação das estruturas, foi adotado o critério clássico, ou seja, diagrama de pressões variando linearmente do valor do NA de montante até o NA de jusante
- Para cálculo do peso próprio das estruturas foram considerados os seguintes pesos específicos
 - Concreto $24,0 \text{ kN/m}^3$,
 - Aço $78,5 \text{ kN/m}^3$,
 - Água $10,0 \text{ kN/m}^3$

b- Análise estrutural e dimensionamento

Os esforços solicitantes nas estruturas de concreto foram determinados em regime linear elástico, por processos clássicos consagrados na literatura

O dimensionamento das estruturas foi feito por verificações dos estados limites (último e de utilização), com coeficientes de segurança e minoração, e características dos materiais e outros requisitos estabelecidos nas Normas brasileiras NBR - 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado e NBR 7480 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado e suas respectivas normas complementares

c- Segurança global das estruturas

A análise de segurança global das estruturas foi feita considerando os diversos casos de carregamento e englobou a análise de estabilidade no contato concreto-rocha, a verificação entre as tensões atuantes e as tensões admissíveis dos materiais e a definição dos coeficientes de segurança

- Análise de estabilidade

A análise da estabilidade das estruturas foi feita considerando-as como um conjunto monolítico. Assim sendo, as estruturas podem ser assimiladas a um corpo rígido. Os estudos de estabilidade levados a cabo, comprovaram a segurança das estruturas nas seguintes condições

- deslizamento em qualquer plano.
- tombamento.
- flutuação,
- tensões na base da fundação

d- Coeficientes de segurança

Para efeitos dos estudos, análises e comportamento de estabilidade das estruturas hidráulicas, os coeficientes de segurança foram assim definidos:

- Coeficiente de segurança à flutuação

$$CSF = \frac{\sum V}{\sum U}$$

onde,

CSF = Coeficiente de segurança à flutuação.

$\sum V$ = Somatório das forças gravitacionais,

$\sum U$ = Somatório das forças de subpressão.

Foram desprezados os efeitos de atrito despertados nas faces laterais da fundação.

- Coeficiente de segurança contra o tombamento

$$CST = \frac{\sum M_c}{\sum M_i}$$

0000077

onde,

CST = Coeficiente de segurança contra o tombamento,

$\sum M_e$ = Somatório dos momentos estabilizantes,

$\sum M_i$ = Somatório dos momentos de tombamento

Foram desprezados os efeitos de coesão e de atrito despertados nas superfícies de contato com a fundação

- Coeficiente de segurança ao deslizamento

O coeficiente de segurança ao deslizamento foi calculado pela equação:

$$CSD = \frac{N \operatorname{tg} \phi}{\sum H CSD \phi} + \frac{C x A}{\sum H CSD c} \geq 1$$

onde,

CSD = Coeficiente de segurança ao deslizamento;

CSD ϕ = Coeficiente de segurança relativo ao ângulo de atrito,

CSDc = Coeficiente de segurança relativo à coesão,

A = Área em contato da fundação,

C = Coesão,

N = Força normal à superfície de deslizamento,

$\sum H$ = Somatório das forças paralelas à superfície de escorregamento,

ϕ = ângulo de atrito característico da superfície de escorregamento em análise

Salienta-se que no caso da obra em tela, a estabilidade ao deslizamento foi verificada apenas no contato estrutura-fundação, tendo em vista a inexistência de planos de fraqueza no maciço desfavoráveis à estabilidade do conjunto estrutura fundação

- Tensões admissíveis nas fundações

A tensão normal máxima admissível na fundação foi obtida a partir da seguinte relação

$$\sigma_{t adm} = \frac{\text{capacidade de carga da fundação}}{\text{coeficiente de segurança}}$$

A capacidade de carga da fundação foi determinada pelo critério de resistência de maciços rochosos de Hoek e Brown, descrita no item 5.3.1 deste relatório, sendo os fatores de segurança adotados conforme o caso de carregamento

000078

Para condição de carregamento normal foi adotado o fator de segurança 3,0 e para a condição de carregamento excepcional foi adotado o fator de segurança 1,5 (Cemig, 1994)

Para os casos de flutuação, tombamento e deslizamento, os coeficientes de segurança mínimos deverão ser

Para a condição de carregamento normal: 1,5

Para condição de carregamento excepcional 1,1

Na condição de carregamento excepcional foram adotados

$CSD\phi = 1,1$

$CSDc = 3,0$

6. DESCRIÇÃO DO PROJETO BÁSICO DAS OBRAS

6.1 Arranjo geral

O arranjo geral da Barragem Taquara é composto por uma barragem de terra com crista na El 135,50m e 2547 m de comprimento, um vertedouro de superfície com largura de 200 m e soleira livre posicionada na El 132,00m, locada na margem direita, e pelo sistema destinado à penerização do rio Jaibaras, composto por uma tomada de água tipo torre, locada na margem direita do rio, uma tubulação de descarga, controlada por válvula borboleta e um dissipador de energia. Três diques de terra homogênea, para o fechamento de selas topográficas no entorno do reservatório, completam o arranjo do barramento. O desenho TAQ -100-DE-002 mostra o arranjo geral do empreendimento.

