



**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE
ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA
O NORDESTE SETENTRIONAL
PROJETO BÁSICO**

**TRECHO V – EIXO LESTE
R6 – BARRAGENS E VERTEDOUROS**



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

TRECHO V – EIXO LESTE R6 – BARRAGENS E VERTEDOUROS

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

Coordenador Geral: João Urbano Cagnin

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor Interino: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador Técnico: Antônio Carlos de Almeida Vidon

Coordenador Técnico Adjunto: Ricardo Antônio Abrahão

Brasília, março de 2001

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional; Trecho V – Eixo Leste – R6 – Barragens e Vertedouros. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2000.
68 p

1. Transposição de Águas; Barragens; Vertedouros
- I. Trecho V – Eixo Leste – R6 – Barragens e Vertedouros

CDU 556.5:627.82+627.831

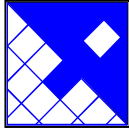
FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 341 1399 Fax: (0XX 12) 341 2829



FUNCATE

**Fundação de Ciência,
Aplicações e Tecnologia
Espaciais**

| | |
|-------------------------------------|------|
| Projeto | Data |
| Verificação | Data |
| Aprovação | Data |
| Aprovação | Data |
| Código FUNCATE EN.B/V.RF.GR.0006 | Data |

| Rev. | Data | Folha | Descrição | Aprovação | FUNCATE | |
|------|------|-------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | | | | | Data | Aprovação |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
*PROJETO BÁSICO***

**TRECHO V - EIXO LESTE
R6 - BARRAGENS E VERTEDOUROS**

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

Akira Ussami: Chefe da Equipe de Geotecnia:

*Geverson Luiz Machado – Engenheiro Civil
Gislaine Terezinha de Matos – Engenheira Civil
Newton Bitencourt Santos – Engenheiro Civil*

Nobutugu Kaji: Chefe da Equipe de Geologia:

*Aloysio Accioly de Senna Filho – Geólogo
Fábio Canzian – Geólogo
José Frederico Büll – Geólogo
Wilson Roberto Mori – Geólogo
Fernando Bispo de Jesus – Técnico de Campo
José Antonio Santos Subrinho – Técnico de Campo*

José Carlos Mazzo: Chefe da Equipe de Hidráulica:

*Anibal Young Eléspuru – Engenheiro Civil
Rafael Guedes Valença – Engenheiro Civil*

José Carlos Degaspere: Chefe da Equipe de Estrutura

José Ricardo Junqueira do Val: Chefe da Equipe de Orçamento e Planejamento

*Roberto Lira de Paula – Engenheiro Civil
José Luiz Barbosa Vianna – Tecnólogo em Obras Cíveis*

Ricardo Carone: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Bernd Dieter Lukas – Engenheiro Mecânico

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Coaraci Inajá Ribeiro – Engenheiro Eletricista

Sandra Schaaf Benfica: Chefe da Equipe de Produção

*Aleksander Szulc – Projetista
Antonio Muniz Neto – Projetista
Carla Costa R. Pizzo Atvars – Projetista
Florencio Ortiz Martinez – Projetista
João Luiz Bosso – Projetista
Leandro Eboli – Projetista
Rubens Crepaldi – Projetista
Mônica de Lourdes Sampaio – Auxiliar Técnica*

Infra Estrutura e Apoio

*Ana Julia Cristofani Belli – Secretária
Maria Luiza Chiarello Miragaia – Secretária
Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada
Carlos Roberto Leite Marques – Assistente Administrativo
Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento
Henrique de Brito Farias – Técnico de Informática
Jacqueline Oliveira de Souza – Auxiliar Administrativo
Marcelo Pereira Almeida – Auxiliar Administrativo
Priscila Pastore M. dos Santos – Auxiliar Administrativo
Juliano Augusto do Rosário – Mensageiro
Maria Aparecida de Souza – Servente*

Consultores

*Francisco Gladston Holanda
Luiz Antonio Villaça de Garcia
Luiz Ferreira Vaz
Nick Barton*



APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R6 – BARRAGENS E VERTEDOUROS, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho V - Eixo Leste**, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pela FUNCATE através do contrato INPE/FUNCATE nº 01.06.094.0/99.

O Projeto de Transposição está sendo desenvolvido com base no Convênio nº 06/97-MPO/SEPRE celebrado entre MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL-MI e o MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA-MCT e seu INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE.

O **Projeto Básico do Trecho V – Eixo Leste** compõe-se dos seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Sistemas de Captação no Reservatório da UHE Itaparica
- R4 Estações de Bombeamento
- R5 Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túnel, Estruturas de Controle
- R6 Barragens e Vertedouros
- R7 Sistema de Drenagem
- R8 Bases Cartográficas
- R9 Geologia e Geotecnia
- R10 Estudos Hidrológicos
- R11 Sistemas de Supervisão, Controle e Telecomunicações
- R12 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R13 Sistema Elétrico
- R14 Canteiros e Sistema Viário
- R15 Cronograma e Orçamentos
- R16 Caderno de Desenhos
- R17 Dossiê de Licitação
- R18 Memoriais de Cálculo



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

| ÍNDICE | PG |
|---|-----------|
| 1 . OBJETO E OBJETIVO | 1 |
| 2 . CARACTERÍSTICAS GERAIS | 1 |
| 2.1 Características Gerais do Semi-Árido Nordeste | 1 |
| 3 . BARRAGENS | 2 |
| 3.1 Classificação | 2 |
| 3.1.1 Barragem de Areias | 4 |
| 3.1.2 Barragem de Braúnas | 9 |
| 3.1.3 Dique do Braúnas | 14 |
| 3.1.4 Barragem Mandantes | 18 |
| 3.1.5 Barragem de Salgueiro | 23 |
| 3.1.6 Barragem de Muquém | 28 |
| 3.1.7 Dique de Cacimba Nova | 33 |
| 3.1.8 Barragem de Bagres | 38 |
| 3.1.9 Dique de Bagres | 43 |
| 3.1.10 Barragem de Copiti | 47 |
| 3.1.11 Dique de Moxotó | 52 |
| 3.1.12 Barragem de Barreiro | 57 |
| 3.1.13 Barragem de Campos | 62 |
| 4 . TOMADAS D'ÁGUA | 66 |
| 4.1 Tomada D'Água da Estrutura de Derivação e Válvulas Dispensoras | 66 |
| 4.2 Tomada D'Água para Usos Difusos | 66 |
| 5 . VERTEDOUROS | 67 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

O objeto deste relatório é o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.

O objetivo é a descrição das barragens, extravasores e estruturas de derivação e diques.

2 . CARACTERÍSTICAS GERAIS

2.1 Características Gerais do Semi-Árido Nordestino

Os dados aqui apresentados, e outras informações bastante detalhadas constam do volume II, capítulo 4, e volume V, capítulo 6, do relatório de Impacto Ambiental – EIA, Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Funcate – Junho/2000.

a) Temperatura

Na tabela 2.1 estão indicados os valores médios e os extremos.

Tabela 2.1

| VALORES | ° C |
|------------------|---------|
| Médias anuais | 24 - 26 |
| Máximo (outubro) | 38 - 40 |
| Mínimo (junho) | 19 – 22 |
| Mínimo absoluto | 7 |

Obs.: No semi-árido do Nordeste os períodos de seca e chuva são bem distintos.

b) Taxa de evaporação potencial

Entende-se por taxa de evaporação potencial a quantidade de água evaporada por unidade de área da superfície do solo, traduzida em termos de energia envolvida para mudança de estado da fase líquida para a fase vapor nesta mesma área, cuja unidade é W/m².

A tabela 2.2 apresenta a taxa de evaporação potencial, mês a mês, para a região de interesse das obras das barragens.

