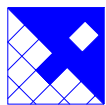




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



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

PROJETO BÁSICO

**TRECHO III – EIXO NORTE
R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO**



**TRECHO III – EIXO NORTE
R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO**

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

PROJETO BÁSICO

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Ministro de Estado da Integração Nacional: **Ciro Ferreira Gomes**

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

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

Coordenador Geral: **João Urbano Cagnin**

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor: **Luiz Carlos Moura Miranda**

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

Gerente: **José Armando Varão Monteiro**

Coordenador Técnico: **Antônio Carlos de Almeida Vidon**

Coordenador Técnico Adjunto: **Ricardo Antônio Abrahão**

São José dos Campos, setembro de 2003

Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE

Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Projeto Básico; Trecho III – Eixo Norte – R2 – Critérios de Projeto. - São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2003.

56 p

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

CDU 556.18

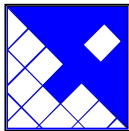
FUNCATE:

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

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

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



FUNCATE

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

Projeto	RAA, RGV, AAS, GLM, AYE, CRML, JCD, SC, BDL	Data SET/2003
Verificação	RAA	Data SET/2003
Aprovação	ACAV	Data SET/2003
Aprovação	JAVM	Data SET/2003
Código FUNCATE	EN.B/III.RF.GR.0002	



MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Verificação		Data
Aprovação		Data

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

PROJETO BÁSICO

**TRECHO III - EIXO NORTE
R2 - CRITÉRIOS DE PROJETO**

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

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

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

Aloysio Accioly de Senna Filho: Chefe da Equipe de Geologia

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

José Carlos Degaspare: Chefe da Equipe de Estrutura

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

Bernd Dieter Lukas: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Equipe de Produção

Antonio Carlos Cunha Aguiar – Projetista

Antonio Muniz Neto – Projetista

Leandro Eboli – Projetista

João Luiz Bosso – Projetista

Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento

Mônica de Lourdes Sampaio – Desenhista Projetista

Infra Estrutura e Apoio

Ana Julia Cristofani Belli – Secretária

Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada

Andréa Marques Moraes – Aux. Administrativo

Maria Aparecida de Souza – Servente

Consultor

Luiz Antonio Villaça de Garcia



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R2 – CRITÉRIOS DE PROJETO, parte integrante do **Projeto Básico do Trecho III – Eixo Norte**, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pela FUNCATE através do contrato INPE/FUNCATE nº 01.06.094.0/99.

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

O **Projeto Básico do Trecho III – Eixo Norte** compõe-se dos seguintes relatórios:

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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

ÍNDICE	PG
1 . OBJETO E OBJETIVO.....	1
2 . CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO	1
2.1 Traçado Geométrico	1
2.2 Estradas de Acesso e Manutenção	2
2.3 Proteção da Faixa de Domínio.....	2
2.4 Normas Técnicas e Padrões	2
2.4.1 Norma Oficial.....	2
2.4.2 Normas Opcionais	2
2.4.3 Padrões.....	4
2.5 Unidades de Medida e Idioma.....	4
2.5.1 Unidades de Medida	4
2.5.2 Idioma	4
2.6 Elaboração de documentos técnicos.....	4
2.6.1 Elaboração de documentos técnicos.....	4
2.6.2 Formato dos desenhos	4
2.6.3 Relatórios, memórias de cálculo, especificações técnicas e listas de materiais.....	4
3 . ESTUDOS HIDROLÓGICOS	4
3.1 Vazões de Dimensionamento dos Vertedouros das Barragens.....	4
3.1.1 Critério Hidrológico	4
3.1.2 Critério Hidráulico.....	4
3.2 Critérios de Dimensionamento das Obras de Drenagem.....	5
4 . HIDRÁULICA.....	5
4.1 Critérios Gerais do Projeto	5
4.1.1 Declividade das Obras de Adução	5
4.1.2 Vazões de Dimensionamento das Obras de Adução	5
4.2 Critérios de Projeto Hidráulico	5
4.2.1 Cálculo do Escoamento	5
4.2.2 Leis de Manobra.....	8
4.2.3 Borda livre e definição das linhas de margens dos canais	9
4.2.4 Vertedouros.....	9
4.2.5 Estruturas de Derivação e Válvulas Dispensoras	10
4.2.6 Tomada D'Água para Usos Difusos	10
4.2.7 Usinas Hidrelétricas	11
5 . GEOLOGIA E GEOTECNIA.....	12
5.1 Introdução	12
5.2 Características dos Materiais de Escavação.....	12
5.3 Características de Materiais Compactados.....	14
5.4 Maciços de Aterros Compactados	16



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

5.5 Seções de Escoamento dos Canais.....	16
5.5.1 Seções em Escavação em Solo.....	16
5.5.2 Seções Escavadas em Material de 2ª categoria.....	17
5.5.3 Seções Escavadas em Rocha.....	17
5.5.4 Seções em Aterro Compactado.....	17
5.6 Túneis	17
5.7 Barragens	18
5.8 Áreas de Empréstimo	18
6 . ENGENHARIA ELÉTRICA.....	19
6.1 Introdução	19
6.2 Equipamentos e Sistemas Elétricos Previstos	19
6.2.1 Nas Usinas Hidrelétricas.....	19
6.2.2 Nas Subestações Elevadoras 69 – 230 kV.....	19
6.2.3 Nas Estruturas de Controle.....	19
6.2.4 Nas Tomadas D'água de Uso Difuso.....	20
6.2.5 Nas Estruturas de Derivação	20
6.3 Critérios de Projeto para os Equipamentos e Sistemas Elétricos das Usinas, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação.....	20
6.3.1 Localização e Número	20
6.3.2 Unifilar Geral dos Aproveitamentos.....	20
6.3.3 Unidades Geradoras.....	21
6.3.4 Subestações.....	21
6.3.5 Arranjo Físico e Equipamentos	21
6.3.6 Sistema de Aterramento.....	23
6.3.7 Equipamentos Principais.....	24
6.3.8 Equipamentos de Manobra em 6,9 kV das Unidades Geradoras	24
6.3.9 Equipamentos de Proteção em 69 kV	25
6.3.10 Compatibilidade Eletromagnética	25
6.3.11 Comando, Controle, Proteção e Supervisão.....	25
6.3.12 Serviços Auxiliares em Corrente Alternada	27
6.3.13 Serviços Auxiliares em Corrente Contínua	27
6.3.14 Sistema de Telecomunicações.....	28
6.3.15 Sistema de Iluminação	29
7 . LINHA DE TRANSMISSÃO	29
7.1 Critérios de Projeto Eletromecânico para 69 kV.....	29
7.1.1 Concepção Básica do Projeto	29
7.1.2 Normas Adotadas	29
7.1.3 Critérios Para Definição dos Cabos: Condutor e Pára-Raios.....	30
7.1.4 Cadeias de Isoladores	30
7.1.5 Conjuntos de Fixação do Cabo Pára-raios.....	31
7.1.6 Acessórios.....	31
7.1.7 Aterramento.....	32
7.2 Critérios de Projeto de Estruturas para 69 kV.....	32
7.2.1 Introdução	32
7.2.2 Norma adotada.....	32
7.2.3 Definição da série das estruturas utilizadas	32



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

7.2.4 Parâmetros necessários para a determinação dos diagramas de carregamento	33
7.3 Critérios de Projeto de Fundações para 69 kV.....	34
7.3.1 Introdução	34
7.3.2 Características Gerais	34
7.3.3 Classificação de solos	34
7.3.4 Critérios Para Definição das Fundações	35
7.3.5 Cargas de Projeto	36
7.3.6 Dimensionamento.....	36
8 . CRITÉRIOS DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA	37
8.1 Introdução	37
8.2 Traçado consolidado e Estruturas Hidráulicas Previstas.....	37
8.3 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS MECÂNICOS PREVISTOS.....	37
8.3.1 Usinas Hidrelétricas	37
8.3.2 Estruturas de Controle.....	38
8.3.3 Tomadas d'Água de Uso Difuso.....	38
8.4 Critérios de Definição e de Dimensionamento das Turbinas Hidráulicas.....	38
8.5 Critérios de Definição e de Dimensionamento das Grades Metálicas das Tomadas D'Água	39
8.6 Critérios de Definição e de Dimensionamento dos Conduitos Forçados Adutores	39
8.7 Critérios de Definição e de Dimensionamento das Comportas e seus Acessórios.....	39
8.7.1 Comporta Ensecadeira.....	39
8.7.2 Comporta Segmento de Controle de Vazão	40
8.8 Critérios de Definição e de Dimensionamento dos Equipamentos de levantamento e Transporte	40
8.9 Critérios de Definição e de Dimensionamento dos Sistemas Auxiliares Mecânicos das Usinas Hidrelétricas	40
8.9.1 Sistema de Drenagem e Esvaziamento.....	40
8.9.2 Sistema de Água de Resfriamento.....	41
8.9.3 Sistema de Água Potável e de Serviço	41
8.9.4 Sistema Antiincêndio	41
9 . ESTRUTURAS CIVIS	41
9.1 Objetivo.....	41
9.1.1 Estruturas a Analisar.....	42
9.1.2 Critérios Básicos	42
9.1.3 Normas e Entidades Normalizadoras.....	42
9.2 Características dos Materiais	43
9.2.1 Concreto	43
9.2.2 Aço para concreto armado.....	43
9.2.3 Aço para concreto protendido.....	43
9.2.4 Aço Estrutural	43
9.3 Cargas de Projeto	43
9.3.1 Cargas Permanentes	43
9.3.2 Cargas Hidrostáticas Externas.....	43
9.3.3 Subpressões e Pressões Neutras	44
9.3.4 Sobrecargas	44



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.3.5 Cargas de Assoreamento.....	46
9.3.6 Empuxos Estáticos de Terra e de Enrocamento.....	46
9.3.7 Cargas de Vento.....	47
9.3.8 Cargas Sísmicas	47
9.3.9 Cargas Hidrodinâmicas.....	47
9.3.10 Ação do Calor de Hidratação	48
9.4 Condições de Carregamento	48
9.4.1 Geral.....	48
9.4.2 Condições de Carregamento Normais (CCN).....	48
9.4.3 Condições de Carregamento Excepcionais (CCE)	48
9.4.4 Condições de Carregamento Limites (CCL).....	49
9.4.5 Condições de Carregamento de Construção (CCC).....	49
9.4.6 Condições Adicionais	49
9.5 Projeto Estrutural.....	49
9.5.1 Análises de Estabilidade.....	49
9.5.2 Análise de Tensões	51
9.5.3 Dimensionamento Estrutural	53
9.5.4 Disposições Construtivas.....	53
10 . REFERÊNCIAS	54



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

O objeto do presente relatório é o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional Trecho III – Eixo Norte. O seu objetivo é o de apresentar os critérios de projeto que orientarão os estudos de Engenharia Civil, Elétrica e Mecânica para o desenvolvimento do Projeto Básico com vistas a fixar normas técnicas e diretrizes de projeto, definir os dados básicos e parâmetros a serem considerados nos estudos e cálculos a fixar os principais procedimentos de análise.

Os critérios aqui apresentados visam também suplementar as Normas Brasileiras, quando estas forem insuficientes para a resolução de problemas específicos, valendo-se para isso 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, a 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.

2.1 Traçado Geométrico

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

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 $R \geq 7B$;

onde:

R = raio de curvatura no eixo do canal, m;

B = largura superficial do escoamento, m.

A implantação das obras deverá ser executada 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 >30 m;
- aterros de grande altura >30 m;
- contornos extensos de vales ou espigões.

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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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 deverão minimizar problemas sociais de deslocamentos de populações ou desapropriações custosas.

2.2 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 preliminar.

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

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

Serão previstas passarelas para ligação entre as margens do canal para permitir o trânsito das populações afetadas pela implantação do sistema.

2.3 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.

2.4 Normas Técnicas e Padrões

As unidades que compõem o Trecho III serão projetadas de acordo com as normas em vigor de uso consagrado mundialmente, em sua última edição.

