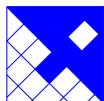




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



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
R5 – SISTEMA DE DRENAGEM
VOLUME I - TEXTO**



**TRECHO III – EIXO NORTE
R5 – SISTEMA DE DRENAGEM
VOLUME I - TEXTO**

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 – R5 – Sistema de Drenagem. – Volume I – Texto. - São José dos Campos: Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE, 2003.

24 p

1. Transposição de Águas; Drenagem
- I. Trecho III – Eixo Norte - R5 – Sistema de Drenagem – Volume I - Texto

CDU 556.18:626.86

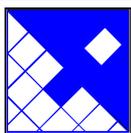
FUNCATE:

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	CMM	Data SET/2003
Verificação	RAA	Data SET/2003
Aprovação	ACAV	Data SET/2003
Aprovação	JAVM	Data SET/2003
Código FUNCATE	EN.B/III.RF.HI.0001	



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
R5 - SISTEMA DE DRENAGEM
VOLUME I - TEXTO**

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

Equipe

José Armando Varão Monteiro: Gerente

Antônio Carlos de Almeida Vidon: Coordenador Técnico

Ricardo Antônio Abrahão: Coordenador Técnico Adjunto

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

Aloysio Accioly de Senna Filho: Chefe da Equipe de Geologia

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

José Carlos Degaspare: Chefe da Equipe de Estrutura

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

Bernd Dieter Lukas: Chefe da Equipe de Engenharia Mecânica

Sidnei Collange: Chefe da Equipe de Engenharia Elétrica

Equipe de Produção

Antonio Carlos Cunha Aguiar – Projetista

Antonio Muniz Neto – Projetista

Leandro Eboli – Projetista

João Luiz Bosso – Projetista

Laryssa Lillian Lopes – Técnica em Geoprocessamento

Mônica de Lourdes Sampaio – Desenhista Projetista

Infra Estrutura e Apoio

Ana Julia Cristofani Belli – Secretária

Célia Regina Pandolphi Pereira – Assistente Adm. Especializada

Andréa Marques Moraes – Aux. Administrativo

Maria Aparecida de Souza – Servente

Consultor

Luiz Antonio Villaça de Garcia



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R5 – SISTEMA DE DRENAGEM – VOLUME I - TEXTO, 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



ÍNDICE	PG
1 . OBJETO E OBJETIVO.....	1
2 . INTRODUÇÃO.....	1
3 . DEFINIÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO.....	1
4 . METODOLOGIA UTILIZADA.....	8
4.1 Dimensionamento Hidráulico dos Drenos.....	8
4.2 Dimensionamento Hidráulico dos Bueiros.....	8
4.3 Dimensionamento Hidráulico dos Sifões Invertidos.....	9
4.4 Dimensionamento Hidráulico das Calhas de Lançamento no Canal.....	10
4.5 <i>Overchutes</i>	10
4.6 Passagens Molhadas.....	10
4.7 Bueiro sob Estrada.....	10
5 . SISTEMA DE DRENAGEM.....	11
5.1 Definição das Áreas de Drenagem.....	11
5.2 Projeto da Rede de Drenos.....	11
5.3 Projeto das Obras de Travessia do Canal Adutor e Obras Típicas Anexas aos Drenos	12
5.3.1 <i>Bueiros</i>	12
5.3.2 <i>Sifões Invertidos</i>	12
5.3.3 <i>Calhas de Lançamento no Canal</i>	13
5.3.4 <i>Overchute</i>	13
5.3.5 <i>Escada Dissipadora</i>	13
5.3.6 <i>Passagem Molhada</i>	13
5.3.7 <i>Bueiro sob Estrada</i>	13
6 . LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS.....	14
7 . MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	14
7.1 Bueiros Funcionando como Canal - Declividades Críticas - Expressões Gerais.....	14
7.2 Bueiros Funcionando como Canal - Regime Sub-Crítico - Expressões Gerais.....	15
7.3 Bueiros Funcionando como Canal - Regime Supercrítico - Expressões Gerais.....	15
7.4 Bueiros Funcionando como Orifício - Expressões Gerais.....	15
7.5 Dimensionamento dos Bueiros - Expressões Utilizadas.....	16
7.6 Dimensionamento dos Sifões Invertidos - Expressões Utilizadas.....	18
7.7 Dimensionamento da Estrutura de Dissipação - Fórmulas Utilizadas.....	19
7.8 Dimensionamento do Canal de Restituição - Fórmulas Utilizadas.....	21
7.9 Dimensionamento das Escadas Dissipadoras.....	21
7.10 Bueiro sob Estrada.....	21



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.11 Dimensionamento das Escadas do Bueiro sob Estrada.....	22
7.12 <i>Overchute</i>	23
7.13 Dimensionamento de Escadas dos <i>Overchutes</i>	24



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

1 . OBJETO E OBJETIVO

O objeto deste relatório é o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional e seu objetivo apresentar o Projeto Básico do Sistema de Drenagem do Canal Adutor do Trecho III, Eixo Norte.

2 . INTRODUÇÃO

O Projeto do Sistema de Drenagem consiste na disposição dos drenos paralela e externamente ao canal, de forma a interceptar as águas de chuva, ora evitando o carreamento do solo para dentro do canal, dos trechos em corte, ora evitando a erosão da base dos trechos em aterros.

Quando possível, as águas drenadas serão encaminhadas diretamente para talvegues naturais sem interferir com o sistema adutor; caso contrário, serão encaminhadas para bueiros, sifões invertidos e *overchutes*, tendo em vista a travessia do canal adutor, e posteriormente destinadas aos talvegues naturais.

Nos casos de vazões de baixa magnitude as águas serão lançadas diretamente no canal, através de dispositivos denominados calhas de lançamento no canal.

O **Quadro 2.1** apresenta as quantidades das obras de travessia do canal e o grau de ocorrência de cada uma delas.

Quadro 2.1 - Quantitativos das Obras de Travessia do Canal Adutor (Trecho III)

OBRA	Nº da Obra	Quant.	TOTAL	%
Bueiro	1 a 137	137	137	86,71
Sifão Invertido	1 a 12	12	12	7,59
Overchute	1 a 9	09	09	5,70
Total			158	100,00

3 . DEFINIÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO

As vazões de dimensionamento do sistema de drenagem do Trecho III, por se situar nas proximidades do Trecho II, foram baseadas nos parâmetros definidos no relatório "TRECHO II - EIXO NORTE - R7 - SISTEMA DE DRENAGEM" - EN.B/II.RF.HI.0001.

Para as bacias hidrográficas cuja área de drenagem é inferior ou igual a 3,5 km², o processo de transformação da chuva em escoamento superficial foi feito através do método racional, que resume-se na utilização da seguinte expressão matemática:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot Ad$$

onde:

Q ⇒ é a vazão de pico em m³/s;

C ⇒ é o coeficiente de escoamento superficial, um fator adimensional;

i ⇒ é a intensidade da precipitação de projeto em mm/h;



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Ad \Rightarrow é a área de drenagem da bacia hidrográfica em km².

Seguindo-se as recomendações do método racional, as chuvas utilizadas tiveram durações iguais ao tempo de concentração da bacia hidrográfica. O coeficiente de escoamento superficial da bacia é função, basicamente, do tipo do solo, vegetação e topografia. Foi considerado o mesmo coeficiente de escoamento superficial adotado para o Trecho II.

Para determinação do tempo de concentração foi utilizada a fórmula do California Culverts Practice que se aplica para o caso de drenagem de bacias pequenas ou regiões não urbanizadas:

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

onde:

L \Rightarrow comprimento do talvegue (km);

Δh \Rightarrow desnível (m).

Para todas as bacias foi considerado o valor de 0,46 para o coeficiente de escoamento e 1 para o fator chuva na área/ponto.

Assim é que a expressão do método racional assume a seguinte forma:

$$Q = 0,278 \cdot 0,46 \cdot i \cdot Ad$$

$$Q = 0,1279 \cdot i \cdot Ad$$

Para bacias com áreas superiores a 350 ha, foi adotada uma metodologia específica que consiste no emprego da fórmula de *Cypress-Creek*, qual seja:

$$Q = C \times A^{5/6} \times 0,001$$

Onde:

A = Área da Bacia (ha);

C = Coeficiente de drenagem (l/s/ha), dado pela fórmula: $C = 4,573 + 0,162(E \times 24)/t_c$ onde:

E = total da precipitação que escoar (mm); t_c = tempo de concentração da bacia (h).

Obs.: O fator E é calculado considerando as condições do complexo solo-vegetação das bacias estudadas.

A precipitação é calculada a partir da infiltração potencial dada pela fórmula:

$$S = (2540/CN - 25,4) \times 10$$

Onde: S = Infiltração potencial (mm).

A precipitação efetiva será dada pela seguinte expressão:

$$E = \frac{(P - 0,25)^2}{P + 0,85} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Fórmula elaborada pelo serviço de} \\ \text{conservação dos solos dos Estados Unidos} \end{array} \right.$$

Onde: E = Precipitação efetiva (mm);

P = Precipitação total para a duração igual ao tempo de concentração (mm).

Para a capacidade de retenção dos solos nas bacias adotou-se o valor de Número de Curva (CN) = 67 baseado nos estudos do Projeto Básico para o trecho II relatório EN.B/II.RF.HI.0002 Rev0/B - página 038 do caderno de desenho.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A título de confirmação, nos estudos de Projeto Básico do Perímetro Irrigado do Pontal Sul, elaborado para a CODEVASF, considerou-se como representativo das características geomorfológicas e do tipo de vegetação dominante nas bacias estudadas, para a cobertura vegetal dominante de caatinga natural, pastagens e culturas normais e perenes o número de curva (CN) de 66.

