

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

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

**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO, URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB CE**

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM DO ROSÁRIO

VOLUME V RELATÓRIO GERAL

TOMO 1 DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

ENGESOFT

FORTALEZA- CE
JUNHO DE 1996

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB/CE

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM DO ROSÁRIO

VOLUME V - RELATÓRIO GERAL
TOMO 1 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

Lote: 00881 - Prep (X) Scan () Index ()
Projeto Nº 0087/05/01/A
Volume 1
Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____
Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____
Qtd. A0 _____ Outros _____



FORTALEZA
AGOSTO / 97

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM DO ROSÁRIO

VOLUME V - RELATÓRIO GERAL

Tomo 1 - Descrição Geral do Projeto - Textos





ÍNDICE

ÍNDICE

	Página
APRESENTAÇÃO.....	4
1 - INTRODUÇÃO	6
<i>1 1 - Localização e Acesso ao Eixo Barrável</i>	<i>8</i>
<i>1 2 - Ficha Técnica</i>	<i>10</i>
2 - SÍNTESE dos estudos básicos.....	13
<i>2 1 - Estudos Topográficos</i>	<i>14</i>
<i>2 2 - Estudos Geológicos e Geotécnicos</i>	<i>14</i>
<i>2 3 - Estudos Hidrológicos</i>	<i>18</i>
3 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO	19
<i>3 1 - Critérios Adotados Para Definição do Projeto</i>	<i>20</i>
<i>3 2 - Análises Efetuadas Para o Corpo da Barragem</i>	<i>30</i>
4 - CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO.....	38
5 - EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA REALIZAÇÃO DA OBRA.....	41
6 - INSTALAÇÃO MÍNIMA PARA O CANTEIRO DE OBRAS.....	43
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....	45



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A Engesoft - Engenharia e Consultoria Ltda apresenta a seguir, o Projeto Executivo da Barragem do Rosário, objeto do contrato nº 092/96 - PROURB/COGERH, firmado com a COGERH

O referido projeto é composto dos seguintes volumes

Volume I - Relatório de Estudos Preliminares

Volume II - Relatório de Estudos Básicos

Tomo 1 - Estudos Topográficos

Tomo 2 - Estudos Geológico-Geotécnicos

Tomo 3 - Estudos Hidrológicos

Volume III - Relatório de Concepção

Volume IV - Minuta do Relatório Geral

Tomo 1 - Textos

Tomo 2 - Desenhos

Volume V - Relatório Geral

Tomo 1 - Descrição Geral do Projeto - Textos

Tomo 2 - Memorial de Cálculo

Tomo 3 - Orçamento

Tomo 4 - Especificações Técnicas

Tomo 5 - Desenhos

Volume VI - Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao Volume V - Relatório Geral - Tomo 1 - Descrição Geral do Projeto - Textos



1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

A construção da Barragem do Rosário pelo Governo do Estado do Ceará PROURB, visa dotar a região de uma infraestrutura hídrica capaz de atender as demandas referentes ao abastecimento d'água das populações residentes em sua área de influência. Além do uso prioritário para abastecimento humano, o programa contempla também o aproveitamento hidroagrícola dos solos disponíveis através de explorações agrícolas irrigadas, com piscicultura e com lazer.

Os estudos desenvolvidos na elaboração do projeto envolveram duas etapas, sendo a primeira, denominada por Fase A, conforme os Termos de Referência, constituída pelos Estudos Básicos e Concepção. A segunda etapa, denominada de Fase B iniciou-se com o Volume de Minuta do Relatório Geral, que serviu de base para a elaboração do presente relatório.

1.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO EIXO BARRAVEL

O sítio barrável em questão represa o riacho do Rosário a 2.0 km do distrito de Quitaiús, no Sudoeste do estado, distante 27 km do município de Lavras da Mangabeira

O acesso ao local da obra se dá partindo de Fortaleza pela Rodovia Federal BR-116 até o município de Lavras da Mangabeira, percorrendo-se aproximadamente 429 km. Desta, toma-se a direção oeste para Rodovia Federal BR-230 até chegar a uma estrada carroçável à esquerda, percorrendo nesta, mais 27 Km até o distrito de Quitaiús, onde 2 Km a leste está localizado o eixo barrável

A figura 1 1 a seguir apresenta o mapa de localização e acesso da Barragem do Rosário

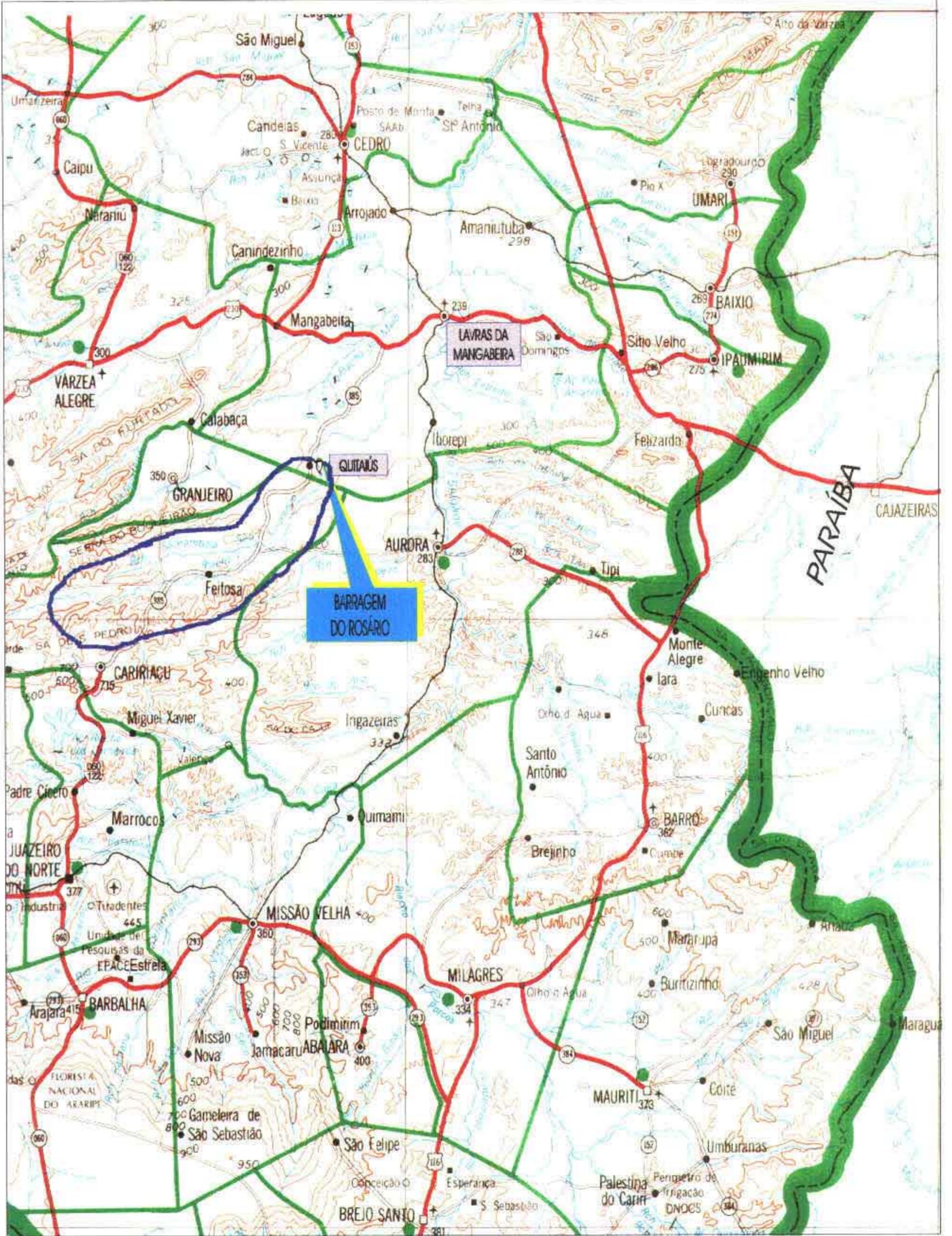


Figura 1.1
 LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM EM RELAÇÃO AO
 MUNICÍPIO DE LAVRAS DA MANGABEIRA

