



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ANIL

TOMO III - RELATÓRIO GERAL

VOLUME 1 - MEMORIAL DESCRITIVO



Av. Santos Dumont, 1687 - Salas 209 e 210, Aldeota
CEP.: 60.150-160 - Fortaleza – Ceará.
FONE:(085) 261-6414/224-5309 - Fax: (085) 264.3741
CGC(MF): 00.647.338/0001-30 - INSC. MUNICIPAL: 125.364-6
E-MAIL: anb@secrel.com.br

**FORTALEZA
FEVEREIRO/2000**

ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	6
1 - HISTÓRICO	9
1.1 - EVOLUÇÃO E CONCEPÇÃO DO PROJETO	9
2 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS	12
2.1 - LOCALIZAÇÃO	12
2.2 - LAY - OUT GERAL	12
2.3 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	15
3 - CLIMATOLOGIA	18
3.1 - DADOS GERAIS	18
3.2 - PLUVIOMETRIA	18
3.3 - TEMPERATURA	21
3.4 - EVAPORAÇÃO	22
4 - HIDROLOGIA	25
4.1 - GENERALIDADES	25
4.2 - CURVAS COTA-ÁREA E COTA-VOLUME	25
4.3 - VAZÕES REGULARIZADAS	25
4.4 - CHEIAS DE PROJETO	27
4.4.1 - Cheias de Projeto do Sangradouro	28
4.5 - ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	28
5 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS	30
5.1 - INTRODUÇÃO	30
5.2 - GEOLOGIA DA ÁREA DO RESERVATÓRIO	30
5.3 - GEOLOGIA DO LOCAL DA BARRAGEM	31
5.4 - MATERIAIS PARA CONSTRUÇÕES	32
5.5 - FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS	35
5.5.1 - Barragem	35
5.5.2 - Tomada D'Água	35
5.5.3 - Sangradouro	36
6 - BARRAGEM DE TERRA	38
6.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM	38

6.2 - DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA BARRAGEM.....	39
6.2.1 - Cota da Crista	39
6.2.2 - Largura da Crista.....	39
6.2.3 - Fixação dos Taludes.....	40
6.3 - DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA PERCOLAÇÃO D'ÁGUA PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO DA BARRAGEM.....	40
6.4 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE	41
6.4.1 - Introdução	41
6.4.2 - Estabilidade dos Taludes ao Fim do Período Construtivo	41
6.4.3 - Estabilidade dos Taludes com o Reservatório em Funcionamento	42
6.4.3.1- Talude de Montante	42
6.4.3.2 - Talude de Jusante	42
7 - TOMADA D'ÁGUA.....	45
7.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA.....	45
7.2 - NÍVEIS OPERACIONAIS NO RESERVATÓRIO	45
8 - SANGRADOURO	47
8.1 - DESCRIÇÃO GERAL	47
8.2 - PARÂMETROS HIDRÁULICOS	48
9 - OBRAS COMPLEMENTARES	51
9.1 - ACESSOS E CIRCULAÇÃO NA OBRA	51
9.2 - DRENAGEM E PROTEÇÃO DAS ENCOSTAS	51
10 - RECOMENDAÇÕES PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO	53
10.1 – ESCAVAÇÕES GERAIS	53
10.2 - SANGRADOURO	53
10.3 - JAZIDAS	53
11 - ORÇAMENTO	54
12 - CRONOGRAMA FÍSICO.....	59
13 - RELAÇÃO DO EQUIPAMENTO MÍNIMO	62

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O Projeto Executivo da Barragem Anil foi elaborado pela ANB – Águas do Nordeste do Brasil, conforme contrato firmado com a SRH.

O referido documento compõe-se dos seguintes relatórios:

- **TOMO I - ESTUDOS BÁSICOS**

- VOLUME 1 - ESTUDOS PRELIMINARES;
- VOLUME 2 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS;
- VOLUME 3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS;
- VOLUME 4 - ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS;

- **TOMO II - CONCEPÇÃO GERAL DAS OBRAS**

- VOLUME 1 - MEMORIAL DESCRITIVO;
- VOLUME 2 - DESENHOS;

- **TOMO III - RELATÓRIO GERAL**

- VOLUME 1 - MEMORIAL DESCRITIVO;
- VOLUME 2 - MEMORIAL DE CÁLCULO;
- VOLUME 3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E QUANTITATIVOS;
- VOLUME 4 - ORÇAMENTO;
- VOLUME 5 - DESENHOS;
- VOLUME 6 - SÍNTESE.

Apresentamos nesta oportunidade para apreciação desta distinta comissão de FISCALIZAÇÃO, o TOMO III – Relatório Geral do Projeto Executivo, Volume 1 – Memorial Descritivo.

