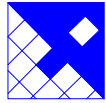




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



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
R4 – SISTEMA ADUTOR – CANAIS,
AQUEDUTOS, TOMADAS DE USOS DIFUSOS,
TÚNEIS E ESTRUTURAS DE CONTROLE**



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

**TRECHO II – EIXO NORTE
R4 – SISTEMA ADUTOR – CANAIS, AQUEDUTOS,
TOMADAS DE USOS DIFUSOS, TÚNEIS,
E ESTRUTURAS DE CONTROLE**

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, dezembro 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 – R4 – Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2001.

24 p

1. Transposição de Águas

I. Trecho II – Eixo Norte – R4 – Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas de Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle.

CDU 556.5:626

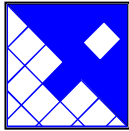
FUNCATE:

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.0004	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
R4 - SISTEMA ADUTOR - CANAIS, AQUEDUTOS,
TOMADAS DE USOS DIFUSOS, TÚNEIS,
E ESTRUTURAS DE CONTROLE**

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 R4 – SISTEMA ADUTOR – CANAIS, AQUEDUTOS, TOMADAS DE USOS DIFUSOS, TÚNEIS E ESTRUTURAS DE CONTROLE, 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 de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

ÍNDICE	PG.
1 . OBJETO E OBJETIVO	1
2 . CANAIS	1
2.1 Trechos típicos.....	1
2.2 Aspectos Hidráulicos.....	1
2.3 Aspectos da Otimização do Traçado.....	2
2.4 Aspectos Geológicos.....	3
2.4.1 Barragem Jati à Barragem dos Porcos.....	4
2.4.2 Barragem dos Porcos à Barragem do Boi II.....	4
2.4.3 Barragem do Boi II ao emboque do Túnel Cuncas	4
2.4.4 Desemboque do Túnel Cuncas à Barragem Cuncas	5
2.5 Aspectos Geotécnicos.....	6
2.6 Aspectos Estruturais	7
3 . AQUEDUTOS	7
3.1 Características Gerais	7
3.2 Aspectos Hidráulicos.....	9
3.3 Aspectos Geológicos.....	9
3.3.1 Aqueduto Pinga.....	9
3.3.2 Aqueduto do Boi	9
3.3.3 Aqueduto Catingueira	10
3.4 Aspectos Geotécnicos.....	10
3.5 Aspectos Estruturais	10
4 . GALERIA SOBRADINHO.....	12
4.1 Características Gerais	12
4.2 Aspectos Geológicos.....	12
4.3 Aspectos Estruturais	13
5 . TOMADAS D' ÁGUA DE USOS DIFUSOS	13
5.1 Características Gerais	13
5.2 Aspectos Estruturais	13
6 . TOMADAS D'ÁGUA DE DERIVAÇÃO.....	15
6.1 Características Gerais	15
6.2 Aspectos Estruturais	15
6.3 Equipamentos Mecânicos das Tomadas d'Água nas Barragens	16
7 . ESTRUTURAS DE CONTROLE DE SUPERFÍCIE.....	17
7.1 Características Gerais	17
7.2 Aspectos Estruturais	18
7.3 Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controles	19
8 . TÚNEL CUNCAS.....	20
8.1 Características Gerais	20
8.2 Aspectos Geológicos.....	20
8.3 Aspectos Geotécnicos.....	21
8.4 Aspectos Estruturais	21
9 . PONTES E PASSARELAS.....	22



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.1 Ponte Tipo 1C	22
9.2 Ponte Tipo 2	22
9.3 Ponte Jati.....	23
9.4 Passarelas	23



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

O objeto deste relatório é o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco Para o Nordeste Setentrional; seu objetivo é apresentar as obras hidráulicas do Sistema Adutor do Trecho II-Eixo Norte.

O sistema adutor é composto por diversas estruturas típicas. Excetuando-se as estruturas dos sistemas adutores de Jati e Atalho, diques, barragens, vertedouros e as obras de drenagem, descritas nos relatórios nº 3 e 5, apresentam-se aqui as seguintes estruturas:

- Canais implantados em corte e aterro;
- Aquedutos;
- Galeria;
- Tomadas d'Água de Uso Difuso;
- Tomada d'Água de derivação;
- Estrutura de Controle de Superfície;
- Túnel;
- Pontes e Passarelas

2 . CANAIS

2.1 Trechos típicos

Os canais do Trecho II, que iniciam no canal de fuga da futura Casa de Força de Jati e das válvulas dispersoras, e terminam no reservatório da barragem Cuncas, são constituídos de seguintes trechos típicos:

- Canal do vertedor de Jati, que começa à jusante da bacia de dissipação e do canal de restituição e termina no encontro com o canal à jusante da Casa de Força de Jati;
- Canal da Casa de Força de Jati, que inicia no Canal de Fuga e termina no reservatório Atalho. Extensão: aproximadamente 2.400 m;
- Canal de interligação dos reservatórios de Porcos e Cana Brava. Extensão: 360 m;
- Canal de interligação dos reservatórios de Cana Brava e Cipó. Extensão: 132 m;
- Canal de interligação dos reservatórios de Cipó e dos Bois. Extensão: 601 m;
- Canal de adução, trecho entre o reservatório dos Bois e o emboque do túnel Cuncas, com extensão de 40.355 m.
- Canal de adução, trecho entre desemboque do túnel Cuncas e o reservatório da barragem de Morros. Extensão: 2.113 m.
- Canal de adução, trecho entre reservatório da barragem de Morros e o reservatório da barragem Cuncas. Extensão: 4.276 m.

2.2 Aspectos Hidráulicos

Os canais foram dimensionados com a finalidade de aduzir a vazão de 89,0 m³/s, a partir da barragem Jati, apresentando as seguintes características:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Canal trapezoidal a jusante da bacia de dissipação de Jatí, com largura de base de 24,5 m, talude laterais de 1V:2H, escavado em solo e rocha, coeficiente de rugosidade de *Manning* $n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$, declividade de 0,0001 m/m, vazão de 130,0m³/s, altura da lâmina d'água de 4,00m e extensão de 1.060 m;
- Canal trapezoidal a jusante do canal de fuga de Jatí, com largura de base de 17,0 m, taludes laterais de 1V:2H, escavado em solo e rocha, coeficiente de rugosidade de *Manning* $n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$, declividade de 0,0001m/m, vazão de 89,0m³/s, velocidade 1,17m/s, altura da lâmina d'água de 4,00m e extensão de 3.000m;
- Canais trapezoidais de interligação entre os reservatórios dos Porcos e Cana Brava, Cana Brava e do Cipó e do Cipó e do Boi, com extensões de 360,11m, 132,07m e 601,33m respectivamente, com largura de base de 25,0m, taludes laterais de 1V:2H, escavado em solo e rocha, coeficiente de rugosidade de *Manning* $n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$, declividade de 0,0001 m/m, vazão de 89,0 m³/s, velocidade de 0,65 m/s e altura de lâmina d'água de 4,99 m;
- Canais trapezoidais em concreto entre o reservatório do Boi e o túnel Cuncas e entre o reservatório de Morros e reservatório Cuncas, com largura de base de 6,00m, taludes laterais de 1V:1,5H, escavado em solo e rocha, ou construídos em aterro, conforme pode ser observado na Figura 1; coeficiente de rugosidade de *Manning* $n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$, declividade de 0,0001 m/m, vazão de 89,0 m³/s, velocidade de 1,33 m/s e altura da lâmina d'água de 4,99m;
- Canal trapezoidal entre o túnel Cuncas e o reservatório de Morros, em largura de base 23,5m, taludes laterais de 1V:2H, escavado em solo e rocha, coeficiente de rugosidade de *Manning* $n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$, declividade de 0,0001m/m, vazão de 89,0 m³/s, velocidade de 0,69 m/s e altura da lâmina d'água de 4,99m.

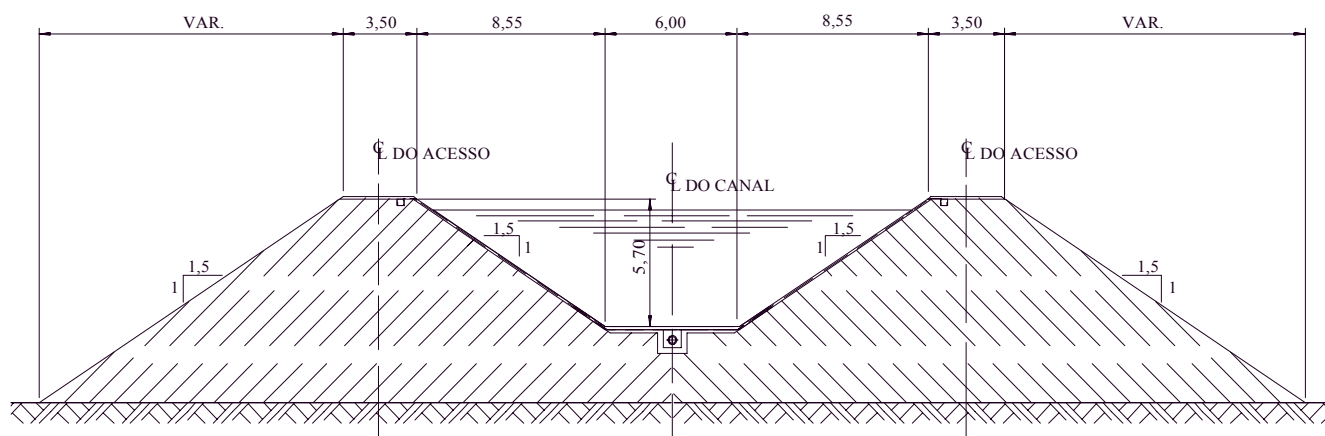


Figura 1 – Canal adutor artificial (trecho em aterro)

2.3 Aspectos da Otimização do Traçado

Dois trechos do traçado foram objeto de estudos de otimização: o trecho na região do riacho dos Porcos e o trecho a jusante do túnel Cuncas.

- Região do 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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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.0005 à 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.

– Região a jusante do túnel Cuncas

Essa região, topograficamente mais adequada para o traçado do canal, impôs que seu desenvolvimento se desse pelo talvegue do córrego da Água. 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 desse 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 e todo o sistema de drenagem a montante.

