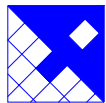




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



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 III – EIXO NORTE
R4 – SISTEMA ADUTOR**



**TRECHO III – EIXO NORTE
R4 – SISTEMA ADUTOR**

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

PROJETO BÁSICO

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: *Ciro Gomes*

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: *Hypérides Pereira de Macêdo*

Coordenador Geral: *João Urbano Cagnin*

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor: *Luiz Carlos Moura Miranda*

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*

São José dos Campos, setembro de 2003

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico; Trecho III –Eixo Norte – R4 – Sistema Adutor. - São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2003.

21 p

1. Transposição de Águas
- I. Trecho III – Eixo Norte – R4 – Sistema Adutor.

CDU 556.18:626

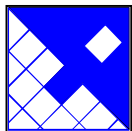
FUNCATE:

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

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 3925 1399 Fax: (0XX 12) 3941 2829



FUNCATE

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

Projeto	RAA, RGV, AAS, GLM, AYE, JCD, BDL, SC, CRML	Data SET/2003
Verificação	RAA	Data SET/2003
Aprovação	ACAV	Data SET/2003
Aprovação	JAVM	Data SET/2003
Código FUNCATE	EN.B/III.RF.GR.0004	



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Verificação		Data
Aprovação		Data

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

PROJETO BÁSICO

**TRECHO III - EIXO NORTE
R4 - SISTEMA ADUTOR**

**Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco
para o Nordeste Setentrional**
Projeto Básico

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

Geversson Luiz Machado: Chefe da Equipe de Geotecnia
Clóvis Ribeiro de Moraes Leme: Engenheiro

Aloysio Accioly de Senna Filho: Chefe da Equipe de Geologia

Rafael Guedes Valença: Chefe da Equipe de Hidráulica
Anibal Young Eléspuru: Engenheiro

José Carlos Degaspare: Chefe da Equipe de Estrutura

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

Bernd Dieter Lukas: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Equipe de Produção

Antonio Carlos Cunha Aguiar – Projetista

Antonio Muniz Neto – Projetista

Leandro Eboli – Projetista

João Luiz Bosso – Projetista

Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento

Mônica de Lourdes Sampaio – Desenhista Projetista

Infra Estrutura e Apoio

Ana Julia Cristofani Belli – Secretária

Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada

Andréa Marques Moraes – Aux. Administrativo

Maria Aparecida de Souza – Servente

Consultor

Luiz Antonio Villaça de Garcia



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R4 – SISTEMA ADUTOR, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho III – 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 – Complementação** compõe-se dos seguintes relatórios:

- R1 Descrição do Projeto
- R2 Critérios de Projeto
- R3 Usinas Hidrelétricas
- R4 Sistema Adutor
- R5 Sistema de Drenagem
- R6 Bases Cartográficas
- R7 Geologia e Geotecnia
- R8 Estudos Hidrológicos
- R9 Sistema de Supervisão
- R10 Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional
- R11 Sistema Elétrico
- R12 Canteiros e Sistema Viário
- R13 Cronograma e Orçamentos
- R14 Dossiê de Licitação
- R15 Memoriais de Cálculo
- R16 Linhas de Transmissão
- R17 Caderno de Desenhos



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

ÍNDICE	PG.
1 . OBJETO E OBJETIVO.....	1
2 . ESTRUTURAS DE CONTROLE DE SUPERFÍCIE.....	2
2.1 Características Gerais	2
2.2 Aspectos Estruturais	2
2.3 Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controle	2
3 . CANAIS	3
3.1 Trechos típicos	3
3.2 Aspectos Hidráulicos	3
3.3 Aspectos da Otimização do Traçado	4
3.4 Aspectos Geológicos e Geotécnicos.....	4
3.5 Aspectos Estruturais	5
3.6 Implantação geométrica do canal	6
4 . TÚNEL SERRA DA AREIA	11
4.1 Características Gerais	11
4.2 Aspectos Geológicos e Geotécnicos.....	11
5 . AQUEDUTOS	12
5.1 Características Gerais	12
5.2 Aspectos Hidráulicos	13
5.3 Aspectos Geológicos e Geotécnicos.....	13
5.4 Aspectos Estruturais	13
6 . TOMADAS D' ÁGUA DE USOS DIFUSOS.....	14
6.1 Características Gerais	14
6.2 Aspectos Estruturais	14
6.3 Tipos de Tomadas	14
6.3.1 Tipo 1 – Por Gravidade de 0,1 m ³ /s	14
6.3.2 Tipo 2 - Por Gravidade de 0,2 m ³ /s	15
6.3.3 Tipo 3 - Por Gravidade de 0,5 m ³ /s	15
7 . PONTES E PASSARELAS	15
7.1 Ponte Tipo 1B (TB-36).....	16
7.2 Ponte Tipo 1A (TB-45).....	16
7.3 Passarelas	17
8 . BARRAGEM VÁRZEA GRANDE	17
8.1 Aspectos Geológicos e Geotécnicos.....	18
8.2 Aspectos Estruturais	19
9 . DIQUES	19
10 . VERTEDOUROS	20
10.1 Vertedouro Várzea Grande.....	20
10.1.1 Aspectos Hidráulicos	20
10.1.2 Aspectos Estruturais	20
10.2 Vertedouro Salgado II.....	21
10.2.1 Aspectos Hidráulicos	21
10.2.2 Aspectos Estruturais	21



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 o projeto básico do Sistema Adutor do Trecho III - Eixo Norte. Tendo início na região oeste do Estado da Paraíba, região da cidade de Cajazeiras, o Trecho III estende-se até o sul do Estado do Ceará, na região da cidade de Aurora.

O sistema adutor do Trecho III estende-se por cerca de 61,5 km, sendo composto por diversas estruturas típicas. Excetuando-se as estruturas correspondentes às usinas hidrelétricas Salgado I e II e as obras de drenagem, descritas nos relatórios nº R3 e R5, respectivamente, apresentam-se aqui, para o trecho situado entre o reservatório de Caiçara o canal de fuga da UHE Salgado II, as seguintes estruturas (**Tabela 1.1**):

Tabela 1.1

Descrição	Estaca inicial	Estaca final	Comprimento
Estrutura de Controle no reservatório Caiçara		6 + 341	
Canal 1	6 + 341	14 + 760	8419
Aqueduto São Joaquim	14 + 760	15 + 060	300
Canal 2	15 + 060	15 + 800	740
Aqueduto Angical	15 + 800	16 + 250	450
Canal 3	16 + 250	21 + 130	4880
Aqueduto Taboca de Cima	21 + 130	21 + 430	300
Canal 4	21 + 430	26 + 200	4770
Aqueduto Balanço	26 + 200	26 + 500	300
Canal 5	26 + 500	28 + 250	1750
Aqueduto Cipó	28 + 250	29 + 510	1260
Canal 6	29 + 510	33 + 200	3690
Aqueduto Bom Jardim	33 + 200	34 + 820	1620
Canal 7	34 + 820	36 + 856	2036
Túnel Serra da Areia	36 + 856	37 + 406	550
Canal 8	37 + 406	39 + 480	2074
Aqueduto Serra da Areia	39 + 480	40 + 020	540
Canal 9	40 + 020	41 + 050	1030
Aqueduto Casemiro	41 + 050	41 + 860	810
Canal 10	41 + 860	43 + 200	1340
Aqueduto Serra Nova	43 + 200	45 + 530	330
Canal 11	45 + 530	44 + 680	1150
Aqueduto Mofumbo	44 + 680	45 + 190	510
Canal 12	45 + 190	49 + 200	4010
Aqueduto Ribeiro	49 + 200	49 + 620	420
Canal 13	49 + 620	52 + 000	2380
Aqueduto Taboca	52 + 000	52 + 390	390