1.2 - FICHA TÉCNICA

As principais características técnicas das obras são resumidas a seguir

a) - Localização

• Riacho	Rosário
• Sistema	Salgado
• Município	Lavras da Mangabeira
• Estado	Ce

b) - Características Gerais

• Bacia Hidrográfica	329,0 Km ²
• Bacia Hidráulica	697,00 ha
• Volume Acumulado (cota 288 00)	47,2 x 10 ⁶ m ³
• Vazão (TR = 1000 anos)	893,00 m ³ /s
• Vazão (TR = 10 000 anos)	1 129,00 m ³ /s
• Lâmina de Sangria (TR = 1000 anos)	1,10 m
• Lâmina de Sangria (TR = 10 000 anos)	1,36 m
• Vazão Regularizada (100 % garantia)	0,46 m ³ /s
• Vazão Regularizada (90% de garantia)	0,81 m ³ /s

c) Barragem Principal

• Tipo	Terra homogênea
• Cota do Coroamento	290,10 m
• Altura Máxima	20,80 m
• Comprimento da Crista	670,00 m
• Largura da Crista	6,00 m
• Volume de Aterro Maciço	252 194,50 m ³
Aterro Fundação (cut-off)	32 684,40 m ³
Filtros	21 969,20m ³
Enrocamentos	21 706,00 m ³
• Volume Total da Barragem	304 722,50 m ³

d) Dique de Proteção

BARRAGEM AUXILIAR 1

• Tipo	Terra Homogênea
• Cota do Coroamento	290,10 m
• Máxima	6,60 m
• Comprimento da Crista	75,00 m
• Largura da Crista	6,00m
• Volume de Terra	4 189,00 m ³
Filtro	725,20 m ³
Enrocamento	532,00 m ³
Total	6 243,60 m ³
Escavação	1 511,20 m ³

BARRAGEM AUXILIAR 2

• Tipo	Terra Homogênea
• Cota do Coroamento	290,10 m
• Máxima	12,10 m
• Comprimento da Crista	228,00 m
• Largura da Crista	6,00m
• Volume de Terra	61 695,60 m ³
Filtro	7 722,80 m ³
Enrocamento	4 612,00 m ³
Total	80 210,00 m ³
Escavação	10 175,60 m ³

c) Sangradouro

• Tipo de Vertedouro	Labirinto
• Cota da Soleira	288,00 m
• Largura	100,00 m
• Lâmina d'água Máxima (TR = 1000 anos)	1,10m
• Volume de Corte	50 998,20 m ³

f) Tomada d'água

• Tipo	Galera
• Número de Condutos	1,00
• Diâmetro do Conduto	φ 800 mm
• Comprimento do Conduto	54,62 m
• Cota de Montante da Galeria	278,00 m
• Locação	E 12 + 14,00 m



2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

2.1 - ESTUDOS TOPOGRAFICOS

Os estudos topográficos realizados consistiram do levantamento da bacia hidráulica do reservatório, do eixo barrável e do local do sangradouro. A partir dos dados obtidos foram elaboradas as seguintes plantas:

- Planta da bacia hidráulica na escala 1:10 000
- Planta baixa e perfil do eixo barrável
- Planta baixa e perfil do local do sangradouro

Através do levantamento topográfico da bacia hidrográfica, foi possível a elaboração da curva cota x área x volume representativa do reservatório.

Os desenhos e maiores detalhes acerca destes estudos podem ser consultados no Volume I I - Relatório dos Estudos Básicos - Tomo 1 - Estudos Topográficos.

2.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

2.2.1 - Resultados das Prospecções

O maciço da fundação é formado basicamente por gnaisses intercaladas de xisto (predominantemente encontrados à esquerda da margem do riacho) e xistos intercalados com gnaisses (encontrados do lado direito das margens do riacho), e encontra-se de forma geral muito fraturado, em direções diversas, não seguindo portanto um plano de fraturamento preferencial, com recuperações baixas, e razoável fluxo de água percolando por suas aberturas.

Esse fraturamento acentuado pode vir a comprometer a estanqueidade da fundação do maciço, causando significativa perda d'água por percolação. Há portanto a previsão de tratamento das fundações por meio de injeções de cimento de forma a melhorar as condições gerais de estanqueidade, conforme analisado no Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo.

Acima do topo rochoso, existe um solo residual de composição predominante de areias-siltosas às vezes argilosas com pedregulho e muito compactas, proveniente da decomposição e alteração da rocha de fundação (gnaisse). A espessura de tal camada gira em torno de 2.0 m a 4.5 m. Neste intervalo os valores de

SPT são mais elevados em torno de 9 a 20. A espessura desta camada não se apresenta de forma constante, sendo que em alguns casos é quase que inexistente.

Via de regra, acima do solo residual, encontra-se material aluvionar, com coeficientes de permeabilidade razoavelmente consideráveis, traduzidos pelos resultados dos ensaios de permeabilidade "in situ" no aluvião, que apresentaram valores em torno de k (coeficiente de permeabilidade) $\approx 2,3 \times 10^{-5}$ cm/s a $k \approx 9,9 \times 10^{-4}$ cm/s. tal camada possui capacidade de suporte de baixa a média ao longo do perfil do boqueirão e espessura média de 3,0 m a 5,0 m. Tal depósito aluvionar é predominantemente encontrado no fundo do vale, formado basicamente por siltes arenosos e areno-argilosos com compacidades variando de pouco a medianamente compactos e SPT relativamente baixos, da ordem de 3 a 7, porém crescentes com a profundidade, chegando em alguns casos com valores de SPT de 10 a 15.

O nível d'água apresentou-se de forma variada entre 2,40 m e 4,40 m, e em alguns casos o furo estava seco (SP-06, SP-07, SP-08), datados respectivamente de 03/09/96, 02/09/96 e 31/08/96.

Na região das ombreiras e sangradouro, encontra-se uma capa de solo residual formado por silte arenoso com mica e quartzo, com espessuras variando de 1,60 m a 5,00 m. Abaixo destes encontram-se, como no eixo, camadas de rocha em alternância entre gnaisses com passagens de xisto e xistos com passagens de gnaiss. Em ambos os casos, a rocha encontra-se também muito fraturada. Do mesmo modo previsto no eixo barrável, há necessidade nestas regiões, de tratamento do maciço através de injeções consolidantes, de acordo com a mesma análise feita para o eixo barrável.