Os aspectos técnicos considerados no estabelecimento dessas alternativas em relação aos estudos de viabilidade foram, principalmente, os seguintes:

- Condições geológico-geotécnicas, quanto às espessuras de materiais de primeira e segunda categorias, tanto nos cortes como nos aterros, solos expansivos ou colapsíveis e solos arenosos que apresentam dificuldade de compactação e posição do lençol freático, ao longo do tempo, para o efeito de construção, operação do canal e sua manutenção
- Otimização de momentos de transporte acima de 1km;
- Balanceamento entre volumes de corte e de aterro, considerando as três categorias de materiais;
- Faixa disponível de cartografia, obtida a partir de restituição aerofotogramétrica 1:2.000, com equidistância entre curvas de níveis de metro em metro;
- Otimização do comprimento do canal, no total, no sentido de minimizar o seu custo;
- Minimização das obras de drenagem superficial;
- Preocupação quanto às interferências, tais como rios, riachos, açudes, elevações topográficas, estradas e cidades;
- Logística de construção, como estradas de acesso e de serviço, canteiro e suprimento de materiais de construção;
- Disponibilidade de materiais naturais de construção como solo, areias, cascalho, materiais granulares rochosos e rocha;
- Minimização de custos de manutenção;

2.4 Aspectos Geológicos

Os canais são descritos, pelas suas particularidades, em trechos delimitados pelas principais obras distribuídas ao longo do traçado.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

2.4.1 Barragem Jati à Barragem dos Porcos

O canal do Trecho II - Eixo Norte tem seu início no canal de fuga do Sistema adutor Jati, mais especificamente a partir das válvulas dispersoras, conforme indicado no desenho EN.B/II.DS.ME.0001.

Segue-se um trecho de canal, desde a estaca 0+343 até atingir o reservatório Atalho, onde está previsto um aprofundamento do leito do rio. No local, foi realizada uma série de sondagens que indicaram, ao longo do vale do rio, a presença de um aluvião arenoso, com espessura variando de 8,00 a 18,45 m, capeando rochas do embasamento cristalino do Grupo Cachoeirinha. Uma sondagem, executada no pé da ombreira, atravessou tão somente solo de alteração de xisto, constituído por silte areno-argiloso, até a profundidade de 5,30 m. O aluvião é constituído, principalmente, por sedimentos arenosos, recobertos por silte argiloso na sua superfície. Os índices SPT obtidos são demasiadamente elevados para a natureza dos materiais, variando de 6 a 20 golpes nas partes superficiais e maiores que 20 nos trechos mais profundos, o que deve ser considerado com reservas. O nível d'água foi detectado a 4,20 m de profundidade.

O traçado segue então até a Barragem Atalho, na estaca 17+612, onde a vazão do canal dar-se-á pelo túnel de adução, a ser implantado na sua ombreira esquerda e cujas condições geológicas estão descritas em item específico.

A partir da estaca 17+989, a jusante do Aproveitamento do Atalho, inicia-se o remanso do reservatório da Barragem dos Porcos, sob os xistos do Grupo Cachoeirinha, onde não há previsão de obra, até o eixo da barragem.

2.4.2 Barragem dos Porcos à Barragem do Boi II

Este trecho está compreendido entre as estacas 27+933 e 37+ 053 e engloba as barragens dos Porcos, Cana Brava, do Cipó, do Boi I e Boi II e canais de ligação entre eles, conforme indicado nos desenhos de nºs EN.B/II.DS.GL.0003 e EN.B/II.DS.GL.0004. Os seus aspectos geológicos e geotécnicos estão descritos em item específico.

2.4.3 Barragem do Boi II ao emboque do Túnel Cuncas

Este trecho está compreendido entre as estacas 37+053 e 78+440 e inclui os aquedutos do Boi, Pinga e Catingueira, além da Galeria Sobradinho, conforme indicado nos desenhos de nºs EN.B/II.DS.GL.0004, EN.B/II.DS.GL.0005 e EN.B/II.DS.GL.0006. O mapeamento geológico indicou a presença de rochas sedimentares das formações Mauriti, Missão Velha e Brejo Santo, interceptadas por uma série de falhas e coberturas aluvionares.

2.4.3.1 Estaca 37+053 a Estaca 58+400

Da estaca 37+053 até a estaca 58+400, o canal deverá ser implantado em arenito Mauriti, exceto entre as estacas 47+700 e 49+400, local do aqueduto Do Boi, onde ocorrem metasedimentos do Grupo Cachoeirinha. O seu greide varia entre as cotas 395 e 392 e inclui cortes de altura média, da ordem de 10 m. Neste subtrecho foram executadas 5 (cinco) sondagens rotativas para o estudo dos cortes e 20 sondagens à percussão para o estudo das fundações dos aterros. Foram realizadas ainda, seções geofísicas com GPR e sondagem sísmica para complementação do estudo dos cortes menores.

A sondagem SR-238, estaca 38+040, foi executada diretamente em afloramento de arenito, situação bastante comum na Formação Mauriti, onde a espessura de solo é pequena, às vezes de natureza coluvionar. O arenito apresenta-se pouco coerente (C3) e medianamente fraturado até a profundidade de 2,0 m e medianamente coerente (C2) e pouco fraturado em profundidades maiores. A sondagem SR-239, executada 300 m adiante, intercepta uma superfície com cerca de 2,60 m de solo de alteração e rocha alterada mole, passando em profundidade a um arenito fino a médio e médio a grosseiro, C2, com intercalações centimétricas de siltito. O levantamento geofísico indicou velocidades sísmicas de 2.800 a 3.350 m/s para esse arenito mostrando não



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

ser escarificável. No levantamento com GPR – *Ground Penetrating Radar* observaram-se espessuras reduzidas para a camada de solo superficial, da ordem de 1,0 m e de mais 1,0 m para provável arenito pouco coerente (C3) a incoerente (C4), mostrando uma boa correlação com os dados obtidos nas sondagens mecânicas. Essas condições geológicas são representativas da região, estimando-se para o trecho, uma média de 2 m de escavação de material de 1ª e de 1 m para o material de 2ª categoria. O material de 3ª categoria, representado por arenito pouco resistente, poderá ser escavado mediante “fogacho”, numa técnica de afofamento do maciço arenítico. A permeabilidade prevista para o maciço arenítico é da ordem de $5,0 \times 10^{-5}$ cm/s, valor médio obtido nos ensaios de perda d’água realizados no estudo das fundações das barragens.

2.4.3.2 Estaca 58+400 a Estaca 74+300

Da estaca 58+400 até a estaca 74+300, o canal será implantado, principalmente, em terrenos sedimentares da Formação Brejo Santo e em sedimentos aluvionares que apresentam grandes espessuras de solo. Entre as estacas 63+200 e 64+800, o canal atravessará arenito da formação Missão Velha. Nesse trecho, além das investigações da Galeria Sobradinho, foram executadas as sondagens rotativas para o estudo dos cortes e as sondagens à percussão SP-296 a SP-300 para o estudo das fundações dos aterros. Levantamentos geofísicos através de sísmica e GPR complementam as investigações neste subtrecho

Um única sondagem, SR-250, realizada na estaca 64+570, interceptou o arenito Missão Velha. Este arenito apresenta um comportamento geomecânico bastante similar ao arenito Mauriti, refletindo na superfície, pequena espessura de solo e de rocha alterada mole, limitada a 2,5 m.

As sondagens SR-251 e SR-252, executadas respectivamente nas estacas 67+460 e 67+770 interceptaram sedimentos silto-argilosos da Formação Brejo Santo, indicando na superfície, espessuras de solo argilo-siltoso de 5,27 e 7,15 m, produto da alteração do siltito/argilito subjacente. Mais em profundidade, comparece o arenito com intercalações de siltito e argilito, pouco coerente a incoerente, conferindo-lhe um intenso fraturamento, o que propiciará escavá-lo com escarificador. Os cortes nessa formação geológica são relativamente baixos e as escavações deverão interceptar cerca de 5 m de material de 1.ª categoria e 10 m de material de 2ª. A permeabilidade é baixa, estimada em $1,0 \times 10^{-6}$ cm/s.

Da estaca 74+300 a 77+900, as sondagens, executadas respectivamente nas estacas 76+320 e 76+570, acusaram espesso depósito aluvionar constituído essencialmente por areia fina siltosa e argilosa, fofa a compacta, com índices SPT variando entre 5 e 15 golpes. Este trecho em canal deverá ser escavado exclusivamente em material de 1ª categoria com nível d’água raso, observado a 1,05 m de profundidade. Os ensaios de infiltração indicaram permeabilidades médias da ordem de $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s.

Da estaca 77+900 a estaca 78+400, o canal deverá interceptar novamente a formação Brejo Santo, onde a sondagem SR-258, estaca 78+310, programada para o estudo do emboque do túnel Cuncas, indicou a presença de blocos de rocha na superfície, caracterizando um corpo de talus com espessura da ordem de 5,0 m que capeia solo de alteração e rocha alterada mole de argilito e siltito até a profundidade final do furo, de 27,0 m. Uma segunda sondagem, realizada na estaca 78+380, confirmou este quadro, porém interceptando um enorme bloco de rocha gnáissica de 15 a 25 m.

2.4.4 Desemboque do Túnel Cuncas à Barragem Cuncas

Trata-se do segmento final do Trecho II, compreendido entre as estacas 93+651 e 101+200, que inclui, como obras singulares, as barragens de Morros e Cuncas e o dique Pereiros, cujos aspectos geológicos e geotécnicos estão descritos em item específico. Os resultados do mapeamento geológico e as sondagens realizadas neste trecho estão indicados no desenho EN.B/V.DS.GL.0008.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A geologia deste trecho é constituída essencialmente por rochas cristalinas, incluindo xistos e rochas metasedimentares do Grupo Cachoeirinha que aparecem em contato com o granito intrusivo no seu trecho inicial e com o biotita gnaisse no seu trecho final.

Logo após o desemboque do Túnel Cuncas desenvolve-se um trecho em canal, desde a estaca 93+651 até o remanso do reservatório da barragem de Morros, na estaca 95+964, totalizando 2.113m de extensão. As sondagens SR-265, SR-266 e SR-267, executadas, respectivamente, nas estacas 93+789, 94+270 e 94+960 indicaram a presença de solo de alteração de biotita gnaisse com espessura variando de 1,0 a 1,5 m, e que passa, em profundidade, à rocha alterada mole até profundidades de 2,5 m. Segue-se abaixo rocha alterada dura, muito fraturada até 5,0 m de profundidade e, a partir daí, rocha sã, pouco a ocasionalmente fraturada, esta ao nível da seção molhada do canal onde o graide está previsto por volta da cota 384,65. A sondagem SR-267, executada na estaca 94+760, indicou a presença de 3,0 m de solo aluvionar na superfície, recobrando rocha alterada dura, muito fraturada que deverá ser escavada ao nível da seção molhada, prevista por volta das cotas 384,55 e 389,55. Os levantamentos sísmicos indicaram, confirmando as espessuras encontradas nas sondagens mecânicas, cerca de 300m de material de 1ª categoria e 3,0m de material de 2ª categoria.