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Canal 14	52 + 390	55 + 561	3071
Reservatório Várzea Grande	55 + 561		
Salgado I (da TA ao C. Fuga)	57 + 720	58 + 232	
Canal 15	58 + 232	62 + 520	4288
Aqueduto Jitirana	62 + 520	62 + 700	180
Canal 16	62 + 700	67 + 130	4430
Aqueduto Salgado	67 + 130	67 + 310	180
Canal 17	67 + 310	67 + 470	160
Tomada d'Água Salgado II		67 + 780	

Resumidamente o Trecho III é composto por 50.218 m de canais; 7.590 m de aquedutos, 3.202 m de reservatório e 550 m de túnel (desenhos EN.B/III.DS.GR.0001 E 0002 das páginas 1 e 2 do caderno de desenhos)

2 . ESTRUTURAS DE CONTROLE DE SUPERFÍCIE

2.1 Características Gerais

A estrutura de controle de superfície, a partir da qual se desenvolve o Trecho III, será localizada no reservatório Caiçara e tem por finalidade conter o volume d'água do reservatório e controlar a vazão de adução ao canal a jusante.

O reservatório Caiçara, objeto do projeto básico do Trecho II é um reservatório pivô, a partir do qual há adução aos Trechos II, III e IV. Essa adução foi projetada para ser realizada através de três estruturas de controle independentes, localizadas nas margens do reservatório Caiçara, para vazões máximas de 53,48 m³/s, 45,1 m³/s e 20 m³/s, respectivamente, cujos projetos fazem parte dos escopos dos projetos dos trechos respectivos. Dessa forma, somente a estrutura de controle do Trecho III será descrita neste relatório (EN.B/III.DS.GT.0040 - página 99 do caderno de desenhos).

Nessa estrutura foram previstos quatro vãos, cada um medindo 3,8 m de largura e 3,89 m de altura, sendo cada um deles equipado com uma comporta do tipo segmento de 6,7 m de raio.

2.2 Aspectos Estruturais

Esta Estrutura de Controle foi projetada de modo a ser dividida, no sentido do fluxo, em 3 subestruturas, separadas entre si por veda-juntas periféricas *Fungenband* tipo O-22. Foram previstos muros de aproximação e ranhuras para comportas ensecadeira, no caso de manutenção.

A estrutura de entrada e a câmara central tiveram sua laje de fundo projetada com espessura de 0,5 m, e paredes laterais de 1 m. Já a câmara de saída, que emboca num trecho em canal, teve a espessura da laje de fundo e das paredes laterais definida em 0,2 m, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.ET.0004 - página 101 do caderno de desenhos.

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

2.3 Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controle

O acionamento de cada uma das comportas segmento da estrutura de controle será feito através de dois servomotores, enquanto que a operação das comportas será realizada por uma única



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

central hidráulica, instalada na casa de comando situada no coroamento da estrutura, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.ET.0004 - página 101 do caderno de desenhos.

As comportas serão dimensionadas para operar abrindo ou cortando o fluxo correspondente à vazão máxima e fecharão sob a ação de seu próprio peso.

As características principais são:

Comportas Segmento	Saída do Reservatório de Caiçara
Quantidade	4
Vão	3,8 m
Raio externo	6,7 m
Elevação Soleira	383,4 m.s.n.m
Elevação coroamento	390 m.s.n.m
Nível d'água máx. máx. de montante	389,25 m.s.n.m
Nível d'água normal	387,29 m.s.n.m
Vazão máxima de 1 abertura	11,28 m ³ /s

Para fins de manutenção, foi previsto o emprego de duas comportas ensecadeiras a serem colocadas em ranhuras a montante e a jusante de comporta segmento.

A estocagem dos elementos correspondentes será feita nas próprias ranhuras das respectivas Estruturas de Controle. Para a montagem e manutenção dos elementos das comportas ensecadeiras está se prevendo a utilização de guindastes móveis sobre pneus.

As características principais são:

Comportas Ensecadeiras	Saída do Reservatório de Caiçara
Vazão por vão	11,28 m ³ /s
Quantidade de painéis por vão	2 x 4
Quantidade de comportas ensecadeiras	Montante:1 Jusante: 1
Vão livre	3,8 m
Altura de cada painel	Montante: 1,1 m Jusante:1,1m

3 . CANAIS

3.1 Trechos típicos

Os canais do Trecho III, que iniciam no reservatório da barragem de Caiçara e terminam na câmara de carga da UHE Salgado II, são constituídos de dezessete trechos, com o comprimento total de 50.218 m. A topografia do trecho, bastante acidentada, determinou a utilização de aquedutos em substituição aos aterros.

3.2 Aspectos Hidráulicos

Os canais foram dimensionados com a finalidade de aduzir a vazão de 45,1 m³/s, a partir da Estrutura de Controle do reservatório Caiçara, apresentando as seguintes características:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Canal trapezoidal a jusante da Estrutura de Controle do reservatório Caiçara, com largura de base de 4 m, talude laterais de 1V:1,5H, escavado em solo e rocha ou construídos em aterro. O canal será impermeabilizado com uma manta geossintética protegida por placas de concreto com coeficiente de rugosidade de *Manning* $n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$, declividade de 0,0001 m/m, e altura da lâmina d'água em condições de operação em regime de 4,02 m. (Desenhos EN.B/III.DS.GT 0042 a 0044 - páginas 32 a 34 do caderno de desenhos).

3.3 Aspectos da Otimização do Traçado

O estudo do traçado foi feito, procurando-se sempre o adequado balanceamento entre os volumes de corte e aterro. Para tanto, observou-se, sempre que possível, a distância máxima de 1 km entre os centros de gravidade das escavações obrigatórias e do aterro. Quando não foi possível, procurou-se a otimização dos momentos de transporte acima de 1 km.

As condições geológico-geotécnicas, quanto às espessuras de materiais de primeira e segunda categorias, são praticamente constantes ao longo do traçado, com uma pequena capa de solo recobrendo rocha alterada. Ao longo da complementação do Trecho III não são esperados solos expansivos ou colapsíveis. Também não se vislumbram problemas de solos arenosos que apresentem dificuldade de compactação.

Para a implantação do canal, foi sempre procurada a otimização do seu comprimento, no sentido de minimizar os custos de implantação e manutenção, com grande preocupação quanto às interferências, tais como rios, riachos, açudes, elevações topográficas, estradas e cidades. Por outro lado, considerou-se também, cuidados com a logística de construção, como estradas de acesso e de serviço, localização de canteiros de obras e suprimento de materiais de construção para o estabelecimento final do traçado.

Para a elaboração do projeto dos canais, foi empregado o módulo *Roads* do programa GEOPAK, executado sobre plataforma Microstation (CAD), que busca equilíbrio automático no balanceamento de materiais. Com este processo procurou-se reduzir a necessidade de empréstimos ou bota-foras, levando-se em conta a necessidade de se manter a diretriz do canal com a menor extensão possível considerando as perdas de carga, a presença de singularidades como o túnel Serra da Areia e reservatórios, além de concordar com a posição das novas usinas hidrelétricas a serem implantadas.

3.4 Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Os trechos em canal serão implantados na zona de contato entre as unidades geológicas 1 e 2, descritas no R7 – Geologia item 5.2 – Geologia Local. Estas unidades são caracterizadas por uma associação de rochas gnáissicas e migmatíticas, recobertas por solos de alteração e coluviais, sendo freqüentes as exposições de rocha alterada e sã.

Os desenhos EN.B/III.DS.GL.0001 a 0004 (páginas 28 a 31 do caderno de desenhos) mostram o posicionamento geológico de todo o trecho em canal.

