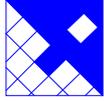




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



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
R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO**



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

TRECHO II – EIXO NORTE R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO

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

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

Coordenador Geral: João Urbano Cagnin

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor Interino: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador Técnico: Antônio Carlos de Almeida Vidon

Coordenador Técnico Adjunto: Ricardo Antônio Abrahão

Brasília, abril de 2001

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional; Trecho II – Eixo Norte - R2 – Critérios de Projeto. – São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2001.

56 p

1. Transposição de Águas
- I. Trecho II – Eixo Norte – R2 – Critérios de Projeto

CDU 556.5

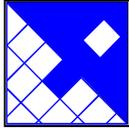
FUNCATE:

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

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 325 1399 Fax: (0XX 12) 341 2829



FUNCATE

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

| | |
|--------------------------------------|------|
| Projeto | Data |
| Verificação | Data |
| Aprovação | Data |
| Aprovação | Data |
| Código FUNCATE EN.B/II.RF.GR.0002 | 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
R2 - CRITÉRIOS DE PROJETO**

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 R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO, 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 . CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO | 1 |
| 2.1 Traçado Geométrico | 1 |
| 2.1.1 Soluções Tecnológicas | 1 |
| 2.1.2 Estradas de Acesso e Manutenção | 2 |
| 2.1.3 Proteção da Faixa de Domínio | 2 |
| 3 . ESTUDOS HIDROLÓGICOS | 2 |
| 3.1 Introdução | 2 |
| 3.2 Critérios de Projeto dos Estudos Operacionais..... | 2 |
| 3.2.1 Vazão na Tomada d'água | 2 |
| 3.3 Critério de Projeto para o Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais | 3 |
| 3.3.1 Vazões de Dimensionamento dos Vertedouros das Barragens..... | 3 |
| 3.3.2 Critérios de dimensionamento das obras de drenagem..... | 3 |
| 4 . HIDRÁULICA..... | 3 |
| 4.1 Introdução | 3 |
| 4.2 Critérios do Projeto Hidráulico..... | 3 |
| 4.2.1 Introdução | 3 |
| 4.2.2 Traçado Geométrico..... | 3 |
| 4.2.3 Declividade das Obras de Adução | 4 |
| 4.2.4 Vazões de Dimensionamento das Obras de Adução..... | 4 |
| 4.2.5 Cálculo do Escoamento | 4 |
| 4.2.6 Rugosidade das paredes | 6 |
| 4.2.7 Capacidade de Transporte de Sedimentos | 8 |
| 4.2.8 Velocidade Limite | 8 |
| 4.2.9 Canais..... | 10 |
| 4.2.10 Túneis | 13 |
| 4.2.11 Aquedutos..... | 13 |
| 4.2.12 Obras Especiais | 14 |
| 4.2.13 Reservatórios..... | 16 |
| 4.2.14 Obras de Drenagem Superficial | 16 |
| 5 . GEOLOGIA E GEOTECNIA | 19 |
| 5.1 Introdução | 19 |
| 5.2 Características dos Materiais de Escavação | 19 |
| 5.3 Características de Materiais Compactados..... | 21 |
| 5.4 Tratamento de Fundação e Taludes | 23 |
| 5.5 Maciços de Aterros Compactados..... | 24 |
| 5.6 Seções de Escoamento dos Canais..... | 25 |
| 5.6.1 Seções em Escavação em Solo..... | 25 |
| 5.6.2 Seções Escavadas em Material de 2ª categoria..... | 26 |
| 5.6.3 Seções Escavadas em Rocha..... | 26 |
| 5.6.4 Seções sobre Aterro Compactado..... | 26 |
| 5.7 Túneis | 27 |
| 5.8 Barragens | 27 |
| 5.9 Áreas de Empréstimo | 28 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

| | |
|--|-----------|
| 6 . ENGENHARIA ELÉTRICA | 28 |
| 6.1 Introdução | 28 |
| 6.2 Equipamentos e Sistemas Elétricos Previstos | 28 |
| 6.2.1 Nas Estruturas de Controle | 28 |
| 6.2.2 Nas Tomadas D'água de Uso Difuso | 28 |
| 6.2.3 Nas Estruturas de Derivação..... | 29 |
| 6.3 Normas Técnicas e Padrões..... | 29 |
| 6.3.1 Norma Oficial | 29 |
| 6.3.2 Normas Opcionais..... | 29 |
| 6.3.3 Padrões..... | 29 |
| 6.4 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Elétricos das Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação | 30 |
| 6.4.1 Localização e Número..... | 30 |
| 6.4.2 Sistema de Aterramento..... | 30 |
| 6.4.3 Equipamentos Principais..... | 30 |
| 6.4.4 Comando, Controle, Proteção e Supervisão | 30 |
| 6.4.5 Serviços Auxiliares em Corrente Alternada | 31 |
| 6.4.6 Sistema de Telecomunicações..... | 31 |
| 6.4.7 Sistema de Iluminação | 32 |
| 6.4.8 Sistema de Fiação | 32 |
| 6.4.9 Sistema de Vias de Cabos | 33 |
| 7 . CRITÉRIOS DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA..... | 33 |
| 7.1 Introdução | 33 |
| 7.2 Traçado Consolidado e Estruturas Hidráulicas Previstas..... | 34 |
| 7.3 Equipamentos e Sistemas Mecânicos Previstos | 34 |
| 7.3.1 Usinas Hidroelétricas | 34 |
| 7.3.2 Tomadas D'água de Uso difuso | 35 |
| 7.3.3 Tomadas D'água de Derivação | 35 |
| 7.3.4 Estruturas de Controle | 35 |
| 7.4 Unidades, Normas e Padrões..... | 35 |
| 7.5 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Mecânicos nas Usinas Hidrelétricas | 36 |
| 7.5.1 Turbinas Hidráulicas..... | 36 |
| 7.5.2 Equipamentos Hidromecânicos..... | 36 |
| 7.5.3 Equipamentos de Levantamento e Transporte | 37 |
| 7.5.4 Conduitos Forçados Adutores..... | 38 |
| 7.5.5 Sistema de Proteção das Turbinas..... | 38 |
| 7.5.6 Sistema de descarga de água para jusante | 39 |
| 7.5.7 Sistemas Auxiliares Mecânicos | 39 |
| 7.6 Critérios de Projeto para os Equipamentos das Tomadas D'água de Uso Difuso | 39 |
| 7.6.1 Captação..... | 39 |
| 7.6.2 NPSH Disponível | 40 |
| 7.7 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Tomadas D'água de Derivação..... | 40 |
| 7.8 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controle..... | 41 |
| 8 . ESTRUTURAS CIVIS | 41 |
| 8.1 Objetivo..... | 41 |
| 8.1.1 Estruturas a Analisar..... | 41 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

| | |
|--|-----------|
| 8.1.2 Critérios Básicos | 41 |
| 8.1.3 Normas e Entidades Normalizadoras | 42 |
| 8.2 Características dos Materiais | 42 |
| 8.2.1 Concreto | 42 |
| 8.2.2 Aço para concreto armado | 42 |
| 8.2.3 Aço para concreto protendido | 43 |
| 8.2.4 Aço Estrutural..... | 43 |
| 8.3 Cargas de Projeto | 43 |
| 8.3.1 Cargas Permanentes | 43 |
| 8.3.2 Cargas Hidrostáticas Externas | 43 |
| 8.3.3 Subpressões e Pressões Neutras | 43 |
| 8.3.4 Sobrecargas..... | 44 |
| 8.3.5 Cargas de Assoreamento..... | 45 |
| 8.3.6 Empuxos Estáticos de Terra e de Enrocamento..... | 46 |
| 8.3.7 Cargas de Vento | 46 |
| 8.3.8 Cargas Sísmicas | 46 |
| 8.3.9 Cargas Hidrodinâmicas | 47 |
| 8.3.10 Ação do Calor de Hidratação | 47 |
| 8.4 Condições de Carregamento..... | 47 |
| 8.4.1 Geral | 47 |
| 8.4.2 Condições de Carregamento Normais (CCN)..... | 48 |
| 8.4.3 Condições de Carregamento Excepcionais (CCE) | 48 |
| 8.4.4 Condições de Carregamento Limites (CCL) | 48 |
| 8.4.5 Condições de Carregamento de Construção (CCC)..... | 48 |
| 8.4.6 Condições Adicionais | 49 |
| 8.5 Projeto Estrutural..... | 49 |
| 8.5.1 Análises de Estabilidade | 49 |
| 8.5.2 Geral | 49 |
| 8.5.3 Análise de Tensões..... | 50 |
| 8.5.4 Dimensionamento Estrutural | 53 |
| 8.5.5 Disposições Construtivas | 53 |
| 9 . REFERÊNCIAS | 55 |



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

Este relatório tem por objeto o projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.

O seu objetivo é o de apresentar os Critérios de Projeto Civil, Elétrico e Mecânico para o desenvolvimento do Projeto Básico desse empreendimento, com vistas a fixar normas técnicas e diretrizes de projeto, definir os dados básicos e parâmetros a serem considerados nos estudos e cálculos e fixar os procedimentos principais de análise que permitam obter um nível de confiabilidade para as estruturas principais equivalente a estruturas de obras similares e do mesmo porte.

Os critérios aqui apresentados visam apenas a suplementar as normas brasileiras, quando elas forem insuficientes para a resolução de problemas específicos, valendo-se para isto de parâmetros e hipóteses de cálculo universalmente aceitos, que se encontram em normas e publicações editadas por entidades de renome internacional. Tais critérios poderão sofrer alterações durante o desenvolvimento dos trabalhos, em função de resultados de novas investigações de campo, de resultados de ensaios de laboratório ou de avanços tecnológicos em áreas específicas.

2 . CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO

Estes critérios visarão sempre, por meio das diretrizes e dos valores estabelecidos, à garantia da segurança da obra, durante as fases de construção e de operação das estruturas, à eficiência e à confiabilidade operacional, ensejando ao empreendimento condições de otimização de custos e de prazos.

O traçado geométrico das obras de transposição deverá se desenvolver de modo a tirar o melhor partido da topografia e condições geológicas locais, de modo a minimizar os custos de implantação, manutenção e operação, devendo, ainda, ajustar-se aos objetivos e conceitos definidos para o Projeto.

Soluções tecnológicas diversas para a condução das águas foram adotadas em função das condições topográficas, geológicas e hidráulicas de cada trecho e essas soluções são apresentadas em desenhos específicos.

2.1 Traçado Geométrico

Nas fases anteriores de projeto foi definida a macro-localização das obras da transposição, a partir da qual foram efetuados os trabalhos de restituição aerofotogramétrica do terreno.

Respeitando ou adaptando as diretrizes de percurso já definidas, o traçado geométrico das obras de transposição deverá se desenvolver de modo a tirar o melhor partido da topografia e das condições geológicas locais, para minimizar os custos de implantação, manutenção e operação, devendo, ainda, se ajustar aos objetivos e conceitos definidos para o Projeto.

Deverá minimizar, ainda, as obras de escavação e aterro e obter a melhor compensação possível dos volumes de corte e aterro, de modo a se diminuir volumes de bota-fora ou volumes de empréstimos de solo ou rocha.

Tanto o traçado geométrico como o tipo de solução tecnológica a ser adotada em cada trecho deverá minimizar problemas sociais de deslocamentos de populações ou desapropriações custosas.

2.1.1 Soluções Tecnológicas

Soluções tecnológicas diversas para condução das águas serão adotadas em função das condições topográficas, geológicas e hidráulicas de cada trecho, sendo enunciadas abaixo:

- ensecadeiras;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- canais revestidos em corte em solo ou rocha;
- canais revestidos sobre aterros ou enrocamentos;
- túneis escavados convencionalmente a fogo;
- aquedutos em concreto;
- adutoras em aço;
- galerias pré-moldadas ou moldadas no local;
- reservatórios;
- vertedouros em concreto;
- comportas;
- tomadas d'água;
- válvulas dispersoras.

2.1.2 Estradas de Acesso e Manutenção

Estradas de acesso para a implantação de estruturas importantes, tais como casas de máquinas, comportas, equipamentos de manobras e outras, deverão ser consideradas e seu projeto elaborado em nível de projeto básico.

Serão consideradas estradas de manutenção, com 3,5m de largura em ambos os lados do canal.

As estradas deverão ser consideradas com uma largura de plataforma de 3,5m e serão apresentadas na escala 1:100.000.

Ligações entre o lado direito e o esquerdo do canal a céu aberto serão previstas, para permitir o trânsito das populações afetadas pela implantação do sistema.

2.1.3 Proteção da Faixa de Domínio

Visando a controlar eventuais ocupações e a evitar a queda de animais de médio e grande porte nos canais, a faixa de domínio será protegida por cercas de arame.

3 . ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3.1 Introdução

Este item apresenta os principais critérios de projeto utilizados no desenvolvimento dos estudos hidrológicos para o projeto básico.

3.2 Critérios de Projeto dos Estudos Operacionais

3.2.1 Vazão na Tomada d'água

A partir dos estudos de inserção regional, consolidados nos estudos de viabilidade da fase anterior, estabeleceu-se que, para atender as demandas definidas no cenário estabelecido para sua evolução, seria necessária a vazão de 89m³/s.

Essa vazão foi dimensionada para atender as demandas em toda a extensão do trecho e os trechos subseqüentes, levando-se em conta as perdas físicas, notadamente por infiltração e evaporação, e por deficiência de gestão. Além disso, leva em conta a regra de operação que prevê bombeamento de 21h por dia, de segunda a sexta-feira, e de 24h por dia aos sábados e domingos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

3.3 Critério de Projeto para o Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais

3.3.1 Vazões de Dimensionamento dos Vertedouros das Barragens

Os critérios para dimensionamento dos vertedouros dos reservatórios de compensação ou derivação, em função do porte da obra, são:

- pequenas e médias barragens - dimensionamento para o hidrograma de projeto com período de retorno de 500 anos e verificação da borda livre para o hidrograma de projeto com período de retorno de 1000 anos;
- grandes barragens - dimensionamento para o hidrograma de projeto com período de retorno de 1000 anos.

Em princípio, as barragens dos reservatórios de compensação ou derivação podem ser consideradas de pequeno e médio porte.

3.3.2 Critérios de dimensionamento das obras de drenagem

O critério hidrológico de dimensionamento estabelece que as obras de drenagem serão dimensionadas para vazões correspondentes ao hidrograma com período de retorno de 100 anos.

4 . HIDRÁULICA

4.1 Introdução

Este item apresenta os principais critérios de projeto que serão utilizados no desenvolvimento dos estudos hidráulicos para o Projeto Básico.

4.2 Critérios do Projeto Hidráulico

4.2.1 Introdução

As obras hidráulicas previstas no Projeto compreendem:

- barragens de terra;
- obras de adução;
- canais de condução d'água;
- túneis de adução;
- aquedutos;
- obras de controle, como vertedouros, válvulas dispersoras, reservatórios de regularização, reservatórios de compensação e outros;
- obras de tomada d'água para uso difuso.

4.2.2 Traçado Geométrico

O traçado geométrico das obras de adução será constituído de uma sucessão de trechos retilíneos e curvos.

Preferencialmente, as obras em túnel e aquedutos serão executadas em trechos retilíneos, com todas as curvas necessárias para a execução do traçado desenvolvidas nos canais.

O raio mínimo de curvatura dos canais será de:

- canais revestidos $R \geq 4B$;
- canais em solo ou rocha $R \geq 7B$;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

onde:

R – raio de curvatura no eixo do canal;

B – largura superficial do escoamento.

A implantação das obras deve ser estudada em trechos não muito extensos, ajustando o traçado de forma a minimizar os volumes de obra e balancear os volumes de corte e escavação, dentro de limites econômicos para distância de transporte dos materiais envolvidos.

Na concepção dos traçados deverão ser evitados, dentro do possível:

- cortes de grande altura >30m;
- aterros de grande altura >30m;
- contornos extensos de vales ou espigões.

4.2.3 Declividade das Obras de Adução

Na fase dos estudos de viabilidade, foi realizada uma análise econômica que estabeleceu o valor de 0,0001 m/m para o projeto dos canais, para operação em plena capacidade.

Nos demais trechos, a declividade poderá ser maior de acordo com a topografia.

As obras especiais de adução de água (túneis e aquedutos), sempre que as condições topográficas o permitirem, devem ter sua declividade aumentada para 0,0004 m/m, respeitando os valores limites de velocidade de escoamento e o número de *Froude*. O objetivo desta medida é minorar o custo destas obras, que são localizadas e apresentam custo por metro linear significativamente maior que os dos canais de adução.