A partir da estaca 97+106, na saída da Barragem de Morros, tem reinício o canal que se estende até o final do canal, onde ocorre uma série de cortes de 10 m de altura e aterros de até 20 m de altura. Neste trecho foram executadas as sondagens numeradas de SR-268 a SR-272 para o estudo dos cortes e as sondagens SP-303 e SP-304 para o estudo de fundação dos aterros, observando-se a presença de metassedimentos e xistos. Na superfície ocorre, em geral, pequena espessura de solo de alteração, também da ordem de 1,0 m, exceto no local da SP-268, estaca 97+200, onde foi constatada uma espessura de 10 m de solo, provavelmente associada à zona de falha. Em profundidade, o solo de alteração passa a uma rocha alterada dura, muito fraturada até a profundidade de 5 a 6m, e daí para baixo, a uma rocha sã, muito fraturada. Estima-se para este trecho uma espessura de escavação de material de 1ª categoria da ordem de 1,0 m e de 2,0 m para o material de 2ª categoria. A permeabilidade do maciço rochoso é equivalente a $1,5 \times 10^{-5}$ cm/s. O levantamento geofísico indicou espessuras compatíveis às observadas nas sondagens rotativas, identificando na sísmica duas camadas superficiais com velocidades de 700 e 2.600 m/s, correspondentes às camadas de solo e de rocha.

2.5 Aspectos Geotécnicos

Do ponto de vista geotécnico, adotou-se:

- Os taludes em solo, exceto na seção molhada do canal, terão inclinação 1V:1,5H para possibilitar a sua proteção contra intempéries através da colocação de materiais granulares. Caso o solo seja bastante argiloso, a camada de material granular é simples. Para solos pouco argilosos ou arenosos haverá colocação de uma camada de transição fina entre o solo e a proteção granular constituída de blocos médios e grandes;
- Os taludes de escavação dos canais em regiões de maciços cristalino e sedimentar, em Rocha Alterada Mole (RAM) ou Rocha Alterada Dura (RAD) ou Rocha Sã (RS) terão a inclinação do talude de escavação de 2V:1H;
- Nos taludes de escavação em solos aluvionares a proteção ou estabilização dependerá dos parâmetros de resistência dos materiais e das condições hidrogeológicas. Nesses taludes, a inclinação do talude é de 1V:2H;
- Nas rochas sedimentares (conglomerados, arenitos e arenitos conglomeráticos) a inclinação da escavação será 1V:1H acima do NA do canal de adução.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Para o estudo de balanceamento entre volumes de escavação das três categorias de materiais e aterro, foram utilizados os coeficientes de empolamento estabelecidos nos critérios de projeto. Para efeito de cálculo de momento de transporte além de 1km foram calculadas distâncias entre centros de massas dos cortes e dos aterros adjacentes, intervenientes no processo de balanceamento.

O traçado do canal foi definido com o auxílio do programa GEOPAK, que permite quantificar os volumes de escavação para as 3 categorias de materiais envolvidos e de aterro para um dado traçado.

Através de várias alternativas de traçado, foi adotada aquela em que se obteve a compensação aproximada dos materiais de escavação com os materiais de aterro, de modo a não necessitar o emprego de materiais da zona de empréstimo, para a execução dos aterros, e nem a execução de bota-fora resultante das escavações.

O equilíbrio entre corte-aterro foi feito para a distância de transporte de 5 km, distância esta que se mostrou ser a mais econômica, para a utilização dos materiais provenientes da escavação obrigatória nos aterros.

2.6 Aspectos Estruturais

Os cinco trechos de canais, ou seja, aqueles entre a barragem Jatí e o reservatório do barramento Atalho entre o desemboque do túnel Cuncas e reservatório da barragem de Morros, e os três trechos de interligação dos reservatórios dos Porcos, Cana Brava, do Cipó e do Boi, não são revestidos para fins de impermeabilização ou melhoria da rugosidade, apenas, eventualmente, por questões de proteção e estabilidade dos taludes.

Os outros canais serão revestidos por uma geomembrana protegida por concreto reforçado com fibra sintética de nylon ou de polipropileno, tendo espessura de 12,0 cm na base e 5,0 cm nos taludes laterais, com juntas de contração formando placas de 3x3 m, sendo uma na ligação entre a base e o talude, outra no meio do talude e outra no meio da base. As juntas de dilatação transversais foram projetadas a cada 30 m. Foi adotada a classe de concreto A, que apresenta $f_{ck}=15$ MPa aos 28 dias.

Prevê-se que o lançamento e o espalhamento do concreto na superfície do canal seja feito com pontes de concretagem, uma vez que este sistema permite um rendimento extremamente elevado.

A geomembrana será o único dispositivo responsável pela impermeabilização do canal, uma vez que abaixo desta será instalado um sistema de drenagem para alívio da subpressão com deságüe para fora do canal. Qualquer defeito na geomembrana ou nas suas emendas poderá ser detectado por acréscimo de vazão neste sistema de drenagem.

Poderá ser empregado um dos dois tipos de geomembrana, a saber:

- geomembrana de PVC acoplada ao geotêxtil;
- geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade).

Cada um dos tipos de geomembrana possui características particulares quanto à resistência aos raios ultra-violetas, resistência ao puncionamento, resistência à tração, etc. Possuem em comum a baixa permeabilidade que garantirá a estanqueidade do canal.

3 . AQUEDUTOS

3.1 Características Gerais

Os aquedutos são estruturas que substituem os canais em trechos reduzidos, onde normalmente ocorre a passagem de um rio com vazão elevada, transversalmente ao canal, não comportando



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

uma solução de drenagem com bueiros enterrados sob o canal, conforme pode ser observado nos seguintes desenhos:

- EN.B/II.DS.ET.0012;
- EN.B/II.DS.ET.0013;
- EN.B/II.DS.ET.0014;

Neste trecho foram projetados 3 aquedutos com vazão de 89 m³/s, com células duplas que permitem o fluxo da metade desta vazão em cada uma das células, conforme descrição apresentada abaixo. Nesta etapa do projeto conforme as fases de implantação estabelecidas pelos estudos econômicos somente um dos ramos da bifurcação será levado em conta, com vazão de 44,5 m³/s. As transições entre o canal e os aquedutos, foram projetadas de modo a permitir o complemento do aqueduto numa segunda fase.

AQUEDUTO	VAZÃO(m ³ /s)	COMPRIMENTO (m)	ESTACAS	
DO BOI	89	180	48 + 435	48 + 615
PINGA	89	150	49 + 414	49 + 564
CATINGUEIRA	89	180	57 + 387	57 + 567

Os aquedutos iniciam-se com uma estrutura de transição de montante, para passar da seção do canal para a seção do aqueduto em formato retangular. A mesma situação ocorre na saída do aqueduto, com a transição de jusante, que passa da forma retangular do aqueduto para a forma do canal, conforme pode ser verificado na Figura 2.

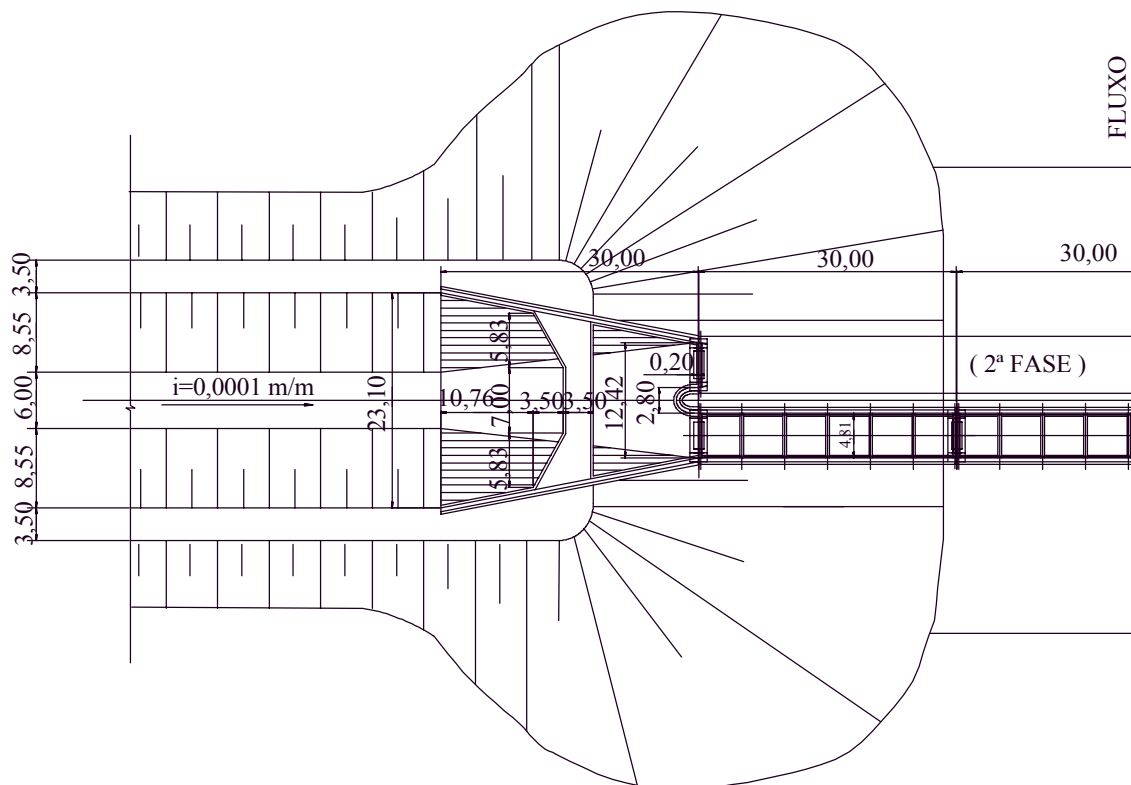


Figura 2 – Planta do Emboque e Desemboque do Aqueduto



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os comprimentos indicados na tabela anterior, referem-se somente à parte do aqueduto situada sobre pilares, ou seja, valores múltiplos de 30 m (distância entre pilares). Não estão incluídos os comprimentos dos trechos das transições de montante e jusante, que medem cada uma também 30 m.