A seção transversal trapezoidal do canal foi projetada em corte, em aterro ou em seção mista, de acordo com a topografia e a disponibilidade de materiais ao longo do traçado. De uma maneira geral, a capa superficial de solo é pouco espessa, apresentando até de 2 m de espessura, de modo que a escavação do canal irá englobar, obrigatoriamente, grande quantidade de rocha. Assim os cortes e os aterros serão executados em grande parte, em rocha.

Para preparar o apoio da geomembrana impermeabilizante e também para permitir a drenagem interna dos canais, foi prevista a execução de uma camada de 10 cm de espessura de pedrisco ou concreto poroso. No centro da base do canal está prevista a instalação de um sistema de drenagem para conduzir para dispositivos de saída a água coletada. Segmentando-se essa



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

saída de drenagem, é possível a detecção de eventual vazamento através de defeitos na geomembrana, delimitando-se facilmente o trecho que apresentar problemas.

Do ponto de vista geotécnico, adotou-se:

- Os taludes em solo terão inclinação 1V:1,5H. Para possibilitar a sua proteção contra intempéries, será executada proteção em camada única de material granular, segregado mecanicamente. Caso o solo seja bastante argiloso, a camada de material granular será 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. (Desenhos EN.B/III.DS.GT.0042 e 0043 - páginas 32 e 33 do caderno de desenhos);
- Os taludes de escavação dos canais em regiões de maciço cristalino, em Rocha Alterada Mole (RAM) ou Rocha Alterada Dura (RAD) ou Rocha Sã (RS) terão a inclinação do talude de escavação de 2V:1H; como mostrado nos desenhos EN.B/III.DS.GT.0043 e 0044 (páginas 33 e 34 do caderno de desenhos), exceto na seção molhada do canal, onde a inclinação dos taludes será de 1V:1,5H.
- Nos taludes de escavação em solos aluvionares a proteção ou estabilização dependerá dos parâmetros de resistência dos materiais e das condições hidrogeológicas. Nesses taludes em princípio, a inclinação prevista é de 1V:2H.

3.5 Aspectos Estruturais

Os 17 trechos de canais do Trecho III, ou seja, aqueles entre a estrutura de controle no reservatório Caiçara e a câmara de carga da UHE Salgado II, serão revestidos internamente para fins de impermeabilização, melhoria da rugosidade e, ainda, por questões de proteção contra vandalismo.

Os canais serão revestidos por uma geomembrana protegida por concreto reforçado com fibra sintética de nylon ou de polipropileno, tendo espessura de 12 cm na base e 5 cm nos taludes laterais, com juntas de contração formando placas de 3 x 3 m nos taludes e 2 x 3 m na base, 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 terá $f_{ck} = 15$ 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. Eventual 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 geotextil;
- 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, coeficiente de dilatação térmica, etc. Possuem em comum a baixa permeabilidade que garantirá a estanqueidade do canal.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

3.6 Implantação geométrica do canal

O canal foi implantado na base topográfica em escala 1:2.000 e, a partir daí, foi calculado o desenvolvimento vertical utilizando-se as declividades de 10 cm/km para o canal propriamente dito, e 40 cm/km para os aquedutos e túnel, otimizadas na etapa dos estudos de viabilidade.

A análise do comportamento hidrodinâmico da água no canal, como descrito no relatório R10 “Modelos hidrodinâmicos e esquema operacional”, determinou os níveis d’água máximo normal e máximo maximorum para o escoamento da vazão total do projeto. O nível máximo normal corresponde à envoltória dos níveis que ocorrem diariamente quando da parada das turbinas, no início do período de ponta do sistema elétrico integrado. O nível máximo maximorum foi definido com base em uma falha operacional em que a vazão total do projeto é afluyente no reservatório Caiçara e duas das quatro comportas da estrutura de controle do Trecho III estão abertas, e a vazão na tomada d’água da UHE Salgado I é nula, ocorrendo vertimento em Várzea Grande. Deve-se mencionar que o nível d’água resultante do evento de cheia com recorrência milenar mantém-se em cotas similares ou inferiores às resultantes da falha operacional.

A borda do canal foi definida com base nas recomendações do Bureau of Reclamation que resultou em uma sobrelevação de 60 cm acima do nível máximo normal. Por outro lado, por critério de projeto, foi também considerada uma borda livre de 30 cm acima do nível máximo maximorum. Sempre que esta borda livre supere a borda do canal será construída uma mureta em concreto com a altura faltante. Note-se que o nível máximo normal representa uma ocorrência diária e o máximo maximorum uma ocorrência de baixa probabilidade. A **Tabela 3.1** mostra o desenvolvimento geométrico do canal do Trecho III.

Tabela 3.1 – Desenvolvimento geométrico do canal de adução do Trecho II

Canal do Trecho III entre reservatórios Caiçara e Várzea Grande

Estaca (m)	Local	Cota do fundo do canal (m)	NA máximo Normal (m)	NA máximo Maximorum (m)	Coroamento do canal (m)	Mureta (m)	Cota do topo do canal (m)
6.341,0	Estrutura de controle em Caiçara	383,2	387,9	387,8	388,4		388,4
6.606,5		383,2	387,8	387,7	388,4		388,4
6.872,0		383,1	387,8	387,7	388,4		388,4
7.137,5		383,1	387,8	387,7	388,3		388,3
7.403,1		383,1	387,7	387,6	388,3		388,3
7.668,6		383,1	387,7	387,6	388,3		388,3
7.934,1		383,0	387,7	387,6	388,2		388,2
8.199,6		383,0	387,6	387,5	388,2		388,2
8.465,1		383,0	387,6	387,5	388,2		388,2
8.730,6		383,0	387,6	387,5	388,2		388,2
8.996,2		382,9	387,6	387,5	388,1		388,1
9.261,7		382,9	387,5	387,4	388,1		388,1
9.527,2		382,9	387,5	387,4	388,1		388,1
9.792,7		382,9	387,5	387,4	388,0		388,0
10.058,2		382,8	387,4	387,3	388,0		388,0
10.323,7		382,8	387,4	387,3	388,0		388,0
10.589,2		382,8	387,4	387,3	387,9		387,9
10.854,8		382,7	387,3	387,3	387,9		387,9
11.120,3		382,7	387,3	387,2	387,9		387,9