As precipitações para os períodos de recorrência de 50 e 100 anos foram obtidas do Posto Pluviométrico Brejo Santo - 3842906, considerado representativo para a área.

O **Quadro 3.1** apresenta a relação de Precipitação Máxima - Duração e Freqüência no Posto Brejo Santo.

Quadro 3.1 - Relação de Precipitação Máxima - Duração e Freqüência no Posto de Brejo Santo, Representativo da Área de Projeto do Trecho II

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)												
	Duração da Tormenta (horas)												
	6 minutos	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	12,0	24,0	48,0	1 dia	2 dias	3 dias
50	19,3	66,3	75,7	85,2	94,7	113,6	132,9	142,0	155,5	185,8	142,0	168,5	203,1
100	21,1	71,8	82,3	92,8	103,3	124,3	145,4	155,4	170,1	202,1	155,4	182,7	221,6

O Gráfico mostra a Relação de Precipitação Máxima - Duração e Freqüência.

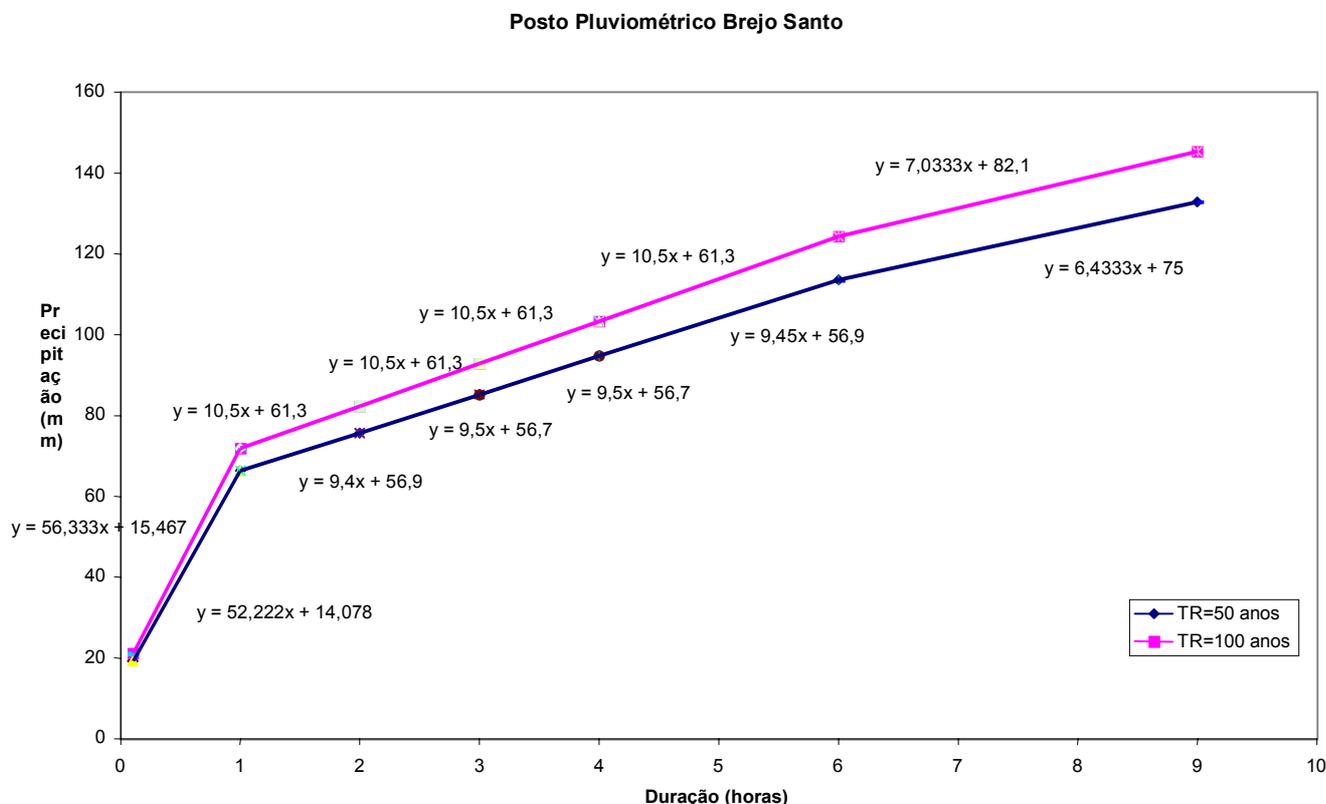


Gráfico 3.1 - Relação de Precipitação Máxima - Duração e Freqüência



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O **Quadro 3.2** mostra para cada obra concebida de travessia e lançamento no canal, o seu posicionamento, estaca do canal, a numeração da obra, a vazão de projeto e o ângulo de esconsidade.

A nomenclatura adotada prevê:

B ⇒ Bueiro;

C ⇒ Calha de lançamento;

S ⇒ Sifão Invertido;

O ⇒ Overchute.

Quadro 3.2 - Obras de Travessia e Lançamento no Canal: Localização, Características e Vazão de Projeto

ESTACA	NOME	OBRA	VAZÃO TR=100 (m ³ /s)	ÂNGULO DE ESCONSIDADE
6+665	B3-001	BDCC (2,5x2,0)	18,293	51°40'23"
6+952	B3-002	BSCC (1,0x1,5)	1,215	93°11'34"
7+075	B3-003	BSCC (1,0x1,5)	1,552	86°21'19"
7+226	B3-004	BSCC (1,0x1,5)	2,198	96°38'22"
7+360	B3-005	BSCC (1,0x1,5)	1,958	100°25'09"
7+548	B3-006	BSCC (1,0x1,5)	2,808	102°11'19"
7+620	B3-007	BSCC(2,5x2,0)	9,229	107°09'17"
8+461	B3-008	BSCC (2,0x2,0)	6,859	75°37'46"
8+680	B3-009	BSCC (2,5x2,0)	8,659	82°01'47"
8+869	B3-010	BSCC (1,5x1,5)	4,177	104°56'01"
9+019	S3-001	SSCC(2,5x2,00)	8,938	77°15'05"
9+147	B3-011	BSCC (1,0x1,5)	1,202	100°16'47"
9+415	B3-012	BSCC (1,0x1,5)	1,701	73°22'59"
9+548	B3-013	BSCC (1,5x1,5)	4,368	104°48'34"
9+900	B3-014	SSCC (2,5x2,0)	8,791	79°24'36"
9+970	B3-015	BSCC (1,0x2,0)	0,870	109°34'19"
10+210	B3-016	BSCC (1,0x1,5)	0,935	79°08'18"
10+555	B3-017	BSCC(3,0x2,0)	10,447	57°40'14"
10+859	S3-002	SSCC (2,0x2,0)	6,815	80°42'17"
11+122	B3-018	BSCC(2,0x2,0)	7,198	59°36'55"
11+750	B3-019	BSCC(2,5x2,5)	12,485	65°27'21"
12+093	S3-003	SSCC(1,5x1,5)	4,499	112°02'17"
12+217	B3-020	BSCC (2,0x1,5)	5,560	74°15'40"
12+425,5	B3-021	BSCC (1,0x1,5)	1,476	76°08'34"
12+828	B3-022	BSCC(2,0x2,0)	7,151	71°04'06"
13+092	B3-023	BSCC(1,5x1,5)	4,515	90°41'34"
13+279	B3-024	BSCC (1,5x1,5)	3,419	93°19'16"
13+417	B3-025	BSCC (1,5x1,5)	3,801	94°13'29"



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Quadro 3.2 - Obras de Travessia e Lançamento no Canal: Localização, Características e Vazão de Projeto (Continuação)