4.2.4 Vazões de Dimensionamento das Obras de Adução

Conforme definido na fase de Viabilidade as obras de transposição de água são dimensionadas considerando o bombeamento de água fora do horário de pico do sistema elétrico, ou seja, bombeamento durante 20,5 horas seguidas nos dias úteis e paralisação das bombas no referido horário de pico.

A vazão de dimensionamento para os canais é de 89,0m³/s.

- derivação do reservatório dos Porcos para o riacho dos Porcos – 7,0m³/s;
- derivação do reservatório Cuncas até o reservatório Eng^o Ávidos – 50,0 m³/s;
- derivação do reservatório Cuncas até o riacho Cuncas – 3,0 m³/s;
- derivação do reservatório Cuncas para o Trecho III – 55,0m³/s.

4.2.5 Cálculo do Escoamento

4.2.5.1 Dimensionamento dos canais

As obras de adução de água serão dimensionadas para as vazões de projeto, conforme definidas no item anterior. O dimensionamento hidráulico para determinação da seção transversal foi feito para o escoamento em regime permanente e uniforme, a partir do qual será definido o perfil longitudinal do sistema de canais, definindo-se sua implantação geométrica.

Para os estudos de comportamento do canal em situações diversas e determinação das linhas de água e bordas livres foi utilizado programa computacional. Este programa é capaz de determinar as condições de escoamento em canais tanto em regime permanente como variado, considerando em seus cálculos as equações completas de *Saint Venant*. No cálculo das perdas de carga foi adotada a fórmula de *Chezy*, considerando os coeficientes de rugosidade conforme



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

definidos por *Manning*. As perdas localizadas são consideradas como proporcionais à energia cinética na seção.

Com a utilização do mesmo programa, será pré-dimensionado o comportamento dos canais em regime variado, definindo-se as características necessárias, trecho a trecho, para limitação das variações de nível durante a operação. A verificação final do comportamento dos canais será realizada para o canal como um todo, conforme definido no relatório nº 12.

4.2.5.2 Condutos em pressão

Nos condutos fechados em pressão as perdas de carga (ΔH) serão calculadas pela fórmula universal de perda de carga.

onde:

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

f – fator de perda de carga ou fator de resistência, função do número de Reynolds Re e da rugosidade relativa;

L – comprimento do conduto, (m);

D – diâmetro hidráulico da seção de escoamento, (m);

V – velocidade de escoamento, (m/s)

Na utilização da fórmula de *Manning* a relação entre f e n é dada pela seguinte equação:

$$f = 124,6 \frac{n^2}{D^{1/3}}$$

n - Coeficiente de rugosidade de *Manning*, s/m^{1/3} ;

$R_h = \frac{S}{P}$ - raio hidráulico, m;

S - Seção molhada, m²;

P – perímetro molhado, m;

i – declividade, m/m.

4.2.5.3 Perdas Localizadas

As perdas devidas a singularidades existentes no traçado serão calculadas pela fórmula:

$$\Delta H = K \frac{V^2}{2g}$$

onde:

V - velocidade de escoamento na seção estrangulada, (m/s);

g - aceleração da gravidade, (adotado 9,81 m/s²);



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

K - coeficiente de perda de carga; função das características geométricas;

Adotados: K=0,5 na entrada

K=1,0 na saída

ΔH - perda de carga, (m)

4.2.6 Rugosidade das paredes

Muitos são os fatores que influem na rugosidade, entre eles:

- Rugosidade superficial

A rugosidade depende da forma e do tamanho das irregularidades do material da parede. Materiais finos provocam um efeito menor, reduzindo o atrito. Materiais grosseiros aumentam a rugosidade.

- Vegetação

A vegetação pode ser simulada como rugosidade superficial. Seu efeito depende principalmente da sua altura, densidade, distribuição e espécie. Deve-se ter especial atenção com o crescimento da vegetação. Segundo estudos apresentados na literatura existente específica, o coeficiente de rugosidade pode variar de 2 a 3 vezes o seu valor original devido ao desenvolvimento de vegetação ao longo dos canais.

- Irregularidades

Canais com irregularidades no seu perímetro molhado e variações na sua seção transversal sofrem acréscimo na rugosidade.

- Sedimentação e Erosão

A sedimentação e erosão em canais, ao longo do período de operação, podem provocar alterações na rugosidade das paredes.

- Obstruções

A presença de troncos de árvores, pilares de pontes e outros materiais incrementam a rugosidade do canal, além de provocarem o efeito de redução de seção.

Diversos fatores influem na determinação da rugosidade real de um canal:

- material de acabamento;
- método construtivo e forma de acabamento;
- manutenção;
- erosão e deposição, etc.

4.2.6.1 Obras em concreto

Pesquisas realizadas e a experiência já adquirida demonstraram que canais com revestimento bem executado em concreto apresentam coeficiente de rugosidade de *Manning*, $n = 0,012$ a $0,013 \text{ s/m}^{1/3}$.

Com o passar do tempo, entretanto, podem ocorrer erosões ou deposições, movimentação das placas de revestimento, etc, aumentando a resistência ao escoamento.

Avaliações de campo realizadas em São Paulo (DAEE-SP) indicaram valores do coeficiente de *Manning* de até cerca de $n = 0,018 \text{ s/m}^{1/3}$, em função destes problemas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A experiência americana aliada a estudos de campo demonstra que, para canais revestidos de concreto, o valor de n aumenta com aumentos nas dimensões do canal. Os estudos constataram uma relação entre o coeficiente n e o raio hidráulico R_H .

Com base nesses estudos, o coeficiente a ser utilizado no dimensionamento de canais de concreto é $n = 0,015 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.2.6.2 Obras com revestimento em Concreto Projetado

Nas superfícies revestidas em concreto projetado, dois fatores principais influenciam a rugosidade:

- acabamento do concreto projetado;
- regularidade da superfície.

Quando em superfícies bem escavadas e com o concreto projetado conformando uma superfície contínua, regular e alinhada, os coeficientes de rugosidade recomendados são:

- concreto projetado, alisado à colher ou desempenadeira, bem acabado, $n = 0,018 \text{ s/m}^{1/3}$;
- concreto projetado, alisado à colher ou desempenadeira, mal acabado, $n = 0,020 \text{ s/m}^{1/3}$;
- concreto projetado, sem acabamento, $n = 0,022 \text{ s/m}^{1/3}$

Nos casos em que a superfície de escavação seja irregular, com o concreto projetado lançado de forma a não preencher totalmente os vazios para uma superfície final regular e alinhada, os coeficientes de rugosidade recomendados são:

- superfície contínua mas não alinhada, com variações suaves e pouco pronunciadas na seção, $n = 0,022 \text{ s/m}^{1/3}$.
- escavação irregular em rocha, sem preenchimento total com concreto projetado, $n = 0,027 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.2.6.3 Obras escavadas em rocha

Os canais escavados em rocha deverão ter o coeficiente de rugosidade estimado em função do acabamento esperado da escavação. Para cada caso, a estimativa, deverá ser realizada em função do tipo de rocha e das especificações de acabamento da escavação. Em princípio, os valores do coeficiente de *Manning* estarão dentro da faixa de variação $0,030 \leq n \leq 0,100$, tendo os seguintes valores específicos:

- com pré-fissuramento, bem acabados (mínimo) - $0,030 \text{ s/m}^{1/3}$;
- com pré-fissuramento, bem acabados (médio) - $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$;
- escavado em rocha sem pré-fissuramento com fogo cuidadoso - $0,050 \text{ s/m}^{1/3}$;
- escavado em rocha sem pré-fissuramento com superfície mal acabada (máximo) - $0,100 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.2.6.4 Composição de Rugosidades

Em canais com diversidade de revestimento nos fundos e nas paredes/taludes laterais, o coeficiente de rugosidade deverá ser composto a partir da rugosidade obtida para cada material.

Entre as diversas fórmulas existentes para cálculo da rugosidade composta, é recomendada a seguinte:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

$$n = \left[\frac{\sum_1^N P_i x n_i^{3/2}}{\sum_1^N P_i} \right]^{2/3}, \quad (\text{Horton, Einstein})$$

onde:

P_i = Perímetro molhado da seção com revestimento i (m);

n_i = Rugosidade do material do revestimento i (s/m^{1/3});

Os coeficientes de rugosidade dos materiais foram obtidos conforme explicitados nos itens 4.2.6.1, 4.2.6.2 e 4.2.6.3.

4.2.7 Capacidade de Transporte de Sedimentos

Tendo em vista a capacidade nominal dos canais constante ao longo do Trecho II - Eixo Norte e a utilização ao longo de todo o trecho da mesma declividade de projeto, não há variação na capacidade de transporte de sedimentos ao longo do Trecho. Assim sendo, não serão construídas estruturas de desarenação ao longo dos canais.

Deverão ser tomados cuidados especiais em locais específicos, a saber:

- no desemboque de afluentes interceptados pela formação dos reservatórios necessários ao sistema de transposição.

4.2.8 Velocidade Limite

4.2.8.1 Velocidades máximas quanto ao desgaste

O controle de velocidade nos vários tipos de obras deve ser utilizado no projeto de transposição, tendo em vista diminuir o desgaste do revestimento de canais e demais obras, bem como evitar a erosão do leito e/ou das margens de canais naturais.

Os valores máximos adotados para projeto estão indicados no Quadro 4.1 e foram obtidos com base na literatura existente e na experiência dos projetistas.

Em estruturas especialmente projetadas, tais como “rápidos” e dissipadores de energia, as velocidades limites acima indicadas poderão ser excepcionalmente ultrapassadas.

4.2.8.2 Canais revestidos

Em canais revestidos, a presença de trincas pode provocar a transformação de energia cinética em pressão adicional sob o revestimento. Em curvas com velocidades altas, tanto podem ocorrer perdas de carga significativas adicionais, como a elevação do N.A. no lado externo.



Quadro 4.1

| VELOCIDADES PERMITIDAS PARA DIFERENTES MATERIAIS | |
|--|-------------------------|
| MATERIAL | VELOCIDADE MÁXIMA (m/s) |
| Concreto | 5,0 |
| Aço | 5,0 |
| Revestimento com gabião em colchão tipo "Reno" | |
| e = 0,17 | 1,8 |
| e = 0,23 | 3,5 |
| e = 0,30 | 4,5 |
| (e – espessura em metro) | |
| Solos arenosos | 0,8 |
| Solos argilosos compactos | 1,0 |
| Solos argilosos duros | 1,2 |
| Cascalho grosso, pedregulho ou piçarra | 1,5 |
| Rochas brandas | 1,8 |
| Canais revestidos com grama | |
| Solos erodíveis | 1,5 |
| Solos resistentes | 2,1 |

Tendo em vista estas condições, como regra geral, nos canais revestidos a velocidade de escoamento deverá ser limitada a 1,8 m/s. Nos casos em que a velocidade de escoamento superar este valor, deverá ser verificada as condições de escoamento em todas as curvas e serão estabelecidos cuidados específicos na construção dos revestimentos.

4.2.8.3 Número de *Froude*

Deverá ser garantido que o escoamento não se aproxime do regime crítico ($Fr = 1$) com a possibilidade de formação de ondas estacionárias.

O valor limite do número de *Froude* a ser observado é de 0,7 calculado com um coeficiente de rugosidade inferior em 0,003 ao n (de *Manning*) de projeto, garantindo-se as condições de escoamento fluvial tanto em seções com acabamento diferenciado quanto ao esperado em projeto, como em trechos com declividade superior e as decorrentes de tolerâncias de construção.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.2.9 Canais

4.2.9.1 Seção transversal

O critério básico para a definição das seções transversais dos canais, revestidos em concreto, foi adotar bases mínimas construtivas que possibilitem o tráfego durante a construção de, no mínimo, um veículo.

4.2.9.2 Revestimento dos Canais

As observações e análises realizadas sobre a geologia da região a ser atravessada mostraram a presença das seguintes áreas:

- planícies aluvionares;
- bacias sedimentares;
- embasamento cristalino (granitos, gnaisses, xistos).

Como critério básico, independentemente do tipo geológico, os canais deverão ser sempre revestidos com concreto.

Em locais específicos como, por exemplo, onde o maciço rochoso seja comprovadamente impermeável, sem risco de perda d'água por infiltração, poderão ser empregados canais escavados em rocha, sem revestimento de concreto.

4.2.9.3 Borda Livre

Os canais serão projetados com altura constante em toda a seção revestida, incluindo altura correspondente a uma borda livre mínima. Os valores da borda livre mínima seguirão os valores indicados pelo *Bureau of Reclamation* para projetos de adução e irrigação no Brasil, para borda livre revestida.

A borda livre revestida, responsável por acomodar as flutuações normais e freqüentes no nível d'água, tais como ondas resultantes de mudanças de vazão, ondas e desequilíbrios temporários, etc, é definida como a altura existente entre o nível d'água nas condições de projeto e o limite superior a ser revestido no canal (concreto ou manta impermeável). Seu valor será estimado pela fórmula seguinte:

$$40 < Q < 600 \Rightarrow H = 0,36 (\log Q) - 0,05$$

onde:

Q – vazão em m³/s;

H – borda livre para revestimento em m.

Nos cálculos e dimensionamentos a serem efetuados, deverão ser verificadas as flutuações decorrentes da operação normal do sistema de transposição com a utilização de modelo hidrodinâmico. Estas verificações deverão ser efetuadas com a utilização de programas de cálculo do escoamento em regime transitório, e as variações do NA no canal nesta situação deverão ser acomodadas na borda livre. Nos trechos em que as flutuações normais ultrapassarem a altura padrão de revestimento, a seção padrão deverá ser ampliada, garantindo borda livre de 0,30m.

Serão também consideradas no dimensionamento operações pouco freqüentes, tal como ocorrência de cheias nos reservatórios de compensação e de derivação. Por ocasião destas ocorrências o NA nos canais poderá ultrapassar os limites do revestimento dos canais, devendo ser prevista uma borda livre adicional para acomodar as referidas variações de NA.

A borda livre adicional para aterro poderá ser obtida pela fórmula indicada a seguir:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

$$30 < Q < 100 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow \text{HB} = 0,651 (\log Q) + 0,18; \text{m}$$

Q – vazão em m^3/s ;

HB – borda livre para o aterro em m.

Ou pela adoção de obras especiais como por exemplo, a construção de muretas de contenção, já adotada na fase de estudos de viabilidade.

Como critério geral foi adotada numa borda livre de 0,30 m, acima do NA máximo maximorum.

4.2.9.4 Seção Transversal

O quadro 4.2 apresenta as características principais das seções transversais típicas dos canais revestidos a serem empregados no projeto.

Nos trechos sem revestimento, deverão ser dimensionados canais com paredes rugosas (escavados em rocha sem pré-fissuramento ou revestidos com enrocamento graúdo, com coeficiente de rugosidade n de *Manning* = $0,050 \text{ s/m}^{1/3}$).



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

QUADRO 4.2

CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS CANAIS

Condicionantes:

Coefficiente de *Manning*..... $n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$ (revestido em concreto)

Coefficiente de *Manning*..... $n=0,035 \text{ s/m}^{1/3}$ (acabamento médio) – revestido em rocha

Declividade do canal..... $i = 0,0001 \text{ m/m}$

Talude do canal de concreto..... 1V:1,5H

Talude do canal de adução revestido em enrocamento..... 1,0V:2,0H

Borda livre

mínimo..... 0,70 m

adotado..... 1,45 e 1,55 m

| SEÇÃO CONSTRUTIVA | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| Base (B) m | Altura de água (H) m | Perímetro Molhado (P) m | Seção Transversal (S) m ² | Raio Hidráulico (RH) m | Velocidade (V) m/s | Vazão (Q) m ³ /s | Borda livre USBR m | Borda livre Adotada m | 1,5 V ^{2/3} m | Altura do Canal m |
| 6,00 | 4,99 | 23,99 | 67,29 | 2,84 | 1,33 | 89,22 | 0,65 | 0,70 | 0,14 | 5,70 |
| 23,50 | 4,99 | 34,68 | 129,72 | 3,74 | 0,69 | 89,00 | 1,39 | 1,45 | 0,04 | 6,45 |
| 25,00 | 4,99 | 36,18 | 137,5 | 3,80 | 0,65 | 89,00 | 1,39 | 1,45 | 0,03 | 6,45 |
| 17,00 | 4,00 | 25,96 | 76,00 | 2,93 | 1,17 | 89,00 | 1,39 | 1,45 | 0,10 | 5,45 |
| 24,50 | 4,00 | 33,46 | 106,00 | 3,17 | 1,23 | 130,52 | 1,48 | 1,55 | 0,12 | 5,55 |

* canal revestido com enrocamento



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.2.9.5 Níveis Operacionais nos Canais a Montante dos Reservatórios

A cota final do revestimento dos canais na aproximação dos reservatórios, deverá ser igual à cota do remanso da cheia de período de retorno de 1000 anos no interior do canal, acrescido de 0,30m, considerando-se o reservatório no nível máximo maximorum.