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

11.385,8		382,7	387,3	387,2	387,9		387,9
11.651,3		382,7	387,3	387,2	387,8		387,8
11.916,8		382,6	387,2	387,1	387,8		387,8
12.182,3		382,6	387,2	387,1	387,8		387,8
12.447,8		382,6	387,2	387,1	387,7		387,7
12.713,4		382,6	387,1	387,0	387,7		387,7
12.978,9		382,5	387,1	387,0	387,7		387,7
13.244,4		382,5	387,1	387,0	387,7		387,7
13.509,9		382,5	387,1	387,0	387,6		387,6
13.775,4		382,5	387,0	386,9	387,6		387,6
14.040,9		382,4	387,0	386,9	387,6		387,6
14.306,5		382,4	387,0	386,9	387,5		387,5
14.572,0		382,4	386,9	386,8	387,5		387,5
14.760,0	Aqueduto São Joaquim	382,4					
15.060,0		382,3					
15.103,0		382,3	386,8	386,7	387,4		
15.368,5		382,2	386,8	386,7	387,4		
15.634,0		382,2	386,8	386,7	387,3		
15.800,0	Aqueduto Angical	382,2					
16.250,0		382,0					
16.430,6		382,0	386,6	386,5	387,1		387,1
16.696,1		382,0	386,5	386,4	387,1		387,1
16.961,6		382,0	386,5	386,4	387,1		387,1
17.227,1		381,9	386,5	386,4	387,1		387,1
17.492,6		381,9	386,5	386,4	387,0		387,0
17.758,1		381,9	386,4	386,3	387,0		387,0
18.023,7		381,9	386,4	386,3	387,0		387,0
18.289,2		381,8	386,4	386,3	386,9		386,9
18.554,7		381,8	386,3	386,3	386,9		386,9
18.820,2		381,8	386,3	386,2	386,9		386,9
19.085,7		381,7	386,3	386,2	386,9		386,9
19.351,2		381,7	386,3	386,2	386,8		386,8
19.616,8		381,7	386,2	386,1	386,8		386,8
19.882,3		381,7	386,2	386,1	386,8		386,8
20.147,8		381,6	386,2	386,1	386,8		386,8
20.413,3		381,6	386,2	386,1	386,7		386,7
20.678,8		381,6	386,1	386,0	386,7		386,7
20.944,3		381,6	386,1	386,0	386,7		386,7
21.130,0	Aqueduto Taboca de Cima	381,5					
21.430,0		381,4					
21.475,4		381,4	386,0	385,9	386,6		386,6
21.740,9		381,4	386,0	385,9	386,5		386,5
22.006,4		381,4	385,9	385,8	386,5		386,5
22.271,9		381,4	385,9	385,8	386,5		386,5
22.537,4		381,3	385,9	385,8	386,4		386,4
22.802,9		381,3	385,8	385,8	386,4		386,4
23.068,4		381,3	385,8	385,7	386,4		386,4
23.334,0		381,3	385,8	385,7	386,4		386,4
23.599,5		381,2	385,8	385,7	386,3		386,3
23.865,0		381,2	385,7	385,6	386,3		386,3
24.130,5		381,2	385,7	385,6	386,3		386,3



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

24.396,0		381,2	385,7	385,6	386,3		386,3
24.661,5		381,1	385,7	385,6	386,2		386,2
24.927,1		381,1	385,6	385,5	386,2		386,2
25.192,6		381,1	385,6	385,5	386,2		386,2
25.458,1		381,0	385,6	385,5	386,2		386,2
25.723,6		381,0	385,6	385,5	386,1		386,1
25.989,1		381,0	385,5	385,4	386,1		386,1
26.200,0	Aqueduto Balanço	381,0					
26.500,0		380,9					
26.520,1		380,9	385,4	385,3	386,0		386,0
26.785,7		380,8	385,4	385,3	386,0		386,0
27.051,2		380,8	385,4	385,3	385,9		385,9
27.316,7		380,8	385,3	385,2	385,9		385,9
27.582,2		380,8	385,3	385,2	385,9		385,9
27.847,7		380,7	385,3	385,2	385,9		385,9
28.113,2		380,7	385,3	385,2	385,8		385,8
28.250,0	Aqueduto Cipó	380,7					
29.510,0		380,2					
29.706,3		380,2	384,8	384,7	385,4		385,4
29.971,8		380,2	384,8	384,7	385,3		385,3
30.237,4		380,2	384,7	384,6	385,3		385,3
30.502,9		380,1	384,7	384,6	385,3		385,3
30.768,4		380,1	384,7	384,6	385,3		385,3
31.033,9		380,1	384,7	384,6	385,3		385,3
31.299,4		380,1	384,7	384,5	385,2		385,2
31.564,9		380,0	384,6	384,5	385,2		385,2
31.830,4		380,0	384,6	384,5	385,2		385,2
32.096,0		380,0	384,6	384,5	385,2		385,2
32.361,5		380,0	384,6	384,4	385,1		385,1
32.627,0		379,9	384,5	384,4	385,1		385,1
32.892,5		379,9	384,5	384,4	385,1		385,1
33.158,0		379,9	384,5	384,4	385,1		385,1
33.200,0	Aqueduto Bom Jardim	379,9					
34.820,0		379,2					
35.016,6		379,2	383,9	383,8	384,5		384,5
35.282,1		379,2	383,9	383,7	384,5		384,5
35.547,7		379,2	383,9	383,7	384,4		384,4
35.813,2		379,1	383,8	383,7	384,4		384,4
36.078,7		379,1	383,8	383,7	384,4		384,4
36.344,2		379,1	383,8	383,7	384,4		384,4
36.609,7		379,1	383,8	383,6	384,4		384,4
36.856,0	Túnel Serra da Areia	377,6					
37.406,0		378,8					
37.671,8		378,8	383,6	383,4	384,1		384,1
37.937,3		378,8	383,5	383,4	384,1		384,1
38.202,8		378,7	383,5	383,4	384,1		384,1
38.468,3		378,7	383,5	383,3	384,1		384,1
38.733,8		378,7	383,5	383,3	384,1		384,1
38.999,4		378,7	383,5	383,3	384,0		384,0
39.264,9		378,6	383,5	383,3	384,0		384,0
39.480,0	Aqueduto Serra da Areia	378,6					



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

40.020,0		378,4					
40.061,4		378,4	383,3	383,2	383,8	0,2	384,0
40.326,9		378,4	383,3	383,2	383,8	0,2	384,0
40.592,4		378,4	383,2	383,2	383,8	0,2	384,0
40.858,0		378,3	383,2	383,2	383,8	0,2	384,0
41.050,0	Aqueduto Casemiro	378,3					
41.860,0		378,0					
41.920,0		378,0	383,0	383,0	383,5	0,5	384,0
42.185,5		378,0	383,0	383,0	383,5	0,5	384,0
42.451,0		378,0	382,9	383,0	383,5	0,5	384,0
42.716,6		377,9	382,9	383,1	383,5	0,5	384,0
42.982,1		377,9	382,9	383,1	383,5	0,5	384,0
43.200,0	Aqueduto Serra Nova	377,9					
43.530,0		377,8					
43.778,6		377,7	382,8	383,0	383,4	0,6	384,0
44.044,1		377,7	382,8	383,0	383,4	0,6	384,0
44.309,7		377,7	382,8	383,0	383,4	0,6	384,0
44.575,2		377,7	382,8	383,1	383,4	0,6	384,0
44.680,0	Aqueduto Mufumbo	377,7					
45.190,0		377,5					
45.371,7		377,5	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
45.637,2		377,4	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
45.902,7		377,4	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
46.168,3		377,4	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
46.433,8		377,4	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
46.699,3		377,3	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
46.964,8		377,3	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
47.230,3		377,3	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
47.495,8		377,2	382,6	383,0	383,2	0,8	384,0
47.761,3		377,2	382,6	383,1	383,2	0,8	384,0
48.026,9		377,2	382,6	383,1	383,1	0,9	384,0
48.292,4		377,2	382,6	383,1	383,1	0,9	384,0
48.557,9		377,1	382,6	383,1	383,1	0,9	384,0
48.823,4		377,1	382,6	383,1	383,1	0,9	384,0
49.088,9		377,1	382,6	383,1	383,1	0,9	384,0
49.200,0	Aqueduto Ribeiro	377,1					
49.620,0		376,9	382,5	383,0	383,0	1,0	384,0
49.885,5		376,9	382,5	383,0	383,0	1,0	384,0
50.151,0		376,9	382,5	383,1	383,0	1,0	384,0
50.416,5		376,9	382,5	383,1	383,0	1,0	384,0
50.682,0		376,8	382,5	383,1	383,0	1,0	384,0
50.947,5		376,8	382,4	383,1	383,0	1,0	384,0
51.213,0		376,8	382,4	383,1	383,0	1,0	384,0
51.478,6		376,7	382,4	383,1	383,0	1,0	384,0
51.744,1		376,7	382,4	383,1	383,0	1,0	384,0
52.000,0	Aqueduto Taboca	376,7					
52.390,0		376,6					
52.540,6		376,5	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
52.806,1		376,5	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
53.071,6		376,5	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
53.337,2		376,5	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