ESTACA	NOME	OBRA	VAZÃO TR=100 (m ³ /s)	ÂNGULO DE ESCONSIDADE
14+108	B3-026	BSCC(2,0x2,0)	7,405	62°03'37"
14+381	B3-027	BSCC (1,5x1,5)	3,730	83°48'47"
15+980	B3-028	BSCC (1,0x1,5)	2,437	88°54'51"
16+758	B3-029	BSCC (1,0x1,5)	1,803	88°59'30"
17+010	B3-030	BSCC (1,0x1,5)	1,441	77°57'11"
17+310	B3-031	BSCC (1,0x1,5)	1,789	97°45'31"
17+710	B3-032	BSCC (2,5x2,5)	12,213	127°50'42"
17+885	B3-033	BSCC (1,0x1,5)	1,048	68°28'10"
18+158	S3-004	SSCC(2,0x1,5)	4,669	81°11'06"
18+420	B3-034	BSCC (1,5x1,5)	4,391	95°18'20"
18+692	B3-035	BSCC (2,0x1,5)	5,166	94°54'12"
19+075	B3-036	BSCC(2,0x1,5)	5,577	72°48'10"
19+608	B3-037	BDCC (3,0x2,0)	23,453	105°23'05"
19+965	B3-038	BSCC (1,5x1,5)	3,642	91°31'55"
20+103	B3-039	BSCC (1,0x1,5)	0,697	123°58'58"
20+313	B3-040	BSCC (1,0x1,5)	1,231	73°29'11"
20+409	B3-041	BSCC(1,5x1,5)	3,606	105°43'05"
20+633	B3-042	BSCC (1,0x1,5)	1,535	69°11'29"
20+915	B3-043	BSCC (1,0x1,5)	1,352	98°24'28"
21+509	B3-044	BSCC (1,0x1,5)	2,658	116°51'11"
21+896	B3-045	BSCC(2,5x2,0)	9,213	75°29'23"
22+278	B3-046	BDCC(2,0x2,0)	15,796	113°00'45"
22+402	B3-047	BSCC (1,0x1,5)	2,966	101°46'41"
22+766	B3-048	BSCC(3,0x2,5)	14,519	92°57'34"
23+031	S3-005	SSCC (1,0x1,5)	1,821	92°44'12"
23+166	S3-006	SSCC (1,0x1,5)	1,099	115°37'46"
23+438	S3-007	SSCC(2,0x1,5)	5,869	84°24'47"
23+762	B3-049	BSCC (1,5x1,5)	3,618	96°19'49"
23+890	B3-050	BSCC (1,5x1,5)	4,542	79°35'25"
23+993	S3-008	SSCC (1,0x1,5)	1,070	76°32'52"
24+336	S3-009	SSCC(1,5x1,5)	3,626	65°47'28"
24+830	B3-051	SSCC (1,5x1,5)	2,907	114°23'08"
25+343	B3-052	BSCC(2,0x2,0)	7,644	63°43'08"
26+871	B3-053	BSCC(2,0x1,5)	5,245	104°03'48"
27+929	B3-054	BSCC (1,0x1,5)	1,797	94°20'12"
29+728	B3-055	BSCC (1,0x1,5)	1,732	45°41'20"
29+919	B3-056	BSCC (1,0x1,5)	1,227	93°28'28"
30+068	B3-057	BSCC (1,0x1,5)	1,782	120°08'52"
30+270	B3-058	BSCC (1,0x1,5)	1,542	87°06'41"
30+352	C3-001	CALHA	0,772	94°36'44"
30+433	C3-002	CALHA	0,440	71°15'31"
30+545	C3-003	CALHA	0,556	49°14'10"
30+986	B3-059	BSCC (1,5x1,5)	3,386	110°91'30"
31+397	B3-060	BSCC (1,0x1,5)	1,698	113°28'53"
31+516	B3-061	BSCC (1,0x1,5)	2,495	108°31'09"
31+595	S3-010	SSCC (1,0x1,5)	0,813	103°08'25"



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Quadro 3.2 - Obras de Travessia e Lançamento no Canal: Localização, Características e Vazão de Projeto (Continuação)

ESTACA	NOME	OBRA	VAZÃO TR=100 (m ³ /s)	ÂNGULO DE ESCONSIDADE
31+749	O3-001	OVERCHUTE	1,917	120°53'51"
32+387	B3-062	BSCC (1,5x1,5)	3,254	72°55'07"
35+409	B3-063	BSCC (1,0x1,5)	0,886	119°35'24"
36+574	B3-064	BSCC (1,0x1,5)	2,218	90°44'31"
36+713	B3-065	BSCC (1,0x1,5)	1,399	49°28'16"
37+649	S3-011	SSCC(2,5x2,0)	8,955	54°59'08"
37+789	S3-012	SSCC(1,5x1,5)	3,606	100°13'06"
38+698	B3-066	BSCC (1,0x1,5)	2,962	116°49'37"
39+054	B3-067	BSCC(2,5x2,0)	9,207	83°36'56"
39+280	B3-068	BSCC (1,0x1,5)	1,744	94°48'20"
40+087	B3-069	BSCC (1,0x1,5)	1,076	92°45'03"
40+226	B3-070	BSCC (1,0x1,5)	0,937	70°53'09"
40+306	B3-071	BSCC (1,0x1,5)	1,310	78°45'23"
40+452	B3-072	BSCC (1,0x1,5)	0,875	74°19'00"
40+528	B3-073	BSCC (1,0x1,5)	1,171	110°01'45"
42+086	B3-074	BSCC (1,0x1,5)	1,458	119°45'30"
42+235	B3-075	BSCC (1,5x1,5)	3,635	114°30'08"
42+401	B3-076	BSCC (1,0x1,5)	2,116	95°20'15"
42+845	B3-077	BSCC (1,5x1,5)	3,477	114°31'24"
43+834	B3-078	BSCC (1,0x1,5)	2,040	93°03'10"
43+912	C3-04	CALHA	0,613	75°44'19"
43+992	O3-002	OVERCHUTE	1,041	97°38'08"
44+242	B3-079	BSCC (1,0x1,5)	2,778	116°05'40"
44+484	B3-080	BSCC (1,0x1,5)	1,110	95°29'29"
45+637	B3-081	BSCC (1,0x1,5)	2,583	53°42'33"
45+832	B3-082	BSCC (1,0x1,5)	2,061	74°11'52"
46+015	B3-083	BSCC (1,0x1,5)	1,223	67°35'07"
46+189	B3-084	BSCC (1,0x1,5)	1,846	87°57'09"
46+297	B3-085	BSCC (2,0x1,5)	5,809	82°13'04"
46+434	B3-086	BSCC (1,0x1,5)	1,856	83°59'14"
46+660	B3-087	BSCC (1,0x1,5)	2,777	64°25'49"
46+755	B3-088	BSCC (1,0x1,5)	2,459	88°13'22"
46+887	B3-089	BSCC (1,5x1,5)	4,464	82°21'86"
47+289	B3-090	BSCC (1,5x1,5)	3,377	81°11'55"
47+362	B3-091	BSCC (1,0x1,5)	1,335	85°05'56"
47+462	B3-092	BSCC (1,0x1,5)	1,019	69°15'51"
47+610	B3-093	BSCC (1,0x1,5)	1,053	110°05'59"
47+847	B3-094	BSCC (1,5x1,5)	4,047	128°49'53"
48+270	B3-095	BSCC (1,0x1,5)	3,048	94°38'15"
48+547	B3-096	BSCC (1,0x1,5)	1,386	106°57'56"
48+843	B3-097	BSCC (1,0x1,5)	0,821	64°55'03"
49+890	B3-098	BSCC (1,0x1,5)	3,080	97°48'32"
50+125	B3-099	BSCC (1,0x1,5)	3,096	80°35'46"
50+286	B3-100	BSCC (1,5x1,5)	3,138	107°00'05"
50+596	B3-101	BSCC (1,0x1,5)	1,669	77°14'44"
50+840	B3-102	BSCC(2,5x2,0)	8,644	92°33'41"



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Quadro 3.2 - Obras de Travessia e Lançamento no Canal: Localização, Características e Vazão de Projeto (Continuação)

ESTACA	NOME	OBRA	VAZÃO TR=100 (m³/s)	ÂNGULO DE ESCONSIDADE
51+376	B3-103	BSCC (1,5x1,5)	3,325	75°26'37"
51+788	B3-104	BSCC (1,0x1,5)	2,375	88°17'15"
52+636	C3-005	CALHA	0,695	80°30'19"
52+715	O3-003	OVERCHUTE	1,341	103°31'22"
52+987	O3-004	OVERCHUTE	1,603	99°44'16"
53+289	B3-105	BSCC (1,0x1,5)	2,395	68°50'39"
53+401	C3-006	CALHA	0,549	81°50'08"
53+692	B3-106	BSCC (2,0x1,5)	5,481	97°54'35"
53+863	O3-005	OVERCHUTE	2,526	103°55'03"
54+232	B3-107	BSCC(2,5x2,0)	8,298	95°09'44"
54+319	B3-108	BSCC (1,0x1,5)	0,968	101°18'46"
54+400	B3-109	BSCC (1,0x1,5)	2,360	105°34'53"
54+702	O3-006	OVERCHUTE	2,382	87°20'19"
54+943	O3-007	OVERCHUTE	2,100	90°13'23"
55+318	O3-008	OVERCHUTE	2,024	80°32'15"
58+460	B3-110	BSCC(3,0x2,0)	10,955	110°08'41"
58+704	B3-111	BSCC (1,0x1,5)	1,527	85°39'42"
59+052	B3-112	BSCC (1,5x1,5)	4,098	98°37'54"
59+392	B3-113	BSCC (2,0x2,0)	6,735	99°54'07"
59+915	B3-114	BSCC (3,0x2,0)	22,118	104°16'08"
60+517	B3-115	BSCC (1,0x1,5)	7,058	75°22'51"
61+020	B3-116	BSCC(3,0x3,0)	17,156	71°14'41"
61+325	B3-117	BSCC (1,0x1,5)	1,161	86°35'38"
61+544	B3-118	BSCC (1,5x1,5)	3,342	89°13'23"
61+820	B3-119	BSCC(2,5x2,0)	10,070	82°04'09"
62+131	B3-120	BSCC (2,0x1,5)	5,701	91°53'32"
63+029	B3-121	BSCC (2,0x1,5)	5,395	97°32'26"
63+200	B3-122	BSCC(2,0x2,0)	6,365	76°29'15"
63+405	B3-123	BSCC(2,5x2,0)	8,415	81°17'27"
63+764	B3-124	BSCC(2,0x2,0)	6,594	122°37'10"
64+290	B3-125	BSCC(2,0x2,0)	7,108	84°16'19"
64+620	B3-126	BSCC (1,5x1,5)	4,125	58°09'33"
64+774	B3-127	BSCC (1,0x1,5)	1,272	109°16'34"
65+009	B3-128	BSCC(2,0x2,0)	6,424	106°33'10"
65+343	B3-129	BSCC (1,5x1,5)	4,291	74°22'16"
65+618	B3-130	BSCC (2,0x2,0)	6,388	123°06'35"
65+950	B3-131	BSCC (1,0x1,5)	2,359	70°43'44"
66+063	B3-132	BSCC (1,0x1,5)	0,990	96°39'36"
66+220	B3-133	BSCC (1,5x1,5)	3,397	98°12'41"
66+276	B3-134	BSCC (2,0x1,5)	5,661	86°23'47"
66+370	C3-007	CALHA	0,528	79°41'13"
66+412	B3-135	BSCC (1,0x1,5)	1,979	99°36'10"
66+532	B3-136	BSCC (1,5x1,5)	4,238	90°41'25"
66+836	B3-137	BSCC (1,0x1,5)	1,619	101°57'01"
67+587	O3-009	OVERCHUTE	1,339	77°31'12"



4 . METODOLOGIA UTILIZADA

4.1 Dimensionamento Hidráulico dos Drenos

As seções hidráulicas dos drenos foram dimensionadas para vazões com recorrência de 100 anos utilizando-se a fórmula de Manning.