Os ensaios de perda d'água específica executados nas rochas tanto no leito, como nas ombreiras e sangradouro, apresentaram valores não muito altos, demonstrando condutividade hidráulica mediana do maciço. Esses valores se situam em uma faixa de P.E. (Perda d'água específica) $\cong 0,4$ a $33,2$ l/min/m/kgf/m².

Para maiores informações vide Volume II - Relatório de Estudos Básicos - Tomo 2 - Estudos Geológico - Geotécnicos.

Conforme citado no Volume II - Relatório dos Estudos Básicos - Tomo 2 - Estudos Geológico - Geotécnicos, houve necessidade de execução das sondagens a percussão complementares se deu face à ocorrência de argila siltosa cinza escura, na região compreendida entre as estacas 23 e 25, onde se tenta mapear sua zona de interferência. Com base nos resultados, conclui-se que quase que toda a área detectada com tal material será limpa quando da execução da trincheira de vedação, por coincidir com sua localização. Se, houver escavação adicional, será de pequeno volume e a critério do engenheiro geotécnico responsável pela obra.

Com relação às sondagens rotativas, estas foram executadas na região do sangradouro de forma a discretizar melhor o material sobre o qual este será apoiado. O material encontrado foi rocha gnáissica fraturada, mas que do ponto de vista geomecânico apresenta-se adequada para suportar a estrutura do sangradouro do tipo labirinto. As sondagens rotativas referentes a este caso são as SR-B, SR-C, SR-D, e constam do Volume II Tomo 2 - Estudos Geológicos - Geotécnicos

2.2.2 Materiais de Construção

O estudo dos materiais a serem utilizados quando da execução da barragem, teve início com um reconhecimento de toda a área circunvizinha ao local do barramento, de forma que se identificassem as jazidas potencialmente exploráveis

Dentro de um afastamento economicamente viável do local da obra em estudo, foram identificados e caracterizados os materiais de três áreas de empréstimos, a saber

JT1: Jazida Terrosa

JA1: Jazida Arenosa

JP1: Pedreira

O quadro 2.1 apresenta a seguir um resumo das principais características dos empréstimos estudados

É importante comentar que o material da jazida arenosa foi reavaliado e considerado inadequado como filtro, portanto optou-se em adotar outra jazida. Encontrou-se a 600 m do eixo barrável, material arenoso. Tal material foi identificado, caracterizado em laboratório e classificado como SW (areia fina a grossa bem graduada). O material foi considerado adequado para filtro

Os resultados dos ensaios desta jazida são apresentados no Volume II - Tomo 2 - Estudos Geológicos - Geotécnicos

No entanto, cabe colocar que, face ao comportamento dos rios da região, quando da execução das obras, a jazida deverá ser reavaliada e o material reensaiado para que se obtenha no mínimo as mesmas características ora apresentadas, conforme Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo

QUADRO 2.1 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DOS EMPRÉSTIMOS

	VALOR LIMITE	Plasticidade			Compactação		Permeabilidade	Ensaio Los Angeles	Classificação Predominante	Volume Disponível (m ³)	Dist. md. Transp. (km)
		LL (%)	LP (%)	IP (%)	δ_{sm} (g/cm ³)	h_x (%)	K (cm/s)				
Área de Empréstimo JT1	Máx.	44.0	23.30	21.80	1.84	19.61	3.6×10^{-7}		CL	1.262.400	4,00
	Mín.	38.14	20.92	16.05	1.62	14.41	2.2×10^{-7}				
	Médio	41.00	22.10	19.00	1.73	17.00	2.9×10^{-7}				
Área de Empréstimo JA1	Máx.	--	--	--	--	--	$5,32 \times 10^{-2}$		SW	> 50.000	0,60
	Mín.	--	--	--	--	--	$8,71 \times 10^{-2}$				
	Médio	--	--	--	--	--	$7,0 \times 10^{-2}$				
Área de Empréstimo JPI	Máx.	--	--	--	--	--	--	22%	GNAISSE -	7.500	0,60
	Mín.	--	--	--	--	--	--	a	XISTOSO		
	Méd.	--	--	--	--	--	--	24%	Resistente		

2.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos desenvolvidos visaram quantificar as potencialidades hídricas da bacia do Rosario e constaram das seguintes fases

- caracterização climatológica da região,
- estudos pluviométricos,
- estudos de deflúvios,
- estudos das cheias do projeto,
- estudos de disponibilidades

Na caracterização hidrológica da bacia do Rosário foram utilizados os dados pluviométricos dos postos de Quitaíus, Granjeiro e Caririçu

No local do barramento, a bacia hidrográfica de contribuição é de 329 km^2 e o regime de escoamento na seção considerada apresenta um valor anual de $196,1 \text{ mm}$, o que representa um volume anual médio escoado de $64,5 \text{ hm}^3$

A capacidade de acumulação do reservatório para o sangradouro na cota $288,00 \text{ m}$ é de $47\,218\,527 \text{ m}^3$, a descarga máxima para $T_p=1000$ anos é de $893 \text{ m}^3/\text{s}$, com uma lâmina de sangria de $1,10 \text{ m}$ ($T_r = 1000$ anos)

3 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

3 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

3.1 - CRITÉRIOS ADOTADOS PARA DEFINIÇÃO DO PROJETO

3.1.1 - Definição do Eixo da Barragem

Para melhor entendimento do texto, apresenta-se, a figura seguir

O primeiro eixo da barragem proposto, denominado no desenho de "eixo 1" situava-se a jusante do eixo atual adotado. Embora esta configuração apresentasse menor seção longitudinal e conseqüentemente menor volume de aterro, encontrou-se, em visita ao campo, inconvenientes ligados ao tipo e estado da rocha na região das ombreiras. O tipo de rocha detectado foi visto extremamente fraturado, não apresentando condições favoráveis.

Uma outra característica utilizada no julgamento, foi a que diz respeito ao sangradouro, o qual estaria muito próximo ao talude de jusante, podendo portanto colocar o maciço vulnerável aos efeitos erosivos da água escoada pelo seu canal de fuga.

Optou-se então em "recuar" para posição mais a montante o eixo, (vide eixo 2 no desenho a seguir) de forma que os apoios nas ombreiras se dessem em rocha gnáissica, e que se estaria, de certa forma à distância da influência do escoamento de águas do sangradouro.

3.1.2 - Definição da Cota do Sangradouro

O sangradouro, localizado na ombreira direita do reservatório, teve sua cota de soleira determinada em função do potencial hidrológico da bacia, dos aspectos técnicos e econômicos envolvidos na implantação da barragem em diferentes níveis de sangria e da vazão regularizada necessária para o abastecimento populacional e irrigação da região.

Com base nos estudos hidrológicos, os quais definiram a capacidade de acumulação do reservatório em diversas cotas e as respectivas vazões regularizadas geradas, fez-se em uma primeira etapa de estudos, uma estimativa preliminar do custo da barragem (contemplando maciço, sangradouro, muros laterais, desapropriações e desmatamento) em função do nível do sangradouro. Tendo em vista que o objetivo principal do barramento é o abastecimento humano e também aproveitamento para irrigação, utilizou-se como referência na análise, vazões com garantia anual de 90%.

Através da primeira análise econômica efetuada, pôde-se concluir que a relação custo da Barragem x Volume regularizado apresenta-se de forma linear e crescente. Extrai-se daí que a cota definida é condicionada pela demanda requerida para abastecimento e irrigação. O quadro 3.1 e a figura 3.2 ilustram o comentado.