53.602,7		376,4	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
53.868,2		376,4	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
54.133,7		376,4	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
54.399,2		376,4	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
54.664,7		376,3	382,4	383,1	382,9	1,1	384,0
54.930,3		376,3	382,4	383,2	382,9	1,1	384,0
55.195,8		376,3	382,4	383,2	382,9	1,1	384,0
55.461,0	Reservatório Várzea Grande	376,3	382,4	383,2	382,9	1,1	384,0

Canal do Trecho III entre Canal de Fuga da UHE Salgado I e Câmara de Carga da UHE Salgado II

Estaca (m)	Local	Cota do fundo do canal (m)	NA máximo Normal (m)	NA máximo Maximorum (m)	Coroamento do canal (m)	Mureta (m)	Cota do topo do canal (m)
58.232,0	Canal de Fuga UHE Salgado I	306,2	310,6	311,6	311,2	0,7	311,9
58.390,9		306,2	310,6	311,6	311,2	0,7	311,9
58.549,8		306,2	310,6	311,6	311,2	0,7	311,9
58.708,7		306,2	310,6	311,6	311,1	0,7	311,9
58.867,5		306,2	310,6	311,6	311,1	0,7	311,9
59.026,4		306,2	310,6	311,6	311,1	0,7	311,9
59.185,3		306,1	310,6	311,6	311,1	0,7	311,9
59.344,2		306,1	310,6	311,6	311,1	0,7	311,9
59.503,1		306,1	310,6	311,6	311,1	0,7	311,9
59.662,0		306,1	310,5	311,5	311,1	0,7	311,8
59.820,8		306,1	310,5	311,5	311,1	0,7	311,8
59.979,7		306,1	310,5	311,5	311,1	0,7	311,8
60.138,6		306,0	310,5	311,5	311,1	0,7	311,8
60.297,5		306,0	310,5	311,5	311,1	0,8	311,8
60.456,4		306,0	310,5	311,5	311,1	0,8	311,8
60.615,3		306,0	310,5	311,5	311,1	0,8	311,8
60.774,1		306,0	310,5	311,5	311,1	0,8	311,8
60.933,0		306,0	310,5	311,5	311,1	0,8	311,8
61.091,9		306,0	310,5	311,5	311,0	0,8	311,8
61.250,8		305,9	310,5	311,5	311,0	0,8	311,8
61.409,7		305,9	310,5	311,5	311,0	0,8	311,8
61.568,6		305,9	310,4	311,5	311,0	0,8	311,8
61.727,4		305,9	310,4	311,5	311,0	0,8	311,8
61.886,3		305,9	310,4	311,5	311,0	0,8	311,8
62.045,2		305,9	310,4	311,5	311,0	0,8	311,8
62.204,1		305,8	310,4	311,5	311,0	0,8	311,8
62.363,0		305,8	310,4	311,5	311,0	0,8	311,8
62.520,0	Aqueduto Ribeiro	305,8					
62.700,0		305,8					
62.839,6		305,7	310,3	311,5	310,9	0,9	311,8
62.998,5		305,7	310,3	311,5	310,9	0,9	311,8
63.157,4		305,7	310,2	311,5	310,8	1,0	311,8



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

63.316,3		305,7	310,1	311,5	310,7	1,0	311,8
63.475,2		305,7	310,1	311,5	310,6	1,1	311,8
63.634,0		305,7	310,0	311,5	310,6	1,2	311,8
63.792,9		305,6	310,1	311,5	310,7	1,1	311,8
63.951,8		305,6	310,2	311,4	310,7	1,0	311,7
64.110,7		305,6	310,2	311,4	310,8	1,0	311,7
64.269,6		305,6	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
64.428,5		305,6	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
64.587,3		305,6	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
64.746,2		305,5	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
64.905,1		305,5	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
65.064,0		305,5	310,2	311,4	310,8	1,0	311,7
65.222,9		305,5	310,2	311,4	310,8	1,0	311,7
65.381,8		305,5	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
65.540,6		305,5	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
65.699,5		305,5	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
65.858,4		305,4	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
66.017,3		305,4	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
66.176,2		305,4	310,2	311,4	310,8	0,9	311,7
66.335,1		305,4	310,3	311,4	310,8	0,9	311,7
66.493,9		305,4	310,3	311,4	310,8	0,9	311,7
66.652,8		305,4	310,3	311,4	310,8	0,9	311,7
66.811,7		305,3	310,3	311,4	310,8	0,9	311,7
66.970,6		305,3	310,3	311,4	310,8	0,9	311,7
67.129,5		305,3	310,3	311,4	310,9	0,9	311,7
67.130,0	Aqueduto Salgado	305,3					
67.310,0		305,3					
67.447,2		305,2	310,3	311,4	310,8	0,9	311,7
67.606,1		305,2	310,3	311,4	310,8	0,8	311,7
67.765,0	Câmara de Carga UHE Salgado II	305,2	310,3	311,4	310,8	0,8	311,7

4. TÚNEL SERRA DA AREIA

4.1 Características Gerais

O túnel Serra da Areia terá um comprimento de 570 m, entre as estacas 36+836 e 37+406. Este túnel foi dimensionado com a finalidade de aduzir uma vazão de 45,1 m³/s através de uma seção arco-retângulo de 7,2 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 equivalente $n=0,028 \text{ s/m}^{1/3}$. A altura da lâmina d'água será limitada em 0,75D, ou seja, a 5,4 m da altura e a declividade do túnel foi fixada em 0,0004 m/m. (Desenho EN.B/III.DS.GT.0050 - página 103 do caderno de desenhos).

4.2 Aspectos Geológicos e Geotécnicos

O túnel Serra da Areia atravessa a serra homônima no seu extremo sudeste a escavação se dará em um maciço compreendendo rochas granítico-gnaissicas.

O emboque e desemboque serão implantados no domínio de rocha medianamente alterada, ocasionalmente fraturada, seguindo-se a escavação em rocha sã a pouco alterada.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O túnel terá revestimento somente no piso e os emboques serão tratados com concreto estrutural nos primeiros 50 m. Durante o desenvolvimento da escavação poderão ser utilizados localmente chumbadores, telas metálicas e concreto projetado em função das características do maciço.

Detalhes sobre este túnel encontram-se no R7 – Geologia e Geotecnia, item 6.6.1. O desenho EN.B/II.DS.GL.0007 (página 102 do caderno de desenhos) apresenta o mapa e a seção geológico-geotécnica dos emboques do túnel.

5 . AQUEDUTOS

5.1 Características Gerais

Os aquedutos são estruturas em concreto que substituem os canais em trechos reduzidos, que cortem bacias de drenagem que tenham uma vazão correspondente a chuvas com período de recorrência de 100 anos igual ou maior que 60 m³/s, não comportando uma solução de drenagem com bueiros enterrados sob o canal, ou então o trecho do canal em aterro se torna solução antieconômica em comparação com a solução em aqueduto.(Desenhos EN.B/III.DS.ET.0006, 0007 e 0008 – páginas 106, 102 e 110 do caderno de desenhos).