A borda livre foi utilizada de acordo com o estabelecido pelo USBR.

A seção mínima adotada caracteriza-se por um canal trapezoidal revestido com concreto simples, de base de 0,6 m de largura, altura de 0,5 m, taludes com inclinação 1:1 e borda livre de 0,15 m.

O coeficiente de rugosidade de Manning considerado para todos os drenos foi de 0,018, uma vez que todos os drenos foram projetados com revestimento em concreto simples.

A velocidade máxima de dimensionamento foi limitada em 3 m/s.

Com o objetivo de não colocar em risco o canal adutor adotou-se, para a distância mínima entre o *off set* do canal (corte ou aterro) e o eixo do dreno, o valor de 5 m.

As quedas verticais foram limitadas a 1,4 m de altura.

Onde a topografia é muito íngreme em extensões consideráveis foi utilizada a solução da inserção de escada dissipadora, em concreto armado.

As transições entre seções são do tipo “diedro”, com ângulo de convergência ou divergência igual a 30°. As tabelas que apresentam as listagens das características de todos os drenos estão apresentadas no Volume II. Anexos, deste relatório.

4.2 Dimensionamento Hidráulico dos Bueiros

Os bueiros foram dimensionados para o tempo de recorrência de 100 anos, utilizando-se galerias simples ou duplas, com as seguintes seções transversais (dimensões das células):

B (m)	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	3	3
H (m)	1,5	1,5	2	1,5	2	2	2,5	2	2,5	3

Onde:

B ⇒ Largura da célula;

H ⇒ Altura da célula.

A capacidade máxima de vazão para cada célula, foi admitida igual àquela correspondente a uma velocidade média de 2 m/s. Desta forma, tem-se para cada uma das seções a seguinte capacidades máximas de vazão:

B (m)	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	3	3
H (m)	1,5	1,5	2	1,5	2	2	2,5	2	2,5	3
Capacidade Máxima (m³/s)	3	4,5	6	6	8	10	12,5	12	15	18

Onde:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

$B \Rightarrow$ Largura da célula;

$H \Rightarrow$ Altura da célula.

A partir do conhecimento da vazão de projeto e das características da seção transversal do Canal Adutor, foi concebido para cada um dos bueiros, um traçado de perfil longitudinal, conformando uma ou duas declividades de fundo das galerias, caracterizando desta forma dois tipos, quais sejam: Tipo 1 e Tipo 2, com uma ou duas declividades respectivamente.

Em alguns casos o bueiro de uma única declividade ou duas declividades, possui alta inclinação no trecho de jusante, gerando escoamento super-crítico.

Nesses casos o bueiro possui na seção de saída um dissipador de impacto (cujas características são mostradas na **Tabela 1** - anexo).

Em função das cotas de nível d'água dos drenos, foram avaliados os perfis de linha d'água desde a seção de entrada até a saída da obra e entrada no canal de restituição.

As **Tabelas 5 e 6** - anexo, apresentam, de uma forma individualizada, para cada célula, o cálculo das velocidades nos trechos de diferentes declividades e no canal de restituição.

Foi admitida uma velocidade máxima de 2 m/s no canal de restituição.

Na **Tabela 5** - anexo pode-se encontrar o cálculo dos tirantes conjugados, para os casos de transição entre os regimes de escoamento torrencial e fluvial no caso de duas declividades e saída com baixa declividade.

As declividades de fundo, dos trechos e, regime fluvial, foram fixadas de forma a promover o afogamento dos tirantes conjugados e desta forma evitar que a turbulência tenha ação sobre a galeria. Nos casos em que a altura do tirante conjugado resultou superior a altura das galerias foi fixada para o trecho subsequente às do regime torrencial, a declividade crítica ou supercrítica.

Foram verificados nos trechos íngremes dos perfis longitudinais, onde verifica-se o regime torrencial de escoamento com dissipador de impacto na saída, velocidades cuja magnitude alcança o valor máximo de 12 m/s.

Recomenda-se que, nessas circunstâncias, sejam tomadas medidas de controle na execução do concreto dessas galerias, evitando-se a ocorrência de irregularidades na superfície visando a prevenção da cavitação.

O tratamento a ser adotado na execução dessas obras deverá ser similar ao que se adota na execução de rápidos de extravasores de barragens.

Os parâmetros de dimensionamento dos bueiros encontram-se nas **Tabelas 5 e 6** - anexo.

As características do Sistema de Restituição dessas obras encontram-se na **Tabela 15**- anexo.

4.3 Dimensionamento Hidráulico dos Sifões Invertidos

O dimensionamento hidráulico dos sifões invertidos seguiu a metodologia utilizada para o dimensionamento dos bueiros com as mesmas seções padronizadas.

A **Tabela 8** – no Volume II, apresenta o dimensionamento hidráulico dos sifões invertidos que mostra, para cada uma dessas obras, os parâmetros hidráulicos característicos de funcionamento.

Os posicionamentos das cotas de entrada e saída dos sifões foram estabelecidos respeitando-se o desnível necessário, correspondente às perdas de carga avaliadas.

As características dos Sistemas de Restituição dessas obras encontram-se na Tabela 15- anexo.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

4.4 Dimensionamento Hidráulico das Calhas de Lançamento no Canal

As denominadas “calhas retangulares de lançamento no canal”, assim como os “órgãos de dissipação”, foram dimensionadas para a condução até o canal adutor de uma vazão máxima de 0,772 m³/s.

Para tanto foi escolhida uma calha padrão de 1 m de largura e altura de 0,5 m. O lançamento das águas de drenagem no interior do canal adutor será feito após a dissipação da energia cinética criada pelo desnível geométrico, através de escada dissipadora e dissipadores de impacto.

A seção de escoamento das calhas, permite o trânsito da vazão máxima da obra, ou seja, 0,772 m³/s através de uma lâmina de cerca de:

$$dcr = \sqrt[3]{\frac{(0,772)^2}{9,81 \times 1,00}} \cong 0,39 \text{ m ;}$$

onde:

dcr \Rightarrow Tirante Crítico.

A escada dissipadora bem como o dissipador de impacto que em alguns casos integram esta obra, foram dimensionados através de metodologia preconizada pelo USBR.

4.5 Overchutes

Esse tipo de obra foi concebido para possibilitar a travessia do canal nas seções em corte ou corte-aterro quando não é viável o lançamento das águas de drenagem para o interior do canal dada a magnitude da vazão.

Antes da travessia do canal, através de calha de largura de 3,50 m e posterior descida no talude de aterro do canal através de escada dissipadora, prevê-se em alguns casos, a instalação de um dissipador de impacto na extremidade da travessia do canal.

O desenho EN.B/III.DS.HI.0056 (página 093 do caderno de desenhos) ilustra esta obra tipo.

4.6 Passagens Molhadas

As Passagens Molhadas concebidas são caracterizadas por solução de drenagem transversal à rede viária em regiões semi-áridas.

Admite-se um escoamento intermitente de curta duração pelos talwegues.

Assim é que foram previstas 32 passagens molhadas cruzando o sistema viário associado ao canal (20% da quantidade de obras de travessia).

Essa obra tipo pode ser observada no desenho EN.B/III.DS.HI.0049 - página 095 do caderno de desenhos.

4.7 Bueiro sob Estrada

Com o objetivo de promover a continuidade do sistema de drenagem de proteção do canal adutor nas proximidades da estaca 26+00, foi concebido um sistema de travessia de uma estrada existente através de bueiro associado a escadas dissipadoras de condução e restituição a um talvegue. O desenho EN.B/III.DS.HI.0046 (página 097 do caderno de desenhos) ilustra esta obra.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

5 . SISTEMA DE DRENAGEM

O sistema de drenagem concebido congrega uma rede de drenos com direção predominantemente paralela ao eixo do canal adutor, que tem o objetivo de interceptar e dirigir as águas provenientes das precipitações pluviométricas para os talvegues naturais.

As águas serão lançadas diretamente no interior do canal adutor, no caso em que a posição relativa entre o dreno e o nível d'água no canal permitir e as vazões máximas, para um tempo de recorrência de 100 anos, não sejam superiores a 0,772 m³/s.

O sistema de drenagem é composto das seguintes obras:

- a) Extensão de drenos projetados: 57,97 km.
- b) Obras de travessia do canal:
 - b.1) Bueiros.....137 und.
 - b.2) Sifões Invertidos.....12 und.
 - b.3) Overchutes.....9 und.
- c) Calhas de lançamento das águas no canal:..... 7 und.