Em uma segunda etapa, com a finalidade de otimização, fez-se uma análise comparativa, conforme abaixo:

- a) Maciço com C.C. = 293,20 m (solução apresentada no estudo de concepção)
Sangradouro tipo Creager C.S. = 289,00 m
- b) Maciço com C.C. = 292,30 m (alternativa 1)
Sangradouro tipo Creager C.S. = 288,00 m
- c) Maciço com C.C. = 290,10 m (alternativa 2)
Sangradouro tipo Labirinto C.S. = 288,00 m

Com base nas análises comparativas, concluiu-se que a alternativa mais adequada para o projeto em questão é aquela composta por sangradouro tipo labirinto com soleira fixada na cota 288,00m, substituindo portanto a solução apresentada no Estudo de Concepção.

Apesar de o custo do labirinto ser substancialmente maior que a opção em Creager, nota-se que há uma redução do volume do maciço por conta da cota de coroamento que baixou aproximadamente 2,10 m, reduzindo também volumes dos diques de proteção e dimensões dos muros laterais.

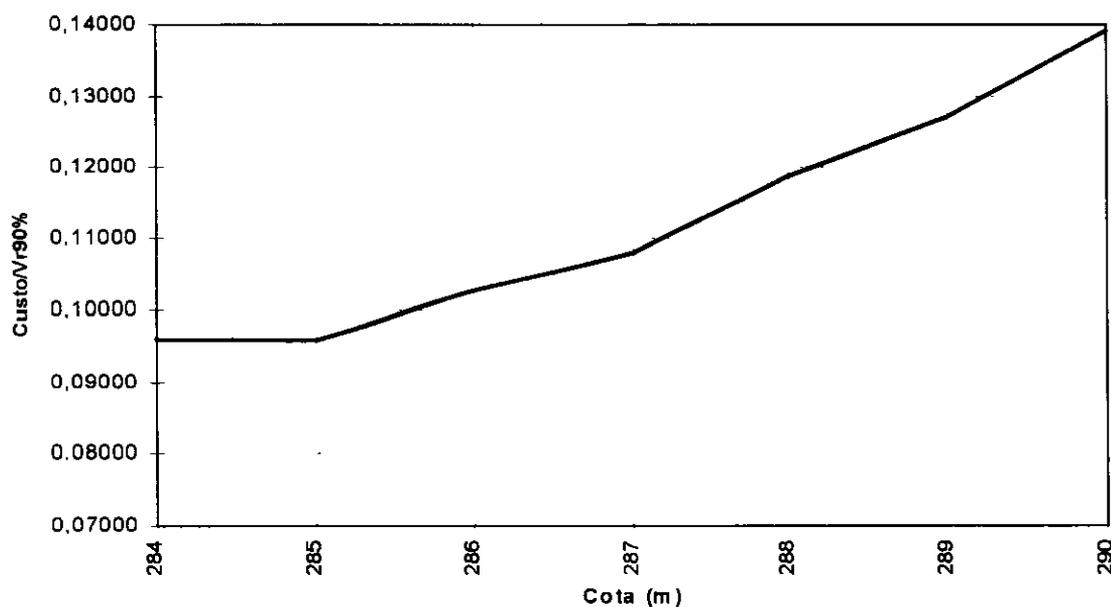
A título ilustrativo o levantamento preliminar de custos para comparação de soluções é apresentado no Volume V - Relatório Geral - Memorial de Cálculo.

Quadro 3.1 - Custo do barramento por volume regularizado 90% de garantia.

SOLUÇÃO SANGRADOURO TIPO CREAGER

COTA_{sang} (m)	Qr 90% (m³/s)	CUSTO ESTIMADO (R\$)	CUSTO/Qr 90 RS/m3.ano
284 00	0 56	1 695 184,98	0,09599
285 00	0 63	1 900 459,13	0,09566
286 00	0 68	2 200 224,23	0,10260
287 00	0 75	2 557 171,12	0,10812
288 00	0 81	3 035 858,97	0,11885
289 00	0 88	3 523 378,09	0,12696
290 00	0 94	4 120 402,08	0,13900

Figura 3.2 - Custo do barramento por volume regularizado 90% de garantia.



3.1.3 - Condicionantes Geológicas e Geotécnicas

O local da implantação das obras possui uma caracterização de certo modo uniforme do ponto de vista da formação geológica. Apresenta-se como vale em "V", encaixado, sendo um local propício geometricamente para a execução da obra. Tais características são válidas até a cota 290,00 m, quando então o vale se abre. O maciço rochoso encontra-se, no entanto, muito fraturado, mas possuindo boa capacidade de suporte por se tratar predominantemente de gnaisses.

O sangradouro, posicionado na ombreira direita, foi locado de forma a trabalhar adequadamente do ponto de vista hidráulico, bem como a não colocar o maciço vulnerável aos efeitos erosivos causados pelo escoamento da água provinda do seu canal de fuga.

A tomada d'água tem sua posição na ombreira esquerda, com seu eixo locado na estaca 12 + 14,0 m, onde se encontram condições geológicas favoráveis, com cristalino a pouca profundidade, em forma de um pequeno vale, traduzindo uma boa configuração local.

3.1.4 - Arranjo Geral das Obras

Na definição do arranjo geral das obras foram considerados os condicionantes topográficos e geotécnicos das fundações do eixo da barragem, do local do sangradouro e da tomada d'água.

O arranjo geral proposto consta de um maciço de terra homogênea, com filtros horizontal e vertical, de um sangradouro do tipo Labirinto localizado a jusante da ombreira direita, e de uma tomada d'água do tipo galeria implantada na ombreira esquerda.

O arranjo geral da obra pode ser melhor visualizado no desenho a seguir.

É importante salientar, que a solução geral proposta pelo Estudo Básico-Concepção foi reestudada, resultando na adoção de uma nova solução com relação ao tipo de sangradouro, que antes foi apresentada em perfil tipo Creager, agora sendo sangradouro em labirinto. Tal modificação incorre na alteração das cotas de sangria e cota de coroamento da barragem, conseguindo-se reduzir substancialmente os volumes de materiais requeridos para execução do maciço, bem como a redução da lâmina de sangria máxima.