Neste trecho foram projetados 14 aquedutos com vazão de 45,1 m³/s, com célula simples, com as seguintes características:

AQUEDUTO	COMPRIMENTO (m)	ESTACAS	
São Joaquim	300	14 + 760	15 + 060
Angical	450	15 + 800	16 + 250
Taboca de Cima	300	21 + 130	21 + 430
Balanço	300	26 + 200	26 + 500
Cipó	1260	28 + 250	29 + 510
Bom Jardim	1620	33 + 200	34 + 820
Serra da Areia	540	39 + 480	40 + 020
Casemiro	810	41 + 050	41 + 860
Serra Nova	330	43 + 200	43 + 530
Mofumbo	510	44 + 680	45 + 190
Ribeiro	420	49 + 200	49 + 620
Taboca	390	52 + 000	52 + 390
Jitirana	180	62 + 520	62 + 700
Salgado	180	67 + 130	67 + 310

Os aquedutos iniciam-se com uma estrutura de transição de montante, com 30 m de comprimento, 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 (Desenho EN.B/III.DS.ET.0006 e 0007 – páginas 109 e 107 do caderno de desenhos).



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 das transições de montante e jusante, que medem cada uma também 30 m.

5.2 Aspectos Hidráulicos

Os aquedutos têm forma retangular com declividade de 0,0004 m/m. Para a vazão de 45,1 m³/s, a sua base é de 7 m de largura e altura variando de 5,05 a 7 m livres. O coeficiente de *Manning* adotado foi 0,015 s/m^{1/3}.

5.3 Aspectos Geológicos e Geotécnicos

Os aquedutos serão implantados em áreas onde o substrato rochoso consiste em uma associação de rochas gnáissicas e migmatíticas, o qual encontra-se recoberto por solos de alteração e coluviais, com espessuras variando de 1 a 3 m, podendo localmente apresentar espessuras maiores.

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 segregada mecanicamente, como mostrado no Desenho EN.B/III.DS.ET.0007 - página 107 do caderno de desenhos.

As fundações dos pilares dos aquedutos poderão ser de 2 tipos, a saber: Tipo 1 com fundação em rocha sã, sem necessidade do emprego de estacas para se atingir fundação profunda. A sapata sob o pilar ficará solidária à rocha superficial de fundação e Tipo 2 para fundação profunda, em estacas escavadas de 1 m de diâmetro, cujas bases serão assentes no topo da rocha sã.

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.

5.4 Aspectos Estruturais

Em geral, os aquedutos são formados por uma laje de fundo e duas paredes laterais. As espessuras dessas estruturas medem 0,4 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, como mostrado no Desenho EN.B/III.DS.ET.0006 - página 109 do caderno de desenhos.

Os pilares de sustentação da estrutura superior do aqueduto são estruturas celulares com seções vazadas retangulares de 0,5 m de espessura. Na parte superior dos pilares foi implantada uma estrutura maciça sobre a qual foram colocadas almofadas de neoprene para apoio da estrutura adutora. Na parte inferior dos pilares foi implantada uma sapata de fechamento de 1 m de espessura e base alargada de modo a uniformizar as tensões transferidas à fundação. Os pilares, quando da passagem por um rio perene ou não, 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 vedajuntas, 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



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

foram inseridas vedajuntas tipo Jeene JJ4050M. Para as estruturas dos aquedutos, formadas pelas transições, adução, pilares e fundações foi adotada a classe de concreto B, que apresenta resistência característica $f_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias.

6 . TOMADAS D' ÁGUA DE USOS DIFUSOS

6.1 Características Gerais

Ao longo do canal, na região entre as estacas 25+100 e 36+700 serão implantadas tomadas d'água de usos difusos em dois conjuntos, com vazões de 0,1 m³/s, 0,2 m³/s, e 0,5 m³/s, todas elas operando por gravidade e instaladas no canal construído em aterro.

6.2 Aspectos Estruturais

As estruturas das tomadas em situação de aterro são formadas basicamente por uma tomada retangular de 2,5 m de comprimento e 2 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:

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 0,3 m, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.ME.0001 - página 37 do caderno de desenhos.

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.

6.3 Tipos de Tomadas

6.3.1 Tipo 1 – Por Gravidade de 0,1 m³/s

Será instalada uma tomada d'água do tipo 1, para descarga por gravidade de 0,1 m³/s, cujos detalhes estão mostrados no desenho EN.B/III.DS.ME.0001 – página 37 do caderno de desenhos.

Está previsto o fornecimento, para cada uma das tomadas d'água do tipo 1 de uma comporta do tipo Barbará, própria para acoplamento a um conduto forçado com diâmetro nominal de 400 mm, e demais equipamentos necessários, abaixo relacionados:

- uma comporta do tipo 'sentido duplo de fluxo', Barbará ou similar;
- um conduto forçado, com 100 m de comprimento (valor adotado, a ser devidamente detalhado no projeto executivo) e diâmetro nominal de 400 mm;
- uma válvula do tipo borboleta motorizada, com diâmetro nominal de 400 mm;
- um quadro de distribuição elétrica;
- todas as ventosas, válvulas, instrumentos e partes metálicas dos apoios dos trechos de conduto, incluído as peças fixas embutidas no concreto, necessários;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- itens diversos para alimentação elétrica (poste, transformador, pára-raios tipo estação, proteção atmosférica, iluminação, aterramento, etc).

6.3.2 Tipo 2 - Por Gravidade de 0,2 m³/s

Serão instaladas cinco tomadas d'água do tipo 2 para descarga por gravidade de 0,2 m³/s, cujos detalhes estão mostrados no desenho EN.B/III.DS.ME.0001 – página 37 do caderno de desenhos.

Está previsto o fornecimento, para cada uma das tomadas d'água do tipo 2 de uma comporta do tipo Barbará, própria para acoplamento a um conduto forçado com diâmetro nominal de 600 mm, e demais equipamentos necessários, abaixo relacionados:

- uma comporta do tipo 'sentido duplo de fluxo', Barbará ou similar;
- um conduto forçado, com 100 m de comprimento (valor adotado, a ser devidamente detalhado no projeto executivo) e diâmetro nominal de 600 mm;
- uma válvula do tipo borboleta motorizada, com diâmetro nominal de 600 mm;
- um quadro de distribuição elétrica;
- todas as ventosas, válvulas, instrumentos e partes metálicas dos apoios dos trechos de conduto, incluído as peças fixas embutidas no concreto, necessários;
- itens diversos para alimentação elétrica (poste, transformador, pára-raios tipo estação, proteção atmosférica, iluminação, aterramento, etc).

6.3.3 Tipo 3 - Por Gravidade de 0,5 m³/s

Serão instaladas duas tomadas d'água do tipo 3 para descarga por gravidade de 0,5 m³/s, cujos detalhes estão mostrados no desenho EN.B/III.DS.ME.0001 – página 37 do caderno de desenhos

Está previsto o fornecimento, para cada uma das tomadas d'água do tipo 6, de uma comporta do tipo Barbará, própria para acoplamento a um conduto forçado com diâmetro nominal de 900 mm, e demais equipamentos necessários, abaixo relacionados:

- uma comporta do tipo 'sentido duplo de fluxo', Barbará ou similar;
- um conduto forçado, com 100 m de comprimento (valor adotado, a ser devidamente detalhado no projeto executivo) e diâmetro de 900 mm;
- uma válvula do tipo borboleta motorizada, com diâmetro nominal de 900 mm;
- um quadro de distribuição elétrica;
- todas as ventosas, válvulas, instrumentos e partes metálicas dos apoios dos trechos de conduto, incluído as peças fixas embutidas no concreto, necessários;
- itens diversos para alimentação elétrica (poste, transformador, pára-raios tipo estação, proteção atmosférica, iluminação, aterramento, etc).