2.4.1 Norma Oficial

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

2.4.2 Normas Opcionais

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

- AASHO – American Association of State Highway Officials
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
- ACI – American Concrete Institute
- AISC - American Institute of Steel Construction
- ANSI - American National Standards Institute
- AREA – American Railway Engineering Association
- ASCE – American Society of Civil Engineers
- ASME - American Society of Mechanical Engineers
- ASTM - American Society of Testing Materials
- AWA – American Water Works Association
- AWS - American Welding Society



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- BPR – Bureau of Public Roads
- CBGB – Comitê Brasileiro de Grandes Barragens
- CCA – Cement and Concrete Association (Londres)
- CEB – Comitê Euro-International du Béton
- SAfStb – Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- DBV – Deutscher Beton Verein (Wiesbaden)
- DIN – Deutsche Industrie Normen
- FIP – Fédération Internationale de la Précontrainte
- IASS – International Association for Shell Structures
- ICOLD – International Commission on Large Dams
- ISE – Institute of Structural Engineering (Londres)
- ISSO – International Organization for Standardization (Viena)
- ITBTP – Institute Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (Paris)
- IVBH – Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Lisboa)
- ISRM – International Society for Rock Mechanics
- NRMCA – National Ready Mixed Concrete Association
- PCA – Portland Cement Association
- PCI – Prestressed Concrete Institute
- RILEM – Réunion Internationale des Laboratoires d’Essais de Matériaux
- SSPC – Steel Structures Painting Council
- TVA – Tennessee Valley Authority
- USASI – United States of America Standards Institute
- USBM – United States Bureau of Mines
- USBR – United States Bureau of Reclamation
- USCE – United States Army Corps of Engineering
- USCOLD – United States Committee on Large Dams
- USSG – United States Standard Gage
- 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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- IEC 826 – “Loading and strength of overhead transmission lines”;
- IEC 815 – “Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions”;
- ASCE 10-97 – “Design of Latticed Steel Transmission Structures”.

2.4.3 Padrões

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

2.5 Unidades de Medida e Idioma

2.5.1 Unidades de Medida

No projeto serão adotadas as unidades de medidas do sistema internacional de unidades e de acordo com a legislação brasileira. Para materiais cuja prática corrente adote unidades que não sejam métricas, as mesmas serão mantidas, para não dificultar e evitar confusões no projeto.

2.5.2 Idioma

O projeto será elaborado utilizando a língua portuguesa, como usada no Brasil.

2.6 Elaboração de documentos técnicos

2.6.1 Elaboração de documentos técnicos

Todos os documentos técnicos do projeto serão elaborados em meio magnético. Para os desenhos será empregado, principalmente o *software* gráfico Microstation e, secundariamente o Auto CAD. Para memórias, relatórios, especificações técnicas, listas de materiais serão empregados os softwares Word e Excel.

2.6.2 Formato dos desenhos

Os desenhos serão apresentados os formatos A3 e A4, normalizados pela ABNT, e em casos especiais outros formatos como A1 e A2 estendido.

2.6.3 Relatórios, memórias de cálculo, especificações técnicas e listas de materiais

Os relatórios, memórias de cálculo, especificações técnicas e listas de materiais serão apresentados no formato A4.

3 . ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3.1 Vazões de Dimensionamento dos Vertedouros das Barragens

Os vertedouros serão dimensionados para dois casos básicos, prevalecendo o que resultar no nível d’água mais alto.

3.1.1 Critério Hidrológico

Será utilizada a vazão efluente correspondente à afluência de uma chuva cujo hidrograma corresponde a um período de recorrência de 1.000 anos.

3.1.2 Critério Hidráulico

Será utilizada a vazão efluente correspondente a um acidente operacional em que a vazão nas usinas hidrelétricas e correspondentes válvulas dispersoras será nula após o período de operação normal e a vazão de montante permaneça afluindo por meio de uma das comportas



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

imediatamente a montante da usina, considerada emperrada, por um período de 24 horas após o fechamento dos distribuidores das turbinas correspondentes.

3.2 Critérios de Dimensionamento das Obras de Drenagem

As obras de drenagem serão dimensionadas para vazões correspondentes ao hidrograma com período de retorno de 100 anos, na bacia correspondente.

4 . HIDRÁULICA

4.1 Critérios Gerais do Projeto

4.1.1 Declividade das Obras de Adução

A análise econômica feita na etapa dos Estudos de Viabilidade da Transposição do Rio São Francisco estabeleceu o valor de 0,0001 m/m para o projeto dos canais, para operação em plena capacidade

As obras especiais de adução de água (túneis e aquedutos), sempre que as condições topográficas o determinarem, deverão ter sua declividade aumentada para 0,0004 m/m, respeitando os valores limites de velocidade de escoamento e o número de Froude.

4.1.2 Vazões de Dimensionamento das Obras de Adução

Conforme definido na fase de Viabilidade as obras de transposição de água serão dimensionadas considerando o bombeamento de água fora do horário de pico do sistema elétrico, ou seja, bombeamento durante 21 horas seguidas nos dias úteis e paralisação das bombas no horário de pico. A repartição das vazões que dimensionam cada unidade do sistema está apresentada na **Figura 4.1**.

4.2 Critérios de Projeto Hidráulico

4.2.1 Cálculo do Escoamento

São os seguintes os procedimentos de cálculo para o dimensionamento de canais, adutoras e reservatórios.

4.2.1.1 Dimensionamento dos Canais

– Em regime permanente será utilizada a fórmula de *Manning*:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

sendo:

Q = vazão de dimensionamento, m³/s;

n = coeficiente de rugosidade de *Manning*, s/m^{1/3};

A = área molhada da seção transversal do canal, m²;

R_H = raio hidráulico da seção transversal, m;

S = declividade do canal, m/m.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

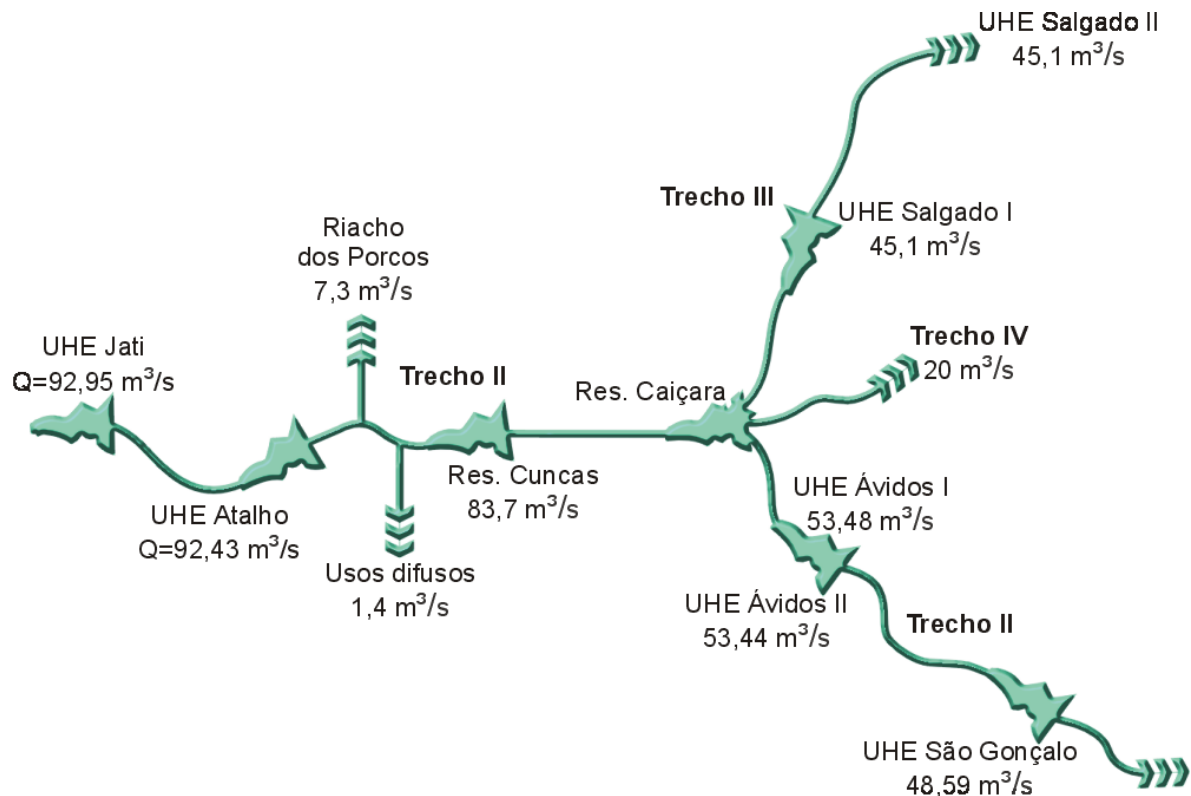


Figura 4.1 – Distribuição de Vazões

- Em regime variado, a verificação do comportamento dos canais em regime variado, com fins de determinação dos níveis d'água máximos normais e máximos maximorum, será feita pelo método de resolução das equações de Saint Venant (método de Mac Cormack).

4.2.1.2 Dimensionamento das Tubulações Forçadas

Será empregada a equação universal das perdas de carga:

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

sendo:

L = comprimento desenvolvido total da tubulação, m;

D = diâmetro interno da tubulação, m;

V = velocidade de escoamento do fluxo na tubulação, m/s;

g = aceleração gravitacional, m/s²

f = coeficiente de perda de carga por atrito, segundo IDELCIK I.E., Memento des Pertes de Charge, dado pela relação:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(0,25 \frac{K}{D} + \frac{2,51}{R_e \sqrt{f}} \right)$$

ou, para o intervalo



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$$0,00008 < \frac{K}{D} < 0,0125$$

utilizar a fórmula

$$f = 0,1 \left(1,46 \frac{K}{D} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}$$

onde:

$K = 0,2$, rugosidade uniforme equivalente em mm para tubos de aço, com juntas soldadas e interior contínuo com revestimento obtido por imersão em asfalto quente (valor obtido da ABNT-PNB 591);

D = diâmetro do tubo, m;

$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$ número de Reynolds;

V = velocidade de escoamento, m/s;

ν = viscosidade cinemática da água = $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; (20°C).

4.2.1.3 Rugosidade das Paredes dos Condutores

Para canais e aquedutos revestidos em concreto, será utilizado $n = 0,015 \text{ s/m}^{1/3}$ para o coeficiente de rugosidade da fórmula de *Manning*.

Para túneis funcionando a superfície livre, será utilizado o coeficiente de rugosidade de *Manning* composto, pela equação de Horton, Einstein.

$$n = \left[\frac{\sum_i^N P_i \cdot n_i^{3/2}}{\sum_i^N P_i} \right]^{2/3}$$

sendo:

n = coeficiente de rugosidade equivalente, $\text{s/m}^{1/3}$;

n_i = coeficiente de rugosidade para o fundo do túnel e para as paredes e teto, $\text{s/m}^{1/3}$;

P_i = perímetro molhado do fundo do túnel, paredes e teto, m.

Neste projeto:

$n_1 = 0,015 \text{ s/m}^{1/3}$ para o fundo do túnel;

$n_2 = 0,035 \text{ s/m}^{1/3}$ para paredes e teto;

Aplicando a fórmula, obtém-se para a rugosidade equivalente $n = 0,028 \text{ s/m}^{1/3}$.

4.2.1.4 Perdas Localizadas

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

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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

onde:

V = velocidade de escoamento na seção estrangulada, m/s;

g = aceleração da gravidade, m/s²;

K = coeficiente de perda de carga, função das características geométricas;

ΔH = perda de carga, m.

4.2.2 Leis de Manobra

Nas estações de bombeamento e grupos geradores para os estudos de transientes hidráulicos, são estabelecidas duas manobras padrão:

a) Lei de manobra normal

Será simulado o desligamento dos grupos motobombas em um tempo igual a um minuto por bomba. As unidades geradoras serão desligadas no mesmo instante, em alguns segundos, dependendo de cada máquina

O tempo de parada dos grupos é de três horas diárias.

Após o intervalo de três horas, os grupos são religados em um intervalo de tempo também de um minuto.

b) Lei de manobras especiais

Deve-se simular situações extremas de funcionamento que podem ocorrer ao sistema do Trecho III, divididas em dois tipos: a operação extrema de critério hidrológico e a operação extrema de critério hidráulico.

As linhas d'água envoltórias obtidas nestes 2 casos são denominadas linhas d'água envoltórias dos NAs máximos maximorum. Deve-se adotar para o dimensionamento do canal de 45 km, da barragem de Várzea Grande e tomada d'água da UHE Salgado I, a linha mais alta das 2 simulações.

b.1) Simulação com critério hidrológico:

Nesta simulação, deve-se operar o sistema do Trecho III com a lei de manobra normal diária durante 4 dias da semana.