Na eventual necessidade de elevação da cota de coroamento das margens do canal devido aos efeitos hidrodinâmicos, a forma mais adequada para realizar este alteamento será resultante de análise técnico econômica entre a execução de muretas de concreto ou elevação de aterro.

4.2.9.6 Níveis Operacionais nos Canais a Jusante dos Reservatórios

A cota final do revestimento nos canais a jusante dos reservatórios deverá ser igual ao nível d'água resultante do regime permanente acrescido de 0,70m, respeitado o desenvolvimento geométrico.

Os reservatórios principais deverão ter estrutura de controle de vazão.

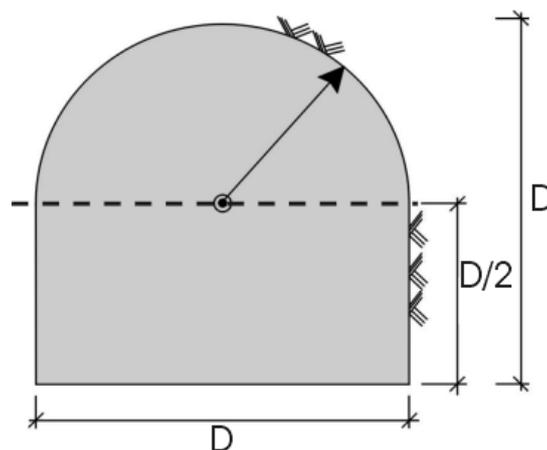
A estrutura de controle será constituída de comportas do tipo "Setor", com no mínimo duas comportas por estrutura. A cota dos muros laterais da estrutura de controle deverá ter a mesma cota da crista da barragem.

4.2.10 Túneis

4.2.10.1 Seção Transversal

O túnel terá ação arco-retângulo e será escavado por método convencional.

A seção hidráulica transversal a ser utilizada terá as seguintes características geométricas:



O túnel terá o piso revestido em concreto.

Os estudos realizados mostraram ser mais econômica a construção dos túneis sem revestimento. A necessidade de revestimento das paredes deverá ser definida em função das características da rocha, tanto quanto à estabilidade, quanto à rugosidade esperada no acabamento de superfície.

4.2.11 Aquedutos

O traçado em planta dos aquedutos deverá ser o mais retilíneo possível, de forma a minimizar os custos de implantação. Sua declividade deverá ser maximizada, dentro das condições reinantes no entorno, possibilitando minimizar a seção transversal.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Deverão ser construídos em concreto, moldados in loco ou pré-moldados. A seção transversal adotada deverá ser a retangular.

Os aquedutos serão projetados como canais em superfície livre, obedecendo aos demais critérios pertinentes já estabelecidos para este tipo de obra.

Conforme resultados obtidos na fase de estudos de viabilidade, os aquedutos deverão ser previstos para construção em duas etapas.

4.2.12 Obras Especiais

Cada uma das obras especiais foi dimensionada a partir das características hidráulicas do sistema, conforme apresentado nos memoriais do relatório 16.

4.2.12.1 Caixas de Desarenação

Não estão previstas caixas de desarenação ao longo dos canais da transposição. Nas tomadas d'água nos reservatórios que interceptam cursos naturais, com a possibilidade de carreamento de sedimentos, deverão ser previstas obras especiais que inibam a entrada dos sedimentos nos canais de adução.

4.2.12.2 Estruturas de Controle na Entrada de Canais

Deverão ser previstas estruturas de controle de vazão nas saída de reservatórios para canais de adução de água.

Na fase de estudos de viabilidade foi definida a conveniência de se utilizar comportas para controle das saídas de todos os reservatórios situados a montante de trechos extensos de canal. Atendendo a essa necessidade e, procurando minimizar as perdas de carga ao longo dos canais, as estruturas de controle serão previstas em seções retangulares com estrangulamento da seção, dotadas de comportas tipo segmento. As estruturas deverão ser dimensionadas de modo a minimizar a perda de carga e possibilitar a operação do sistema com a comporta totalmente aberta. O controle fino da vazão aduzida ao canal poderá ser efetuado por operação da comporta.

Em todas as estruturas deverá ser prevista a utilização de, no mínimo, duas comportas, possibilitando a operação do canal durante períodos de manutenção de uma comporta.

O controle de níveis será feito pelo vertedouro de emergência ou vertedouro de cheias, se houver.

4.2.12.3 Medidores de vazão

Deverão ser previstos pontos de medição de vazão nos canais adutores nos seguintes casos:

- na saída dos reservatórios com estrutura de controle;
- a jusante de estruturas de partição de vazão;
- nos pontos de entrega de água aos Estados;
- nas tomadas d'água para uso difuso.

Tendo em vista reduzir as perdas de carga nas saídas dos reservatórios e ao longo dos canais, a medição de vazão deverá ser efetuada com a leitura de níveis d'água e a utilização de curvas cota x vazão no canal. Opcionalmente poderão ser empregados métodos mais acurados como a utilização de dois pontos de nível para definição da inclinação da linha d'água ou medição de velocidades de escoamento.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Nos pontos de entrega de vazão, seja na conexão com os sistemas estaduais, seja nas tomadas para uso difuso, deverão ser previstos medidores de vazão que possibilitem correspondência biunívoca entre a leitura realizada e a vazão, tais como:

- calhas *Parshall*;
- vertedouros;
- medidores volumétricos, etc.

Os medidores de vazão deverão ser dotados de equipamentos e acessórios que possibilitem, a qualquer tempo, a instalação de aparelhos registradores e sensores para transmissão de dados no controle de operação.

4.2.12.4 Estruturas de Controle e Seccionamento dos Canais

Não foram previstas estruturas para seccionamento dos canais, exceto nas saídas dos reservatórios. Quando da eventual necessidade de intervenção para manutenção do canal, este deverá ser esvaziado em toda sua extensão.

4.2.12.5 Descarregadores / Vertedouros

Em todos os locais onde existam estruturas capazes de interromper o fluxo nos canais de adução (estruturas com comportas, etc.) deverão ser previstas estruturas de descarga da vazão afluente.

Preferencialmente, estas estruturas serão do tipo vertedouro, em soleira livre. Serão dimensionadas para a vazão máxima aduzida pelo canal, ou a vazão decorrente de cheias naturais no local, quando existirem, valendo sempre a maior delas.

O canal de descarga dessas estruturas deverá ser projetado e dimensionado acompanhando a drenagem natural, até atingir uma seção natural com capacidade superior à da vazão de dimensionamento da estrutura.

4.2.12.6 Estruturas de Derivação e Válvulas Dispensoras

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

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

Após a derivação estão previstas duas válvulas dispensoras, cada uma precedida de um registro tipo borboleta, para execução de manutenção das válvulas.

As válvulas dispensoras foram dimensionadas a partir da fórmula:

$$Q = C.A.\sqrt{2gH}$$

Q = vazão em m³/s

C = Coeficiente de descarga - adotado 0,7 para este caso.

A = Área do conduto à montante da válvula

H = Diferença entre o nível d'água mínimo do reservatório até o centro do tubo à montante da válvula



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.2.12.7 Tomada d'água para usos difusos

Nos reservatórios dos Porcos e Cuncas estão previstas derivação específicas de 7,0 e 3,0 m³/s respectivamente, para usos difusos e dimensionados para o NA mínimo operacional dos reservatórios. Estas tomadas foram projetadas em estruturas em torre com tomada d'água, grade e tubulação até uma derivação composta de duas tubulações e terminando em duas válvulas dispersoras.

4.2.13 Reservatórios

4.2.13.1 Reservatórios de Passagem

Será implantada uma série de reservatórios a jusante do Reservatório Atalho, interligados entre si por canais escavados e sem revestimento.

Os reservatórios implantados em substituição a canais são os Reservatórios dos Porcos, Cana Brava, do Cipó e do Boi.

A ligação entre os reservatórios dos Porcos e Cana Brava será feita através de um vertedouro afogado com comportas segmentos, que permitirá regular a vazão de passagem. Os reservatórios de Cana Brava, do Cipó e do Boi, serão ligados através de canais escavados, sem estruturas de controle.

4.2.13.2 Definição dos níveis de projeto

N.A mínimo – regime permanente para a vazão de 22,25m³/s (que corresponde ao funcionamento de duas bombas no trecho I).

N.A máx maximorum – corresponde à Cota de Crista do vertedouro acrescida de uma lâmina vertente que corresponde à enchente do período de retorno de 1.000 anos.

A cota da crista do vertedouro do Reservatório dos Porcos foi adotada 1,00m acima do NA normal correspondente à vazão de 89,0 m³/s.

A cota da crista dos vertedouros de Cipó, do Boi, de Morros e Cuncas foi adotada 0,50 m acima do NA normal correspondente à vazão de 89,0 m³/s.

4.2.13.3 Efeito de ondas nos reservatórios

Serão verificadas as alturas de ondas significativas resultantes da ação de vento com velocidade de 120 km/h, atuando sobre o NA normal do reservatório e da ação de um vento de 80 km/h atuando sobre o NA máximo maximorum.

Será adotado o nível maior entre as duas situações, considerando-se ainda a subida das ondas e da maré de vento. Acima desse nível será adotada uma folga de 0,30m.

4.2.13.4 Vertedouros

Os vertedouros deverão ser de soleira livre com a Cota da Crista variando entre 0,5 e 1,0 m acima do nível d'água normal. A lâmina vertente deverá variar entre 0,5 m e 2,0 m.

A ligação entre os reservatórios dos Porcos e Cana Brava será efetuada através de um vertedouro afogado com comportas, para poder regular a vazão de passagem.

A carga máxima em que poderá operar este vertedouro, em casos excepcionais, é de 4,0 m.

4.2.14 Obras de Drenagem Superficial

Em princípio, todas águas pluviais e de drenagens naturais deverão ser desviadas, evitando-se suas afluições para os canais de adução de água. O projeto das obras de drenagem pode ser subdividido em:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- drenagem da plataforma;
- drenagem de encostas, no caso de trechos em cortes;
- drenagem de proteção do pé do talude, em caso de aterros;
- drenagem de rios.

4.2.14.1 Drenagem da plataforma - Cortes

Nos trechos em corte, deverão ser previstas canaletas em todos os pés de corte. Quando em solo, essas canaletas serão construídas em concreto, devendo aduzir as águas até a saída das respectivas bermas no terreno natural, onde estas serão desviadas para a drenagem natural.

Quando construídas em rocha, as canaletas poderão ser revestidas em concreto ou não, conforme resultar a solução mais econômica. Nas bermas de manutenção, laterais ao canal da transposição, a seção de escoamento poderá ocupar todo o leito da via de manutenção, limitando a altura de água em 0,25m para garantir a passagem de veículos de manutenção.

Todas as drenagens deverão ser projetadas e dimensionadas até atingirem o talvegue natural, de modo a evitar erosões no terreno natural e nas obras.

A velocidade máxima de escoamento foi limitada aos seguintes valores:

$V_{max} = 0,70\text{m/s}$, para canais escavados em terra, sem revestimento;

$V_{Max} = 4,50\text{ m/s}$ para canais escavados em rocha (3ª categoria);

Os coeficientes de rugosidade de *manning* adotado foram:

$n = 0,025\text{ s/m}^{1/3}$, canais escavados em terra, sem revestimento;

$n = 0,030\text{ s/m}^{1/3}$, canais revestidos de pedra argamassada;

$n = 0,035\text{ s/m}^{1/3}$, canais escavados em rocha sã (3ª categoria).

4.2.14.2 Drenagem da Plataforma - Aterros

Nas seções em aterro, a drenagem deverá remover as águas pluviais precipitadas sobre a plataforma.

Nos trechos em que o aterro for constituído de maciço em solo ou enrocamento, a drenagem será executada através de inclinação transversal da plataforma, direcionando a água precipitada diretamente para os taludes externos. Para seções em solo, os taludes externos serão protegidos obrigatoriamente por uma camada de enrocamento segregado.

No pé dos taludes de aterro deverão ser projetadas canaletas de drenagem captando todas as águas oriundas das obras e dos terrenos adjacentes e conduzindo-as até os talvegues naturais.

A velocidade máxima de escoamento foi limitada aos seguintes valores:

$V_{max} = 0,70\text{m/s}$, para canais escavados em terra, sem revestimento;

$V_{Max} = 4,50\text{ m/s}$ para canais escavados em rocha (3ª categoria);

Os coeficientes de rugosidade de *Manning* adotado foram:

$n = 0,025\text{ s/m}^{1/3}$, canais escavados em terra, sem revestimento;

$n = 0,030\text{ s/m}^{1/3}$, canais revestidos de pedra argamassada;

$n = 0,035\text{ s/m}^{1/3}$, canais escavados em rocha sã (3ª categoria).



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.2.14.3 Drenagem de Encostas e do Pé do Aterro

No topo de cortes e pé de aterros, deverá ser projetado um sistema de drenagem para interceptação das águas oriundas das encostas e sua condução até as drenagens naturais no fundo dos vales.

Esta mesma drenagem será a responsável pela coleta das águas pluviais oriundas da plataforma e das bermas. Sempre que possível este sistema de drenagem será integrado com a drenagem dos pés de aterro.

Quando for necessário transferir águas de drenagem de um lado a outro do canal, deverá ser projetada estrutura para passagem da águas. Em princípio, os tipos de obras a serem utilizados são:

- bueiros tubulares;
- bueiros celulares;
- *overchutes*

Quando as condições topográficas o permitirem, deverão ser utilizados bueiros, os quais poderão ser simples, duplos ou triplos. Sempre que possível (vazões de menor magnitude) serão empregados tubulares, cujas dimensões padronizadas são:

- 0,80 m;
- 1,00 m;
- 1,20 m;
- 1,50 m

Os bueiros celulares deverão ter dimensões padronizadas, devendo ser observados na padronização os estudos realizados de obras típicas.

Todos os bueiros deverão ser dotados de obras de emboque e restituição, que protejam os taludes de aterro e os canais naturais contra erosão. Nos locais onde a restituição não se der nos talvegues naturais, as obras deverão ser estendidas até estes últimos, para garantir os terrenos circundantes contra erosão.

Os bueiros serão tubulares de concreto pré-moldado, ponta e bolsa, e poderão ser singelo, duplo ou triplo.

Os bueiros celulares de concreto, poderão ser também singelo, duplo ou triplo.

A velocidade máxima nos bueiros deverá ser de 3,00m/s e a rugosidade de *Manning*, $n=0,015$ s/m^{1/3}.

O nível de água a montante dos bueiros deverá ser limitado em 20% acima do diâmetro nominal.

No dimensionamento dos bueiros deverão ser verificadas suas condições de funcionamento, ou seja, escoamento livre ou afogado, tubo curto ou longo, controle de vazão na entrada ou por perda no tubo, e calculada sua capacidade de vazão.

Quando as condições topográficas assim o exigirem, a passagem de águas das drenagens naturais deverá ser feita sobre os canais da transposição, com a construção de *overchutes*.

4.2.14.4 Drenagem dos Rios

Os rios, ou drenagem de maior porte, interceptados pelas obras de adução da transposição deverão ser cruzados com a construção de sifões ou aquedutos. O projeto deste tipo de obra deverá ser feito de acordo com os critérios estabelecidos neste documento.



5 . GEOLOGIA E GEOTECNIA

5.1 Introdução

Este item tem por objetivo apresentar os principais critérios de dimensionamento das obras dos canais em corte e aterro, das obras subterrâneas, de fundações das estruturas principais, e de tratamento de taludes dos diversos dispositivos previstos para o Projeto Básico.

5.2 Características dos Materiais de Escavação

Os materiais de escavação das estruturas principais serão classificados em três grupos distintos:

- Material de 1ª Categoria – materiais que possam ser escavados por equipamentos convencionais, como escavadeiras, trator de lâmina e *motoscrapers*.
- Material de 2ª Categoria – materiais constituídos por rocha decomposta, que possam ser escavados com o auxílio de tratores de esteiras munidos de escarificadores, e que não necessitem de emprego sistemático de desmontes com explosivos (a fogo).
- Material de 3ª Categoria – materiais que necessitem o emprego sistemático de "desmonte a fogo", compreendendo rocha alterada dura a rocha sã. Incluem blocos de rocha com diâmetro superior a 1 m.
- Material de 1ª Categoria (solos)

Esses materiais compreendem os solos aluviais e coluviais e os solos de alteração de rocha.

As espessuras desses materiais serão definidas através de investigações de campo, e de mapeamentos superficiais, sondagens mecânicas e poços de inspeção.