3.2 Aspectos Hidráulicos

Os aquedutos têm forma retangular com declividade de 0,0004 m/m. Para a vazão de 44,5 m³/s em cada uma das duas células, a sua base é de 4,81 m de largura e altura de 5,00 m. O coeficiente de *Manning* adotado é de 0,015 s/m^{1/3}.

3.3 Aspectos Geológicos

3.3.1 Aqueduto Pinga

O Aqueduto Pinga está situado entre as estacas 49+414 e 49+564, totalizando uma extensão de 150 m. Nesse local, o arenito Mauriti constitui a ombreira de jusante e o metarenito do Grupo Cachoeirinha, a ombreira de montante, separados por um depósito aluvionar, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/II.DS.GL.0021.

Em ambas as ombreiras, independente da formação geológica, a espessura de solo é pequena, da ordem de 1,50 m, e muitas vezes a rocha é aflorante. Na ombreira de montante, a sondagem SR-244 indicou a presença de metarenito pouco coerente, porém compacto, até a profundidade de 2,50 m, passando em profundidade à rocha medianamente coerente e medianamente fraturada até a profundidade de 6,50 e, daí, para uma rocha coerente, pouco fraturada. O nível d'água não foi interceptado até a profundidade final do furo, de 10,0 m.

No leito do rio, a sondagem SR-816 indicou 10,80 m de aluvião constituído essencialmente por areia média a grossa, pouco siltosa, fofa a pouco compacta, sobreposto a solo de alteração de metasedimento que ocorre até 11,33 m de profundidade e passa a rocha alterada mole. De 12,10 até 16,33 m, profundidade final do furo, o metasedimento apresenta-se como rocha alterada dura, medianamente fraturada. O nível d'água foi interceptado a 020 m de profundidade.

3.3.2 Aqueduto do Boi

O Aqueduto do Boi está situado entre as estacas 48+435 a 48+615, totalizando 180 m de extensão, onde a geologia é constituída essencialmente por metasiltitos do Grupo Cachoeirinha, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/V.DS.GL.020. No leito do rio ocorrem sedimentos aluvionares.

Em ambas as ombreiras o mapeamento geológico mostrou a presença de afloramentos rochosos, em parte recobertos por coluviões arenosos. A sondagem SR-241, executada na ombreira de montante, indicou cerca de 1,0 m de coluvião sobre rocha alterada mole, esta até a profundidade de 3,50 m, passando daí para baixo a rocha alterada dura até a profundidade final do furo, de 6,40 m. O nível d'água não foi detectado até a profundidade estudada.

No leito do rio, a sondagem SR-242 indicou a presença de aluvião bastante espesso, de 6,0m, onde o trecho superior é constituído por silte argiloso e o trecho médio inferior por areia de granulação média a grossa, pouco siltosa, com pedregulhos. O aluvião encontra-se diretamente por sobre solo de alteração e rocha alterada mole de metasiltito até a profundidade de 8,30 m, seguindo-se rocha alterada dura, medianamente fraturada, até a profundidade final do furo de 13,05 m. O nível d'água está posicionado no aluvião à 2,77 m de profundidade.

Na ombreira de jusante, a sondagem SR-243 interceptou 2,38 m de coluvião, recobrendo rocha alterada mole de metasiltito até 7,0 m de profundidade. Segue-se abaixo, rocha alterada dura,



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

muito fraturada até a profundidade final do furo, a 10,0 m. O nível d'água foi atingido a 6,0 m de profundidade.

3.3.3 Aqueduto Catingueira

O Aqueduto Catingueira está situado entre as estacas 57+387 a 57+567, totalizando 180 m de extensão, onde a geologia é constituída essencialmente pelo arenito da formação Mauriti, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/II.DS.GL.0022.

O mapeamento geológico mostrou a presença de afloramentos rochosos em toda a área de implantação do aqueduto, em parte recobertos por pequenas espessuras de coluviões arenosos. A sondagem SR-247, executada na ombreira de montante, indicou 0,33 m de coluvião por sobre arenito pouco a medianamente coerente, pouco fraturado, situação esta observada no leito do rio e na ombreira de jusante, respectivamente nas sondagens SR-248 e SR-249, indicando as condições favoráveis de implantação das fundações dos pilares do aqueduto. O nível d'água oscila por volta da cota 385, posicionado entre 2 e 8 m de profundidade.

3.4 Aspectos Geotécnicos

Os aterros nos encontros dos aquedutos foram concebidos em seção mista, ou seja, sob as extremidades dos canais retangulares em concreto estão previstos aterros compactados confinados lateralmente por maciços de enrocamento separados por camadas de transições finas e grossa, conforme pode ser observado na Figura 3.

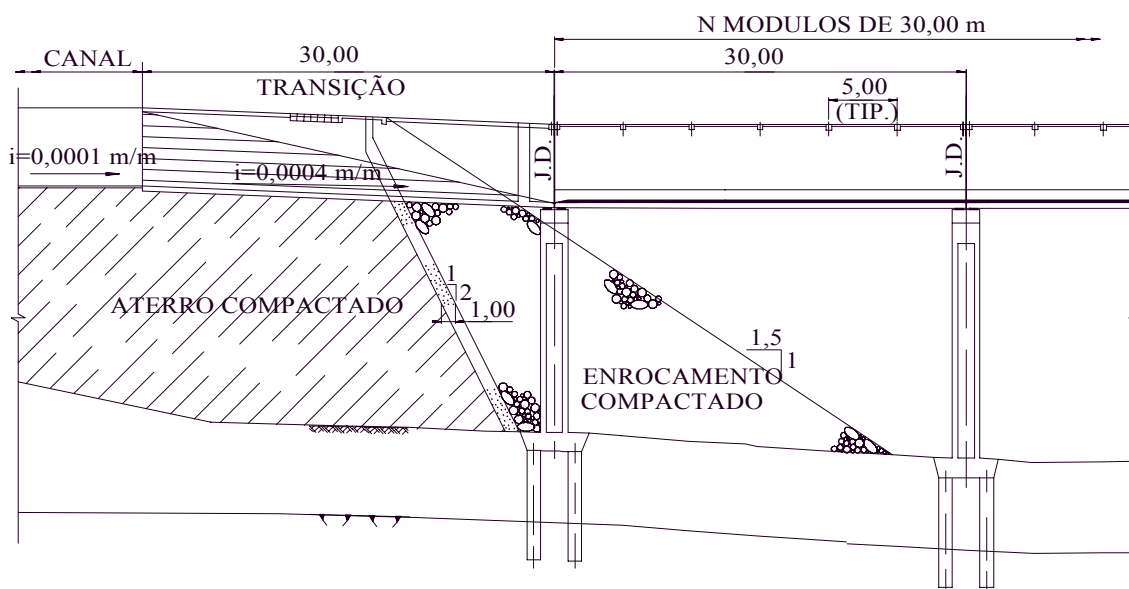


Figura 3 – Corte longitudinal pelo aqueduto

Os materiais da fundação serão removidos até que se atinja material consistente ou compacto compatível com os carregamentos provenientes dos aterros de encontro.

As fundações dos pilares dos aquedutos do Boi e Pinga serão em estacas escavadas de 1,0 m de diâmetro, cujas bases serão assentes no topo da rocha sã. As fundações dos pilares do aqueduto Catingueira serão em sapatas isoladas assentes sobre rocha sã superficial.

No leito do rio ou riacho, geralmente coberto com aluvião, está prevista a remoção parcial do mesmo, ou substituição por camadas de enrocamento de grandes diâmetros assentes sobre uma camada de transição, constituídas de pedras de diâmetros médios e pequenos.

3.5 Aspectos Estruturais



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Em geral, os aquedutos são formados por uma laje de fundo e duas paredes laterais. As espessuras dessas estruturas medem 0,40 m. Na parte superior dos aquedutos foram instalados tirantes de travamento a cada 5 m, de seção transversal de 0,4 x 0,4 m. A estrutura celular do aqueduto poderá ser moldada no local com auxílio de cimbramentos ou apresentar um processo construtivo misto, iniciando-se com o lançamento de vigas pré-moldadas e completada com a moldagem no local da laje de fundo e das paredes verticais, conforme pode ser observado na Figura 4.

