

GOVERNO DO ESTADO



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH**

**PLANO DE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DOS  
RECURSOS NATURAIS DA BACIA DO RIO TIMONHA**

**Volume I Memorial Descritivo e  
Memorial de Cálculo**

**TEC CONSULT**

FORTALEZA  
JANEIRO 1995

# GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

## SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

### PLANO DE APROVEITAMENTO MÚLTIPLO DOS RECURSOS NATURAIS DA BACIA DO RIO TIMONHA

#### VOL. 1 - MEMÓRIA DESCRITIVA E MEMÓRIA DE CÁLCULOS



TEC-CONSULT LTDA

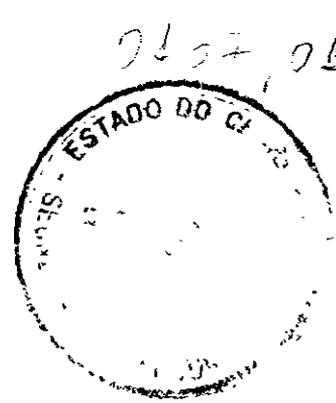
TEC-CONSULT - Consultoria, Projetos, Irrigação, Comércio e Representações Ltda

11.11.95  
Novembro de 1995

unif tipo papel  
Lote. 01583 - Prep (X) Scan (X) Index ( )  
Projeto Nº 167101  
Volume 1  
Qtd A4 60 Qtd A3  
Qtd A2 Qtd A1  
Qtd A0 1 Outros



TEC-CONSULT LDA



- SUMÁRIO



## SUMÁRIO

	Página
<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	1
<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</b> .....	5
<b>3 - ESTUDOS BÁSICOS</b> .....	8
3.1 - LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS	9
3.2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	9
3.2.1 - Caracterização Geral da Bacia.....	9
3.2.2 - Características da Chuva sobre a Bacia .....	9
3.2.3 - Volume Médio Afluente Anual .....	11
3.2.4 - Estudo das Cheias . . . . .	11
3.2.5 - Estudo de Regularização do Reservatório ..	12
3.3 - ESTUDOS GEOLÓGICO/GEOTÉCNICOS	13
3.3.1 - Geologia .....	13
3.3.2 - Investigação Geotécnica ...	14
<b>4 - INFLUÊNCIA DOS ESTUDOS BÁSICOS NA CONCEPÇÃO DO PROJETO</b> .....	17
<b>5 - CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS OBRAS</b> .....	19
5.1 - GENERALIDADES	20
5.2 - BARRAGEM PRINCIPAL	20
5.2.1 - Constituição do Maciço .....	20
<b>6 - GEOMETRIA DA BARRAGEM</b> .....	21
<b>7 - BARRAGEM AUXILIAR</b> .....	25
<b>8 - SANGRADOURO</b> .....	27
<b>9 - TOMADA D'ÁGUA</b> .....	29
<b>10 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM ITAÚNA</b> .....	31
<b>MEMÓRIA DE CÁLCULOS</b> .....	33

000004



**APRESENTAÇÃO**



Este documento consolida o capítulo Memória Descritiva e Memória de Cálculos do Açude Itaúna, executado através do Contrato N° 41/95 firmado entre a TEC-CONSULT - Consultoria, Projetos, Irrigação, Comércio e Representações Ltda e a SRH - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, sobre a Elaboração do Plano de Aproveitamento Múltiplo dos Recursos Naturais da Bacia do Rio Timonha

Fortaleza, novembro de 1995

TEC-CONSULT LTDA

  
Gibrail Dib - Geólogo  
CRA 278769340-72 - CREA 7958-D  
Dir. Tec. e Executivo

000006



**1 - INTRODUÇÃO**

000007



O presente relatório tem o objetivo de apresentar o Projeto Básico da Barragem Itaúna, que barra o rio Timonha, integrante da bacia do rio Coreaú, no município de Chaval, Estado do Ceará

O empreendimento tem como finalidade a regularização do rio Timonha para fins de abastecimento da cidade de Chaval e demais distritos e comunidades, a exploração de terras irrigáveis a jusante do barramento e das terras que circundarão o futuro lago, além de possibilitar o desenvolvimento da pesca

Para a definição dos parâmetros de projeto, tomou-se por base os estudos básicos já desenvolvidos, que constaram de um levantamento planialtimétrico no local da obra e da bacia hidráulica, com curvas de nível de metro em metro e abrangendo a área de implantação das obras, uma campanha de sondagens ao longo do eixo barrável e, de pesquisa de material para construção do maciço, inclusive ensaios de laboratório de amostras colhidas em jazidas (areia, rocha e material argiloso) próximas ao local do barramento

Uma avaliação das características físicas do local do empreendimento, com base nos dados acima, conduziu à escolha do tipo de barragem mais econômico, considerando-se os aspectos técnicos e econômicos da obra. A alternativa mais atraente foi uma barragem de terra homogênea com vertedouro isolado, próximo à ombreira <sup>esquerda</sup> direita e, após o vertedouro, um dique auxiliar. As condições de fundação descartam a outra opção de barragem de concreto (quartzito alterado encoberto por uma camada de aluvião com espessura média de 2,0 m), e a grande disponibilidade e qualidade de materiais de construção, SC, a uma distância média de 1,0 km, conduzem a uma melhor solução em barragem de terra

Apresenta-se a seguir as características principais da barragem

Acumulação de reservatório(cota 32,50) = 77 500 000 m<sup>3</sup>

Cota do coroamento da barragem = 35,10

Altura máxima da barragem = 16,30 m

Extensão pelo coroamento

barragem principal = 392,00 m

dique auxiliar = 38,00 m

Volume total da barragem e dique auxiliar = 124 819 m<sup>3</sup>

Cota da soleira vertente = 32,50

Descarga na seção do sangradouro (perfil Creager) = 207,20 m<sup>3</sup>/s

Lâmina d'água máxima = 1,44 m

000008

**2 - LOCALIZAÇÃO, ACESSO E ANÁLISE  
DAS ALTERNATIVAS**

000009



## 2.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O boqueirão da Barragem, está localizado a 17 km de Chaval, no Estado do Ceará, que tem como referência de ligação a Fortaleza a BR-222. A partir desta rodovia, na localidade de Aprazível, toma-se a direita a CE-71 até a cidade de Granja, percorrendo cerca de 56 km, passando por Coreaú e Moraújo. De Granja até Chaval (limite noroeste do Ceará) são mais uns 35 km por uma rodovia secundária que liga a CE-71 à PI-210

O acesso ao local do barramento se faz a partir de uma estrada que segue paralela ao rio Timonha, a partir de Chaval, no sentido norte-sudeste, por onde se segue cerca de 17 km, até o local do boqueirão

O mapa de localização e acesso é mostrado na figura anexa

## 2.2 - ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE BARRAMENTO DOS BOQUEIRÕES DA BACIA DO RIO TIMONHA

Teve por princípio básico o objetivo de construção da obra no qual procurou-se racionalizar o aproveitamento do potencial hídrico da bacia e o respeito às restrições identificadas nos estudos

Foi realizado uma análise nos estudos cartográficos existentes ou seja carta da SUDENE escala 1 100 000 e estudos de fotointerpretação em fotos aéreas escala 1 25 000, abrangendo uma área de 1 850 ha

Em resumo, o processo de escolha obedeceu às seguintes condições

- adequação às condições naturais da bacia, topografia, geologia e hidrologia,
- respeito às limitações impostas pela ocupação da bacia,
- maximização da oferta d'água

A análise das cartas acima citadas indicou a existência de 03 (três) boqueirões barráveis (Figura anexa)

O boqueirão Passagem da Onça, o boqueirão Passagem do Vaz e o boqueirão Itaúna

O boqueirão Passagem da Onça, localizado no racho Grande, um dos formadores do rio Timonha, tem uma bacia hidrográfica muito pequena, tendo sido por esse motivo descartado

Os boqueirões Passagem do Vaz e Itaúna, situados bem próximos um do outro, ambos no rio Timonha, tem uma bacia hidrográfica relativamente semelhante, foram melhor estudadas

O estudo dessas alternativas produziu os seguintes parâmetros

- a área inundável e população x habitação desalojada são bastantes parecidos,
- o boqueirão Passagem do Vaz tem uma bacia hidrográfica um pouco maior que a bacia hidrográfica do boqueirão Itaúna e conseqüentemente seu volume afluente é maior,

- o boqueirão do Itaúna é bem fechado no local do barramento,
- o boqueirão Passagem do Vaz, não tem formação rochosa, tendo sido por esse motivo facilmente descartado

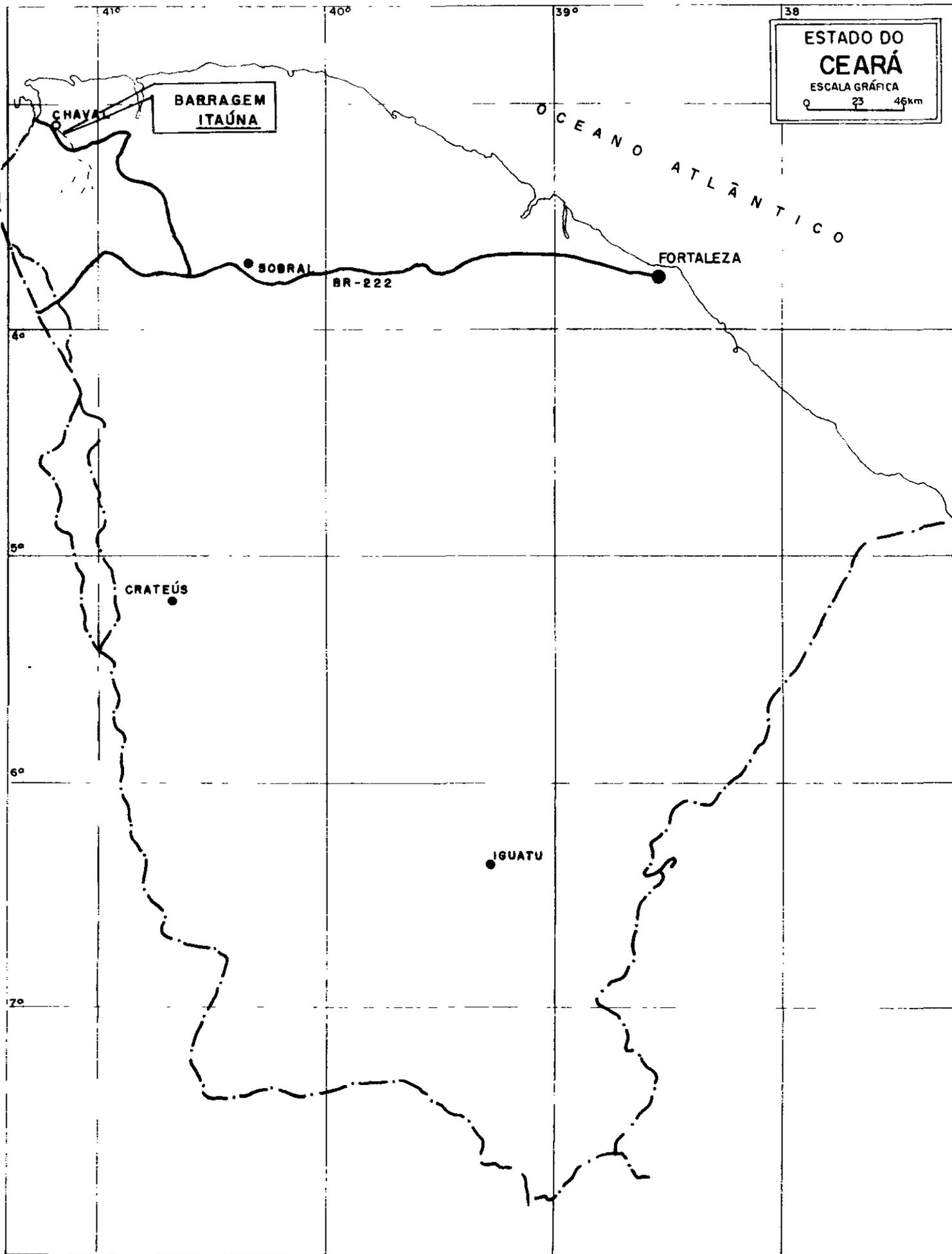
O estudo da barragem Itauna no boqueirão Itaúna, indicou a existência de 03 (três) alternativas tecnológicas relacionadas com as condições de fundação do local do vertedouro em relação ao potencial de acumulação/regularização da bacia. O custo do vertedouro é variável em função da cota da soleira deste, sendo conveniente assinalar que para cotas de soleira superiores a 31 pode não haver compensação correspondente ao incremento de acumulação.