7 . PONTES E PASSARELAS

As pontes e passarelas estão apresentadas nos desenhos EN.B/III.DS.ET.0002 (página 159 do caderno de desenhos) Ponte tipo 1B(TB-36), EN.B/III.DS.ET.0003 (página 160 do caderno de desenhos) Ponte tipo 1A(TB-45) e EN.B/III.DS.ET.0005 (página 161 do caderno de desenhos) Passarelas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.1 Ponte Tipo 1B (TB-36)

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

Nº de vãos:..... 1
Comprimento 35 m
Trem tipo..... TB 36
Faixa de rolamento: 2 x 3 m

Em cada lado do tabuleiro das pontes foram projetados passeios de 1 m de largura e guarda corpo de 0,8 m de altura, não apresentando acostamento.

Estas pontes serão estruturadas por intermédio de vigas pré-moldadas protendidas em forma de "I", de 35 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 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. (Desenho EN.B/III.DS.ET.0002 - página 159 do caderno de desenhos).

Neste trecho foram projetados 9 pontes Tipo 1B (TB-36), conforme descrição seguinte:

Localização	Corte/Aterro	Estaca
Jusante da Estrutura de Controle	Mista	6+900
Cabeça da Onça para o Atalho	Mista	9+000
Taboca de Cima para Queiroga	Aterro	22+740
Serra Nova para Mofumbo	Aterro	42+300
Olho d'Água da Éguas para o Ribeiro	Aterro	48+900
Umburana para o Ribeiro	Corte	51+580
Garra para o Taboca	Corte	55+200
Jusante da Casa de Força de Salgado I	Aterro	58+700
Montante da Câmara de Carga de Salgado II	Aterro	67+300

7.2 Ponte Tipo 1A (TB-45)

Para dar continuidade à BR-116 foi projetada uma ponte Tipo 1A (TB-45), que terá as seguintes principais características:

Nº de vãos:..... 1
No. de vigas:..... 6
Trem tipo..... TB 45
Classe..... IV
Faixa de rolamento: 2 x 6 m



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Em cada lado do tabuleiro das pontes foram projetados passeios de 1 m de largura e guarda corpo de 0,8 m de altura, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.ET.0003 (página 160 do caderno de desenhos).

Estas pontes serão estruturadas por intermédio de 6 vigas pré-moldadas protendidas em forma de " I ", de 35 m de comprimento e 1,8 m de altura, 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.

7.3 Passarelas

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

Nº de vãos:..... 1

Comprimento: 21,14 m

Largura livre: 2 m

Largura total:..... 3 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.

Para as passarelas foi adotada a classe de concreto A, que deverá ter resistência característica $f_{ck} = 15$ MPa aos 28 dias (Desenho En.B/III.DS.ET.0005 - página 161 do caderno de desenhos).

Neste trecho foram projetados 6 passarelas, conforme a seguinte descrição:

Localização	Corte/Aterro	Estaca
Rudado para Amaro	Mista	11+900
Tambor para Marimbos	Aterro	15+500
Tambor para Marimbos	Aterro	19+100
Barriguda para o Tipi	Corte	31+300
Serra da Várzea Grande para Jitirana	Aterro	61+500
Serra da Várzea Grande para Jitirana	Aterro	64+300

8 . BARRAGEM VÁRZEA GRANDE

Ao longo do traçado do Trecho III - Eixo Norte, compreendido entre a estrutura de controle do reservatório Caiçara até o canal de fuga da UHE Ávidos II existirá a barragem de Várzea Grande com 2 diques auxiliares. A posição em planta da barragem Várzea Grande está indicada no desenho EN.B/III.DS.GT.0027 (página 111 do caderno de desenhos). As principais cidades próximas do barramento são Aurora e Baixio, ambas no Estado do Ceará.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.1 Aspectos Geológicos e Geotécnicos

A barragem Várzea Grande, será implantada no lado sul da serra homônima, em domínio de biotita-hornblenda gnaiss, localmente migmatizado e dobrado.

Nas áreas das ombreiras tem-se uma cobertura de solo variando de 1 a 2 m. Na parte central a espessura de solo atinge 10 m. Na ombreira direita o substrato rochoso é constituído por rocha pouco alterada a sã enquanto que na ombreira esquerda tem-se rocha medianamente alterada a sã. Na parte central do eixo tem-se rocha alterada a sã.

Detalhes sobre as características do maciço na área da barragem encontram-se descritos no R7 – Geologia e Geotecnia, item 6.3.1.

Trata-se de uma barragem do tipo enrocamento com face de concreto. As principais características desta barragem tais como as inclinações dos seus taludes de montante e jusante, o zoneamento definido pelos materiais disponíveis para a sua construção, bem como o sistema de vedação da barragem, foram estabelecidas através de arranjos semelhantes de outras barragens do mesmo porte. De uma forma geral, o projeto foi baseado no projeto da barragem da UHE Xingó da CHESF, e nos artigos “Concrete-face rockfill dam: I. Assesment” e “Concrete-face rockfill dam: II. Design”, ambos de autoria de J. Barry Cooke e James L. Sherard, e publicados pela ASCE no *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 113, nº 10, October 1987, pg 1096 a 1112 e 1113 a 1132.

A seção típica da barragem é zoneada e definida em função dos materiais disponíveis para sua construção, sendo parte deles, provenientes das escavações obrigatórias. A região à montante situada sob a face de concreto da barragem será constituída por uma transição com finos. A região central será constituída de enrocamento compactado. A porção do talude a jusante, será constituída por grandes blocos de rocha.(desenho EN.B/III.DS.GT.0028 - página 114 do caderno de desenhos)

O pé de montante da barragem será constituído por um plinto de concreto armado solidarizado à rocha de fundação por intermédio de chumbadores de 32 mm. Este plinto apresenta-se unido à laje constituinte do paramento de montante por intermédio de uma junta de PVC, de modo a resistir às fortes pressões hidrostáticas e grandes deslocamentos diferenciais entre o plinto e a laje de concreto. Esta junta receberá a aplicação de um selante(IGAS) na sua face externa. Sobre este sistema será aplicada uma camada de solo compactado (aréia fina siltosa com diâmetro máximo de 1 mm) com aproximadamente 2 m de espessura para complementar o sistema de vedação do pé de montante.

Há questões construtivas que deverão ser equacionadas entre o construtor e o projetista por ocasião do projeto executivo. Uma questão fundamental é o abastecimento de água para a construção. O projeto básico indica a região 3A como enrocamento compactado com o auxílio de água. Para tanto, é suficiente o emprego de uma quantidade de água de 10% do volume de enrocamento (0,1 m³ por m³ de enrocamento). Sugere-se a adição de água ao enrocamento ainda nos caminhões basculantes, um pouco antes de sua descarga na praça de compactação. É uma forma econômica e eficiente de se assegurar a molhagem total da rocha. Caso o custo da água seja exagerado, pode-se ajustar as alturas das camadas para a compactação da região 3A.

A crista do enrocamento da barragem, está situada na cota 382,5 sendo a cota de coroamento 384 alcançada por um muro de concreto em “L”, conforme desenho EN.B/III.DS.GT.0028- página 114 do caderno de desenhos.

O sistema de auscultação do comportamento do maciço da barragem será constituído pelos seguintes instrumentos: marcos superficiais, células de recalque e extensômetros múltiplos,



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

conforme indicado no desenho EN.B/III.DS.GT.0029 (página 115 do caderno de desenhos), para três seções transversais.

8.2 Aspectos Estruturais

A barragem de Várzea Grande, de enrocamento compactado e face de montante de concreto, terá altura máxima de 85 m sobre o nível de fundação. O talude de montante, com a laje de concreto, terá uma inclinação de 1,4H:1V e o talude de jusante uma inclinação, entre bermas, de 1,3H:1V.

A crista da barragem estará na cota 382,5, com uma sobrelevação em mureta de concreto, até a cota estabelecida como máxima, de 384 m, ao longo de, aproximadamente 1 km de extensão da barragem.