As principais características do empreendimento são:

- Nome Barragem Anil
- Área da Bacia Hidrográfica 118,2 km²
- Capacidade do Reservatório (Cota 35 m) 23,416x 10⁶m³

Barragem

- Tipo Terra Homogênea
- Altura máxima 13,83m
- Extensão pelo coroamento..... 1765,82 m
- Cota do coroamento.....37,40 m

Vertedouro

- Tipo Canal com muro em perfil
"Creager" – soleira delgada
- Largura..... 80,00 m
- Cota da Soleira 35,00 m
- Descarga de Projeto (TR = 1.000 anos)249,92m³/s
- Descarga de Projeto (TR = 10.000 anos) 401,79m³/s

Tomada D'Água

- Tipo.....Galeria com controle a jusante
- Diâmetro 400 mm
- Comprimento 60,00 m
- Descarga regularizada (Q90% de garantia)0,163 m³/s

1 - HISTÓRICO

1 - HISTÓRICO

1.1 - EVOLUÇÃO E CONCEPÇÃO DO PROJETO

O vale do rio Anil foi objeto de estudos, visando seu aproveitamento hídrico na região do lago, estendendo-se também seus benefícios a toda região a jusante.

A Barragem Anil foi inserida pelo programa “Águas do Ceará”, tendo sido priorizado pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, com o objetivo de atender as necessidades da população daquela região, juntamente com os reservatórios Sítios Novos e Cauhipe.

Para a elaboração do projeto executivo utilizou-se os elementos dos estudos de campo, que constaram de estudos topográficos, estudos hidrológicos e estudos geológicos-geotécnicos.

Os primeiros resultados das sondagens mistas revelaram que o topo rochoso estava muito abaixo do nível do impenetrável a percussão, o que inviabilizava a opção em barragem vertedoura, devido ao custo da fundação.

A programação de campo para os estudos geológicos geotécnicos foi adaptada à nova realidade, ampliando-se a pesquisa de material terroso e os ensaios de permeabilidade no solo residual sobrejacente à rocha.

Os estudos topográficos no local do barramento também foram ampliados com o levantamento da área a jusante da ombreira esquerda, onde se apresentava melhores condições para implantação do vertedouro. Este levantamento abrange toda a área do canal de restituição das águas de sangria até o encontro com o rio.

Esses estudos de campo resultaram assim no levantamento detalhado da topografia no boqueirão barrável e bacia hidráulica, sondagens ao longo do eixo da barragem e pesquisa de materiais para construção de uma barragem de terra e, estudos hidrológicos conforme exigências estabelecidas nos termos de referência..

Analisando-se os condicionantes topográficos e geotécnicos concluiu-se que duas alternativas de barramento deveriam ser avaliadas. Para uma alternativa em barragem de terra, a melhor localização para o vertedouro seria na ombreira esquerda, devido a condicionantes topográficos, uma vez que a partir da ombreira direita seria necessária a implantação de um canal de restituição muito longo, a partir de um pequeno talvegue que

acolheria inicialmente das águas de sangria , até ao leito natural do rio. A outra alternativa a ser avaliada consistiria numa barragem de concreto com vertedouro central, uma vez que na calha do rio tem-se as melhores condições geotécnicas com rocha a profundidade em torno de 4,5m, com grau de recuperação entre 19 e 50%.

Para ambas alternativas os vertedouros seriam de soleira delgada, com perfil “Creager”, com soleira na cota 35,0m, sendo que para o vertedouro na ombreira esquerda se escolheu , dentre as simulações hidráulico/hidrológicas aquela de menor largura, uma vez que o mesmo será revestido, enquanto que para a alternativa do vertedouro central se partiu exatamente do contrário, a alternativa de largura maior. Na primeira economiza-se concreto de revestimento e ancoragem, na segunda, a economia é no volume de concreto, aumentando a extensão do trecho submersível.

Com base na análise das estimativas de custo, a alternativa selecionada foi uma barragem de terra com vertedouro em perfil “Creager”.

O estudo das alternativas é apresentado no Relatório de Concepção.

2 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS

2 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS

2.1 - LOCALIZAÇÃO

A Barragem Anil se localizará no Rio Anil, a cerca de 5,0 km a montante da BR-222, na altura do acesso à CE – 156, no município de Caucaia – CE.

O município de Caucaia situa-se na porção nordeste do Estado do Ceará e está inserido na Região Metropolitana de Fortaleza (R.M.F.). Possui uma extensão territorial de 1.195,6 km², e limita-se ao norte com o oceano Atlântico; ao sul com o município de Maranguape; ao leste com os municípios de Fortaleza e Maracanaú; e ao oeste com os municípios de São Gonçalo do Amarante e Pentecoste. É importante ressaltar que este município (Caucaia) representa, em termos de extensão territorial, 35% da área compreendida pela R.M.F.

A figura 2.1, apresentada a seguir, mostra a localização geográfica do município de Caucaia no contexto federal, estadual e da R.M.F.

Partindo-se de Fortaleza, o acesso ao local da obra pode ser feito seguindo-se pela BR-222 no sentido de Sobral até o distrito de Catuana. Daí segue-se por mais 4,0 Km pela CE - 156 no sentido do distrito de Sítios Novos. Deste ponto segue-se por mais 0,4 Km por uma estrada carroçável até a ombreira esquerda da barragem, perfazendo um percurso total de aproximadamente 50 Km.