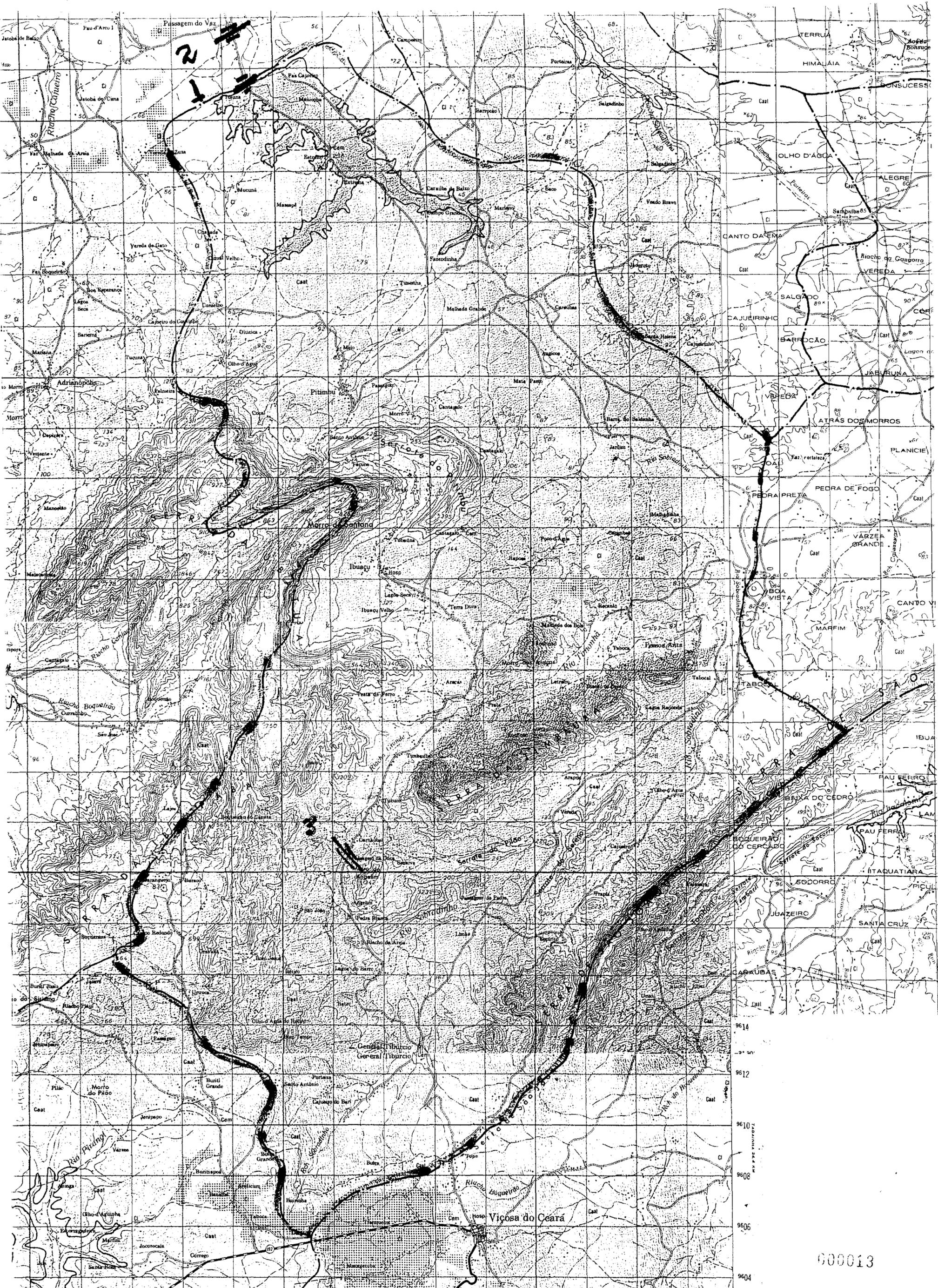
O quadro que segue mostra as 03 alternativas de regularização do reservatório em função do fator de acumulação.

Na fase de projeto deverá ser selecionada a alternativa mais favorável.

	Coeficiente de Acumulação ( $f_k$ )		
	0,3	0,5	1
Acumulação ( $m^3$ )	55 383 196,5	92 305 327,5	184 610 655,0
Sangria (%)	78	74	57
Regularização (%)	15	18	30
Evaporação (%)	7	8	13
Vazão Regularizada ( $m^3/s$ )	0,89	1,07	1,78
Estrutura do Vertedouro	Revestimento simples	Muro de concreto com 2 m de altura	Muro de concreto com 5 m de altura

000011





000013





**3 - ESTUDOS BÁSICOS**

000015



### 3.1 - LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

Para atender aos objetivos propostos foi realizado o levantamento planialtimétrico da bacia hidráulica e local das obras, sendo o primeiro apresentado na escala 1 5 000, com curvas de nível a cada metro e o segundo, na escala 1 2 000 com curvas de nível a cada metro

A bacia hidrográfica teve como base cartográfica as cartas da SUDENE na escala 1 100 000, com curvas de nível a cada 40 m

### 3.2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

#### 3.2.1 - Caracterização Geral da Bacia

A área da bacia hidrográfica a ser controlada pela Barragem Itaúna é de 771,3 km<sup>2</sup> da bacia de drenagem do rio Timonha e seus afluentes

A bacia possui uma parte de sua área na zona litorânea úmida com precipitações variando de 1 000 a 1 400 mm com a pluviometria média na ordem de 800 a 1 000 mm

O regime de chuvas pode ser considerado aproximadamente normal, embora próximo à faixa limitrofe considerada ocorrência normal

Seus principais parâmetros físicos são a seguir enumerados

- Área 771,3 km<sup>2</sup>
- Perímetro 139,5 km
- Extensão do talvegue 71,75 km
- Coeficiente de Compacidade 1,417
- Fator de Forma 0,15
- Desnível Específico 560 m

#### 3.2.2 - Características da Chuva sobre a Bacia

O regime de chuvas é regulado por três sistemas de tempo sinóptico. As frentes frias, a zona de convergência intertropical (ZCIT), os vértices ciclônicos, além de perturbações locais, a exemplo dos efeitos de ventos, convecção local, etc. A ZCIT é o sistema de tempo mais importante, uma vez que sua influência ocorre sempre no período esperado de maior pluviosidade da região. O deslocamento da ZCIT está fortemente relacionado com a temperatura das águas do Oceano Atlântico

A bacia não dispõe de posto pluviométrico e fluviométrico com observações constituindo uma longa série de dados. O posto pluviométrico de Chaval instalado pelo DNOCS em 1913, registra uma falha de observações de 32 anos contínuos, sendo por este motivo descartado



O Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PERH) fundamentou todos os seus estudos relativos a Bacia do Rio Coreaú no posto de Granja (Quadro 3.1). Este dispõe da mais longa série de observações dentre aqueles postos selecionados para a bacia.

**QUADRO 3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO POSTO FLUVIOMÉTRICO SELECIONADO**

Nome do Posto	Código	Localização Geográfica	Pluviometria Anual (mm)	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	Volume Precipitado (hm <sup>3</sup> )
Granja	2768235	3° 07' 08" e 40° 49' 34"	1 179,4	1 851,4	2 187

O regime pluviométrico foi estudado a nível anual, mensal e diário.

A bacia não dispõe de nenhuma informação de descarga de seus rios, o que descarta por completo a possibilidade de se empregar qualquer método estatístico com base em séries históricas. Utilizou-se, por transferência, neste estudo, as vazões geradas no posto fluviométrico de Granja, na bacia do rio Coreaú.

O modelo de simulação hidrológica utilizado foi o MODHAC (Modelo Hidrológico Autocalibrável), que compreende a geração de séries históricas de deflúvios de longa duração para estações fluviométricas ou açudes de maior porte e, a definição de expressões de regionalização do deflúvio médio. O seu ajustamento depende da fidedignidade dos parâmetros utilizados na calibragem do modelo, por serem representativos das características hidrofísicas da bacia.

O MODHAC, com intervalo de cômputo diário, tem como característica mais notável, segundo seus próprios autores, a "possibilidade de ter seus parâmetros ajustados automaticamente, visando ajustar as vazões calculadas às vazões observadas".

O posto de Granja, na bacia do rio Coreaú, possui a mais longa série contínua de observações fluviométricas dentre as bacias do Bloco 2, estudadas para o PERH. O posto foi classificado como de qualidade comprovada, atestada em estudos hidrológicos específicos, sendo por este motivo seus dados calibrados, ajustados e utilizados na obtenção de dados de deflúvios.