O detalhamento do Sistema de Drenagem concebido encontra-se apresentado nos desenhos EN.B/III.DS.HI.0012 à 0044 – páginas 047 à 079 do caderno de desenhos.

A seção tipo de drenos bem como as quedas e transições encontram-se no desenho EN.B/III.DS.HI.0048 (página 081 do caderno de desenhos). As obras padronizadas dos dispositivos de drenagem superficial encontram-se nos desenhos EN.B/III.DS.HI.0047 a 0049 (páginas 080, 081 e 095 do caderno de desenhos).

Na **Tabela 2** do Volume II deste relatório, são apresentados os parâmetros de dimensionamento dos drenos bem como das escadas dissipadoras que foram utilizadas na rede de drenagem, nos trechos de topografia íngreme, na **Tabela 3**.

5.1 Definição das Áreas de Drenagem

As pequenas áreas de drenagem, que ficaram integralmente contidas na faixa do levantamento topográfico do canal, tiveram suas áreas levantadas na escala 1:2.000.

As grandes áreas, normalmente com magnitude superior a 3,5 km², foram definidas quando necessário, com o uso complementar da cartografia disponível nas escalas 1:25.000 e 1:100.000.

Os desenhos EN.B/III.DS.HI.0003 a 0011(páginas 038 a 046 do caderno de desenhos) mostram as áreas de contribuição marcadas em superposição ao sistema de drenagem concebido.

5.2 Projeto da Rede de Drenos

A rede de drenos, com extensão total de 57,97 km, foi projetada considerando-se a condução das águas pluviais através de canais trapezoidais revestidos de concreto simples.

As declividades dos drenos foram estabelecidas, na medida do possível, paralelas à linha do terreno natural com o intuito de otimizar os volumes de escavação, procurando-se respeitar o limite de velocidade de 3 m/s, lançando-se mão, quando necessário, da introdução de quedas verticais e/ou escadas dissipadoras.

O traçado da rede de drenos é apresentado nos desenhos EN.B/III.DS.HI.0012 à 0044 - páginas 047 à 079 do caderno de desenhos.

A **Tabela 2** apresenta o dimensionamento hidráulico dos drenos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

A **Tabela 10** apresenta o levantamento dos quantitativos dessa obra.

A **Tabela 15** mostra os pontos de deságüe dos drenos.

5.3 Projeto das Obras de Travessia do Canal Adutor e Obras Típicas Anexas aos Drenos

Os critérios utilizados na seleção das obras de travessia do canal foram:

a) Bueiros

Nos casos de aterro pleno e condições topográficas de restituição com extensão inferior a 100 m (faixa de domínio do canal) na maioria dos casos.

b) Sifões Invertidos

Utilizados para os casos de travessia de seções mistas do canal adutor, onde não foi possível adotar o bueiro convencional dentro dos critérios estabelecidos.

c) *Overchutes*

Utilizados nas seções mistas para vazões superiores a 0,772 m³/s.

d) Calhas de Lançamento

Utilizadas nas seções de corte pleno e seções mistas com pequenos aterros das bermas laterais, para vazões até 0,772 m³/s.

Em algumas delas, a obra está associada a órgãos dissipadores para atravessar com segurança a berma de equilíbrio e a estrada de operação e manutenção do canal adutor.

5.3.1 Bueiros

Essas obras são caracterizadas por galerias dotadas de uma ou duas células de dimensões padronizadas com grades de proteção a montante e a jusante, e serão moldadas *in situ*. Possuem em geral duas declividades de fundo e canais de restituição com extensões inferiores a 100 m em relação ao eixo do canal.

Seu projeto encontra-se apresentado sob forma de obra-tipo com as dimensões variáveis indicadas por letras e cujos dados de aplicação é mostrada na **Tabela 7**.

O projeto de drenagem deste segmento do Trecho III, contemplou um total de 137 bueiros.

Em anexo, são apresentadas as seções longitudinais de cada uma dessas obras.

5.3.2 Sifões Invertidos

Caracterizam-se por três trechos distintos. No sentido do fluxo, quanto à declividade de fundo, desenvolvem-se através de trecho descendente, quase plano e ascendente.

Serão constituídos de galerias dotadas de uma, duas ou três células retangulares com dimensões padronizadas, dotados de grades de proteção a montante e a jusante, e serão moldados *in situ*.

Devido ao desenvolvimento longitudinal do sifão, com trecho final ascendente, prevê-se que após o período chuvoso a parte mais baixa da galeria acumulará água e necessitará de retirada através de bomba submersível portátil pela equipe de manutenção.

Na medida do possível, alguns sifões invertidos foram transformados em bueiros considerando-se a direção esconsa ao eixo do Canal Adutor, tendo sido no entanto mantidos no projeto 12 sifões invertidos.



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O projeto desta obra encontra-se apresentado, sob forma de obra-tipo, no desenho EN.B/III.DS.HI.0055 (página 087 do caderno de desenhos), que mostra as dimensões variáveis indicadas por letras. (**Tabela 9**)

As seções longitudinais de cada uma dessas obras, estão apresentadas no Volume II - Anexos.

5.3.3 Calhas de Lançamento no Canal

São as obras destinadas ao lançamento, com segurança, das águas de drenagem para o interior dos canais. Algumas dessas obras são associadas a órgãos de dissipação, sejam escadas ou dissipadoras de impacto.

Possuem na entrada, grade de proteção, sendo dotadas de laje nas travessias das estradas de serviço, devidamente armadas para resistência ao tráfego de veículos.

Os desenhos EN.B/III.DS.HI.0058 (páginas 092 do caderno de desenhos) ilustram a obra e os órgãos de dissipação, sob forma de obra-tipo.

A tabela de aplicação desta obra encontra-se no desenho EN.B/III.DS.HI.0051- página 090 do caderno de desenhos.

5.3.4 Overchute

É indicado para aplicação nas travessias aéreas do Canal Adutor nos casos de seção mista do canal.

São associados a Dissipador de Impacto e Escadas Dissipadoras.

Os desenhos EN.B/III.DS.HI.0056 e 0065 (páginas 093 e 094 do caderno de desenhos) mostram esta obra-tipo nos quais pode-se observar as tabelas de aplicação desta obra.

5.3.5 Escada Dissipadora

Essas obras foram indicadas para inserção na rede de drenos nos casos de topografia muito íngreme.

As escadas, constituídas de concreto armado, serão caracterizadas pelos seguintes parâmetros:

- Altura do degrau;
- Extensão do degrau;
- Muros laterais.

O desenho EN.B/III.DS.HI.0057 (página 096 do caderno de desenhos) mostra esta obra-tipo. A **Tabela 4** de Aplicação mostra as dimensões desta obra. O dimensionamento hidráulico das mesmas encontra-se na **Tabela 3**.

5.3.6 Passagem Molhada

As passagens molhadas são aplicadas nos casos das travessias de pequenos talwegues pelo sistema viário local. O desenho EN.B/III.DS.HI.0049 (página 095 do caderno de desenhos) ilustra as características desta obra.

A bacia de aproximação que reúne os drenos direcionados para as obras de travessia, possui variantes quanto à chegada dos mesmos e estão apresentadas no desenho EN.B/III.DS.HI.0047 - página 080 do caderno de desenhos.

5.3.7 Bueiro sob Estrada

Esta obra tem a finalidade de dar continuidade ao sistema de drenagem que tem como obstáculo uma estrada existente nas proximidades da estaca 26 + 267 do canal.



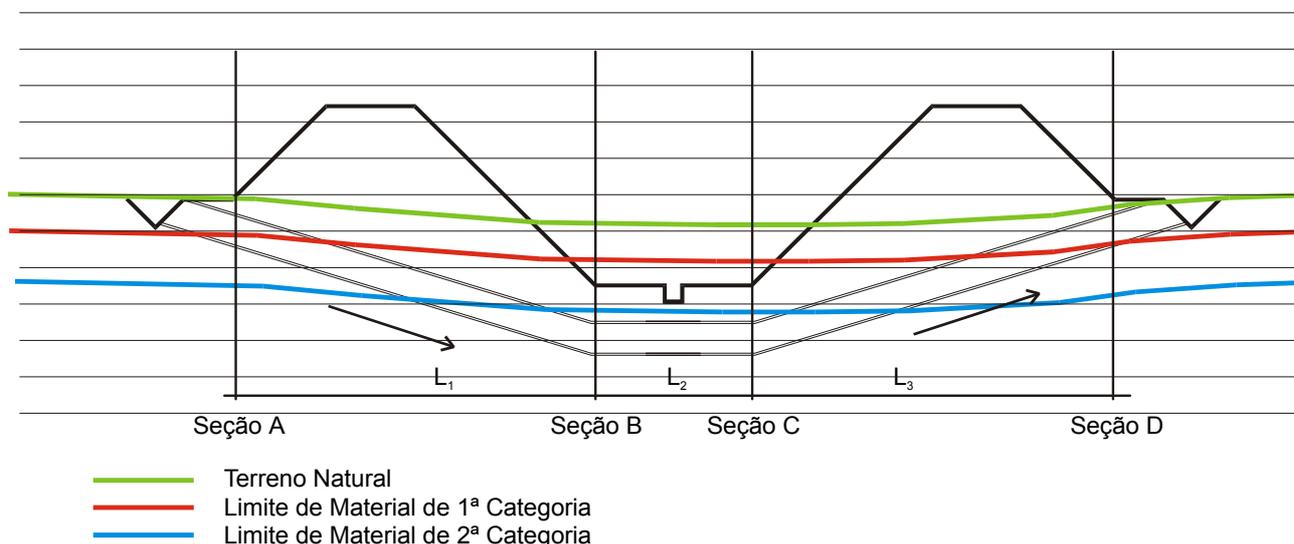
Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

O projeto do bueiro sob a estrada está associado a escadas dissipadoras a montante e a jusante dada a magnitude da declividade longitudinal do terreno. Os desenhos EN.B/III.DS.HI.0046 (página 097 do caderno de desenhos) ilustram esta obra.