Após 2 horas do início do quinto dia, os distribuidores das usinas de Salgado I e Ávidos I fecham normalmente. Neste momento deve-se fazer incidir a enchente milenar sobre o reservatório de Caiçara e Várzea Grande, ao mesmo tempo que se fecham todas as comportas da estrutura de controle de jusante do reservatório de Cuncas. As comportas do reservatório de Caiçara permanecem abertas.

Os hidrogramas são laminados nos seus respectivos reservatórios e também utilizarão a capacidade de armazenamento do trecho de canal de 45 km.

Haverá uma súbita elevação de nível d'água que devem ser apresentados em gráfico NA x Tempo para o reservatório de Várzea Grande. Outro gráfico deve apresentar o perfil do Trecho III com a linha envoltória dos NAs máximos maximorum obtidos pela laminação da enchente milenar junto com as outras linhas envoltórias dos NAs máximos normais e em regime premanente.

b.2) Simulação com o critério hidráulico:

Neste modo de simulação deve-se considerar a possibilidade de falhas operacionais, que podem dar origem a linhas envoltórias mais altas.

Durante os quatro dias de cada semana o sistema do Trecho III funciona coma a lei de Manobra normal diária.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Efetua-se o fechamento dos distribuidores das turbinas das UHEs de Salgado I e Ávidos I, após 2 horas do início do dia. Consideram-se que as mesmas permanecem travadas junto com as válvulas dispersoras, mesmo após as 3 horas previstas para a abertura.

Todas as comportas da estrutura de controle de Cuncas são fechadas totalmente, interrompendo o fluxo para jusante.

Deve-se considerar que só duas das comportas do reservatório de Caiçara conseguirão fechar e, por falha mecânica as outras duas permanecerão abertas. A vazão no canal a jusante será variável e decrescente, o que tenderá a esvaziar o reservatório de Caiçara.

O reservatório de Várzea Grande continuará a receber vazões enquanto a usina de Salgado I continua completamente fechada. Haverá a possibilidade de escoamento pelo vertedouro de Várzea Grande, devido a subida do nível d'água.

4.2.2.1 Classificação dos níveis d'água nos canais, aquedutos e túneis

No escoamento a superfície livre os níveis d'água são os seguintes:

- Nível Normal: Nível d'água com o escoamento em regime permanente uniforme, para a vazão de projeto.
- Nível Máximo Normal: Nível d'água máximo obtido em cada seção transversal do canal ou no reservatório, quando da ocorrência dos transientes hidráulicos após cinco dias de operação (com a lei de manobra normal das unidades).
- Nível Máximo Maximorum: Nível d'água máximo obtido em cada seção transversal do canal ou reservatório, quando da ocorrência de uma enchente milenar nos reservatórios, simultaneamente com os transientes hidráulicos do quinto dia, ou quando do acidente previsto no item 4.2.2 - b2), valendo o que resultar no nível d'água mais alto.
- Nível Mínimo: Nível d'água com o escoamento no canal em regime permanente e a vazão correspondente a uma bomba ou 70% da menor vazão turbinável.

4.2.3 Borda livre e definição das linhas de margens dos canais

- a) Os critérios para definição das margens dos canais, baseiam-se nos critérios de determinação da borda livre, empregando-se a fórmula do U.S. Bureau of Reclamation para o cálculo da borda livre para as seguintes faixas de vazões.
 - $3 \leq Q < 10 \Rightarrow BL = 0,23(\log_{10} Q) + 0,10$
 - $10 \leq Q < 40 \Rightarrow BL = 0,34(\log_{10} Q) - 0,01$
 - $40 \leq Q < 600 \Rightarrow BL = 0,36(\log_{10} Q) - 0,05$
- b) Esta borda livre deve ser acrescentada à linha envoltória dos níveis d'água máximo normais, devido aos transientes hidráulicos que ocorrerão após o quinto dia de operação. Desta forma os níveis d'água máximos decorrentes da operação normal do sistema ficarão contidos dentro da área revestida do canal.
- c) No caso da ocorrência dos níveis máximos maximorum, sejam de origem hidrológica, sejam de origem hidráulica, deverá existir uma borda livre de 30 cm.
- d) Conseqüentemente, sempre que a borda livre dos níveis máximo maximorum se definir acima da cota da borda livre da operação normal, deverão ser previstas muretas em concreto com o nível que garanta a condição anterior.

4.2.4 Vertedouros

- a) Vertedouro de reservatório



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Para os reservatórios a montante dos canais, ou reservatórios de recepção no final de jusante dos canais, foram projetados vertedouros de superfície, sem comportas.

b) Vertedouros de emergência

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

Preferencialmente, estas estruturas são do tipo vertedouro de soleira livre, dimensionadas para a vazão máxima aduzida pelo canal, ou a vazão excedente decorrente de cheias milenares nos reservatórios ligados a este canal.

A cota da crista da soleira deve estar de 0,5 m acima do nível d'água máximo normal.

A lâmina vertente deve variar entre 0,1 m e 1 m, acima da cota da crista.

No dimensionamento será utilizada a seguinte expressão:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{1,5}$$

sendo:

C = coeficiente de vazão;

H = altura da lâmina d'água acima da crista, m;

L = comprimento da soleira, m.

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

4.2.5 Estruturas de Derivação e Válvulas Dispersoras

As estruturas de derivação serão compostas de: comportas, tomadas d'água, tubulação, registros e válvulas dispersoras. Estas estruturas poderão estar acopladas a uma torre dentro do reservatório, ou embutidas na estrutura de concreto das casas de força.

As tomadas d'água serão projetadas com seção de escoamento tal que a velocidade na grade da mesma não ultrapasse a 1,5 m/s. A tubulação entre a tomada d'água e a derivação para as válvulas dispersoras deverá ter seção tal que a velocidade na mesma não ultrapasse a 5,0 m/s.

Após a derivação estarão previstas válvulas dispersoras, precedidas de um registro tipo borboleta, para manutenção das válvulas.

Estas válvulas devem ser dimensionadas a partir da fórmula:

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

Q = vazão, m³/s;

C = coeficiente de descarga, (adotado 0,7);

A = área do conduto a montante da válvula, m²;

H = diferença entre o nível d'água mínimo do reservatório até o eixo da válvula, m.

4.2.6 Tomada D'Água para Usos Difusos

Em todos os reservatórios, onde são previstas derivações específicas será prevista uma tomada d'água para usos difusos com vazão de 2,0 m³/s.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

4.2.7 Usinas Hidrelétricas

De um modo geral devem ser projetadas com as seguintes estruturas básicas de acordo com a topografia local:

- canais de aproximação;
- câmaras de carga;
- vertedouros.
- tomadas d'água;
- tubulações forçadas;
- canais de fuga;
- válvulas dispersoras;

4.2.7.1 Câmaras de Carga

Devem ser projetadas baseadas nas simulações hidrodinâmicas dos canais a que estão acopladas, no desligamento e partida das turbinas consideradas funcionando com suas potências máximas.

4.2.7.2 Válvulas Dispersoras na Casa de Força

Devem possuir capacidade para escoar a vazão total, no caso de parada não programada das turbinas.

4.2.7.3 Tomadas D'Água

Devem possuir áreas de entrada produzindo velocidades de escoamento de no máximo 1,5 m/s.

Devem obedecer à submergência mínima calculada para o nível d'água mínimo operacional de montante.

4.2.7.4 Canais de Fuga a Jusante das Casas de Força

Devem possuir níveis d'água normais a jusante, calculados para a altura de sucção da turbina de maior porte.

A região de jusante da casa de força deverá ser protegida para o nível d'água correspondente à enchente milenar que possa ocorrer no curso d'água correspondente.

4.2.7.5 Lei de Manobra das Turbinas

As casas de força devem possuir leis de manobra semelhantes às das estações de bombeamento.

As vazões totais das turbinas de cada usina hidrelétrica diminuem linearmente até anular-se, mantendo-se durante 3 horas com este valor. Após este intervalo de tempo, as vazões aumentam até voltarem aos seus respectivos valores nominais.

As leis de manobra das estações de bombeamento e das usinas hidrelétricas serão consideradas sincronizadas nas simulações matemáticas dos estudos hidrodinâmicos dos canais.

4.2.7.6 Capacidade de regulação dos grupos turbinas/geradores

Os circuitos hidráulicos a montante das turbinas, sejam túneis ou adutoras metálicas, devem ter características que garantam a regulação das unidades turbo-geradoras, estabelecendo-se a seguinte relação limite:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$$TW/Tm \leq 0,25$$

sendo:

$TW = L \cdot V/g \cdot H_o$ tempo de por em marcha hidráulico em segundos;

L = comprimento da tubulação forçada, m;

V = velocidade do fluxo no trecho, m/s;

g = aceleração gravitacional, m/s²;

H_o = queda líquida da usina, m.

e

$Tm = (WR^2 \cdot Nr^2) / (6,7 \cdot 10^4 \cdot P)$ tempo de por em marcha mecânica, s;

WR^2 = momento de inércia do grupo turbina-gerador, kg x m²;

Nr = velocidade de rotação do grupo, RPM;

P = potência na ponta do gerador, kW.

4.2.7.7 Transitórios Hidráulicos

O cálculo do golpe de ariete será efetuado na tubulação forçada a montante das turbinas, com vazão máxima de projeto, para o fechamento dos distribuidores.

O fechamento dos distribuidores deve ser simultâneo e obedecer a uma variação linear entre a abertura total e o fechamento.

Para turbinas Francis horizontais ou verticais com queda abaixo de 70 m o tempo de fechamento do distribuidor deve variar entre 7,5 a 15 segundos, mantendo-se, sempre que possível, o limite superior de 10 s.

Para turbinas Kaplan tipo “S” de baixa queda, o tempo de fechamento do distribuidor deve variar entre 6 a 8 segundos.

Será utilizado o método das características, levando em conta a dilatação da tubulação e a rigidez de seu engastamento.

Os resultados das simulações do golpe de ariete serão apresentados em 3 curvas acima da linha do teto da tubulação:

- linha piezométrica em regime permanente;
- linha piezométrica envoltória das cotas de pressões máximas ocorridas durante o golpe;
- linha piezométrica envoltória das cotas de pressões mínimas ocorridas durante o golpe.

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 classificadas em três grupos distintos:

- Material de 1ª Categoria – materiais que possam ser escavados por equipamentos convencionais, como escavadeiras, trator de lâmina e *motoscrapers*.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- 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 colúviais 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. Quando os resultados desses ensaios específicos não estiverem disponíveis, os parâmetros serão inferidos a partir de dados indiretos, considerando-se entretanto os seguintes valores de referência:

- Aluviões moles
 - Peso específico natural (seco)..... 14 kN/m³
 - Coesão (*in situ*)..... 10 kN/m²
 - Ângulo de atrito (*in situ*) 10°
- Solos essencialmente arenosos
 - Peso específico natural (seco)..... 18 kN/m³
 - Coesão (*in situ*)..... 0 kN/m²
 - Ângulo de atrito (*in situ*) 28°
- Solos essencialmente argilosos
 - Peso específico natural (seco)..... 15 kN/m³
 - Coesão (*in situ*)..... 10 kN/m²
 - Ângulo de atrito (*in situ*) 20°
- 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 difícil 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 m
- Xistos
 - espessura 3 m



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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 de referência os seguintes parâmetros:

- Xistos
 - Peso específico natural (seco).....20 kN/m³
 - Coesão (*in situ*).....20 kN/m²
 - Ângulo de atrito (*in situ*)28°
- Granitos
 - Peso específico natural (seco).....20 kN/m³
 - Coesão (*in situ*).....20 kN/m²
 - Ângulo de atrito (*in situ*)32°
- 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 definidos coerência, grau de fraturamento, alteração, condutividade hidráulica e direções preferenciais de fraturamento.