Segundo o procedimento adotado no PERH, foram obtidas informações de deflúvio para o posto de Granja (248 mm e 230,2 mm), correspondentes aos dois períodos de observação considerados. O resultado da série mais longa de observações produziu deflúvio 8 % superior à aquele produzido pela série de 11 anos.

**QUADRO 3.2**

**SÍNTESE DOS PARÂMETROS MÉDIOS PARA O POSTO FLUVIOMÉTRICO DE GRANJA.**

Série	Parâmetros Médios das Séries			Parâmetros Médios da Série 1974 a 1985		
	Pluviometria (mm)	Deflúvio (mm)	Coefficiente de Escoamento (%)	Pluviometria (mm)	Deflúvio (mm)	Coefficiente de Escoamento (%)
1912-88	1 179,4	248,5	21,1	1 151,8	230,2	20,0

Fonte: PERH

000017



### 3.2.3 - Volume Médio Afluente Anual

O volume médio afluente anual foi obtido com a aplicação da média dos deflúvios das duas séries de deflúvios estudadas para o posto de Granja, mostradas no item anterior

$$V_a = A \times H$$

Onde A é a área da bacia hidrográfica e H é a altura do escoamento

Neste caso,  $A = 771,3 \text{ km}^2$  e  $H = 239,35 \text{ mm}$

Então,  $V_a = 184\ 610\ 655 \text{ m}^3$

### 3.2.4 - Estudo das Cheias

Nesta fase foram determinados os elementos necessários para o projeto e dimensionamento do vertedouro, com a avaliação dos níveis de água na soleira do sangradouro para cheias com período de retorno de 100, 500 e 1 000 anos

Para determinação das precipitações intensas foi utilizado o método das isozonas desenvolvido pelo prof Taborga Torrico. Esta metodologia consiste em elaborar estudos estatísticos de uma série de chuvas diárias para, através de um processo de desagregação e regionalização, estimar as precipitações de menores durações (1h, 6 min, etc.)

Os cálculos foram feitos obedecendo a seqüência descrita a seguir:

- a Seleção do posto pluviométrico,
- b Compilação dos dados de máximas chuvas diárias,
- c Estudo probabilístico das precipitações diárias,
- d Cálculo da chuva virtual de 24 hs (P24h),
- e Determinação de isozona correspondente à região do projeto,
- f Determinação da chuva pontual de 1 hora de duração para os períodos de recorrência de 100, 500 e 1 000 anos,
- g Conversão da chuva pontual para chuva em toda a bacia

A seguir são apresentados os dados e os resultados

O posto selecionado foi o de Granja (2768235), por ser o mais próximo do local e por apresentar o maior número de dados. Instalado em 1911 pelo DNOCS, o posto Granja fica localizado no município de Granja, nas coordenadas  $3^\circ 07' \text{ S}$  e  $40^\circ 50' \text{ W}$ . Este posto possui observações diárias de precipitação de 1911 a 1988, com algumas falhas. Foram extraídas as observações de precipitação máxima diária anual entre 1913 e 1977, com falhas nos anos 1951, 1955-1961 e 1973-1975.

1,00018



### 3.2.4.1 - Cheia de Projeto

Aplicou-se, nestes estudos, o método do hidrograma unitário, em virtude da inexistência de dados diretamente observados. Para tanto, foram calculados os elementos característicos da bacia área, comprimento do talvegue e declividade média.

Com esses elementos foram calculados os parâmetros do hidrograma unitário: tempo de concentração, tempo de base e tempo de pico.

As chuvas de projeto foram determinadas para as recorrências de 100, 500 e 1000 anos, utilizando-se, para a sua obtenção, as máximas anuais entre os anos de 1913 e 1977 do posto pluviométrico de Granja, às quais se aplicou a Lei de Distribuição de Pearson III para ajuste da série.

O cálculo das cheias de projeto foi feito a partir das chuvas intensas, pelo método indireto, utilizando o critério do Hidrograma Unitário Triangular do *Soil Conservation Service* (S C S), sendo o excesso de precipitação determinado a partir de um parâmetro (N) que define o complexo solo, vegetação.

De posse do Hidrograma Unitário Triangular e do excesso de precipitação, calculou-se o hidrograma total por conversão do hidrograma unitário para uma chuva crítica de 2,4 horas e precipitação efetiva de 50 mm.

Sabendo-se que as vazões são proporcionais às chuvas, as vazões para os períodos de retorno de 100, 500 e 1000 anos foram calculadas, resultando os hidrogramas de cheias, cujas descargas de pico são de respectivamente, 122,69 m<sup>3</sup>/s, 178,69 m<sup>3</sup>/s e 207,20 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2.5 - Estudo de Regularização do Reservatório

Para esta análise foi utilizado, o método do Diagrama Triangular de Regularização (Campos, 1990) devido a vantagens como a sua simplicidade de aplicação, sensibilidade na análise de parâmetros estatísticos que caracterizam o regime de médio de escoamento e, por ser muito adequado à região, permitindo o uso de valores regionais.

O uso do Diagrama Triangular de Regularização (DTR) como ferramenta auxiliar ao dimensionamento de reservatórios é restrito aos casos em que o projetista deseja uma garantia de 90% no fornecimento da água. As etapas do dimensionamento são:

- 1 Determinar através de séries históricas de vazões, ou de regionalização, os parâmetros estatísticos que caracterizam os deflúvios anuais, quais sejam: média, desvio padrão e coeficiente de variação.
- 2 Com os dados da tabela cota x volume determinar o coeficiente de forma do reservatório ( $\alpha$ ) através da reta dos mínimos quadrados.
- 3 Determinar os valores do coeficiente adimensional de evaporação ( $f_e$ ).

- 4 Selecionar o diagrama, correspondente ao  $C_v$  determinado na etapa 1 e, a partir do ponto de encontro das isolinhas de  $f_e$  e  $f_k$ , determinar os percentuais de sangria, evaporação e utilização

Das alternativas abordadas nos Estudos Hidrológicos e, diante das condições de fundação do vertedouro, selecionou-se aquela que proporcionasse o melhor aproveitamento das potencialidades hidrológicas da bacia de drenagem, e que resultou em percentagens de evaporação, regularização e sangria de respectivamente 8%, 18% e 74%, sendo portanto, a vazão regularizada de  $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$

### 3.3 - ESTUDOS GEOLÓGICO/GEOTÉCNICOS

É do consenso geral que o projeto de uma estrutura de engenharia, por mais modesta que seja, requer adequado conhecimento das condições de subsolo no local onde será construída

Como estas estruturas utilizam solos ou rochas, nos materiais de construção, faz-se também necessário o conhecimento do subsolo nas áreas que servirão de jazidas de materiais

Desta forma, os estudos ora desenvolvidos visam definir de forma clara, as características de fundação do açude Itaúna, bem como, dos materiais construtivos (terrosos, arenosos e pétreos), utilizando-se para isso estudos geológicos de superfície, geotécnicos, nas sondagens de subsolo e ensaios laboratoriais

As informações obtidas em mapas geológicos e o reconhecimento expedito em campo, indicam em termos gerais, a natureza dos solos, os tipos e suas propriedades, nas áreas do sítio barrável, área de sangradouro e jazidas

Nas sondagens de superfícies realizadas, foram usados métodos diretos manuais, sondagens a pá/picareta e método direto mecânico rotativa

#### 3.3.1 - Geologia

A área estudada está inserida na unidade geomorfológica denominada Superfície Sertaneja

A Superfície Sertaneja subdivide-se em duas partes distintas área conservada e área dissecada

A área dissecada, na qual está localizada o Açude Itaúna, apresenta características diferenciadas na capacidade de sulcamento da drenagem e o comportamento geomorfológico das rochas. O padrão de drenagem é subdendrítico e os cursos d'água não têm competência para promover um detalhe de maior significado, em face da intermitência dos regimes fluviais condicionados a semi-aridez

Em escala local, o Complexo Granja ocorre como quartzito ferrífero, estando encaixado na seqüência migmática, na forma de lentes estreitas, podendo atingir 10 km de extensão. Afloramentos típicos situam-se ao longo do prolongamento da zona de cisalhamento de Granja, a



sul e oeste de Ibuguaçu, constituindo quartzitos puros a micáceos Pouco frequentes na área de Granja

Estas rochas são quartzitos impuros, geralmente micáceos e frequentemente ferríferos, que chegam a apresentar localmente intercalações de hematita Mostram-se também, na forma de quartzitos puros, laminados e extremamente laminados Os quartzitos não foram afetados pelos processos de migmatização e metassomatose

### 3.3.2 - Investigação Geotécnica

#### *Sondagem Rotativa*

As sondagens rotativas têm como principal objetivo a obtenção de testemunho, isto é, amostras da rocha que permitam a identificação das discontinuidades do maciço rochoso, e a realização no interior da perfuração de ensaios "in situ", como por exemplo, o ensaio de perda d'água, quando se deseja conhecer a permeabilidade da rocha, ou a localização da fenda e falhas

A sonda utilizada foi a MACH 920, de avanço manual e coroa de diamante, com diâmetro BX (59,5 mm), acoplada a um calibrador e a um barrilete duplo, móvel, para recuperação do testemunho Para cada manobra foram registrados a percentagem de recuperação e o número de peças Com base nos resultados das sondagens, foi preparado um perfil esquemático que representa evidentemente, apenas uma indicação do desenvolvimento provável das camadas do subsolo, já que as sondagens são pontuais

Realizou-se ao todo 6 (seis) sondagens rotativas, perfazendo um total de 43,00 m perfurados

As sondagens SR-02, SM-03, SM-04, SM-05 e SR-06, foram executadas nas ombreiras e leito, e a sondagem SR-01, foi feita na área do sangradouro

O Quadro 3.3 mostra os dados técnicos gerais das sondagens

#### *Sondagem a Pá/Picareta*

As sondagens Pá/Picareta (SPP) são uma escavação vertical, de seção quadrada, com dimensões mínima suficientes para permitir o acesso de um observador, visando a inspeção das paredes e fundo, bem como, a retirada de amostras representativas

Os furos das ombreiras e sangadouros foram abertos até o impenetrável a pá/picareta, na jazida de material terroso, até a profundidade em que o material seja aproveitado como construtivo

Nas ombreiras e sangradouro foram perfurados 8,62 m, e 101,41 m, perfurados na jazida terrosa