Tabela 2.2

| Mês | W/m ² | Mês | W/m ² |
|-----------|------------------|----------|------------------|
| Janeiro | 250 a 275 | Julho | 175 a 225 |
| Fevereiro | 195 a 225 | Agosto | 225 a 250 |
| Março | 150 a 165 | Setembro | 325 a 375 |
| Abril | 130 a 150 | Outubro | 375 a 425 |
| Maio | 135 a 165 | Novembro | 350 a 400 |
| Junho | 150 a 200 | Dezembro | 300 a 350 |

c) Água

- Água Superficial



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Na região de interesse somente existe água superficial nos reservatórios ou nos açudes após períodos de chuva efetivos, e nos rios ou riachos após as chuvas. O escoamento d'água nos riachos ou rios são de curta duração.

Também existe a água escoando a jusante de grandes açudes ou reservatórios, se estes estiverem com seus volumes úteis elevados.

- Águas Subterrâneas

Na bacia sedimentar Tucano Jatobá, onde se localiza a barragem de Areias, a produção de água nos poços artesianos é boa. A produção média estimada é de 10m³/h para poços de aproximadamente 150 m de profundidade e diâmetro da furação 12”.

- Concentração química nas águas

Normalmente as águas superficiais e as subterrâneas são salobras ou duras, principalmente quando provenientes de reservatórios com pequenos volumes armazenados.

Os elementos químicos freqüentemente presentes são: sódio, potássio cloreto, sulfato e magnésio.

Algumas correlações entre condutividade elétrica (CE) e característica química da água são apresentadas na tabela 2.3

Tabela 2.3

| Elemento Químico (mg/L) | Correlação CE (µS/cm) | |
|---------------------------|---|---------------------------|
| Sólidos totais-STD | STD=0,5202 CE - 0,077 R ² = 1 | Correlação muito boa |
| Sódio – Na | Na=0,1266 CE - 11776 R ² = 0,9498 | Correlação boa |
| Cálcio – Ca | Ca= 0,0160 CE + 9.9829 R ² =0,7419 | Utilizável com restrições |
| Magnésio – Mg | Mg=0,0228 CE + 4.6854 R ² =0,7604 | Utilizável com restrições |
| Sulfato – SO ₄ | SO ₄ =0,0115 CE - 3.1823 R ² =0,4931 | Não utilizável |
| Potássio – K | K=0,0017 CE + 8.2254 R ² =0,0130 | Não utilizável |
| Cloretos | Cloreto=0,2584CE - 47.221 R ² =0,9807 | Utilizável |

3 . BARRAGENS

3.1 Classificação

Ao longo do traçado do Trecho V - Eixo Leste, está prevista a construção de 11 barramentos, sendo que 8 são de compensação, ou seja, para suprimento da vazão de projeto durante as 3



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

horas diárias de interrupção no sistema de bombeamento da transposição e 3 são de compensação e derivação.

A tabela 3.1 relaciona os barramentos e as principais funções atribuídas:

Tabela 3.1

| Barragem e Dique | Lote | Localização | Função |
|----------------------------|------|----------------------------|--|
| Areias | 6 | Entre EBV-1 e EBV-2 | Compensação. |
| Braúnas (barragem e dique) | 6 | Entre EBV-2 e EBV-3 | Compensação. |
| Mandantes | 6 | Entre EBV-2 e EBV-3 | Compensação. |
| Salgueiro | 6 | Entre EBV-3 e EBV-4 | Compensação. |
| Muquém | 6 | Entre EBV-3 e EBV-4 | Compensação e derivação de 10m ³ /s para açude do Juá . |
| Cacimba Nova (dique) | 6 | Entre EBV-3 e EBV-4 | Compensação. |
| Bagres | 7 | Entre EBV-4 e EBV-5 | Compensação. |
| Copiti | 7 | Entre EBV-4 e EBV-5 | Compensação e derivação 18m ³ /s para açude Poço da Cruz. |
| Moxotó (dique) | 7 | Entre EBV-4 e EBV-5 | Compensação. |
| Barreiro | 7 | Entre EBV-5 e EBV-6 | Compensação . |
| Campos | 7 | Entre EBV-6 e açude Poções | Compensação e derivação de 8m ³ /s para açude Pão de Açúcar |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.1 Barragem de Areias

Tabela 3.1.1

| BARRAGEM AREIAS | | |
|---|------------------------|-----------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 12+865 a 15+660 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.036.319 |
| | E | 573.632 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.035.329 |
| | E | 573.840 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 7,5 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 1,45 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 362,75 |
| N.A. Máximo maximum | m | 361,60 |
| N.A. Normal | m | 361,43 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 361,47 |
| N.A. Mínimo | m | 359,82 |
| Comprimento de crista | m | 1011,84 |
| Altura máxima. | m | 17,75 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 2,28 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,05 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 16,43 |
| Tipo Vertedouro | Segurança | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 45 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 362,00 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 37,00 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 28,00 |
| ▣ Tipo Tomada d'água | uso difuso | |
| ▣ Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diâmetro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Tipo de Valvula | Dispensora | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diâmetro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diâmetro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 14 |
| BARRAGEM | | |
| ▣ Seção Homogênea (solo) | m 3 | 105887 |
| ▣ Seção Zoneada | m 3 | 49746 |
| | Solo RAM | m 3 101005 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m 3 | 2840 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m 3 | 6612 |
| Injeções exploratórias | m | 1440 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados a rochas sedimentares da formação da bacia sedimentar do Tucano Jatobá.

Na região das obras predomina uma caatinga arbustiva aberta com elevada riqueza de espécies, tais como: pinhão-bravo, catingueira-de-folha-miúda, marmeleiro-branco, feijão bravo, feijão-de-porco, faveleira, orelha-de-onça, canelinha, alecrim-pimenta, quipá e caroiá, cuja altura média está em torno de 3 a 4m.

Das espécies arbóreas são encontrados catingueira (7 a 8m de altura) e imburana-de-cambão (de até 0,33m de diâmetro).

3.1.1.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Petrolândia, com 11.700 habitantes, e Floresta, com 13.100 habitantes.

3.1.1.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea construída em solo de alteração, colúvio ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, a montante, pela mistura de solo saprolítico com solo argiloso como colúvio, solo residual ou argila aluvionar (Desenho EN.B/V.DS.GT.0006)

3.1.1.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a segunda constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco (Tipo II), ou areia pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura total de 0,60m.

No caso de se adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0008.

As vazões captadas pelos filtros verticais são provenientes de águas que percolam o maciço compactado.

As vazões que irão percolar os filtros horizontais são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam nas camadas das fundações e ombreiras.

3.1.1.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes de montante e de jusante serão feitas com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, cujo material é decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existentes nas proximidades, ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existente ao longo do traçado do canal.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A proteção do talude de montante se estende desde a crista até 2,0 m abaixo do NA mínimo e a de jusante abrange toda a área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0006.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram dimensionadas a partir de altura de onda estimada em função do fetch efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude jusante foram dimensionadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.1.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi prevista a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, estaca 0+000, até aproximadamente a estaca 30+000, trecho em maciço cristalino. A escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região central da seção será escavada uma trincheira exploratória para investigação complementar e para vedação, em toda extensão deste trecho. Da proximidade da estaca 30+000 até o final, estaca 52+000, cuja fundação, na ombreira esquerda, é constituída de argilite expansivo quando saturado, a escavação da fundação foi aprofundada em média 4,0m e reaterada (desenho EN.B/V.DS.GT.0005).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0005) em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0006).

3.1.1.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo do traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0006).

3.1.1.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0009).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.1.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0057).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho do Sal. O volume cubado, para ser utilizado nas barragens de Areias e Braúnas foi de 21.860 m³, estimado de 15.000m³

3.1.1.9 Ensaio de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.1.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método Bishop Simplificado.

