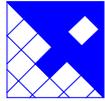




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



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 II – EIXO NORTE
R5 – BARRAGENS E VERTEDOUROS**



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

TRECHO II – EIXO NORTE R5 – 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, abril de 2001

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional; Trecho II – Eixo Norte – R5 – Barragens e Vertedouros. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2001. 51 p

1. Transposição de Águas
- I. Trecho II – Eixo Norte – R5 – Barragens e Vertedouros

CDU 556.5

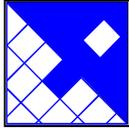
FUNCATE:

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

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 325 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/II.RF.GR.0005	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 II - EIXO NORTE
R5 - 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

Anibal Young Eléspuru: Chefe da Equipe de Hidráulica e Hidrologia

Giovanni Magnus Dantas Amaro – Engenheiro Civil
Rafael Guedes Valença – Engenheiro Civil
Sérgio Bianconcini – 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

Ricardo Carone: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

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
Ricardo Sanches – Desenhista
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
Juliana Cristina Ribeiro da Silva – Técnica 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



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R5 – BARRAGENS E VERTEDOUROS parte integrante do **Projeto Básico do Trecho II – Eixo Norte**, 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/SEPPE – celebrado entre o 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 II – Eixo Norte** compõe-se dos seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Sistemas de Adução e Geração nos Reservatórios Jati e Atalho
- R4 Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle
- R5 Barragens e Vertedouros
- R6 Bases Cartográficas
- R7 Sistema de Drenagem
- R8 Geologia e Geotecnia
- R9 Estudos Hidrológicos e Sedimentológicos
- R10 Sistemas de Supervisão, Controle e Telecomunicações
- R11 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R12 Sistema Elétrico
- R13 Canteiros e Sistema Viário
- R14 Cronograma e Orçamentos
- R15 Dossiê de Licitação
- R16 Memoriais de Cálculo
- R17 Caderno de Desenhos



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

ÍNDICE	PG
1 . OBJETO E OBJETIVO.....	1
2 . INTRODUÇÃO.....	1
3 . BARRAGENS.....	2
3.1 Classificação	2
3.1.1 Barragem Atalho	2
3.1.2 Dique dos Porcos.....	6
3.1.3 Barragem dos Porcos.....	8
3.1.4 Barragem Cana Brava.....	11
3.1.5 Barragem do Cipó	15
3.1.6 Barragem do Boi I	18
3.1.7 Barragem do Boi II	22
3.1.8 Barragem dos Morros.....	25
3.1.9 Dique dos Pereiros.....	28
3.1.10 Barragem Cuncas	31
3.1.11 Dique Cuncas.....	34
4 . VERTEDOUROS	35
4.1 Aspectos Hidráulicos.....	35
4.2 Reservatórios com Vertedouros de Passagem.....	36
4.2.1 Reservatório Atalho.....	36
4.2.2 Reservatório dos Porcos	36
4.2.3 Reservatório Cana Brava, do Cipó e do Boi	37
4.3 Reservatórios com Vertedouros de Segurança	37
4.3.1 Reservatório de Morros	37
4.3.2 Reservatório Cuncas.....	37
4.4 Interligação do Reservatório dos Porcos e Cana Brava.....	38
4.5 Aspectos Estruturais	38
4.5.1 Vertedouro dos Porcos.....	38
4.5.2 Vertedouros do Cipó, do Boi, de Morros e dos Pereiros.....	39



Transposição das 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. Seu objetivo é a descrição das barragens e vertedouros do Trecho II do Eixo Norte.

2 . INTRODUÇÃO

Os estudos de barragens e vertedouros têm uma importância fundamental neste Trecho II, pois, conforme descrito a seguir, foram modificados em relação à etapa anterior de estudos de viabilidade.

Dessas modificações três merecem destaque: a adaptação da barragem Atalho, a introdução de reservatórios na região do riacho dos Porcos e o reservatório de Morros, substituindo um trecho do canal.

Atalho

A revisão dos estudos hidrológicos na bacia do reservatório Atalho mostrou que a cheia correspondente ao período de retorno de 1000 anos deve elevar o nível máximo maximorum do reservatório para a cota 329,8, deixando uma borda livre de apenas 20 cm na barragem existente. Por esse motivo, adicionando-se ainda a sobrelevação devida ao efeito das máximas ondas prováveis, estabeleceu-se que a cota da barragem Atalho deverá ser elevada em 1,0 m, para a cota 431,0 m. Essa adaptação está considerada como um elemento do Projeto Básico do Trecho II.

Por outro lado, a alternativa de traçado com reservatórios a jusante de Atalho, fará com que o reservatório dos Porcos submirja parte do talude de jusante da Barragem Atalho. Nessa condição esse talude não é estável, pois os coeficientes de segurança ao deslizamento não atendem o critério de projeto.

Dessa forma, foi projetada uma berma de estabilização com 37,50m de largura, com crista situada na cota 404,00m, talude 1V:2H e aterro constituído por solo compactado.

Riacho dos Porcos

O traçado prévio dos canais nesse trecho se desenvolveria na meia encosta, em região de xisto, tendo como maior incidência o sistema de drenagem das bacias atravessadas pelo canal. Essa incidência refletia-se no custo, pois haveriam de ser construídos canais de drenagem e sistemas de travessia de magnitude compatível com o próprio canal de transposição. Os imponderáveis nessa solução também criaram relutâncias em sua aceitação.

As alternativas a esse traçado passaram pela utilização de barragens e túneis em traçados variados tendo sido aceita aquela que prevê a utilização de barragens na região do pé da encosta, como pode ser visto nos desenhos EN.B/II.DS.GT.0006 a 0013 do relatório 17 “Caderno de Desenhos”.

Foi criado um sistema de reservatórios interligados, desde o pé de jusante da barragem Atalho, eliminando da ordem de 17 km de canal, o reservatório Logradouro e os aquedutos Zé Joaquim e Cana Brava.

O sistema alternativo final foi concebido agrupando as seguintes estruturas, de montante para jusante: barramento no vale do Riacho dos Porcos, composto da barragem principal, dique auxiliar e um vertedouro de cheias.

A seguir existe uma ligação em canal com uma estrutura de controle com 3 comportas segmento, para o reservatório Cana Brava. A operação dessas comportas garantirá uma vazão máxima de 89 m³/s, evitando qualquer contribuição de cheias das bacias a montante.

O reservatório Cana Brava, por sua vez, recebe a vazão transposta e pode receber a cheia da bacia contribuinte. As águas da Transposição encaminhar-se-ão, então, para o reservatório do Cipó e em seguida para o do Boi, interligados por canais escavados em solo e rocha. Os estudos de condução



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

das enchentes através dos mesmos demonstraram que os três operam como se fossem um único reservatório.

Por razões topográficas e geológicas optou-se por dividir o vertedouro correspondente, de 530,00m de largura em dois segmentos de 430,0m e 100,0m, respectivamente, ao lado da barragem do Cipó e entre as barragens do Boi I e do Boi II, com uma carga máxima de 0,5m, coeficiente de descarga de 1,8, que permitirá a passagem da vazão de 340,0m³/s

A saída desse último reservatório para voltar ao canal é, mais uma vez, controlada por um conjunto de 4 comportas segmento que garantem que a vazão máxima aduzida ao canal seja de 89m³/s.

Região de Morros

A jusante do túnel Cuncas, região topograficamente mais adequada para o traçado do canal, impôs que seu desenvolvimento se desse pelo talvegue do córrego da Égua. A análise do traçado, agora com base topográfica mais adequada, nesta fase de Projeto Básico, indicou a necessidade de se criar uma extensa galeria evitando assim, um sistema de drenagem pluvial de alto custo. Além deste inconveniente procurou-se outros aspectos que pudessem reduzir o custo e a complexidade do projeto nesse trecho.

Finalmente, optou-se por formar um reservatório nesse vale, criando-se uma barragem na região da localidade de Morros de tal forma que o remanso praticamente atinja o desemboque do túnel. Dessa forma, o reservatório projetado eliminará 1.342 m de canal revestido, a galeria e todo o sistema de drenagem correspondente ao canal eliminado.

3 . BARRAGENS

3.1 Classificação

Ao longo do traçado do Trecho II - Eixo Norte, existirão 11 barramentos, onde 1 é existente (Atalho) e 10 a serem construídos.

Dos 10 barramentos, 1 será de compensação, 7 de passagem, 1 de passagem e derivação e 2 de compensação e derivação. A tabela 2.1 relaciona os barramentos e suas principais funções atribuídas.

3.1.1 Barragem Atalho

Atualmente, apresenta-se construída a barragem Atalho até a El.430,00 m. Trata-se de uma barragem de terra homogênea, formada por aterro argiloso compacto, com filtro vertical.

A posição em planta da barragem está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0037.

Na barragem Atalho deverão ser realizadas as seguintes obras para sua adaptação ao sistema adutor adotado.

- alteamento de 1,00m da cota da crista da barragem e do dique;
- implementação de uma berma de equilíbrio no talude a jusante da barragem.

3.1.1.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento são: Brejo Santo, Mauriti, Jati e Milagres.

3.1.1.2 Seção típica da barragem

O alteamento da barragem e do dique será realizado em seção homogênea, utilizando para sua construção os materiais argilosos existentes nas proximidades, tais como, solo residual de micaxisto, RAM (rocha alterada mole) e material do bota-fora existente na margem direita do riacho Jardim, entre estacas 19+800 e 19+900. Este bota-fora foi formado na época da construção da barragem, entre anos de 1990 e 1991.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Tabela 2.1

Barragem e Dique	Lot e	Localização Coordenadas N e E	Função
Barragem Atalho	4A	(9.155.406; 511.760); (9.155.330; 511.558)	Compensação.
Dique dos Porcos	4A	(9.161.298; 513.331); (9.16.1324; 513.132)	Passagem
Barragem dos Porcos	4A	(9.161.008; 514.943); (9.161.157; 513.736)	Passagem e derivação de 7m ³ /s para riacho dos Porcos
Barragem Cana Brava	4A	(9.162.146; 516.943); (9.161.045; 515.221)	Passagem
Barragem do Cipó	4A	(9.162.994; 517.371); (9.162.464; 516.996)	Passagem
Barragem do Boi I	4A	(9.164.354; 519.560); (9.163.455; 518.575)	Passagem
Barragem do Boi II	4A	(9.165.097; 520.797); (9.164.392; 519.657)	Passagem
Barragem de Morros	4B	(9.209.609; 544.166); (9.210.108; 544.204)	Passagem
Dique dos Pereiros	4B	(9.213.932; 543.926); (9.213.712; 543.869)	Passagem
Barragem Cuncas	4B	(9.214.262; 545.259); (9.215.052; 545.560)	Compensação e derivação de 50m ³ /s para rio Piranhas-Açu
Dique Cuncas	4B	(9.214.552; 537.772); (9.214.392; 537.644)	Compensação e derivação de 3m ³ /s para riacho Cuncas

Sob a berma de jusante será construída uma camada drenante (filtro sanduíche) constituída de duas camadas de areia sobrepostas e uma de pedrisco entre elas.

Para a construção destes alteamentos, o topo dos barramentos existentes deverão ser escavados em aproximadamente 1,00 m de altura, até a El.429,00.