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

- Xistos
 - Peso específico natural (seco).....26,5 kN/m³
 - Coesão variável em função do grau de alteração
 - Ângulo de atrito30°
- Granitos
 - Peso específico natural (seco).....27 kN/m³
 - Coesão variável em função do grau de alteração
 - Ângulo de atrito40°

5.3 Características de Materiais Compactados

Para a execução de aterros deverão ser empregados 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:

FATORES DE EMPOLAMENTO		
Atividade		Fator
Origem	Destino	
Escavação comum (1ª categoria)	Aterro compactado	0,8



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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 (1ª categoria)	Bota - fora	1,25
Escavação de material de 2ª categoria	Bota - fora	1,3
Escavação obrigatória de rocha	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 de referência apresentados a seguir:

- Solo compactado
 - Peso específico natural (seco).....18 kN/m³
 - Coesão10 kN/m²
 - Ângulo de atrito28°
- Areia compactada
 - Peso específico natural (seco).....20 kN/m³
 - Coesão0 kN/m²
 - Ângulo de atrito30°
- Transição
 - Peso específico natural (seco).....20 kN/m³
 - Coesão0 kN/m²
 - Ângulo de atrito35°
- Enrocamento compactado
 - Peso específico natural (seco).....22 kN/m³
 - Coesão0 kN/m²
 - Ângulo de atrito40°
- Rocha decomposta compactada
 - Peso específico natural (seco).....20 kN/m³
 - Coesão20 kN/m²
 - Ângulo de atrito35°



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

5.4 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.

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 mecanicamente. 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, em princípio, inclinação de 1V:1,5H. Nos casos específicos em que a altura for muito elevada, estes taludes deverão ser abrandados para inclinações de 1V:1,8H.

Para aterros em solo compactado com alturas superiores a 10 m, deverão ser previstas bermas de 3 m de largura, a cada 10 m de altura.

A crista dos aterros junto ao topo dos taludes da seção de escoamento deverá apresentar largura mínima de 3,5 m e declividade transversal de 2%, com caimento para a parte externa da seção.

5.5 Seções de Escoamento dos Canais

5.5.1 Seções em Escavação em Solo

Para locais onde forem implantadas seções hidráulicas, através da escavação em solo, os taludes deverão apresentar inclinação de 1V:1,5H. A superfície final do canal deverá ser impermeabilizada com uma geomembrana e protegida por uma laje de concreto.

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 apresentar uma resistência característica f_{ck} de, no mínimo, 15 MPa aos 28 dias.

A espessura do revestimento em concreto será de 0,05 m nos taludes e 0,12 m 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 0,3 m que será descarregado para fora do canal, após o trecho escavado.

5.5.2 Seções Escavadas em Material de 2ª categoria

Os canais implantados em material de 2ª categoria (rocha alterada mole) deverão ser construídos com taludes inclinados 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 5.5.1.

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

5.5.3 Seções Escavadas em Rocha

Os canais implantados em maciço rochoso deverão ter inclinação de 1V:1,5H. O revestimento final da seção deverá ser feito com geomembrana, de forma similar à descrita no item 5.5.1.

Para a implantação da geomembrana e da camada de concreto, deverá ser executado o pré-fissuramento ou *smooth blasting* para minimizar a sobrecavação 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 m de largura de concreto poroso e solo-cimento. No fundo do canal a regularização será feita com areia ou pedrisco

5.5.4 Seções em 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 5.5.1. O revestimento será constituído por geomembrana e camada de concreto, com as características indicadas no item 5.5.1.

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 5.5.1

5.6 Túneis

Para a implantação de túneis, será considerada a solução através de escavação convencional, a fogo para maciços rochosos e NATM para maciços de rocha muito alterada ou solo.

A seção a ser adotada nos estudos consistirá na forma arco-retângulo com base igual à altura, como o 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 talus, foliações desfavoráveis do maciço e grau de fraturamento do maciço rochoso. Serão considerados, entre outros dispositivos chumbadores, tirantes isolados ou cortinas atirantadas, além da execução de túneis falsos e sistemas de rebaixamento do lençol freático adequado aos locais.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Para a classificação de maciço rochoso em obras subterrâneas deverá ser utilizado o “Sistema Q” de 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.

5.7 Barragens

A crista terá 6 m 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, calculada pelo método de Saville, por exemplo, com espessura na normal ao talude de $2 \times D50$. A proteção de enrocamento será estendida até 2 m abaixo da cota da soleira da tomada d’água para uso difuso.

Como grande parte dos rios existentes na rota da PTSF são secos em grande parte do tempo, o desvio dos rios para a construção das barragens ficará a cargo do Construtor, sendo colocada uma nota nos desenhos e ressaltado 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 10 m de altura.

O filtro vertical terá largura mínima de 0,5 m 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;
- 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 0,5 H na base e 3 m na crista.

A largura de cada uma das camadas das transições de jusante será, em princípio, de 1 m e, para as transições de montante, conforme dimensionamento.

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

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

5.8 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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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 Usinas Hidrelétricas

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Subestação elevadora 69 kV para transmissão da energia gerada;
- Transformadores elevadores 6,9 - 69 kV para elevar a tensão até a tensão de transmissão;
- Geradores e equipamentos associados (excitação, proteção contra surtos, etc.);
- Cubículos de Média Tensão 6,9 kV;
- Sistema de comando, controle, proteção e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente contínua;
- Sistema de iluminação;
- Sistema de vias de cabos;
- Sistema de fiação;
- Sistema de aterramento.

6.2.2 Nas Subestações Elevadoras 69 – 230 kV

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas:

- Transformadores elevadores 6,9 - 69 kV para elevar a tensão até a tensão de transmissão;
- Sistema de comando, controle, proteção e supervisão;
- Sistema de telecomunicação;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente alternada;
- Sistema de serviços auxiliares de corrente contínua;
- Sistema de iluminação;
- Sistema de vias de cabos;
- Sistema de fiação;
- Sistema de aterramento.

6.2.3 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;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Transformador de distribuição 6900-380/220 V
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento;

6.2.4 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 6900-380/220 V
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento;

6.2.5 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 6900-380/220 V
- Sistema de iluminação;
- Sistema de fiação e vias de cabos;
- Sistema de aterramento;

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

6.3.1 Localização e Número

A localização e o número de usinas, subestações, estruturas de controle, tomadas d'água de uso difuso e estruturas de derivação, estão definidas Relatório R1 – Descrição do Projeto.

6.3.2 Unifilar Geral dos Aproveitamentos

O modo de conexão dos geradores à subestação elevadora será através de um cubículo em 6,9 kV, onde estará instalado o disjuntor de manobra do gerador.

As unidades geradoras de cada usina serão ligadas em paralelo sobre a barra de 6,9 kV do cubículo de manobra. O cubículo de manobra de 6,9 kV será ligado a subestação elevadora 6,9 - 69 kV através de um barramento blindado de fases segregadas. As subestações das usinas, em 69 kV, terão esquema de manobra de barra simples.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

6.3.3 Unidades Geradoras

O número de unidades geradoras por usina será de 4 unidades, com potências diferentes em função da variação de vazões.

6.3.4 Subestações

6.3.4.1 Subestações Elevadoras 6,9 – 69 kV

As subestações elevadoras 6,9 – 69 kV serão instaladas sempre o mais próximo possível das usinas e serão constituídas por um esquema de barra simples.

Estas subestações elevarão a tensão de geração de 6,9 kV para 69 kV e serão formadas pelos seguintes *bays*:

- um *bay* de entrada proveniente do transformador elevador;
- um *bay* de entrada da subestação de 69 kV da Usina anterior;
- um *bay* de saída para subestação de 69 kV da próxima Usina ou subestação elevadora 69 – 230 kV;

6.3.5 Arranjo Físico e Equipamentos

6.3.5.1 Usinas

Os equipamentos elétricos principais terão sua localização intimamente ligada ao desenvolvimento dos projetos de engenharia civil e mecânica, havendo necessariamente um processo de interação entre os diversos setores.

Da implantação dos geradores e associados deve-se partir para a localização dos demais equipamentos elétricos principais, visando sempre um projeto econômico e funcional.

• Geradores

As unidades geradoras serão síncronas, trifásicas, ligadas em estrela com neutro aterrado através de resistor de aterramento ou transformador de distribuição ligado a resistor de baixa tensão para limitação da corrente de defeito à terra.

As unidades geradoras serão de eixo horizontal ou vertical (dependendo do tipo de turbina hidráulica), acionados por turbina hidráulica, projetados para instalação em câmara de concreto, com sistema de excitação estático alimentado a partir dos terminais do próprio gerador.

O sistema de extinção de incêndio no piso dos geradores, adotado, será por carreta com reservatório.

A saída de 6,9 kV dos geradores será através de barramento blindado de fases segregadas com derivação para o cubículo de TPs e Surtos e ligação até o Quadro de Distribuição em Média Tensão.

Para ligação entre o Quadro de Distribuição em Média Tensão e o Transformador Elevador será através de barramento blindado de fases segregadas, ou aérea por linha de transmissão em 6,9 kV, ou será através de cabos isolados 6/10 kV instalados em canaletas de concreto.

No caso de instalação de cabos isolados de 6/10 em canaletas, deverão ser instalados em suportes que propiciem a necessária resistência mecânica aos esforços decorrentes de curto circuito e o adequado espaçamento estabelecido pela disposição física adotada para seu caminhamento.

O transformador elevador será instalado ao tempo na subestação elevadora da usina.

• Efeito de Inércia das Unidades Geradoras



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

O efeito de inércia dos sistemas girantes das unidades geradoras – GD² – deverá atender às condições transitórias do circuito hidráulico da turbina e às condições de estabilidade na operação conectada à rede.

- Linha de Eixo da Unidade – Sobrevelocidade

A sobrevelocidade máxima prevista para as unidades geradoras, em caso de rejeição de carga plena, é de 150 %.

6.3.5.2 Subestações

- Subestações Elevadoras 6,9 – 69 kV

As subestações deverão ser constituídas por barramentos flexíveis sustentados por estruturas de aço ou concreto para subestações de 69 kV, padronizadas pela CHESF.

Os barramentos principais serão dimensionados para uma corrente nominal de 1000 A e suportabilidade de curto circuito de 31 kA para as subestações de 69 kV.

O nível de isolamento a impulso para as subestações de 69 kV será de 350 kV.

Os transformadores instalados nas subestações terão nível de isolamento a impulso de 350 kV no lado de 69 kV.

- Transformadores Elevadores 6,9 – 69 kV

Os transformadores elevadores serão instalados ao tempo na área das subestações.

Os transformadores elevadores das usinas serão trifásicos, de dois enrolamentos e imersos em óleo isolante. Os terminais do enrolamento de tensão superior, em 69 kV(+/- 2 x 2,5%), e os terminais do enrolamento de tensão inferior, em 6,9 kV, potência de acordo com a necessidade, ONAN/OFAF.

6.3.5.3 Equipamentos de Controle e Proteção

Todos os painéis serão orientados de maneira a facilitar a identificação e visualização pelo operador, principalmente dos dispositivos de controle, instrumentos e sinalização.

Dependendo dos dispositivos utilizados nos painéis de comando, controle e proteção, será prevista uma área com ar condicionado.

6.3.5.4 Equipamentos Auxiliares

Em princípio acompanharão a localização dos equipamentos mecânicos, ou estarão localizados de modo mais favorável a sua finalidade.

A localização será tal que permita um fácil acesso dos operadores e que possua espaço suficientemente amplo para os trabalhos de montagem e manutenção.

O transformador para os serviços auxiliares será um do tipo seco, em resina epóxi, potência de acordo com a necessidade, relação 6900-380 V, com neutro acessível.

6.3.5.5 Equipamentos de Emergência

Para atender a falta de energia nos serviços auxiliares de corrente alternada da Casa de Força e Tomada D'água será prevista a instalação de um grupo diesel gerador (GDG) com a finalidade exclusiva de alimentar parte da iluminação, sistema de comando e controle e alguns equipamentos de pequeno porte.

A potência gerada pelo GDG será de aproximadamente 125 kVA na tensão de 380 V FF e 220V FN.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

6.3.5.6 Áreas específicas

A sala de controle estará locada o mais próximo do centro de cargas da Casa de Força, devendo ter sistema de ar condicionado.

Nesta sala estarão os equipamentos do sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Casa de Força, Tomada D'água e Subestações.

- Sala Elétrica

A sala elétrica estará locada o mais próximo do centro de cargas da Casa de Força.

Nesta sala estarão os painéis de comando, controle e proteção das unidades geradoras, os painéis de comando controle e proteção da subestação, os quadros de distribuição de serviços auxiliares de ca e cc e os carregadores de baterias.