O Quadro 3.3 mostra os dados técnicos gerais



QUADRO 3.3

SONDAGEM	ESTACA	PROF (m)	DIÂMETRO	INCLINAÇÃO	LOCALIZAÇÃO
SR 01	35 + 15 m	6,60	BX	Vertical	Sangradouro
SR 02	47 + 10 m	6,40	BX	Vertical	Ombreira Esquerda
SM 03	50	8,70	BX	Vertical	Eixo-Leito
SM 04	52 + 15m	9,06	BX	Vertical	Eixo-Leito
SR 05	61	6,19	BX	Vertical	Ombreira Direita
SR 06	52 + 7m	6,05	BX	20°	Eixo-Leito
SPP 01	2 + 10m	1,17	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Eixo
SPP 02	34 + 15m	0,60	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Sangradouro
SPP 03	36 + 15m	0,70	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Sangradouro
SPP 04	35 + 15m + 20mm M	0,90	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Sangradouro
SPP 05	35 + 15m + 20mm J	0,80	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Sangradouro
SPP 06	35 + 15m 40mm J	1,07	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Sangradouro
SPP 07	48 + 10m	0,65	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Ombreira Esquerda
SPP 08	57	0,98	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Ombreira Direita
SPP 09	59	1,75	1 m <sup>2</sup>	Vertical	Ombreira Direita

#### Ensaio de Perda d'Água

É pratica corrente observar-se no decorrer da execução de sondagens rotativas, perdas d'água parciais ou totais, dependendo da importância e densidade de fissuração da rocha

O ensaio de perda d'água ou *Lugeon* nada mais é do que um aperfeiçoamento desta observação empírica e qualitativa. Ele permite uma informação quantitativa sobre circulação da água em rochas fissuradas, com o objetivo de julgar as possibilidades de consolidação por injeções

Este ensaio consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem. Foi realizado em 05 (cinco) estágios de pressão, sendo o 1 e 5 estágios sob uma pressão mínima, os 2 e 4 estágios sob uma pressão intermediária, e o 3 estágio sob uma pressão máxima

Realizou-se 04 (quatro) ensaios nas sondagens SR-03 e SR-04, sendo 02 (dois) ensaios em cada sondagens. O Quadro 3.4 mostra os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água

QUADRO 3.4

SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM 03	02	2,70 a 5,70 m 5,70 + 8,70m
SM 04	02	3,06 a 6,06 m 6,06 a 9,06m

000022



### *Estudo dos Materiais*

O Estudo de materiais teve início com um reconhecimento de toda a área em volta do sítio barrável, de modo a localizar possíveis ocorrências, examinando a qualidade e estimando os volumes de materiais disponíveis

Identificou-se a jazida terrosa, e para seu detalhamento foi realizada uma malha quadrática de furos a pá/picareta, distante 100 m, permitindo a cubação do material existente e possível de ser utilizados no maciço da barragem, bem como, a coleta de amostras para realização de ensaios laboratoriais

#### *Dados Gerais de jazidas terrosa (JT)*

- Área total estudada	760 000 m <sup>2</sup>
- Número de furos realizados	..... 77
- Profundidade média dos furos	1,32 m
- Volume total do material	1 003 200 m <sup>3</sup>
- Camada média do expurgo	0,33
- Espessura média útil	0,99 m
X - Volume do material utilizável	. 990,041 m <sup>3</sup>
- Distância em linha em linha reta ao eixo	1,0 km

O areal (JA) foi estudado através de uma malha de sondagens a trado, realizadas ao longo do depósito

Através das sondagens realizadas, foi possível a cubação dos volumes de materiais disponíveis e a coleta de amostras, para a realização de análises granulométricas



**4 - INFLUÊNCIA DOS ESTUDOS BÁSICOS  
NA CONCEPÇÃO DO PROJETO**

000024

Os estudos geológicos superficiais previram uma situação simples para a concepção geral das obras nesse projeto, principalmente, pela alternativa de colocar o sangradouro no local de uma possível fuga topográfica. Esta alternativa consiste num sangradouro na ombreira esquerda da barragem principal e, para cerca de 400 m da ombreira esquerda, uma barragem auxiliar.

Quanto à barragem em si, não houve maiores complexidades, pois o excelente solo típico SC, abundante nas proximidades da obra, permite, como melhor solução, a construção de uma barragem de terra de seção homogênea.

Entretanto, se faz necessário o tratamento das suas fundações, pois o estado de alteração do quartzito que as constitui confere-lhe uma situação vulnerável, com relação à estanqueidade, caracterizando-se um material semipermeável, porém, sem prováveis problemas de absorção de calda, o que deverá não exigir um maior adensamento dos furos, além de ensaios "in situ", para avaliar o mais eficiente tipo de calda a empregar.



**5 - CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS OBRAS**

000026



## 5.1 - GENERALIDADES

As obras projetadas são basicamente as seguintes

- Barragem principal, de terra compactada, homogênea, com altura máxima de 16,30 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 392,00 m, na cota 35,10
- Barragem auxiliar, de terra compactada, homogênea, com altura máxima de 2,10 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 38,00 m
- Sangradouro isolado, com eixo longitudinal distante cerca de 130,00 m da ombreira esquerda da barragem principal, com soleira livre e 60,00 m de largura total
- Tomada d'água composta de um tubo de 1 000 mm de diâmetro, assente sobre estrutura de concreto estrutural que por sua vez estará assente em uma camada regularizada de concreto ciclópico. A regulagem do fluxo será com registros de gaveta, podendo futuramente ser substituído por válvulas de operação automática, quando o reservatório for inserido num sistema de interligação de reservatórios

## 5.2 - BARRAGEM PRINCIPAL

### 5.2.1 - Constituição do Maciço

A barragem principal projetada consta de um maciço de terra compactada, homogênea, com seção trapezoidal, a ser constituída com material argiloso, proveniente dos empréstimos localizados nas proximidades do eixo, cuja predominância é de material do tipo SC, da Classificação Unificada de Solos

Do lado de jusante, foi previsto um filtro vertical, formado por areia de granulometria variada, que se liga a um enrocamento de pedras jogadas, de boa qualidade, proveniente do corte do sangradouro ou de pedreira, através de um tapete drenante constituído, também, de areia com granulometria variada

O maciço ficará assente sobre uma fundação estável, sendo que no leito do rio, onde existe uma camada de aluvião arenosa, o maciço será prolongado até atingir o quartzito

A estanqueidade do quartzito alterado, será obtida com um adequado tratamento de fundação



**6 - GEOMETRIA DA BARRAGEM**

000028



a Cálculo da Folga

A folga foi determinada com base no "fetch" da represa que é da ordem de 1,0 km, utilizando-se a expressão da folga mínima

Empregando-se a fórmula de Stevenson para o cálculo da altura das ondas no reservatório, tem-se uma altura ( $h_o$ ) de 0,83 m e, a velocidade das ondas ( $v_o$ ), calculada pela fórmula de Gaillard será de 3,16m/s Finalmente a folga será de 1,13 m

b Altura da Barragem

A cota da soleira do sangradouro foi fixada em 32,5, e a lâmina máxima calculada para a cheia de recorrência de 1 000 anos, atingiu o valor de 1,44 m

Considerando a folga de 1,16 m, obteve-se uma revanche de 2,57 m, ficando, portanto, o coroamento da barragem na cota 35,10

Estando a barragem principal situada em um local, cuja cota mínima do terreno é de 18,80, tem-se assim um maciço com altura máxima de 16,30m, sem levar em conta a profundidade da fundação

c Largura do Coroamento

Utilizando-se a fórmula de Preece, obtém-se uma largura de 5,34 m Adotou-se no projeto uma largura de 6,0 m

d Proteção de Taludes

Para combater os efeitos erosivos das ondas sobre o talude de montante, foi previsto um "rip-rap" de pedras jogadas, assente em uma camada filtrante de pedregulho e areia A espessura de 0,45 m da camada de pedras jogadas foi determinada conforme orientação do *Tennessee Valey Authority* (TVA), e de tal forma que o diâmetro de 50% das pedras seja no mínimo de 0,15 m, enquanto que a camada filtrante tenha uma espessura de 0,30 m

A graduação será estabelecida mais precisamente, recorrendo-se ao critério dos filtros desde que

$$D_{15} \text{ (enrocamento)}/D_{85} \text{ (filtro)} \leq 10 \text{ e,}$$

$$D_{15} \text{ (filtro)}/D_{85} \text{ (maciço)} \leq 5$$

No talude de jusante, foi projetada uma proteção superficial com plantação de grama ou outra planta rasteira

Sobre o coroamento, haverá uma camada de 0,2 m de cascalhinho ou brita de tamanho variado, com a finalidade de evitar erosões das águas de chuvas e, em toda a sua extensão,



tanto no lado de montante como no de jusante, será construído um meio fio com saídas laterais para o talude de montante

#### e Sistema de Drenagem Interna

O sistema de drenagem interna da barragem será constituído de um filtro vertical, que ficará ligado a um enrocamento a jusante, por meio de um tapete filtrante

A posição do filtro vertical foi escolhida em função de garantir a coleta das águas de infiltração, com o reservatório cheio, mesmo ocorrendo fissuras próximas ao coroamento da barragem. O seu topo foi fixado na cota 32,5, correspondente à da soleira do sangradouro

O material a ser protegido enquadra-se no tipo SC da Classificação Unificada de Solos, com mais de 20% das partículas com diâmetro maior do que, 0,05 mm

Quanto ao material drenante, este deverá ser suficientemente fino para que seja evitado o carreamento de partículas sólidas do maciço através dele e, ter ainda granulometria grossa para que as forças de percolação que se desenvolvem no seu interior sejam pequenas

Deverão ser obedecidos os seguintes critérios na determinação da sua granulometria

$$1^{\circ}) D_{15}(\text{filtro})/D_{15}(\text{maciço}) > 5 > D_{15}(\text{filtro})/D_{85}(\text{maciço})$$

2<sup>o</sup>) A curva granulométrica do material do filtro deverá ser aproximadamente paralela a do material do maciço

As areias disponíveis para a barragem Itaúna apresentam-se com granulometria de média a fina e com um coeficiente de uniformidade menor do que 20. Como o  $D_{15}$  das areias estudadas é menor do que 0,4 mm e o solo do maciço é bastante argiloso, essas areias poderão ser usadas como filtro para o material do aterro sem perigo de "piping", de acordo com os estudos de Folque (Geotecnia - Lisboa - Junho de 1979)

Para a determinação do caudal percolado, foi elaborada a rede de percolação, considerando-se a permeabilidade horizontal nove vezes maior que a permeabilidade vertical

Tomou-se como representativo dos ensaios realizados a permeabilidade vertical ( $K_v$ ) de  $3,5 \times 10^{-7}$  cm/s e, conseqüentemente a permeabilidade média do maciço é de  $1,05 \times 10^{-6}$  cm/s

Com os valores da carga hidráulica máxima, que é de 13,70 m e, o número de canais de fluxo e quedas de potencial da rede de percolação determinou-se a vazão por metro linear da barragem ( $Q_b$ ), que é de  $1,08 \times 10^{-7}$  m<sup>3</sup>/s/m

#### f Dimensionamento do Filtro Vertical

O filtro vertical será constituído por areia com compactidade de 65% e permeabilidade mínima de  $3,00 \times 10^{-2}$  cm/s

000000



Para um coeficiente de segurança igual a dois, vazão de percolação  $1,08 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , de acordo com a fórmula de Darcy, a espessura do filtro, que é a mesma do tapete drenante, é de 0,06 m. Tendo em vista as dificuldades construtivas adotou-se uma espessura de 1,0 m.