6.2 Barragem de terra

A barragem será constituída de seção homogênea de solo, crista com 7,0m de largura situada na El.135.50m e 2547 m de comprimento. Sua altura máxima sobre a fundação é de cerca de 31,0 m no respeitante à fundação distinguem-se três trechos

- leito do rio, onde a fundação será em solo aluvionar (trecho entre estacas 28 + 6,0 a 43 + 6,0) Este trecho será dotado de tapete impermeabilizante com espessura total de 1,80 m e largura de 156.5 m (medido a partir do eixo da barragem) Neste trecho o talude montante terá declividade 2,3h 1,0v e o talude jusante 2,0h 1,0v entre bermas

- zona baixa do eixo - trecho entre estacas 15 + 6,0 a 28 + 6,0, onde a fundação será em rocha Neste trecho o talude montante terá declividade 2,0h 1v e o talude jusante 1,8h 1v entre bermas
- ombreiras – ao longo das ombreiras direita e esquerda a fundação será em rocha O talude montante terá declividade 2,0h 1v e o talude jusante 1,8h 1v

O talude de montante, ao longo de toda a extensão da barragem, será dotado de proteção tipo “rip-rap” e o talude jusante deverá ser protegido com enrocamento fino $D_{m\acute{a}x} = 30$ cm O sistema de controle de percolação pela fundação e pelo maciço será composto por tapete drenante horizontal e filtro vertical de areia No trecho entre estacas 15 + 6,0 a 43 + 6,0 o tapete drenante horizontal será do tipo “dreno sanduíche”, composto por brita nº 1 e areia natural. Nas ombreiras, aproximadamente a partir da El 111,0 m o tapete drenante será constituído apenas de areia O filtro vertical será constituído de areia natural em toda a extensão da barragem

No lado jusante, ao longo de toda a barragem foi previsto um pé de enrocamento para proteção do sistema de drenagem interna da barragem

6.3 Diques de Fechamento

Para o fechamento de selas topográficas no entorno do reservatório, foram previstos três diques Os diques foram projetados em seção homogênea de solo e terão as seguintes características

- Dique 1 – Margem Direita

Crista com 6,0m de largura, posicionada na El.135,50m, comprimento 753 m e altura máxima sobre a fundação 2,5m Talude montante 1,5h 1v e talude jusante 1,5h 1v Os parâmetros de montante e jusante serão protegidos com enrocamento fino $D_{m\acute{a}x} = 30$ cm

- Dique 2 – Margem Direita

Crista com 6,0m de largura, posicionada na El 135,50m , comprimento 584 m e altura máxima sobre a fundação 6,5m Talude montante 2h 1v e talude jusante 1,8h 1v

- Dique 3 – Margem Esquerda

Crista com 6,0m de largura, posicionada na El 135,50m , comprimento 1 125 m e altura máxima sobre a fundação 9,5m Talude montante 2h 1v e talude jusante 1,8h 1v

Os diques 2 e 3 terão seus taludes de montante dotados de proteção tipo “rip-rap” e os taludes jusante protegidos com enrocamento fino $D_{m\acute{a}x} = 30$ cm Os diques serão também dotados de sistema de drenagem interna composto por filtro vertical e tapete drenante horizontal constituído de areia natural

6.4 Vertedouro

O sistema de extravazão da barragem é constituído por um vertedouro de superfície, em soleira livre tipo Creager. O vertedouro foi projetado com uma largura de 200 m e soleira situada na El 132,00 m. Sua capacidade de vazão é de 522 m³/s (Tr=10000 anos). Em função das características topográficas e da excelente qualidade do maciço rochoso, não foram previstos nem muros, nem calha. Apenas um pequeno muro lateral foi projetado na região da ogiva.

6.5 Tomada de Água

A tomada de água é caracterizada por uma estrutura do tipo torre, sem ligação com a margem. Considerando a natureza esporádica da operação do stoplog, o acesso à torre da tomada de água será feito por meio de barco. Um sistema de escadas tipo marinheiro, posicionado ao longo de toda a altura da torre, permite o acesso ao seu topo, qualquer que seja a elevação do nível de água do reservatório. A plataforma de operação do stoplog está localizada na El 135,50 m. A cota da sua fundação é El 108,96 m, sendo 26,44 m a altura total da torre. A estrutura foi locada na ombreira direita.

A galeria de descarga será constituída por um tubo de aço com 1,00 m de diâmetro revestida em concreto visando garantir a compactação no seu entorno. O sistema de descarga será composto por um dissipador de energia com laje impacto, tipo VI do Bureau of Reclamation, sendo a descarga controlada por válvula borboleta e um registro gaveta. Na extremidade jusante foi projetado um vertedouro retangular para permitir a medição de vazões.

6.6 Instrumentação

6.6.1 Objetivo da instrumentação

A previsão de instalação do sistema de instrumentação, objetiva basicamente, acompanhar o comportamento da barragem durante a sua fase operacional e fornecer subsídios para a verificação de sua segurança.

6.6.2 Concepção do sistema de instrumentação

A concepção do sistema de instrumentação para a Barragem Taquara foi baseada nas seguintes premissas:

- A barragem terá como fundação um maciço rochoso (arenito) de boa qualidade, o que elimina preocupações quanto à deformações,

000081

- As características dos materiais de construção não causam preocupações quanto ao desenvolvimento de pressões neutras durante a fase de construção do aterro

Assim sendo, foi prevista uma instrumentação simplificada e de baixo custo, que auxiliará, basicamente, a verificação do funcionamento do sistema de controle de percolação interna da barragem e os recalques do aterro. Nestas condições, serão monitorados os seguintes parâmetros:

- pressão neutra no corpo do aterro da barragem e na fundação,
- recalques no aterro

Para tal serão instalados na barragem os seguintes instrumentos

- piezômetros de tubo aberto tipo Casagrande (16 unidades);
- marcos topográficos superficiais (17 unidades).
- medidores de vazão percolada pelo maciço/fundação (2 unidades).