3.1.1.3 Berma de estabilização

Sobre o talude de jusante e do enrocamento existente, na saída do filtro horizontal, será construída uma berma com 40,00m de largura na crista, cuja cota será 405,50m.

3.1.1.4 Proteção dos taludes

As proteções dos taludes de montante serão feitas com enrocamento proveniente das escavações obrigatórias do conjunto Tomada d'Água, Túnel e Casa de Força do Atalho.

Sob a camada de enrocamento será construída uma camada de transição com material proveniente do sistema de britagem.

Os taludes de jusante serão protegidos da seguinte forma:

- berma e dique: a proteção do talude de jusante da berma e do dique será feita através da construção de uma camada de enrocamento sobre uma outra de transição;
- barragem: a proteção do talude de jusante da barragem, implantada durante a construção da mesma consiste de plantio de vegetação (gramíneas) e de um sistema de canaletas



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

longitudinais sobre as bermas e de canaletas sobre o talude, inclinadas com relação a planos verticais ortogonais ao eixo do barramento.

A proteção com o plantio de vegetação perene não atingiu os seus objetivos, tendo em vista o clima semi-árido da região, e as freqüentes secas prolongadas.

A solução adotada, em vista da situação em que se encontram as canaletas existentes, será o revestimento de todo o talude, com pedras provenientes das escavações obrigatórias, principalmente da TA, Túnel e Casa de Força de Atalho.

As pedras serão assentes sobre uma camada de material granular fino, areia ou pedrisco, e os vazios entre os blocos serão reajustadas com material granular fino, produto do sistema de britagem.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0037. .

As dimensões das pedras e suas espessuras foram estabelecidas a partir de alturas de ondas estimadas em função do *fetch* efetivo e velocidades de ventos 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 do dique 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 berma, seção homogênea, foi prevista a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Nas ombreiras direita e esquerda, e no leito do riacho Jardim, 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 (aluvião).

3.1.1.6 Drenagem superficial

A crista da barragem, do dique e da berma, terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento da água para o reservatório ou canaleta.

O talude de jusante da barragem e do dique, trecho de alteamento e da berma, será protegido com material granular, enrocamento, na face externa, e transição fina no lado interno, produtos provenientes do sistema de britagem de rocha. Será implantado um sistema de canaletas revestidas de concreto, tanto na berma de jusante como nas saias dos aterros para a condução das águas para o vale do riacho Jardim.

A crista da berma será protegida com material granular com suficiente quantidade de material fino para proteção do aterro.

3.1.1.7 Materiais de construção

Solo – O aterro compactado do alteamento da barragem, em seção homogênea, e do alteamento do dique e da berma, será constituído por solo de alteração ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

Areia – As jazidas de areia pesquisadas se localizam essencialmente nas margens e no leito do riacho Verde. O volume cubado, para ser utilizado na construção da berma foi de 5.100 m³.

3.1.1.8 Ensaios de laboratórios

Foram efetuados ensaios de laboratório com amostras de solos, areias, material de fundação, empréstimos e jazidas.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os solos dos empréstimos e das jazidas foram ensaiados quanto à granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de Atterberg e compactação.

Nas areias, além dos ensaios de granulometria, foram realizados ensaios de permeabilidade a carga constante com compactidade relativa de 50%.

3.1.1.9 Análise de estabilidade da barragem

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa SSTAB desenvolvido na Universidade de Texas por Wright, que permite a pesquisa automática da superfície circular crítica, isto é, a de menor fator de segurança.

Para verificar a necessidade de reforço da Barragem Atalho, devido à submersão do pé da barragem pelo reservatório dos Porcos, foram realizadas análises de estabilidade nas seguintes condições:

- a) condição de operação original para aferição dos parâmetros de resistência, ou seja: considerando a barragem na condição existente;
- b) condição de operação com submersão do pé da barragem pelo reservatório de Porcos, sem execução do reforço;
- c) condição de operação com submersão do pé da barragem pelo reservatório dos Porcos, com execução da berma de reforço

Os parâmetros de resistência do maciço compactado foram adotados a partir de dois ensaios triaxiais do tipo adensado-rápido, utilizando-se corpos de prova moldados nas condições de umidade e densidade previstas para o aterro compactado da barragem.

Em termos de pressão efetiva, os parâmetros de resistência obtidos foram:

- 1 . coesão efetiva - $c' = 1,1 \text{ tf/m}^2$
- 2 . ângulo de atrito efetivo - $\varphi' = 31^\circ$
- 3 . densidade natural - $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

Para os demais materiais foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- solo de alteração da fundação

$$c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

$$\gamma_n = 2,05 \text{ tf/m}^3$$

- filtro de areia

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$\gamma_n = 1,95 \text{ tf/m}^3$$

- enrocamento de pé

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 42^\circ$$

$$\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$$

- enrocamento de proteção montante



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 42^\circ$$

$$\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$$

- Condição de operação atual

As análises de estabilidade foram realizadas obtendo-se, a favor da segurança, as pressões neutras de percolação a partir de linha piezométrica.

O fator de segurança mínimo encontrado foi de 1,323.

- Condição de operação com submersão do pé pelo reservatório dos Porcos, sem execução do reforço

Nesta condição foi admitido um nível d'água de jusante na cota 404,46 m correspondente ao nível d'água do reservatório de Porcos.

A saturação do pé da barragem provocou um decréscimo significativo no fator de segurança mínimo, obtendo-se 1,162.

Esta condição evidencia a necessidade de execução de reforço no pé da barragem para atender aos critérios de projeto.

- Condição de operação com submersão do pé da barragem pelo reservatório dos Porcos com execução da berma de reforço.

Inicialmente foi estudada uma berma com 32,50m de largura com crista na cota 404,00 talude 1V:1H, constituída por enrocamento, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,496. Foi verificada também a alternativa de execução da berma com solo compactado, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,483.

Finalmente verificou-se a condição de berma com 37,50m de largura com crista situada na cota 405,30m, talude 1V:2H e material da berma constituído por solo compactado, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,743, atendendo-se assim o critério de projeto para a condição de funcionamento, ou seja, superior a 1,50.

Na implantação do projeto de reforço, a largura da berma foi arredondada para 40,00m, resultando, portanto, um fator de segurança mais elevado do que o mencionado acima.

3.1.1.10 Manejo das águas e etapas de construção

Durante a construção da berma será deixada livre a saída da válvula existente na barragem. Após a desativação do sistema de derivação atualmente em operação, os dois condutos forçados de aço (\varnothing 0,90m) serão obstruídos com concreto e injeções de calda de cimento, em toda extensão do trecho embutido na fundação da barragem. Após a desativação, a berma será completada.

3.1.2 Dique dos Porcos

O dique de terra dos Porcos encontra-se inserido entre duas selas rochosas e faz parte do fechamento do reservatório dos Porcos, juntamente com a barragem e o vertedouro.

A posição em planta do dique dos Porcos está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0039.

3.1.2.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento são: Brejo Santo, Mauriti, Jatí e Milagres.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.2.2 Seção típica da barragem

A seção típica do dique é homogênea, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção será construída em solo residual de micaxisto ou argila aluvionar ou silte argiloso da formação Brejo Santo.

3.1.2.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por filtro vertical e camada horizontal drenante, constituída de areia e ou pedrisco, com espessura de 0,50m, e o filtro constituído de areia, com espessura de 0,60m.

A vazão captada pelo filtro vertical é a água que percola o maciço compactado.

A vazão que irá percolar pelo filtro horizontal é proveniente do filtro vertical e mais aquela que percola pelas camadas das fundações e as ombreiras.

3.1.2.4 Proteção dos taludes

As proteções de taludes a montante e a jusante, serão feitas com enrocamento proveniente de pedreiras ou das escavações obrigatórias. Estas serão assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

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

As dimensões dos blocos de pedras e as espessuras das camadas foram obtidas a partir de altura de onda estimada em função do *fetch* efetivo e da velocidade do vento considerada 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 do dique, seção homogênea, foi prevista a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes.

Como tratamento de fundação, está prevista a 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/II.DS.GT.0040) em 10,0m.

Está prevista a execução de drenos ou poços de alívio, para diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante do dique (desenho EN.B/II.DS.GT.0039).

3.1.2.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento das águas pluviais 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 de enrocamento na face externa, e transição fina no lado interno, provenientes do sistema de britagem de rocha.

Serão implantadas canaletas revestidas de concreto ao longo da saia de jusante do dique para conduzir as águas das chuvas e águas do filtro horizontal para o fundo do vale.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.2.7 Materiais de construção

O aterro compactado da barragem em seção homogênea será constituído de solo residual, 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/II.DS.GT.0074)

A areia será obtida de jazidas naturais existentes no vale do riacho Verde e riacho dos Porcos.

3.1.2.8 Ensaio de laboratórios

Foram efetuados ensaios de laboratório com amostras de solos e areias de fundação, materiais de areias de empréstimos e jazidas.

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.

Além dos ensaios de granulometria por 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 Barragem dos Porcos

A posição em planta da barragem dos Porcos está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0039.

Esta barragem, do tipo homogênea, apresenta-se dividida em dois trechos, entre os quais encontra-se implantado o vertedouro dos Porcos e dois muros de abraço.

3.1.3.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Brejo Santo, com 22.587 habitantes, Mauriti, com 18.072 habitantes, Jatí com 3.010 habitantes e Milagres, com 11.279 habitantes.

3.1.3.2 Seção típica da barragem

A seção típica da barragem é homogênea, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção homogênea será construída em solo residual de micaxisto, ou silte argiloso da formação Brejo Santo, ou argila aluvionar.

3.1.3.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento é constituído por uma parede vertical e camada horizontal drenantes. A primeira, constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a segunda, constituída de areia e pedrisco.

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, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.GT.0039. A planta do filtro horizontal e a localização dos medidores de



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

vazões captadas pelos filtros vertical e horizontal de trechos da barragem, estão apresentadas nesse desenho.

As vazões captadas pelo filtro vertical são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões que irão percolar através do filtro horizontal são provenientes do filtro vertical 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 constituídas por enrocamento, proveniente de pedreiras ou blocos de rocha provenientes das escavações obrigatórias, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

A proteção do talude de montante estende-se desde a crista, até 2 m 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 indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0039

As dimensões dos blocos de pedras e as espessuras das camadas 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 da granulometria dos solos do maciço do aterro compactado.

As dimensões das pedras de 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 da barragem, foi prevista a retirada da camada de solo superficial que contém material orgânico, troncos e raízes.

Está prevista 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/II.DS.GT.0039)

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. (desenho EN.B/II.DS.GT.0039). Serão implantadas canaletas de drenagem revestidas de concreto ao longo da saída de jusante do barramento para condução das águas das chuvas e de percolação pela barragem para o ponto mais baixo do vale.

3.1.3.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço e da fundação da barragem será 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 (EN.B/II.DS.GT.0039)

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/II.DS.GT.0039).



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.3.8 Materiais de construção

O aterro compactado da barragem, em seção homogênea, será constituído por solo residual de micaxisto, silte argiloso da formação Brejo Santo ou 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 ou a jusante do barramento (desenho EN.B/II.DS.GT.0074).