#### **g Análise da Estabilidade**

A análise da estabilidade da Barragem Itaúna foi desenvolvida com base no método de Fellenius, através de cálculo eletrônico.

Foram analisados os seguintes casos:

- Estabilidade do talude de montante para o rebaixamento rápido do nível de água do reservatório,
- Estabilidade do talude para o final do período construtivo,
- Estabilidade do talude de jusante para o reservatório em operação com o nível de água máximo à montante.

Os resultados dessa análise são mostrados na Memória de Cálculos.

#### **h - Tratamento das Fundações**

O estado de alteração do quartzito exigiu um programa de tratamento das fundações, para permitir a estanqueidade da obra.

Este programa está detalhado nas Especificações Técnicas e nos Desenhos.



**7 - BARRAGEM AUXILIAR**

000032



A fim de ser evitada fuga d'água, em uma área localizada a cerca de 400 m da ombreira esquerda da barragem principal, foi projetada uma barragem auxiliar de terra compactada, homogênea, utilizando-se o mesmo material do tipo SC da barragem principal

A barragem se apoiará diretamente no terreno natural, retirando-se todo o capeamento superficial existente, inclusive os blocos de pedras soltas, ou qualquer material de suporte inferior aquele a ser usado no maciço

Como a cota mínima do terreno é de 33,00, a barragem auxiliar terá uma altura máxima de 2,10 m

A largura do coroamento determinada utilizando-se a fórmula de Preece é igual a 2,49 m. Para facilidade de construção, adotou-se o valor de 4,00 m

Os taludes adotados foram dimensionados de acordo com os valores usualmente empregados para obras semelhantes, utilizando-se material do tipo SC, da Classificação Unificada de Solos



**8 - SANGRADOURO**



Com base nos estudos hidrológicos, geotecnológicos e topográficos, ficou definida a localização do sangradouro a uma distância de aproximadamente 130,00 m da ombreira esquerda da barragem principal, e 370,00 m da ombreira direita da barragem auxiliar

O sangradouro será constituído de um canal de seção retangular, de 60,00 m de largura, escavado em terreno variado, até se atingir a rocha, a partir de onde se ergue um muro de gravidade, com soleira em perfil *Creager*. Foi projetado para evacuar uma cheia milenar de 207,20 m<sup>3</sup>/s, e uma lâmina máxima de 1,44 m, sem levar em conta o amortecimento do reservatório. Adotou-se um coeficiente de vazão de  $C = 2,0$ , conforme recomendações do Design of Small Dams, do USBR.

Apesar de estar assente em rocha, devido ao grau de fraturamento da mesma, projetou-se um revestimento a jusante do muro até o final da transição do regime de escoamento. Na extremidade da laje de revestimento foi projetado um dente para melhor fixação do conjunto.



**9 - TOMADA D'ÁGUA**

000036



A tomada d'água será formada por uma tubulação de ferro fundido, envolvida em concreto armado, com diâmetro de 1 000 mm, e cujo eixo ficará situado na cota 26,30, cruzando o eixo da barragem com uma esconsidade de 17° em relação a uma perpendicular ao eixo, na altura da estaca 60 + 10

A montante da tubulação haverá uma grade proteção e um crivo na sua extremidade, enquanto que a jusante foram previstos dois registros de gaveta

Foi projetada ainda, uma bacia de dissipação, onde poderá ser adaptado um medidor de vazão

Estabelecido o diâmetro da tubulação em 1 000 mm, seu comprimento será de aproximadamente 45 m

Foram então calculadas as perdas por atrito e acidentais, tendo como meta a vazão regularizada dada pelo estudo de operação do reservatório, que é de 1 070  $\ell/s$

Sendo a área da seção transversal do tubo de 0,785  $m^2$ , a velocidade de escoamento será de 1,36 m/s e o número de Reynolds vem a ser  $1,70 \times 10^6$ , adotando-se  $\mu = 8 \times 10^{-6} m^2/s$

Pelo diagrama de Moody, o coeficiente de atrito tem o valor de  $f = 0,0136$

Com os elementos acima, foi determinada a perda por atrito, que é de 0,064 m

As perdas acidentais somaram 0,194 m

Desta forma, a perda de carga total vem a ser 0,258 m

Como o nível mínimo de operação do reservatório está na cota 24,56 e a tubulação tem o seu eixo na cota de 26,5, vê-se que a capacidade da vazão da tomada é bastante superior ao da vazão regularizada



**10 - FICHA TÉCNICA DA BARAGEM ITAÚNA**

1,00038



Apresenta-se a seguir a ficha técnica de todo complexo de obras do Açude Itaúna

#### 1 - Características Gerais

- Nome	Açude Itaúna
- Município	Chaval
- Estado	Ceará
- Curso d'água barrado	Rio Timonha
- Bacia Hidrográfica	771,30 km <sup>2</sup>
- Bacia Hidráulica	1080 ha
- Acumulação	77 500 000 m <sup>3</sup>
- Vazão Regularizada	1,07 m <sup>3</sup>

#### 2 - Barragem Principal

- Tipo	Terra Homogênea
- Comprimento p/ coroamento	392,00 m
- Largura do coroamento	6,0 m
- Altura máxima acima das fundações	16,30 m
- Talude montante	2 1 / 2,5 1
- Talude de jusante	2 1 / 2,5 1

#### 3 - Barragem Auxiliar

- Tipo	Terra Homogênea
- Comprimento pelo coroamento	38,00 m
- Largura do coroamento	4,00 m
- Altura máxima acima das fundações	2,10 m
- Taludes	2 1

#### 4 - Sangradouro

- Tipo	soleira livre
- Largura	60,00 m
- Lâmina máxima vertente	1,44
- Descarga de projeto	207,20 m <sup>3</sup> /s

#### 5 - Tomada d'Água

- Diâmetro	1 000 mm
- Comprimento	45,00 m
- Vazão	1070 l/s

000039



**MEMÓRIA DE CÁLCULOS**

000040



000041

## MEMÓRIA DE CÁLCULOS

### I) GEOMETRIA DO MACIÇO

#### PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA HIDROGRÁFICA

Utilizou-se a média das precipitações do Posto de Granja (Código 2768235) = 667,5 mm por ano  
Area da bacia hidrográfica = 771,3 km<sup>2</sup>  
Linha de fundo = 71,75 km

#### LARGURA DO VERTEDOURO

Qm = 207,20 m<sup>3</sup>/s (descarga de projeto)  
L = 60,00 m (adotado)  
l<sub>v</sub> = 1,44 m

#### FOLGA (F)

A folga da barragem em relação ao nível máximo das águas foi determinada pelas fórmulas

$$h_o = 0,75 + 0,34 \times (L)^{1/2} - 0,26 \times (L)^{1/4}$$

$$v_o = 1,5 + 2h_o$$

$$f = 0,75h_o + (v_o^2/2g)$$

onde

h<sub>o</sub> = alt da onda = 0,83 m  
L = "fetch" = 1,00 km  
v<sub>o</sub> = velocidade da onda em m/s  
f = folga em m

logo

h<sub>o</sub> = 0,83 m  
v<sub>o</sub> = 3,16 m/s  
f = 1,13 m

#### REVANCHE

Para cálculo da "revanche" utilizou-se a fórmula

$$R = H_o + F$$

onde

H<sub>o</sub> = lâmina de sangria = 1,44 m  
F = folga = 1,13 m  
R = 2,57 m

#### COTA DO COROAMENTO DA BARRAGEM

Calculou-se a cota do coroamento pela fórmula

$$c_c = c_s + R$$

onde

c<sub>c</sub> = cota do coroamento  
c<sub>s</sub> = cota da soleira do sangradouro = 32,5  
R = revanche = 2,57

0,00042

Logo  
cc = 35,07  
Adotou-se a cota do coroamento = 35,10

### ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM (Hb)

Para determinação da altura máxima utilizou-se a seguinte fórmula

$$Hb = cc - CLR$$

onde

cc = cota do coroamento = 35,10  
CLR = cota do leito do rio = 18,80

Hb = 16,30 m

<---

### LARGURA DA CRISTA (b)

A largura da crista foi determinada pela fórmula de Preece

$$b = 1,1 \times (Hb)^{1/2} + 0,9$$

b = 5,34

Adotou-se b = 6,00 m

### TALUDES

Montante

Cota 35,1 até cota 28,0 2,00 1  
Cota 28,0 até terreno 2,50 1

Jusante

Cota 35,1 até cota 25,0 2,00 1  
berma na cota 25  
Cota 25,0 até terreno 2,50 1

### RIP - RAP

#### ESPESSURA DO RIP-RAP

O rip-rap foi dimensionado através da fórmula

$$e = Cvo^2$$

onde

e = espessura do rip-rap (m)

C = coeficiente, função da inclinação do talude

o = peso específico da rocha = 0,031

v = velocidade das ondas (m/s) = 3,16 m

e = 0,31 m

Adotou-se a espessura do rip-rap = 0,45 m

#### ESPESSURA DA TRANSIÇÃO

$$et = e/2$$

onde

et = espessura da transição

et = 0,23 m

Adotou-se a transição de 0,30 m

006043

## II) SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

### REDE DE FLUXO - CÁLCULO DA DESCARGA ANISOTROPIA

$$\begin{aligned}
 K_v &= K_h \\
 K_v &= K_{SC} = 0,00000035 \text{ cm/s} \\
 K_v &= 3,50E-09 \text{ m/s} \\
 h &= 9 \times K_v = 3,15E-08 \text{ m/s} \\
 X &= x(K_v/K_h)^{0,5} = 0,33333 \\
 d &= 30,89 \text{ m} \\
 h &= 13,70 \text{ m} \\
 y_0 &= (d^2+h^2)^{1/2}-d \\
 y_0 &= ((d/3)^2+h^2)^{1/2}-(d/3) \\
 y_0 &= 6,841 \text{ m} \\
 y &= (y_0^2+2 y_0 X)^{1/2}
 \end{aligned}$$

### COORDENADAS DA SUPERFÍCIE FREÁTICA

Xt	y	Xr=3Xt
0,00	6,84	0,00
1,50	8,21	4,50
3,00	9,37	9,00
4,50	10,41	13,50
6,00	11,35	18,00
7,50	12,22	22,50
9,00	13,04	27,00
10,30	13,70	30,89