- Área de Montagem

Área necessária para armazenamento de pelo menos um gerador, além da montagem simultânea de componentes do gerador.

- Sala do Grupo Diesel

Será necessário uma sala exclusiva para o GDG, em local arejado com uma boa circulação de ar.

- Sala de Baterias

Será prevista área para sala de baterias, fechada, ventilada e drenada adequadamente, contendo baterias de acumuladores e servidas por aparelhagens a prova de gases e vapores (luminárias, interruptores, etc.)

- Sala dos Cubículos de Média Tensão

Os cubículos de média tensão 6,9 kV estarão instalados em sala fechada e ventilada onde se instalará: os Cubículos de Distribuição de 6,9 kV, os Cubículos de Excitação e os Cubículos de Surtos.

6.3.6 Sistema de Aterramento

6.3.6.1 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, na própria Casa de Força, Subestações, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso será utilizada uma resistividade de 3.000 ohm/m para a fundação.

6.3.6.2 Casa de Força

O sistema de aterramento será constituído por uma malha de cabos de cobre nu, junto a rocha, embutidos, de capacidade adequada para suportar as correntes de curto-circuito para terra durante um (01) segundo, com elevação máxima de temperatura de 450 graus Celsius.

A malha deverá ter características suficientes para garantir que as diferenças de potencial locais se situem dentro dos limites aceitáveis por norma inclusive no tocante à resistência de aterramento.

- Aterramento de Equipamentos e Estruturas

As ligações a equipamentos e estruturas serão feitas por cabos de cobre nu com terminais e conectores aparafusados.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

A seção mínima do condutor para conexão com os equipamentos deverá ser 70 mm².

A seção mínima para condutores embutidos em concreto será, por motivos de resistência mecânica, 95 mm².

Esta ligação assegurará um caminho de baixa impedância de retorno das correntes de fuga de cada equipamento, condutos ou quaisquer estruturas metálicas para o terminal do neutro das fontes de alimentação do efeito à terra.

Todas as estruturas e partes metálicas não energizáveis serão conectadas ao sistema de aterramento constituído por cabos de cobre nu embutidos no concreto.

Toda parte metálica não energizável dos equipamentos elétricos, tanto de média tensão, 6,9 kV, como de baixa tensão, 380/220 Vca ou 125 Vcc, terão suas partes acessíveis conectadas ao sistema de aterramento.

6.3.6.3 Subestações

As subestações deverão ser providas de um sistema de aterramento constituído por cabos de cobre nu enterrados a uma profundidade mínima de 60 cm, interconectados por soldagem decorrente de processo exotérmico.

No dimensionamento do cabo da malha deverá ser adotado um tempo de eliminação da falta de um segundo, para cálculo dos potenciais deverá ser adotado um tempo de falta de 0,5 segundos.

O espaçamento entre condutores da malha será estabelecido em função do controle das tensões de toque, passo e corrente de malha. A bitola dos cabos da malha será definida em função das correntes de curto circuito previstas para o local, adotando-se como bitola mínima por 70 mm² em função dos esforços mecânicos do lançamento e instalação.

6.3.6.4 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 deverão ser providas de um sistema de aterramento constituído por um triângulo de aterramento, formado por três hastes de terra de 3 m de comprimento e bitola ¾", interligados por cabos de cobre nu bitola 70 mm², enterrados.

6.3.7 Equipamentos Principais

6.3.7.1 Aterramento dos geradores

Os geradores da usina serão conectados ao respectivo cubículo de média tensão 6,9 kV. Os geradores serão ligados em estrela e o neutro aterrado através de resistor de aterramento ou transformador tipo distribuição e resistor. O dimensionamento destes equipamentos deverá limitar a corrente de falta de uma fase à terra a um valor da ordem de 20 A.

6.3.7.2 Aterramento do transformador elevador

O transformador elevador será ligado em triângulo (primário) – estrela (secundário), grupo de ligação dYN1. O neutro do secundário será solidamente aterrado, provendo desta forma o aterramento do sistema de transmissão de 69 kV.

6.3.8 Equipamentos de Manobra em 6,9 kV das Unidades Geradoras

Para permitir as manobras de sincronização e desligamento dos geradores no sistema e para proteção dos equipamentos de geração serão empregados disjuntores de 6,9 kV. Os disjuntores serão tripolares, com câmara de extinção de arco em SF₆ e instalados no cubículo de média tensão 6,9 kV, na casa de força da usina.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Os disjuntores deverão atender a norma NBR 7118 da ABNT e IEC 60056.

6.3.9 Equipamentos de Proteção em 69 kV

Além dos disjuntores, já citados anteriormente, para proteção das instalações de 69 kV serão empregados pára-raios que tem por finalidade limitar os surtos de tensão ou corrente a valores suportáveis pela instalação. As características especificadas para os pára-raios serão confirmadas em estudo de coordenação de isolamento, assim como sua localização.

Os pára-raios deverão atender as normas IEC 60099-4.

6.3.10 Compatibilidade Eletromagnética

Todas instalações da usina deverão atender requisitos de proteção contra interferências eletromagnéticas. Os equipamentos eletrônicos sensíveis deverão ser convenientemente protegidos contra estas interferências e sua instalação se fará de acordo com as normas ABNT e IEC e recomendações dos fabricantes.

6.3.11 Comando, Controle, Proteção e Supervisão

6.3.11.1 Generalidades Operativas - Comando, Controle e Supervisão

Deverá ser previsto que o comando, controle e supervisão das Usinas, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação serão executados normalmente, a partir do Centro de Controle e Operação (CCO) através de comunicação em protocolo aberto com o Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) As usinas deverão executar as mesmas funções quando não estiver em interligadas ao Centro de Controle e Operação (CCO) ou ainda automaticamente sem supervisão pelas UACs ou manualmente atuando diretamente nos equipamentos.

6.3.11.2 Estrutura Hierárquica do Sistema de Comando Controle e Supervisão

A estrutura hierárquica do sistema digital de supervisão e controle das Usinas e Subestações será concebida em três níveis funcionais.

O nível inferior do SDSC, identificado como nível 1, corresponderá aos subsistemas locais de aquisição de dados e controle associados aos elementos das Usinas, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'Água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação.

Os equipamentos do nível 1 do SDSC, quais sejam, as unidades de aquisição de dados e controle (UACs) formarão subsistemas funcionalmente autônomos e independentes entre si e dos níveis superiores, no que se refere à execução das funções básicas de controle e automatismo necessárias à operação correta e segura dos equipamentos associados.

Os reguladores de tensão e de velocidade, fornecidos pelo fabricante das turbinas e geradores, se comunicarão com o SDSC através de canais de comunicação com as UACs das unidades geradoras. Os protocolos deverão ser implementados em processadores inteligentes, com mecanismos de desenvolvimento que suportem edições e modificações futuras dos programas. Neste caso, os reguladores de tensão e de velocidade serão também interligados as UACs das respectivas unidades geradoras através de sinais individualizados, analógicos e binários (contatos secos).

O nível 2 do SDSC, corresponderá às funções centralizadas de supervisão e controle. O conjunto de equipamentos computacionais do nível 2 deverá estar totalmente interconectado através de uma rede digital de comunicação redundante de alta velocidade, de no mínimo 500 kbits/s.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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

No nível 2 os processadores de comunicação com sistemas computacionais externos serão implementados através dos GBDs (Gerenciador da Base de Dados).

Os dois processadores de comunicação externa deverão poder operar em configuração dual, para suporte às funções de comunicação com o Centro de Controle e Operação.

Estes processadores deverão absorver todas as especificidades dos protocolos de comunicação, em todos os seus níveis, de forma transparente para os demais sistemas computacionais.

Todos os canais redundantes de comunicação com sistemas externos deverão corresponder a interfaces no SDSC.

A comunicação entre o SDSC e o CCO, será *dual* e terá por meio físico dois canais de comunicação digital de 64 kbps operando de forma redundante e simultânea.

O protocolo a ser implementado para a comunicação com o CCO é baseado na recomendação IEC 870-5-101.

Toda a comunicação entre o CCO, as Usinas, as Estruturas de Controle e as Tomadas D'água de Uso Difuso, terão como meio físico um cabo de fibras ópticas que será instalado no cabo pára-raios das Linhas de Transmissão de 230 kV, 69 kV e 6,9 kV(cabo OPGW).

6.3.11.4 Proteção

O sistema de proteção será formado por:

- Sistema de Proteção da Subestação 6,9-69 kV (no caso de Usina);
- Sistema de Proteção da Subestação 69-230 kV (no caso de Subestação Elevadora);
- Sistema de Proteção das Unidades Geradoras (para Usina);
- Sistema de Proteção das Linhas de 69 kV;
- Sistema de Proteção das Linhas de 230 kV.

Todo o sistema de proteção será definido atendendo ao princípio de proteção principal e retaguarda.

Os sistemas de proteção numéricos possuirão recursos de autodiagnóstico incorporados, possuirão informações importantes referentes à história das últimas faltas (partida, disparo, etc.).

Os sistemas de proteção possuirão interfaces de comunicação com o sistema superviso SDSC para transmitir informações sincronizadas sobre os principais eventos referentes às proteções (função atuada, partida, disparo, falta de tensão auxiliar, defeito do relé, etc.).

6.3.11.5 Controle Hidráulico

Todo o controle hidráulico das Usinas, das Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e das Estruturas de Derivação será feito por UACs e interligadas ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) através de um cabo de fibras ópticas que será instalado no cabo pára-raios das Linhas de Transmissão 230 kV e 69 kV(cabo OPGW) ou de um cabo de fibra óptica instalado junto com a linha de 6,9 kV (cabo óptico espinado).

Todos os sistemas de controle hidrológicos de Estações distantes onde os cabos OPGW não atendem serão feitos com aquisições de dados através de UACs e transmitido ao CCO através de satélite.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

6.3.12 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 Usinas, Subestações, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso e Estruturas de Derivação considerando uma operação automática e não atendida da instalação.

6.3.12.1 Tensões Nominais

Estarão disponíveis as tensões de:

- 6,9 kV (+1- 5%), 60 Hz, trifásico, neutro aterrado, derivado do Quadro de Distribuição de 6,9 kV, para alimentação dos Transformadores de Serviços Auxiliares;
- 380/220 V (+1- 10%), trifásico mais neutro, obtida dos Transformadores de Serviços Auxiliares e do Grupo Diesel Gerador de Emergência, para alimentação dos sistemas auxiliares das unidades geradoras, dos equipamentos de manobras da subestação, dos transformadores abaixadores ou elevadores, dos carregadores de baterias, dos órgãos de controle hidráulicos, e para alimentação primária do sistema de iluminação normal, tomadas de força e outras cargas maiores que 1 kW.

6.3.12.2 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.

6.3.13 Serviços Auxiliares em Corrente Contínua

Os Serviços Auxiliares em Corrente Contínua serão projetados de forma a alimentar com alta segurança os dispositivos de comando, controle e proteção das instalações, considerando-se uma operação automática e não atendida da instalação.

6.3.13.1 Tensões Nominais

Estarão disponíveis as tensões de:

- 125 V (+10 - 20%), 2 fios, sistema isolado, obtida das baterias de acumuladores e carregadores, para alimentação dos sistemas de comando, controle e supervisão digital, proteção, inversores, alarmes, iluminação de emergência, telecomando, telesupervisão e se necessário tensão de 48 Vcc deverá ser conseguida através de conversores partindo do 125 Vcc.

6.3.13.2 Configuração do Sistema Auxiliar em Corrente Contínua

O Sistema de Serviços Auxiliares em 125 Vcc da Usina será constituído por dois conjuntos carregador-bateria, operando em regime de flutuação, cada um com capacidade de alimentar toda a carga da Usina e Subestação, e respectivo quadro de distribuição que alimentará as cargas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

As baterias de acumuladores, do tipo chumbo-ácido, serão dimensionadas para atender, em caso de emergência, a um ciclo de descarga de quatro horas com tensão final de 105 V.

Os carregadores, serão do tipo estático, providos de regulação automática de tensão de saída, instalados em quadros juntamente com dispositivos de proteção, comando e supervisão, e com alimentação em 380 Vca, trifásico, 60 Hz. O seu dimensionamento assegurará a alimentação simultânea das cargas e da bateria em flutuação, ou em cargas de equalização. Deverá ser prevista operação em carga profunda através dos diodos de queda.