As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho Verde e riacho Porcos. O volume cubado, para ser utilizado na barragem foi estimado em 90750 m³.

O pedrisco será obtido à partir da britagem de rochas de pedreiras (granito-gnaiss) localizadas próximo da barragem dos Porcos).

3.1.3.9 Ensaios de laboratórios

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.

Nas areias além dos ensaios de granulometria por 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 pressões de poro.

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 pressões de poro e permeabilidade submetidas a carga variável.

3.1.3.10 Análise de estabilidade da barragem

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

• Coesão efetiva - $c' = 2,0 \text{ tf/m}^2$

• Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 30^\circ$

• Densidade natural - $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$

- Filtro de areia

▪ $c' = 0$



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- $\varphi' = 30$
- $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$
- Transição
- $c' = 0$
- $\varphi' = 35^\circ$
- $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$
- Solo de fundação
- $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$
- $\varphi' = 26^\circ$
- $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

Foram realizadas análises de estabilidade em regime permanente admitindo pressões neutras de percolação obtidas, a favor da segurança, a partir de linha piezométrica, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,46.

Apesar de não atender aos critérios de projeto ($F_s > 1,50$) este valor pode ser considerado aceitável face às hipóteses pessimistas adotadas de pressão neutra e parâmetros de resistência.

3.1.3.11 Estudo de percolação

O estudo de percolação pela fundação e pelo maciço da barragem foi realizado considerando a condição de regime permanente, cota do NA normal correspondente. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.3.12 Manejo das águas e etapas de construção

A barragem e o vertedor serão construídos em vale relativamente plano, com o riacho dos Porcos encaixado, havendo passagem de água no período de chuvas. Fora da temporada de chuvas, haverá escoamento d'água proveniente das válvulas dispersoras existentes na barragem de Atalho. No período de chuvas poderá haver enchentes provocadas pelas cheias dos riachos existentes a jusante do barramento Atalho.

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.

3.1.4 Barragem Cana Brava

A posição em planta da barragem Cana Brava está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0042.

3.1.4.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Brejo Santo, com 22.587 habitantes, Jati, com 3.010 habitantes, Mauriti 18.072 habitantes e Milagres, 11.279 habitantes.

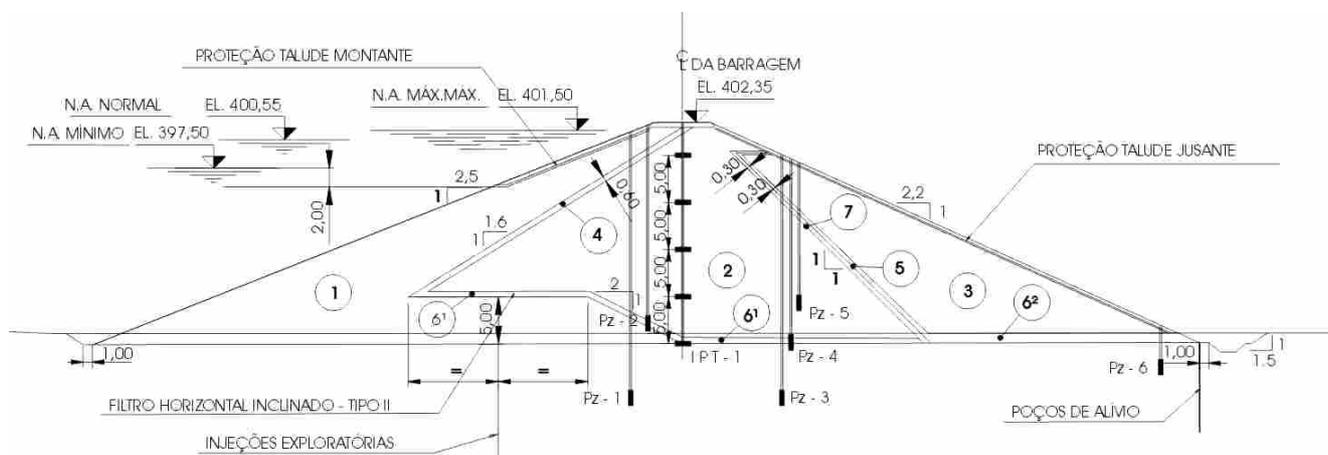
3.1.4.2 Seção típica da barragem

A seção típica da barragem é zoneada e definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e parte deles provenientes das escavações obrigatórias. A região à montante e sobre a fundação a seção é constituída de aterro compactado com solo argiloso. A região central é constituída de solo arenoso, solo residual de arenito e arenito brando compactado. A porção do



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

talude à jusante será constituída de enrocamento de arenito silicificado compactado, conforme pode ser observado na Figura 1 – Barragem Cana Brava.



LEGENDA:

- | | |
|---|--|
| 1 MACIÇO IMPERMEÁVEL (SILTE ARGILOSO OU ARGILO-ARENOSO, SOLO RESIDUAL DE SILTITOS, ARGILITOS E ARENITOS DA FORMAÇÃO BREJO SANTO COMPACTADO) | 5 TRANSIÇÃO MÉDIA A GROSSA - MATERIAL PRODUTO DA BRITAGEM DE ROCHA SÁ |
| 2 ATERRO COMPACTADO - SOLO RESIDUAL DE ARENITO OU ARENITO BRANDO COMPACTADO | 6' FILTRO/DRENO SANDUÍCHE DE AREIA MÉDIA A GROSSA E PEDRISCO, NA PARTE CENTRAL |
| 3 ENROCAMENTO COMPACTADO - ARENITO SÃO | 6 ^a TRANSIÇÃO GROSSA, MATERIAL PRODUTO DA BRITAGEM DE ROCHA SÁ |
| 4 FILTRO INCLINADO, AREIA MÉDIA A GROSSA E OU PEDRISCO COMPACTADO | 7 TRANSIÇÃO FINA, AREIA MÉDIA OU PEDRISCO COM FINOS |

Figura 1 – Barragem Cana Brava

3.1.4.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por camada inclinada e camada horizontal drenante. A primeira é constituída de areia e ou pedrisco, com espessuras de 0,60m, e a Segunda é constituída de areia e pedrisco (Tipo II), com espessura total de 0,60m.

Nas camadas sobrepostas de areia e pedrisco as areias estarão ocupando as camadas inferior e superior, com o pedrisco ocupando a camada do meio. (desenho EN.B/II.DS.GT.0042).

A vazão, captada pelo filtro inclinado, é aquela água que percola através do maciço compactado.

As vazões que irão percolar através dos filtros horizontais são provenientes do filtro inclinado mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e as ombreiras.

3.1.4.4 Proteção dos taludes

A proteção do talude de montante será com enrocamento, provenientes de pedreiras ou das escavações obrigatórias, assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

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

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados estão indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0042.

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.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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

3.1.4.5 Escavação e tratamento de fundação

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

Está prevista 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/II.DS.GT.0043).

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. Ao longo da saia de jusante do barramento serão implantadas canaletas de drenagem revestidas de concreto, para condução das águas das chuvas e das percolações pela estrutura e fundações do barramento para a região mais baixa do vale.

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. (desenho EN.B/II.DS.GT.0042).

3.1.4.8 Materiais de construção

O aterro argiloso compactado da barragem, seção zoneada, será constituído por solo residual de micaxisto, ou silte argiloso da formação Brejo Santo ou solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

O aterro compactado da região central será constituído de solo residual ou arenito brando compactado.

A porção jusante da seção do barramento será constituída de enrocamento de arenito são, silicificado, compactado.

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório e a jusante da barragem (desenho EN.B/II.DS.GT.0074).

As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho dos Porcos. O volume cubado, para ser utilizado na barragem Cana Brava, foi de 138.590 m³.

3.1.4.9 Ensaios de laboratório

Foram realizados ensaios de laboratório de solos e areias de fundação, materiais de empréstimos e jazidas.

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.

Além dos ensaios de granulometria por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade para uma determinada compacidade relativa, submetidas à carga constante.

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

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



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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

3.1.4.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

▪ Coesão efetiva - $c' = 1,1 \text{ tf/m}^2$

▪ Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 31^\circ$

▪ Densidade natural - $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$

- Filtro de areia

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 30^\circ$

▪ $\gamma_n = 1,95 \text{ tf/m}^3$

- Transição

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 35^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

- Solo de fundação

▪ $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$

▪ $\varphi = \text{variável}$

▪ $\gamma_n = 2,05 \text{ tf/m}^3$

Foram realizados cálculos preliminares com o nível d'água de montante na cota 403,96m e com as pressões neutras obtidas a partir de linha piezométrica estabelecida a favor da segurança.

As hipóteses admitidas e os fatores de segurança mínimos obtidos são apresentados na tabela abaixo:



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Talude de Jusante	Ângulo de atrito da fundação	Fator de segurança mínimo
1V:2,2 H	26	1,515
1V:2H	25	1,428
1V:2H	29	1,523

O estudo foi complementado com nível d'água do reservatório na cota 404,46m, talude de jusante 1V:2,2H e ângulo de atrito da fundação igual a 25°, obtendo fator de segurança mínimo de 1,529.

Em função de otimizações posteriores do projeto hidráulico o NA Max. Maximorum foi estabelecido em 401,50 m, portanto 3,00 m abaixo do valor admitido nos estudos, resultando em fatores de segurança reais acima dos valores encontrados nos estudos.

3.1.4.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando 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.

3.1.4.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem Cana Brava, que será construída em local de topografia pouco acidentada, havendo passagem de água somente na temporada de chuvas nos vales dos pequenos riachos existentes. Fora da temporada de chuvas dificilmente acontecerá a passagem de água nestes vales normalmente secos.

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.

3.1.5 Barragem do Cipó

A posição em planta da barragem de Cipó está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0045.

3.1.5.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Brejo Santo, com 22.587 habitantes, Mauriti, com 18.072 habitantes, Jatí, com 3.010 habitantes e Milagres, com 11.279 habitantes.

3.1.5.2 Seção típica da barragem

A seção típica da barragem é zoneada definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A região do talude de montante e a porção sobre a fundação, a montante do eixo do barramento, serão constituídas de aterro compactado argiloso. A região central é constituída de aterro compactado arenoso e a porção a jusante da seção é constituída de maciço de enrocamento compactado.

3.1.5.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por uma camada inclinada e camadas horizontais drenantes. A primeira é constituída de areia ou pedrisco, com espessuras de 0,60m, a segunda, constituída de camadas de areia, pedrisco e areia (Tipo II), com espessura total de 0,60m.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Nos filtros horizontais, as areias ocuparão as camadas inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada central, (desenho EN.B/II.DS.GT.0045).

A camada drenante sob o maciço de enrocamento compactado será constituída de enrocamento fino e limpo.

As vazões, que irão percolar através das camadas drenantes horizontais, são provenientes da camada drenante inclinada mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e pelas ombreiras.

3.1.5.4 Proteção dos taludes

A proteção de talude a montante será constituído de enrocamento, provenientes de pedreiras ou das escavações obrigatórias, assentes em uma camada de transição constituída de material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

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

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados no talude de montante estão indicadas no desenho EN.B/II.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.