Para a estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo A do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - aluvião | $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,53

funcionamento - 1,51

rebaixamento rápido - 1,24

Foi analisada a seção na ombreira esquerda com fundação em argilito (seção Tipo C do relatório de estabilidade) efetuando-se a substituição de 4,00 m de camada de argilito ($c' = 0$, $\phi' = 20^\circ$), obtendo-se os seguintes fatores de segurança:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

final de construção - 1,29

funcionamento - 1,49

rebaixamento rápido - 1,24 (análoga ao caso anterior)

3.1.1.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até o NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.1.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Areias, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas, ou protegida com ensecadeira, deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.2 Barragem de Braúnas

Tabela 3.1.2

| BARRAGEM BRAUNAS | | |
|---|-------------------|------------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (Início e fim) | km | 19+760 a 21+572 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.038.348 |
| | E | 578.782 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.037.948 |
| | E | 579.329 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 4,6 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 1,13 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 402,1 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 401,14 |
| N.A.Normal | m | 400,84 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 400,92 |
| N.A. Minimo | m | 399,23 |
| Comprimento de crista | m | 677,66 |
| Altura máxima. | m | 34,1 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,85 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,05 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 32,84 |
| Tipo Vertedouro | | |
| ▣ Tipo de estrutura | | |
| ▣ Largura | m | |
| ▣ Cota de soleira livre | m | |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Tipo Tomada d'água | uso difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▣ Diametro Nominal | un | 2 |
| ▣ Tipo de Valvula | mm | 500 |
| | Dispersora | |
| ▣ Diametro Nominal | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | mm | 500 |
| ▣ Extensão da tubulação | m ³ /s | 2,00 |
| ▣ Diametro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | | Comporta de Superfície |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 14 |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 162104 |
| ▣ Zoneada | Solo | m ³ |
| | RAM | m ³ |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 355533 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 5491 |
| Injeções exploratórias | m ³ | 12812 |
| | m | 990 |



a) Vegetação

Nas regiões com relevo de formas aguçadas e convexas apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.2.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Petrolândia, com 11.700 habitantes e Floresta, com 13.100 habitantes.

3.1.2.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea construída em solo de alteração, colúvio ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, a montante, pela mistura de solo saprolítico com solo argiloso como colúvio, solo residual ou argila aluvionar.

3.1.2.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco (Tipo II), ou areia pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0026).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III) e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0030.

As vazões captadas pelos filtros verticais são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões que irão percolar os filtros horizontais são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e as ombreiras.

3.1.2.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades, ou de material granular constituído por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante estende, desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0026.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As dimensões das pedras e suas espessuras foram dimensionadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.2.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, estaca 1+000, até aproximadamente a estaca 12 + 100, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região central da seção, da estaca 12+100 até a 29 + 100, será escavado uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão deste trecho. Da estaca 12+100 até a estaca 26 + 000, terá sua fundação sobre o cristalino, e da estaca 26 + 000 até a 29 + 100 a sua fundação será em conglomerado, seção zoneada. A partir da estaca 29+100 até a ombreira esquerda, a fundação terá o colúvio retirado abaixo da cota 390 m e escavado 0,50m no restante (desenho EN.B/V.DS.GT.0026).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0025), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0025).

3.1.2.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo do traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0026).

3.1.2.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolam os maciços de terra compactada e sua fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0032).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.2.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou



saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0057).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho do Sal. O volume cubado, para ser utilizado nas barragens de Areias e Braúnas foi de 21.860 m³.

3.1.2.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactidade relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensado e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.2.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo D do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 20^\circ$ |
| | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,30

funcionamento - 1,49

rebaixamento rápido - 1,34

3.1.2.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal a NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.2.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Braúnas, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas, ou protegida com ensecadeira, deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.3 Dique do Braúnas

Tabela 3.1.3

| DIQUE BRAUNAS | | |
|---|-------------------|----------------------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.039.821 |
| | E | 580.074 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.039.723 |
| | E | 579.946 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 1,13 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 1,13 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 402,1 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 401,14 |
| N.A.Normal | m | 400,84 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 400,92 |
| N.A. Minimo | m | 399,23 |
| Comprimento de crista | m | |
| Altura máxima. | m | 3,6 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,85 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,05 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 32,84 |
| T ipo Vertedouro | Segurança | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 45 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 401,46 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 28,70 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 28,00 |
| Tipo Tomada d'água | | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diametro da tubulação | m | |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 10672 |
| ▣ Zoneada | Solo RAM | m ³ m ³ |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 322 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 752 |
| Injeções exploratórias | m | 585 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila, com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, brejo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécies como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.3.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Petrolândia, com 11.700 habitantes, e Floresta, com 13.100 habitantes.

3.1.3.2 Seção típica do dique

As seções típicas do dique são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar.

3.1.3.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0031.

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.3.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades, ou de material granular constituído por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante estende, desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0028.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.3.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação do dique, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, estaca 1+180, até a estaca 26+900, ombreira esquerda, a escavação se dará no maciço cristalino. Neste trecho será escavada uma trincheira exploratória, para investigação complementar e para vedação, em toda a extensão do mesmo, desenho EN.B/V.DS.GT.0027.

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0027) em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0028).

3.1.3.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo do traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0028).

3.1.3.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

e horizontal, águas que percolam os maciços de terra compactada e de fundação (EN.B/V.DS.GT.0032)

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.3.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado do Dique, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0057).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho do Sal. O volume cubado, para ser utilizado nas barragens de Areias e Braúnas foi de 21.860 m³.

3.1.3.9 Ensaio de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.3.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes do dique foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Como a altura máxima do dique é 3,6 m os fatores de segurança do dique são significativamente superiores aos determinados para a barragem.

3.1.3.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação pela fundação e pelo maciço do dique foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal e NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.3.12 Manejo das águas e etapas de construção

No Dique do Braúnas, em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir o dique em etapas, ou protegida com ensecadeira deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.4 Barragem Mandantes

Tabela 3.1.4

| BARRAGEM MANDANTES | | | |
|---|------------------------|-----------------|--------|
| Características | un | Valor | |
| Trecho | | V | |
| Estaca (início e fim) | km | 32+370 a 34+473 | |
| Coordenadas do Eixo | | | |
| Ombreira Direita | N | 9.041.274 | |
| | E | 588.492 | |
| Ombreira Esquerda | N | 9.040.800 | |
| | E | 589.477 | |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 23,6 | |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,76 | |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | | |
| Cota de coroamento | m | 401,5 | |
| N.A. Maximo maximorum | m | 400,56 | |
| N.A.Normal | m | 399,76 | |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 399,76 | |
| N.A. Minimo | m | 398,15 | |
| Comprimento de crista | m | 1530 | |
| Altura máxima. | m | 18,5 | |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 2 | |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,75 | |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 16,76 | |
| T ipo Vertedouro | Segurança | | |
| ▫ Tipo de estrutura | Creager | | |
| ▫ Largura | m | 45 | |
| ▫ Cota de soleira livre | m | 400,62 | |
| ▫ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 | |
| ▫ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 60,40 | |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | 28,00 | |
| Tipo Tomada d'água | uso difuso | | |
| Tipo de Registro | Borboleta | | |
| Quantidade | un | 2 | |
| ▫ Diametro Nominal | mm | 500 | |
| ▫ Tipo de Valvula | Dispersora | | |
| Quantidade | un | 2 | |
| ▫ Diametro Nominal | mm | 500 | |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 | |
| ▫ Extensão da tubulação | m | | |
| ▫ Diametro da tubulação | m | 0,70 | |
| Estrutura de controle na saída do canal | | | |
| ▫ Tipo de controle | Comporta de Superfície | | |
| ▫ N° de comportas/Segmento | un | 2 | |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 14 | |
| Barragem | | | |
| ▫ Homogêneo (solo) | m ³ | 95257 | |
| ▫ Zoneada | Solo | m ³ | 59316 |
| | RAM | m ³ | 122205 |
| ▫ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 3456 | |
| ▫ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 8064 | |
| Injeções exploratórias | m | 2190 | |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas sedimentares da formação da bacia sedimentar do Tucano Jatobá.