Os requisitos operativos são:

- Comando será normalmente automático, programado para garantir a alimentação segura dos dispositivos de proteção e com opção para operação manual para testes e condições especiais;
- Supervisão compreenderá a sinalização de estados, medição e anunciação de defeitos de circuito de alimentação principal e carregadores;
- Proteção seletiva, através de fusíveis e disjuntores com dispositivos contra sobrecargas e curto-circuito.

6.3.14 Sistema de Telecomunicações

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

- Cabos e materiais ópticos;
- Elos ópticos;
- Multiplexers (MUX);
- Teleproteção;
- Centrais telefônicas;
- Distribuidores ópticos (DO);
- Distribuidor Geral (DG);
- Rede telefônica para voz e dados;
- Quadro de Distribuição de CC e CA;
- Transceptores Rádio Digital.

As características serão as seguintes:

- Cabos ópticos OPGW para interligação entre as SEs e Usinas;
- Cabos ópticos espinados para interligação entre SE, 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: SEs / Usinas, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso, CCO;
- Central telefônica PABX-CPA digital;
- Distribuidor geral nas Usinas dentro do escopo das centrais telefônicas;
- Rede para comunicação de voz e dados mista, com um patch panel na sala de telecomunicações;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Sistema de alimentação de - 48 Vcc, obtida do 125 Vcc através de conversores;
- Quadro de distribuição CC e CA nas salas de controle;
- Enlace via rádio digital com a concessionária de comunicação mais próxima.

O Sistema de Telecomunicações das Usinas, Estruturas de Controle, Tomadas D'água de Uso Difuso, Estruturas de Derivação e CCO deverá atender as necessidades de comunicação de voz, dados, controle e teleproteção. Adicionalmente deverá ser atendida a interligação com a telefonia pública.

6.3.15 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação proporcionará o iluminamento adequado às diversas áreas da Usina, Subestações, Estruturas de Controle e Tomadas D'água de Uso Difuso 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.

7 . LINHA DE TRANSMISSÃO

7.1 Critérios de Projeto Eletromecânico para 69 kV

7.1.1 Concepção Básica do Projeto

A linha de transmissão 69 kV UHE Salgado II – SE Caiçara, foi concebida em circuito duplo, utilizando estruturas metálicas autoportantes e mantendo, de um modo geral, o traçado próximo à rodovias visando a facilidade de acesso à construção e manutenção.

Os critérios básicos de projeto serão apresentados em detalhe nos próximos itens deste documento e foram definidos de forma a atender aos indicadores sistêmicos, aos indicadores elétricos e aos indicadores mecânicos dos requisitos básicos do sistema.

7.1.2 Normas Adotadas

O projeto será desenvolvido com base em normas brasileiras e internacionais, sendo as principais:

- ABNT NBR 5422/85 – “Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica”;
- ABNT NBR 8449/84 – “Dimensionamento de cabos pára-raios para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica”;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- ABNT NBR 7270/88 – “Cabos de alumínio com alma de aço para linhas aéreas”;
- ABNT NBR 8850/02 – “Execução de suportes metálicos treliçados para linhas de transmissão”.

7.1.3 Critérios Para Definição dos Cabos: Condutor e Pára-Raios

7.1.3.1 Cabo Condutor

A escolha do cabo condutor obedecerá ao critério de otimização técnico-econômica, levando-se em conta os aspectos elétricos, mecânicos e estruturais.

7.1.3.2 Cabo Pára-Raios

O dimensionamento dos cabos pára-raios deverá levar em conta os aspectos elétricos, mecânicos e térmicos, objetivando:

- manter sua integridade com suficiente margem de segurança em todas as condições de trabalho previstas;
- minimizar a ocorrência de vibrações eólicas, que podem danificar o cabo precocemente;
- suportar eventuais correntes de curto circuito monofásicas.

O cabo a ser adotado deverá satisfazer, simultaneamente, aos requisitos de ordem mecânica e térmica. A escolha da seção e do material deverá ser feita de modo que os cabos suportem, sem aquecimentos prejudiciais, as correntes elétricas que por eles circulem durante faltas para terra. Nesse particular, é importante considerar, entre outros, a temperatura máxima admissível, os tempos de atuação da proteção, as características de religamento dos disjuntores e relés e as condições operativas.

A temperatura máxima do cabos pára-raios será limitada a 180° (cabo OPGW).

Tempo de atuação da proteção (s)	OPGW
	Temp. Final de 180°C
0,1 (com teleproteção)	27
0,4 (proteção de retaguarda)	13,5

Correntes máximas admissíveis em cabos pára-raios (kA)

7.1.4 Cadeias de Isoladores

7.1.4.1 Coordenação Eletromecânica das Cadeias

A determinação da resistência eletromecânica nominal das cadeias para cada tipo de aplicação foi feita com base nas cargas máximas atuantes em cada estrutura, em função de suas características de utilização, e nas recomendações da norma NBR-5422, ou seja:

- Carga máxima de curta duração (vento máximo) = 60% da carga de ruptura da cadeia
- Carga máxima permanente (EDS) = 40% da carga de ruptura da cadeia

Todas as ferragens das cadeias e os isoladores serão compatíveis com a sua posição no conjunto de carga nominal determinada na tabela acima.

As cadeias de suspensão do jumper serão do tipo I simples com carga nominal de 80 kN.

7.1.4.2 Características dos Isoladores

Serão utilizados isoladores tipo polimérico com carga de ruptura e nível de isolamento compatível com as características da linha.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

7.1.4.3 Cadeias de Suspensão e Ancoragem do Condutor

As cadeias de suspensão serão do tipo I simples para todas as fases. As cadeias de suspensão para o jumper seguirão a mesma regra. As cadeias de suspensão não terão nenhum tipo de anel ou raquete anti-corona, já que neste nível de tensão as perdas por este efeito são desprezíveis.

As cadeias de ancoragem serão simples também, e também não necessitarão de anéis anti-corona.

Todas as cadeias serão detalhadas com o menor número de componentes possível, assegurando-se, porém total mobilidade do conjunto de forma a evitar a concentração de esforços ou a flexão das peças individuais.

7.1.5 Conjuntos de Fixação do Cabo Pára-raios

Os conjuntos de fixação dos cabos pára-raios (suspensão e ancoragem) serão desenvolvidos para o cabo OPGW com ferragens específicas para este tipo de cabo.

7.1.6 Acessórios

7.1.6.1 Sistema Anti-Vibração

A linha de transmissão será provida de um sistema de amortecimento de vibrações eólicas com o objetivo de dissipar a energia introduzida pelo vento no sistema de cabos, reduzindo desta forma a amplitude de vibração das ondas estacionárias, e portanto a deformação nos fios dos cabos, a um nível tal que se elimine o risco de ruptura dos fios por fadiga a flexão.

O sistema anti-vibração será definido separadamente para o feixe de cabos condutores e para os cabos pára-raios. A definição final e o detalhamento do sistema de vibração dependem de uma série de fatores, entre os quais podemos citar:

- Comportamento do vento
- Topografia característica da região
- Comprimento dos vãos
- Comportamento mecânico do cabo (tração de instalação e de temperatura mínima)
- Material e formação dos condutores (auto-amortecimento)
- Características de amortecimento dos acessórios utilizados no sistema anti-vibração, em especial a curva de resposta em frequência dos mesmos.

Assim, nesta fase do projeto básico, será definido o seguinte sistema anti-vibração:

a) Para os condutores

Serão instalados espaçadores rígidos com a função exclusiva de manter constante o espaçamento do feixe de cabos e serão instalados amortecedores de vibração tipo *Stockbridge* ou preformados espiralados em cada condutor com o objetivo de dissipar as vibrações introduzidas pelo vento. A quantidade de amortecedores será função do comprimento de cada vão e das características de amortecimento indicadas pelo fabricante.

b) Para os cabos pára-raios

Serão instalados amortecedores de vibração individuais tipo preformados espiralados. A quantidade de amortecedores será função do comprimento de cada vão.

As características exatas do sistema, como curvas de dissipação, tabela de quantidade de amortecedores, tabela de posicionamento e outras somente serão definidas na fase executiva do projeto uma vez conhecido o fornecedor do sistema e os vãos reais da linha.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

Basicamente o estudo a ser desenvolvido busca evitar que ocorram deformações dos cabos que superem os valores aceitáveis de deformação por flexão ou por fadiga, evitando assim o risco de ruptura de fios.

7.1.6.2 Esferas de Sinalização

Serão utilizadas esferas de sinalização de acordo com a norma brasileira NBR-8664 em todas as travessias que assim o justifiquem. As esferas serão em material polietileno ou fibra de vidro pintadas na cor laranja aeronáutico padronizada. O número de esferas, posicionamento e localização serão definidos na fase do projeto executivo em função das características reais dos vãos de travessia.

7.1.6.3 Luvas de Emenda e Reparo

Para os cabos CAA está previsto o uso de luvas de emenda do tipo a compressão e luvas de reparo do tipo preformado.

Para o cabo de aço galvanizado serão utilizadas luvas de emenda do tipo a compressão.

7.1.7 Aterramento

7.1.7.1 Critérios de Dimensionamento

O sistema de aterramento adotado para as estruturas da linha de transmissão é do tipo contrapeso radial com 4 ramos conectados aos pés da estrutura. O dimensionamento do comprimento de cada ramo será feito em função da resistividade do solo ao longo do traçado da linha e do valor de resistência de pé de torre que seja necessário.

Em princípio o sistema será dimensionado para atingir uma resistência média de aterramento ao longo de toda a linha de 20 Ω , com um máximo individual de 50 Ω .

7.1.7.2 Materiais Utilizados

O contrapeso será uma cordoalha de aço galvanizado 3/8" SM. A conexão do fio contrapeso à torre será feita por meio de presilhas fixadas por parafusos aos montantes da estrutura, no caso de torres autoportantes, e através de conectores especiais aplicados aos cabos de estaiamento ou às hastes de ancoragem das torres estaiada. A ampliação do aterramento, quando necessária, será feita por meio de emendas com grampos paralelos.

7.2 Critérios de Projeto de Estruturas para 69 kV

7.2.1 Introdução

Apresenta-se neste capítulo os conceitos e parâmetros utilizados para elaboração dos diagramas de carregamento das estruturas que serão utilizadas no projeto básico da linha de transmissão SE Caiçara – UHE Salgado, em 69 kV, correspondente ao Trecho III.

7.2.2 Norma adotada

- ABNT NBR 5422/85 – “Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica”;

7.2.3 Definição da série das estruturas utilizadas

Os valores de vão médio, vão de peso, alturas e ângulos de deflexão das torres da linha serão definidos a partir de uma análise de várias alternativas de distribuição sobre o perfil da linha, elegendo-se a mais econômica.

A otimização dos parâmetros para a escolha das estruturas serão admitidas pelos seguintes critérios:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Os tipos de estruturas que compõe a série deverão atender a todas a situações de carregamentos possíveis de se encontrar ao longo da linha:
- Cada tipo de estrutura deverá atender às suas características selecionadas de modo que possa ser utilizado sempre próximo de sua capacidade máxima.

A série de estruturas será:

TORRE	VÃO MÉDIO (m)	VÃO DE PESO (m)	ÂNGULO (°)	TIPO
S61S	350	500	3	Suspensão / Autoportante
S62S	450	600	6	Suspensão / Autoportante
A61S	500	800	30	Ancoragem / Autoportante
F62S	500	800	60	Ancoragem (60°) e fim de linha (0°) / Autoportante

7.2.4 Parâmetros necessários para a determinação dos diagramas de carregamento

7.2.4.1 Características gerais

TENSÃO DA LINHA	69 kV
NÚMERO DE CIRCUITOS	2 circuito
DISPOSIÇÃO DAS FASES	Vertical
QUANTIDADE DE CONDUTORES POR FASE	1

7.2.4.2 Características dos cabos

Cabo condutor

TIPO	CAA
CÓDIGO	LINNET
BITOLA	336,4 MCM
DIÂMETRO (mm)	18,29
SEÇÃO TRANSVERSAL (mm ²)	198,17
PESO LINEAR (kg/m)	0,688
CARGA DE RUPTURA (daN)	6,200
MÓDULO DE ELASTICIDADE (daN/mm ²)	7.562
COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR (10 ⁻⁶ /°C)	18,91

Cabo pára-raios

Os cabos pára-raios, em número de dois por torre, serão do tipo OPGW.