3.1.5.5 Escavação e tratamento de fundação

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

Para o tratamento de fundação está prevista a injeção exploratória com calda de cimento, com direção do furo a ser estabelecida por critério geológico, com profundidade estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/II.DS.GT.0046).

Está prevista 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/II.DS.GT.0045).

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. Serão implantadas canaletas de drenagem, revestidas com concreto na saia do talude de jusante da barragem, para condução das águas das chuvas e percolação pela barragem para os pontos mais baixos do vale.

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 e do maciço compactado, marcos de recalques superficiais (desenho EN.B/II.DS.GT.0045)

3.1.5.8 Materiais de construção

O aterro compactado da porção situada a montante e sobre a fundação, será constituído de solo residual de micaxisto, silte argiloso da formação Brejo Santo ou argila aluvionar.

O aterro compactado da região central da seção será constituído de solo residual de arenito ou arenito brando, provenientes das escavações obrigatórias. A região de jusante da seção será constituída de enrocamento de arenito são e silicificado, também das escavações obrigatórias.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório ou à jusante da estrutura de barramento (desenho EN.B/II.DS.GT.0074).

As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco do riacho dos Porcos. O volume cubado e estimado, para ser utilizado na barragem do Cipó, foi de 34.400 m³.

3.1.5.9 Ensaios de laboratórios

Foram realizados os seguintes ensaios de laboratório nos solos de empréstimo: granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Além dos ensaios de granulometria por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, a carga constante para compactidade relativa, de 50%.

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

Os solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*). Com os corpos de provas talhados de blocos indeformados da fundação 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 da barragem

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

▪ Coesão efetiva - $c' = 1,1 \text{ tf/m}^2$

▪ Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 31^\circ$

▪ Densidade natural - $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$

- Filtro de areia

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 30^\circ$

▪ $\gamma_n = 1,95 \text{ tf/m}^3$

- Transição

▪ $c' = 0$



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- $\varphi' = 35^\circ$
- $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$
- Solo de fundação
- $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$
- $\varphi' = \text{variável}$
- $\gamma_n = 2,05 \text{ tf/m}^3$

Foram realizados cálculos preliminares com o nível d'água de montante na cota 403,96m e com as pressões neutras obtidas a partir de linha piezométrica estabelecida a favor da segurança.

As hipóteses admitidas e os fatores de segurança mínimos obtidos são apresentados na tabela abaixo:

Talude de Jusante	Ângulo de atrito da fundação ($^\circ$)	Fator de segurança mínimo
1V:2,2 H	26	1,515
1V:2H	25	1,428
1V:2H	29	1,523

O estudo foi complementado com nível d'água do reservatório na cota 404,46m, talude de jusante 1V:2,2H e ângulo de atrito da fundação igual a 25° , obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,529.

Em função de otimizações do projeto hidráulico o NA Max. Maximorum foi estabelecido em 401,50 m, portanto 3,00 m abaixo do valor admitido nos estudos, resultando em fatores de segurança reais acima dos valores encontrados nos estudos.

3.1.5.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço da barragem, foram realizados considerando a condição de regime permanente. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.

3.1.5.12 Manejo das águas e etapas de construção

A barragem do Cipó será construída sobre um vale relativamente suave e pequeno, atravessado por um riacho, com passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, o riacho deve apresenta-se normalmente seco.

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

3.1.6 Barragem do Boi I

A situação em planta da barragem do Boi I está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0048.

3.1.6.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Brejo Santo, com 22.587 habitantes, Mauriti, com 18.072 habitantes, Jatí com 3.010 habitantes e Milagres, com 11.279 habitantes.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.6.2 Seção típica da barragem

A seção típica desta barragem é zoneada, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

3.1.6.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento é constituído por uma camada drenante inclinada e por camadas horizontais drenantes. A primeira é constituída de areia ou pedrisco, com espessuras de 0,60m, e a segunda é constituída por camadas de areia e pedrisco, com espessura total de 0,60m. Nos filtros horizontais as areias estarão nas camadas inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada central (desenho EN.B/II.DS.GT.0048).

As vazões, que irão percolar através dos filtros horizontais, serão provenientes do filtro inclinado mais aquelas que percolam pelas camadas das fundações e das ombreiras.

3.1.6.4 Proteção dos taludes

A proteção de talude a montante será feita com enrocamento, proveniente de pedreiras ou das escavações obrigatórias, e será assente sobre uma camada de transição constituída de material proveniente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existentes nas proximidades.

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

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0048.

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 da granulometria dos solos do maciço de aterro compactado.

3.1.6.5 Escavação e tratamento de fundação

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

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

Está prevista 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/II.DS.GT.0048).

3.1.6.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento das águas pluviais para o reservatório. Ao longo do pé de jusante será construída uma canaleta revestida com concreto conduzindo a água para o ponto mais baixo do vale.

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 e maciço compactado, marcos de recalques superficiais (desenho EN.B/II.DS.GT.0048).



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.6.8 Materiais de construção

O aterro compactado situado a montante do eixo da barragem e sobre a fundação será constituído por solo residual de micaxisto ou silte argiloso da formação Brejo Santo, ou depósito aluvionar, ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito).

O aterro compactado da região central da seção será constituído de com solo residual de arenito ou arenito brando, ambos das escavações obrigatórias, compactado. A região jusante da seção será constituída de enrocamento de arenito são e silicificado compactado, também proveniente das escavações obrigatórias.

Os empréstimos pesquisados, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório ou em empréstimos situados à jusante do barramento (desenho EN.B/II.DS.GT.0074).

As jazidas de areia pesquisadas localizam-se no leito e nas margens do riacho Porcos. O volume cubado, para ser utilizado na barragem do Boi I, foi de 103.000 m³.

3.1.6.9 Ensaios de laboratórios

Foram realizados os seguintes ensaios de laboratórios nos solos de empréstimo: granulometria, com ou sem ensaio de sedimentação, limites de *Atterberg*, compactação, permeabilidade a carga variável e umidade natural.

Para as areias foram realizados ensaios de granulometria, por peneiramento, densidade máxima e mínima e ensaios de permeabilidade, a carga constante para uma compacidade relativa, de 50%.

Foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de pressões neutras em amostras moldadas das áreas de empréstimo de solo.

Foram realizados ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*) nos solos de fundação. Sobre corpos de provas talhados de blocos indeformados da fundação foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas das pressões neutras e permeabilidade à carga variável.

3.1.6.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

• Coesão efetiva - $c' = 2,0 \text{ tf/m}^2$

• Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 30^\circ$

• Densidade natural - $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$

- Filtro de areia



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- $c' = 0$
- $\varphi' = 30^\circ$
- $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$
- Transição
- $c' = 0$
- $\varphi' = 35^\circ$
- $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$
- Solo de fundação
- $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$
- $\varphi' = 26^\circ$
- $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

Foram realizadas análises de estabilidade em regime permanente admitindo pressões neutras de percolação obtidas, a favor da segurança, a partir de linha piezométrica, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,46.

Apesar de não atender aos critérios de projeto ($F_s > 1,50$) este valor pode ser considerado aceitável face às hipóteses pessimistas adotadas de pressão neutra e parâmetros de resistência.

Talude de Jusante	Ângulo de atrito da fundação	Fator de segurança mínimo
1V:2,2 H	26	1,515
1V:2H	25	1,428
1V:2H	29	1,523

O estudo foi complementado com nível d'água do reservatório na cota 404,46m, talude de jusante 1V:2,2H e ângulo de atrito da fundação igual a 25° , obtendo fator de segurança mínimo de 1,529.

Em função de otimizações do projeto hidráulico o NA Max. Maximorum foi estabelecido em 401,50m, portanto cerca de 3,00m abaixo do valor admitido nos estudos, resultando em fatores de segurança reais acima dos valores encontrados no estudo.

3.1.6.11 Estudo de percolação

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

3.1.6.12 Manejo das águas e etapas de construção

A barragem do Boi I será construída em vale amplo e ondulado, com passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas o riacho deve apresentar-se seco.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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.

3.1.7 Barragem do Boi II

A posição em planta da Barragem do Boi II está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0050.

3.1.7.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Brejo Santo, com 22587 habitantes, Mauriti, com 18072 habitantes, Jatí, com 3010 habitantes e Milagres, com 11279 habitantes.

3.1.7.2 Seção típica da barragem

A seção típica da barragem é homogênea e definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção homogênea é constituída de solo residual de micaxisto, silte argiloso da formação Brejo Santo, ou argila aluvionar, ou RAM (rocha alterada mole) e solo saprolítico.

3.1.7.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por filtro vertical e camada horizontal drenante. A primeira, constituída de areia ou pedrisco, com espessuras de 0,60m, a Segunda, constituída por camadas de areia e pedrisco (Tipo II).

No filtro horizontal, as areias estarão nas camadas inferior e superior, com o pedrisco ocupando a camada do centro (desenho EN.B/II.DS.GT.0050).

A planta do filtro horizontal e a localização dos medidores de vazões captadas pelos filtros vertical e horizontal de trechos da barragem estão apresentados no desenho EN.B/II.DS.GT.0050.

As vazões captadas pelo filtro vertical são provenientes do maciço compactado.

As vazões que irão percolar pelo filtro horizontal são provenientes do filtro vertical 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, proveniente de pedreiras ou das escavações obrigatórias, assentes sobre uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

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 indicadas nos desenhos EN.B/II.DS.GT.0050.

As dimensões dos blocos de pedra 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 dos blocos de pedra 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 de jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.7.5 Escavação e tratamento de fundação

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

Como tratamento de fundação, está prevista a 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/II.DS.GT.0051) 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. Ao longo do pé da saia de jusante da barragem serão implantadas canaletas de drenagem revestidas de concreto para condução das águas de chuvas e águas de percolação pelo barramento.

3.1.7.7 Instrumentação

O sistema de auscultação do comportamento do maciço da barragem e da fundação 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/II.DS.GT.0050).

3.1.7.8 Materiais de construção

O aterro compactado da barragem, em seção homogênea será constituído por coluvião, solo residual de micaxisto, silte argiloso da formação Brejo Santo, 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/II.DS.GT.0074).

As jazidas de areia pesquisadas se localizam na margem direita do riacho dos Porcos na estrada que liga as localidades de Cachoeirinha e Palestina. O volume calculado, para ser utilizado na barragem, foi de 77600 m³.

3.1.7.9 Ensaios de laboratórios

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

Para as areias, além dos ensaios de granulometria por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade, para uma determinada compacidade relativa, submetidas à carga constante.

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

Com relação aos solos das fundações das barragens foram feitos ensaios de caracterização completa, ou seja, granulometria e limites de *Atterberg*.

Com relação aos corpos de provas retirados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas pressões de poro e permeabilidade submetidas à carga variável.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.7.10 Análise de estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando-se o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

• Coesão efetiva - $c' = 2,0 \text{ tf/m}^2$

• Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 30^\circ$

• Densidade natural - $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$

- Filtro de areia

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 30^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$

- Transição

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 35^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

- Solo de fundação

▪ $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$

▪ $\varphi' = 26^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

Foram realizadas análises de estabilidade em regime permanente admitindo pressões neutras de percolação obtidas, a favor da segurança, a partir de linha piezométrica, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,46.