Os parâmetros geotécnicos desses materiais serão definidos a partir de ensaios específicos executados durante os estudos. Na falta dos ensaios, em algumas situações, os parâmetros foram inferidos a partir de dados indiretos, respeitando-se entretanto os seguintes valores mínimos:

- Aluviões moles

Peso específico natural (seco) 14kN/m³

Coesão (in situ) 10kN/m²

Ângulo de atrito (in situ) 10°

- Solos essencialmente arenosos

Peso específico natural (seco) 18kN/m³

Coesão (in situ) 0kN/m²

Ângulo de atrito (in situ) 28°

- Solos essencialmente argilosos

Peso específico natural (seco) 15kN/m³

Coesão (in situ) 10kN/m²

Ângulo de atrito (in situ) 20°

Os valores mínimos foram estabelecidos a partir do reconhecimento geológico local, utilizando-se a experiência do grupo de geotecnia e geologia do projeto, considerando os valores mais desfavoráveis, especificamente para as condições geológicas e geotécnicas das áreas mapeadas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Material de 2ª Categoria (rocha alterada mole)

Esses materiais compreendem a categoria de rocha alterada mole e são usualmente escavados com escarificadores ou ponta de lâmina de tratores de esteiras.

São, em geral, constituídos por solos que apresentam uma granulometria bem distribuída, variando desde parcelas de material que passa na peneira 200, até blocos de rocha sã com dimensões de 100 cm.

Uma vez que a determinação das espessuras efetivas desses materiais é bastante dificultosa através de sondagens à percussão, poços de inspeção e sondagens rotativas, a quantificação desses horizontes será feita com o auxílio de correlações dessas investigações com perfilagens sísmicas.

Quando não se dispuser desses dados, serão adotados os valores indicados a seguir:

- Granitos / Gnaisses

espessura 2,0 m

- Xistos

espessura 3,0 m

- Arenitos

espessura 5,0 m

Os valores mínimos foram estabelecidos a partir do reconhecimento geológico local, utilizando-se a experiência do grupo de geotecnia e geologia do projeto, considerando os valores mais desfavoráveis, especificamente para as condições geológicas e geotécnicas das áreas mapeadas.

Os parâmetros geotécnicos desses horizontes serão estimados em função das principais feições geológicas obtidas de mapeamentos de superfície, dos dados de outros projetos desenvolvidos na região, e de trabalhos apresentados na literatura técnica. Serão adotados como valores mínimos os seguintes parâmetros:

- Arenitos

peso específico natural (seco) 18kN/m³

coesão 20kN/m²

ângulo de atrito 30°

- Xistos

peso específico natural (seco) 20kN/m³

coesão 20kN/m²

ângulo de atrito 28°

- Granitos

peso específico natural (seco) 20kN/m³

coesão 20kN/m²

ângulo de atrito 32°

Os valores mínimos foram estabelecidos a partir do reconhecimento geológico local, utilizando-se a experiência do grupo de geotecnia e geologia do projeto, considerando os valores mais



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

desfavoráveis, especificamente para as condições geológicas e geotécnicas das áreas mapeadas.

- Material de 3ª Categoria (Rocha Alterada Dura a Sã)

Com relação aos maciços rochosos, as propriedades geomecânicas desses materiais serão definidas a partir de investigações de campo compreendendo sondagens rotativas, perfilagens sísmicas e mapeamentos detalhados de superfície. Assim, serão definidas, coerência, grau de fraturamento, alteração, condutividade hidráulica e direções preferenciais de fraturamento.

Esses dados fornecerão os elementos necessários para a definição de fundações e dos tipos de tratamento de fundação e dos taludes necessários às diversas obras previstas para o PTSF.

Quando não houver dados disponíveis que permitam uma avaliação adequada das propriedades geomecânicas dos maciços geológicos, serão adotados parâmetros mínimos indicados a seguir:

- Arenitos

| | |
|--------------------------------|---|
| peso específico natural (seco) | 26,0kN/m ³ |
| coesão | variável em função do grau de alteração |
| ângulo de atrito | 35° |

- Xistos

| | |
|--------------------------------|---|
| peso específico natural (seco) | 26,5kN/m ³ |
| coesão | variável em função do grau de alteração |
| ângulo de atrito | 30° |

- Granitos

| | |
|--------------------------------|---|
| peso específico natural (seco) | 27,0kN/m ³ |
| coesão | variável em função do grau de alteração |
| ângulo de atrito | 40° |

Os valores mínimos foram estabelecidos a partir do reconhecimento geológico local, utilizando-se a experiência do grupo de geotecnia e geologia do projeto, considerando os valores mais desfavoráveis, especificamente para as condições geológicas e geotécnicas das áreas mapeadas.

5.3 Características de Materiais Compactados

Para a execução de aterros deverá ser empregado, tanto solo (material de 1ª categoria), como rocha alterada mole (2ª categoria) e rocha (3ª categoria).

Procurar-se-á empregar na construção dos aterros os materiais obtidos nas escavações obrigatórias de canais, túneis e estações de bombeamento. Para efeito de balanceamento de volumes, serão empregados os fatores de empolamento apresentados no quadro seguinte:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

| FATORES DE EMPOLAMENTO | | |
|--|------------------------|-------|
| ATIVIDADE | | FATOR |
| ORIGEM | DESTINO | |
| Escavação comum (1ª categoria) | Aterro compactado | 0,8 |
| Escavação de material de 2ª categoria | Aterro compactado | 1 |
| Saída do Sistema de Beneficiamento | Aterro compactado | 0,9 |
| Escavação em rocha (obrigatória ou pedreira) | Enrocamento compactado | 1,3 |
| Escavação comum | Bota-fora | 1,25 |
| Escavação de material de 2ª categoria | Bota-fora | 1,3 |
| Escavação de rocha obrigatória | Bota-fora | 1,5 |
| Escavação em jazida de areia | Transição Compactada | 0,9 |
| Escavação em jazida de cascalho | Transição Compactada | 1 |
| Pilha de material Britado/Beneficiado | Transição Compactada | 0,8 |
| Escavação de areia em jazida | Pilha de Estoque | 1 |

Nota: As perdas de todo material escavado estão consideradas nesses fatores.

Com relação aos parâmetros geotécnicos dos diversos materiais compactados, serão adotados valores obtidos em ensaios específicos, ou a partir de dados de obras similares, respeitando os valores mínimos apresentados a seguir:

- Solo compactado

peso específico 18kN/m³

coesão 10kN/m²

ângulo de atrito 28°

- Areia compactada

Peso específico 20kN/m³

Coesão 0kN/m²

Ângulo de atrito 30°

- Transição

Peso específico 20kN/m³

Coesão 0kN/m²

Ângulo de atrito 35°

- Enrocamento compactado

Peso específico 22kN/m³

Coesão 0kN/m²

Ângulo de atrito 40°

- Rocha decomposta compactada

Peso específico 20kN/m³

Coesão 20kN/m²

Ângulo de atrito 35°

Os valores mínimos foram estabelecidos a partir do reconhecimento geológico local, utilizando-se a experiência do grupo de geotecnia e geologia do projeto, considerando os valores mais desfavoráveis, especificamente para as condições geológicas e geotécnicas das áreas mapeadas.



5.4 Tratamento de Fundação e Taludes

Os tratamentos de fundação serão definidos, caso a caso, para cada estrutura que será agregada ao PTSF. Em princípio, serão considerados os seguintes critérios:

- Aterros Compactados

Deverão ser removidos todos os solos vegetais, aluviões e coluviões moles ou fofos.

Solos colapsíveis poderão ser eventualmente tratados ou removidos, quando as suas espessuras puderem gerar recalques incompatíveis com a altura dos aterros previstos.

Quando forem encontrados solos potencialmente expansivos, só serão mantidos nas fundações das obras quando se tiver certeza que as cargas a que eles estarão sujeitos sejam superiores às pressões de expansão. Caso contrário, deverão ser feitas escavações seletivas e providenciada a troca de solos. A posição do lençol freático em relação cota de fundação será considerada na solução do projeto a ser adotada.

Quando for constatada a presença de solos dispersivos, estes deverão ser confinados por camadas de filtro apropriadas, a fim de se evitarem erosões indesejáveis.

- Taludes de escavação em solo

A inclinação dos taludes escavados em solo será definida através de análises de estabilidade, procurando considerar as particularidades geológico-geotécnicas ao longo dos traçados.

Os taludes finais de escavação em solo acima da seção molhada dos canais deverão receber o revestimento em material granular como cascalho arenoso, enrocamento fino, etc. Para tal deverão ter inclinação 1V:1,5H.

Em regiões onde houver surgência de lençol freático, deverão ser previstos dispositivos apropriados, como drenos horizontais profundos, a fim de se evitarem possíveis erosões regressivas e instabilizações dos taludes.

Para proteção dos taludes contra erosão pluvial estes serão dotados de sistemas de drenagem superficial dimensionados de acordo com os critérios hidráulicos.

Serão implantadas bermas de 2m de largura a cada 10m de altura, aproximadamente, de escavação, à exceção das bermas de manutenção do canal, que deverão ser executadas com largura de 3,50m.

- Taludes de escavação em material de 2ª categoria (rocha alterada mole)

As inclinações dos taludes em material de 2ª categoria acima das seções hidráulicas serão definidas através de análises de estabilidade específicas (superfícies circulares e/ou planares), procurando levar em consideração as particularidades dos maciços atravessados pelos canais.

Deverão ser empregados taludes com inclinação de 1V:0,5H, a menos que dados específicos obtidos nas investigações geológico-geotécnicas indiquem superfícies preferenciais de instabilizações, que condicionem a inclinação final.

Para a drenagem superficial, deverão ser considerados os mesmos procedimentos já previstos para taludes em solo.

Poderão ainda ser previstas, em lugares específicos, proteções localizadas, como a implantação de cortinas atirantadas, telas de contenção de blocos, drenagens profundas (DHP), e outros dispositivos, para solucionar particularidades pontuais.

A proteção dos taludes de escavação do material de 2ª categoria será feita segundo o critério abaixo, estimando-se uma porcentagem de cada tratamento em função das condições geológico-geotécnicas para quantificação dos serviços:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- RAM (rocha alterada mole), sem descontinuidades que favoreçam a instabilidade: sem proteção;
 - blocos de rocha com espaços entre os blocos preenchidos com solo: proteção com tela de polipropileno para evitar queda de blocos;
 - solo saprolítico com blocos de rocha esparsos: proteção com concreto projetado com fibra sintética de nylon ou polipropileno, com sistema de alívio de subpressão.
- Taludes de escavação de rocha

Os taludes de rocha são alterada dura acima da seção hidráulica serão fixados, em princípio, com inclinação de 1V:0,5H, para todos os domínios geológicos atravessados pelos canais.

Eventualmente, em pontos específicos, quando as informações geológico-geotécnicas indicarem condições desfavoráveis, esta inclinação poderá ser ajustada através da análise de estabilidade.

Os tratamentos de taludes rochosos serão executados segundo os tipos definidos no desenho de nº EM.B/II.DS.GL.0030, adotando-se o tratamento de 5% da área total de taludes de maciços rochosos de classes I e II; de 100% da área total dos taludes de maciços rochosos de classes IV e V e de 100% da área total dos taludes em argilite expansivo.

- Fundações de Estruturas Principais

Para as estruturas de barramentos, controle e derivação de vazões, serão considerados tratamentos específicos para cada caso em questão.

- Estações de bombeamento

As estruturas de concreto de barramentos e de controle e derivação de água serão implantadas sobre o maciço rochoso, procurando remover materiais e blocos soltos existentes na fundação. Será considerada a limpeza com jatos de água e ar comprimido após as escavações obrigatórias.

Sempre que necessária, será prevista drenagem de fundação para controlar subpressões indesejáveis.

- Barramentos e estruturas de controle e derivação

Para barragens de enrocamento e/ou terra, deverá ser feita, em princípio, a escavação de camadas de materiais fofos e/ou permeáveis. Caso as camadas de solo e ou rocha alterada apresentem espessuras elevadas e em qualidade que possam gerar perdas significativas de água, deverão ser previstas trincheiras de vedação com largura mínima na base de 4,0m, ou tapetes a montante do barramento com dimensões apropriadas.

Outros dispositivos, como drenos de pé, poços de alívio, injeções de consolidação, etc, somente serão empregados após avaliação das investigações geológico-geotécnicas.

- Outros dispositivos

Para fundação de aquedutos, sifões, blocos de ancoragem, estruturas de dissipação e outros dispositivos, serão previstos tratamentos específicos caso a caso, em função das investigações geológico-geotécnicas e/ou de mapeamentos de campo.

5.5 Maciços de Aterros Compactados

Os maciços de aterros em solo e enrocamento compactado onde serão implantados os canais deverão ser construídos preferencialmente com materiais provenientes das escavações obrigatórias.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Procurar-se-á, sempre que possível, a implantação de seções homogêneas de solo ou mistas em enrocamento compactado. Nos casos em que não houver predominância de um material sobre o outro (inferior a 70% de solo e 30% de enrocamento, ou vice-versa), deverá ser previsto o zoneamento das seções de modo a que os solos constituam o núcleo do maciço, envolvendo a seção de escoamento do canal, enquanto os enrocamentos formarão os espaldares externos dos maciços compactados.

Para seções homogêneas em solo, os taludes externos dos aterros deverão ser, preferencialmente, protegidos com enrocamento segregado. Para seções em enrocamento, o processo construtivo deverá prever que os blocos de rocha de maiores dimensões sejam posicionados junto aos taludes externos.

Em seções zoneadas, deverá ser prevista pelo menos uma camada de transição entre o solo e o enrocamento, a qual poderá ser constituída por saprolitos obtidos nas escavações ou cascalhos areno-argilosos.

Quando ocorrerem solos dispersivos, as camadas de transição entre o maciço de solo e o enrocamento deverão ser convenientemente dimensionadas, de modo a se evitarem possíveis carreamentos de solo por eventuais vazamentos do canal, ou pela ocorrência de chuvas na região. Deverá ser evitado o emprego de solos expansivos próximo à camada de revestimento dos canais de adução, a fim de se evitarem possíveis danos ao concreto, caso ocorram infiltrações indesejáveis de água no maciço compactado.

Os taludes externos dos aterros deverão apresentar inclinação 1V:1,5H. Nos casos específicos em que a altura for muito elevada, estes taludes deverão ser abrandados para inclinações de até 1V:1,8H.

Para aterros em solo compactado com alturas superiores a 20m, deverão ser previstas bermas de 3,0m de largura.

A crista dos aterros junto ao topo dos taludes da seção de escoamento deverá apresentar largura mínima de 3,50m e declividade transversal de 2%, com caimento para a parte externa da seção.

5.6 Seções de Escoamento dos Canais

5.6.1 Seções em Escavação em Solo

Para locais onde foram implantadas seções hidráulicas, através da escavação em solo, os taludes deverão apresentar inclinação de 1V:1,5H.

A superfície final do canal deverá apresentar uma geomembrana para impermeabilização, e uma camada de concreto de proteção.

A geomembrana poderá ser dos seguintes tipos:

- geomembrana de PVC acoplada a geotextil;
- geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade).

O revestimento dos canais será constituído por concreto com fibras sintéticas (nylon ou polipropileno) devendo ter uma resistência característica f_{ck} de no mínimo 15 MPa aos 28 dias.

A espessura do revestimento em concreto será de 0,05m nos taludes e 0,12m na base. O revestimento será dotado de juntas longitudinais (construção e retração) e juntas transversais (retração e dilatação).

Nos taludes do canal sob a geomembrana serão implantados drenos contínuos de areia ou pedrisco com a finalidade de alívio de subpressões no revestimento.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

No fundo do canal será implantado um dreno coletor longitudinal constituído por tubo perfurado com diâmetro mínimo de 0,30m que será descarregado para fora do canal, após o trecho escavado.

5.6.2 Seções Escavadas em Material de 2ª categoria

Os canais implantados em material de 2ª categoria (rocha alterada mole) deverão apresentar inclinação de 1V:1,5H.

O revestimento da seção deverá ser feito com uma geomembrana e uma camada de concreto, de forma similar à descrita no item 5.6.1.

Para a implantação da geomembrana e da camada de concreto, deverá ser feita a regularização da superfície escavada com areia ou pedrisco, que também atuará como drenagem para alívio de subpressão no revestimento. Caso o pedrisco apresente-se instável sobre o talude de rocha, onde a superfície de escavação apresente-se muito lisa, a regularização será feita com concreto poroso e solo-cimento segundo metodologia utilizada para as seções escavadas em rocha.

O sistema de drenagem longitudinal será implantado de maneira análoga à seção de escavação em solo.

5.6.3 Seções Escavadas em Rocha

Os canais implantados em maciço rochoso deverão apresentar, de um modo geral, inclinação de 1V:1,5H.