Além destes instrumentos serão instaladas duas réguas limnimétricas, uma na torre da tomada de água, para monitoramento do nível de água no reservatório e outra no vertedouro de medição de vazão, localizado a jusante do dissipador de energia da galeria de descarga

Tendo em vista a altura da barragem e as considerações apresentadas neste item previu-se instrumentar apenas duas seções localizadas, uma no leito do rio (trecho com fundação em solo) e outra na zona baixa do eixo (trecho com fundação em rocha). Ambas as seções estão localizadas no trecho de maior altura da barragem

6.7 Obras de Proteção da Cidade de Pacujá

A fim de que se evitasse a inundação da cidade de Pacujá, foram dimensionados dois diques, um a montante e outro a jusante do trecho da cidade sujeito à inundação

Os diques apresentam as seguintes características

- Dique de montante

Material:	solo compactado
Largura da crista:	4,0 m
Elevação da crista:	136,70 m
Inclinação dos taludes:	1 v 1,8 h (montante/jusante)

- Dique de jusante

Material:	solo compactado
Largura da crista:	4,0 m
Elevação da crista:	136,23 m
Inclinação dos taludes:	1 v 1,8 h (montante/jusante)
Proteção a jusante:	enrocamento fino, D máx = 0,30 m

Uma vala de transposição das águas foi projetada a montante, escavada em terra com base mínima de 3,0m Essa vala irá desviar a água de inundação para o rio Poço dos Cavalos, afluente do Jaibaras

No pé do dique de jusante foi dimensionada uma estação de bombeamento A estação tem uma área de 4 m² (2m x 2m) com 1,5 m de profundidade A água de precipitação direta escoo através de um bueiro Esse bueiro possui uma válvula flap a jusante que impede o retorno da água Esse escoamento ocorre na época de seca

Na época de cheia, quando a água atinge um determinado nível, a bomba é acionada recalando a água para o reservatório O desenho TAQ – 500 – DE –011 apresenta a solução para proteção da zona baixa da cidade de Pacujá

7. ORÇAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS

Apresenta-se neste item o orçamento de implantação do empreendimento, elaborado conforme padrão da SRH/CE

O orçamento das obras da Barragem Taquara, referente ao Projeto Básico, é apresentado a seguir, em forma de planilha, onde estão discriminados os serviços, os quantitativos, os preços unitários e totais de cada item Na planilha orçamentária consta também a referência ao critério de medição e pagamento de cada serviço

Os volumes constantes dos quantitativos previstos para cada serviço, foram obtidos nas seções dos desenhos de projeto para os materiais compactados ou espalhados, e nos cortes para os volumes de escavação

Os preços unitários dos serviços referentes às obras civis foram obtidos a partir da Tabela de Preços Unitários da SRH/CE e através da pesquisa de preços em empresas fornecedoras de materiais e serviços sediadas em Fortaleza O custo dos equipamentos hidromecânicos foi pesquisado junto aos fabricantes do setor

O valor total obtido para as obras civis do empreendimento é R\$ 25.969 793,07

Apresenta-se a seguir a planilha de quantidades e custos

SRH CE	BARRAGEM TAQUARA PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS					DATA MAI/2001
ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
1	SERVIÇOS GERAIS - ET-2					
1.1	Instalação manutenção e remoção do canteiro	2.1	m ²	1.215	320,00	388.800,00
1.2	Melhorias na estrada de terra de ligação entre Carre e a barragem pela margem direita do rio Járbaras	2.2	km	16,50	10.350,00	170.775,00
1.3	Relocação de redes elétricas	2.3	km	16	9.000,00	144.000,00
1.4	Execução instalação e manutenção de placas	2.4	m ²	64	100,00	6.400,00
1.5	Fornecimento e assentamento de meio fio no coroamento da barragem	2.5	m	5.094	11,08	56.441,52
1.6	Relocação da estrada CE 253 trecho na região da cidade de Pacujá	2.6	km	1,3	200.000,00	260.000,00
<i>Total do item 1</i>						1.026.416,52
2	ESCAVAÇÕES - ET-3					
2.1	Desmatamento destocamento e limpeza da área de fundação das estruturas definitivas	3.1	m ²	388.070	0,55	213.438,50
2.2	Escavação carga transporte e lançamento em bota-fora ou nos aterros de material comum dentro da linha de projeto	3.2 e 3.3	m ³	378.850	3,40	1.288.090,00
2.3	Escavação em rocha no vertedouro sem fogo de contorno carga transporte e lançamento nos aterros em estoque ou na central de britagem	3.3.2	m ³	89.190	22,44	2.001.423,60
2.4	Escavação em rocha na fundação das estruturas de concreto e no canal do vertedouro com a utilização de fogos de contorno carga transporte e lançamento nos aterros em estoque ou na central de britagem	3.3.3	m ³	24.298	25,36	616.197,28
2.5	OBRAS DE PROTEÇÃO DA CIDADE DE PACUJÁ					
2.5.1	Diques de solo compactado					
2.5.1.1	Escavação comum	3.2	m ³	1.818	3,40	6.181,20
2.5.1.2	Solo compactado	4.2	m ³	16.275	8,38	136.384,50
2.5.1.3	Enrocamento fino compactado	4.6.4	m ³	760	20,00	15.200,00
2.5.2	Vala de Transposição					
2.5.2.1	Escavação comum	3.2	m ³	2.058	3,40	6.997,20
2.5.2.2	Escavação em rocha	3.3	m ³	480	25,36	12.172,80
2.5.3	Estação de Bombeamento					
2.5.3.1	Escavação comum	3.2	m ³	28	3,40	95,20
2.5.3.2	Escavação em rocha	3.3	m ³	9	25,36	228,24