Apesar de não atender aos critérios de projeto ($F_s > 1,50$) este valor pode ser considerado aceitável face às hipóteses pessimistas adotadas de pressão neutra e parâmetros de resistência.

3.1.7.11 Estudo de percolação

Os estudos de percolação, pela fundação e pelo maciço do dique, foram realizados considerando a condição de regime permanente, cota do NA correspondente à normal. O programa utilizado foi SEEP/W420 desenvolvido pela Geo-Slope.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.7.12 Manejo das águas e etapas de construção

Na Barragem do Boi II, que será construída em vale relativamente grande, haverá passagem de água pelo vale somente na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, dificilmente ocorrerá a passagem d' água neste vale que normalmente apresenta-se 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.

3.1.8 Barragem dos Morros

A posição em planta da Barragem dos Morros está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0061.

3.1.8.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Cajazeiras (PB) com 41.958 habitantes, e São José das Piranhas (PB), com 8.116 habitantes.

3.1.8.2 Seção típica da barragem

A seção típica da barragem é homogênea, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção de empréstimos ou das escavações obrigatórias e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção, homogênea, será constituída de solo residual de xistos e metassedimentos ou argila aluvionar.

3.1.8.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por filtro vertical e horizontal. O filtro horizontal é constituído de areia e pedrisco (Tipo II), com espessuras totais de 0,60m.

No filtro horizontal as camadas de areias estarão na parte inferior e superior com pedrisco ocupando a camada central, assim como o tubo dreno (desenho EN.B/II.DS.GT. 0061).

A planta do filtro horizontal e a localização dos medidores de vazões captadas pelos filtros verticais e horizontais, de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0061.

As vazões que irão percolar através dos filtros horizontais são provenientes do filtro vertical 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 em enrocamento proveniente de pedreiras ou de escavações obrigatórias, assente sobre uma camada de transição de material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

A proteção do talude de montante estende-se da crista até 2 m abaixo do NA mínimo. 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 indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0061.

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 dos materiais 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 dos blocos de pedras da proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.8.5 Escavação e tratamento de fundação

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

Na região da seção central em toda extensão, será escavada uma trincheira exploratória, para investigação complementar e de vedação conforme desenho EN.B/II.DS.GT.0062.

Como tratamento de fundação, está prevista uma cortina de injeção exploratória com calda de cimento, direção do furo estabelecida por critério geológico. A profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/II.DS.GT.0062), variando de 10 a 15 m.

Está prevista 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/II.DS.GT.0061).

3.1.8.6 Drenagem superficial

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

O talude de jusante da barragem 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, (desenho EN.B/II.DS.GT.0061). Ao longo da saída de jusante da barragem, serão implantadas canaletas de drenagem revestidas de concreto, para condução de águas das chuvas e de percolação pelo barramento até as regiões mais baixas do terreno.

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 horizontal, medidores de recalques da fundação e maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores da vazão proveniente do sistema de drenagem interna (filtro vertical e horizontal) desenho EN.B/II.DS.GT.0061.

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/II.DS.GT.0061).

3.1.8.8 Materiais de construção

O aterro compactado da barragem em seção homogênea será constituído de solo residual de xistos e metassedimentos, solo de depósito aluvionar ou RAM (rocha alterada mole ou saprolito). Estes materiais serão provenientes das escavações obrigatórias do canal dos Morros.

Os empréstimos pesquisados para uma eventual necessidade, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizados na área do futuro reservatório (desenho EN.B/II.DS.GT.0075).

As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco dos riachos, afluentes do rio Piranhas-Açu. O volume calculado, para ser utilizado na barragem de Morros, foi de 11.200m³.

3.1.8.9 Ensaio de laboratórios

Os solos, das áreas de 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.

Para as areias além dos ensaios de granulometria, por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade a carga constante para compactidade relativa, de 50%.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas de pressões neutras em amostra das áreas de empréstimo.

Para os solos das fundações das barragens foram submetidos a ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Para os corpos de provas talhados 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 foram realizadas utilizando o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

• Coesão efetiva - $c' = 1,1 \text{ tf/m}^2$

• Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 31^\circ$

• Densidade natural - $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento de proteção

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$ (montante) e $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$ (jusante)

- Filtro de areia

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 35^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Solo de fundação

▪ $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$

▪ $\varphi' = 26^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

Foram realizadas análises de estabilidade em regime permanente admitindo pressões neutras de percolação obtidas, a favor da segurança, a partir de linha piezométrica, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,737 para o talude de jusante.

3.1.8.11 Manejo das águas e etapas de construção

A barragem de Morros, que será construída em vale relativamente amplo, onde haverá passagem de água na temporada de chuvas. Fora da temporada de chuvas, uma pequena vazão poderá ocorrer no leito do vale, proveniente de açudes existentes neste riacho e nos



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

riachos afluentes. Os açudes existentes ao longo do Canal de Morros serão desativados para a construção do referido canal de adução.

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

3.1.9 Dique dos Pereiros

A posição em planta do dique dos Pereiros está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0067.

3.1.9.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Cajazeiras, com 41.958 habitantes, e São José das Piranhas, com 8.116 habitantes.

3.1.9.2 Seção típica da barragem

A seção típica do dique é homogênea, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção homogênea será constituída de solo residual de gnaiss ou xistos, ou coluvios, ou argila aluvionar (desenho EN.B/II.DS.GT.0067)

3.1.9.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por filtro vertical e camada horizontal drenante. A primeira, constituída de areia ou pedrisco, com espessuras de 0,50m, e a segunda, constituída por camadas de areia e pedrisco (Tipo II).

No filtro horizontal, as areias estarão nas camadas inferior e superior, com pedrisco ocupando a camada central (desenho EN.B/II.DS.GT.0067).

A planta do filtro horizontal e a localização dos medidores das vazões captadas pelos filtros vertical e horizontal, de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/IV.DS.GT.

As vazões captadas pelo filtro vertical são aquelas águas que percolam o maciço compactado.

As vazões que irão percolar através do filtro horizontal são provenientes do filtro vertical 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 feitas com enrocamento, provenientes de pedreiras ou de escavações obrigatórias e assentes em uma camada de transição, material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

A proteção do talude de montante estende-se da crista até 2,0m abaixo do NA mínimo. 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 indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0067.

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

As dimensões dos materiais 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 dos blocos de proteção do talude a jusante foram determinadas considerando as chuvas que irão incidir sobre o maciço de aterro compactado.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.9.5 Escavação e tratamento de fundação

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

Como tratamento de fundação, está prevista uma cortina de injeções com calda de cimento, cuja direção do furo será estabelecida pelo critério geológico. A profundidade desta cortina foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/II.DS.GT.0070), variando entre 10,00m a 15,00m.

Está prevista a execução de drenos, ou poços de alívio, tendo por finalidade a diminuição da sub-pressão, na fundação sob o talude de jusante da barragem (desenho EN.B/II.DS.GT.0067).

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 (desenho EN.B/II.DS.GT.0067). Serão implantadas canaletas de drenagem ao longo da saia de jusante do dique, canaletas revestidas com concreto para conduzir as águas das chuvas e as águas de percolação, conduzindo-as até pontos mais baixos.

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 recalques da fundação e do maciço compactado, marcos de recalques superficiais e medidores de vazão das águas provenientes do sistema de filtro vertical e horizontal, (desenho EN.B/II.DS.GT.0067).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/II.DS.GT. 0067).

3.1.9.8 Materiais de construção

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

As áreas de empréstimos pesquisadas, cujos volumes disponíveis foram avaliados, estão localizadas na área do futuro reservatório (desenho EN.B/II.DS.GT.0075).

As jazidas de areia pesquisadas localizam-se nos leitos normalmente secos dos riachos que constituem os afluentes do rio Piranhas-Açu, nas suas cabeceiras. O volume calculado, para ser utilizado no Dique Pereiros, foi de 5.000 m³.

3.1.9.9 Ensaios de laboratórios

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.

Para as areias, além dos ensaios de granulometria, por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade a carga constante para as compacidades relativas, de 50%.

Foram realizados, ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medida de pressões neutras em corpos de prova moldados de amostras das áreas de empréstimo.

Para os solos das fundações das barragens foram submetidos a ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Para os corpos de provas talhados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de pressões neutras e permeabilidade a carga viável.

3.1.9.10 Análise de Estabilidade

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando o programa SSTAB que efetua a pesquisa automática da superfície circular crítica. Este programa foi desenvolvido na Universidade do Texas por Wright.

- Foram admitidos os seguintes parâmetros de resistência:

- Maciço compactado

• Coesão efetiva - $c' = 1,1 \text{ tf/m}^2$

• Ângulo de atrito efetivo - $\varphi = 31^\circ$

• Densidade natural - $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Enrocamento de proteção

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 42^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$ (enrocamento montante)

▪ $\gamma_n = 2,00 \text{ tf/m}^3$ (enrocamento jusante)

- Filtro de areia

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 35^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Solo de fundação

▪ $c' = 1,0 \text{ tf/m}^2$

▪ $\varphi' = 25^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

Foram realizadas análises de estabilidade em regime permanente admitindo pressões neutras de percolação obtidas, a favor da segurança, a partir de linha piezométrica, obtendo-se fator de segurança mínimo de 1,80 para o talude de jusante.

3.1.9.11 Manejo das águas e etapas de construção

O Dique Pereiros, que será construído em vale relativamente amplo onde haverá passagem de água somente na temporada de chuvas. Fora desta temporada, dificilmente acontecerá a passagem d'água neste vale normalmente seco.

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



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.10 Barragem Cuncas

A posição em planta da Barragem Cuncas está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0066.

3.1.10.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Cajazeiras, com 41.958 habitantes, e São José das Piranhas, com 8.116 habitantes.

3.1.10.2 Seção típica da barragem

A seção típica da barragem é homogênea, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção homogênea será construída em solo residual de gnaise ou argila aluvionar (desenho EN.B/II.DS.GT.0066).

3.1.10.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento será constituído por filtro vertical e camada horizontal drenante. A primeira, constituída de areia ou pedrisco, com espessuras de 0,60m. A segunda, constituída de areia, pedrisco e areia (Tipo II).

No filtro horizontal, a areia estará na camada inferior e superior, com o pedrisco ocupando a camada central (desenho EN.B/II.DS.GT.0066).

A planta do filtro horizontal e a localização dos medidores das vazões captadas pelos filtros vertical e horizontal, de trechos da barragem, estão apresentadas no desenho EN.B/V.DS.GT.0066.

As vazões captadas pelo filtro vertical são das águas que percolam através do maciço compactado.

As vazões que irão percolar o filtro horizontal é proveniente do filtro vertical 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 feitas com enrocamento proveniente de pedreiras ou das escavações obrigatórias, assente em uma camada de transição formada por material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

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 indicadas nos desenhos EN.B/II.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 das velocidades do vento consideradas para a região.

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

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



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.10.5 Escavação e tratamento de fundação

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

Complementando a escavação geral das duas ombreiras, serão executadas trincheiras de vedação, com profundidade máxima de 5,0m. Lateralmente aos trechos anteriores, seguem dois trechos onde serão executadas cortinas de injeções de calda de cimento. Na região central o tratamento de fundação consistirá de uma trincheira de vedação complementada com uma valeta de vedação, esta com profundidade máxima de 7,00m.