### PERCOLAÇÃO ATRAVÉS DO MACIÇO E DA FUNDAÇÃO

Com a definição da superfície freática conforme item precedente, calcula-se a descarga através do maciço

$$Q_b = K_b \cdot h \cdot (N_f/N_d)$$

onde

$Q_b$  = descarga através do maciço

$K_b$  = permeabilidade do material (SC)

$N_f$  = número de canais de fluxo = 3

$N_d$  = número de quedas de potencial = 4

assim, conforme desenho a seguir (rede de fluxo)

e assumindo  $K_b = 1,05E-08 \text{ m/s}$

$$Q_b = 1,08E-07 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

### ESPESSURA DO TAPETE

$$e = 2 (Q_b/K_a \cdot L)$$

onde  $K_a = 3,00E-02 \text{ cm/s}$

$$L = 37,00 \text{ m}$$

$$e = 0,006 \text{ m}$$

### FOR QUESTÕES DE TRABALHABILIDADE

ADOTOU-SE  $E = 1,0 \text{ m}$

000044

### III) VERTEDOURO - GEOMETRIA DA CRISTA

#### DETERMINAÇÃO DA EXTENSÃO DA CRISTA

$$L = \frac{Q_s}{C_d (H)^{3/2}}$$

onde

H = lâmina de sangria = 1,44 m  
 Qm = descarga de projeto = 207,200 m³/s  
 L = 59,95 m  
 NR = 30,2

#### VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO/CARGA CINÉTICA

$$P + H_o = (P + h_o) + h_a$$

onde  $h_a = V_a^2 / 2g$

mas,  $V_a = Q/A = Q/L(P+h_o) = qL / L(P+h_o)$

$$V_a = q / P+h_o, \text{ logo}$$

$$h_a = q^2 / 2g(P+h_o)^2$$

logo,  $(P+H_o) = (P+h_o) + q^2 / 2g(P+h_o)^2 \quad (1)$

dados P = 2,30 m  
 H\_o = 1,44 m  
 q = Q/L = 3,456 m³/s m

arbitrando-se valores a h\_o, define-se a igualdade de (1)

h_o	(P+H_o)= P + h_o	V_a	h_a	P + H_o
0,500	2,800	1,234	0,078	2,878
0,700	3,000	1,152	0,068	3,068
1,000	3,300	1,047	0,056	3,356
1,300	3,600	0,960	0,047	3,647
<b>1,400</b>	<b>3,700</b>	<b>0,934</b>	<b>0,0445</b>	<b>3,7445</b>

V\_a = 0,934 m/s  
 h\_a = 0,0445 m  
 h\_o = 1,400 m

#### SOLEIRA PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

sendo,  $h_a / h_o = 0,03088$ ,

os parâmetros para definição da crista, serão  
 (vide figura 9-21, pgs 366 e 367 do "Design of Small Dams")

X\_c/H\_o = 0,258  
 Y\_c/H\_o = 0,115  
 R1/H\_o = 0,515  
 R2/H\_o = 0,218  
 k = 0,506  
 n = 1,857

#### COORDENADAS DO PONTO C

X\_c = 0,37152, Y\_c = 0,16560

#### RAIOS DOS CIRCULOS A MONTANTE DA CRISTA

000045

$$I_1 = 0,74 \quad R2 = 0,31$$

SENDO A EXPONENCIAL DE JUSANTE DEFINIDA PELA EXPRESSAO

$$\frac{Y}{H_0} = -K \left( \frac{X}{H_0} \right)^n$$

ESTA TORNA-SE

$$\frac{Y}{1,44} = -0,506 \frac{X}{1,44} + 1,857 \quad (II)$$

DETERMINAÇÃO DO PONTO P - INTERSEÇÃO EXPONENCIAL/RETA

Arbitrando-se um coeficiente angular de  $-1,00$  para a reta, ocorre

(II) simplificada

$$Y = -0,3702 (X)^{-1} + 1,857 \quad (III)$$

$$dY/dX = 0,68746 (X)^{-2} \quad (IV)$$

declividade da reta

$$dY/dX = -1 \quad (V)$$

Igualando-se (IV) e (V), tem-se

$$\frac{0,50 (X)^{-2}}{X^2} = \frac{0,836}{1,5485014} = 1$$

que substituindo em (III), resulta

$$Y_t = -0,833873$$

PONTO DE ORIGEM DA CURVA REVERSA - PONTO B

Equação da reta

$$X - X_t = dY/dX (Y - Y_t)$$

$$\frac{Y - Y_t}{X - X_t} = \frac{-0,833872572}{1,548501366} = -1$$

$$X_b = -1 Y_b + 0,71463 \quad (VI)$$

Raio mínimo da curva reversa

$$R > 0,3048(10)^x \quad \text{onde}$$

$$x = \frac{3,291 (v+6,4 H) + 16}{11,85 x H + 64}$$

sendo

$$H = 3,700 \text{ m}$$

$$v = (2gH)^{1/2} = 8,52021 \text{ m/s}$$

$$R > 4,120958819 \text{ m} \quad R = 1,13098 \quad 4,5 \text{ m}$$

$$\alpha = \arctg(dY/dX) = -0,7854$$

$$\sin(\alpha) = -0,70711 \quad \cos(\alpha) = 0,70711$$

$$\alpha/2 = -0,392699082$$

$$\tg(\alpha/2) = -0,414213562$$

$$RPI = R \tg(\alpha/2) = 1,863961$$

000046

$y' = BPI \sin(\alpha) = 1,318019 \text{ m}$

$Yb = -(P - y')$

$Yb = -0,982$   
que substituindo em (VI), resulta

$Xb = -1 Yb + 0,71463$

$Xb = 1,697$

PONTO FINAL DA CURVA REVERSA - PONTO D

$Yd = -P$ , logo

$Yd = -2,3$

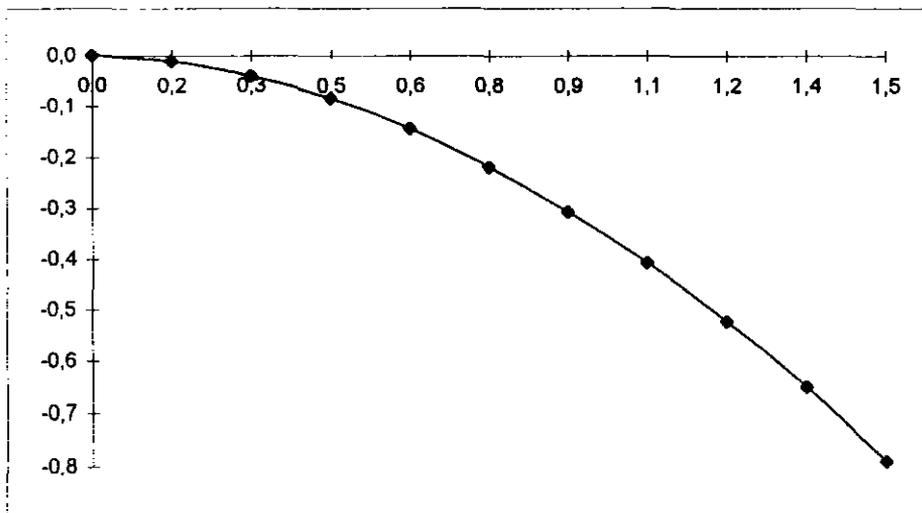
$Xd = Xb + BPI \cos(\alpha) + BPI$

$Xd = 4,8785898$

COORDENADAS DA SOLEIRA DO VERTEDOIRO

X	Y	
-0,3715	-0,1656	Ponto C
0	0	Eixo
0,15	-0,010925349	Exponencial
0,3	-0,03957747	"
0,45	-0,084032929	"
0,6	-0,143370808	"
0,75	-0,21698146	"
0,9	-0,304412303	"
1,05	-0,4053054	"
1,2	-0,519365904	"
1,35	-0,646343922	"
1,5	-0,786023136	"
1,5485	-0,833872572	Ponto T
1,69661	-0,981980515	Ponto B
4,87859	-2,3	Ponto D

PERFIL DA CRISTA



000047

### III) VERTEDOIRO - BACIA DE TRANSIÇÃO

$$v_1 = 8,520211265 \text{ m/s}$$

$$L = 59,9537037 \text{ m}$$

$$Q = 207,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 3,456 \text{ m}^3/\text{s m}$$

$$y_1 = q/v_1 = 0,405623745$$

$$NF = v_1/(g y_1)^{1/2} = 4,271242$$

$$y_2 = y_1 \left( (1 + 8NF^2)^{1/2} - 1 \right) / 2 = 1,45853$$

( Com o valor de NF encontra-se o valor da relação  $L/y_2$   
(OPEN - CHANNEL HYDRAULICS , pg 398 , Fig 15-4)

$$\text{Para } NF = 4,271241964 \text{ tem-se, } L / y_2 = 5,90 , \text{ logo}$$

$$L = 8,60532 \text{ m}$$

sendo L o comprimento da bacia de transição - Foi Adotado  $L = 10 \text{ m}$

### IV) TOMADA D'ÁGUA

#### ALTERNATIVA 1 - 01 TUBO

O diâmetro foi calculado pela fórmula

$$D = (4Q/\pi)^{1/2}$$

onde

$$Q = \text{descarga regularizada} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F_1 = 3,1416$$

logo

$$D = 0,986 \text{ m}$$

$$\text{Diâmetro adotado} = 1000 \text{ mm}$$

velocidade do escoamento

$$v = Q/a = 1,36 \text{ m/s}$$

o número de Reynolds vem a ser

$$Re = (v \cdot D) / \nu = 1,70E+06$$

pelo diagrama de Moody, o coeficiente de atrito tem o valor  $f = 0,0136$

a perda por atrito é calculada pela expressão

$$h_f = f(L \cdot v^2) / (2g \cdot D) = 0,064 \text{ m}$$

as perdas acidentais foram calculadas em função dos coeficientes

$$K_c = 0,55 \text{ crivo}$$

$$K_r = 0,25 \text{ registro}$$

$$K_s = 1 \text{ saída da tubulação}$$

000048

a perda acidental total será

$$h_a = (K_c + K_r + k_s)(v^2/2g) = 0,194 \text{ m}$$

e a perda total será 0,258 m

Como a cota do eixo da galeria = 26,3

O nível mínimo operacional será 26,56

#### ALTERNATIVA II - 02 TUBOS

O diâmetro foi calculado pela fórmula

$$D = (4Q/P_1)^{1/2}$$

onde

$$Q = \text{descarga regularizada} = 0,535 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_1 = 3,1416$$

logo

$$D = 0,698 \text{ m}$$

Diâmetro adotado 700 mm

velocidade do escoamento

$$v = Q/a = 1,39 \text{ m/s}$$

o número de Reynolds vem a ser

$$Re = (v \cdot D)/\nu = 1,22E+06$$

pelo diagrama de Moody, o coeficiente de atrito tem o valor  $f = 0,0135$

a perda por atrito é calculada pela expressão

$$h_f = f(l \cdot v^2)/(2g \cdot D) = 0,095 \text{ m}$$

as perdas acidentais foram calculadas em função dos coeficientes

$K_c = 0,55$  crivo

$K_r = 0,25$  registro

$K_s = 1$  saída da tubulação

a perda acidental total será

$$h_a = (K_c + K_r + k_s)(v^2/2g) = 0,202 \text{ m}$$

e a perda total será 0,297 m

Como a cota do eixo da galeria = 26,3

O nível mínimo operacional será 26,60

#### V) TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

Ao longo do eixo do maciço, na trincheira de vedação, no trecho entre as estacas 47 e 61 + 10, será executada uma cortina de impermeabilização composta por uma linha de injeção com furos primários, secundários e terciários