Na região das obras observa-se uma caatinga arbustiva aberta com elevada riqueza de espécies, tais como: pinhão-bravo, catingueira-de-folha-miúda, marmeleiro-branco, feijão bravo, feijão-de-porco, faveleira, orelha-de-onça, canelinha, alecrim-pimenta, quipá e caroiá, cuja altura média está em torno de 3 a 4m.

Da espécie arbórea são encontrados catingueira (7 a 8m de altura) e imburana-de-cambão, de até 0,33m de diâmetro.

3.1.4.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Petrolândia, com 11.700 habitantes, e Floresta, com 13.100 habitantes.

3.1.4.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (Desenho EN.B/V.DS.GT.0066).

3.1.4.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0068.

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e as ombreiras.

3.1.4.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existente ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0066. .

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento considerado para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.4.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, estaca 1+000, até aproximadamente estaca 20+00, trecho em conglomerado, a escavação terá profundidade média de 0,50m.

Na região central da seção será escavado um trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão deste trecho. Na ombreira esquerda, estaca 35+000 a 56+000 é constituída de arenito, e a escavação terá profundidade média de 0,50m (desenho EN.B/V.DS.GT.0065).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0065), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0066).

3.1.4.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusantes da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo do traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0066).

3.1.4.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolam os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0069).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.4.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0058).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Mandantes. O volume cubado, para ser utilizado na barragem de Mandantes, foi de 12.300 m³.

3.1.4.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial adensado e saturado com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.4.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para análise da estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo E do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - colúvio | $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,37

funcionamento - 1,52

rebaixamento rápido - 1,29

A obtenção do fator de segurança de 1,52 para a condição de funcionamento só foi possível com a remoção do colúvio e sua substituição por aterro compactado.

3.1.4.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.4.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Mandantes, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas ou protegida com ensecadeira deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.5 Barragem de Salgueiro

Tabela 3.1.5

| BARRAGEM SALGUEIRO | | |
|---|------------------------|-----------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 37+738 a 38+895 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.045.079 |
| | E | 593.541 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.043.944 |
| | E | 592.766 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 6,6 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 1 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 460,6 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 459,60 |
| N.A.Normal | m | 459,36 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 459,43 |
| N.A. Minimo | m | 457,75 |
| Comprimento de crista | m | 1374,87 |
| Altura máxima. | m | 17,6 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,6 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,33 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 16,36 |
| Tipo Vertedouro | Segurança | |
| Tipo de estrutura | Creager | |
| Largura | m | 45 |
| Cota de soleira livre | m | 459,93 |
| Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 35,40 |
| Vazão de projeto | m ³ /s | 28,00 |
| Tipo Tomada d'água | uso difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| Quantidade | un | 2 |
| Diâmetro Nominal | mm | 500 |
| Tipo de Valvula | Dispensora | |
| Quantidade | un | 2 |
| Diâmetro Nominal | mm | 500 |
| Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 |
| Extensão da tubulação | m | |
| Diâmetro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| Nº de comportas/Segmento | un | 2 |
| Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 14 |
| Barragem | | |
| Homogêneo (solo) | m ³ | 64896 |
| Zoneada | Solo | m ³ |
| | RAM | m ³ |
| Filtro Vertical (areia) | m ³ | 3796 |
| Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 8856 |
| Injeções exploratórias | m | 2145 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos em jazidas estão associados a rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, brejo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécies como juazeiro.

As regiões com relevo de formas aguçadas e convexas apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.5.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Petrolândia, com 11.700 habitantes, e Floresta, com 13.100 habitantes.

3.1.5.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar. (desenho EN.B/V.DS.GT.0087).

3.1.5.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091)).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0089).

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e as ombreiras.

3.1.5.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante estende-se, desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0087.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.5.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, estaca 1+500, até aproximadamente a estaca 20+000, e estaca 45+000 a 84+300, ombreira esquerda, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração) ou CO (solo coluvionar).

Na região central da seção, será escavado uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão deste trecho. Da estaca aproximada 20+00 até o final, estaca 45+000, com sua fundação no maciço cristalino(desenho EN.B/V.DS.GT.0086), todo o colúvio abaixo da cota 450 m deverá ser retirado.

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória, com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0086), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0087).

3.1.5.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo do traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0087).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.5.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0090)

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.5.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem em seção homogênea ou zoneada; será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados estimados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0058).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Mandantes. O volume cubado e estimado, para ser utilizado na barragem do Salgueiro, foi de 12.300 m³.

3.1.5.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpo de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.5.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para a análise da estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo E do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - colúvio | $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,37

funcionamento - 1,52

rebaixamento rápido - 1,29

A obtenção do fator de segurança de 1,52 para a condição de funcionamento só foi possível com a remoção do colúvio e sua substituição por aterro compactado.

3.1.5.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.5.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Salgueiro, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas, ou protegida com ensecadeira, deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.6 Barragem de Muquém

Tabela 3.1.6

| BARRAGEM MUQUÉM | | |
|---|------------------------|-----------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 69+250 a 70+570 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.059.472 |
| | E | 615.509 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.058.644 |
| | E | 614.009 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 63,9 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,86 |
| Tipo de Barragem | Homogênea | |
| Cota de coroamento | m | 458,05 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 457,21 |
| N.A.Normal | m | 456,31 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 456,4 |
| N.A. Minimo | m | 454,7 |
| Comprimento de crista | m | 1457,96 |
| Altura máxima. | m | 17,05 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,45 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,25 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 15,31 |
| T ipo Vertedouro | Cheia | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 300 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 456,91 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 132,40 |
| ▣ Cota de soleira livre | m ³ /s | 86,00 |
| ▣ Concreto | m ³ | 10500,00 |
| ▣ Concreto Rolado | m ³ | 51500,00 |
| Tipo Tomada d'água | Derivação | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 10,00 |
| ▣ Diâmetro da válvula e registro | mm | 900,00 |
| ▣ Diâmetro da tubulação | mm | 1800,00 |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diâmetro da tubulação | m | 1,80 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 119499 |
| ▣ Enrocamento Compactado | m ³ | 22000 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 1810 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 4292 |
| Injeções exploratórias | m | 2100 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e das cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécie como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.6.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Ibimirim, com 8.200 habitantes, e Floresta, com 13.100 habitantes.

3.1.6.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenho EN.B/V.DS.GT.0082).

3.1.6.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0084.

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.6.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, decorrente de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material proveniente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existentes nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existente ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0082.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.6.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, estaca 1+120, até a estaca 28+800 e da estaca 44+800 até 74+150, ombreira esquerda, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região central, entre as estacas 28+800 até a 44+000, trecho em maciço cristalino, na seção será escavado uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão do mesmo (desenho EN.B/V.DS.GT.0081).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0081), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0082).

3.1.6.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo do traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0082).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.6.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolam os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0085).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.6.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0059).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Vassourasl. O volume cubado, para ser utilizado na barragem do Muquém, foi de 21.858 m³.

3.1.6.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpo de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.6.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para análise da estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo E do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - colúvio | $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

final de construção - 1,37

funcionamento - 1,52

rebaixamento rápido - 1,29

A obtenção do fator de segurança de 1,52 para a condição de funcionamento só foi possível com a remoção do colúvio e sua substituição por aterro compactado.