Complementando o tratamento acima, está prevista a execução de injeções exploratórias, com calda de cimento, com direção do furo estabelecida por critério geológico, e profundidade foi estabelecida em função da condição do maciço da fundação (desenho EN.B/II.DS.GT.0069), entre 15,00m a 20,00m.

Está prevista 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/II.DS.GT.0066).

3.1.10.6 Drenagem superficial

A crista da barragem terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento das águas fluviais 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. Ao longo da saia de jusante da barragem serão implantadas valetas de drenagem, revestidas com concreto, para condução das águas das chuvas e de percolações através dos barramentos, conduzindo-as para a região mais baixa do vale.

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/II.DS.GT.0066).

Esta medição de vazão será realizada para vários trechos de barragens (desenho EN.B/II.DS.GT.0066).

3.1.10.8 Materiais de construção

O aterro compactado da barragem, em seção homogênea, será constituído por solo residual de gnaisse ou 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/II.DS.GT.0075).

As jazidas de areia pesquisadas se localizam no leito normalmente seco dos riachos que constituem os afluentes do rio Piranhas-Açu, nas suas cabeceiras. O volume cubado, para ser utilizado na barragem Cuncas, foi de 65.000 m³.

3.1.10.9 Ensaios de laboratórios

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.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Nas areias além dos ensaios de granulometria por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade a carga constante para compactidade relativa, de 50%.

Foram realizados ensaios triaxiais, adensados e saturados, com medidas das pressões neutras em corpos de prova moldados de amostra das áreas de empréstimo.

Os solos das fundações das barragens foram submetidos a ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de *Atterberg*).

Para corpos de provas talhados de blocos indeformados foram realizados ensaios de compressão triaxial, adensados e saturados, com medidas de pressões neutras e permeabilidade a carga variável.

3.1.10.10 Análise de estabilidade

A estabilidade da barragem Cuncas foi verificada para o regime permanente de operação de maneira que as pressões neutras foram obtidas a favor da segurança a partir de linha piezométrica. O filtro horizontal foi considerado com gradiente hidráulico de 10%.

Os parâmetros de resistência admitidos foram:

- maciço compactado a montante do filtro vertical

▪ Coesão efetiva - $c' = 1,10 \text{ tf/m}^2$

▪ Ângulo de atrito efetivo - $\gamma' = 31^\circ$

▪ Densidade natural - $\gamma_n = 2,15 \text{ tf/m}^3$

- Maciço compactado a jusante do filtro vertical

▪ $c' = 1,10 \text{ tf/m}^2$

▪ $\varphi' = 31^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

- areia do filtro vertical e horizontal

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 30^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,0 \text{ tf/m}^3$

- solo de alteração da fundação

▪ $c' = 0$

▪ $\varphi' = 25^\circ$

▪ $\gamma_n = 2,10 \text{ tf/m}^3$

A análise efetuada apresentou um fator de segurança mínimo para o talude de jusante de 1,482.

Apesar de inferior a 1,50 este valor pode ser considerado aceitável em função da hipótese pessimista de pressão neutra adotada.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.10.11 Manejo das águas e etapas de construção

Na barragem Cuncas, que será construída em vale relativamente amplo, há passagem de água normalmente, reduzindo bastante a vazão no período de estiagem. Somente em estiagens prolongadas o riacho poderá secar.

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

3.1.11 Dique Cuncas

A posição em planta do dique Cuncas está indicada no desenho EN.B/II.DS.GT.0068.

O dique Cuncas está localizado na estrada de terra secundária, que liga as localidades de Cacaré, Prazeres e Engenho Velho Quixeramobim (PB).

3.1.11.1 Principais cidades próximas

As principais cidades próximas do barramento e suas respectivas populações são: Cajazeiras, com 80.000 habitantes, São José das Piranhas, com 10.000 habitantes, e Barro, com 9.500 habitantes.

3.1.11.2 Seção típica do dique

A seção típica do dique é homogênea, definida em função dos materiais disponíveis para sua construção e das condições geológicas das fundações e das ombreiras.

A seção homogênea será construída em solo residual de gnaiss ou argila aluvionar.

3.1.11.3 Sistema de drenagem interna

O sistema de drenagem interna do barramento é constituído por uma camada horizontal drenante com 0,50m de espessura. A planta do filtro horizontal, está apresentada no desenho EN.B/II.DS.GT.0068.

As vazões que irão percolar através do filtro horizontal são provenientes das infiltrações pelo corpo da barragem 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, proveniente de pedreiras, assente sobre uma camada de transição, formada por material decorrente do processo de britagem de rocha ou de cascalho aluvial, quando existente nas proximidades.

As proteções dos taludes de montante estendem-se desde a crista até o nível de reaterro da escavação.

As dimensões das proteções e a granulometria dos materiais a serem empregados nos dois taludes estão indicadas no desenho EN.B/II.DS.GT.0068.

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 dos materiais de transição 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 do dique de seção homogênea, foi prevista a retirada da camada de solo superficial, que contém material orgânico, troncos e raízes, espessura máxima de 1,00m.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

3.1.11.6 Drenagem superficial

A crista do dique terá uma inclinação suave, caindo para montante, para facilitar o escoamento das águas 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 (desenho EN.B/II.DS.GT.0068).

3.1.11.7 Materiais de construção

O aterro compactado do dique, em seção homogênea ou zoneada, será constituído por coluvião, solo de alteração de gnaiss, 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/II.DS.GT.0075).

As jazidas de areia pesquisadas localizam-se no leito normalmente seco do riacho Cuncas e seus afluentes. O volume cubado, para ser utilizado no Dique de Cuncas, foi de 500 m³.

3.1.11.8 Ensaaios de laboratórios

Os solos, provenientes das áreas de 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.

Para as areias, além dos ensaios de granulometria, por peneiramento, foram realizados ensaios de permeabilidade a carga constante para uma determinada compactação relativa, de 50%.

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

4. VERTEDOUROS

4.1 Aspectos Hidráulicos

O trecho II – Eixo Norte, do Projeto de Transposição do Rio São Francisco é composto por canais, aquedutos, galeria, tomadas d'água de uso difuso, tomadas d'água de derivação, estrutura de controle de superfície, vertedouros, túnel, reservatórios, válvulas dispersoras e futuras usinas hidroelétricas.

Nos reservatórios foram implantados vertedouros para passagem da onda de cheia para períodos de retorno de 1000 anos.

Nos reservatórios onde a cheia de período de retorno de 1000 anos é amortecida dentro do mesmo, foram implantados vertedouros de segurança para as vazões compatíveis para cada caso.

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



4.2 Reservatórios com Vertedouros de Passagem

Os reservatórios, que tem vertedouros para passagem da enchente de períodos de retorno de 1000 anos são os seguintes:

4.2.1 Reservatório Atalho

A barragem Atalho está atualmente construída e seu vertedouro tem um comprimento de soleira de 90,0m. O coeficiente de vazão adotado para seu dimensionamento foi de 1,7. Os estudos hidrológicos realizados para a transposição resultaram em pico de vazão afluente de 1.700m³/s, para o período de retorno de 1000 anos, resultando uma vazão afluente de 1.600m³/s, para uma carga sobre a soleira do vertedouro de 4,80 e uma vazão específica de 17,8m³/s/m.

A crista do vertedouro está na cota 425,00m, por conseqüente haverá necessidade de aumentar a cota da crista da barragem de 1,00m, passando a mesma para 431,00m.

As características principais são:

▪ NA normal	425,00m
▪ NA mínimo (adotado)	420,00m
▪ NA max. Maximorum	429,80m
▪ NA normal a jusante	401,46m
▪ Crista do vertedouro	425,00m
▪ Crista da barragem	430,00m (atual)

4.2.2 Reservatório dos Porcos

A cota da crista da barragem respectiva é 405,50m, 1,04m acima do NA max.max. O vertedouro tem sua crista na cota 402,46 m e será de concreto rolado e lâmina livre, carga de 2,00m, comprimento da soleira de 334,00m, coeficiente de descarga 1,8, que permitirá a passagem de 1.700m³/s, pico da enchente de período de retorno de 1.000 anos. A sua vazão específica e portanto 5,09m³/s/m. A altura do vertedouro é de 27,00m, terminando numa bacia de dissipação de mais de 30,0m de comprimento.

As características principais são:

▪ NA normal	401,46m
▪ NA mínimo	396,46m
▪ NA max. max.	404,46m
▪ Crista do vertedouro	402,46m
▪ Crista da barragem	405,50m

A bacia de dissipação do vertedouro dos Porcos foi dimensionada a partir do trabalho de Sorensen (1985-ASCE,v.111) que relacionou a redução da velocidade de escoamento entre vertedouros de paramento liso e com escadas. A energia cinética no pé do vertedouro com degraus varia entre 6 a 12% da energia do vertedouro liso, para a faixa de vazões específicas da ordem de 1 a 9 m³/s/m estudadas em modelo. Para o vertedouro dos Porcos, a vazão específica calculada é de 5,09 m³/s/m, situada, portanto dentro da faixa. Por este critério o comprimento da bacia de dissipação seria de 15,0 m, com uma altura conjugada de 2,58 m. Porém adotou-se para o projeto uma bacia da ordem de 35 m de comprimento, com a finalidade de regularizar o escoamento a jusante.



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

4.2.3 Reservatório Cana Brava, do Cipó e do Boi

Estes três reservatórios estão interligados por canais escavados em solo de rocha. Os estudos de encaminhamento de enchentes através dos mesmos demonstraram que operam como se fosse um único reservatório e, por consequência, o comprimento total do vertedouro é independente do seu posicionamento.

Por problemas topográficos e geológicos se optou por dividir o vertedouro resultante, de 530,00m de comprimento, em dois vertedouros de 100,00 m e 430,00 m, com uma carga máxima de 0,5 m, coeficiente de descarga de 1,8, que permitirá a passagem da vazão de 340,0 m³/s de pico da enchente do período de recorrência de 1000 anos; a sua vazão específica é portanto de 0,64 m³/s. A altura do vertedouro é de 2,5 m, terminando numa bacia de dissipação de 10,0 m de comprimento, a partir da qual a água escoará sobre a rocha até atingir o talvegue.

As características principais são:

- NA Normal 400,55 m
- NA Mínimo 397,50 m
- NA Máximo Maximorum 401,50 m
- Cota da Crista do vertedouro 401,00 m
- Crista da barragem 402,35 m

4.3 Reservatórios com Vertedouros de Segurança

Os reservatórios com vertedouros de segurança são:

4.3.1 Reservatório de Morros

O vertedouro neste foi dimensionado para a vazão de 40,0 m³/s, que corresponde o período de retorno de 1000 anos. Possui as mesmas características do vertedouro Cana Brava, do Cipó, e do Boi e o comprimento do mesmo é de 63,0 m.