O tratamento da fundação será dividido em 2 (dois) trechos

000049

TRECHO I ( estaca 47 a 48 e estaca 60 + 8 a 61 + 10)  
Profundidade do furo h =6m

- TRECHO II ( estaca 48 a 60 + 8m)  
Profundidade do furo = 9,0m

Estes trechos foram separados em função das características da fundação  
O trecho I corresponde às ombreiras e o trecho II à região do leito do rio

TRECHO I estaca 47 a 48 = 20m  
estaca 60 + 8 a 61 + 10 = 22m  
h = 6m

$$\text{No de furos primários} \quad \frac{20 + 22}{6,00} = 7 \text{ furos}$$

$$\text{TOTAL} = 7 \times 6 = 42 \text{ m}$$

TRECHO II estaca 48 a 60 +8m = 248 m  
h = 9 m

No de furos primários  $248/6 = 42$  furos

No de furos secundários  $248/6 = 42$  furos

$$\text{TOTAL} = 84 \times 9 = 756 \text{ m}$$

$$\text{TOTAL GERAL} = 42+756= 798 \text{ m} \quad (800 \text{ m})$$

Em função do grau de fraturamento do substrato rochoso, observado nas sondagens realizadas, previu-se um consumo médio de 15kg de cimento por metro de furo

$$\text{PESO TOTAL} = 15 \text{ kg/m} \times 800 = 12 \text{ 000 kg}$$

$$\text{No de SACOS CIMENTO} = 12 \text{ 000}/50 = 240$$

## VI) ESTABILIDADE DOS TALUDES

Os cálculos da estabilidade dos taludes do maciço foram efetuados utilizando-se o método das fatias, que consiste em escolher uma superfície de ruptura, geralmente circular, dividindo-a em fatias. O fator de segurança é obtido da razão entre as forças resistentes de cada fatia e, as forças estabilizadoras quanto ao colapso do maciço

$$F_s = \frac{c \times L_i + \text{tg} \theta (W \cos \alpha - B W \cos \alpha)}{W \sin \alpha}$$

onde

- Fs = fator de segurança
- $W \cos \alpha$  = força normal à superfície de ruptura
- $W \sin \alpha$  = força tangente à superfície de ruptura
- c = força coesiva
- $\theta$  = ângulo de atrito interno
- B = u/gh

1,00000

A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima, uma vez ser esta que detém as condições mais desfavoráveis. Os estudos se desenvolveram com a comparação dos fatores de segurança ( $F_s$ ) encontrados, com os admissíveis para este projeto.

Os casos de carregamento a que o maciço será submetido determinaram os parâmetros de resistência a serem utilizados e o tipo de análise a ser feita, tais como

#### FINAL DE CONSTRUÇÃO

O talude de jusante foi analisado para esta condição e, a análise feita em termos de pressões totais

#### REGIME PERMANENTE

Este regime é crítico para o talude de jusante e a análise é feita em termos de pressões efetivas. Foi considerada a superfície freática estabelecida no nível máximo normal (cota da soleira) e o sistema de drenagem interna em funcionamento.

#### REBAIXAMENTO RÁPIDO

O talude de montante foi analisado para esta condição e, a análise feita em termos de pressões efetivas.

Os coeficientes de segurança admissíveis seguiram as recomendações do "Army Corps of Engineers", que são

para FINAL DE CONSTRUÇÃO -  $F_s > 1,30$   
para REGIME PERMANENTE -  $F_s > 1,40$   
para REBAIXAMENTO RÁPIDO -  $F_s > 1,00$

Os parâmetros considerados para os diversos materiais foram obtidos com base na caracterização da área de empréstimo e, em experiências com material similar em outras obras.

A seguir são apresentados os resultados para a superfície crítica de ruptura de cada análise.

TALUDE ANÁLISE jusante final de construção

	ALFAi	COSAL	SINALFi	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisin	li
1	0,7854	0,70711	0,70711	0	2	1,3	1,3	2,3660	1,6730	1,6730	2
2	0,5764	0,83843	0,54501	2	4,2	3	9,3	16,9260	14,1913	9,2248	3,7
3	0,4636	0,89445	0,44717	4,2	5,1	2	9,3	16,9260	15,1394	7,5688	2,2
4	0,3805	0,92848	0,37138	5,1	4,8	2	9,9	18,0180	16,7293	6,6916	2
5	0,1974	0,98058	0,19612	4,8	4,2	2	9	16,3800	16,0619	3,2125	2
6	0,0709	0,99749	0,07084	4,2	3,3	2	7,5	13,6500	13,6157	0,9670	2
7	-0,0699	0,99756	-0,0698	3,3	2,1	2	5,4	9,8280	9,8040	-0,6864	2
8	-0,1974	0,98058	-0,1961	2,1	0,65	2	2,75	5,0050	4,9078	-0,9816	2,1
9	-0,2915	0,95781	-0,2874	0,65	0	0,8	0,26	0,4732	0,4532	-0,1360	1
									92,5757	27,5337	19

Fs= 1,80711

TALUDE ANÁLISE jusante regime permanente

	ALFAi	COSAL	SINALFi	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisin	li
1	0,7854	0,7071	0,7071	0	2	1,3	1,3	2,3660	1,6730	1,6730	2
2	0,5764	0,8384	0,5450	2	4,2	3	9,3	16,9260	14,1913	9,2248	3,7
3	0,4636	0,8944	0,4472	4,2	5,1	2	9,3	16,9260	15,1394	7,5688	2,2
4	0,3805	0,9285	0,3714	5,1	4,8	2	9,9	18,0180	16,7293	6,6916	2
5	0,1974	0,9806	0,1961	4,8	4,2	2	9	16,3800	16,0619	3,2125	2
6	0,0709	0,9975	0,0708	4,2	3,3	2	7,5	13,6500	13,6157	0,9670	2
7	-0,0699	0,9976	-0,0698	3,3	2,1	2	5,4	9,8280	9,8040	-0,6864	2
8	-0,1974	0,9806	-0,1961	2,1	0,65	2	2,75	5,0050	4,9078	-0,9816	2,1
9	-0,2915	0,9578	-0,2874	0,65	0	0,8	0,26	0,4732	0,4532	-0,1360	1
									92,5757	27,5337	19

Fs= 2,0088

TALUDE ANÁLISE montante final de construção

	ALFAi	COSAL	SINALFi	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisin	li
1	0,8330	0,6727	0,7400	0	2,2	2	2,2	4,0040	2,6933	2,9628	2,8
2	0,6747	0,7809	0,6247	2,2	3,1	1	2,65	4,8230	3,7663	3,0128	1,1
3	0,6107	0,8192	0,5734	3,1	3,7	2	6,8	12,3760	10,1390	7,0969	2,5
4	0,4636	0,8944	0,4472	3,7	3,9	2	7,6	13,8320	12,3720	6,1853	2,3
5	0,1684	0,9859	0,1676	3,9	3,8	2	7,7	14,0140	13,8158	2,3488	2,1
6	0,2070	0,9787	0,2055	3,8	3,4	2	7,2	13,1040	12,8243	2,6932	2,1
7	0,1489	0,9889	0,1484	3,4	2,7	2	6,1	11,1020	10,9792	1,6470	2,1
8	-0,0599	0,9982	-0,0599	2,7	1,8	2	4,5	8,1900	8,1753	-0,4903	2
9	-0,2450	0,9701	-0,2426	1,8	0	3	2,7	4,9140	4,7673	-1,1919	3,1
									79,5323	24,2645	20,1

000052

Fs= 1,8053

TALUDE ANÁLISE montante esvaziamento rápido

	ALFAi	COSAL	SINALFi	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisin	li	
1	0,8330	0,6727	0,7400	0	2,2		2	2,2	4,0040	2,6933	2,9628	2,8
2	0,6747	0,7809	0,6247	2,2	3,1		1	2,65	4,8230	3,7663	3,0128	1,1
3	0,6107	0,8192	0,5734	3,1	3,7		2	6,8	12,3760	10,1390	7,0969	2,5
4	0,4636	0,8944	0,4472	3,7	3,9		2	7,6	13,8320	12,3720	6,1853	2,3
5	0,1684	0,9859	0,1676	3,9	3,8		2	7,7	14,0140	13,8158	2,3488	2,1
6	0,2070	0,9787	0,2055	3,8	3,4		2	7,2	13,1040	12,8243	2,6932	2,1
7	0,1489	0,9889	0,1484	3,4	2,7		2	6,1	11,1020	10,9792	1,6470	2,1
8	-0,0599	0,9982	-0,0599	2,7	1,8		2	4,5	8,1900	8,1753	-0,4903	2
9	-0,2450	0,9701	-0,2426	1,8	0		3	2,7	4,9140	4,7673	-1,1919	3,1
										79,5323	24,2645	20,1

Fs= 1,6086

TALUDE ANÁLISE jusante final de construção

	ALFAi	COSAL	SINALFi	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisin	li	
1	0,7598	0,7250	0,6888	0	3		3	4,5	8,1900	5,9375	5,6411	4
2	0,5764	0,8384	0,5450	3	4,3		2	7,3	13,2860	11,1394	7,2410	2,4
3	0,4636	0,8944	0,4472	4,3	4,8		2	9,1	16,5620	14,8139	7,4060	2,3
4	0,3805	0,9285	0,3714	4,8	4,1		2	8,9	16,1980	15,0395	6,0157	2,2
5	0,1781	0,9842	0,1772	4,1	3		2	7,1	12,9220	12,7176	2,2893	2,1
6	0,0759	0,9971	0,0758	3	2,4		2	5,4	9,8280	9,7997	0,7452	2
7	-0,0739	0,9973	-0,0738	2,4	1,2		2	3,6	6,5520	6,5341	-0,4838	2
8	-0,0997	0,9950	-0,0995	1,2	0	1,8	1,08	1,9656	1,9558	-0,1956	1,8	
										77,9375	28,6589	18,8