3.1.6.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.6.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Muquém, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas, ou protegida com ensecadeira deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.7 Dique de Cacimba Nova

Tabela 3.1.7

| DIQUE CACIMBA NOVA | | |
|---|------------------------|-----------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 91+331 a 95+252 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.073.529 |
| | E | 623.830 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.076.304 |
| | E | 626.332 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 22,1 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,67 |
| Tipo de Barragem | Homogênea | |
| Cota de coroamento | m | 456,3 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 455,74 |
| N.A.Normal | m | 454,26 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 454,37 |
| N.A. Minimo | m | 452,65 |
| Comprimento de crista | m | 3736,3 |
| Altura máxima. | m | 11,3 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 0,54 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 3,9 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 7,26 |
| T ipo Vertedouro | Cheia | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 200 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 455,22 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 148,00 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 48,00 |
| ▣ Concreto | m ³ | |
| ▣ Concreto Rolado | m ³ | |
| Tipo Tomada d'água | uso difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diâmetro Nominal | mm | 500 |
| Tipo de Valvula | Dispersora | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diâmetro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diâmetro da tubulação | m | |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 530737 |
| ▣ Enrocamento Compactado | m ³ | 89420 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 11416 |
| Injeções exploratórias | m | 5550 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Na região das obras observa-se uma caatinga arbustiva aberta com elevada riqueza de espécies, tais como: pinhão-bravo, catingueira-de-folha-miúda, marmeleiro-branco, feijão bravo, feijão-de-porco, faveleira, orelha-de-onça, canelinha, alecrim-pimenta, quipá e caroiá, cuja altura média está em torno de 3 a 4m.

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas estão associados a rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécies como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.7.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Ibimirim, com 8.200 habitantes, e Custódia, com 13.500 habitantes.

3.1.7.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenhos EN.B/V.DS.GT.0036, EN.B/V.DS.GT.0037 e EN.B/V.DS.GT.0038).

3.1.7.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a segunda constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas nos desenhos EN.B/V.DS.GT.0041, EN.B/V.DS.GT.0042 e EN.B/V.DS.GT.0043).

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.7.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados nos desenhos EN.B/V.DS.GT.0033, EN.B/V.DS.GT.0034 e EN.B/V.DS.GT.0035).

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude já usante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.7.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação do dique, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar), ou AL (solo aluvionar).

Na região central da seção será escavado uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão deste trecho.

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenhos EN.B/V.DS.GT.0033, EN.B/V.DS.GT.0034 e EN.B/V.DS.GT.0035) em 15,0m.

3.1.7.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de



solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenhos EN.B/V.DS.GT.0036, EN.B/V.DS.GT.0037 e EN.B/V.DS.GT.0038).

3.1.7.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0040).

3.1.7.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0060).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Copiti. O volume cubado, para ser utilizado no Dique Cacimba Nova, foi de 760.000 m³.

3.1.7.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compacidade relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.7.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes do dique foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para análise da estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo F do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- maciço compactado $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi' = 28^\circ$
 $c' = 0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi' = 28^\circ$
- aluvião $c' = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi' = 19^\circ$

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,49



funcionamento - 1,49

rebaixamento rápido - 1,24 (análogo aos casos anteriores)

O fator de segurança de 1,49 para a condição de funcionamento foi obtido admitindo-se 4,00 m de solo aluvionar na fundação.

3.1.7.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço do dique, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.7.12 Manejo das águas e etapas de construção

No Dique de Cacimba Nova, que será constituído em vale relativamente grande, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem, em etapas ou protegida com ensecadeira, deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.8 Barragem de Bagres

Tabela 3.1.8

| BARRAGEM BAGRES | | |
|---|------------------------|----------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 102+520 a 104+260 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.078.102 |
| | E | 632.379 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.077.851 |
| | E | 633.000 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 2 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,89 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 510,4 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 509,51 |
| N.A.Normal | m | 509,3 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 509,35 |
| N.A. Minimo | m | 507,69 |
| Comprimento de crista | m | 669,56 |
| Altura máxima. | m | 11,4 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,6 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 0,92 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 10,3 |
| Tipo Vertedouro | Segurança | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 30 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 509,85 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Tipo Tomada d'água | uso difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Tipo de Valvula | Dispensora | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diametro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 14 |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 12792 |
| ▣ Zoneada | Solo | m ³ 36088 |
| | RAM | m ³ 13699 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 1035 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 2415 |
| Injeções exploratórias | m | 930 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

quando provenientes de reservatórios com pequenos volumes armazenados.

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacarú, facheiro e as cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécies como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.8.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Ibimirim com 8.200 habitantes, e Custódia, com 13.500 habitantes.

3.1.8.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenho EN.B/V.DS.GT.0011).

3.1.8.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por camadas horizontais drenantes. Os filtros horizontais são constituídos de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessuras que variam de 0,40m a 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais, de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0015.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.8.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0011.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.8.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde o seu início até o trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região da seção central será escavada uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão do trecho (desenho EN.B/V.DS.GT.0010).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0010), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio para diminuição da sub-pressão na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0011).

3.1.8.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0011).

3.1.8.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0017).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.8.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0060).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Copiti. O volume cubado, para ser utilizado na barragem de Bagres, foi de 760.000 m³.

3.1.8.9 Ensaio de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial adensado e saturado com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.8.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para a análise da estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo E do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - colúvio | $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,37

funcionamento - 1,52



rebaixamento rápido - 1,29

A obtenção do fator de segurança de 1,52 para a condição de funcionamento só foi possível com a remoção do colúvio e sua substituição por aterro compactado.

3.1.8.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.8.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Bagres, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem, em etapas ou protegida com ensecadeira, deverá ser do arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.9 Dique de Bagres

Tabela 3.1.9

| DIQUE BAGRES | | |
|---|------------------------|----------------------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.078.280 |
| | E | 633.705 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.078.830 |
| | E | 634.170 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 2 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,89 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 510,4 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 509,51 |
| N.A.Normal | m | 509,3 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 509,35 |
| N.A. Minimo | m | 507,69 |
| Comprimento de crista | m | 669,56 |
| Altura máxima. | m | 10,4 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,6 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 0,92 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 10,3 |
| T ipo Vertedouro | Segurança | |
| ▫ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▫ Largura | m | |
| ▫ Cota de soleira livre | m | |
| ▫ Lâmina vertente máxima | m | |
| ▫ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Tipo Tomada d'água | uso difuso | |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| ▫ Extensão da tubulação | m | |
| ▫ Diâmetro da tubulação | m | |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▫ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▫ N° de comportas/Segmento | un | |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Barragem | | |
| ▫ Homogêneo (solo) | m ³ | 14428 |
| ▫ Zoneada | Solo RAM | m ³ m ³ |
| | | 21850 27730 |
| ▫ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 780 |
| ▫ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 1821 |
| Injeções exploratórias | m | 990 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira, baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, brejo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécies como juazeiro.

As regiões com relevo de formas aguçadas e convexas apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.9.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Ibimirim, com 8.200 habitantes, e Custódia, com 13.500 habitantes.

3.1.9.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenho EN.B/V.DS.GT.0013)

3.1.9.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais, de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0016.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.9.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0013.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.9.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camadas solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita até a ombreira esquerda, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0012), em 15,0m

Está previsto a execução de drenos, ou poços de alívio para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0013).

3.1.9.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0013).

3.1.9.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado,



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolam os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0018).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.9.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0060).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco no rio Copiti. O volume cubado, para ser utilizado no Dique Bagres, foi de 760.000 m³.

3.1.9.9 Ensaio de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga viável.

3.1.9.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

As condições de fundação do dique são similares às da barragem e sua altura máxima é inferior a da barragem. Desta forma os fatores de segurança são mais elevados do que os obtidos para a barragem.

3.1.9.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.9.12 Manejo das águas e etapas de construção

No Dique de Bagres, que será construído em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A decisão de se construir a barragem, em etapas ou protegida com ensecadeira deverá ser de arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.

3.1.10 Barragem de Copiti

Tabela 3.1.10

| BARRAGEM COPITI | | |
|---|-------------------------------|-------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 117+210 a 119+235 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.087.252 |
| | E | 641.135 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.086.260 |
| | E | 942.737 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 9,5 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,77 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 509,55 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 508,63 |
| N.A.Normal | m | 508,02 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 508,06 |
| N.A. Minimo | m | 506,41 |
| Comprimento de crista | m | 1884,94 |
| Altura máxima. | m | 15,55 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 2,05 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1,84 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 14,02 |
| T ipo Vertedouro | Segurança | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 45 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 508,67 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 57,10 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 28,00 |
| Tipo Tomada d'agua | Derivação | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 18 |
| ▣ Diametro da válvula e registro | mm | 1200 |
| ▣ Diametro da tubulação | mm | 2400 |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diametro da tubulação | m | 2,40 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 14 |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 80846 |
| ▣ Zoneada | Solo RAM m ³ | 117930 |
| | m ³ | 148252 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 4226 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 9860 |
| Injeções exploratórias | m | 2565 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécies como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.10.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Ibimirim com 8.200 habitantes, e Custódia, com 13.500 habitantes.