O revestimento final da seção deverá ser feito com geomembrana, de forma similar à descrita no item 5.6.1.

Para a implantação da geomembrana e da camada de concreto, deverá ser executado o pré-fissuramento ou *smooth blasting* para minimizar o *overbreak* dos taludes, e posterior regularização da superfície escavada com concreto poroso e solo cimento, sendo, na seqüência, implantada a geomembrana e a camada de concreto.

Nos taludes a regularização será feita intercalando-se faixas de 1,00 m de largura de concreto poroso e solo-cimento. No fundo do canal a regularização será feita com areia ou pedrisco

Será dispensado o revestimento com geomembrana no *forebay* a montante das estações de bombeamento, caso o nível do lençol freático encontre-se razoavelmente acima da cota da borda do canal, ou o maciço rochoso seja comprovadamente impermeável, sem risco de perda d'água por infiltração. No trecho rebaixado junto à Casa de Bombas a impermeabilização será feita através de tratamentos localizados de eventuais descontinuidades do maciço rochoso.

5.6.4 Seções sobre Aterro Compactado

Para canais apoiados sobre taludes de solo e/ou saprolitos (rocha alterada mole) compactados, o revestimento deverá ser aplicado sobre camada de areia ou pedrisco de maneira análoga ao item 5.6.1

O revestimento será constituído por geomembrana e camada de concreto, com as características indicadas no item 5.6.1.

Os aterros dos canais utilizando materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, terão na zona central, na região do canal hidráulico e sob a mesma, aterros de solo compactados utilizando-se enrocamento nos espaldares.

No fundo do canal será implantado um dreno coletor de maneira análoga ao previsto no item 5.6.1



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

As transições posicionadas entre a zona central de aterro e espaldares de enrocamento não necessitam obedecer, rigorosamente, os critérios de filtros e transições.

5.7 Túneis

Para a implantação de túneis, será considerada a solução através de escavação convencional, sendo *Drilling and Blasting* (DB) para maciços rochosos e NATM para maciços de rocha alterada e/ou solo.

A seção a ser adotada nos estudos consistirá na forma arco-retângulo com base igual à altura, apresentando raio da abóbada igual à metade da altura total do túnel.

Para túneis em solo que apresentarem condições desfavoráveis de escavação, devido à presença de lençol freático, deverão ser adotados sistemas de rebaixamento englobando ponteiros drenantes, poços de bombeamento e, principalmente, drenos horizontais profundos.

Para os emboques deverão ser analisadas as condições geológico-geotécnicas de cada local, para definir os principais tratamentos a serem previstos.

Assim, deverão ser considerados aspectos como presença de corpos de tálus, foliações desfavoráveis do maciço e grau de fraturamento do maciço rochoso. Serão considerados, entre outros dispositivos, chumbadores, tirantes isolados e/ou cortinas atirantadas, além da execução de túneis falsos e sistemas de rebaixamento do lençol freático adequados aos locais.

Para a classificação de maciço rochoso em obras subterrâneas deverá ser utilizado o "Sistema Q" de Nick Barton, que servirá de base para os serviços de estabilização.

Os túneis de acesso deverão ser admitidos, sempre que possível, com rampa máxima de 10% (dez por cento).

As seções hidráulicas dos túneis deverão considerar piso regularizado com concreto magro.

5.8 Barragens

A crista terá 6,0m de largura caso não seja utilizada como estrada, caso contrário terá o gabarito da estrada em questão. Terá declividade transversal para montante de 2%.

A proteção de enrocamento a montante terá o diâmetro D50, determinado pela onda de projeto, calculado pelo método de *Saville*, por exemplo, com espessura na normal ao talude de 2 X D50.

A proteção de enrocamento será estendida até 2,0m abaixo da cota da soleira da tomada d'água para uso difuso.

O desvio do rio para as barragens ficará a cargo do Construtor, sendo colocada uma "Nota" nos desenhos e indicado nas Especificações Técnicas.

Em todas as barragens, exceto as de derivação, haverá tomada d'água para usos difusos.

Os taludes das barragens homogêneas serão protegidos com material granular (enrocamento fino ou cascalho arenoso) com bermas a cada 20,0m de altura.

As barragens de terra-enrocamento não terão bermas.

O filtro vertical terá largura mínima de 0,50m a ser verificada pela estimativa de vazão de infiltração.

O filtro horizontal terá saída afogada e gradiente máximo de 0,10.

O fator de segurança mínimo para dimensionamento da drenagem interna será de 10.

Os fatores de segurança mínimos das análises de estabilidade serão:

- 1,5 para regime permanente;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- 1,3 para o final da construção;
- 1,1 para o rebaixamento rápido até o NA min excepcional.

Para as barragens mistas a largura mínima do núcleo impermeável será de $0,50H$ na base e 3,0m na crista.

A largura das transições de jusante será de 0,8m e, para as transições de montante, conforme dimensionamento.

Será instalada a seguinte instrumentação nas barragens e aterros de encontro de aquedutos:

- piezômetros e medidores de nível d'água;
- marcos de recalque;
- medidores de recalque;
- medidores de vazão.

5.9 Áreas de Empréstimo

Para evitar a necessidade de recomposição futura, as áreas de empréstimo serão localizadas sempre que possível no interior do futuro reservatório, atendendo a uma distância mínima de 100 m do pé de montante da barragem.

6 . ENGENHARIA ELÉTRICA

6.1 Introdução

Este item tem por objetivo apresentar os principais critérios de dimensionamento do projeto elétrico, previstos para o Projeto Básico.

6.2 Equipamentos e Sistemas Elétricos Previstos

6.2.1 Nas Estruturas de Controle

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Sistema de comando, controle e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Transformador de distribuição 13.800-380/220 V;
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento.

6.2.2 Nas Tomadas D'água de Uso Difuso

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Sistema de comando, controle e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Transformador de distribuição 13.800-380/220 V
- Sistema de iluminação;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento.

6.2.3 Nas Estruturas de Derivação

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Sistema de comando, controle e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Transformador de distribuição 13.800-380/220 V;
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento.

6.3 Normas Técnicas e Padrões

Os sistemas elétricos, equipamentos e aparelhagens serão projetados de acordo com as normas em vigor de uso consagrado mundialmente, em sua última edição.

6.3.1 Norma Oficial

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

6.3.2 Normas Opcionais

Serão utilizadas quando a Norma Oficial for omissa ou nos casos específicos. Em caso de divergência sempre prevalecerá a Norma Oficial.

ANSI — American National Standards Institute

AISC — American Institute of Steel Construction

ASME — American Society of Mechanical Engineers

ASTM — American Society of Testing Materials

AWS — American Welding Society

IES — Illuminating Engineering Society

IEEE — Institute of Electrical and Electronic Engineers

IEC — International Electrotechnical Commission

IPCEA — Insulated Power Cable Engineers Society

NBFU — National Board of Fire Underwriters

NEC — National Electric Code

NEMA — National Electric Manufacturers Association

TELEBRAS — Telecomunicações Brasileira S/A

6.3.3 Padrões

Sempre que possível serão utilizados padrões estabelecidos e que serão adotados para todas as Estações de Bombeamento, Subestações, Estruturas de Controle e Tomada D'Água de Uso Difuso.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.4 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Elétricos das Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação

6.4.1 Localização e Número

A localização e o número de estruturas de controle, tomadas d'água de uso difuso e estruturas de derivação estão definidas no Relatório 13 Sistemas Elétricos.

6.4.2 Sistema de Aterramento

6.4.2.1 Geral

O sistema de aterramento deverá ser dimensionado conforme norma IEEE 80/1 976.

Para cálculo da resistência de aterramento da instalação, bem como de potenciais perigosos, nas Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação, serão realizadas medições para obtenção da resistividade do solo na região das instalações.

6.4.2.2 Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação

As Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação devem ser providas de um sistema de aterramento constituído por um triângulo de aterramento, formado por 03 (três) hastes de terra de 3 m de comprimento e bitola $\frac{3}{4}$ ", interligadas por cabos de cobre nu bitola 70 mm², enterrados.

As estruturas e partes metálicas não energizadas dos equipamentos deverão ser conectadas ao triângulo de terra por meio de cabos de cobre nu, de bitola mínima 70 mm².

6.4.3 Equipamentos Principais

As características básicas dos equipamentos principais serão definidas na fase de projeto básico considerando as características específicas da instalação, a coordenação dos aspectos técnicos dos diversos equipamentos, as normas técnicas adotadas, os padrões estabelecidos e as práticas industriais, visando um conjunto de equipamentos integrado e funcional.

6.4.4 Comando, Controle, Proteção e Supervisão

6.4.4.1 Generalidades Operativas - Comando, Controle e Supervisão

O comando, o controle e a supervisão das Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação, para o Trecho II, serão executados normalmente, a partir do Centro de Controle e Operação (CCO) mediante comunicação em protocolo aberto com o Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Estação de Bombeamento EB-1/3 que poderá executar as mesmas funções quando não estiver interligada ao Centro de Controle e Operação (CCO), ou ainda automaticamente sem supervisão pelas UACs ou manualmente atuando diretamente nos equipamentos.

6.4.4.2 Estrutura Hierárquica do Sistema de Comando Controle e Supervisão

- Nível 1- unidades de aquisição de dados e controle (UACs) que deverão ser constituídas por módulos funcionais, tais como processadores, interfaces com o processo e comunicação;
- Nível 2 - corresponde às funções centralizadas de comando, supervisão e controle na estação de bombeamento EB-1/3, considerada no Trecho I. O conjunto de equipamentos do nível 2 está totalmente interconectado através de rede digital de comunicação redundante de alta velocidade;
- Nível 3 - corresponde às funções centralizadas de comando, supervisão e controle no Centro de Controle e Operação CCO consideradas no Trecho I. O conjunto de equipamentos do nível 3 está totalmente interconectado através de rede digital de comunicação redundante de alta velocidade.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

6.4.4.3 Comunicações entre o Nível 2 do SDSC e Sistemas Computacionais Externos

Toda a comunicação entre o CCO, a Estação de Bombeamento EB-I/3, as Estruturas de Controle, as Tomadas D'água de Uso Difuso e as Estruturas de Derivação do Trecho II, terá como meio físico um cabo de fibras ópticas, subterrâneo, que será instalado ao longo do canal.

6.4.4.4 Controle Hidráulico

Todo o sistema de controle hidráulico das Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e das Estruturas de Derivação será feito por UACs e interligados ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) através de um cabo de fibras ópticas, subterrâneo, que será instalado ao longo do canal.

Todos os sistemas de controle hidrológico de Estações distantes, onde os cabos de fibra óptica não atendem serão feitos com aquisições de dados através de UACs e transmitidos ao CCO via satélite.

6.4.5 Serviços Auxiliares em Corrente Alternada

Os Serviços Auxiliares em corrente alternada serão projetados de forma a garantir a segurança de pessoal e de equipamentos, bem como a integridade estrutural das Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação, considerando uma operação automática e não atendida da instalação.

6.4.5.1 Tensões Nominais

Estarão disponíveis as tensões de:

- 13,8 kV (+/- 5%), 60 Hz, trifásico, neutro aterrado, a ser atendida pela concessionária local;
- 380/220 V (+1- 10%), trifásico mais neutro, obtido através de Transformadores abaixadores.

6.4.5.2 Requisitos Gerais Operativos

Os requisitos operativos são:

- Comando, será normalmente automático, programado para garantir o mínimo de interrupções na alimentação das cargas e com opção para operação manual para testes e condições especiais;
- Supervisão, compreenderá a sinalização de estados, medição e anunciação de defeitos de circuitos de alimentação principal, de emergência, demarradores de auxiliares mecânicos, etc.;
- Proteção, seletiva, através de disjuntores com dispositivos contra sobrecargas e curto-circuito.

6.4.6 Sistema de Telecomunicações

6.4.6.1 Introdução

O sistema de telecomunicações para as Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação será constituído pelas seguintes partes:

- Cabos e materiais ópticos
- Elos ópticos
- Multiplexers (MUX)
- Teleproteção
- Distribuidores ópticos (DO)



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Rede telefônica para voz e dados
- Quadro de Distribuição de CA

6.4.6.2 Critérios de Projeto

Foram adotados os seguintes critérios:

- Cabos ópticos subterrâneos para interligação entre Estação de Bombeamento EB-I/3, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação;
- Materiais ópticos incluindo distribuidores ópticos, caixas de emendas, cabos dielétricos, cordões ópticos e gabinetes dentro do fornecimento das linhas de transmissão;
- Elo óptico, multiplexer, teleproteção e controle com sistema para cada local: Estação de Bombeamento EB-I/3, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso, CCO;

6.4.6.3 Descrição do Sistema

O Sistema de Telecomunicações da Estação de Bombeamento EB-I/3, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso, Estruturas de Derivação e CCO deve atender as necessidades de comunicação de voz, dados, controle e teleproteção.

O principal meio de comunicação será através de cabos ópticos, subterrâneos entre a Estação de Bombeamento EB-I/3, as Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação.

O equipamento para comunicação de voz, dados, controle e teleproteção será um multiplexer digital, com elo óptico agregado ou não ao equipamento.

6.4.7 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação proporcionará o iluminamento adequado às diversas áreas das Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação, sendo dimensionado de acordo com a importância do ambiente atendido ou do tipo de serviço que determinado equipamento realiza, levando-se em conta que, em certos ambientes, um nível mínimo de iluminamento deverá ser mantido sob quaisquer condições de operação, bem como o regime de operação não assistida.

Nas áreas internas haverá dois níveis de iluminamento com valores definidos de acordo com a NBR-5413, um para operação normal e outro para serviços de manutenção, além de iluminação suplementar localizada, quando necessário. A iluminação de emergência, nas áreas onde podem ser realizados serviços, será dimensionada para níveis de 40 a 50 lux e para corredores níveis de 30 lux.

Além do previsto acima haverá iluminação de balizamento nas áreas externas e onde possa ocorrer circulação de pessoal; a iluminação será projetada para garantir um iluminamento mínimo de 5 lux. Nas áreas com equipamentos manobráveis, será previsto um iluminamento mínimo de 30 lux além de iluminamento localizado de 150 lux para a sala de painéis elétricos e de 300 lux para a sala de controle, bem como a possibilidade de instalação de projetores portáteis.

A iluminação de emergência das áreas externas deverá proporcionar níveis de iluminamento de 5 lux nas vias de circulação, e será derivada da fonte de emergência.

6.4.8 Sistema de Fiação

O sistema de fiação compreenderá o conjunto de cabos e fios isolados, existentes nas Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação, utilizados na distribuição de energia, comando, controle, proteção, telefonia e iluminação.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Serão considerados na definição dos cabos os seguintes requisitos gerais:

- a vida útil será pelo menos a projetada para a Estrutura;
- resistência térmica;
- resistência mecânica;
- resistência à umidade e aos agentes externos;
- resistência ao fogo e características de não propagação de chama;
- características de dobramento e flexibilidade.

6.4.8.1 Tipos de Cabos

As categorias de cabos são as seguintes:

- Cabos de Controle serão cabos com isolamento termoplástico ou termoestável, classe 600 V multipolares, blindados ou não, com condutores de cobre;
- Cabos de iluminação, serão cabos com isolamento termoplástico de PVC, classe 600 V, podendo ser unipolares ou multipolares, com condutores de cobre têmpera mole, e bitola mínima de 2,5 mm²;
- Cabos de energia em baixa tensão (0,6 a 1 kV), serão cabos de três (03) condutores com seção mínima de 4 mm² e máxima de 50 mm² e cabos de 1 condutor para seções superiores a 50 mm²;
- Cabos de energia em média tensão (maior que 1 kV), serão cabos de um (01) condutor com seção mínima de 25 mm²;
- Cabos tipo telefônico, multipares, blindados para Sistema de Controle Digital.

Serão utilizados cabos de quatro (04) condutores para ligação de transformadores de instrumentos e cabos de até 50 pares no Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).

Os cabos serão dimensionados de acordo com suas aplicações, respeitando-se as quedas máximas de tensões ditadas por normas ou suportadas pelas cargas, e pelas elevações máximas de temperatura em regime e em condições de curto-circuito. Porém, em qualquer condição, as quedas de tensão entre os terminais de saída dos transformadores de serviços auxiliares e as cargas serão no máximo de 6% sobre o valor nominal, para circuitos de iluminação, e de 8%, para outras utilizações, respeitando-se uma queda parcial de 2% nos circuitos terminais de iluminação. Os circuitos terminais para motores serão dimensionados para no mínimo 125% do valor nominal da corrente de carga.

6.4.9 Sistema de Vias de Cabos

O sistema de vias de cabos, dependendo do tipo de instalação, poderá ser em suportes instalados em eletrodutos (estruturas de controle, tomadas d'água de uso difuso e estruturas de derivação).