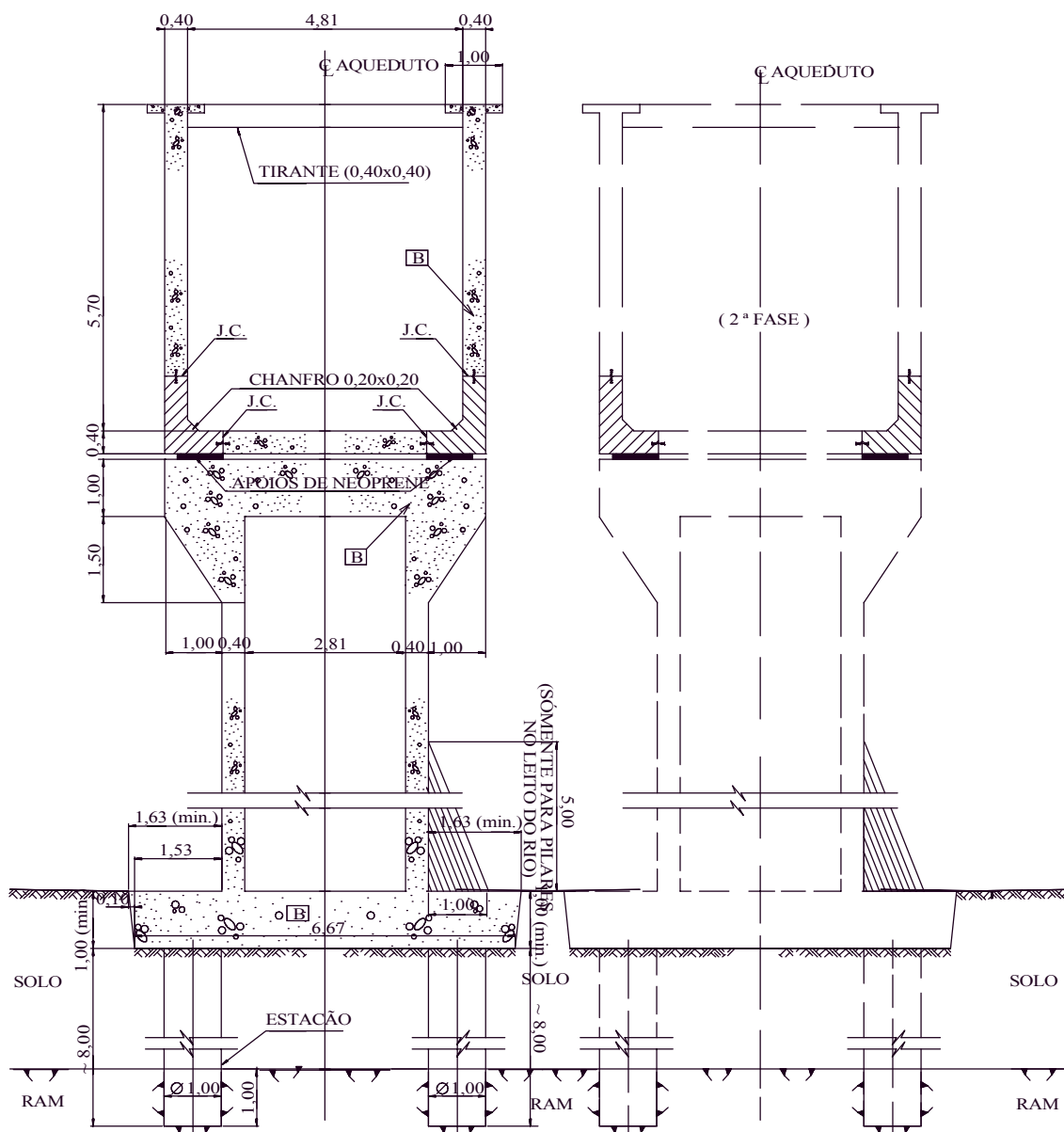


Figura 4 – Seção Transversal

Os pilares de sustentação da estrutura superior do aqueduto são estruturas celulares com seções vazadas retangulares de 0,40 m de espessura. Para os aquedutos do Boi e Pinga, na parte inferior dos pilares, junto à fundação, considerou-se um bloco maciço encabeçando 4 estacas circulares apresentando 8,0 m de profundidade média e 1,0 m de diâmetro. Para o aqueduto Catingueira não será necessária a inclusão das 4 estacas, tendo em conta que o topo rochoso encontra-se na superfície do terreno natural. Na parte superior dos pilares, foi



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

implantada uma estrutura maciça sobre a qual foram colocadas almofadas de neoprene para apoio da estrutura adutora.

Os pilares, num trecho de aproximadamente 5 m de comprimento, apresentam forma hidrodinâmica na face de montante, de modo a minimizar os efeitos decorrentes do fluxo da água do rio em alta velocidade.

Nas juntas de construção e de contração da estrutura adutora foram inseridas veda-juntas, de modo a impedir vazamentos. Nas juntas de construção das vigas pré-moldadas, foram implantadas veda-juntas tipo *Fungenband* O-22. Nas juntas de contração da estrutura adutora foram inseridas veda-juntas tipo Jeene JJ4050M.

Para as estruturas dos aquedutos, formadas pelas transições, adução, pilares e fundações foram adotadas a classe de concreto B, que apresenta $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

Outras soluções, tais como aquedutos compostos por aduelas pré-moldadas protendidas, poderão ser analisadas em detalhe, durante a etapa de Projeto Executivo.

4 . GALERIA SOBRADINHO

4.1 Características Gerais

O canal adutor, ao atravessar transversalmente um curso d'água denominado por riacho Sobradinho, com elevação de fundo da ordem de 10m abaixo do leito natural do riacho, transformou-se em galeria, permitindo que o riacho passasse por cima da mesma. Esta galeria é formada por 3 células de seção retangular que apresentam 4,70 m de largura e 6,0 m de altura, conforme pode ser observado na Figura 5.

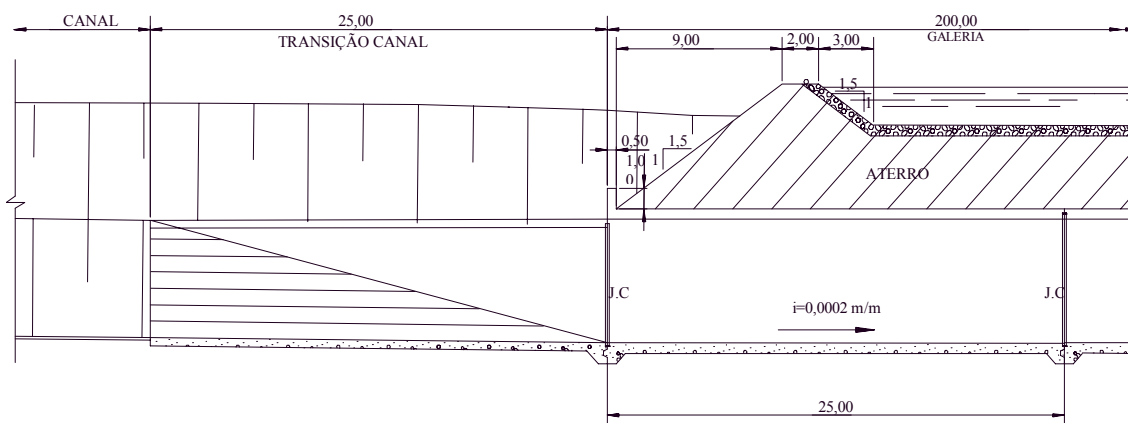


Figura 5 – Galeria Sobradinho – Seção Longitudinal

Para a vazão do sistema adutor de $89 \text{ m}^3/\text{s}$, a referida galeria opera sem afogamento e permite uma lâmina d'água no interior de cada célula de 5,0 m de altura, com declividade de 0,0002 m/m, em 200,0 m de comprimento. A montante e jusante desta galeria foram implantadas 2 transições de 25,0 m de comprimento cada uma, que passa da seção trapezoidal do canal para seção retangular da galeria, conforme pode ser observado no desenho EM.B/II.DS.ET.0015.

Acima desta galeria, cerca de 4,0 m acima da laje superior, o riacho Sobradinho foi reconstituído num trecho de aproximadamente 50,0 m de comprimento e 180,0 m de largura. Esta reconstituição é formada por aterro compactado e enrocamento de proteção.

4.2 Aspectos Geológicos



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A galeria Sobradinho está situada entre as estacas 76+347 e 76+547, totalizando uma extensão de 200 m. A geologia é constituída exclusivamente por aluviões arenosos, conforme pode ser observado no desenho de n.º EN.B/II.DS.GL.0023.

As sondagens mostraram condições geológicas e geotécnicas bastante similares no local, observando-se a presença de camadas arenosas intercaladas por camadas argilo-siltosas, com índices SPT variando entre 3 e 10 golpes até a profundidade de 10 m. Na superfície, com espessura de até 2,90 m, o solo é constituído por silte argiloso e/ou argila siltosa, cinza escuro, mole. O nível d'água apresenta-se raso, tendo sido interceptado a 1,0 m de profundidade na sondagem SR-257, o que deverá ser considerado na implantação da obra. Por outro lado, ensaios de infiltração mostraram valores baixos de permeabilidade, variando entre 4,7 e $7,5 \times 10^{-5}$ cm/s, o que deverá ser melhor avaliado.

4.3 Aspectos Estruturais

Os 200,0 m de galeria foram separados em módulos de 25,0 m por juntas de contração, vedadas por veda-junta tipo *Fugenband* O-22. Cada módulo é dotado de chaveta tipo macho-fêmea de modo a impedir recalques diferenciais entre os mesmos.

A laje de fundo, paredes verticais e laje de cobertura desta galeria apresentam 0,50 m de espessura. As transições apresentam 0,40 m de espessura. Foi adotada para essas estruturas a classe de concreto B, que apresenta resistência característica a compressão $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

5 . TOMADAS D' ÁGUA DE USOS DIFUSOS

5.1 Características Gerais

Ao longo do canal será implantada uma série de tomadas d'água de usos difusos. Estabeleceu-se como critério que a cada 10 km de canal seriam implantadas 3 tomadas, com vazões de 0,1 m³/s, 0,2 m³/s, e 0,5 m³/s. Com a finalidade de se quantificar o orçamento preliminar, ficou estabelecido também que, ao longo de todo canal, 50% das tomadas seriam em situação de corte e 50% em situação de aterro, conforme pode ser observado nas Figuras 6 e 7.

5.2 Aspectos Estruturais

As estruturas das tomadas em situação de corte são formadas basicamente por uma tomada retangular com grade (2,0x2,5m livre), galeria de acesso (2,0x2,5 m livre) e câmaras de bombeamento, sendo o número de câmaras uma função da vazão bombeada, a saber:

Vazão (m ³ /s)	Número de Câmaras
0,1	2
0,2	3
0,5	6

As dimensões de cada câmara são da ordem de 2,0 m de largura, 5,0 m de comprimento e 6,0 m de altura. A espessura das lajes e das paredes que compõem a tomada e a galeria de entrada, bem como as paredes externas e a laje superior da câmara de bombeamento, é 0,30 m. A espessura das paredes internas da câmara de bombeamento é 0,35 m, conforme pode ser observado no desenho EN.B/V.DS.ME.0001 a 0005.

As estruturas das tomadas em situação de aterro são formadas basicamente por uma tomada retangular de 2,0 m de largura, com uma única câmara, de onde sai a tubulação por gravidade, que apresenta diâmetro em função da vazão de saída, a saber:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Vazão (m ³ /s)	Diâmetro (polegada)
0,1	16
0,2	16
0,3	22

A espessura das lajes e paredes que compõem esta câmara é de 0,30 m, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.ME.0010.