SRH CE	BARRAGEM TAQUARA PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS						DATA MAI/2001
	ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
2533		Concreto estrutural f _c 180 inclusive forma	5,22	m ³	4,2	772,76	3.245,59
2534		Bueiro Tubular Ø 40 cm	2,8	m	15	552,00	8.280,00
2535		Bombas submersíveis vazão 245m ³ /h - 300 Cv - Hm - 330 m	2,7	unid	2	18.000,00	36.000,00
Total do item 2							4.343.934,11
3		ATERROS - ET-4					
31		BARRAGEM					
311		Barragem - ZONAS 1/1A Aterro com material areno-argiloso proveniente de áreas de empréstimo incluindo exploração transporte lançamento, espalhamento e compactação do material	4,2	m ³	1.658.075	8,38	13.894.668,50
312		Barragem Aterro de proteção do tapete impermeabilizante com material areno argiloso proveniente de área de empréstimo incluindo exploração transporte, lançamento e espalhamento	4,2	m ³	23.509	5,82	136.822,38
313		Barragem - ZONA 2 Execução dos filtros e transições com areia natural, incluindo o fornecimento da areia carga transporte, lançamento, espalhamento e compactação do material	4,3	m ³	96.125	10,52	1.011.235,00
314		Barragem - Zona 2A Execução do dreno com brita 1 incluindo o fornecimento da brita carga transporte lançamento espalhamento e compactação do material	4,4	m ³	16.330	25,62	418.374,60
315		Barragem - ZONA 3 Execução da zona de transição com material rochoso incluindo o fornecimento carga transporte lançamento, compactação e a preparação do talude	4,4	m ³	10.135	25,62	259.658,70
316		Barragem - ZONA 4 Execução do maciço com rocha proveniente de estoques incluindo recarga transporte descarga espalhamento e compactação	4,5	m ³	27.195	7,95	216.200,25
317		Barragem - ZONAS 3A e 5					
3171		Barragem - Zona 5					
31711		Colocação de rocha selecionada proveniente diretamente das escavações exigidas incluindo espalhamento e acerto de blocos	4,6,2	m ³	11.000	4,16	45.760,00
31712		Colocação de rocha selecionada retirada de estoque, incluindo recarga transporte descarga espalhamento e acerto de blocos	4,6,3	m ³	28.025	7,95	222.798,75

SRH CE	BARRAGEM TAQUARA PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS					DATA MAI/2001
ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
31713	Colocação de rocha selecionada proveniente de pedreira, incluindo carga transporte descarga espalhamento e acerto de blocos	4 6 4	m ³	16 010	20,00	320 200,00
3172	Barragem Zona - 3A					
	Execução da zona de transição com material rochoso beneficiado incluindo o fornecimento carga transporte, lançamento compactação e a preparação da superfície	4 4	m ³	15 790	25,62	404 539,80
318	Barragem - ZONA 6 - acabamento da crista					
	Execução do acabamento da crista da barragem com material rochoso fino proveniente de estoques incluindo recarga transporte espalhamento e compactação do material	4 7 1	m ³	6 115	7,95	48 614,25
319	Barragem - Zona 7 - Proteção do talude jusante					
3191	Execução da proteção do talude jusante com enrocamento fino diâmetro máximo 30 cm (bica corrida) proveniente das escavações exigidas incluindo espalhamento e acerto do material	4 8 1	m ³	6 123	4,16	25 471,68
3192	Execução da proteção do talude jusante com enrocamento fino diâmetro máximo 30 cm (bica corrida) proveniente de estoques incluindo recarga transporte descarga espalhamento e acerto do material	4 8 2	m ³	14 287	7,95	113 581,65
3110	Barragem - Zona 1B					
	Execução do reaterro de pe da barragem com material terroso proveniente das escavações obrigatórias incluindo recarga transporte descarga espalhamento e compactação	4 9	m ³	7 505	1,72	12 908,60
32	DIQUES AUXILIARES - (1, 2 E 3)					
321	Diques Zonas 1/1A					
	Aterro com material areno-argiloso proveniente de áreas de empréstimo incluindo exploração transporte lançamento, espalhamento e compactação do material	4 2	m ³	150 215	8,38	1 258 801,70
322	Diques - ZONA 2					
	Execução dos filtros e transições com areia natural, incluindo o fornecimento da areia carga transporte, lançamento espalhamento e compactação do material	4 3	m ³	10 642	10,52	111 953,84
323	Diques - ZONA 3					
	Execução da zona de transição com material rochoso incluindo o fornecimento carga transporte lançamento, compactação e a preparação do talude	4 4	m ³	632	25,62	16 191,84
324	Diques - ZONAs 3A e 5					
3241	Diques - Zona 5					
	Colocação de rocha selecionada proveniente de pedreira, incluindo carga transporte descarga espalhamento e acerto do material	4 6	m ³	8 014	20,00	160 280,00

SRH CE	BARRAGEM TAOUARA PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS						DATA MAI/2001
ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL	
3.2.4.2	Diques Zona - 3A Execução da zona de transição com material rochoso beneficiado incluindo o fornecimento carga transporte, lançamento compactação e a preparação da superfície	4.4	m ³	2.552	25,62	65.382,24	
3.2.5	Diques - Zona 7 - Proteção do talude jusante Execução da proteção do talude jusante com enrocamento fino diâmetro máximo de 30 cm (bica corrida) proveniente de pedra incluindo carga transporte descarga, espalhamento e acerto do material	4.7.2	m ³	11.224	20,00	224.480,00	
Total do item 3						18.967.923,78	
4	ESTRUTURAS DE CONCRETO - ET-7						
4.1	Fornecimento e colocação do concreto incluindo tratamento superficial da fundação fornecimento dos materiais fabricação colocação e cura do concreto						
4.1.1	Concreto com fck >= 18 MPa	5.2.2	m ³	1.162	185,00	214.970,00	
4.1.2	Concreto com fck >= 26 MPa	5.2.3	m ³	1.093	205,00	224.065,00	
4.1.3	Concreto magro de regularização	5.2.5	m ³	69	145,00	10.005,00	
4.2	Fornecimento dos materiais fabricação colocação e retirada das formas incluindo elementos de apoio, andaimes, escoramentos e peças de fixação	5.3	m ²	3.695	41,00	151.495,00	
4.3	Fornecimento corte dobra e colocação das armaduras CA-50 incluindo arames de amarração separadores, suportes e outras peças de fixação	5.4.2	kg	90.200	2,10	189.420,00	
4.4	Fornecimento e colocação de dispositivos de vedação tipo junta Fungenband O-22 ou similar incluindo todos os acessórios e trabalhos necessários à aplicação	5.5	m	120	40,00	4.800,00	
4.5	Fornecimento e colocação dos tubos de aeração	5.6	m	26	85,00	2.210,00	
4.6	Colocação e fornecimento de guarda corpo escadas tipo manheiro e peças metálicas diversas da tomada d água	5.7	kg	420	6,80	2.856,00	
4.7	Grade metálica de proteção do dissipador	5.7	kg	836	6,80	5.684,80	
Total do item 4						805.505,80	
5	SERVIÇOS ESPECIAIS - ET-8						
5.1	Execução do tratamento subsuperficial da fundação da barragem de terra incluindo o fornecimento dos materiais e equipamentos necessários a execução das furações, ensaios e injeções						