6 . LEVANTAMENTO DOS QUANTITATIVOS

Foram levantados os quantitativos relativos ao movimento de terra, considerando-se a escavação de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, com base nos limites de cada um desses materiais inferidos e apresentados nas seções transversais das obras, bem como para as estruturas de concreto, os volumes de concreto estrutural, concreto magro, área de formas e peso de ferragem de armação.

No que concerne ao levantamento dos quantitativos dos bueiros e sifões invertidos, foi adotada para este fim uma metodologia, que permite obter os valores dos quantitativos com base no estabelecimento de quatro seções transversais aplicadas na seção longitudinal de cada obra, conforme mostrado no esquema apresentado a seguir:



Desta forma foram calculados os quantitativos de cada uma das seções e integralizados para todas as obras.

Nas **Tabelas 10, 11, 12 e 13** anexo são mostrados os quantitativos para cada uma das obras do Sistema de Drenagem concebido.

7 . MEMÓRIA DE CÁLCULO

Apresenta-se a seguir os cálculos demonstrativos da capacidade de vazão dos bueiros funcionando como canal.

7.1 Bueiros Funcionando como Canal - Declividades Críticas - Expressões Gerais

- Bueiros Tubulares

$$l_{cr} = 32,82 \times \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}}$$

- Bueiros Celulares

$$l_{cr} = \frac{2,6 \times n^2}{\sqrt[3]{H}} \left[3 + \frac{4H}{B} \right]^{4/3}$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.2 Bueiros Funcionando como Canal - Regime Sub-Crítico - Expressões Gerais

Bueiros funcionando com profundidade de fluxo de 80% e folga de 20%.

- Bueiros Tubulares

$$Q_{adm} = \frac{0,305}{n} \times D^{8/3} \times I^{1/2}$$

$$U = \frac{0,452}{n} \times D^{2/3} \times I^{1/2}$$

- Bueiros Celulares

$$Q_{adm} = \left[\frac{(0,8 \times B \times H)^5}{(B + 1,6H)^2} \right]^{1/3} \times \frac{I^{1/2}}{n}$$

$$U = \frac{Q_{adm}}{0,8 \times B \times H}$$

7.3 Bueiros Funcionando como Canal - Regime Supercrítico - Expressões Gerais

$$Q_{adm} = 1,705 \times B \times H^{3/2}$$

$$U = 2,56 \times \sqrt{H}$$

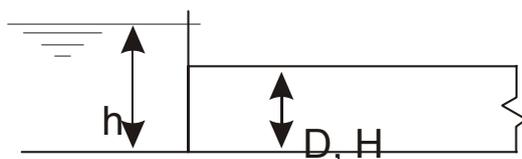
ou

$$Q_{adm} = 1,533 \times D^{5/2}$$

$$U = 2,56 \times \sqrt{D}$$

7.4 Bueiros Funcionando como Orifício - Expressões Gerais

Qdo $Q_{af1} > Q_{adm} \Rightarrow$ Acúmulo de Água Junto a Entrada da Obra



$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2gh}$$

C_d varia de 0,77 a 0,55

C_d médio = 0,63

Com margem de Segurança de 20%

$$Q_{adm} = 2,192 \times D^2 \times h^{1/2}$$

$$U = 2,79 \times h^{1/2}$$

$$Q_{adm} = 2,75 \times B \times H \times h^{1/2}$$

$$U = 2,56 \times \sqrt{H}$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Capacidade de Vazão P/V=2m³/s	Seção dos Bueiros		Ho = 1,2H	Capacidade Máxima de Vazão (m³/s)			
	B (m)	H (m)		H < Ho = H Sub-Crítico	H < Ho = H Supercrítico	H ≥ Ho = 1,1H Sub-Crítico	H ≥ Ho = 1,1H Supercrítico
3,00	1,00	1,50	1,80	3,13	3,13	3,97	3,97
4,50	1,50	1,50	1,80	4,70	4,70	5,95	5,95
6,00	1,50	2,00	2,40	7,23	7,23	9,16	9,17
6,00	2,00	1,50	1,80	6,26	6,26	7,94	7,94
8,00	2,00	2,00	2,40	9,64	9,64	12,22	12,22
10,00	2,50	2,00	2,40	12,06	12,06	15,28	15,28
12,50	2,50	2,50	3,00	16,85	16,85	21,36	21,38
12,00	3,00	2,00	2,40	14,47	14,47	18,34	18,34
15,00	3,00	2,50	3,00	20,22	20,22	25,63	25,63
18,00	3,00	3,00	3,60	26,58	26,58	33,69	33,69

Para $H \leq H_o$, adotar $H = H$

$$dcr = 2/3H$$

$$dcr = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gxB^2}}$$

$$(dcr)^3 = \frac{Q^2}{gB^2}$$

$$Q = \sqrt{(dcr)^3 \times gB^2}$$

Para $H \geq H_o$, adotar $H = 1,1H$

$$Q = 0,63 \times B \times H \times \sqrt{2g \times (1,1H - H/2)}$$

$$Q = 0,63 \times B \times H \times \sqrt{2g} \times \sqrt{0,6H}$$

$$Q = 2,79 \times B \times H \times \sqrt{0,6H}$$

7.5 Dimensionamento dos Bueiros - Expressões Utilizadas

- Cálculo das Cotas de Fundo:

Para Bueiros de 1 Declividade:

$$CFB = CF_{canal} - 1,6 - H - (2 \times e_1) - 0,1$$

$$CF_c = CT_{C1} - H - (2 \times e_1) - 0,1$$

$$CF_a = CF_B + (i \times l_2)$$

Para Bueiros de 2 Declividades:

$$CF_A = CT_{A1} - H - (2 \times e_1) - 0,1$$

$$CF_c = CT_{C1} - H - (2 \times e_1) - 0,1$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

$$CF_B = CF_C + (i_2 \times l_3)$$

Obs.: Algumas cotas ficam modificadas a fim de diminuir a escavação ou de manter a folga de 1,60 entre a laje superior do bueiro e o fundo do canal, sendo as citadas cotas de partida.

- Cálculo do Tirante no Trecho AB:

$$\Delta h_1 = CF_B - CF_A$$

$$i_1 = \frac{\Delta h_1}{l_2} \leq 0,50 \text{ m/m}$$

Por Manning:

$$Q = \frac{A R^{2/3} I^{1/2}}{n}$$

Onde:

Q = Vazão/célula (m³/s);

A = Áreas molhada (m²);

R = Raio hidráulico (m);

I = Declividade (m/m);

n = 0,015 (s/m^{1/3}).

No caso dos bueiros de 1 declividade, d₁ e v₁ correspondem ao tirante e velocidade de todo o bueiro, sendo necessário uma estrutura de dissipação no final.

- Cálculo do Tirante no Trecho BC:

$$d_{\text{conj}} = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{2(v_1)^2 \cdot d_1}{g} + \frac{(d_1)^2}{4}}$$

Onde:

v₁ = Velocidade (m/s);

d₁ = Tirante do Trecho AB (m);

B = Base do bueiro.

$$d_{\text{crit}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{9,81 \times B^2}}$$

$$i_{\text{crit}} = \left(\frac{0,015 Q^2}{A R^{2/3}} \right)^2$$

Adotando-se i = 0,0025 (m/m)

n = 0,015 (s/m^{1/3})

Por Manning, acha-se um valor de d₂. Devem ser observadas as seguintes condições:

$$d_2 \geq d_{\text{conj}}$$

$$d_2 < H \quad (H = \text{Altura do bueiro})$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Em caso de $d_2 < d_{conj}$, há a formação de ressalto, portanto a não observância de uma destas condições implica na adoção da declividade crítica.

7.6 Dimensionamento dos Sifões Invertidos - Expressões Utilizadas

- Cálculo das Cotas de Fundo:

$$CF_A = CT_{A1} - H - (2 \times e_1) - 0,1$$

$$CF_B = CF_{canal} - 1,6 - H - (2 \times e_1) - 0,1$$

$$CF_C = CF_B - (0,005 \times l_3)$$

$$CF_D = CT_{D1} - H - (2 \times e_1) - 0,1$$

- Cálculo da Perda de Carga:

$$J = \left(\frac{n Q}{A R^{2/3}} \right)^2$$

Onde: Q = Vazão p/célula (m³/s);

n = 0,015 (s/m^{1/3});

A = B.H (m²);

$$R = \frac{A}{P} \text{ (m)}.$$

E a perda de carga por atrito ao longo do canal é dada por:

$$J \times (l_2 + l_3 + l_4)$$

- Cálculo das Perdas de Localizadas:

Grade de Proteção:

$$hf = \beta \operatorname{sen} \alpha \left(\frac{e}{d} \right)^{4/3} \times \frac{v^2}{2g}$$

Onde: β = Fator de forma das grades (2,42);

α = Inclinação das grades em relação a horizontal (45°);

e = Espessura das grades (1" = 0,0254m);

d = Distância entre as grades (0,4m);

v = Velocidade da água calculada para projeção da abertura sobre um plano vertical, sem se descontarem as barras da grade.