Fs= 1,4890

TALUDE ANÁLISE jusante regime permanente

	ALFAi	COSAL	SINALFi	hi	hi+1	bi	Ai	Wi	Wicos	Wisin	li	
1	0,7598	0,7250	0,6888	0	3		3	4,5	8,1900	5,9375	5,6411	4
2	0,5764	0,8384	0,5450	3	4,3		2	7,3	13,2860	11,1394	7,2410	2,4
3	0,4636	0,8944	0,4472	4,3	4,8		2	9,1	16,5620	14,8139	7,4060	2,3
4	0,3805	0,9285	0,3714	4,8	4,1		2	8,9	16,1980	15,0395	6,0157	2,2
5	0,1781	0,9842	0,1772	4,1	3		2	7,1	12,9220	12,7176	2,2893	2,1
6	0,0759	0,9971	0,0758	3	2,4		2	5,4	9,8280	9,7997	0,7452	2
7	-0,0739	0,9973	-0,0738	2,4	1,2		2	3,6	6,5520	6,5341	-0,4838	2
8	-0,0997	0,9950	-0,0995	1,2	0	1,8	1,08	1,9656	1,9558	-0,1956	1,8	
										77,9375	28,6589	18,8

Fs= 1,6522

000053

QUADRO DE CUBAÇÃO

MATERIAL AREIA ARGILOSA

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1		0		0	
0	22	19,20	9,60	211,20	211,20
1	20	56,80	38,00	760,00	971,20
2	20	104,00	80,40	1 608,00	2 579,20
3	20	282,80	193,40	3 868,00	6 447,20
4	20	449,20	366,00	7 320,00	13 767,20
5	20	530,80	490,00	9 800,00	23 567,20
6	20	398,80	464,80	9 296,00	32 863,20
7	20	424,00	411,40	8 228,00	41 091,20
8	20	461,20	442,60	8 852,00	49 943,20
9	20	466,80	464,00	9 280,00	59 223,20
10	20	512,00	489,40	9 788,00	69 011,20
11	20	492,80	502,40	10 048,00	79 059,20
12	20	423,20	458,00	9 160,00	88 219,20
13	20	333,20	378,20	7 564,00	95 783,20
14	20	328,80	331,00	6 620,00	102 403,20
15	20	205,60	267,20	5 344,00	107 747,20
16	20	115,20	160,40	3 208,00	110 955,20
17	20	42,00	78,60	1 572,00	112 527,20
18	20	8,00	25,00	500,00	113 027,20
19	10	0,00	57,60	576,00	111.531,20

C 00054

CUBAÇÃO XLSIPlan1

QUADRO DE CUBAÇÃO

MATERIAL FUNDAÇÃO

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1		0		0	
0	22	9,20	4,60	101,20	101,20
1	20	19,20	14,20	284,00	385,20
2	20	36,40	27,80	556,00	941,20
3	20	28,40	32,40	648,00	1 589,20
4	20	16,40	22,40	448,00	2 037,20
5	20	25,20	20,80	416,00	2 453,20
6	20	34,00	29,60	592,00	3 045,20
7	20	30,80	32,40	648,00	3 693,20
8	20	27,20	29,00	580,00	4 273,20
9	20	32,00	29,60	592,00	4 865,20
10	20	16,80	24,40	488,00	5 353,20
11	20	16,00	16,40	328,00	5 681,20
12	20	9,60	12,80	256,00	5 937,20
13	20	14,40	12,00	240,00	6 177,20
14	20	13,60	14,00	280,00	6 457,20
15	20	16,00	14,80	296,00	6 753,20
16	20	11,20	13,60	272,00	7 025,20
17	20	11,20	11,20	224,00	7 249,20
18	20	0,00	5,60	112,00	7 361,20
19	10	0,00	0,00	0,00	7 361,20

000055

QUADRO DE CUBAÇÃO

MATERIAL AREIA PARA FILTRO

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1	0	0		0	
0	22	0		0	
1	20	1,80	0,90	18,00	18,00
2	20	3,50	2,65	53,00	71,00
3	20	36,00	19,75	395,00	466,00
4	20	38,00	37,00	740,00	1 206,00
5	20	28,00	33,00	660,00	1 866,00
6	20	27,70	27,85	557,00	2 423,00
7	20	28,00	27,85	557,00	2 980,00
8	20	24,00	26,00	520,00	3 500,00
9	20	28,00	26,00	520,00	4 020,00
10	20	30,00	29,00	580,00	4 600,00
11	20	29,00	29,50	590,00	5 190,00
12	20	29,00	29,00	580,00	5 770,00
13	20	29,00	29,00	580,00	6 350,00
14	20	8,00	18,50	370,00	6 720,00
15	20	7,00	7,50	150,00	6 870,00
16	20	4,00	5,50	110,00	6 980,00
17	20	1,50	2,75	55,00	7 035,00
18	20	0,00	2,00	40,00	7 075,00
19	10	0,00	0,00	0,00	7 075,00

000056

QUADRO DE CUBAÇÃO

MATERIAL AREIA PARA TAPETE

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1	0	0		0	
0	22	0		0	
1	20	0,00	0,00	0,00	18,00
2	20	0,00	0,00	0,00	18,00
3	20	8,00	4,00	80,00	98,00
4	20	20,00	14,00	280,00	378,00
5	20	16,00	18,00	360,00	738,00
6	20	10,50	13,25	265,00	1 003,00
7	20	11,00	10,75	215,00	1 218,00
8	20	13,00	12,00	240,00	1 458,00
9	20	15,00	14,00	280,00	1 738,00
10	20	11,00	13,00	260,00	1 998,00
11	20	10,00	10,50	210,00	2 208,00
12	20	5,50	7,75	155,00	2 363,00
13	20	4,50	5,00	100,00	2 463,00
14	20	0,00	2,25	45,00	2 508,00
15	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
16	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
17	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
18	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
19	10	0,00	0,00	0,00	<b>2.508,00</b>
14	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
15	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
16	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
17	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
18	20	0,00	0,00	0,00	2 508,00
19	10	0,00	0,00	0,00	<b>2.508,00</b>

000037

QUADRO DE CUBAÇÃO

MATERIAL ROCK FILL

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1	0	0		0	
0	22	0		0	
1	20	0,00	0,00	0,00	0,00
2	20	0,00	0,00	0,00	0,00
3	20	18,00	9,00	180,00	180,00
4	20	36,00	27,00	540,00	720,00
5	20	77,20	56,60	1 132,00	1 852,00
6	20	47,20	62,20	1 244,00	3 096,00
7	20	40,00	43,60	872,00	3 968,00
8	20	62,00	51,00	1 020,00	4 988,00
9	20	71,20	66,60	1 332,00	6 320,00
10	20	50,00	60,60	1 212,00	7 532,00
11	20	34,80	42,40	848,00	8 380,00
12	20	10,00	22,40	448,00	8 828,00
13	20	10,00	10,00	200,00	9 028,00
14	20	0,00	5,00	100,00	9 128,00
15	20	0,00	0,00	0,00	9 128,00
16	20	0,00	0,00	0,00	9 128,00
17	20	0,00	0,00	0,00	9 128,00
18	20	0,00	0,00	0,00	9 128,00
19	10	0,00	0,00	0,00	9.128,00

000058

QUADRO DE CUBAÇÃO

EXPURGO

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1	0	0		0	
0	22	6,00	3,00	1,50	1,50
1	20	10,80	8,40	5,70	7,20
2	20	13,20	12,00	10,20	17,40
3	20	24,00	18,60	372,00	389,40
4	20	24,60	24,30	486,00	875,40
5	20	25,20	24,90	498,00	1 373,40
6	20	24,00	24,60	492,00	1 865,40
7	20	24,00	24,00	480,00	2 345,40
8	20	24,00	24,00	480,00	2 825,40
9	20	24,00	24,00	480,00	3 305,40
10	20	24,00	24,00	480,00	3 785,40
11	20	24,00	24,00	480,00	4 265,40
12	20	24,00	24,00	480,00	4 745,40
13	20	21,00	22,50	450,00	5 195,40
14	20	18,00	19,50	390,00	5 585,40
15	20	18,00	18,00	360,00	5 945,40
16	20	14,50	16,25	325,00	6 270,40
17	20	8,50	11,50	230,00	6 500,40
18	20	3,60	9,05	181,00	6 681,40
19	10	0,00	1,80	18,00	6.699,40

QUADRO DE CUBAÇÃO  
MATERIAL RIP - RAP

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
-1,00		0,00		0,00	0,00
0,00	22,00	2,70	1,35	29,70	29,70
1,00	20,00	7,20	4,95	99,00	128,70
2,00	20,00	7,20	7,20	144,00	272,70
3,00	20,00	19,50	13,35	267,00	539,70
4,00	20,00	18,00	10,35	207,00	236,70
5,00	20,00	15,70	16,85	337,00	573,70
6,00	20,00	15,70	15,70	314,00	887,70
7,00	20,00	16,50	16,10	322,00	1 209,70
8,00	20,00	16,50	16,50	330,00	1 539,70
9,00	20,00	16,50	16,50	330,00	1 869,70
10,00	20,00	17,50	17,00	340,00	2 209,70
11,00	20,00	18,50	18,00	360,00	2 569,70
12,00	20,00	19,50	19,00	380,00	2 949,70
13,00	20,00	16,70	18,10	362,00	3 311,70
14,00	20,00	13,50	15,10	302,00	3 613,70
15,00	20,00	10,80	12,15	243,00	3 856,70
16,00	20,00	6,70	8,75	175,00	4 031,70
17,00	20,00	2,30	4,50	90,00	4 121,70
18,00	20,00	0,90	1,60	32,00	4 153,70
19,00	10,00	0,00	0,45	4,50	<b>4.158,20</b>

000060

CUBAÇÃO XLSPlan1

QUADRO DE CUBAÇÃO

ESCAVAÇÃO DO SANGRA DOURO

ESTACAS	DISTÂNCIA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	SEMISOMA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
		0,00		0,00	0,00
4M	10	3,00	1,50	15,00	15,00
3M	20	94,50	48,75	975,00	990,00
2M	20	198,50	146,50	2 930,00	3 920,00
1M	20	199,00	198,75	3 975,00	7 895,00
00	20	201,00	102,00	2 040,00	9 935,00
1J	20	199,00	200,00	4 000,00	13 935,00
2J	20	53,00	126,00	2 520,00	16 455,00

000061