Onde necessário embutir será através de eletrodutos de aço galvanizado a fogo e bitolas conforme a necessidade.

7 . CRITÉRIOS DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

7.1 Introdução

O objetivo é apresentar os critérios adotados para a elaboração do projeto básico de definição dos equipamentos e sistemas mecânicos a serem implantados no Trecho II, do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco.



7.2 Traçado Consolidado e Estruturas Hidráulicas Previstas

O traçado hidráulico consolidado, a ser utilizado no Projeto Básico da Transposição do Rio São Francisco, é a revisão do traçado estabelecido na segunda fase dos estudos de viabilidade, elaborada no início dos trabalhos do Projeto Básico. Nesse traçado, estão previstas estruturas hidráulicas equipadas com os seguintes equipamentos e sistemas mecânicos:

- Usinas Hidroelétricas;
- Tomadas D'água de Uso Difuso;
- Tomadas D'água de Derivação;
- Estruturas de Controle.

7.3 Equipamentos e Sistemas Mecânicos Previstos

7.3.1 Usinas Hidroelétricas

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Grupos turbo-geradores;
- Ponte ou pórtico rolante para manobra dos equipamentos no interior da Casa de Força;
- Grades e comporta de emergência na Tomada D'água da Usina;
- Pórtico rolante da Tomada D'água;
- Conduitos forçados adutores;
- Válvulas na adução das turbinas;
- Comporta ensecadeira de jusante;
- Monovia com talha elétrica para manobra da comporta ensecadeira de jusante;
- Sistema de descarga de água para jusante, incluindo válvulas de fechamento do tipo borboleta e válvulas de controle do tipo dispersora;
- Sistemas Auxiliares Mecânicos:
 - Sistema de Drenagem da Casa de Força;
 - Sistema de Enchimento e Esvaziamento das Unidades;
 - Sistema de Água de Resfriamento e de Serviço;
 - Sistema de Proteção contra Incêndios;
 - Sistema de Ventilação;
 - Sistema de Ar Condicionado;
 - Sistema de Ar Comprimido de Serviço;
 - Sistema Separador Água/Óleo dos Transformadores;
 - Sistema de Medições Hidráulicas;
 - Sistema de Água Potável;
 - Sistema de Esgoto Sanitário;
 - Sistema de Tratamento de Óleo Lubrificante e Isolante;
 - Acabamentos Metálicos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.3.2 Tomadas D'água de Uso difuso

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Unidades de bombeamento;
- Válvulas e dispositivos anti-golpe de ariete no recalque;
- Grades na Tomada D'água junto ao canal;
- Comporta ensecadeira na adução da Estação de Bombeamento;
- Comporta de sentido duplo de fluxo na adução por gravidade;
- Adutoras.

7.3.3 Tomadas D'água de Derivação

Serão instalados os seguintes equipamentos:

- Grades e comportas ensecadeiras na Tomada D'água;
- Adutoras;
- Sistema de descarga de água para jusante, incluindo válvulas de fechamento do tipo borboleta e válvulas de controle do tipo dispersora.

7.3.4 Estruturas de Controle

Serão instalados os seguintes equipamentos:

- comportas para controle da vazão e nível a montante ou a jusante, do tipo segmento;
- comportas do tipo ensecadeira deslizante, para isolamento das comportas de controle, para inspeção e manutenção;

7.4 Unidades, Normas e Padrões

Os equipamentos e sistemas mecânicos serão projetados de acordo com as normas em vigor, em sua última edição.

Normas Oficiais

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Normas Opcionais

- ISO - International Organization for Standardization
- HI - Hydraulics Institute
- AWWA - American Water Works Association
- ANSI - American National Standards Institute
- DIN - Deutsches Institut für Normung
- ASTM - American Society for Testing and Materials
- ASME - American Society for Mechanical Engineers
- AISC - American Institute of Steel Construction
- NEMA - National Electrical Manufacturers Association
- AWS - American Welding Society
- FEM - Federation Européenne de la Manutention



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- SSPC - Steel Structure Painting Council
- IEO - International Electrotechnical Commission
- AISI - American Iron and Steel Institute
- ASRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
- NFPA - National Fire Protection Association

7.5 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Mecânicos nas Usinas Hidrelétricas

7.5.1 Turbinas Hidráulicas

Conforme definido na segunda fase dos estudos de viabilidade, foi considerada viável a instalação das Usinas hidrelétricas abaixo:

| Usina | Potência Total | Nº de Unidades | NA montante | NA jusante | Vazão Unitária (aproximada) (m ³ /seg) |
|--------|----------------|----------------|---|---|---|
| JATI | 40 MW | 2 (2 X 20 MW) | máx. 482,99 normal 481,74 mín. 478,50 | máx. 429,60 normal 425,15 mín. 422,00 | 40 |
| ATALHO | 12 MW | 2 (2 X 6,0 MW) | máx. 429,60 normal 425,00 mín. 415,00 | máx. 404,20 normal 403,00 mín. 400,00 | 31,50 |

Considerando as características acima temos:

Na UHE Jati serão instaladas duas unidades turbo-geradores, sendo a turbina do tipo Francis de eixo vertical.

Na UHE Atalho serão instaladas duas turbinas do tipo Hélice de eixo vertical (eventualmente, Kaplan) ou do tipo S (eixo horizontal).

7.5.2 Equipamentos Hidromecânicos

Na Tomada D'água da Usina Hidrelétrica serão previstas grades, do tipo painéis removíveis, e comportas do tipo vagão localizadas a jusante das grades para interromper o fluxo d'água em uma situação de emergência e, também, permitir o isolamento do túnel a jusante. A jusante da Casa de Força prevê-se a instalação de uma comporta encaixada para fechamento do Tubo de Sucção.

a) Grades

Os detritos de grades deverão evitar a entrada de objetos submersos, de dimensões maiores que 100 mm.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Os detritos junto às grades deverão ser removidos por processo manual.

A grade será projetada de acordo com os critérios da norma NBR-11213, da ABNT.

A carga a ser considerada será uma carga hidráulica uniforme de 30 kPa, correspondente a uma obstrução parcial da grade.

A relação entre frequências natural da barra e a de turbilhonamento deverá ser superior a 1,5.

Será considerada uma velocidade máxima de 1,0 m/s, na aproximação das grades.

b) Comportas Vagão

A comporta de emergência é do tipo vagão, composta por dois painéis metálicos, com paramento e plano de vedação voltado para montante.

O tabuleiro de cada painel da comporta vagão é de construção soldada e possui uma chapa estanque a montante, devidamente nervurada, apoiada em uma armação de aço estrutural formada por vigas horizontais, estendidas entre cabeceiras. A comporta tem dois painéis, unidos entre si por pinos de aço inoxidável.

Cada painel possui quatro rodas principais, sendo duas em cada cabeceira. Possui ainda, em cada cabeceira, duas rodas de contra-guia, que limitam o recuo da comporta mediante atuação na peça fixa de contra-guia de montante.

No projeto das comportas da Tomada d'água deverão ser consideradas as cargas hidrodinâmicas, decorrentes da operação corta-fluxo, e o carregamento hidrostático atuante sobre o painel da comporta.

c) Comportas ensecadeiras

A construção da comporta ensecadeira será metálica. A comporta ensecadeira será equipada com vedação e apoio do lado contrário à retenção. As comportas do Tubo de Sucção serão do tipo deslizante, para operação em águas equilibradas.

A carga a ser considerada no projeto das comportas ensecadeiras é o carregamento hidrostático atuante sobre o painel da comporta.

7.5.3 Equipamentos de Levantamento e Transporte

Deverão ser instalados os seguintes equipamentos de levantamento e transporte:

- Na Tomada D'água, está prevista a instalação de um pórtico rolante com talha elétrica para o atendimento da seguinte operação:
 - manobrar os painéis das grades nos serviços de manutenção e a comporta vagão, inclusive, nas operações de abertura e fechamento da comporta;

No interior da Casa de Força, está prevista a instalação de uma ponte ou um pórtico rolante com carro para o atendimento das seguintes operações:

- auxiliar nos trabalhos de montagem, desmontagem e manutenção das unidades turbo-geradoras;
- auxiliar nos trabalhos de montagem e manutenção dos demais equipamentos auxiliares e quadros elétricos.

Na região do Tubo de Sucção, está prevista a instalação de uma monovia equipada com talha elétrica para o atendimento da seguinte operação:

- manobrar os painéis da comporta ensecadeira.

O pórtico e a ponte rolante terão os movimentos de elevação, direção e translação. A talha elétrica terá os movimentos de elevação e translação.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O projeto estrutural dos equipamentos será elaborado de acordo com os critérios da norma ABNT, NBR-8400 – “Cálculo de Equipamentos para Levantamento e Movimentação de Cargas”, classe de utilização B, estado de carga 1 e grupo 3. O projeto dos mecanismos de translação, direção e elevação deverão estar de acordo com a norma NBR-8400, estado de solicitação 2 e grupo 3.

As operações de comando para os equipamentos serão realizadas através de botoeiras pendentes.

Os caminhos de rolamento serão projetados de acordo com a norma NBR-8475, da ABNT.

As capacidades dos equipamentos serão determinadas em função das cargas a serem transportadas, acrescidas de 25 %.

A flecha máxima das vigas horizontais dos equipamentos de levantamento será inferior à milésima parte do vão livre considerado, para o caso de carregamento normal.

7.5.4 Condutos Forçados Adutores

As unidades de geração das Usinas Hidrelétricas serão alimentadas a partir de condutos forçados, ligando a Tomada D'água ou túnel de adução às turbinas hidráulicas.

Os condutos forçados serão construídos em aço carbono soldado, em partes compatíveis com a montagem e possibilidade de transporte.

O número de condutos forçados será definido a partir de um estudo econômico das possíveis alternativas de arranjo. Serão comparados os custos das alternativas, considerando-se desde um mínimo de um único conduto forçado até um máximo de um conduto para cada equipamento (turbina ou válvula dispersora). No custo comparativo serão somados todos os custos envolvidos em cada uma das alternativas.

Os condutos forçados serão projetados de acordo com as recomendações da norma NBR-10132, da ABNT.

7.5.5 Sistema de Proteção das Turbinas

No caso da solução de um único conduto forçado ser a alternativa mais econômica, serão instaladas válvulas como sistema de proteção, para o caso de disparo da turbina. Essas válvulas serão também acionadas durante a execução dos serviços de manutenção da unidade turbo-geradora correspondente.

As válvulas de proteção serão instaladas imediatamente a montante das turbinas, nas bifurcações dos condutos forçados, e serão do tipo borboleta com fechamento e abertura controlada, equipadas com contra-peso, para fechamento em emergência sem necessidade de energia externa.

Serão projetadas e fabricadas conforme as recomendações da norma ISO 5752 e ABNT NBR 10134, em aço carbono fundido ou chapas de aço soldadas.

No caso da solução de um conduto forçado para cada equipamento ser a alternativa mais econômica, serão instaladas comportas vagão como órgão de proteção contra disparo das turbinas.

As comportas vagão serão instaladas na Tomada D'água e possibilitarão, inclusive, o ensecamento de todo o circuito hidráulico durante os serviços de manutenção da respectiva unidade turbo-geradora.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.5.6 Sistema de descarga de água para jusante

Para garantir o fluxo de água no sistema, por ocasião da parada total das unidades geradoras, prevê-se a instalação, em cada Usina Hidrelétrica, de uma tubulação de derivação, com bifurcação, para alimentação de dois ramais equipados com válvulas de controle de vazão da água a jusante da Casa de Força.

A capacidade prevista da cada ramal é de 44,5 m³/s.

A válvula será do tipo dispersora com descarga cônica e acionamento hidráulico.

Haverá a montante de cada válvula dispersora uma válvula borboleta para permitir o isolamento e manutenção da válvula dispersora.

7.5.7 Sistemas Auxiliares Mecânicos

Os sistemas auxiliares mecânicos serão definidos a nível de projeto básico.

No dimensionamento da Casa de Força a ser elaborado nesta etapa será levado em consideração o local de instalação destes sistemas.

7.6 Critérios de Projeto para os Equipamentos das Tomadas D'água de Uso Difuso

7.6.1 Captação

A captação será efetuada diretamente na lateral do canal, que terá largura suficiente de forma a garantir uma velocidade de aproximação não superior a 0,1 m/s, na entrada das grades, sob condição de fluxo máximo.

Localização e número de Estações

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. Ficou estabelecido também que, ao longo de todo o canal, 50% das tomadas seriam em situação de corte (estações de bombeamento) e 50% em situação de aterro (tomada d'água por gravidade).

Unidades de Bombeamento

O número de unidades de bombeamento será função da vazão definida para aquela específica estação, ou seja:

| Vazão (m ³ /s) | Número de bombas |
|---------------------------|------------------|
| 0,1 | 2 |
| 0,2 | 3 |
| 0,5 | 6 |

Haverá sempre, pelo menos, uma unidade de reserva, independente do número de unidades principais instaladas na Estação.

Todas as unidades de bombeamento, principais e de reserva, serão idênticas entre si.

Preferencialmente serão adotadas bombas verticais do tipo poço úmido, em função da simplicidade e das dimensões da obra civil.

Cada unidade de bombeamento será provida de uma válvula de retenção de fechamento rápido (Clasar ou similar), uma válvula borboleta e um acoplamento rígido, instalados na linha de descarga, imediatamente a jusante da bomba.

Poços de Instalação das Unidades de Bombeamento



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Os poços de instalação das unidades de bombeamento terão o objetivo de permitir a captação d'água nas melhores condições hidráulicas, não sendo permitida a formação de vórtices e/ou ondas e, em princípio, serão adotados os critérios estabelecidos no HI - "Hydraulics Institute".

7.6.2 NPSH Disponível

Deverá haver uma margem de segurança entre os valores do NPSH disponível e do NPSH requerido. Normalmente o NPSH requerido apresentado nas curvas características é o NPSH3% (cavitação com garantia de altura total). O valor mínimo do coeficiente de segurança definido pela relação entre o NPSH disponível e o NPSH3% será adotado igual a 1,3.

Equipamentos Hidromecânicos da Tomada D'água

Na Tomada D'água da Estação de Bombeamento serão previstas grades, do tipo painéis removíveis, e uma única comporta ensecadeira para permitir o isolamento dos poços e o acesso aos componentes da unidade de bombeamento.

a) Grades

Os detritos junto às grades deverão evitar a entrada de objetos submersos, de dimensões maiores que 100 mm.

Os detritos junto às grades deverão ser removidos por processo manual.

A grade será projetada de acordo com os critérios da norma NBR 11213, da ABNT.

A carga a ser considerada no dimensionamento da grade será uma carga hidráulica uniforme de 30 kPa, correspondente a uma obstrução parcial da grade.

A relação entre as frequências natural da barra e a de turbilhonamento deverá ser superior a 1,5.

Será considerada uma velocidade máxima de 0,6 m/s, conforme sugerido no Manual de Projeto Mecânico do *Bureau of Reclamation*.

b) Comportas Ensecadeiras

As comportas ensecadeira serão do tipo com painéis deslizantes, de construção metálica, equipadas com vedação e apoio a jusante.

A comporta ensecadeira será projetada para operar somente em águas equilibradas, de acordo com as recomendações da norma NBR 8883, da ABNT. A comporta será estocada em uma de suas ranhuras de operação e seus elementos serão manobrados por guindaste móvel.

A carga a ser considerada no projeto das comportas ensecadeira é o carregamento hidrostático atuante sobre o painel da comporta.

7.7 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Tomadas D'água de Derivação

Cada estrutura de Tomada D'água de derivação será equipada com os seguintes equipamentos mecânicos:

As grades e comportas ensecadeiras na adução da Tomada D'água serão projetadas para operarem a mesma ranhura de operação.

O conduto adutor será construído de aço carbono;

Na estrutura de descarga haverá duas válvulas de controle de vazão, do tipo dispersora cônica ou similar, e válvulas de isolamento do tipo borboleta, instaladas a montante das válvulas dispersoras.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.8 Critérios de Projeto para os Equipamentos Mecânicos das Estruturas de Controle

As comportas de controle serão do tipo segmento, com acionamento óleo-hidráulico.

Para manutenção das comportas segmento está prevista a instalação de comportas ensecadeiras deslizantes, a montante e a jusante das mesmas.

Haverá somente dois conjuntos de elementos de comportas ensecadeiras para o ensecamento de cada um dos vãos de uma dada Estrutura de Controle. Esses elementos de comportas ensecadeiras serão em princípio estocados nas próprias ranhuras e manobrados por um guindaste móvel.