Entrada, Saída e Curvas:

Foram consideradas as perdas de 2 curvas de 45° e calculadas pelos seguintes coeficientes de perdas K:



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Situação	K
Entrada	0,2
Saída	0,4
Curva	0,1

$$hf = k \frac{v^2}{2g}$$

- Verificação das Perdas de Carga:

$$hf_{\text{total}} = hf_{\text{atrito}} + \sum hf_{\text{localizada}} \leq CF_D - CF_C$$

- Cálculo do Tirante e Velocidades de Saída:

$$d_{\text{saída}} = \left(\frac{Q}{1,71 \times B} \right)^{2/3}$$

$$v_{\text{saída}} = \frac{Q}{A}$$

Onde: Q = Vazão/célula (m³/s);

B = Base do sifão (m);

A = B x d_{saída} (m²).

7.7 Dimensionamento da Estrutura de Dissipação - Fórmulas Utilizadas

- Cálculo do Número de Froude: (Ábaco 7.1)

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d}}$$

Onde: v = Velocidade (m/s);

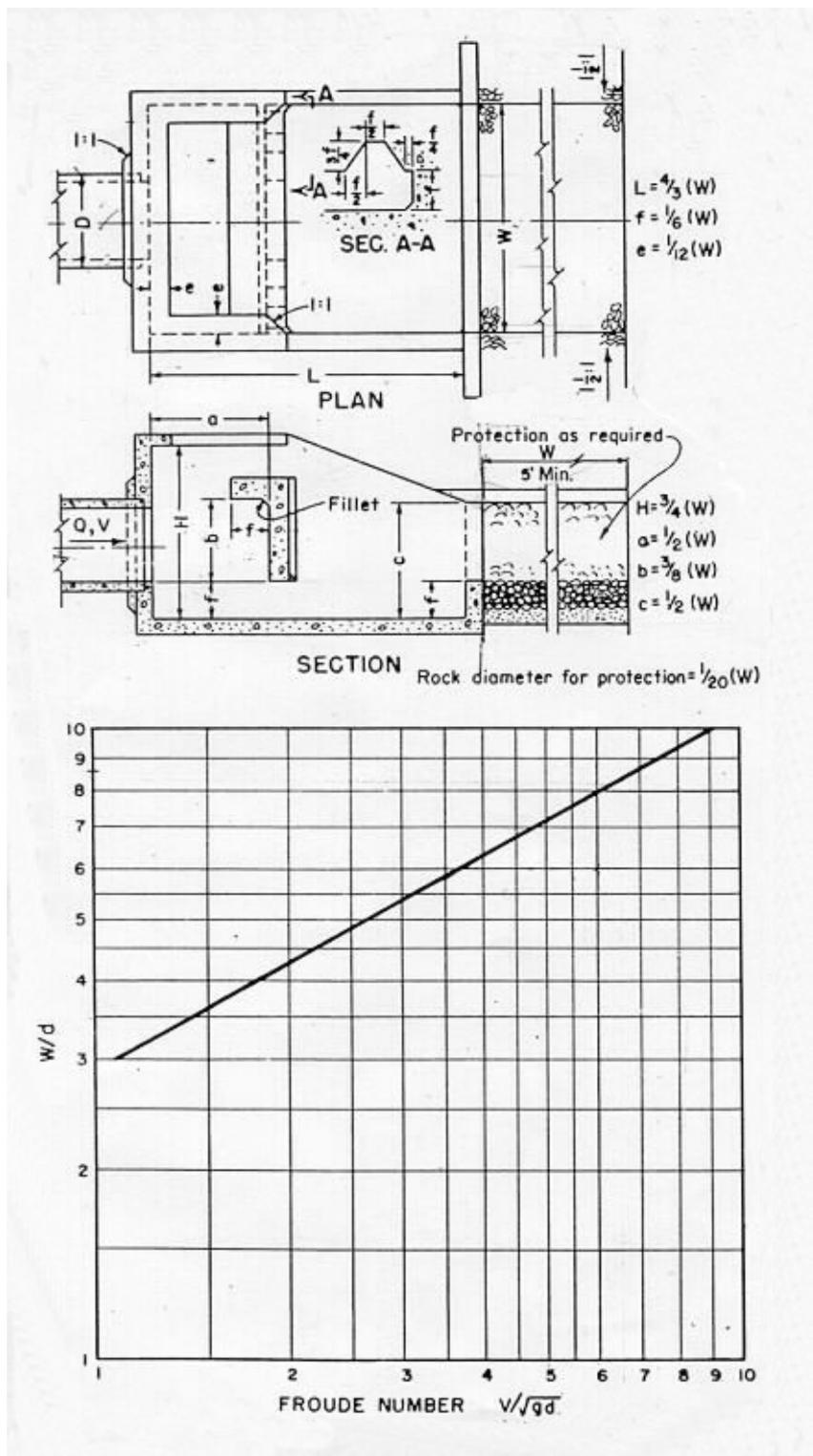
g = 9,81 m/s²;

d = Tirante na saída do bueiro (m).

$$\text{Para o Ábaco: } d = \sqrt{\frac{\frac{Q/\text{cel}}{v} \times 4}{3,1415}}$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico



7.1 Ábaco – Número de Froude x w/d



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.8 Dimensionamento do Canal de Restituição - Fórmulas Utilizadas

Após as caixas de saída ou estruturas de dissipação, foi dimensionado um canal de saída com as características geométricas dadas na Tabela 13 anexo.

No caso dos bueiros com estrutura de dissipação, considerou-se $H_r = C$.

A declividade adotada foi de 0,001m/m e a velocidade de saída calculada por Manning ($n = 0,025$), de modo a não ultrapassar 2,00m/s.

7.9 Dimensionamento das Escadas Dissipadoras

As escadas dissipadoras foram calculadas por trecho, seguindo a declividade do terreno.

Dados do Projeto: Δh (m);

Extensão (m);

h_{degrau} (m);

Q_{acum} (m^3/s);

B (m).

$$z = \frac{1}{\text{Declividade}}$$

$$L = h_{\text{degrau}} \times z$$

$$q_1 = \frac{Q_{\text{acum}}}{B} \text{ (m}^3/\text{s/m)}$$

$$q_2 = 10,765 \times q_1 \text{ (m}^3/\text{s/m)}$$

$$d_{\text{crit}} = \left(\frac{q_1^2}{9,81} \right)^{1/3}$$

$$D = \frac{q_2^2}{1.135,45 \times (h_{\text{deg}})^3}$$

$$d_1 = 0,54 \times D^{0,425} \times h_{\text{deg}} \text{ (m)}$$

$$d_2 = 1,66 \times D^{0,27} \times h_{\text{deg}} \text{ (m)}$$

$$L_d = 2,6 \times d_2 \text{ (m)}$$

$$L_{\text{conj}} = 3 \times L_d$$

$$L_T = L_d + L_{\text{conj}}$$

$$\text{Altura do muro} = d_2 + 0,12 \times \log(Q_{\text{acum}}) + 0,15$$

$$\text{N.º de graus} = \frac{\text{Extensão}}{L}$$

7.10 Bueiro sob Estrada

Local: estaca 26+267 do Canal

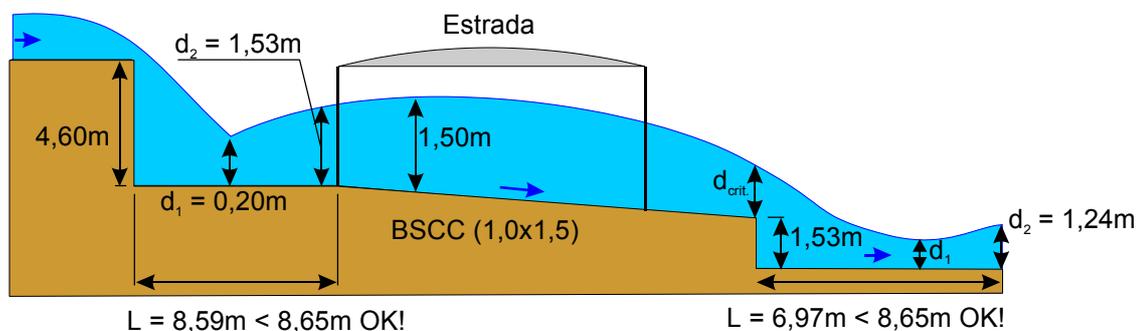
Vazão: 1,581 m^3/s



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

Dreno: 151

Esquema:



$$d_{crit} = \sqrt[3]{\frac{(1,281)^2}{g \times (1)^2}} = 0,634\text{m}$$

$$\left. \begin{array}{l} Q = 1,581\text{m}^3/\text{s} \\ B = 1,00\text{m} \\ H = 1,50\text{m} \end{array} \right\} \begin{array}{l} i = 0,000736\text{m/m} \\ V = 1,01\text{m/s} \end{array}$$

7.11 Dimensionamento das Escadas do Bueiro sob Estrada

OBRA	h_{DEG} (m)	L (m)	$Q_{(ac)}$ (m ³ /s)	B (m)	d_{crit}	q_1 (m ³ /s/m)	q_2 (m ³ /s/m)	D	d_1 (m)	d_2 (m)
ESC.1	1,45	8,65	1,581	1,00	0,633964458	1,581	17,019	0,084	0,27	1,23
ESC.2	1,53	8,65	1,581	1,00	0,633964458	1,581	17,019	0,071	0,27	1,24
ESC.3	4,60	8,65	1,581	1,00	0,633964458	1,581	17,019	0,003	0,20	1,53