TIPO	OPGW
CÓDIGO	-



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

BITOLA	3/8"
DIÂMETRO (mm)	14,5
SEÇÃO TRANSVERSAL (mm ²)	110,00
PESO LINEAR (kg/m)	0,619
CARGA DE RUPTURA (daN)	9.142
MÓDULO DE ELASTICIDADE (daN/mm ²)	11.974
COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR (10-6/°C)	14,5

7.2.4.3 Informações complementares

Pressões de vento:

Cabo condutor = 33,9 daN/m² - para H = 15 m

Cabo pára-raios = 35,7 daN/m² - para H = 20 m

Estrutura = 42,78 x H 1/6 daN/m²

Pesos complementares

Peso da cadeia (suspensão) = 25 daN

Peso da cadeia (ancoragem) = 50 daN

Fatores de sobrecarga

Coefficiente de majoração da carga vertical (K3) = 1,15

7.3 Critérios de Projeto de Fundações para 69 kV

7.3.1 Introdução

Apresentamos a seguir os critérios técnicos a serem observados nos projetos e dimensionamento das fundações das estruturas metálicas autoportantes e estaiadas a serem utilizadas na linha de transmissão 69 kV UHE Salgado – SE Caiçara, do Trecho III.

7.3.2 Características Gerais

As fundações serão padronizadas para cada tipo de torre e para solos típicos existentes previamente identificados e classificados ao longo do eixo da LT. Somente o projeto de casos especiais, por características peculiares do solo, da topografia ou das torres, com previsão de baixa frequência, não terão seu projeto padronizado previamente desenvolvido.

É condição necessária que em todas as torres tenham sido feitas sondagens ou inspeção de campo de forma a se ter uma completa identificação e suficiente conhecimento das características geotécnicas dos solos em conformidade com o tipo de fundação prevista para uso na LT. Excepcionalmente, em casos eventuais, poderão ser requeridas investigações complementares de solo visando o projeto de uma fundação especial.

7.3.3 Classificação de solos

Os solos serão classificados basicamente nos seguintes tipos:

- **Solo Tipo A:** solo normal, argiloso, argilo-siltoso, ou arenoso, consistência/compacidade média, sem presença de nível d'água.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- **Solo Tipo B:** solo duro, argiloso ou argilo-arenoso, consistência/compacidade rija a muito rija, sem presença de nível d'água.
- **Solo Tipo C:** rocha tipo gnaisse/migmatito, mica xisto/filito, que de acordo com seu grau de consistência, fratura e decomposição, permite o uso de uma fundação atirantada, chumbada ou engastada.
- **Solo Tipo D:** solo fraco, argiloso, consistência/compacidade baixa, com presença de nível d'água elevado permanente ou eventual.
- **Solo Tipo E:** solo muito fraco, sem nenhuma condição de receber fundação normal. Trata-se portanto de caso de fundação especial, a ser definida em função da sondagem.

Esta classificação é bastante adequada para utilização em projetos de linhas de transmissão e as características geotécnicas consideradas para cada tipo de solo estão apresentadas no item 7.3.7 a seguir.

Nesta etapa do projeto, em que não há conhecimento detalhado dos solos do traçado da linha, pois as sondagens ainda não foram executadas, está sendo adotado como solos típicos da região os tipos A e B, com base na análise visual da região e em projetos similares. A ocorrência dos outros tipos de solo é possível, mas considerada eventual.

7.3.4 Critérios Para Definição das Fundações

7.3.4.1 Identificação da Torre

Verificação em toda a documentação se a torre está corretamente identificada e locada, se não houve relocações, etc.

7.3.4.2 Carregamento da Torre

Observação das condições de aplicação da torre: se altura máxima, se com vão de vento máximo, se com vão de peso mínimo, se deflexão máxima, etc.

7.3.4.3 Perfil do Terreno

Verificação das condições gerais do relevo, se é plano, topo de encosta, etc.

7.3.4.4 Pernas Desniveladas e Altura de Afloramento dos Fustes

Definição de comprimento de pernas no caso de terreno desnivelado, bem como, a determinação do comprimento do fuste fora do solo.

7.3.4.5 Exame das Sondagens

Análise detalhada das informações da sondagem local e comparação com os dados das torres adjacentes. Definição do tipo de solo padrão – se tipo A, B, C, D ou E.

7.3.4.6 Nível d'água

Verificação das condições de nível d'água elevado no terreno, se permanente, se temporário ou com duração prolongada.

7.3.4.7 Deslizamentos

Verificação das informações relacionadas a deslizamentos de encostas. Eventual visita ao local pode ser necessária.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

7.3.4.8 Erosão

Avaliação de locais com indicação de erosão. Possível visita ao local.

7.3.4.9 Inclinação do Terreno

Análise de terrenos significativamente inclinados que possam comprometer a estabilidade da fundação, especialmente no que se refere ao arrancamento.

7.3.4.10 Escolha de Fundação

Excetuando-se o tipo de solo especial (tipo E), cada fundação deve ser escolhida dentre os tipos padronizados aprovados de forma a atender às condições de solo, entre outras exigências relacionadas ao local da torre.

7.3.5 Cargas de Projeto

As solicitações de projeto (tração, compressão e cisalhamento), determinadas a partir das árvores de carregamento de projeto da torre, serão majoradas de 1,1 para que a fundação tenha uma segurança adicional de 10% acima da carga última resultante da estrutura. Estas solicitações assim majoradas são consideradas como solicitações ou cargas de projeto da fundação.

O fator de majoração das solicitações especificadas no item anterior não é aplicável no caso de solicitações provenientes de hipóteses excepcionais, como cabo rompido.

7.3.6 Dimensionamento

Para o cálculo das solicitações, a fundação pode ser admitida como rígida, desde que sejam atendidas as deformações limites estabelecidas nesta especificação. Para o dimensionamento das fundações serão usados os seguintes critérios/metodologias:

- **Tração:** método de Biarez (Universidade de Grenoble) e método clássico do cone de arrancamento com atuação de resistência lateral (Design Manual – Department of Navy e Bureau of Reclamation);
- **Compressão/Horizontal:** método clássico da tensão admissível combinada com momento devido ao esforço horizontal e os respectivos momentos resistentes, resultando no dimensionamento à flexão composta.

Para a situação de Estado Limite Último serão adotadas condições específicas exigidas normalmente para carregamentos extremos, como cargas causadas por vento com período de retorno igual ou maior do que 50 anos, ou seja:

- Deformação específica do concreto comprimido: $\xi_c \leq 3,5 \text{ ‰}$
- Deformação específica da armadura tracionada: $\xi_s \leq 10 \text{ ‰}$
- Tensão do concreto: $f_{ck} \geq 15 \text{ Mpa}$ e $\geq 18 \text{ Mpa}$ para concreto pré-moldado
- Tensão de cálculo do concreto e aço: $f_{cd} = f_{ck} / \delta_c$
Onde: $\delta_c = 1,4$ e $f_{yd} = f_{yk} / \delta_s$, onde $\delta_s = 1,15$
- Tensão de cálculo de chumbadores: $f_{yd} = f_{yk} / 1,5$

Para a situação de Estado Limite de Utilização serão adotadas condições específicas exigidas normalmente para carregamentos de longa duração, como carga de peso próprio ou tração de cabos em EDS, sem vento e não majoradas. As condições visam normalmente limitar danos nas estruturas.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Deformação específica do concreto comprimido: $\xi_C \leq 2\%$
- Deformação específica do aço tracionado: $\xi_S = \xi_Y$ onde $\xi_Y \leq f_{YK} / E_s$
- E_s = Módulo de Elasticidade do aço
- Abertura limite de fissuras no concreto: $\mu = 0,1\text{mm}$.

Como Condições Específicas de Projeto serão adotadas:

- Resistência mínima do concreto: $f_{ck} \geq 15$ MPa para concreto moldado in loco e: $f_{ck} \geq 18$ MPa para concreto pré-moldado. Para concreto ciclópico, utilizar $f_{ck} \geq 8$ MPa. Para concreto simples, utilizar $f_{ck} \geq 9$ MPa.
- Armadura para concreto: aço CA 50 A ou CA 60 A

Cobrimento mínimo da armadura: 3 cm.

8 . CRITÉRIOS DE PROJETO EM ENGENHARIA MECÂNICA

8.1 Introdução

É objeto deste item apresentar os critérios que serão adotados para a definição e dimensionamento dos equipamentos e sistemas mecânicos do projeto básico do Trecho III do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco.

8.2 Traçado consolidado e Estruturas Hidráulicas Previstas

São as seguintes as estruturas previstas ao longo do traçado do Trecho III:

- Usinas Hidrelétricas de Salgado I e Salgado II;
- Estrutura de Controle no reservatório Caiçara;
- Tomadas d`água de uso difuso ao longo de todo o trecho.

8.3 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS MECÂNICOS PREVISTOS

Serão instalados os seguintes equipamentos e sistemas mecânicos nas Usinas Hidrelétricas em questão.

8.3.1 Usinas Hidrelétricas

- Unidades de geração, cada uma constituída por uma turbina e um gerador;
- Dependendo da potência e da queda líquida as unidades de geração poderão ser de eixo horizontal ou vertical;
- As turbinas poderão ser do tipo Francis Simples, ou Dupla, ou do tipo Kaplan Horizontal S em função da queda líquida e vazão turbinada da unidade em questão;
- Válvulas ou comportas de emergência instaladas a montante para proteção das unidades de geração;
- Válvulas Dispensoras para descarga e controle da vazão do sistema por ocasião da parada das unidades de geração;
- Ponte Rolante para manobra dos equipamentos no interior das Casas de Força;
- Conduitos Forçados Adutores;
- Grades e Comportas Ensecadeiras na Tomada D`Água da Adução;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Pórtico Rolante ou Talha Elétrica e Monovia para manobra dos painéis das Grades e Comportas Ensecadeiras das Tomadas D'água;
- Comporta Ensecadeira a Jusante da Casa de Força;
- Equipamentos de Levantamento e Transporte para manobra dos painéis das comportas a jusante da Casa de Força;
- Sistemas Auxiliares Mecânicos.

8.3.2 Estruturas de Controle

- 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;
- Equipamentos de Levantamento e Transporte para manobra dos painéis das comportas ensecadeiras.

8.3.3 Tomadas d'Água de Uso Difuso

- Grade e Comporta Ensecadeira na Tomada d'Água;
- Conduto Adutor embutido diâmetro 800 mm;
- Válvula de controle, em princípio, do tipo dispersora;
- Válvula de isolamento, do tipo borboleta.

8.4 Critérios de Definição e de Dimensionamento das Turbinas Hidráulicas

O tipo de máquina será estabelecido de acordo com a rotação específica n_q (rotação específica – sistema métrico), para cada caso em questão, levando-se em conta a queda, a potência e a vazão turbinada.

Para n_q maiores que 150 rpm, serão projetadas máquinas do tipo Kaplan, de eixo horizontal ou vertical em função da potência. Para potências maiores que 15.000 kW, serão adotadas máquinas de eixo vertical.

Para n_q menores que 150 rpm serão adotadas máquinas do tipo Francis, de eixo horizontal ou vertical de simples ou duplo rotor. Para potências maiores que 15.000 kW, a escolha será por máquinas de eixo vertical.

Após definido o tipo e o número de unidades o equipamento será pre-dimensionado, e elaborado um arranjo da Casa de Força. Os dados obtidos serão comparados com arranjos similares desenvolvidos anteriormente e por informações de fabricantes de máquinas do porte em questão.

Para o cálculo dos transientes hidráulicos serão estabelecidos os seguintes critérios:

- O tempo de fechamento do distribuidor deverá ser ajustado de forma que, após uma rejeição de carga sob qualquer das quedas e níveis de água a jusante especificados, incluindo a rejeição da carga relativa à máxima abertura do distribuidor na queda líquida máxima, os valores seguintes não sejam excedidos.
- A velocidade máxima da unidade geradora no regime transitório, não deverá ser superior a 150 % (cento e cinquenta por cento) da velocidade nominal da unidade, tendo por base o efeito de inércia GD^2 definido como mínimo para o conjunto volante/gerador.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- A pressão máxima na seção final inferior do conduto forçado não deverá exceder a uma sobre pressão de 50% (cinquenta por cento) da máxima altura estática correspondente à diferença entre o nível de água a montante e a linha de centro da unidade.