Para as estruturas das tomadas de uso difuso foi adotada a classe de concreto B, que apresenta resistência característica $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

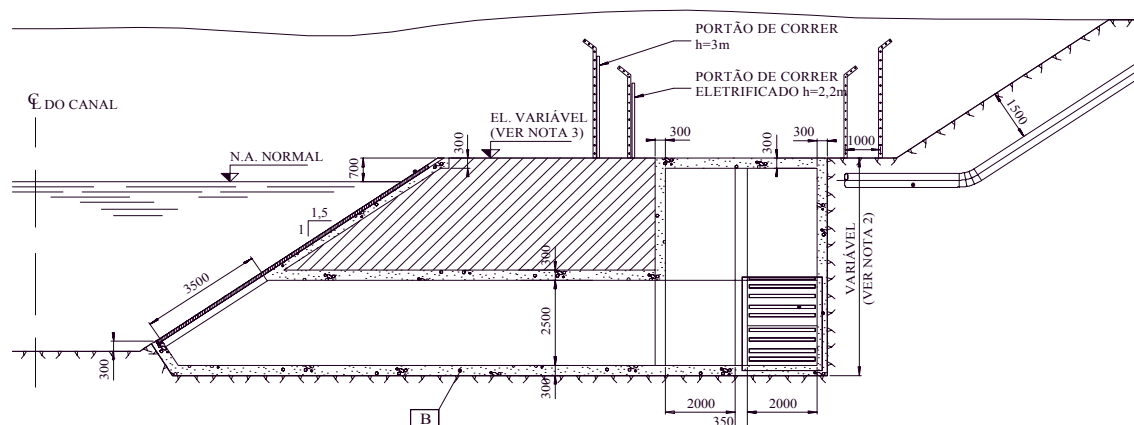


Figura 6 – Tomada de uso difuso (corte)

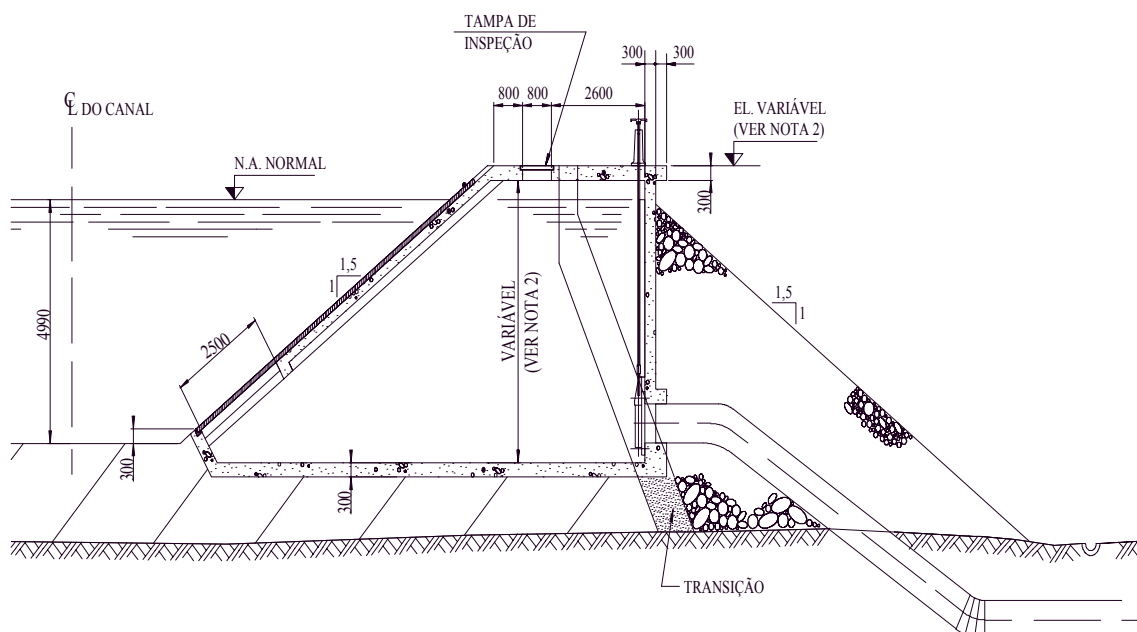


Figura 7 – Tomada de uso difuso(aterro)



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

6 . TOMADAS D'ÁGUA DE DERIVAÇÃO

6.1 Características Gerais

As Tomadas D'Água de derivação do Trecho II estão localizadas nos reservatórios dos Porcos Cuncas.

A Tomada d'Água do reservatório dos Porcos tem uma vazão de 7 m³/s. Há duas tomadas implantadas no reservatório Cuncas, uma no dique, outra na barragem. A primeira, com uma vazão de 3 m³/s, também tem por finalidade o uso difuso. A segunda tomada é projetada para a derivação de 50 m³/s de água para o reservatório Eng^o. Ávidos.

As Tomadas D'Água possuem uma única abertura, correspondente ao conduto forçado de adução às válvulas dispersoras, e estão equipadas com um jogo de dois elementos de grade, removíveis, com bandejas para retenção de detritos, e com uma comporta do tipo ensecadeira para permitir a manutenção do conduto e dos equipamentos a jusante.

As comportas ensecadeiras para fechamento das aduções são operadas e armazenadas nas próprias ranhuras das grades.

Em cada Tomada D'Água, nas extremidades de jusante do conduto forçado, estão instaladas duas válvulas do tipo dispersoras.

A montante de cada uma das válvulas dispersoras, está instalada uma válvula borboleta manual e um conjunto constituído por um medidor eletromagnético de vazão e um acoplamento rígido, de modo a permitir a montagem do equipamento.

A válvula dispersora, de eixo horizontal, operará, sob quaisquer níveis d'água de montante e jusante, como um órgão regulador de vazão e dissipador de energia.

No controle da vazão, a válvula deverá fornecer a vazão máxima de projeto (ver tabela apresentada em item a seguir), sob qualquer nível d'água de montante compreendido entre o nível mínimo e o nível máximo-maximorum.

6.2 Aspectos Estruturais

No reservatório dos Porcos a tomada d'água de derivação é para 7 m³/s, com duas válvulas dispersoras, com diâmetro de 700 mm. Esta tomada está implantada em estrutura formada por CCR, anexa ao vertedouro, apresentando 5,5m de comprimento, apresentando bocal retangular de 4,5 m de largura e 3,0 m de altura, dotado de grade e comporta ensecadeira dupla(2x1,75x3,0), com um pilar central de 1,0m de espessura, conforme pode ser observado na Figura 8.

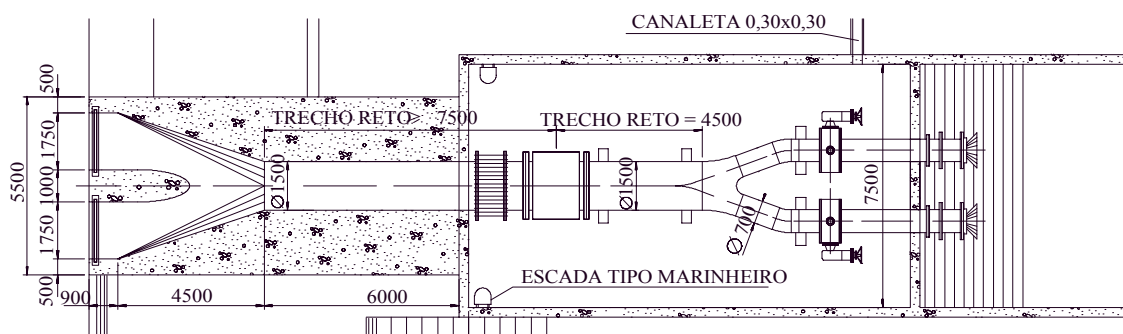


Figura 8 – Tomada d'água de derivação – Reservatório dos Porcos



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Este bocal retangular reduz para uma seção circular de 1,5m de diâmetro, apresentando a jusante a estrutura que bifurca e reduz para duas válvulas dispersoras de 700 mm de diâmetro. A jusante da válvula dispersora, a estrutura apresenta uma bacia de dissipação do jato da válvula, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.ME.0003.

No reservatório Cuncas foram implantadas duas tomadas de derivação. Uma para a vazão de 3 m³/s, com duas válvulas dispersoras que apresentam diâmetro de 700 mm, outra, na barragem, para a vazão de 50m³/s para Eng. Ávidos, com duas válvulas dispersoras de 1500 mm.

A tomada de 3 m³/s, com duas válvulas dispersoras de 700 mm de diâmetro, encontra-se implantada no dique Cuncas, num canal escavado em rocha sã de largura mínima de 3,0 m, conforme pode ser observado no desenho EM.B/II.DS.ME.0011. Apresenta bocal quadrado de 2,5 m de largura e altura, dotada de grade e comporta ensecadeira, com transição para a seção circular de 1,5m de diâmetro. Após um trecho reto de 12,0 m, onde está inserido um medidor eletromagnético, o conduto se bifurca e reduz para duas válvulas dispersoras de 700 mm de diâmetro. A jusante da válvula dispersora, a estrutura apresenta uma bacia de dissipação do jato da válvula, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.ME.0011.

Na barragem Cuncas foi implantada a tomada d'água que deriva 50m³/s para Eng. Ávidos, com duas válvulas dispersoras de 1500 mm. Esta tomada está implantada a montante do pé da barragem com fundação na El. 367,00 m e crista na El. 391,40 m. Esta estrutura apresenta 5,4 m de comprimento e 7,6 m de largura. O bocal da tomada, de formato retangular, apresenta 6,6 m de largura e 5,0 m de altura, dotado de grade e comporta ensecadeira dupla(2x2,80x5,0), com um pilar central de 1,0m de espessura. Este bocal retangular reduz para uma seção circular de 4,0 m de diâmetro, apresentando a jusante a estrutura que bifurca e reduz para duas válvulas dispersoras de 1500 mm de diâmetro. A jusante da válvula dispersora, a estrutura apresenta uma bacia de dissipação do jato da válvula, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.ME.0012.

6.3 Equipamentos Mecânicos das Tomadas d'Água nas Barragens

a) Grades

As grades são do tipo removíveis, construídas com barras verticais montadas sobre quadro de aço estrutural, com bandejas de coleta de detritos, e movimentadas com o auxílio de uma viga pescadora através de guindaste móvel.

As dimensões principais de cada grade são:

TOMADA	DOS PORCOS	CUNCAS	CUNCAS
Vazão (m ³ /s)	7,0	3,0	50,0
Largura (m)	2,8	2,5	2x2,8
Altura (m)	2,8	2,5	9,0

b) Comportas Ensecadeiras

As comportas ensecadeira são do tipo deslizante. A estrutura de cada elemento é metálica de construção soldada, com paramento e plano de vedação voltado para o lado a ser ensecado. O elemento inferior de cada comporta é provido de um sistema de *by-pass*, para permitir o enchimento do recinto ensecado. A comporta é operada nas próprias ranhuras da grade, e manobrada, em meio equilibrado, com auxílio de guindaste móvel e a mesma viga pescadora da grade.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As dimensões gerais da comporta são:

TOMADA	DOS PORCOS	CUNCAS	CUNCAS
Vazão (m ³ /s)	7,0	3,0	50,0
Largura (m)	2,8	2,5	2,8
Altura (m)	2,8	2,5	9,0

c) Válvulas Dispensoras

A válvula dispensora é constituída basicamente por um corpo fixo e um obturador móvel.