A seguir são descritas as características principais adotadas na concepção do sangradouro, da seção tipo e da tomada d'água da barragem

Os detalhes geométricos de cada item são apresentados no Volume V - Tomo 5 - Desenhos

3 1 4 1 - Seção-tipo

A determinação da seção-tipo do maciço foi definida com base nos condicionantes geológico - geotécnicos no local das fundações, topografia do eixo e características geotécnicas dos materiais de construção

Mais uma vez, comenta-se o fato de se ter, em relação aos estudos básicos, alterações nas cotas de coroamento e conseqüentemente nas cotas das bermas por ocasião do refinamento já citado

Portanto a seção do maciço definida e do tipo trapezoidal com coroamento posicionado na cota 290,10 m, sendo constituído por material argiloso do tipo CL, provindo de jazida próxima. A altura máxima do maciço alcança aproximadamente 20,80 m no leito do rio e a inclinação dos taludes é variável, obedecendo aos seguintes escalonamentos **segundo a sua seção máxima**

- Talude de Jusante

- da cota 290,10 m (coroamento) até 280,50 m talude de 2,00 (H) 1,00(V).
- na cota 280,50 m desenvolve-se uma berma de 2,50 de largura e até a cota 275,00 m, o talude continua 2,0 (H) 1,00 (H).
- na cota 275,00 m será projetada outra berma, sendo esta de 2,00 m de largura coincidindo com o topo do enrocamento,
- da cota 275,00 m até o terreno natural o talude é de 1,5 (H) 1,0 (H) Neste trecho a seção é de enrocamento

A superfície do talude de jusante será protegida por uma camada de 0,90 m de espessura com material formado por pedregulhos com solo argiloso, proveniente das escavações superficiais das áreas de empréstimos

- Talude de Montante

- do cota 290.10 m (coroamento) até a cota 280.50 m desenvolve-se talude de 2,0 (H) 1,0 (V).
- da cota 280.50 m até o terreno natural talude de 2,50 (H) 1,0 (V)

A proteção do talude de montante será feita por uma camada de enrocamento com 0,75 m de espessura, cujas características são apresentadas adiante seguida por uma camada de 0,30 m de espessura de brita corrida (transição)

A seção proposta possui um filtro vertical para drenagem interna do maciço situado no início do talude de jusante com o topo situado no nível da cota 289,05 m. A largura do filtro é de 1,00 m e este se estenderá até o filtro horizontal, de mesma dimensão, situado na altura do dreno de pé. Este filtro horizontal do tipo tapete drenante será executado em toda a extensão do talude de jusante da barragem se prolongando até o "Rock Fill"

O "Rock Fill" tem geometria trapezoidal **na seção máxima**, com 2,00m de largura no topo, na cota 275,00 e taludes 1,5 1,0 (H V) para jusante e 1,0 1,0 (H V) para montante

Em toda a extensão do maciço será executada uma trincheira de vedação, do tipo "Cut-Off", até atingir o substrato rochoso. Os taludes do mesmo terão inclinação de 1,0 1,0 (H V) e a base do "cut-off" será escavada com uma largura de 6,0 m sobre o substrato rochoso. As fundações receberão tratamento por injeções de cimento após a escavação do "Cut-Off"

3 1 4 2 - Sangradouro

O sangradouro está previsto com soleira fixada na cota 288,00 m. Neste nível, conforme os dados hidrológicos, o sangradouro permitirá o fluxo de 893,00 m³/s (TR = 1 000 anos)

O vertedouro será do tipo Labirinto com uma largura de 100,00m. Com estas dimensões a lâmina de sangria será de 1,10 m (TR = 1000 anos). As escavações do canal do sangradouro serão mistas com profundidades de até 5,00m, sendo que eventualmente poderá ocorrer escavação em material rochoso.

3 1 4 3 - Tomada d'água

O eixo da tomada d'água foi reavaliado e, com a finalidade de refinar melhor as condições de implantação da mesma, facilitando sua execução e reduzindo escavações, o novo posicionamento se dará na estaca 12 + 14,00 m. A cota de montante será fixada na 278,00 que equivale a um volume morto de aproximadamente 4 489 913,78m³, o que representa cerca de 9,30% do volume total armazenado.

Levando-se em consideração as dimensões da obra, definiu-se a tomada d'água tipo galeria, com conduto forçado com 800 mm de diâmetro aproximadamente e 54,62 m de comprimento. À jusante da galeria será instalado um registro para controle de vazões.

Tais características permitem a derivação de vazões mínimas da ordem de 0,81 m³/s, na cota 288,00 m.

3 1 4 4 - Diques de Proteção

Na margem direita, à jusante da barragem principal, serão executadas as denominadas barragens auxiliares 1 e 2, nos moldes da barragem principal de forma a evitar escoamento de água por tal local.

Conforme acima mencionado, os diques terão portanto, seção trapezoidal, com coroamento de 6,00m e na cota 290,10 m.

- Talude de Montante

- do coroamento -cota 290,10 m o terreno natural desenvolve-se talude de 2,5 (V) 1,0 (H).



O talude de jusante terá inclinação de 2.5 (H) 1.0 (V)

O maciço deverá ser compactado conforme as especificações feitas para o corpo da barragem principal, servindo portanto como aterro experimental de modo a aferir os dados indicados para a compactação

3.2 - ANALISES EFETUADAS PARA O CORPO DA BARRAGEM

Uma vez definida a geometria da barragem, procedeu-se à sua análise, no tocante à segurança, a saber análise de fluxo percolante na barragem e fundações, dimensionamento de sistemas de drenagem e de proteção, análise da estabilidade dos taludes do maciço e tratamento do das fundações

3.2.1 - Análise de Fluxo

A percolação da água pelo corpo da barragem é analisada através da determinação de uma rede de fluxo em meio anisotrópico. Com o traçado da rede, extraem-se dados importantes, como vazão percolante, dados de pressão neutra, a posição da linha freática. Tais parâmetros serão importantes mais adiante para a análise de estabilidade de talude e dimensionamento dos filtros.

O traçado da rede se deu de forma gráfica, conforme desenho apresentado na figura 5.1 do item 5. Uma vez que se considera o meio anisotrópico, lançou-se mão da relação entre as permeabilidades horizontal (k_h) e vertical (k_v). $k_h=10 \times k_v$, valor este consagrado na teoria e na prática, para o material CL quando compactado.

A posição da linha freática foi determinada através do traçado da parábola básica de Kozeny com as correções empíricas de entrada e saída de Casagrande.

Obteve-se portando, uma vazão de percolação da ordem de $Q= 2.56 \times 10^{-7} \times m^3/s/m$, cujos cálculos detalhados são apresentados Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo.

3.2.2 - Dimensionamento do Sistema de Drenagem Interna

Através do cálculo apresentado Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo obteve-se para filtro vertical $\varnothing_{filtro\ v} = 1.00 \text{ m}$. Para o filtro horizontal, considerando-se este trabalhando em carga, resultou $\varnothing_{filtro\ h} = 1.00 \text{ m}$.

3.2.3 - Análise da Estabilidade do Maciço

Para a análise da estabilidade da barragem foi adotado o método de Bishop Simplificado, que é o método de equilíbrio limite de uso mais consagrado embora tenha também sido calculado o método de Janbu. Uma modificação do primeiro método, permite o cálculo do fator de segurança (FS) para uma superfície genérica, ou seja, não obrigatoriamente circular.