A turbina será projetada para operar entre a queda líquida máxima e mínima, de acordo e em função da variação de nível a montante e a jusante. A perda de carga será calculada caso a caso, em função da velocidade da água nos condutos adutores, estabelecendo-se uma curva com a expressão do tipo Perda de Carga $h = K \times Q^2$.

Para a determinação da cota de implantação da linha de centro dos rotores serão observados os limites de cavitação estabelecidos pelos procedimentos da IEC e ABNT, e formulas empíricas apresentadas em Manuais, elaboradas a partir de dados estatísticos.

8.5 Critérios de Definição e de Dimensionamento das Grades Metálicas das Tomadas D'Água

As grades deverão evitar a entrada de objetos submersos, de dimensões maiores que 80 mm.

Os detritos junto às grades deverão ser removidos por processo manual, com possibilidade de remoção dos painéis de grades removíveis.

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 no máximo 50 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 1,5 m/s, na abertura livre coberta pela grade.

8.6 Critérios de Definição e de Dimensionamento dos Condutos Forçados Adutores

O diâmetro de cada conduto forçado será calculado considerando-se o seu diâmetro econômico.

O número de condutos 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 conduto por Casa de Força, e ramais alimentadores das unidades geradoras, até um máximo de um conduto para cada conjunto gerador. No custo comparativo serão somados todos os custos envolvidos em cada uma das alternativas.

O conduto será enterrado ou aparente em função do tipo do terreno em que será instalado.

Os condutos metálicos terão proteção anti-corrosiva adequada, de acordo com a solução a ser adotada, enterrada ou aparente.

8.7 Critérios de Definição e de Dimensionamento das Comportas e seus Acessórios

8.7.1 Comporta Ensecadeira

As comportas ensecadeira serão, em princípio, 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 carga a ser considerada no projeto das comportas ensecadeira é o carregamento hidrostático atuante sobre o painel da comporta.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

8.7.2 Comporta Segmento de Controle de Vazão

As comportas nas estruturas de Controle serão em princípio do tipo segmento, com acionamento óleo-hidráulico. No caso de ausência de qualquer tipo de controle, operando completamente abertas ou completamente fechadas.

Para manutenção das comportas estão previstas as instalações de comportas ensecadeiras deslizantes, a montante e a jusante.

Haverá somente dois conjuntos de elementos de comportas ensecadeiras para o ensecamento de um vão de um dado tipo (dimensional) de Estrutura de Controle. Cada conjunto consistirá de 3 elementos. Esses elementos serão manobrados por guindastes do tipo *Munck*, instalados em caminhões, que terão também a finalidade de transportar os elementos até a Estrutura de Controle.

8.8 Critérios de Definição e de Dimensionamento dos Equipamentos de levantamento e Transporte

Deverão ser instalados os seguintes equipamentos de levantamento e transporte:

Na Tomada d'Água de Usinas Hidrelétricas está prevista a instalação de um pórtico rolante com talha elétrica para manobrar os painéis das grades e os painéis das comportas ensecadeiras.

No interior da Casa de Força está prevista a instalação de uma ponte rolante com carro para auxiliar nos trabalhos de montagem, desmontagem e manutenção das unidades de geração e nos trabalhos de montagem e manutenção dos demais equipamentos auxiliares e quadros elétricos.

O pórtico e a ponte rolantes terão os movimentos de elevação, direção e translação.

O projeto estrutural do pórtico rolante e da ponte rolante 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 ambos os equipamentos serão realizadas através de botoeiras independentes.

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 a milésima parte do vão livre considerado, para o caso de carregamento normal.

8.9 Critérios de Definição e de Dimensionamento dos Sistemas Auxiliares Mecânicos das Usinas Hidrelétricas

Os sistemas auxiliares mecânicos serão definidos com características e quantidades suficientes para permitir a qualificação do fornecimento.

8.9.1 Sistema de Drenagem e Esvaziamento

O sistema de drenagem e esgotamento tem a finalidade de coletar e conduzir para o poço de drenagem e esvaziamento, e daí, por bombeamento, para o canal de fuga, todas as águas despejadas no interior da Usina, provenientes de percolação, descarga de equipamentos, vazamentos de tubulações e limpezas de pisos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

O sistema terá também a função de esgotar e manter as turbinas a seco, permitindo os trabalhos de manutenção nas referidas turbinas hidráulicas.

O esgotamento somente poderá ser realizado em uma turbina de cada vez, pois está previsto o fornecimento de duas bombas do tipo submersível, para atender todas as unidades de geração instaladas na Usina, sendo uma bomba reserva da outra.

Em cada Usina Hidrelétrica haverá um sistema de drenagem e esgotamento e um poço profundo para coleta destas águas.

O tipo da bomba será centrífuga, submersível para instalação removível, com acoplamento automático ao pedestal de descarga.

8.9.2 Sistema de Água de Resfriamento

Este sistema abastecerá com água filtrada os seguintes componentes das unidades geradoras:

- Radiadores (ar/água) dos geradores;
- Trocadores de calor (óleo/água) dos mancais guia dos grupos geradores;
- Trocadores de calor (óleo/água) dos mancais de escora ou guia/escora combinado;
- Trocadores de calor (óleo/água) do reservatório de óleo do sistema de regulação de velocidade;
- Vedações dos eixos.

As tomadas d'água bruta para cada filtro localizar-se-ão nos condutos forçados adutores, em um ponto a montante da válvula de proteção da turbina.

Será instalado um filtro tipo autolimpante para cada unidade geradora com capacidade tal que, com um filtro fora de operação, os demais atendem a demanda total do sistema.

8.9.3 Sistema de Água Potável e de Serviço

O sistema fornece água de serviço para o atendimento dos sanitários, pia da sala de baterias, limpeza de pisos e outros locais de consumo e o seu abastecimento será feito através da captação de água bruta, diretamente do conduto na descarga da bomba, filtros de água, tubulações de distribuição e reservatório.

8.9.4 Sistema Antiincêndio

O fornecimento deverá incluir um conjunto de extintores portáteis, de acionamento manual e instalação sobre paredes para o combate a incêndios nas diversas áreas internas da Usina Hidrelétrica: no piso dos geradores, nas galerias elétricas e mecânicas, na Sala de Comando, e na Sala do Gerador Diesel. Adicionalmente, deverá ser incluído um conjunto de extintores portáteis instalados sobre carretas para o combate a incêndio na Subestação e ao lado dos transformadores elevadores.

O projeto dos extintores portáteis deverá atender aos requisitos da norma *NFPA 10 – “Portable Fire Extinguishers”*, publicada pela “*National Fire Protection Association*”, em sua última revisão, bem como as recomendações das normas ABNT e das Portarias da SUSEP aplicáveis.

9 . ESTRUTURAS CIVIS

9.1 Objetivo

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

- Análises de estabilidade;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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

9.1.1 Estruturas a Analisar

Os critérios abrangem as seguintes principais estruturas:

- Barragens;
- Vertedouros;
- Tomadas D'água;
- Estruturas de controle;
- Canais;
- Túnel;
- Subestações;
- Aquedutos;
- Adutoras;
- Pontes;
- Passagens.

9.1.2 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.

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.

9.1.3 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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.2 Características dos Materiais

9.2.1 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 9.1** classifica os concretos previstos.

Tabela 9.1-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 Projettato	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.

9.2.2 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.

9.2.3 Aço para concreto protendido

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

9.2.4 Aço Estrutural

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

9.3 Cargas de Projeto

9.3.1 Cargas Permanentes

As cargas permanentes, devidas ao peso próprio, serão calculadas com base nos pesos específicos indicados na **Tabela 9.2**, a seguir.

Tabela 9.2 - Peso Específicos dos materiais

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

9.3.2 Cargas Hidrostáticas Externas

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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.3.3 Subpressões e Pressões Neutras

9.3.3.1 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.

9.3.3.2 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.

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

Será considerado da mesma forma como no item 9.3.2.

9.3.3.4 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.

9.3.4 Sobrecargas

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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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

Casa de Força

Piso dos Geradores25 kN/m²

Piso das turbinas15 kN/m²

Áreas de montagem.....40 kN/m²

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

9.3.4.2 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.

9.3.4.3 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 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.

9.3.4.4 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.

9.3.4.5 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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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).

9.3.5 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)

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

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

H = altura de água

9.3.6 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 terraplano

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:



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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

9.3.7 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.

9.3.8 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 9.4)

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.

9.3.8.1 Efeito do Sismo na Massa de Concreto da Estrutura

- a) esforço horizontal $F_{hs} = 0,05 P_c$
- b) esforço vertical $F_{vs} = + 0,05 P_c$

ambos os esforços atuando simultaneamente.

9.3.8.2 Efeito do Sismo na Massa de Rocha Subjacente

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

9.3.8.3 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.

9.3.9 Cargas Hidrodinâmicas

9.3.9.1 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.

9.3.9.2 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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.3.9.3 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.

9.3.10 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.

9.4 Condições de Carregamento

9.4.1 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;
- 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.

9.4.2 Condições de Carregamento Normais (CCN)

Incluirão as cargas indicadas no item 9.3, particularmente nas seguintes condições:

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

9.4.3 Condições de Carregamento Excepcionais (CCE)

Incluirão as cargas de projeto indicadas no item 9.3, particularmente nas seguintes condições:

- Subpressões, considerando-se o sistema de drenagem operante;



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- Efeito sísmico desprezado.

9.4.4 Condições de Carregamento Limites (CCL)

Incluirão as cargas de projeto indicadas no item 9.3, particularmente nas seguintes condições:

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

9.4.5 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.

9.4.6 Condições Adicionais

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

9.5 Projeto Estrutural

9.5.1 Análises de Estabilidade

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.

9.5.1.1 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:

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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

onde:

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

U = força resultante das subpressões;

$tg\phi$ = 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.

No caso de barragens de concreto, 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 γc , desde que seja analisado o comportamento global do conjunto estrutura - fundação e sejam obedecidas as deformações admissíveis desse conjunto.

Da mesma forma, 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.

9.5.1.2 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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.5.1.3 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:

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

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

9.5.2 Análise de Tensões

9.5.2.1 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:

- 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.

9.5.2.2 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

9.5.2.3 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.



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

9.5.2.4 Análise de Tensões em Estruturas de Concreto Massa ou CCR

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

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



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

$\gamma = 1,0$ 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

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.

9.5.3 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.

9.5.4 Disposições Construtivas

9.5.4.1 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:

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

- Paredes Concretadas 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 $\varnothing 20$ 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 $\varnothing 20$ mm cada 30 cm em cada direção, exceto nos casos especiais onde se tenha ancoragem na rocha.

- Paredes do Primeiro Estágio de Construção



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

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.

9.5.4.2 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.

9.5.4.3 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.

10 . 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 GRAPHISHCE STATIK”. ZUNICH, MEYR AND ZELLER



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- 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 RESEVOIR OUTLET STRUCTURES”
- IDELCIK, I.E. (1969) “MEMENTO DES PERTES DE CHARGE” - EYROLLES. EDITEUR PARIS.
- 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. CENF. SOIL MECH. FOUND ENG. CAMBRIDGE, MASS.
- Krey, H. AND Ehrenberg (1936), “ERDDRUCK ERDWIDERSTAND UN TRAGFAHIGKEIT 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 DIVISON - PROCCEDINGS ASCE VOL. 88 - N.WW2 - MAY 1962.
- SOP - SISTEMA DE ORÇAMENTOS PARA PROJETO E OBRAS DA CODEVASF - MARÇO 1997.
- Spangler, M.G. AND 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.
- Taylor, K. (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 ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION - TECHNICAL REPORT N° 6-8518, JULY 1959.
- U.S. BUREAU OF RECLAMATION - DESIGN OF SMALL DAMS
- U.S. BUREAU OF RECLAMATION - DESIGN STANDARD N. 6



Transposição de Águas do Rio São Francisco – Projeto Básico

- U.S. CORPS OF ENGINEERS - “HYDRAULIC DESIGN CRITERIA” ZANGAR, C.N. - U.S. BUREAU OF RECLAMATION - ENG. MON. N. 11 - “HYDRODINAMIC PRESSURES ON DAMS DUE TO HORIZONTAL EARTH-QUAKE EFFECTS” - MAY 1952.