O corpo fixo da válvula dispensora é constituído por um cilindro e um cone concêntricos, sendo que o ângulo formado pela geratriz do cone e o eixo da válvula é igual a 45°. O corpo fixo é de aço carbono, em construção soldada, e possui nervuras radiais, simetricamente espaçadas, fixadas internamente no cilindro e externamente no cone dispensor. Na extremidade de montante do corpo fixo é fixado o flange para acoplamento com a virola de ancoragem da válvula.

O obturador móvel é montado concêntrica e externamente ao corpo fixo. As superfícies do cilindro e das nervuras do corpo fixo, sobre as quais ocorrem o guiamento e o apoio e permitem o deslizamento do obturador, são revestidas de aço inoxidável e devidamente usinadas.

TOMADA D'ÁGUA	DOS PORCOS	CUNCAS	CUNCAS
Vazão (m ³ /s)	3,5	1,5	25,0
Diâmetro da válvula (mm)	700	700	1500

7 . ESTRUTURAS DE CONTROLE DE SUPERFÍCIE

7.1 Características Gerais

As Estruturas de Controle de superfície, localizadas nas saídas dos reservatórios dos Porcos e do Boi, são projetadas para uma vazão de 89 m³/s. Essas estruturas têm por finalidade conter o volume d'água nos reservatórios e controlar a vazão de adução aos canais a jusante.

A ligação da Transposição de Águas do Rio São Francisco do Trecho II ao Trecho III – Eixo Norte será efetuada através de uma estrutura de controle localizada na margem norte do reservatório Cuncas, para uma vazão máxima de 55,0m³/s, cujo projeto é escopo do projeto do Trecho III, propriamente dito.

Na Estrutura de Controle dos Porcos estão previstos três vãos, sendo cada um equipado com uma comporta do tipo segmento. Na Estrutura de Controle do Boi estão previstos quatro vãos, sendo cada um também equipado com uma comporta do tipo segmento. O acionamento de cada uma das comportas segmento é feito através de dois servomotores, enquanto que a operação de todas as comportas de uma mesma estrutura é realizada por uma única central hidráulica, instalada na Casa de Comando, situada no coroamento da respectiva estrutura, conforme pode ser observado na Figura 9. Um dos vãos, em cada uma das estruturas é de reserva, escoando a vazão de projeto pelos vãos restantes.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

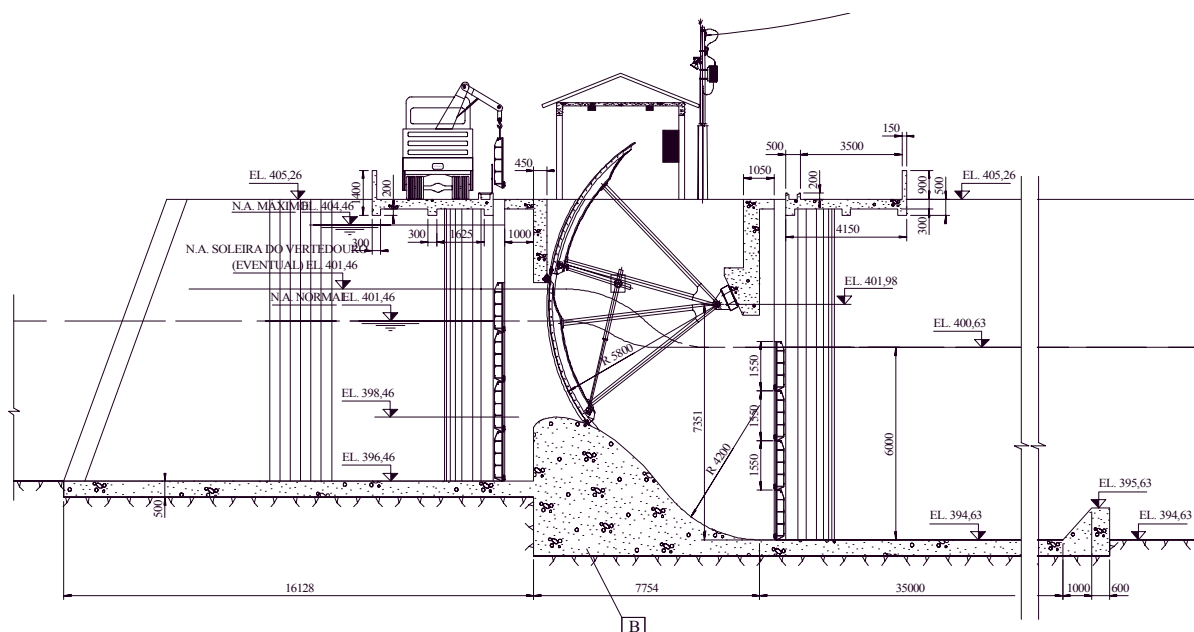


Figura 9 – Estrutura de Controle – Canal dos Porcos - Cana Brava

Para fins de manutenção, está prevista a utilização de duas comportas ensecadeiras, a serem colocadas em ranhuras a montante e a jusante da comporta segmento. A estocagem dos elementos das comportas ensecadeiras é feita nas próprias ranhuras da respectiva Estrutura de Controle, no vão de reserva.

Para a montagem e manutenção dos equipamentos das Estruturas de Controle está se prevendo a utilização de guindastes móveis.

7.2 Aspectos Estruturais

As Estruturas de Controle dos reservatórios dos Porcos e do Boi, geometricamente dependentes da vazão, são divididas no sentido do fluxo em 3 subestruturas, separadas entre si por vedajuntas periféricas *Fungenband* tipo O-22. São dotadas de muro de aproximação, e ranhura para *stop-log* no caso de manutenção. A estrutura de entrada, apresenta um afunilamento de 45° antes de entrar na câmara central, onde estão instaladas as comportas, seguindo-se um trecho de transição antes de entrar no canal adutor.

A estrutura de entrada e a câmara central apresentam laje de fundo de 0,50 m e paredes laterais de 1,0 m de espessura. A transição de saída, que passa da seção retangular para a seção do canal, apresenta 0,30 m de espessura.

Para as estruturas de controle foi adotada a classe de concreto B, que apresenta resistência característica $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

A espessura mínima da laje da estrutura de entrada e da bacia de dissipação é de 0,50 m. A espessura das paredes laterais é de 1,0 m, conforme pode ser observado no desenho EN.B/II.DS.ME.0013.

A estrutura vertente, dotada de comportas setor, é constituída por CCR na parte central e por concreto convencional vibrado, classe B, que apresenta $f_{ck}=25$ MPa, na região periférica em contato com a água do reservatório, bem como submetida ao fluxo d'água em velocidade.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

7.3 Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controles

a) Comportas Segmento

As comportas são do tipo segmento, em estrutura de aço constituída de tabuleiro de chapa de face curva, vigas horizontais e verticais, braços, que ligam o mancal de articulação à estrutura da comporta, e rodas. Em particular, a comporta segmento do reservatório dos Porcos tem também vedação frontal, além das vedações de soleira e laterais. Cada uma das comportas é acionada através de dois servomotores de simples efeito. A operação das comportas é feita através de uma única central oleodinâmica.

As dimensões gerais do tabuleiro são:

ESTRUTURA	DOS PORCOS	DO BOI
Nº de comportas	3	4
Vão (m)	3,10	3,50
Altura (m)	4,67	6,69
Raio (m)	5,80	10,50

b) Comportas Ensecadeiras

As comportas ensecadeira são do tipo deslizante. Em ambos os reservatórios dos Porcos e do Boi, ambas as comportas ensecadeiras, de montante e de jusante, são compostas por três elementos. O elemento inferior de cada comporta é provido de um sistema de *by-pass*, para permitir o enchimento do recinto ensecado. A comporta é guiada por sapatas guias instaladas nas cabeceiras e manobrada, em meio equilibrado, com auxílio de guindaste móvel e viga pescadora própria.

As dimensões gerais da comporta são:

ESTRUTURA	DOS PORCOS	DO BOI
Quantidade de comportas	2	2
Nº de elementos	3	3
Largura (m)	3,40	3,80
Altura do elemento (m)	2,10	1,80



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

8 . TÚNEL CUNCAS

8.1 Características Gerais

O túnel Cuncas constitui-se na principal obra ao longo do sistema adutor do Trecho II – Eixo Norte com um comprimento de 15.211 m, limitado entre as estacas 78+440 e 93+651. Este túnel foi dimensionado com a finalidade de aduzir 89 m³/s através de uma seção arco-retângulo de 9,30 m de largura e altura. Escavado em rocha, foram adotados para este túnel os seguintes coeficientes de *Manning*: $n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$ no piso e $n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$ nas paredes laterais e abóboda, resultando num coeficiente médio $n=0,028 \text{ s/m}^{1/3}$. A altura da lâmina d'água será limitada em 0,75D, ou seja, a 6,975 m da altura e a declividade do túnel foi fixada em 0,0004 m/m.

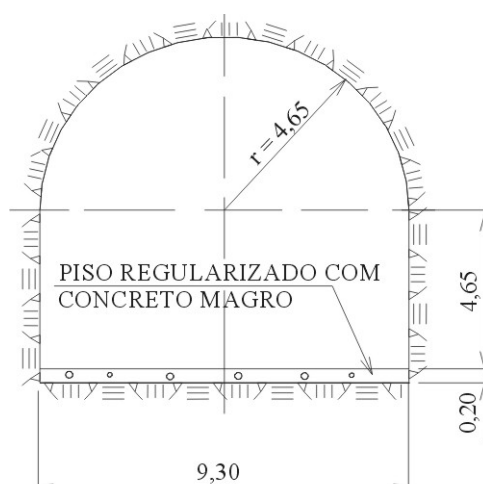


Figura 10 – Túnel Cuncas – Seção transversal hidráulica

8.2 Aspectos Geológicos

Conforme indicado nos desenhos de nºs EN.B/II.DS.GL.0027, EN.B/II.DS.GL.0028 e EN.B/II.DS.GL.0029, o túnel está localizado no domínio das rochas cristalinas, devendo interceptar no seu trecho inicial, o biotita gnaisse; xistos na sua parte central e granito no trecho final, biotita. No trecho inicial do túnel, recobrimo o biotita gnaisse, ocorre arenito da formação Mauriti, que, entretanto, não deverá ser interceptado pela escavação do túnel.

O emboque foi estabelecido na estaca 78+440 onde o levantamento sísmico evidenciou a presença de biotita gnaisse com velocidade sísmica variando de 3.400 a 4.100 m/s, o que confere, segundo classificação de *Barton*, um maciço rochoso classe D.