O projeto geométrico e as condições reais de campo foram discretizados assumindo hipóteses com respeito a geometria, parâmetros dos materiais constituintes e condições de contorno e carregamento, incluindo as poro-pressões geradas nas diversas etapas de operação da barragem

As hipóteses adotadas com respeito a geometria do maciço e parâmetros dos materiais constituintes são apresentadas, respectivamente, nos itens a seguir. As hipóteses quanto às condições de contorno e carregamento são apresentadas no item 3.3.3 em função dos respectivos casos em análise

Os cálculos efetuados são apresentados no Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo através de listagens de computador e figuras com as superfícies críticas e malhas de procura para cada caso analisado

3.2.3.1 - Definição da Geometria

A seção da barragem considerada para a análise, foi a da Estaca 29 por apresentar a maior altura acima das fundações. Para considerar a situação mais crítica, esta seção foi combinada com o perfil da fundação obtido na sondagem SM-02, que fornece uma maior espessura do pacote aluvionar. Para a fundação foram consideradas, a partir da superfície, uma camada de 3m de silte arenoso, uma camada de 4m de areia siltosa e finalmente o substrato rochoso

Para a seção da barragem, como hipótese simplificadora, não foram consideradas, as camadas no coroamento, rip-rap e proteção superficial de jusante. A camada transição de brita no Rock-Fill foi considerada como tendo os mesmos parâmetros da areia. Essas simplificações influem pouco nas análises e ainda assim são a favor da segurança, já que os materiais destas camadas foram substituídos por outros com parâmetros de resistência inferiores

A camada de rocha de fundação (gnaisse), foi considerada como tendo uma resistência ao cisalhamento muito superior aos demais materiais constituintes do maciço e portanto as superfícies de deslizamento tangenciam esta camada, não a adentrando

As seções geométricas consideradas nas análises são apresentadas no final deste capítulo

3.2.3.2 - Parâmetros dos Materiais

Os materiais constituintes do maciço, considerados relevantes na análise, foram os materiais provenientes das jazidas, a areia do filtro e o enrocamento do "Rock-Fill"

Os parâmetros de resistência para os materiais, resumidos na Tabela 3.1, foram obtidos de ensaios de cisalhamento direto lento para o solo das jazidas e de fontes bibliográficas (e.g Bureau of Reclamation, 1987, Carvalho, 1983, 1984, 1991, Lambe & Withman, 1979) para os demais

Para as camadas de fundação foram considerados os resultados de ensaios de cisalhamento direto lento, com amostras indeformadas coletadas na região do leito do rio. Tais resultados são apresentados no Volume II - Tomo 2 Estudos Geológico - Geotécnicos. Os resultados destes ensaios também foram complementados com dados bibliográficos

Os pesos específicos utilizados são os saturados, para o material de fundação, e os de compactação, para o material do maciço

TABELA 3.1 - PARÂMETROS DOS MATERIAIS

MATERIAL	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ'
Enrocamento	20.0 *	0,0 *	38° *
Areia do Filtro e Tapete	18.0 *	0.0 *	31° *
Solo Argiloso	20.0	0,0	36°
Areia Siltosa	17.0	0,0	30°
Silte Arenoso	16.0	0.0	29°

Observação: valores com * indicam que foram extraídos de fontes bibliográficas

Os parâmetros de poro-pressão e de abalo sísmico, quando utilizados, encontram-se resumidos na Tabela 3.2 e nas figuras e listagens pertinentes aos casos de carregamentos analisados

3.2.3.3 - Casos Analisados

Todas as análises efetuadas foram em termos de tensões efetivas e as poro-pressões foram previstas considerando as condições mais desfavoráveis de estabilidade. Considerou-se portanto a unicidade da envoltória de ruptura em termos de tensões efetivas como sendo uma característica intrínseca do solo, independente da história de tensões e do processo de ruptura, conforme observado por Cruz (1963) estudando solos residuais argilosos compactados

As superfícies de ruptura utilizadas são do tipo circulares, compostas e não circulares

A memória de cálculo, incluindo as listagens dos resultados e desenhos da geometria com curvas de Iso-Fator de Segurança obtidas por interpolação em um "grid" de procura das análises efetuadas, encontra-se apresentada no Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo

Os casos analisados foram final de construção, reservatório cheio com fluxo estabelecido (operação), rebaixamento rápido e abalo sísmico. Todos são descritos a seguir. Os resultados obtidos das análises são apresentados na tabela 4.3 mais adiante.

a) Final de Construção

A consideração das poro-pressões geradas durante o processo construtivo, foi feita através da adoção de um parâmetro de pressão neutra (B) de 0,15 para o solo do maciço em questão e 0,10 para o material do aluvião.

Para esta etapa de carregamento, ambos os taludes (jusante e montante) foram analisados.

b) Reservatório Cheio com Fluxo Estabelecido

A linha freática foi estimada considerando-se um meio anisotrópico, com $k_h = 10 \times k_v$, devido ao efeito da compactação.

O talude analisado foi o de jusante.

c) Rebaixamento Rápido do Nível d'Água no Reservatório

A estimativa das poro-pressões foi feita considerando-se um rebaixamento do N.A. até a cota de porão (Cota 278,00) a partir da rede de fluxo em regime permanente.

A análise da estabilidade foi efetuada para o paramento de montante.

d) Abalo Sísmico

Apesar de tal análise não ser muito habitual para as barragens no Nordeste do Brasil, a inclusão deste tipo de solicitação é importante devido ao número substancial de ocorrências de abalos sísmicos no Ceará, inclusive tendo ocorrido pelo menos 7 abalos nos últimos 90 anos, com magnitude variando de 3 a 5,2 na Escala Richter e epicentros no Estado do Ceará, conforme observa-se na Tabela 3.2 (DNOCS, 1990).

TABELA 3.2 - RESUMO DOS CASOS HISTÓRICOS DE ABALOS SÍSMICOS NO NORDESTE DO BRASIL - MODIFICADA DE DNOCS (1990)

DATE	COORD		LOCALITY	ENC. MERCALLI*	RICHTER MAGNITUDE (mb)	COMMENTS		
	V	D					Long	LatN
1808	0808		05 70	37 70	Açu, RN	VI	4.8	
1811	029		08 08	34 87	Recife, PE	V		
1824			08 00	39 00		VII	6.3 MI**	
1854	0110		05 20	35 46	Felizes, RN	V-VI		
1879	0724		05 77	35 21	Natal, RN	V	3.3	
1903	02		04 38	38 97	Baturité, CE	VI		5 events in one week
1905	0718		10 20	40 46	S. do Bonfim, BA	V	4.8	
1905			11 20	42 30	Xique-Xique, BA	V	4.7	
1909	1124		03 87	38 92	Maranguape, CE	IV	4.5	
1928	0414		04 56	37 76	Acauã, CE	V	4.0	
1949	123		05 69	36 24	Lajes, RN	VI		
1963	0827		05 69	36 24	Lajes, RN	V-V		
	2		05 69	36 24	Lajes, RN	VI		
964	9		08 28	35 96	Caruaru, PE	V		
	6		08 28	35 96	Caruaru, PE	V		
967	1		08 20	35 98	Caruaru, PE	V	3.9	
968			06 09	38 44	Perereco, CE	V-VII	3.9-4.5	5 events-Jan. - Marc.
970			07 96	36 21	S. C. Capibaré, PE	VI		3 events
			06 93	35 53	Alagoinha, PB	V		
1971	0804		08 04	34 90	Recife, PE	V	3.0	5 events
1972	0304		09 03	36 49	Pinheiro, AI	V	3.3	
1973	07		05 28	35 82	Parazinho, RN	VI-VI	4.0-4.4	2 events
1974	03		04 18	38 13	Bebembe, CE	V		many events
			1020	07 99	Montaria, PE	V	3.7	
			1215	03 67	S. do Curu, CE	VI	3.4	
1976	0729		04 83	38 80	Ibaretama, CE	V		others events
1977	0225		05 77	35 75	Riachuelo, RN	VI-VI	3.5	3 more events
1978	0214		06 28	36 03	Santa Cruz, RN	V	3.7	more events
1980	1120		04 30	38 40	Pacajus, CE	VI	5.2	
1987			05 50	33 70	João Câmara, RN		5.1	many events
								1986-1988

Notes: Events from 1808-1986 summarized from Mercalli and others (1987)