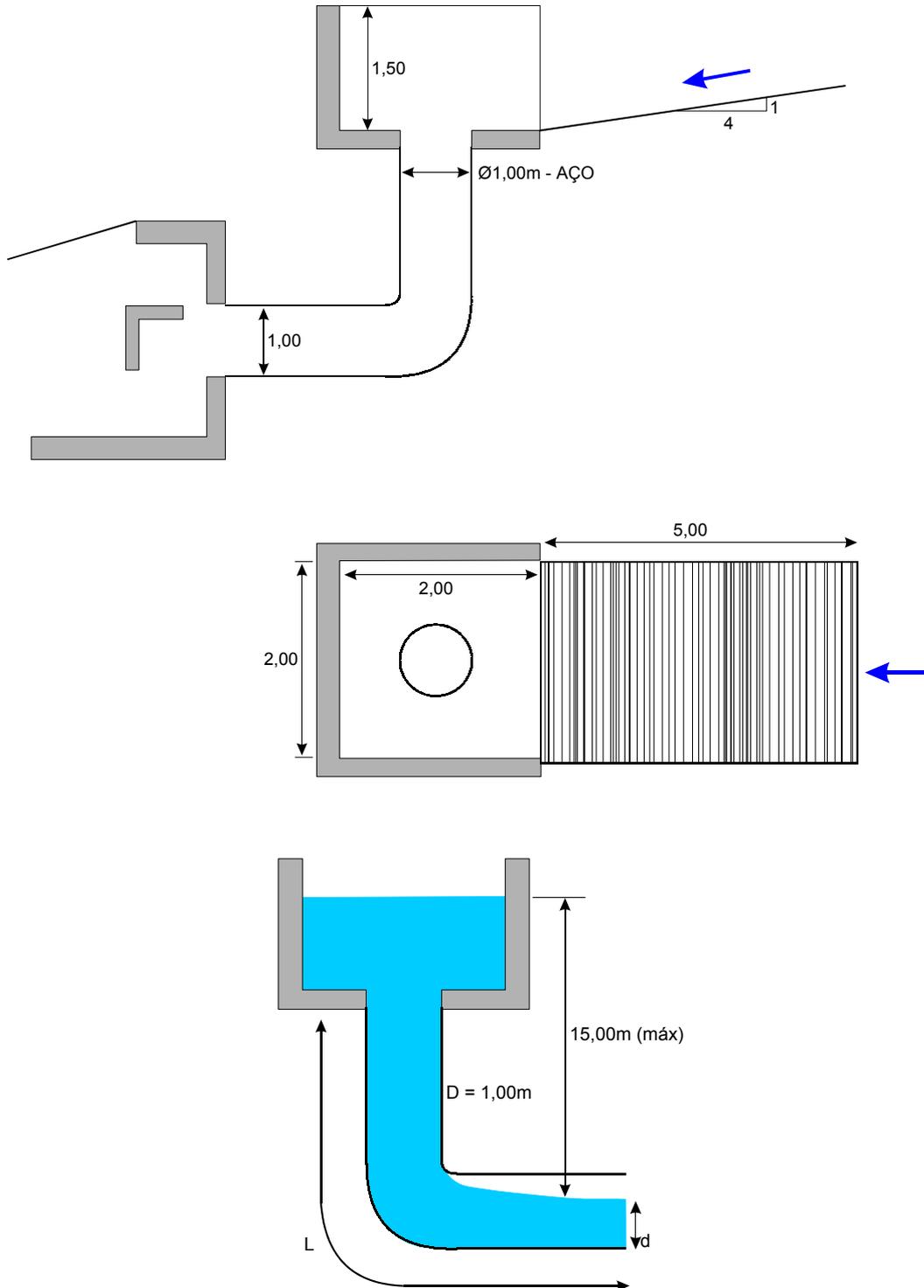
OBRA	L_d (m)	L_{conj} (m)	L_l (m)	d_2 (m)	d_r (m)	d_2+f (alt. muro)	nº degraus	e (m)	Concreto magro (m ³)
ESC.1	3,20	3,696	6,90	1,232	0,174	1,41	2,0	0,15	2,64
ESC.2	3,24	3,734	6,97	1,245	0,174	1,42	8,0	0,05	10,56
ESC.3	3,99	4,602	8,59	1,534	0,174	1,71	1,0	0,15	1,42

OBRA	Área de formas (m ²)	Volume de concreto (m ³)	Aço (Kg)	B (m)	H	e	h+alt.muro (m)	E1	E2
ESC.1	168,25	25,46	1527,89	0,82	0,94905805	0,28	2,86	0,15	0,25
ESC.2	686,61	103,68	6220,84	1,28	0,94905805	0,30	2,95	0,15	0,25
ESC.3	153,96	25,95	1557,08	0,72	0,94905805	0,59	6,31	0,20	0,30



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

7.12 Overchute



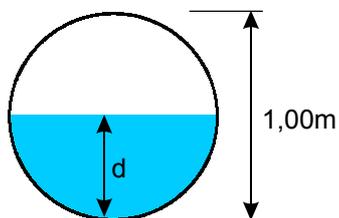
$$V = \frac{2,10}{\frac{\pi \times (1)^2}{4}} = 2,68 \text{ m/s}$$

$$L = 15\text{m} \Rightarrow h_j = 0,05\text{m (desprezível)}$$



Transposição de Águas do Rio São Francisco - Projeto Básico

$$\frac{V^2}{2g} = 15 \quad \therefore \quad V = 17,2 \text{ m/s}$$



$$\left. \begin{array}{l} Q = 1,34 \text{ m}^3/\text{s} \\ V = 17,20 \text{ m/s} \end{array} \right\} \begin{array}{l} d = 0,16 \text{ m} \\ Fr = 16,5 \end{array}$$

$$\frac{W}{d} = 10 \quad \therefore \quad W = 10 \times 0,31 = 3,10 \text{ m}$$

Adotado: $W = 3,50 \text{ m}$

$$\frac{\pi D e q^2}{4} \times 17,2 = 1,34 \quad \therefore \quad D e q = 0,31 \text{ m}$$

7.13 Dimensionamento de Escadas dos Overchutes

OBRA	ΔH	EXT (m)	DECLIVIDADE (m/m)	h_{DEG} (m)	Z (m)	L (m)	$Q_{(ac)}$ (m ³ /s)	B (m)	d_{crit}
O3-002	7,50	9,80	0,76531	3,00	1,31	4,50	1,041	3,50	0,2081447
O3-003	22,80	27,00	0,84444	3,00	1,18	4,50	1,341	3,50	0,2464247
O3-004	27,50	42,50	0,64706	3,00	1,55	4,50	1,603	3,50	0,2775581
O3-005	24,80	36,50	0,67945	3,00	1,47	4,50	2,526	3,50	0,3758552
O3-006	6,80	10,00	0,68000	3,00	1,47	4,50	2,382	3,50	0,3614316
O3-007	33,50	50,00	0,67000	3,00	1,49	4,50	2,300	3,50	0,3530885
O3-008	20,80	31,50	0,66032	3,00	1,51	4,50	2,024	3,50	0,324244
O3-009	35,40	54,50	0,64954	3,00	1,54	4,50	1,330	3,50	0,2450752

OBRA	q_1 (m ³ /s/m)	q_2 (m ³ /s/m)	D	d_1 (m)	d_2 (m)	L_d (m)	L_{conj} (m)	L_t (m)	d_2 (m)
O3-002	0,30	3,202	0,0003	0,05	0,57	1,49	1,72	3,21	0,57
O3-003	0,383142857	4,124532857	0,000554904	0,07	0,66	1,71	1,9737375	3,68	0,6579125
O3-004	0,458	4,93037	0,000792916	0,08	0,72	1,88	2,17341147	4,06	0,7244705
O3-005	0,721714286	7,769254286	0,001968915	0,11	0,93	2,41	2,77838137	5,19	0,9261271
O3-006	0,680571429	7,326351429	0,001750829	0,11	0,90	2,33	2,69169843	5,02	0,8972328
O3-007	0,657142857	7,074142857	0,00163236	0,11	0,88	2,29	2,64125835	4,93	0,8804195
O3-008	0,578285714	6,225245714	0,001264099	0,10	0,82	2,14	2,46508288	4,60	0,8216943
O3-009	0,38	4,0907	0,000545838	0,07	0,65	1,70	1,96497821	3,67	0,6549927

OBRA	d_r (m)	d_2+f (alt. muro)	Ext. (τ) (m)	nº degraus	e (m)	Concreto magro (m ³)	Área de formas (m ²)	Volume de concreto (m ³)	Aço (Kg)
O3-002	0,15	0,73	9,8	2,2	0,15	4,20	124,17	30,31	1818,62
O3-003	0,165291453	0,82	27,0	6,0	0,05	11,56	348,41	84,83	5089,91
O3-004	0,174592023	0,90	42,5	9,4	0,15	18,20	567,92	135,86	8151,77
O3-005	0,198292002	1,12	36,5	8,1	0,20	15,63	523,49	121,79	7307,27
O3-006	0,195233011	1,09	10,0	2,2	0,15	4,28	141,37	33,13	1987,69
O3-007	0,19340734	1,07	50,0	11,1	0,15	21,41	703,10	165,08	9904,89
O3-008	0,186745261	1,01	31,5	7,0	0,15	13,49	434,71	102,77	6165,93
O3-009	0,164862197	0,82	54,5	12,1	0,10	23,34	706,77	171,38	10282,78