No desemboque, estaca 93+651, as sondagens indicaram uma cobertura mínima de rocha da ordem de 11 m e a presença de biotita gnaisse são e pouco fraturado na região da abóboda, caracterizando um maciço rochoso classe B, segundo *Barton*.

Ao longo do túnel, dada a espessa cobertura, as investigações foram resumidas ao mapeamento geológico detalhado e ao levantamento sísmico para a avaliação do maciço rochoso, observando-se, regra geral, que, para uma profundidade de 20 m, a velocidade sísmica é superior a 4.000 m/s, o que faz prever que na cota do túnel o maciço rochoso apresente boas características geomecânicas. Excepcionalmente, entre as estacas 90+000 e 91+000, ocorre uma zona de falha associada a uma drenagem, que investigada por sondagem rotativa apresentou rocha sã, já próximo à superfície, o que faz pressupor que na cota do túnel essa



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

falha se apresente selada, sem maiores problemas. Por outro lado, o mapeamento geológico identificou a presença de metasedimentos e xistos na porção central do túnel, em geral, foliados e para os quais previu-se seção S3 para escavação e estabilização. Ensaios de perda d'água indicaram permeabilidades baixas para o maciço rochoso com equivalentes de permeabilidade da ordem de 10^{-5} cm/s, não devendo trazer maiores preocupações para a escavação do túnel.

8.3 Aspectos Geotécnicos

Com base no conhecimento geológico e na classificação de maciços rochosos de *Barton* foram definidas 4 (quatro) seções de escavação, representadas no desenho de nº EN.B/II.DS.GL.0029.

A seção de escavação é comum ao longo da maior parte do traçado do túnel, do tipo arco retângulo com 9,30 m de largura, exceto nos emboques revestidos com concreto estrutural, quando essa largura é de 8,00 m.

Na tabela abaixo, apresenta-se um resumo das características de tratamento das seções de escavação.

Características das Seções de Escavação

SEÇÃO	CLASSE DE ROCHA	ÁREA (m ²)	TIRANTES (m/m)	CONCRETO PROJETADO Espessura (cm)	TRECHO (estacas)
S1	C	57,12	10,5	5	78+440 a 78+490 93+601 a 93+651
S2	A e B	79,05	3 esporádico	Eventual	78+700 a 83+400 86+600 a 88+800 90+250 a 92+450
S3	C e D	79,05	10,5	5	78+481 a 78+700 83+400 a 83+900 83+950 a 86+200 86+250 a 86+600 88+850 a 90+200 92+450 a 93+601
S4	E e F	79,05	20,0	0,12	83+900 a 83+950 86+200 a 86+250 88+800 a 88+850 90+200 a 90+250

Obs. A seção S1 é admitida revestida como critério de projeto.

8.4 Aspectos Estruturais

O túnel deverá ter o seu piso totalmente regularizado com concreto magro com espessura da ordem de 20 centímetros.

Nos seus 50 m iniciais e finais, seção S1, o túnel deverá ser revestido com concreto estrutural, tela soldada Q333, aço CA60B. O revestimento está projetado com 0,30 m de espessura, sendo adotado concreto que apresenta $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9 . PONTES E PASSARELAS

As pontes e passarelas são apresentadas nos seguintes desenhos:

- EN.B/II.DS.ET.0018 Ponte tipo 1C
- EN.B/II.DS.ET.0019 Ponte tipo 2
- EN.B/II.DS.ET.0007 Ponte Jati
- EN.B/II.DS.ET.0020 Passarelas

9.1 Ponte Tipo 1C

São pontes indicadas para estradas vicinais que atravessam perpendicularmente o canal em situação de corte ou aterro. Estas pontes apresentam as seguintes principais características:

No. de vãos:	1
Comprimento	32,5 m
Trem tipo	TB 36
Faixa de rolamento:	3,0 m

Em cada lado do tabuleiro das pontes foram projetados passeios de 1,0 m de largura e guarda corpo de 0,80 m de altura, não apresentando acostamento.

Estas pontes são estruturadas por intermédio de vigas pré-moldadas protendidas em forma de "I", de 32,5 m de comprimento, apresentando uma laje de 20 cm de espessura, moldada no local sobre placas pré-moldadas de 7 cm de espessura apoiadas nas vigas pré-moldadas protendidas. Em cada apoio da ponte, em situação de aterro, foi projetado um par de pilares (tubulão) de 1,0 m de diâmetro, conforme pode ser observado na Figura 11.

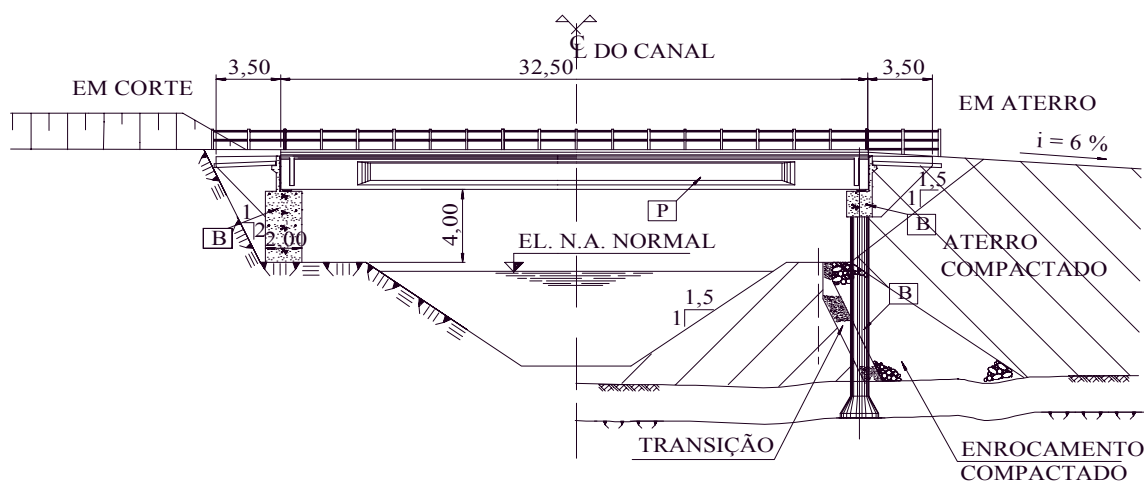


Figura 11 – Ponte sobre o canal (situação em corte ou aterro)

Para as vigas protendidas foi adotada a classe de concreto P, que apresenta $f_{ck}=30$ MPa aos 28 dias. Para as estruturas em concreto armado foi adotada a classe de concreto B, que apresenta $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

9.2 Ponte Tipo 2

São pontes que atravessam os rios ao lado dos aquedutos do Boi, Catingueira e Pinga e do bueiro da Palha. Estas pontes apresentam as seguintes principais características:

No. de vãos:	6(do Boi e Catingueira)
--------------	-------------------------



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

	5(Pinga)
	7(Palha)
Trem tipo	TB 45
Classe	IV
Faixa de rolamento :	3,0 m
Acostamento:	1,5 m

Em cada lado do tabuleiro das pontes foram projetados passeios de 1,0 m de largura e guarda corpo de 0,80 m de altura.

Estas pontes são estruturadas por intermédio de 5 vigas pré-moldadas protendidas em forma de “I”, de 30 m de comprimento, apresentando uma laje de 20 cm de espessura, moldada no local sobre placas pré-moldadas de 7 cm de espessura apoiadas nas vigas pré-moldadas protendidas. Em cada apoio da ponte foi projetado um par de pilares (tubulão) de 1,4 m de diâmetro.

Para as vigas protendidas foi adotada a classe de concreto P, que apresenta resistência característica $f_{ck}=30$ MPa aos 28 dias. Para as estruturas em concreto armado foi adotada a classe de concreto B, que apresenta resistência característica $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

9.3 Ponte Jati

Esta ponte situa-se a jusante do sistema adutor de Jati no canal do reservatório Atalho. A referida ponte apresenta as seguintes principais características:

No. de vãos:	1
Comprimento	30,0 m
Trem tipo	TB 45
Classe	II
Faixa de rolamento :	2x4,5

Em cada lado do tabuleiro das pontes foram projetados passeios de 1,0 m de largura e guarda corpo de 0,80 m de altura.

Estas pontes são estruturadas por intermédio de 5 vigas pré-moldadas protendidas em forma de “I”, de 30,0 m de comprimento, apresentando uma laje de 20 cm de espessura, moldada no local sobre placas pré-moldadas de 7 cm de espessura apoiadas nas vigas pré-moldadas protendidas. Em cada apoio da ponte, situação em aterro, foi projetado um par de pilares (tubulão) de 1,4 m de diâmetro.

Para as vigas protendidas foi adotada a classe de concreto P, que apresenta $f_{ck}=30$ MPa aos 28 dias. Para as estruturas em concreto armado foi adotada a classe de concreto B, que apresenta $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.

9.4 Passarelas

Ao longo do sistema adutor, sobre o canal, foram projetadas 11 passarelas para passagem de pessoas e animais, apresentando as seguintes principais características:

No. de vãos:	1
Comprimento:	24,1 m
Largura livre:	2,0 m



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Largura total: 3,2 m

Estas passarelas são estruturadas por intermédio de 2 vigas pré-moldadas de concreto armado de 1,8 m de altura, que serve de guarda corpo, e uma laje de 30 cm de espessura, moldada no local. Em cada apoio da passarela foi projetado um bloco de apoio, com dimensões dependentes do tipo de fundação, ou seja, em corte ou aterro, conforme pode ser observado na Figura 12.

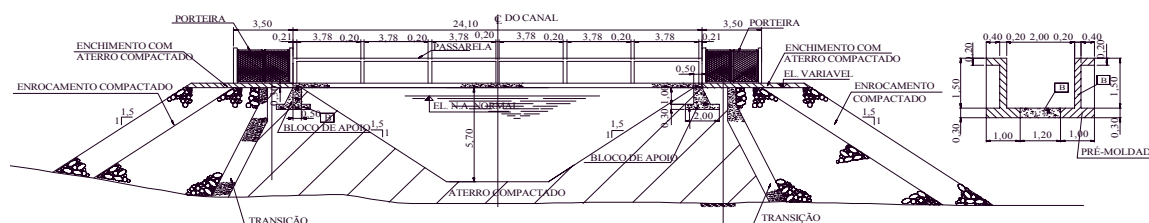


Figura 12 – Passarela sobre o canal artificial (aterro)

Para as passarelas foi adotada a classe de concreto A, que apresenta resistência característica $f_{ck}=25$ MPa aos 28 dias.