- As características principais são:
- NA Normal 389,55 m
- NA Mínimo 386,86 m
- NA Máximo Maximorum 390,30 m
- Cota da Crista do vertedouro 389,80 m
- Crista da barragem 391,20 m

4.3.2 Reservatório Cuncas

Este vertedouro foi dimensionado para a vazão de 89,0 m³/s, que corresponde a vazão máxima deduzida pelo canal. Possui as mesmas características do vertedouro de Morros e o comprimento da soleira é de 140,0 m. Por problemas topográficos e geológicos a estrutura foi dividida em dois vertedouros de soleira de 70,0 m de comprimento cada.

- As características principais são:
- NA Normal 389,04 m
- NA Mínimo 386,46 m
- NA Máximo Maximorum 390,04 m
- Cota da Crista do vertedouro 389,54 m



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Crista da barragem 391,40 m
- Crista do dique Pereiros 391,10 m
- Crista do dique Cuncas 391,10 m

4.4 Interligação do Reservatório dos Porcos e Cana Brava.

A interligação desses dois reservatórios será feita através de um vertedouro, munido de 3 comportas segmento de 3,10 m de largura e 4,20 de altura cada, bacia de dissipação e seguido de um canal escavado em solo e rocha.

O vertedouro foi dimensionado para escoar a vazão de 89,0 m³/s, com as comportas totalmente abertas, com uma altura d'água de 3,0 m. O coeficiente de descarga para este caso é 1,88.

A bacia de dissipação tem 35,0 m de comprimento.

As comportas deverão funcionar com aberturas parciais para permitir a passagem de 89,0 m³/s a jusante com o aumento do NA no reservatório dos Porcos.

- As características principais são:
- NA Normal 401,46 m
- NA Máximo Maximorum 404,46 m
- Crista do vertedouro 398,46 m
- Crista da barragem 405,50 m

4.5 Aspectos Estruturais

4.5.1 Vertedouro dos Porcos

O vertedouro dos Porcos foi implantado num local que apresenta espessura de aluvião da ordem de 5 m. Por isso, um vertedouro de soleira livre de 334m de comprimento e altura máxima da ordem de 30 m, em CCR, foi fundado em rocha de boa qualidade situada na El. 374,00 m, conforme pode ser observado na Figura 2.

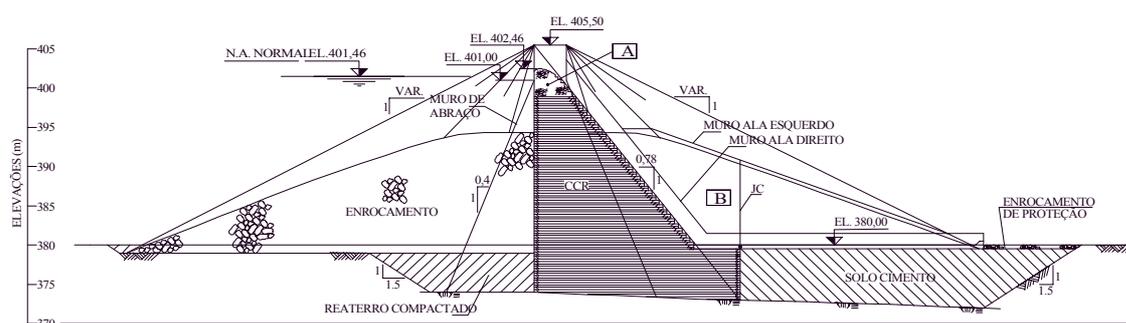


Figura 2 – Vertedouro de Porcos – Seção transversal

A seção transversal deste vertedouro é caracterizada pelo paramento de montante vertical, paramento de jusante inclinado (1,00V:0,78H) e perfil *Creager*. Este paramento caracteriza-se por apresentar degraus dissipadores de 0,60m de altura e 0,47m de base. Tanto o paramento de montante, quanto o de jusante, bem como a soleira e a bacia de dissipação são formados por concreto convencional vibrado (CCV) que apresenta resistência característica $f_{ck}=15\text{MPa}$ aos 28 dias (classe A). Os muros laterais são formados por concreto convencional vibrado (CCV) que apresenta resistência característica $f_{ck}=25\text{MPa}$ aos 28 dias (classe B). O núcleo do vertedouro é formado por CCR que apresenta $f_{ck}=7\text{MPa}$ aos 90 dias. Na soleira do vertedouro e bacia de



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

dissipação foi projetada uma armadura superficial, de modo a minimizar os efeitos nocivos da variação térmica e retração por secagem.

Como pode ser observado na figura 2, a bacia de dissipação apresenta-se fundada na cota 380 m e é formada por dois trechos de lajes, uma fundada sobre o CCR, outra fundada sobre um reaterro de solo-cimento, separados por junta de contração estanque, perfazendo em planta cerca de 334 m de comprimento e 35 m de largura, com 0,5m de espessura, com juntas de contração transversais a cada 20m aproximadamente, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.GT.0041.

4.5.2 Vertedouros do Cipó, do Boi, de Morros e dos Pereiros

Estes vertedouros se caracterizam por apresentarem um perfil vertente de soleira livre de pequena altura e bacia de dissipação, bem como uma laje de aproximação, conforme pode ser observado na Figura 3 e nos seguintes desenhos:

Vertedouro do Cipó	desenho EN.B/II.GT.0045
Vertedouro do Boi	desenho EN.B/II.GT.0050
Vertedouro de Morros	desenho EN.B/II.GT.0061
Vertedouro dos Pereiros	desenho EN.B/II.GT.0073

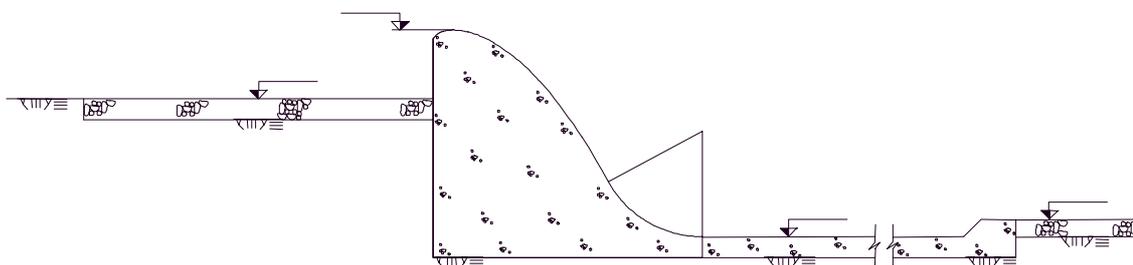


Figura 3 – Perfil Vertente dos vertedouros do Cipó, do Boi, de Morros e dos Pereiros

O comprimento da soleira livre de cada vertedouro é separado em trechos da ordem de 20m, onde foram instaladas juntas de contração estanques.

Para a laje de aproximação, superfície do perfil vertente e bacia de dissipação foi adotada a classe de concreto B que apresenta resistência característica $f_{ck}=25\text{MPa}$. Nestas estruturas foi projetada uma armadura superficial, de modo a minimizar os efeitos nocivos da variação térmica e retração por secagem. Para o núcleo do vertedouro foi adotada a classe de concreto A que apresenta resistência característica $f_{ck}=15\text{MPa}$.

Estes vertedouros também apresentam muros laterais, onde também foi adotada a classe de concreto B que apresenta resistência característica $f_{ck}=25\text{MPa}$.



FICHAS TÉCNICAS



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM ATALHO		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.155.900
	E	511.750
Ombreira Esquerda	N	9.155.820
	E	511.570
Área do reservatório no N.A. Normal	km ²	-
Zoneada		
Tipo de Barragem		
Cota de coroamento	m	431,00
N.A. Maximo maximorum	m	429,80
N.A.Normal	m	425,00
N.A. Normal , regime permanente	m	425,00
N.A. Minimo	m	420,00
Comprimento de crista	m	200,00
Altura máxima.	m	41
Comprimento Máximo do Reservatório	km	17,1
Largura Máxima do Reservatório	km	1,3
Profundidade Máxima do Reservatório	m	46
Tipo Vertedouro		
Concreto em degraus		
Creager Livre		
▣ Tipo de estrutura		
▣ Largura	m	90
▣ Cota de soleira livre	m	425,00
▣ Lâmina vertente máxima	m	4,80
▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos	m ³ /s	1700
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	1600
Concreto Estrutural		
▣ Tipo Tomada d'agua		
Vazão de Projeto	m ³ /s	89
▣ Diametro da válvula e registro	mm	2200
Diâmetro da tubulação	mm	5400
▣ Extensão da tubulação	m	
▣ Diametro da tubulação	m	
Alteamento da Barragem		
Berma Jusante		
Escavação	m ³	12100
Aterro Compactado	m ³	81450
Areia	m ³	2550
Pedrisco	m ³	1400
Transição	m ³	3510
Enrocamento	m ³	2400
Alteamento da Crista		
Escavação	m ³	2700
Aterro Compactado	m ³	4350
Transição	m ³	2400
Enrocamento	m ³	550
Alteamento do Dique		
Escavação	m ³	500
Aterro Compactado	m ³	850
Transição	m ³	450
Enrocamento	m ³	460



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

DIQUE DOS PORCOS		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.161.298
	E	513.331
Ombreira Esquerda	N	9.161.325
	E	513.132
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	8.194.602
Tipo de Barragem		
Homogênea		
Cota de coroamento	m	405,50
N.A. Maximo maximorum	m	404,46
N.A.Normal	m	401,46
N.A. Normal , regime permanente	m	401,46
N.A. Minimo	m	396,46
Comprimento de crista	m	201,00
Altura máxima.	m	10,50
Comprimento Máximo do Reservatório	km	2,50
Largura Máxima do Reservatório	km	2,00
Profundidade Máxima do Reservatório	m	31,50
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'agua		
▫ Vazão de projeto	m ³ /s	
▫ Extensão da tubulação	m	
▫ Diâmetro 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	55231
Filtro Horizontal + Vertical (areia e pedrisco)	m ³	8091
Proteção Montante	m ³	2346
Proteção da Crista	m ³	662
Transição Montante + Jusante	m ³	7974
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	26242



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM DOS PORCOS		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.161.008
	E	514.943
Ombreira Esquerda	N	9.161.157
	E	513.736
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	8.194.602
Tipo de Barragem	Homogênea	
Cota de coroamento	m	405,50
N.A. Maximo maximorum	m	404,46
N.A.Normal	m	401,46
N.A. Normal , regime permanente	m	401,46
N.A. Minimo	m	396,46
Comprimento de crista	m	1384
Altura máxima.	m	31,50
Comprimento Máximo do Reservatório	km	2,5
Largura Máxima do Reservatório	km	2
Profundidade Máxima do Reservatório	m	31,50
T ipo Vertedouro	Creager Livre	
▣ Tipo de estrutura	Concreto Rolado	
▣ Largura	m	335
▣ Cota de soleira livre	m	402,46
▣ Lâmina vertente máxima	m	2,00
▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos	m ³ /s	1700
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	1700
Tipo Tomada d'água	Gravidade em CCR	
▣ Tipo de Valvula	Dispersora	
Quantidade	un	2
▣ Diametro Nominal	mm	700
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	3,50
▣ Extensão da tubulação	m	
▣ Diametro da tubulação	m	1,50
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	875691
Filtro Vertical e Horizontal (areia e pedrisco)	m ³	56255
Proteção Montante	m ³	9629
Proteção da Crista	m ³	2469
Transição Jusante + Montante	m ³	43431
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	126678