SRH CE	BARRAGEM TAQUARA PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS					DATA: MAI/2001
ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
511	<i>Execução dos furos exploratórios a rotativa, diâmetro NX, incluindo ensaios e lavagem dos furos</i>					
5111	Execução rotativa em rocha diâmetro NX com retirada e classificação dos testemunhos, ensaios de perda d água e lavagem de furo	6 2 2	m	468	200,00	93 600,00
512	<i>Execução de furos a roto-percussão, diâmetro mínimo de 2 1/2", com revestimento no capeamento e lavagem do furo no trecho em rocha</i>					
5121	Execução de furo a roto-percussão na rocha incluindo a lavagem de furo	6 2 3	m	2 250	30,00	67 500,00
5122	Execução da reperforação de calda injetada pelo processo de injeção descendente	6 2 3 2	m	115	15,00	1 725,00
513	<i>Execução da cortina de injeção a partir dos furos executados e lavados, incluindo o fornecimento de todos os materiais e equipamentos</i>					
5131	Execução de todos os serviços de injeção incluindo o fornecimento e aplicação dos materiais e equipamentos, excetuando o fornecimento manuseio a aplicação do cimento bentonita e areia	6 2 4 2	m	2 718	30,00	81 540,00
5132	Fornecimento manuseio e aplicação do cimento e areia					
5132a	Cimento	6 2 4 2 a	t	81 54	220,00	17 938 80
5132b	Bentonita	6 2 4 2 b	t	1 7	600,00	1 020 00
5132c	Areia	6 2 4 2 c	t	4 5	3 79	17 06
52	Execução das ancoragens das estruturas de concreto incluindo colocação e fornecimento dos materiais	6 3	un	110	146,00	16 060 00
53	Instrumentação					
531	Colocação e fornecimento dos piezômetros tipo Casagrande incluindo a execução dos furos	6 4 1	un	16	1 500,00	24 000 00
532	Colocação e fornecimento dos marcos topográficos, incluindo os marcos referenciais	6 4 2	un	20	120,00	2 400,00
533	Colocação e fornecimento das escalas limnimétricas na tomada de água	6 4 3	un	25	105,00	2 625,00
534	Colocação e fornecimento das escalas limnimétricas no dissipador	6 4 3	un	2	105,00	210,00
535	Execução dos medidores de vazão de percolação	6 4 4	un	2	258,00	516,00
54	Execução da drenagem das estruturas de concreto incluindo fornecimento e colocação dos tubos	6 5	m	19	95,00	1 805,00

SRH CE	BARRAGEM TAQUARA PROJETO BÁSICO PLANILHA DE QUANTITATIVOS E PREÇOS					DATA MAI/2001
ITEM	DESCRIÇÃO	MP	UNID	QUANT	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
5.5	Drenagem superficial					
5.5.1	Execução da drenagem superficial da barragem de terra incluindo o fornecimento e colocação de meias lanas de concreto dia 60 cm	6.6.1	m	1.790	60,00	107.400,00
5.5.2	Execução de descidas de água e caixas de passagem	6.6.1	m	350	450,00	157.500,00
	<i>Total do item 5</i>					575.856,86
6	EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS DA TOMADA DE ÁGUA, E DO DESCARREGADOR - ET 9					
6.1	Conjunto componente da grade constituído do painel peças fixas e viga pescadora e acessórios	7.2	cjto	1	56.142,00	56.142,00
6.2	Conjunto componente do stoplog constituído do painel peças fixas viga pescadora e acessórios	7.3	cjto	1	18.050,00	18.050,00
6.3	Peça metálica de transição seção quadrada para seção circular	7.4	cjto	1	2.800,00	2.800,00
6.4	Tubulação de aço diâmetro 1000 mm	7.5	cjto	1	89.760,00	89.760,00
6.5	Valvula borboleta diâmetro 1000 mm	7.6	un	1	29.900,00	29.900,00
6.6	Valvula gaveta diâmetro 1000 mm	7.7	un	1	43.504,00	43.504,00
6.7	Tilha Manual capacidade 2.5 t	7.8	un	1	10.000,00	10.000,00
	<i>Total do item 6</i>					250.156,00
	TOTAL GERAL					25.969.793,07

8. CRONOGRAMA GERAL

O programa de construção da barragem Taquara é apresentado no Cronograma de Implantação constante no Volume II – Desenhos e também, a seguir, neste item. O cronograma mostra o empreendimento em suas fases principais de construção e fornecimentos.

Os estudos elaborados para definição dos prazos de execução, concluíram pela adoção de um período de 18 meses para execução da obra.