A laje de concreto terá uma espessura mínima “e” de 0,3 m na crista, aumentando gradualmente para 0,57 m no contato com o plinto, segundo a seguinte variação linear: $e = 0,3 + 0,003H$ (m).

O concreto desta laje terá uma resistência característica à compressão do concreto (fck) de 15 MPa. No meio da sua espessura será colocada uma armação, em ambas as direções, com taxa da ordem de 0,3% da seção de concreto.

As juntas verticais de contração da laje serão espaçadas de 15 m, não estando prevista a utilização de juntas horizontais de contração. No entanto, durante a construção desta laje poderão ocorrer juntas horizontais de construção. Nas juntas verticais de contração da área central da barragem, que não apresentam tendência de abrir com os recalques do enrocamento será empregado um veda-juntas único, de cobre ou de aço inoxidável, posicionado na base da laje.

Nas juntas próximas às ombreiras e nas juntas perimetrais, que apresentam tendência de abrir deverá ser utilizado veda-juntas tipo PVC no centro da laje. Além disso, a junta perimetral terá uma camada de mastique (Igas) protegida por uma faixa de borracha reforçada por lona na face superior.

Adicionalmente, sobre a junta perimetral será colocada uma camada de areia fina siltosa (diam. max. = 1 mm) de modo que, na eventualidade de abertura da junta perimetral e falha no selo de mastique, as infiltrações serão minimizadas pelo carreamento da areia que progressivamente irá colmatar a abertura da junta, funcionando como uma segunda linha de defesa.

Para as juntas verticais e perimetral, outras soluções poderão ser analisadas em detalhe durante o projeto executivo, tais como a substituição das juntas de cobre por juntas tipo *Jeene*, compostas por policloropreno extrudado e vulcanizado e assentada posteriormente com um adesivo à base de epoxi.

O plinto terá 0,5 m de espessura e largura de 4 m e será ancorado na fundação para permitir a aplicação de pressões na cortina de injeção subjacente e no contato com o maciço rochoso de fundação. O concreto do plinto terá uma resistência característica à compressão do concreto (fck) de 25 MPa.

De modo a reduzir o volume de enrocamento, foi projetado um muro de arrimo vertical de concreto, com cerca de 4 m de altura, como prolongamento da laje, que internamente funcionará como parapeito da crista.

9 . DIQUES

No reservatório de Várzea Grande serão implantados dois diques (Dique 1 e Dique 2). O Dique 1 será do tipo enrocamento com núcleo impermeável de terra. Já, o Dique 2, por ser menor, será



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

basicamente de solo compactado, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.GT.0024 - página 117 do caderno de desenhos.

10 . VERTEDOUROS

Ao longo do Trecho III foram projetados dois vertedouros, um no reservatório de Várzea Grande e outro na câmara de carga da UHE Salgado II.

10.1 Vertedouro Várzea Grande

O vertedouro de Várzea Grande é uma estrutura de segurança da obra, e está dimensionado para escoar 10 m³/s, correspondente à vazão resultante de uma falha operacional.

10.1.1 Aspectos Hidráulicos

A cota da crista da barragem respectiva será 384 m e a soleira do vertedouro estará na cota 382,88 m. Sua estrutura foi projetada em concreto massa, com comprimento da soleira de 45 m. O coeficiente de descarga adotado foi 1,8, que permitirá a passagem de 10 m³/s, com lâmina livre, ou seja a vazão total de adução do Trecho III. A altura máxima do vertedouro é de 3,38 m, terminando em um muro de concreto, a gravidade, em cada extremidade. A seguir as águas serão lançadas em uma pequena bacia de dissipação de 5,26 m de comprimento, sendo então conduzidas ao terreno natural.

As características principais são:

- NA normal 380,25 m
- NA max. max. 383,13 m
- Soleira do vertedouro 382,88 m
- Crista da barragem 384,00 m

10.1.2 Aspectos Estruturais

O vertedouro de Várzea Grande foi implantado num local que apresenta praticamente rocha sã aflorante. Por isso, será fundado em rocha de boa qualidade situada na cota 379,5 m, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.ET.0001 - página 116 do caderno de desenhos.

A seção transversal deste vertedouro é caracterizada por ser de gravidade, com paramento de montante vertical, paramento de jusante inclinado (1V:0,75H), apresentando a jusante uma bacia de dissipação de 5,26 m de comprimento máximo, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.ET.0001 - página 116 do caderno de desenhos.

Nas laterais deste vertedouro, foram projetados dois muros de gravidade com paramento externo vertical e interno inclinado (1V:0,6H). Sobre a soleira do vertedouro existirá uma ponte de concreto armado com 6 m de largura (largura da crista da barragem) e 45 m de comprimento. Observa-se que a cota superior da ponte fica 58 cm acima da barragem, de modo a permitir a passagem livre da água sobre a soleira do vertedouro sem interferência com as vigas da ponte.

Esta ponte, apresenta em sua seção transversal 2 vigas retangulares de 0,3 m de base e 1 m de altura, com tabuleiro em laje de 0,2 m de espessura. Estruturalmente estas vigas são isostáticas, apresentando apoio lateral nos muros laterais tipo gravidade e apoios centrais sobre 2 pilares de seção retangular de 0,5 m x 3,35 m, com bordas em formato hidrodinâmico.

Para a estrutura do vertedouro foi adotada o concreto massa que apresenta resistência característica $f_{ck} = 10$ MPa aos 90 dias. Para a bacia de dissipação foi adotada a classe de concreto A, que apresenta resistência característica $f_{ck} = 15$ MPa aos 28 dias. Para a ponte e



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

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

10.2 Vertedouro Salgado II

Este também é um vertedouro de segurança e será construído na câmara de carga da UHE Salgado II.

10.2.1 Aspectos Hidráulicos

A cota da crista da câmara de carga respectiva é 312,3 m, 0,86 m acima do NA max.max. que fica na cota 311,44. O vertedouro tem sua crista na cota 310,79 m, em concreto massa, com comprimento da soleira de 55 m. O vertedouro foi concebido em lâmina livre, sendo o coeficiente de descarga 1,7. Desta maneira, a vazão de dimensionamento do vertedouro, 45,1 m³/s, será atendida, sendo que esta vazão corresponde à vazão de adução do Trecho III. A altura do vertedouro é de 5,79 m, terminando numa pequena bacia de dissipação de 2 m de comprimento, e então lançando as águas no terreno natural.

As características principais são:

- NA normal 309,23 m
- NA max. max. 311,44 m
- Soleira do vertedouro 310,79 m
- Crista da câmara de carga 312,30 m

10.2.2 Aspectos Estruturais

O vertedouro situado no lateral direita da câmara de carga de Salgado II será implantado num local que apresenta praticamente rocha sã aflorante situada na cota 305 m, como mostrado no desenho EN.B/III.DS.GT.0030 - página 136 do caderno de desenhos.

A seção transversal deste vertedouro é caracterizada por ser de gravidade, com paramento de montante vertical, paramento de jusante inclinado (1V:0,6H), com soleira espessa, apresentando a jusante uma estrutura de 2 m de comprimento máximo (Desenho EN.B/III.DS.GT.0030 - página 136 do caderno de desenhos). O vertedouro foi projetado em 5 blocos de 11 m de comprimento cada um, separados por 4 juntas de contração dotadas de vedajunta de PVC tipo O-22. Para a estrutura do vertedouro foi adotado concreto massa, classe M, que deverá ter resistência característica $f_{ck} = 10$ MPa aos 90 dias. Para o paramento de jusante do vertedouro e a bacia de dissipação foi adotada a classe de concreto A, que terá resistência característica $f_{ck} = 15$ MPa aos 28 dias.