8 . ESTRUTURAS CIVIS

8.1 Objetivo

Os critérios aqui apresentados têm por objetivo fixar as diretrizes gerais para a elaboração do Projeto Básico estrutural de transposição de águas do rio São Francisco para o nordeste setentrional, e procuram, de modo geral, satisfazer aos padrões internacionais de segurança e aproveitar a experiência acumulada em obras similares.

Este documento pretende normalizar, em linhas gerais, os seguintes cálculos pertinentes ao projeto estrutural:

- Análises de estabilidade;
- Análises de tensões;
- Dimensionamento dos elementos estruturais;
- Verificações especiais, particularmente as relativas aos estados limites de utilização.

8.1.1 Estruturas a Analisar

Os critérios abrangem as seguintes principais estruturas:

- Barragens
- Vertedouros
- Tomadas D'água
- Estruturas de controle
- Canais
- Túnel
- Subestações
- Aquedutos
- Adutoras
- Bueiros
- *Overchutes*
- Passagens

8.1.2 Critérios Básicos

Os critérios de projeto aqui apresentados visam sempre, mediante as diretrizes e os valores estabelecidos, à garantia da segurança da obra, durante as fases de construção e de operação das estruturas, à eficiência e à confiabilidade operacional.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

As verificações de estabilidade quanto ao deslizamento, tombamento e flutuação das estruturas serão feitas nos planos da fundação, nos de eventuais descontinuidades geológicas e em outras superfícies potencialmente instáveis, a fim de comprovar a estabilidade das estruturas dentro dos critérios de segurança adotados.

As análises de tensões serão feitas nos planos de fundação e em alguns planos intermediários dos maciços, pelo método clássico de cálculo. Os resultados serão, sempre que necessário, suplementados por estudos efetuados em modelos matemáticos estruturais, o que vale também para as análises de estabilidade.

O dimensionamento de peças de concreto estrutural será sempre feito pelo método dos estados limites últimos, seguido de verificações dos estados limites de utilização, onde as tensões de serviço serão determinadas com as hipóteses do estágio II.

8.1.3 Normas e Entidades Normalizadoras

O Projeto Básico será norteado pelas normas e especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, particularmente pela NBR 6118 em relação aos elementos de concreto armado.

Estes critérios visam apenas suplementar as normas brasileiras quando elas forem insuficientes para a resolução de problemas específicos, valendo-se para isto de parâmetros e hipóteses de cálculo universalmente aceitos, que se encontram em normas e publicações editadas por entidades de renome internacional.

8.2 Características dos Materiais

8.2.1 Concreto

O concreto a ser utilizado nas diversas estruturas da transposição será dividido em classes, de acordo com o diâmetro máximo do agregado e a resistência a ser atingida na idade especificada. A tabela 8.2.1 classifica os concretos previstos.

Tabela 8.2.1-Classes de Concreto

| CLASSE DO CONCRETO | TIPO | fck(MPa) |
|--------------------|---------------------|----------|
| A | Concreto Estrutural | 15 |
| B | Concreto Estrutural | 25 |
| C | CCR | 7 |
| M | Concreto Massa | 10 |
| P | Concreto Protendido | 30 |
| D | Concreto Projetado | 20 |

Nota: A escolha do tamanho máximo do agregado será feita com base na dimensão da peça, espaçamento das barras da armadura e na dificuldade do lançamento.

8.2.2 Aço para concreto armado

As barras de aço para concreto armado obedecerão às especificações brasileiras (NBR-7480). Recomenda-se a uso exclusivo de barras nervuradas, com coeficiente de conformação superficial $\eta_b > 1,5$, de aço da categoria CA-50, de preferência de classe A.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.2.3 Aço para concreto protendido

Barras e cabos de aço para concreto protendido obedecerão às especificações brasileiras NBR-7482 e NBR-7483.

8.2.4 Aço Estrutural

O projeto das estruturas de aço e peças metálicas obedecerá às especificações aplicáveis da ABNT e da DIN ou AISC.

8.3 Cargas de Projeto

8.3.1 Cargas Permanentes

As cargas permanentes, devidas ao peso próprio, serão calculadas com base nos pesos específicos indicados na Tabela 8.3.1, a seguir.

Tabela 8.3.1 - Peso Específicos dos materiais

| MATERIAL | PESO ESPECÍFICO (kN/m ³) |
|-----------------------|---|
| Concreto sem armadura | 23-25 |
| Concreto armado | 24-25 |
| Aço | 78,5 |

8.3.2 Cargas Hidrostáticas Externas

As cargas hidrostáticas externas serão aplicadas de acordo com os níveis d'água indicados em documentos específicos, segundo um diagrama triangular.

8.3.3 Subpressões e Pressões Neutras

8.3.3.1 Geral

Os efeitos da água de percolação nas estruturas de concreto, em sua fundação e no contato concreto-rocha, serão levados em conta nas análises de estabilidade de tensões, com base nos diagramas de subpressão empregados na prática corrente.

8.3.3.2 Diagrama de Subpressão no Interior das Estruturas de Concreto

Será considerado atuando em toda a espessura da estrutura. A linha piezométrica, variará linearmente entre os valores das extremidades, iguais aos níveis d'água de montante e jusante.

8.3.3.3 Diagrama de Subpressão no Contato Concreto-Rocha e na Fundação (Caso sem Drenos ou Drenos Inoperantes)

Será considerado igual ao mencionado no item 8.3.2.

8.3.3.4 Diagrama de Subpressão no Contato Concreto-Rocha e na Fundação (Caso com Drenos operantes)

O diagrama de subpressão apresentará, em geral, variação linear da linha piezométrica, desde um valor correspondente ao nível d'água de montante, na extremidade montante, até a linha de drenos, onde o valor será igual ao nível d'água de jusante acrescido de um terço da diferença entre os níveis d'água de montante e jusante. Daí, varia linearmente até a extremidade de jusante, onde o valor será correspondente ao nível d'água de jusante.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.3.4 Sobrecargas

8.3.4.1 Sobrecargas Uniformemente Distribuídas

Será considerada uma sobrecarga uniformemente distribuída, não inferior a 5 kN/m² (500 kgf/m²) para pisos, e 2,5 kN/m² (250 kgf/m²) para coberturas que estejam sujeitas a inspeção e cargas de equipamentos leves.

Serão também adotados os valores da NBR-6120 nos casos aplicáveis.

As sobrecargas uniformemente distribuídas, apresentadas a seguir, constituem diretrizes básicas para o projeto, representando valores mínimos a serem considerados.

Geral

| | |
|--|----------------------|
| Galerias de cabos | 10 kN/m ² |
| Sala dos Painéis | 15 kN/m ² |
| Sala de Controle | 10 kN/m ² |
| Galerias de acesso | 10 kN/m ² |
| Galerias de equipamentos elétricos e mecânicos | 15 kN/m ² |
| Escritórios | 5 kN/m ² |
| Escadas não especiais | 5 kN/m ² |

Tampas e escotilhas sem carregamento especificado:

No interior: 2,5 kN/m²

No exterior: 2,5 kN/m² (sem tráfego de veículos e trem tipo 45 com tráfego de veículos)

Guarda-corpos e balaústres aplicados no topo 0,8 kN/m (hor.)

Casa de Força

| | |
|--------------------|----------------------|
| Piso dos Geradores | 25 kN/m ² |
| Piso das turbinas | 15 kN/m ² |
| Áreas de montagem | 40 kN/m ² |

Nota: Para dimensionamento de vigas e pilares, as sobrecargas serão diminuídas em 20% para pisos com área superior a 30m².

8.3.4.2 Sobrecargas Concentradas Devidas a Equipamentos

Será verificada a necessidade de acrescentar cargas adicionais concentradas, provenientes de equipamentos mais pesados não cobertos pela sobrecarga distribuída do item anterior. Na estimativa dessas cargas, serão consideradas as condições de instalação, montagem e manutenção, bem como os eventuais efeitos de vibração e impacto.

Na área ocupada por equipamento pesado, não haverá superposição com a carga distribuída do item anterior, devendo-se estudar qual o caso mais desfavorável.

8.3.4.3 Pórticos e Pontes Rolantes

Carga Estática Máxima

Na determinação da condição mais desfavorável de carregamento, será feita a combinação do peso próprio com a capacidade nominal de levantamento de carga, devendo esta última ser considerada como aplicada na posição lateral mais extrema possível, a fim de maximizar a



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

reação nas rodas. A posição do pórtico rolante sobre a estrutura será estudada de modo a produzir as solicitações mais desfavoráveis possíveis.

Cargas Dinâmicas

Serão consideradas as seguintes cargas dinâmicas:

- Carga de impacto vertical, calculada como sendo 25% da carga máxima nas rodas.
- Força transversal horizontal (oscilação), calculada como 20% da resultante da combinação do peso próprio do carrinho com a capacidade nominal de levantamento aplicada e distribuída no topo dos trilhos, em ambas as direções.
- Força longitudinal horizontal (frenagem), calculada como 10% da estática máxima nas rodas, aplicada no topo dos trilhos. As forças longitudinal e transversal não serão combinadas simultaneamente.

8.3.4.4 Cargas Móveis

Para todas as estruturas sujeitas ao tráfego de veículos, serão consideradas as combinações mais desfavoráveis de cargas prescritas nas normas brasileiras NBR-7187 e NBR-7188 para rodovias de classe I e, também, os carregamentos mais desfavoráveis de construção e montagem.

8.3.4.5 Outras Cargas

Serão consideradas, para cada fase de construção, cargas temporárias atuando sobre as estruturas.

Serão previstos guindastes móveis sobre esteiras para auxiliar nas operações de montagem, durante a construção. Serão também previstas cargas resultantes do peso próprio e da operação e manutenção de equipamentos permanentes.

As cargas dos caminhões e dos guindastes móveis serão aumentadas de 20%, no mínimo, para consideração do impacto.

As cargas de equipamentos de construção não serão aplicadas simultaneamente com as do pórtico rolante (superposição na mesma área).

8.3.5 Cargas de Assoreamento

Caso os dados de sedimentometria mostrarem a probabilidade de deposição de sedimentos no fundo do reservatório, junto ao pé de montante do barramento, adotar-se-á o critério a seguir para determinação do empuxo resultante.

A pressão horizontal de assoreamento será considerada atuando sobre 10% da altura da seção estrutural analisada. O cálculo, para determinar a componente horizontal da carga de assoreamento, será feito através da fórmula de *Rankine*, desprezando-se a coesão:

$$P_s = \frac{1}{2} \gamma \cdot (h_s)^2 \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi}$$

onde:

P_s = força horizontal de assoreamento kN/m (tf/m)

γ = peso específico do sedimento 9,5 kN/m³ ou
(0,95 tf/m³, submerso)



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

h_s = altura de cálculo, igual a 0,1 H

ϕ = ângulo de atrito interno, admitindo igual a 23°

H = altura de água

8.3.6 Empuxos Estáticos de Terra e de Enrocamento

Empuxos estáticos ativos de terra e enrocamento serão calculados utilizando-se a teoria de Coulomb para terraplenos homogêneos com talude uniforme, e o método gráfico de *Cullman* para taludes irregulares ou com sobrecargas não uniformes.

Não será considerada a coesão no cálculo do empuxo.

O valor do empuxo estático é dado por:

$$E_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B h^2 K$$

sendo:

γ = peso específico do material

B = largura

h = altura do terrapleno

K = coeficiente de empuxo

Em geral serão utilizados, nos cálculos, empuxo em repouso para muros rígidos tipo gravidade, com fundação em rocha, e empuxo ativo para muros rígidos com fundação em solo ou muros esbeltos com fundação em rocha.

Para o cálculo do Coeficiente de Empuxo em Repouso será empregada a fórmula:

$$K = 1 - \text{sen } \phi$$

8.3.7 Cargas de Vento

Para as cargas de vento, aplicar-se-á o disposto na NBR-6123 suplementada, sempre que necessário, por outras normas autorizadas. Em qualquer caso, porém, estas cargas não deverão ser inferiores a 1,25 kN/m².

8.3.8 Cargas Sísmicas

Nas análises de estabilidade e de tensões das estruturas de concreto massa ou CCR, será prevista a ocorrência momentânea de abalos sísmicos, provocando esforços adicionais nessas estruturas, adotando-se para sua aceleração o valor 0,05 g (g = aceleração da gravidade), para as Condições de Carregamento Limites (vide item 8.4)

Pelo fato de a área de projeto situar-se em zona de baixa sismicidade, a consideração da carga sísmica será feita de maneira simplificada. Não serão considerados efeitos sísmicos no dimensionamento das estruturas de concreto armado.

8.3.8.1 Efeito do Sismo na Massa de Concreto da Estrutura

a) esforço horizontal $F_{hs} = 0,05 P_c$

b) esforço vertical $F_{vs} = \pm 0,05 P_c$

ambos os esforços atuando simultaneamente.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.3.8.2 Efeito do Sismo na Massa de Rocha Subjacente

a) esforço horizontal $F_{hs} = 0,05 P_r$

b) esforço vertical $F_{vs} = - 0,05 P_r$

8.3.8.3 Esforços Hidrodinâmicos

Será considerada apenas a componente horizontal do esforço hidrodinâmico da massa d'água de montante, provocado pela aceleração horizontal. Esse esforço poderá ser calculado pela fórmula de Zanger e ábacos correspondentes.

As subpressões atuantes na estrutura e fundação não serão majoradas pelos sismos.

8.3.9 Cargas Hidrodinâmicas

8.3.9.1 Transientes Hidráulicos

Cargas devidas ao fechamento ou abertura de comportas ou válvulas e à partida ou parada de turbinas e bombas devem ser obtidas pela análise de transientes hidráulicos.

A sobrelevação de pressão hidrostática nos condutos forçados será admitida com 30% da altura hidrostática máxima na entrada da caixa espiral, decrescendo linearmente ao longo da projeção horizontal do eixo do conduto forçado até zero, na comporta da tomada d'água.

8.3.9.2 Outras Cargas

Também devem ser considerados os efeitos de cargas hidrodinâmicas em curvas, transições convergentes ou divergentes e em outros casos que ocasionem uma mudança na velocidade ou na direção do escoamento.

8.3.9.3 Ação da Temperatura e Retração

Deverão ser adotadas as seguintes variações de temperatura no projeto das estruturas de concreto armado:

+ 10°C em torno da média para elementos estruturais leves expostos;

+ 5°C em torno da média para elementos estruturais pesados ou para elementos estruturais protegidos;

+ 2,5°C em torno da média para peças de grandes dimensões, não expostas ao ar livre.

Os efeitos da retração para estruturas leves de concreto armado devem ser admitidos como equivalentes a uma queda de 15°C na temperatura.

A determinação da armadura será feita, em cada caso, através de análises que considerem as características térmicas e de fluência do concreto.

8.3.10 Ação do Calor de Hidratação

Os valores das tensões de tração, provocadas pelo resfriamento após a geração do calor de hidratação, serão definidos com base na altura das camadas de concretagem, no intervalo de tempo de lançamento e na temperatura do concreto no instante da concretagem.

8.4 Condições de Carregamento

8.4.1 Geral

A estabilidade das estruturas será analisada para as seguintes classes de carregamento:

- Condições de Carregamento Normais (CCN) - Abrangendo todas as combinações de carga possíveis durante a operação normal e manutenção de rotina, sob condições hidrológicas médias;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- Condições de Carregamento Excepcionais (CCE) - Abrangendo as combinações de carga possíveis, entretanto estatisticamente infreqüentes, durante a operação e durante os trabalhos principais de manutenção;
- Condições de Carregamento Limites (CCL) - Abrangendo as combinações altamente improváveis de eventos excepcionais durante os períodos de construção e de operação, devido a sobrecarregamentos, enchentes catastróficas, mau funcionamento de equipamentos e erros humanos.
- Condições de Carregamento de Construção (CCC) - Abrangendo as combinações possíveis de carregamento dos equipamentos de construção, cargas temporárias para a instalação e montagem de equipamentos e operação de estruturas incompletas.

8.4.2 Condições de Carregamento Normais (CCN)

Incluirão as cargas indicadas no item 8.3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem sempre operante;
- Efeito sísmico desprezado;
- Condições médias de temperatura, quando considerada.

8.4.3 Condições de Carregamento Excepcionais (CCE)

Incluirão as cargas de projeto indicadas no item 8.3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem operante;
- Efeito sísmico desprezado.

8.4.4 Condições de Carregamento Limites (CCL)

Incluirão as cargas de projeto indicadas no item 8.3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem operante, com carga sísmica correspondente a 0,05g.
- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem inoperante, com efeito sísmico desprezado.