Procurou-se, no desenvolvimento do programa de construção da barragem Taquara, adequá-lo às características hidrológicas do semi-árido brasileiro, que impõem ao rio Jaibas um regime intermitente. Tipicamente o rio permanece seco durante a maior parte do ano, com escoamento, praticamente, apenas entre os meses de fevereiro a maio.

Esta peculiaridade do rio Jaibas permite que a execução da obra seja levada a cabo sem a necessidade de construção de estruturas de desvio, fato este, que reveste-se de importância no respeitante à redução do orçamento global da obra. Entretanto deverão ser construídas ensecadeiras de proteção para permitir a execução segura da obra. Foram previstas duas ensecadeiras, nomeadas Ensecadeira de Proteção nº 1 e Ensecadeira de Proteção nº 2. A Ensecadeira de Proteção nº 1 será construída na margem direita do rio onde a fundação da barragem será em rocha. Esta ensecadeira será construída no início das obras, permitindo que este trecho da zona baixa do rio seja executado na 1ª fase das obras. Os estudos hidrológicos mostraram que para o tempo de recorrência de 25 anos, o nível de água natural do rio situa-se na cota 111,55m e o nível, considerando o estrangulamento provocado pela ensecadeira 1, situa-se na cota 111,66m. Assim sendo fixou-se a crista da ensecadeira na cota 112,50m. O volume desta ensecadeira é de 42.798 m³. Esta ensecadeira permitirá diminuir o volume de material a ser lançado na 2ª fase da obra, minimizando os riscos, pois na 2ª fase conclui-se o fechamento do rio. A existência de uma barragem de concreto (“passagem molhada”) localizada aproximadamente 1.100 m a jusante do eixo da barragem Taquara, que dá acesso à cidade de Arariús, associada à pequena declividade do rio neste trecho, exigirá a execução da ensecadeira 2 para isolar a área da barragem, na zona baixa do rio. O volume necessário a execução desta ensecadeira é de pequena monta (menos de 1.000 m³). Esta ensecadeira será construída com crista situada na cota 106,00m.

Assim sendo, o programa de construção deverá respeitar rigorosamente o regime hidrológico da região.

Tendo em vista estas condições, a construção da barragem deverá ser executada na seguinte sequência:

- execução do vertedouro,
- execução da tomada de água,
- execução da barragem no trecho das ombreiras direita e esquerda e zona baixa da ombreira direita,
- execução das ensecadeiras de proteção,

- execução da barragem na zona do leito do rio, após o período de chuvas (fechamento da barragem)

Assim, o programa de construção desenvolver-se-á conforme descrito a seguir

a) Período de Janeiro a Maio/Ano 1

Nesta etapa, que engloba o período de chuvas deverão ser executadas as seguintes estruturas

- escavação do vertedouro,
- escavação da barragem nas ombreiras e na zona baixa do eixo,
- início do tratamento de fundações do vertedouro e barragem,
- contratação do projeto e fabricação dos equipamentos hidromecânicos,
- execução do aterro compactado nas ombreiras,
- execução da ensecadeira 1.
- escavação da tomada de água.
- concretagem da tomada de água

b) Período de Junho/Ano 1 a Fevereiro/Ano 2

Nesta etapa que corresponde ao período seco deverão ser executadas:

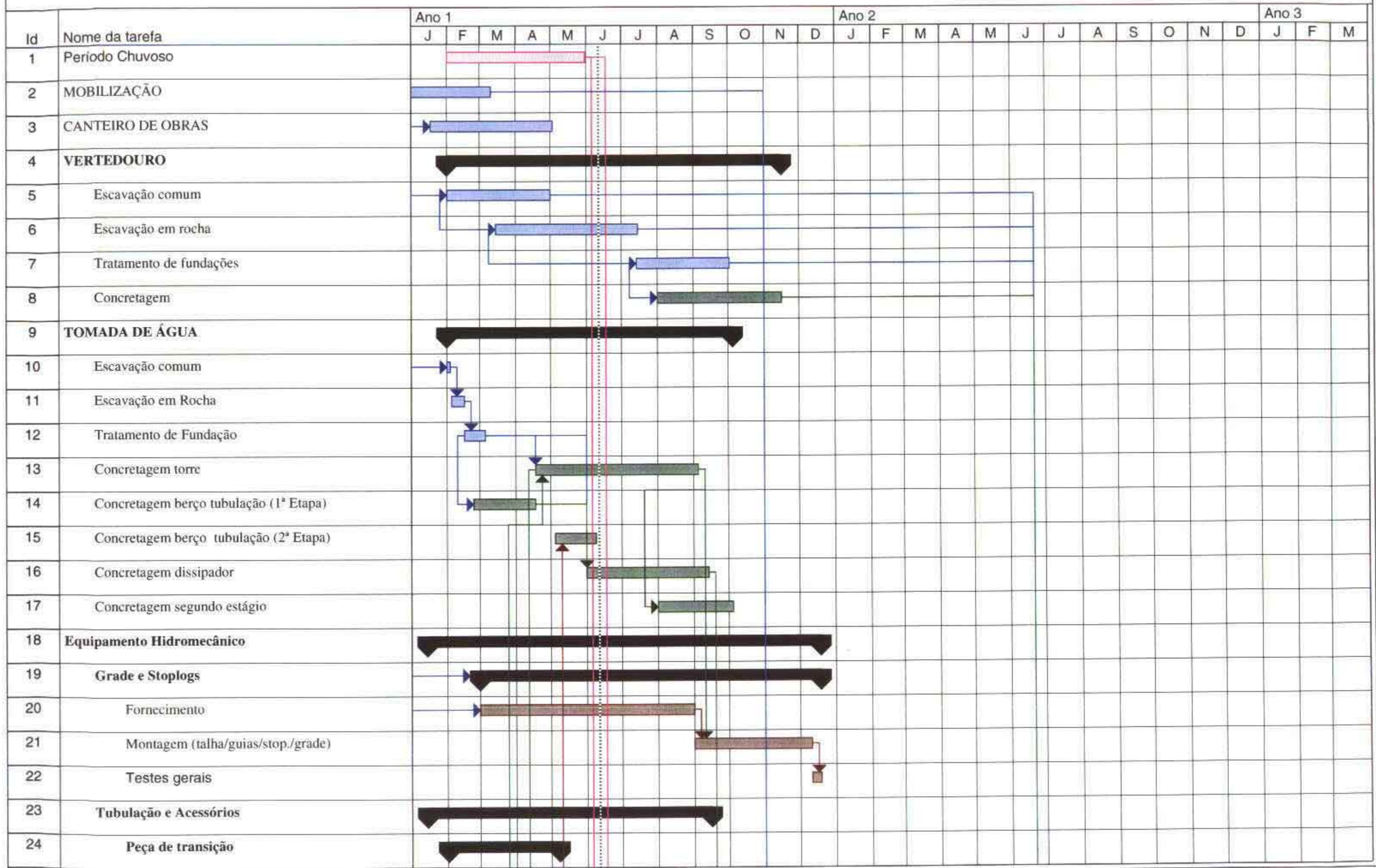
- término das escavações em rocha do vertedouro,
- concretagem do vertedouro,
- execução da ensecadeira 2:
- limpeza geral da zona baixa/leito do rio para retirada de materiais eventualmente carregadas pela cheia.
- tratamento de fundações da barragem.
- execução da barragem no leito do rio (prevê-se lançamentos mensais de solo compactado de 150 000 m³) Salienta-se que a barragem deverá na El.133,00 no final de fevereiro do ano 2 A cheia deste ano será escoada pelo vertedouro da obra, que já estará concluído,
- montagem dos equipamentos hidromecânicos