1824 events from EPRI (1987) and Bratner (1972-1976)

1987 João Câmara events are from Ferreira and others (1987b)

* Modified Mercalli Intensity

** Intensity magnitude (EPRI, 1987)

A consideração do abalo sísmico foi feita através de uma análise pseudo-estática, adotando-se um coeficiente horizontal de abalo sísmico estimado em função da magnitude dos terremotos anteriormente ocorridos na região. A Figura 4.1 indica que, para um abalo de magnitude VII na escala Mercalli modificada, temos um efeito de 0,10 da gravidade (valor adotado na análise)

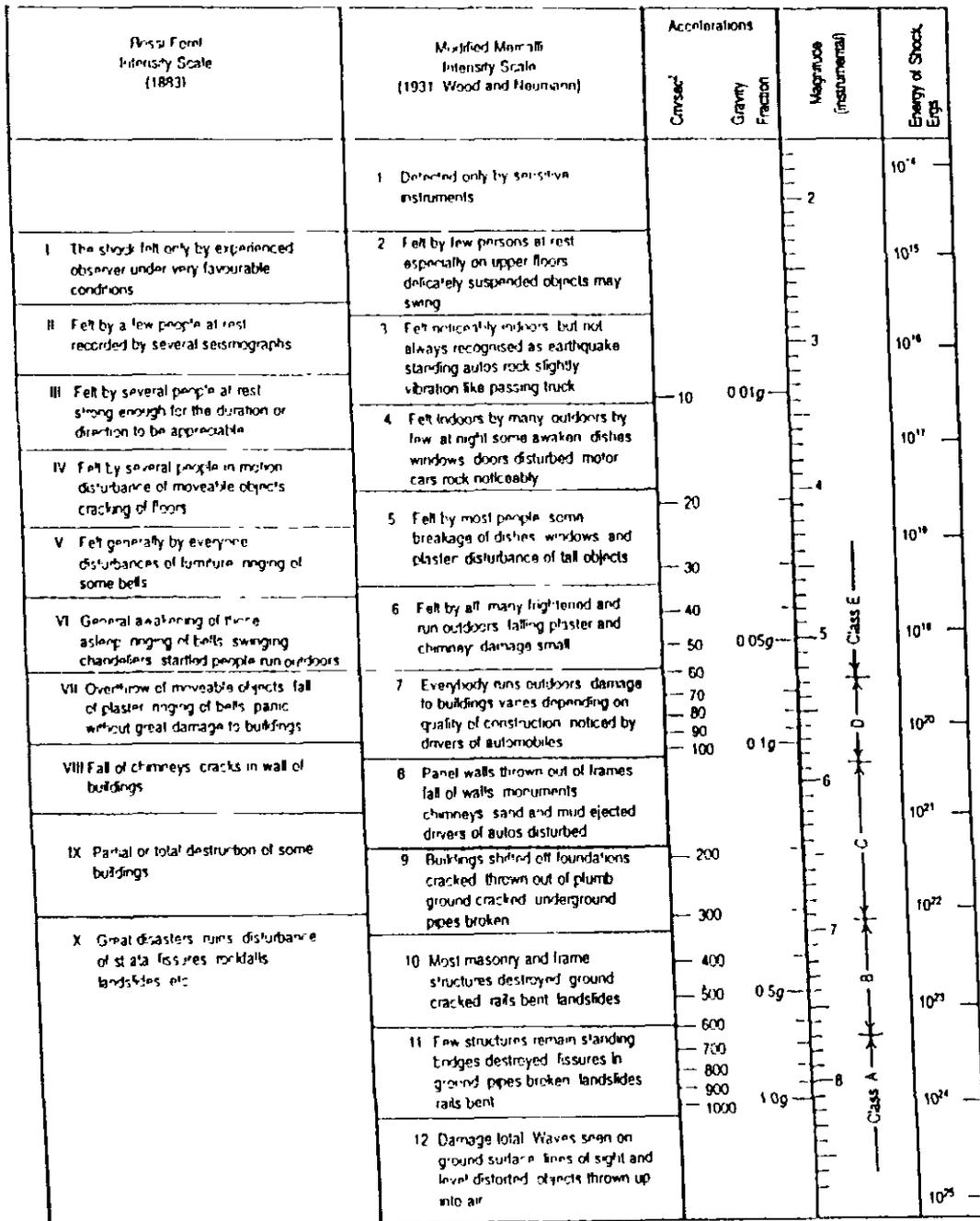


FIGURA 3.1 – Relações entre Intensidade, Aceleração e Magnitude de Sismos

As figuras e listagens de computador apresentadas no Volume V - Tomo 2 - Mémoria de Cálculo resumam os calculos efetuados na análise da estabilidade da Barragem Rosário

3 2 3 4 - Conclusões

A Tabela 3 3 apresenta um resumo com o mínimo fator de segurança obtido para cada um dos casos analisados

TABELA 3.3 - RESUMO DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE EFETUADAS

CASO	TALUDE	FS MÍN. OBTIDO		FS MÍN. RECOMENDÁVE L	OBSERVAÇÕES
		Método de Bishop simplificado	Método de Janbu α f.		
Reservatorio Cheio	Jusante	1.51	1.41	1,45	Superfície de deslizamento composta e não circular
Abalo Sísmico (Reservatório Cheio)	Jusante	1.14	1.06	1,00	Coef de Abalo Sísmico Horizontal = 0,10
Rebaixamento Rápido	Montante	1,10	1,00	1,10	Rebaixamento até cota 278,0
Final de Construção	Jusante	1,55	1,42	1,30	Núcleo B=0,15 (Cruz,1995)
	Montante	1,51	1,42	1,30	

Pela Tabela 3 3 observa-se que os fatores de segurança obtidos são superiores aos usualmente admissíveis (Cruz, 1995) para obras de barragens Os taludes adotados estão compatíveis com os de obras construídas com tipos similares de materiais (DNOCS, 1990)

Os valores do fator de correção foi. para o método de Janbu foram extraídos do gráfico constante no Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo

3.2.4 - Tratamento do Maciço

Após análise dos ensaios de perda d'água específica executados ao longo do eixo da barragem, bem como nas ombreiras, análise esta apresentada no Volume V - Tomo 2 - Memorial de Cálculo, concluiu-se que o tratamento do maciço rochoso através de injeções consolidantes é necessário, visto que há a previsão de uma vazão por infiltração a ordem de $Q_{inf} = 0,67 \text{ m}^3/\text{s}$ valor alto, comparado à vazão regularizada que é de $Q_{req} = 0,81 \text{ m}^3/\text{s}$