3.1.10.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenhos EN.B/V.DS.GT.0051 e EN.B/V.DS.GT.0052).

3.1.10.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais, de trechos da barragem, estão apresentadas nos desenhos EN.B/V.DS.GT.0054 e EN.B/V.DS.GT.0055.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.10.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados nos desenhos EN.B/V.DS.GT.0051 e EN.B/V.DS.GT.0052. As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.10.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada do solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita à esquerda, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região central da seção será escavado uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação, em toda extensão deste trecho.

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória, com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenhos EN.B/V.DS.GT.0049 e EN.B/V.DS.GT.0050), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos, ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenhos EN.B/V.DS.GT.0051 e EN.B/V.DS.GT.0052).

3.1.10.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenhos EN.B/V.DS.GT.0051 e EN.B/V.DS.GT.0052).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.10.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0056).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.10.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0061).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Copiti. O volume cubado, para ser utilizado na barragem do Copiti, foi de 760.000 m³.

3.1.10.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de Atterberg, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.10.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para a estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo A do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - aluvião | $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |



Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,53

funcionamento - 1,51

rebaixamento rápido - 1,24

3.1.10.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.10.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Copiti, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas ou protegida com ensecadeira, deverá ser de arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.11 Dique de Moxotó

Tabela 3.1.11

| DIQUE DO MOXOTÓ | | |
|---|------------------------|-------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 157+612 a 162+125 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.101.468 |
| | E | 671.910 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.103.941 |
| | E | 676.779 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 6 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,62 |
| Tipo de Barragem | Homogênea | |
| Cota de coroamento | m | 505,6 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 504,48 |
| N.A.Normal | m | 504,07 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 504,11 |
| N.A. Minimo | m | 502,68 |
| Comprimento de crista | m | 5460,95 |
| Altura máxima. | m | 10,6 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 0,8 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 4,5 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 9,07 |
| Tipo Vertedouro | Segurança | |
| ▣ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▣ Largura | m | 30 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 504,91 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 43,50 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 18,00 |
| Tipo Tomada d'água | Uso Difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Tipo de Valvula | Dispensora | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diametro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 361625 |
| ▣ Enrocamento | m ³ | 39666 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 1206 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 2814 |
| Injeções exploratórias | m | 6030 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos em jazidas estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas se apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacarú, facheiro e as cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécie como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.11.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Custódia, com 13.500 habitantes, Sertânia, com 13.600 habitantes, e Rio da Barra, com 1.800 habitantes.

3.1.11.2 Seção típica da barragem

As seções típicas do dique são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar. (desenhos EN.B/V.DS.GT.0073, EN.B/V.DS.GT.0074 e EN.B/V.DS.GT.0075).

3.1.11.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos do dique, estão apresentadas nos desenhos EN.B/V.DS.GT.0078, EN.B/V.DS.GT.0079 e EN.B/V.DS.GT.0080).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.11.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados nos desenhos EN.B/V.DS.GT.0073, EN.B/V.DS.GT.0074 e EN.B/V.DS.GT.0075.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.11.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita até a ombreira esquerda, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), CO (solo coluvionar) ou AL (solo aluvionar).

Na região central da seção será escavado uma trincheira exploratória para investigação complementar e de vedação, em toda extensão deste trecho. (desenhos EN.B/V.DS.GT.0070, EN.B/V.DS.GT.0071 e EN.B/V.DS.GT.0072).

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenhos EN.B/V.DS.GT.0070, EN.B/V.DS.GT.0071 e EN.B/V.DS.GT.0072), em 15,0m.

3.1.11.6 Drenagem superficial

A crista do dique terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante do dique será protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenhos EN.B/V.DS.GT.0073, EN.B/V.DS.GT.0074 e EN.B/V.DS.GT.0075).



3.1.11.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação do dique é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0077).

3.1.11.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado do dique em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0063).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Moxotó e Salgado. O volume cubado, para ser utilizado no Dique de Moxotó, foi de 174.625 m³.

3.1.11.9 Ensaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compacidade relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.11.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes do dique foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para análise da estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo F do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - aluvião | $c' = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 19^\circ$ |

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,49

funcionamento - 1,49

rebaixamento rápido - 1,24 (análogo aos casos anteriores)



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

O fator de segurança de 1,49 para a condição de funcionamento foi obtido admitindo-se 4,00 m de solo aluvionar na fundação.

3.1.11.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação pela fundação e pelo maciço do dique foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal e NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.11.12 Manejo das águas e etapas de construção

No Dique de Moxotó, que será construído em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas ou protegida com ensecadeira deverá ser de arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.12 Barragem de Barreiro

Tabela 3.1.12

| BARRAGEM BARREIRO | | |
|---|------------------------|-------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 166+681 a 168+347 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.106.878 |
| | E | 678.497 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.106.252 |
| | E | 678.352 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 8,8 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,29 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 542,1 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 541,31 |
| N.A.Normal | m | 540,71 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 540,69 |
| N.A. Minimo | m | 539,32 |
| Comprimento de crista | m | 643 |
| Altura máxima. | m | 12,1 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 1,8 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 0,75 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 10,31 |
| T ipo Vertedouro | Cheia | |
| ▣ Tipo de estrutura | | |
| ▣ Largura | m | 50 |
| ▣ Cota de soleira livre | m | 541,25 |
| ▣ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 39,70 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 18,00 |
| Tipo Tomada d'agua | Uso Difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Tipo de Valvula | Dispersora | |
| ▣ Quantidade | un | 2 |
| ▣ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 |
| ▣ Extensão da tubulação | m | |
| ▣ Diametro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▣ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▣ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▣ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 9 |
| Barragem | | |
| ▣ Homogêneo (solo) | m ³ | 26540 |
| ▣ Zoneada | Solo | m ³ |
| | RAM | m ³ |
| | | 25979 |
| ▣ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 1288 |
| ▣ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 3005 |
| Injeções exploratórias | m | 960 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécie como juazeiro.

As regiões com relevo de formas aguçadas e convexas apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.12.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Custódia, com 13.500 habitantes, e Sertânia, com 13.600 habitantes.

3.1.12.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenho EN.B/V.DS.GT.0020).

3.1.12.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a Segunda, constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III), com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091)

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0022).

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.12.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante, estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0020.

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.12.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita da estaca 4+190, até a estaca 16+000, e da estaca 27+000 até a estaca 37+020, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região central, entre as estacas 16+000 até a estaca 27+000, trecho em maciço cristalino, na seção será escavada uma trincheira exploratória para investigação complementar e vedação, em toda extensão do trecho.

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0019), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0020).

3.1.12.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0020).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.12.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0024).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.12.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0062).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do rio Moxotó. O volume cubado, para ser utilizado na barragem do Barreiro, foi de 156.310 m³.