c) Período de Março a Junho/Ano 2

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos

- complementação da barragem até a crista.
- acabamentos da crista,
- drenagem superficial

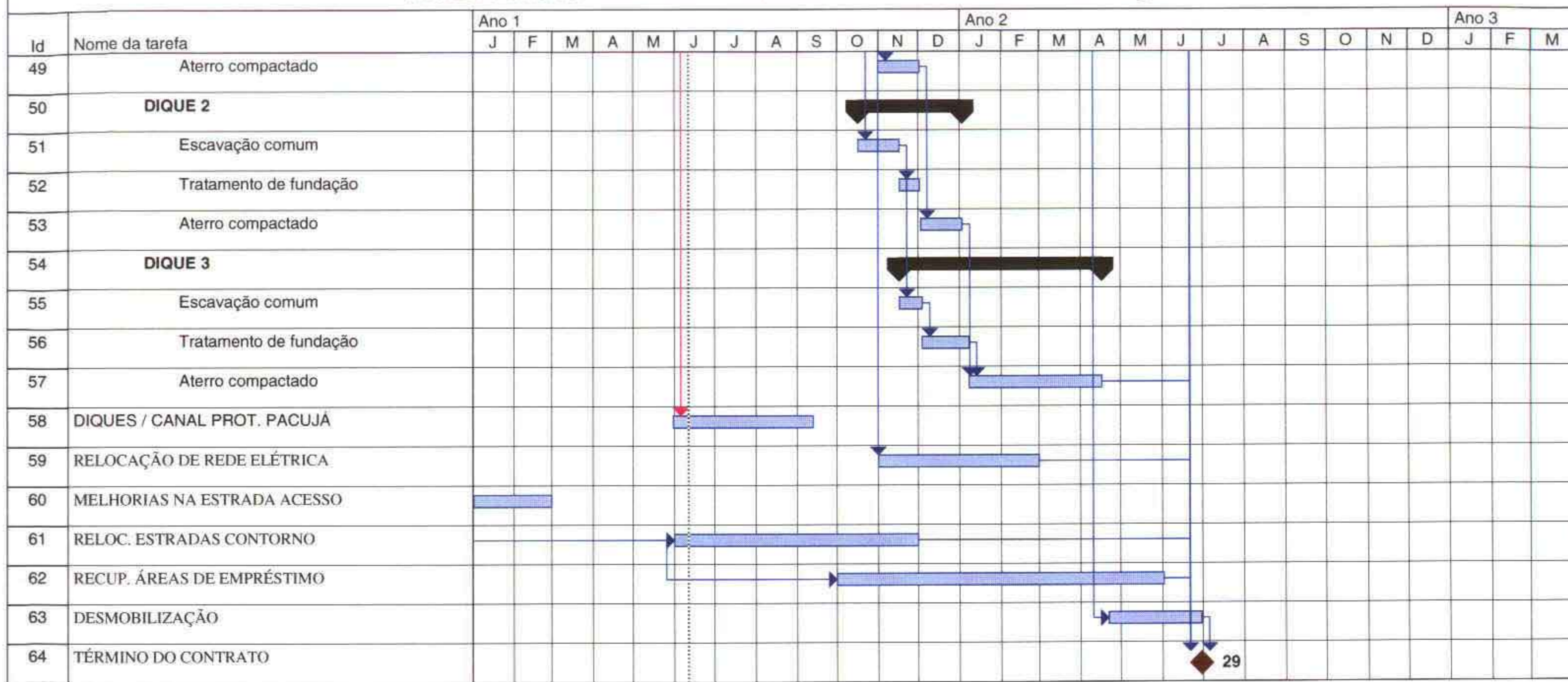
PROJETO BÁSICO - BARRAGEM TAQUARA - CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO



TAQ - 700 - DE - 001

000092

PROJETO BÁSICO - BARRAGEM TAQUARA - CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO



9. EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do cronograma de implantação previsto no item 8 deste relatório, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamentos indicada na lista a seguir.