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

DIQUE DOS PEREIRO		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.213.932
	E	543.926
Ombreira Esquerda	N	9.213.712
	E	543.869
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	16.683.235
Tipo de Barragem	Homogênea	
Cota de coroamento	m	391,10
N.A. Máximo maximum	m	390,04
N.A. Normal	m	389,04
N.A. Normal , regime permanente	m	389,04
N.A. Mínimo	m	386,46
Comprimento de crista	m	367,50
Altura máxima.	m	7,30
Comprimento Máximo do Reservatório	km	2,80
Largura Máxima do Reservatório	km	3,60
Profundidade Máxima do Reservatório	m	45,1
T ipo Vertedouro	Segurança	
▫ Tipo de estrutura	Creager Livre	
▫ Largura	m	140
▫ Cota de soleira livre	m	389,54
▫ Lâmina vertente máxima	m	0,50
▫ Vazão de projeto para TR 1000 anos	m ³ /s	89,00
▫ Vazão de projeto	m ³ /s	89,00
Barragem		
▫ Homogêneo (solo)	m ³	31020
Filtro Vertical + Horizontal (areia e pedrisco)	m ³	3999
Proteção Montante	m ³	1176
Proteção Jusante	m ³	1647
Proteção da Crista	m ³	470



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM DO CIPO		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.162.994
	E	517.311
Ombreira Esquerda	N	9.162.464
	E	516.996
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	620.603
Tipo de Barragem	Zoneada	
Cota de coroamento	m	402,35
N.A. Maximo maximorum	m	401,50
N.A.Normal	m	400,52
N.A. Normal , regime permanente	m	400,52
N.A. Minimo	m	397,50
Comprimento de crista	m	616,36
Altura máxima.	m	25,35
Comprimento Máximo do Reservatório	km	1,14
Largura Máxima do Reservatório	km	1,15
Profundidade Máxima do Reservatório	m	25,35
T ipo Vertedouro	Creager Livre	
▣ Tipo de estrutura	Concreto	
▣ Largura	m	430,00
▣ Cota de soleira livre	m	401,00
▣ Lâmina vertente máxima	m	0,50
▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos	m ³ /s	
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	64,00
Tipo Tomada d'agua		
Tipo de Registro		
▣Quantidade	un	
▣ Diametro Nominal	mm	
▣ Tipo de Valvula		
▣Quantidade	un	
▣ Diametro Nominal	mm	
▣ 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	375977
Enrocamento	m ³	145884
Filtro Horizontal + Vertical (areia e pedrisco)	m ³	21746
Proteção Montante	m ³	3660
Proteção da Crista	m ³	4928
Transição Montante+ Jusante	m ³	7421
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	45667



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM DO BOI I		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.164.354
	E	519.560
Ombreira Esquerda	N	9.163.455
	E	518.575
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	1793986
Tipo de Barragem		
		Zoneada
Cota de coroamento	m	402,35
N.A. Maximo maximorum	m	401,50
N.A.Normal	m	400,41
N.A. Normal , regime permanente	m	400,41
N.A. Minimo	m	397,50
Comprimento de crista	m	1339
Altura máxima.	m	28,35
Comprimento Máximo do Reservatório	km	1,00
Largura Máxima do Reservatório	km	3,80
Profundidade Máxima do Reservatório	m	28,35
Tipo Vertedouro		
		Creager Livre
▣ Tipo de estrutura		
		Concreto
▣ Largura	m	100
▣ Cota de soleira livre	m	401,00
▣ Lâmina vertente máxima	m	0,50
▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos	m ³ /s	
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	276,00
▣ Diametro da válvula e registro	mm	
▣ Diametro da tubulação	mm	
▣ 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	1055448
▣ Enrocamento	m ³	318750
▣ Filtro Vertical +Horizontal (areia e pedrisco)	m ³	63632
Proteção Montante	m ³	9875
Proteção da Crista	m ³	11408
Transição Jusante + Montante	m ³	21847
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	130718



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM DO BOI II		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.165.097
	E	520.797
Ombreira Esquerda	N	9.164.392
	E	519.657
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	1.793.986
Tipo de Barragem	Homogênea	
Cota de coroamento	m	402,35
N.A. Maximo maximorum	m	401,50
N.A.Normal	m	400,41
N.A. Normal , regime permanente	m	400,41
N.A. Minimo	m	397,50
Comprimento de crista	m	1461
Altura máxima.	m	28,15
Comprimento Máximo do Reservatório	km	1,00
Largura Máxima do Reservatório	km	3,80
Profundidade Máxima do Reservatório	m	28,15
T ipo 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	
▣ Concreto	m ³	
▣ Concreto Rolado	m ³	
Tipo Tomada d'agua		
Tipo de Registro		
▣ Quantidade	un	
▣ Diametro Nominal	mm	
▣ Tipo de Valvula		
▣ Quantidade	un	
▣ Diametro Nominal	mm	
▣ 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	924593
Filtro Vertical + Horizontal (areia e pedrisco)	m ³	49275
Proteção Montante	m ³	8665
Proteção Jusante	m ³	13143
Proteção da Crista	m ³	10840
Transição Montante + Jusante	m ³	4333
Área de Desmatamento e Limpeza	m ²	100661



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM DE MORROS		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.209.609
	E	544.166
Ombreira Esquerda	N	9.210.108
	E	544.204
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	949.358
Tipo de Barragem	Homogênea	
Cota de coroamento	m	391,20
N.A. Máximo maximum	m	390,30
N.A. Normal	m	389,55
N.A. Normal , regime permanente	m	389,55
N.A. Mínimo	m	386,86
Comprimento de crista	m	532,53
Altura máxima.	m	15,70
Comprimento Máximo do Reservatório	km	2,20
Largura Máxima do Reservatório	km	0,70
Profundidade Máxima do Reservatório	m	15,60
Tipo Vertedouro	Creager Livre	
▣ Tipo de estrutura	Concreto	
▣ Largura	m	63
▣ Cota de soleira livre	m	389,80
▣ Lâmina vertente máxima	m	0,50
▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos	m ³ /s	40,00
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	40,00
Tipo Tomada d'água		
Tipo de Registro		
▣ Quantidade	un	
▣ Diâmetro Nominal	mm	
▣ Tipo de Valvula		
▣ Quantidade	un	
▣ Diâmetro Nominal	mm	
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	
▣ Extensão da tubulação	m	
▣ Diâmetro 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	177390
Filtro Horizontal + Vertical (areia e pedrisco)	m ³	8349
Proteção Montante	m ³	3870
Proteção Jusante	m ³	1786
Proteção da Crista	m ³	1560
Transição de Montante + Jusante	m ³	2382
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	69364



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM CANA BRAVA		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.162.145
	E	516.943
Ombreira Esquerda	N	9.161.045
	E	515.221
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	855.840
Zoneada		
Tipo de Barragem		
Cota de coroamento	m	402,35
N.A. Maximo maximorum	m	401,50
N.A.Normal	m	400,55
N.A. Normal , regime permanente	m	400,55
N.A. Minimo	m	397,50
Comprimento de crista	m	2141
Altura máxima.	m	25,85
Comprimento Máximo do Reservatório	km	0,69
Largura Máxima do Reservatório	km	2,23
Profundidade Máxima do Reservatório	m	25,85
Tipo Vertedouro		
▣ Tipo de estrutura		
▣ Largura		
▣ Cota de soleira livre		
▣ Lâmina vertente máxima		
▣ Vazão de projeto para TR 1000 anos		
▣ Vazão de projeto		
Tipo Tomada d'agua		
Tipo de Registro		
Quantidade		
▣ Diametro Nominal		
▣ Tipo de Valvula		
Quantidade		
▣ Diametro Nominal		
▣ Vazão de projeto		
▣ Extensão da tubulação		
▣ Diametro da tubulação		
Estrutura de controle na saída do canal		
▣ Tipo de controle		
▣ N° de comportas/Segmento		
▣ Vazão de projeto		
Barragem		
▣ Homogêneo (solo)	m ³	1195707
Enrocamento	m ³	447972
Filtro Horizontal + Vertical (areia+pedrisco)	m ³	87581
Proteção Montante	m ³	18662
Proteção da Crista	m ³	17329
Transição Jusante + Montante	m ³	29837
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	197538



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BARRAGEM CUNCAS		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.214.262
	E	545.259
Ombreira Esquerda	N	9.215.052
	E	545.560
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	16.683.235
Tipo de Barragem	Homogênea	
Cota de coroamento	m	391,40
N.A. Maximo maximorum	m	390,04
N.A.Normal	m	389,04
N.A. Normal , regime permanente	m	389,04
N.A. Minimo	m	386,46
Comprimento de crista	m	852,72
Altura máxima.	m	44,70
Comprimento Máximo do Reservatório	km	7,50
Largura Máxima do Reservatório	km	5,30
Profundidade Máxima do Reservatório	m	44,70
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'agua		
▣ Vazão de projeto	m ³ /s	
▣ Extensão da tubulação	m	
▣ Diâmetro da tubulação	m	
Tipo de Válvula		
Dispersora		
Quantidade	un	2,00
Diâmetro Nominal	mm	1500
Vazão de Projeto	m ³ /s	25
Diâmetro da tubulação	m	4,00
Barragem		
▣ Homogêneo (solo)	m ³	2225147
Filtro Horizontal e Vertical (areia e pedrisco)	m ³	48768
Proteção de Montante	m ³	14256
Proteção de Jusante	m ³	20983
Proteção Granular	m ³	3067
Transição Montante + Jusante	m ³	15966
Área de Limpeza e Desmatamento	m	113952



Transposição das Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

DIQUE CUNCAS		
Características	un	Valor
Trecho		II
Coordenadas do Eixo		
Ombreira Direita	N	9.214.552
	E	537.772
Ombreira Esquerda	N	9.214.392
	E	537.644
Área do reservatório no N.A. Normal	m ²	16.683.235
Tipo de Barragem	Homogênea	
Cota de coroamento	m	391,10
N.A. Maximo maximorum	m	390,04
N.A.Normal	m	389,04
N.A. Normal , regime permanente	m	389,04
N.A. Minimo	m	386,46
Comprimento de crista	m	245,62
Altura máxima.	m	1,80
Comprimento Máximo do Reservatório	km	2,60
Largura Máxima do Reservatório	km	5,30
Profundidade Máxima do Reservatório	m	1,80
T ipo 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		
Tipo de Registro		
▫ Quantidade	un	
▫ Diametro Nominal	mm	
▫ Tipo de Valvula	Dispensora	
▫ Quantidade	un	2
▫ Diametro Nominal	mm	700
▫ Vazão de projeto	m ³ /s	1,50
▫ Extensão da tubulação	m	
▫ Diametro da tubulação	m	2,50
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	3300
▫ Filtro Vertical + Horizontal (areia+pedrisco)	m ³	356
Proteção Montante	m ³	164
Proteção Jusante	m ³	220
Proteção da Crista	m ³	757
Transições de Montante + Jusante	m ³	184
Área de Limpeza e Desmatamento	m ²	4814