3.1.12.9 Ensaaios de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compactação relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.12.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para a análise de estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo B do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- maciço compactado $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi' = 28^\circ$
 $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi' = 28^\circ$
- aluvião $c' = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi' = 25^\circ$

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,56



funcionamento - 1,65

rebaixamento rápido - 1,31

3.1.12.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.12.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Barreiro, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem, em etapas ou protegida com ensecadeira, deverá ser de arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.13 Barragem de Campos

Tabela 3.1.13

| BARRAGEM CAMPOS | | |
|---|------------------------|----------------------------------|
| Características | un | Valor |
| Trecho | | V |
| Estaca (início e fim) | km | 176+765 a 177+570 |
| Coordenadas do Eixo | | |
| Ombreira Direita | N | 9.111.036 |
| | E | 686.909 |
| Ombreira Esquerda | N | 9.111.580 |
| | E | 687.007 |
| Área da bacia de Drenagem | km ² | 9,9 |
| Área do reservatório no N.A. Normal | km ² | 0,53 |
| Tipo de Barragem | Homogênea/Zoneada | |
| Cota de coroamento | m | 599,4 |
| N.A. Maximo maximorum | m | 598,58 |
| N.A.Normal | m | 598,24 |
| N.A. Normal , regime permanente | m | 598,29 |
| N.A. Minimo | m | 596,85 |
| Comprimento de crista | m | 552,45 |
| Altura máxima. | m | 22,4 |
| Comprimento Máximo do Reservatório | km | 0,88 |
| Largura Máxima do Reservatório | km | 1 |
| Profundidade Máxima do Reservatório | m | 21,24 |
| Tipo Vertedouro | Segurança | |
| ▫ Tipo de estrutura | Creager | |
| ▫ Largura | m | 30 |
| ▫ Cota de soleira livre | m | 599,39 |
| ▫ Lâmina vertente máxima | m | 0,50 |
| ▫ Vazão de projeto para TR 1000 anos | m ³ /s | 46,10 |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | 18,00 |
| Tipo Tomada d'agua | Uso Difuso | |
| Tipo de Registro | Borboleta | |
| ▫ Quantidade | un | 2 |
| ▫ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▫ Tipo de Valvula | Dispensora | |
| ▫ Quantidade | un | 2 |
| ▫ Diametro Nominal | mm | 500 |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | 2,00 |
| ▫ Extensão da tubulação | m | |
| ▫ Diametro da tubulação | m | 0,70 |
| Estrutura de controle na saída do canal | | |
| ▫ Tipo de controle | Comporta de Superfície | |
| ▫ N° de comportas/Segmento | un | 2 |
| ▫ Vazão de projeto | m ³ /s | 2 x 9 |
| Barragem | | |
| ▫ Homogêneo (solo) | m ³ | 63017 |
| ▫ Zoneada | Solo RAM | m ³ m ³ |
| | | 65426 65203 |
| ▫ Filtro Vertical (areia) | m ³ | 1940 |
| ▫ Filtro Horizontal (areia e pedrisco) | m ³ | 4527 |
| Injeções exploratórias | m | 780 |



a) Vegetação

Os solos da área da barragem, empréstimos e jazidas, estão associados à rochas pré-cambrianas do complexo Caicó, do grupo Caicó, e Uamá.

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila com tipo fisionômico arbustivo-arbóreo. As espécies que se destacam no extrato arbóreo são: quixadeira, faveleira, catingueira e baraúna, atingindo até 8m de altura.

No extrato arbustivo comparecem pinhão-bravo, moleque-duro e pereiro, que atingem cerca de 3m de altura.

Dentro das herbáceas destacam-se: cabeça-de-urubu, sabão-de-soldado, capa-bode, bredo-de-carneiro e mela-bode.

As encostas apresentam caatinga arbustiva densa, principalmente a agave.

Na parte mais baixa ocorrem alguns remanescentes do extrato arbóreo, tais como juazeiro, mandacará, facheiro e as cercas vivas de avelós.

Nas planícies aluviais, de uso intensivo em atividades agropecuárias, predomina uma vegetação típica de vales úmidos, tendo no extrato arbóreo espécie como juazeiro.

As regiões com relevo, de formas aguçadas e convexas, apresentam o recobrimento por vegetação de caatinga arbustiva-arbórea.

No extrato arbóreo se destacam angico, imburana-de-cambão e facheiro.

No extrato arbustivo têm-se mororó, palma e pinhão-bravo.

3.1.13.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Sertânia com 13.600 habitantes, Monteiro, com 15.600 habitantes, e Custódia, com 13.500 habitantes.

3.1.13.2 Seção típica da barragem

As seções típicas das barragens são fundamentalmente duas, em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

Uma é a seção homogênea, construída em solo de alteração, colúvio, solo residual ou argila aluvionar. A outra seção é a zoneada, na qual o maciço da barragem, na parte central, é constituído por solo saprolítico ou RAM (rocha alterada mole), envolto, à montante, por solo argiloso como solo residual ou argila aluvionar (desenho EN.B/V.DS.GT.0045).

3.1.13.3 Sistema de drenagem interna

Os sistemas de drenagem interna dos barramentos serão constituídos por paredes verticais e camadas horizontais drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a segunda constituída de areia (Tipo I), ou areia e pedrisco ou areia (Tipo II), pedrisco e tubo dreno perfurado (Tipo III) com espessura de 0,60m.

No caso de adotar camadas sobrepostas de areia e pedrisco, as areias estarão na camada inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada do meio, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

A planta do filtro horizontal, assim como os tipos (I, II e III), e localização dos medidores de vazões, captadas pelos filtros verticais e horizontais de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0047.

As vazões, captadas pelos filtros verticais, são aquelas águas que percolam o maciço compactado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As vazões, que irão percolar os filtros horizontais, são provenientes dos filtros verticais e mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.13.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante serão com enrocamento, provenientes de pedreiras, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades ou de material granular constituídos por grãos pequenos e médios, obtidos pela separação da fração grossa dos finos, operação executada sobre mistura de blocos de pedra e solo, existentes ao longo do traçado do canal.

A proteção do talude de montante estende-se desde a crista, até 2,0m abaixo do NA mínimo e a proteção de jusante abrange toda área do talude.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GT.0045

As dimensões das pedras e suas espessuras foram determinadas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e velocidades de vento consideradas para a região.

As dimensões das pedras das transições foram definidas em função dos tamanhos dos blocos de pedras do *rip-rap* e granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

As dimensões das pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.

3.1.13.5 Escavação e tratamento de fundação

Na escavação superficial, em toda fundação da barragem, seção homogênea ou zoneada, foi previsto a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Desde a ombreira direita da estaca 0+180, até a estaca 7+180, e da estaca 18+000 até a estaca 30+120, ombreira esquerda, trecho em maciço cristalino, a escavação terá profundidade média de 0,50m, seja no trecho de SA (solo de alteração), ou CO (solo coluvionar).

Na região central, entre as estacas 7+180 até 18+000, trecho em maciço cristalino, na seção será escavada uma trincheira exploratória, para investigações complementares e vedação, em toda extensão deste trecho (desenho EN.B/V.DS.GT.0044)

Como tratamento de fundação, está previsto injeção exploratória com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico, e a profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0044), em 15,0m.

Está previsto a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/V.DS.GT.0045).

3.1.13.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório.

O talude de jusante da barragem é protegido com material granular, que poderá ser somente de cascalho com material fino argiloso compactado ou, através de enrocamento, na face externa, e transição fina, no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha ou material granular, bem graduado, obtido no processo de separação mecânica de uma mistura de solo silto arenoso e blocos de rocha que ocorre ao longo traçado do canal (desenho EN.B/V.DS.GT.0045).



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.13.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem é constituído pelos seguintes instrumentos: piezômetros, medidores de níveis d'água no filtro horizontal, medidores de recalques da fundação ou deformações do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, águas que percolaram os maciços de terra compactada e de fundação (desenho EN.B/V.DS.GT.0048).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/V.DS.GT.0091).

3.1.13.8 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado da barragem, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/V.DS.GT.0062).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho do Sal. O volume cubado, para ser utilizado na barragem de Campos, foi de 156.310 m³. No caso da Barragem de Campos, deverá ser utilizada areia industrial, devido à distância até o Rio Moxotó.

3.1.13.9 Ensaio de laboratórios

Solos e areias de fundação, empréstimos e jazidas.

Solos – Os solos, dos empréstimos e das jazidas, foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Areias – Além dos ensaios de granulometria, somente peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compacidade relativa, à carga constante.