Item	Equipamento	Quant. Mínima
1	Trator de esteiras tipo CAT-D8 ou similar	4
2	Trator de esteiras tipo CAT-D6 ou similar	4
3	Carregadeira frontal tipo CAT-966 ou similar	4
4	Retro escavadeira tipo CAT- 330 I ou similar	5
5	Caminhão basculante M. Benz, cap. 18 t ou similar	40
6	Caminhão basculante M. Benz ou similar, cap. 8m ³	6
7	Motoniveladora tipo FIAT-FG70 ou similar	6
8	Caminhão pipa cap. 10.000l	6
9	Rolo compactador pé de carneiro, auto-propelido, tipo CA-25 ou similar	5
10	Rolo compactador liso vibratório, tipo CA-15 ou similar	2
11	Rolo compactador tipo Dynapac CA-35 ou similar	1
12	Compactador manual	8
13	Grade de disco – 24"	6
14	Trator agrícola, tipo Massey-Ferguson ou similar	6
15	Perfuratriz hidráulica tipo Atlas Copco ou similar	1
16	Compressor de ar tipo Atlas Copco ou similar - 350 PCM	2
17	Central dosadora de concreto cap. 10 m ³ /h	1
18	Central de britagem cap. 50 m ³ /h	1
19	Caminhão betoneira cap. 5 m ³	2

000095

10. CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada à instalação do canteiro de obras está mostrada no desenho nº TAQ-100-DE-002, e localiza-se a jusante do eixo do barramento, na margem direita do rio Jaibaras. Optou-se por instalar o canteiro nesta região, tendo em vista que as estruturas de concreto da obra também estão situadas nesta margem. Desta forma é possível concentrar as instalações destinadas à produção de concreto, próximo ao seu local de execução, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços. O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente, que liga Ararius ao local de implantação do empreendimento. Esta estrada deverá sofrer melhorias para comportar o tráfego durante as obras. O acesso ao canteiro será feito a partir desta estrada.

1111196

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, W C . 2000, *Avaliação dos Custos de Água Bruta Associados a Diversas Garantias na Bacia do Rio Paraíba*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
- BOURDEAUX, G H R M. ÁVILA, J P (1979) *Curso sobre Projeto e Construção de Barragens de Terra e Enrocamento* – brochura
- BUREAU OF RECLAMATION, (1974). *Design of Small Dams United States Government Printing Office Washington D C*
- CAMPOS, J. N B, 1996, *Dimensionamento de Reservatório – O Método do Diagrama de Regularização*, Edições UFC, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
- CARVALHO, N O. 1994. *Hidrossedimentometria Prática*, CPRM/ELETROBRÁS. Rio de Janeiro-RJ
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1996, *Projeto de Análise de Consistência de Dados Fluviométricos nas Bacias do Atlântico Norte-Nordeste da Sub-Bacia 35*
- CRUZ, P T (1996) *100 Barragens Brasileiras – Casos históricos, materiais de construção e projeto* Oficina de Textos, São Paulo, 648 p
- ECGL/The U S Department of Defense (1999) *GMS-Groundwater Modeling System /Seep2d – User's Manual*. Provo (2 volumes)
- ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S A , 1998, *Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros*. Diretoria de Planejamento e Engenharia, Rio de Janeiro-RJ
- FELL, R, MACGREGOR, P, STAPLEDON, D (1992) *Geotechnical Engineering of Embankment Dams*. A.A Balkema, Rotterdam, 675 p
- FERNANDES, L . 2000, *Processo Hidrossedimentológico na Bacia do Açude Acarape do Meio – Ceará*, Dissertação de Tese de M Sc , UFC - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
- INMET – Departamento Nacional de Meteorologia, 1992, *Normais Climatológicas (1961 – 1990)*, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Brasília-DF
- IPLANCE – Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. 1997, *Atlas do Ceará*, Secretaria do Planejamento e Coordenação, Fortaleza-CE

1111197

- NIMER, E., 1979, *Climatologia do Brasil*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro-RJ
- PENMAN, A D M, SAXENA, K R, SHARMA, V M (1999) *Instrumentation, Monitoring and Surveillance – Embankment Dams* Balkema, Rotterdam, 282 p
- PETERKA, A J, 1984. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*, Engineering Monograph No 25, US Bureau of Reclamation, Denver, CO
- ROCSCIENCE (Univ of Toronto, Ca) (2000) *Slide – 2D Slope Stability Analysis for Soil and Rock Slopes – User’s Guide*, 140p
- SEEBLA Engenharia de Projetos, 1977, *Plano Diretor – Hidrologia – Vale do Acaraú*, Fortaleza-CE
- SENTURK, F., 1994. *Hydraulics of Dams and Reservoirs*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO
- SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos, 1992, *Plano Estadual dos Recursos Hídricos – Estudos de Base I*, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza-CE
- TUCCI, C E M, 1993, *Hidrologia – Ciência e Aplicação*, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Editora da Universidade, Porto Alegre-RS
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1977, *Hydraulic Design Criteria*, Waterways Experiment Station Corps of Engineers, Vicksburg, MI
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1998, *HEC-HAS River Analysis System – User’s Manual*, Version 2 1, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2000, *HEC-HMS Hydrologic Modelling System – User’s Manual*, Version 2 0, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA
- US BUREAU OF RECLAMATION, 1974, *Design of Small Dams*, A Water Resources Technical Publication, Washington, DC
- VARGAS, M (1977) *Introdução à Mecânica dos Solos*, Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. da USP São Paulo, 509p

000098