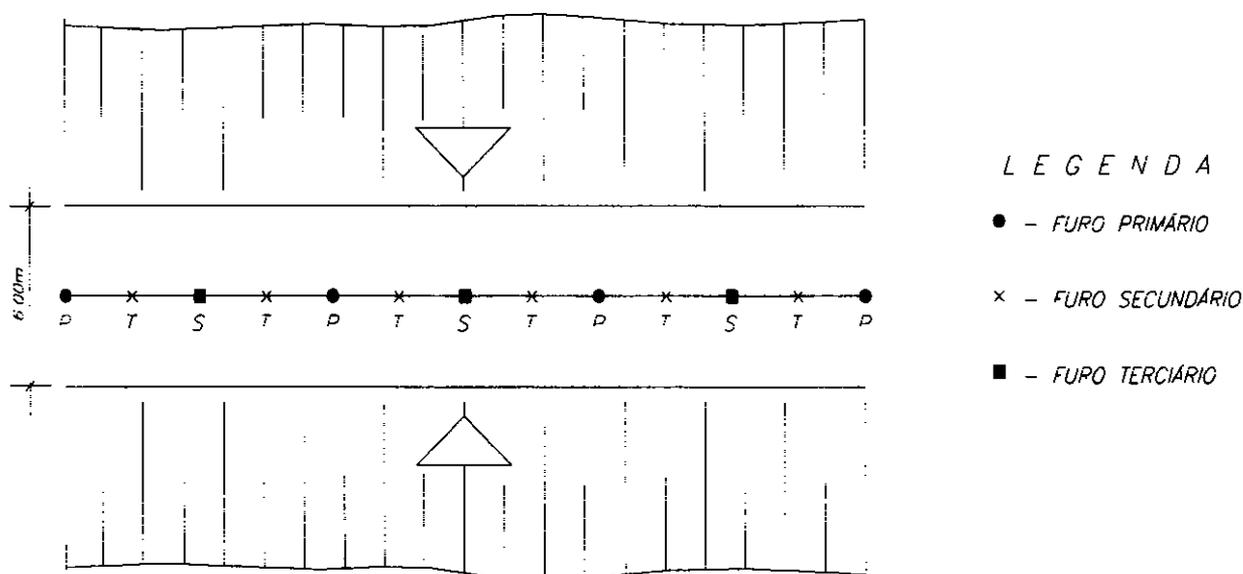
A cortina de injeção será composta por 1 linha de injeção, a princípio com injeções primárias, e caso necessário secundárias e terciárias

Após o término de cada etapa, o trecho será ensaiado para análise da execução ou não, da próxima etapa de injeção

As injeções impermeabilizantes serão executadas após conclusão das escavações do "Cut-Off" Quando da execução da cortina, deverá ser estudado um plano de ação para que haja disparo de mais de uma frente de trabalho, dependendo do número de equipamentos disponíveis em obra

Para maiores detalhes, ver desenho 19/20 do Volume V – Relatório Geral – Tomo 5 – Desenho

O esquema de distribuição dos furos se dará conforme a seguir



4 - CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO

4 - CRONOGRAMA DE CONSTRUÇÃO

Considerando o porte das obras envolvidas na implantação da barragem do Rosário e as condições climáticas da região, previu-se um prazo de execução de um ano

O cronograma de execução, no qual são citados os serviços das obras com seus prazos mínimos de conclusão, bem como o período do ano apropriado para o desenvolvimento das atividades é mostrada no quadro 4.1

Tendo em vista que o período de concentração das chuvas na região são os meses de fevereiro a abril, os serviços relacionados com as obras de terraplenagem não devem ser programados com intensidade para execução neste período

QUADRO 4.1

Item	Serviços	Periodo												
		JUL. mês-1	AGO. mês-2	SET mês-3	OUT mês-4	NOV mês-5	DEZ mês-6	JAN mês-7	FEV mês-8	MAR. mês-9	ABR mês-10	MAI mês-11	JUN mês-12	
1	Instalação do canteiro de obras	██████████												
2	Mobilização de equipamentos	██████████	██████████											
3	Desmatamento limpeza e caminhos de serviços	██████████	██████████	██████████										
4	Preparação de jazidas		██████████	██████████	██████████									
5	Escavação de fundação do Meio Principal		██████████	██████████	██████████									
6	Escavação da fundação da Tomada d'água		██████████	██████████										
7	Reaterro da fundação do Maciço Principal			██████████	██████████									
8	Exploração de jazida				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
9	Injeções de Impermeabilização				██████████	██████████								
10	Execução de Maciço Principal				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
11	Execução do Vertedouro e Barragens Auxiliares				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
12	Concretagem da Tomada D'água					██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
13	Execução do sistema de drenagem e jusante													
14	Instalação de Equipamentos Hidromecânicos													
15	Acabamento das obras													
16	Desmatamento regional da Bacia Hidraulica	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

5 - EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA REALIZAÇÃO DA OBRA

5.0 - EQUIPAMENTO MÍNIMO PARA REALIZAÇÃO DA OBRA

- 02 (dois) - Tratores de Esteiras. com lâmina (304 HP)
- 03 (três) - Pás Carregadeira, de pneus (170 HP)
- 02 (duas) - Motoniveladoras com potência mínima de 115 HP,
- 01 (uma) - Retroescavadeira,
- 02 (dois) - Rolos pés-de-carneiro vibratório, auto propulsor com capacidade mínima de 8 a 10 toneladas, impacto dinâmico,
- 01 (um) - Caminhão Munck,
- 04 (quatro) - Tirfor,
- 12 (doze) - Caminhões basculante com capacidade mínima de 4 m³,
- 03 (três) - Compactador tipo Sapo,
- 02 (dois) - Trator de pneus, com capacidade mínima de 100 HP,
- 02 (duas) - Grades de disco,
- 02 (dois) - Caminhões tanque, com capacidade mínima de 6 000 litros,
- 01 (um) - Caminhão comboio de abastecimento e lubrificação
- 04 (quatro) - Betoneiras, com capacidade mínima de 320 litros,
- 03 (três) - Vibradores de imersão, tipo agulha, variando de 35 a 500 mm de diâmetro,
- 01 (um) - Compressor de ar, com capacidade mínima de 500 pcm,
- 03 (três) - Marteletos de 24 kg,
- 01 (uma) - Perfuratriz. tipo ROC - 601 ou similar,
- 02 (dois) - Conjunto de motobomba
- 01 (um) - Equipamento para injeção de cimento
- 01 (uma) - Viatura para Fiscalização (utilitário, cabine dupla, modelo 1997, com motorista)

6 - INSTALAÇÃO MÍNIMA PARA O CANTEIRO DE OBRAS

6.0 - INSTALAÇÃO MÍNIMA PARA O CANTEIRO DE OBRAS

- 1 - Escritório da Administração
- 2 - Laboratório de solo e concreto.
- 3 - Depósito de cimento.
- 4 - Central de britagem.
- 5 - Oficina mecânica.
- 6 - Almoxarifado.
- 7 - Carpintaria.
- 8 - Ferraria.
- 9 - Alojamento para pessoal de apoio.
- 10 Refeitório
- 11 - Rede de Energia Elétrica.
- 12 - Escritório de Supervisão.
- 13 - Rede de Água e Esgoto.
- 14 - Posto Médico

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUREAU OF RECLAMATION, 1987 Design of Small Dams U S Government Printing Office, Denver, Colorado, U S A . 860p
- CRUZ, P T . 1963 Shear Strength Characteristics of some Residual Compacted Clays II Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering
- CRUZ, P T . 1995 100 Barragens Brasileiras
- DNOCS, 1990 Barragens no Nordeste do Brasil Experiência do DNOCS em Barragens na Região Semi-Árida 2ª ed . Fortaleza. DNOCS, 38 p
- DNOCS, 1990 Sismicidade de João Câmara versus Barragem Engº Armando Ribeiro Gonçalves-Açu-RN
- LAMBE, T W & Whitman, R V . 1979 Soil Mechanics. SI Version Ed John Willey & Sons, New York, U S A 553p