Com relação aos ensaios especiais, sobre amostras moldadas em laboratórios, foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de poro pressões.

Sobre os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Sobre corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de poro pressões e permeabilidade a carga variável.

3.1.13.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade dos taludes da barragem foram feitas para as condições de final de construção, rebaixamento rápido do NA do reservatório e funcionamento normal. O programa utilizado foi ESTALUDE Versão 4,0, que utiliza o Método de Bishop Simplificado.

Para análise de estabilidade da seção de maior altura (seção Tipo D do relatório de estabilidade) foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

| | | |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| - maciço compactado | $c' = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| - solo de alteração | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 28^\circ$ |
| | $c' = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ | $\phi' = 25^\circ$ |



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os fatores de segurança obtidos nas condições de hipóteses mais pessimistas foram:

final de construção - 1,30

funcionamento - 1,49

rebaixamento rápido - 1,34

3.1.13.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 2 (duas) condições: regime permanente e rebaixamento rápido do reservatório da cota do NA correspondente à normal até NA mínimo. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.13.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem de Campos, que será construída em vale relativamente pequeno, haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente acontecerá de correr água neste vale normalmente seco.

A decisão de se construir a barragem em etapas ou protegida com ensecadeira, deverá ser de arbítrio do construtor, em função do seu planejamento de construção a ser elaborado.

4 . TOMADAS D'ÁGUA

4.1 Tomada D'Água da Estrutura de Derivação e Válvulas Dispensoras

As estruturas de derivação são compostas de: tomada d'água, tubulação, válvulas borboletas e válvulas dispensoras. Estas estruturas podem estar acopladas à uma torre dentro do reservatório, ou embutidas na estrutura de concreto do vertedouro, ou muro de abraço.

As tomadas d'água foram projetadas com seção de escoamento tal, que a velocidade na grade da mesma não ultrapasse a 1,0 m/s. A tubulação, entre a tomada d'água e a derivação para as válvulas dispensoras, deve ter seção tal que a velocidade na mesma não ultrapasse 4,0 m/s.

Após a derivação, teremos duas válvulas dispensoras, cada uma precedida de uma válvula tipo borboleta, para execução de manutenção das válvulas dispensoras

A tomada d'água da estrutura de derivação de Muquém é composta de duas partes com dimensões de 2,0 x 3,0 m.

A tubulação, da tomada d'água até a bifurcação para as válvulas, tem diâmetro de 1.800 mm, após a bifurcação, temos tubulações com diâmetro de 900 mm.

A tomada d'água da estrutura de derivação de Copiti é composta de duas partes com dimensões de 2,0 x 5,0 m.

A tubulação, da tomada até a bifurcação para as válvulas, tem diâmetro de 2.400 mm, após a bifurcação, temos diâmetro de 1.200m.

As tomadas d'água de derivação são providas de grades e comporta ensecadeira para manutenção.

A tomada d'água de Copiti foi dimensionada para a vazão de 18,0 m³/s e Muquém para 10,0 m³/s.

A derivação de 8,0 m³/s de água do reservatório Campos para o Açude Pão de Açúcar, no Rio Ipojuca, consta de uma estrutura de controle de superfície, com dois vãos de 1,6 m de largura, seguindo de um canal trapezoidal.

4.2 Tomada D'Água para Usos Difusos



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Em todos os reservatórios, com exceção de Muquém e Copiti, onde já existem estruturas de derivação com tomada d'água, foi prevista uma tomada d'água para usos difusos com vazão de 2,0 m³/s.

Estas tomadas foram projetadas em estrutura em torre com tomada d'água e grade. Desta torre sai uma tubulação, com diâmetro de 700 mm, até a derivação, que é a mesma dos registros. Em cada tomada estão previstas duas válvulas, com diâmetro de 700 mm, com capacidade de 1,0 m³/s cada uma.

A tomada d'água tem dimensões de 1,0 x 3,0 m.

5 . VERTEDOUROS

O Trecho V – Eixo Leste, do Projeto de Transposição do Rio São Francisco é composto por canais, comportas, estações elevatórias, aquedutos, túneis, reservatórios, vertedouros, estruturas para usos difusos e estruturas de derivação.

Nos reservatórios onde não existe estrutura vertente para a passagem da onda de cheia foram projetados vertedouros de segurança para eventuais problemas de funcionamento do sistema.

Nos reservatórios, onde a cheia de período de retorno de 1000 anos é amortecida dentro dos mesmos, os vertedouros permitem vazões de 28,0 ou 18,0 m³/s, que são as vazões máximas de recalque.

Em todos os casos, dimensionou-se a estrutura vertente para uma carga máxima sobre a soleira de 0,50 m.

A equação utilizada para o dimensionamento dos vertedouros é a seguinte:

$$Q = CLH^{3/2}$$

Onde:

Q = vazão em m³/s

L = largura dos vertedouros, m

H = Carga sobre a soleira, m

C = 1,8 – coeficiente de vazão adotada

Os reservatórios, que têm vertedouros para passagem das enchentes com períodos de retorno de 1000 anos, são:

- Muquém, com vazão afluente de 132,4 m³/s e efluente de 86,0 m³/s, para um período de retorno de 1000 anos, cujo comprimento é 300 m, com vazão específica de 0,29 m³/s / m;
- Cacimba Nova, com vazão afluente de 148,0 m³/s, vazão efluente de 48,0 m³/s, para um período de retorno de 1000 anos, cujo comprimento é 200 m, com vazão específica de 0,24 m³/s / m;
- Barreiro com vazão afluente de 39,7 m³/s e vazão efluente de 1,2 m³/s, para o período de retorno de 1000 anos, cujo comprimento é 50 m, com vazão específica de 0,02 m³/s, onde se observa, em princípio, que as vazões específicas são pequenas e não deverão causar maiores problemas de erodibilidade nos riachos receptores.

Foi adotado, para vertedouros de emergência, um comprimento de 45,0 m, para reservatórios localizados no trecho do canal com vazão de 28,0 m³/s e de 30,0 m, para reservatórios localizados no trecho onde a vazão de dimensionamento é de 18,0 m/s.

A cota da crista dos vertedouros, em todos os reservatórios deverá estar 0,5 m acima da cota do NAmáx normal do regime permanente dos mesmos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Todos os vertedouros foram projetados para funcionar como soleira livre e com uma carga máxima de 0,5 m, o que acarretará vazões específicas baixas, conforme indicadas anteriormente.

Os vertedouros foram concebidos, como sendo do tipo A e B, conforme o tipo de fundação da estrutura.

a) Vertedouro do Tipo A (Ver desenho EN.B/V.DS.ET.0804)

A fundação será em rocha alterada, dura ou mole, ou rocha sã, e a estrutura foi concebida como uma soleira de concreto com apoio na rocha.

Lateralmente o maciço será contido por muros de arrimo de concreto com contra fortes. Eventuais proteções com enrocamento serão realizadas somente em locais com solo exposto na superfície do terreno

b) Vertedouro do Tipo B (Ver desenho EN.B/V.DS.ET.0805)

Neste caso a estrutura vertente será análoga ao do tipo A, sendo acrescentados dispositivos para garantir a segurança quanto à erosão ou carreamento do solo de fundação.

Para segurança, quanto à percolação na fundação, será implantado sépto de concreto com 0,50 m de largura com 1,00 m de profundidade mínima, interceptando o solo de alteração até a rocha. Adicionalmente, será implantada uma laje de concreto a montante com 1,00 m de largura e 0,20 m de espessura.

A jusante da soleira vertente é prevista uma bacia de dissipação de concreto com 0,30 m de largura.

A jusante da bacia de dissipação, o solo de alteração será protegido com camada de enrocamento de 0,50 m de espessura ($D_{50}=0,30$ m), abaixo da qual serão executadas camadas de transição (areia, pedrisco e brita) com 0,20 m de espessura, cada uma delas, de maneira a evitar o carreamento do solo de fundação.