8.4.5 Condições de Carregamento de Construção (CCC)

Incluirão, entre outros, os seguintes casos:

- Condições normais de carregamento em estruturas incompletas, conforme for apropriado a cada caso em particular;
- Cargas de equipamentos de construção e de montagem;
- Cargas devidas a ancoragens provisórias para guinchos, guindastes ou dispositivos de levantamentos de carga ou similares;
- Pressões de injeção em juntas e revestimento;
- Pressões de concretagens contra estruturas;
- Cargas móveis excepcionais, devidas à movimentação e montagem de equipamentos;
- Cargas devidas a testes de equipamentos permanentes;
- Cargas hidrostáticas e subpressões anormais, devidas a esvaziamentos temporários.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.4.6 Condições Adicionais

No dimensionamento das estruturas poderão ser adotadas condições de carregamento adicionais, para levar em conta situações acidentais e específicas.

8.5 Projeto Estrutural

8.5.1 Análises de Estabilidade

8.5.2 Geral

As análises de estabilidade deverão abranger todos os elementos estruturais, sob todas as condições de carregamento, de modo a garantir:

- A segurança ao deslizamento, em qualquer plano da fundação e do contato estrutura-fundação;
- A segurança à flutuação;
- A segurança ao tombamento ou a verificação de que as tensões de tração e de compressão não ultrapassem os valores admissíveis especificados.

8.5.2.1 Verificação da Segurança ao Deslizamento

A segurança ao deslizamento das estruturas será verificada através do cálculo do Fator de Segurança ao Deslizamento (FSD), de acordo com a seguinte fórmula:

$$FSD = \frac{(\sum F_v - U) \cdot \left(\frac{\text{tg} \phi}{\gamma \phi} \right) + \left(\frac{c}{\gamma c} \right) \cdot A}{\sum F_h}$$

onde:

$\sum F_v$ = somatória de todas as forças ativas (não incluindo-se a subpressão), normais à superfície de deslizamento;

U = força resultante das subpressões;

$\text{tg} \phi$ = coeficiente de atrito ao longo da superfície de deslizamento;

$\gamma \phi$ = coeficiente de minoração da resistência relativo ao atrito;

c = coesão média efetiva ao longo da superfície de deslizamento;

γc = coeficiente de minoração de resistência relativo à coesão;

A = área efetiva comprimida no contato de deslizamento.

Serão adotados os seguintes valores de $\gamma \phi$ e γc para as condições de carregamento já definidas, aplicados a valores conservativos das resistências (correspondendo ao quantil de 5%, no caso de número grande de dados):

| | CCN | CCE | CCL | CCC |
|---------------|-----------|-----|-----|-----|
| $\gamma \phi$ | 1,5 (1,4) | 1,3 | 1,1 | 1,3 |
| γc | 4,0 (3,0) | 3,0 | 2,0 | 3,0 |

Os valores entre parênteses, indicados na tabela acima, referem-se à condição de bom conhecimento dos parâmetros de resistência.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Em princípio, a colaboração da rocha a jusante não será levada em conta, sendo considerada como margem de segurança. Em casos específicos, essa colaboração poderá ser considerada na forma de um empuxo passivo mobilizado, minorado pelos coeficientes $\gamma\phi$ e γ_c , desde que seja analisado o comportamento global do conjunto estrutura - fundação e sejam obedecidas as deformações admissíveis desse conjunto.

Nos casos de análises de estabilidade ao longo da descontinuidade da fundação, será admitida a existência de fissura vertical, junto ao pé de montante da estrutura, aprofundando-se até o nível da descontinuidade, ao longo da qual atua a pressão hidrostática total. Casos particulares, em que a descontinuidade localizar-se muito abaixo do nível de escavação, serão definidos através de estudos específicos.

8.5.2.2 Verificação da Segurança à Flutuação

A segurança à flutuação é definida pela relação entre a somatória das forças gravitacionais e a força de subpressão, através do coeficiente de segurança seguinte:

$$\gamma_f = \Sigma F_v / U$$

Nas análises, as forças gravitacionais deverão incluir as cargas permanentes mínimas das estruturas, o peso próprio do equipamento permanente, se instalado, e de lastros (água ou aterro), se utilizados durante determinados estágios de construção, desprezando-se qualquer contribuição devida à coesão e ao atrito lateral entre paredes adjacentes. Todas as cargas acidentais não permanentes deverão ser desconsideradas. Serão adotados os seguintes valores mínimos de γ_f para as condições de carregamento já definidas:

| | CCN | CCE | CCL | CCC |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| γ_f | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

8.5.2.3 Verificação da Segurança ao Tombamento

A segurança ao tombamento é definida pela relação entre o momento estabilizador e o momento de tombamento, referido a uma linha de rotação estabelecida:

$$\gamma_t = M_{estab} / M_{tomb}$$

A verificação ao tombamento não será aplicada para as estruturas maciças principais; será aplicada só para as estruturas secundárias ou esbeltas.

Serão adotados os seguintes valores de γ_t para as condições de carregamento definidas:

| | CCN | CCE | CCL | CCC |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| γ_t | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,3 |

8.5.3 Análise de Tensões

8.5.3.1 Geral

As análises de tensões serão executadas para todas as estruturas de concreto massa, fundações e elementos de concreto armado, atendendo às condições de carregamento específicas, com o objetivo de verificar, onde for aplicável:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

- segurança contra ruptura estrutural ou deformação excessiva;
- níveis médios de tensões, distribuição de tensões e tensões máximas localizadas;
- atendimento quanto aos níveis de tensões admissíveis.

8.5.3.2 Tensões Admissíveis no Terreno de Fundação

A tensão admissível no terreno será obtida a partir da seguinte relação:

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{resistência à compressão}}{\text{coeficiente de segurança}}$$

A resistência à compressão da fundação será determinada a partir dos resultados dos ensaios *in situ* e de laboratório realizados.

Os coeficientes de segurança a serem adotados serão os seguintes:

| Condição de Carregamento | Coefficiente de Segurança |
|--------------------------|---------------------------|
| Normal | 4,0 |
| Excepcional | 2,7 |
| Limite | 1,3 |

Em casos particulares poderá ser adotada a verificação através do círculo de *Mohr*, como mencionado no item 8.5.3.4.

8.5.3.3 Análise de Tensões para Concreto Estrutural

As análises de tensões para o concreto estrutural (armado) seguirão os métodos prescritos nas Normas, os quais serão suplementados por novas diretrizes e/ou critérios específicos, utilizados pela Projetista no decorrer do desenvolvimento do projeto. Os resultados dos ensaios em modelos estruturais, físicos ou matemáticos, sempre que forem aplicáveis, serão levados em consideração.

8.5.3.4 Análise de Tensões em Estruturas de Concreto Massa ou CCR

- Geral

As análises de tensões para as estruturas de concreto massa seguirão o método clássico baseado na conservação das seções planas e no equilíbrio geral entre as forças solicitantes e as resultantes das tensões (distribuídas linearmente). Entretanto, o método clássico deverá, sempre que for necessário, ser suplementado através de estudos especiais efetuados em modelos matemáticos.

As análises de tensões em corpos maciços deverão incluir, onde forem aplicáveis, os efeitos de retração e temperatura, o peso das massas superpostas e os efeitos dos diagramas de subpressão especificados.

- Verificação pelo Método das Tensões Admissíveis

Em geral, as tensões principais I e II atuantes nas estruturas de concreto massa deverão obedecer aos seguintes limites:

- Para compressão: f_{ck}/γ
- Para tração: f_{tk}/γ

com: $\gamma = 3,0$ (CCN), $2,0$ (CCE) e $1,0$ (CCL).

- Verificação pelo Círculo de *Mohr*



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Em casos particulares poderá ser adotada a verificação através do círculo de *Mohr*, analisando-se o estado duplo de tensões em relação à envoltória dos círculos resistentes para o material em questão. Para esta envoltória, pode ser adotada a reta de Coulomb.

- Verificação das Tensões na Face de Montante das Estruturas

Para a verificação das tensões na face de montante das estruturas aplicar-se-á o seguinte critério:

A tensão na face de montante da barragem, para a seção considerada, calculada sem levar em conta a subpressão interna, deverá ser igual ou superior à tensão normal vertical mínima determinada através da expressão abaixo, a qual considera a tensão admissível à tração do concreto na junta entre as camadas de concretagem:

$$\sigma_{v,\min} = \eta \cdot \gamma_a \cdot h - \sigma_{t,\text{adm}}$$

onde,

$\sigma_{v,\min}$ = tensão normal vertical mínima na face de montante

η = fator de redução que leva em conta a existência de drenos

γ_a = peso específico da água

h = profundidade da seção considerada, em relação ao nível d'água do reservatório

$\sigma_{t,\text{adm}}$ = tensão admissível à tração do concreto, nas juntas

Será adotado $\eta = 1,0$ quando não existirem drenos (ou estes forem considerados inoperantes); quando existirem drenos será adotado $\eta = 0,4$.

A tensão admissível à tração do concreto, $\sigma_{t,\text{adm}}$, será obtida através da resistência característica do concreto à tração f_{tk} , afetada do coeficientes de minoração γ abaixo indicados:

$\gamma = 3,0$ para a condição de carregamento normal

$\gamma = 2,0$ para a condição de carregamento excepcional

$\gamma = 1,0$ para a condição de carregamento limite

Como critério geral adotar-se-á para a resistência característica f_{tk} , nas juntas de concretagem, 50% do valor correspondente à resistência característica do concreto fora da junta (U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report nº 6-8518, July 1959).

Para a resistência à tração na junta entre a estrutura e a fundação, será admitido o mesmo valor adotado para as juntas entre as camadas de concretagem.

Para as condições de carregamento normais $\sigma_{v,\min}$ não deverá ser inferior a zero. Deve-se admitir a ocorrência de trinca na face da montante da seção considerada, quando a tensão calculada nesta face for menor que $\sigma_{v,\min}$, obtida da expressão apresentada com coeficiente de minoração $\gamma = 1,0$, para as condições de carregamento limites.

A estrutura será considerada segura, para estas condições de carregamento, se após a trinca ter sido incluída, as tensões na estrutura não ultrapassarem os valores especificados e for mantida a estabilidade ao deslizamento, considerando-se apenas a região não trincada.

Os valores de subpressões na fissura deverão ser admitidos nulos quando a abertura desta for provocada por sismo.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.5.4 Dimensionamento Estrutural

Em todas as peças esbeltas de concreto estrutural o dimensionamento será feito pelo método dos estados limites últimos, de acordo com a NBR- 6118, capítulo 4. Entretanto, para estruturas de grandes dimensões, que são geralmente fracamente armadas, a armadura mínima será determinada em função das tensões em serviço do aço.

8.5.5 Disposições Construtivas

8.5.5.1 Armadura Contra Retração

A armadura mínima dos elementos de concreto será determinada para resistir a eventuais tensões devidas à retração ou para diminuir a abertura de fissuras por ela provocadas.

Nos casos especiais, não previstos nas normas brasileiras, deverão ser utilizadas as armaduras mínimas especificadas a seguir:

- Lajes Expostas Concretadas Contra a Rocha

As lajes devem ser consideradas inteiramente fixas na rocha, requerendo armação somente na face superior. A armadura mínima na face exposta deverá ser adotada igual a 0,2 % da área de concreto nas duas direções, mas não mais que os seguintes valores:

- Ø 25 mm cada 30 cm (16,6 cm²/m) para lajes expostas a fluxo d'água;
- Ø 20 mm cada 30 cm (10,5 cm²/m) para lajes expostas a pressões de percolação;

- Paredes Executadas Contra a Rocha

As superfícies expostas deverão ser armadas contra as tensões de retração decorrentes da fixação produzida pela superfície da rocha. Na face exposta deverá ser adotada uma taxa mínima de 0,25%, não maior que uma barra de Ø20 mm a cada 30 cm, em cada direção.

Para a armação da face em contato com a rocha, será adotada uma taxa mínima de 0,15%, não maior que uma barra de Ø20 mm cada 30 cm em cada direção, exceto nos casos especiais onde se tenha ancoragem na rocha.

- Paredes do Primeiro Estágio de Construção

As paredes do primeiro estágio de construção, as quais receberão o concreto de segundo estágio, a ser colocado posteriormente, serão armadas com um mínimo de uma barra de Ø20 mm cada 30 cm, em cada direção e em ambas as faces.

- Paredes Expostas à Água

Onde a impermeabilidade se fizer necessária, será adotada uma taxa mínima de 0,25% da seção de concreto, em cada direção e em cada face, com um máximo de uma barra de Ø32 mm cada 30 cm.

8.5.5.2 Juntas de Contração e de Construção

- Juntas de Contração

Serão especificadas em todos os casos onde for desejável assegurar a ação independente de estruturas adjacentes ou de partes das estruturas, a fim de limitar as tensões de retração e o aparecimento de fissuras.

- Juntas de Construção

Serão especificadas nos desenhos de formas e de armação. O posicionamento das juntas de construção será governado pela conveniência construtiva, redução da retração e alturas nominais das camadas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

8.5.5.3 Vedajuntas

Serão do tipo *fugenband* e especificados em todos os desenhos onde a estanqueidade das juntas for necessária.

Cobrimento da Armadura

Serão adotados os seguintes cobrimentos mínimos para as barras da armadura:

- vigas e lajes internas: 2 cm;
- elementos secundários em contato com água, rocha ou terra: 3 cm;
- lajes e paredes em contato com água em alta velocidade: 10 cm.

Em qualquer caso, o cobrimento será no mínimo igual ao diâmetro da barra.



9 . REFERÊNCIAS

- Bishop, A.W. (1955). "The use of slip circle in the stability analysis of slopes", *Geotechnique* 5, pp 7-17.
- Brooker, E.W., Ireland, N.O. (1965) "Earth pressures at rest related to stress history". *Canadian, Geotechnique J.Z.*, 1-15.
- Cedergren, H.R. - "Seepage, Drainage and Flow Nets".
- CHOW, Ven Te - "Open Channel Hydraulics"
- Coulomb, C.A. (1776) "Essai sur une Application des Règles des maximis et minimis à quelques Problèmes de Statique Relatifs à l'Architecture". *Mém. Acad. Roy des Sciences*, Paris, 3.
- CREAGER & JUSTIN - *Hydroelectric Handbook*
- Culmann, C. (1875). "Die graphische Statik". Zurich, Meyr and Zeller
- DAVIS & SORENSEN - "Handbook of Applied Hydraulics" - McGraw-Hill Book Company - Third Edition.
- GORDON J.L. - "Vortices at Intakes", *Water Power*, April, 1970.
- Head Quarters, Department of Army - Office of the Chief of Engineers - "Hydraulic Design of Reservoir Outlet Structures"
- Ingold, T.S. (1979), "The effects of compaction on retaining walls". *Geotechnique*, vol.29, n°. 3
- IZBASHI, S.V., KHALDARE, Kh, Yu - "Hydraulics of River Channel Closure".
- Jáky, J. (1936) "Stability of earth slopes" *Proc. Ist Int. Conf. Soil Mech. Found Eng.* Cambridge, Mass.
- Krey, H. and Ehrenberg (1936), "Erddruck Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes", Berlin, W. Ernst, 5, Aufl.
- LENCASTRE, A - "Manual de Hidráulica Geral"
- LEVIN, L. - "Formulaire des Conduites Forcées, Oléoducs et Conduits d'Aération"
- Manual de Irrigação - Ministério da Integração Regional - Secretaria de Irrigação, 1993.
- PETERKA, A.J. - U.S. Bureau of Reclamation - Eng. Mon. N. "Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators"
- Rankine, W.J.M. (1857). "On the Stability of Loose Earth", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, vol. 147
- SAVILLE, T. Jr., MccLendon, EW. & Cochran, A.L. - "Freeboard Allowances for Waves in Inland Reservoir" - Paper 3138 - *Journal of the Waterways and Harbors Division - Proceedings ASCE* Vol. 88 - N.WW2 - May 1962.
- SOP - Sistema de Orçamentos para Projeto e Obras da CODEVASF - março 1997.
- Spangler, M.G. e Handry, R.L. (1973) - "Soil Engineering".
- Spencer, E (1967) "A Method of Analysis of Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slic Forces", *Geotechnique*, vol. 17, n°. 1.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Taylor, Karl (1973) "Slope Protection on Earth and Rockfill Dams" - ICOLD, Madrid, 1973.

U.S. Army Corps of Engineers - "Wave in Inland Reservoirs" (Summary Report on Civil Works Investigation Project CW-164 and CV-165). Beach Erosion Board - Technical Memorandum N. 132 - November, 1962B.

U.S. Bureau of Reclamation - Design of Small Dams

U.S. Bureau of Reclamation - Design Standard n. 6

U.S. CORPS OF ENGINEERS - "Hydraulic Design Criteria" ZANGAR, C.N. - U.S. Bureau of Reclamation - Eng. Mon. N. 11 - "Hydrodynamic Pressures on Dams due to Horizontal Earth-Quake Effects" - May 1952.