O rio Anil faz parte da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo, do qual é tributário pela margem direita. Nasce a partir de uma garganta situada entre a “Serra das Danças” e o “Serrote Preto”, e desemboca no rio São Gonçalo nas proximidades da cidade de São Gonçalo do Amarante, perfazendo uma extensão total de 45,5 Km e uma área de drenagem de 181,11 Km².

A figura 2.2 apresenta um mapa de localização e acesso ao sítio barrável.

2.2 - LAY - OUT GERAL

De acordo com os resultados dos estudos técnico-econômicos de alternativas de vertedouro desenvolvidas, o arranjo geral das obras do Projeto Executivo da Barragem Anil apresenta-se como será descrito, de forma resumida a seguir:

FIGURA 2.2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO SÍTIO BARRÁVEL.

O fechamento do vale do vale será feito por meio de uma barragem de terra homogênea construída com material de jazidas e material proveniente das escavações do vertedouro.. A estrutura de barramento se inicia na estaca 26 e desenvolve-se retilíneo até a estaca 106. O vertedouro, localizado na ombreira esquerda entre as estacas 22 e 26 é confinado em sua fronteira esquerda por um reaterro num pequeno trecho de 5,00m de extensão , que garantirá o fechamento na cota 37,40m, cota da crista da barragem.

O arranjo geral das obras é apresentado no desenho n.º 05/28 encartado em anexo.

A Tomada D'Água será constituída por uma galeria em concreto, implantada na margem esquerda, na altura da estaca 83, com uma tubulação de diâmetro de 400 mm embutida na galeria. O acionamento da Tomada D'Água será feito a jusante, através de registro de gaveta e protegido com válvula borboleta.

O Vertedouro em soleira delgada, ao longo do eixo da barragem, na ombreira esquerda, será escavado em solo e em rocha até a cota 32,00 na altura do eixo da barragem, assentando-se neste nível a estrutura vertente. A partir do muro vertedouro a escavação é continuada na mesma profundidade num desenvolvimento total de 50,00m, a partir de onde se inicia o canal de restituição com uma declividade compatível com as condições geotécnicas e topográficas do terreno. A saída do canal do sangradouro está próximo a um talvegue que conduzirá as águas de sangria até a calha do rio.

2.3 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

O projeto da Barragem Anil, a ser implantado pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - SRH, no rio Anil, Estado do Ceará, para utilização de seus recursos hídricos, será constituído de um barramento necessário à formação de um reservatório de acumulação, com a finalidade de regularização das vazões para fins de reforço de demanda na região onde está inserida.

As principais características físicas do barramento são:

- Bacia de drenagem..... 118,2 km²
- Precipitação média anual da Bacia 963,6mm
- Volume do Reservatório (à cota 35,00 m) 23,416 hm³
- Cota do coroamento da barragem37,40m
- Vazão regularizada (garantia de 90%)..... 0,163m³/s
- Volume anual regularizado (garantia de 90%) 5,132 hm³ /ano
- Vazão afluente máxima de projeto (TR=1000anos) 511,02m³/s
- Vazão máxima de projeto amortecida (TR=1000 anos) 249,92 m³/s
- Nível d'água máximo maximorum (TR = 1.000 anos)36,16m

3 - CLIMATOLOGIA

3 - CLIMATOLOGIA

3.1 - DADOS GERAIS

A bacia do Rio Anil drena uma área de 118,20 km² no local a ser barrado.

A Climatologia da região da bacia do rio Anil baseia-se na estação hidroclimatológica de Fortaleza, por não existir no domínio da referida bacia nenhuma estação representativa da mesma.

Sinopse Climatológica:

- Pluviometria Média Anual (sobre a bacia) 963,6 mm
- Evaporação Média Anual 2.527,8mm
- Evapotranspiração Potencial (Hargreaves) 1533,2 mm
- Insolação Média Anual 2.768 h
- Umidade Relativa Média Anual.....79%
- Temperatura Média Anual: Média das Máximas..... 30,30C
- Temperatura Média Anual: Média das Médias..... 26,70C
- Temperatura Média Anual: Média das Mínimas 23,50C
- Classificação Climática.....C1AS´a´

3.2 - PLUVIOMETRIA

O estudo da disponibilidade dos dados diários dos postos selecionados constatou a necessidade da utilização de uma razoável combinação de postos pluviométricos, a fim de tornar possível a determinação da chuva média diária na bacia do açude Anil, para o período de 1962 a 1988.

A combinação de postos é imprescindível, porquanto o preenchimento de dados de chuva inexistentes a nível diário, através de outros postos pluviométricos não é viável, tanto face sua imensa variabilidade, como também às grandes distâncias entre os postos.

No presente estudo obteve-se um total de 19 (dezenove) combinações de 2 (dois) ou mais postos.

A chuva média diária na bacia, para o caso das 19 (dezenove) combinações de postos supra mencionados, foi obtida através da utilização do Método dos Polígonos de Thiessen.

Para os períodos 04/1984 e 03/1986 a 12/1988, onde só há um posto pluviométrico disponível, obteve-se a chuva média diária através da expressão empírica:

$$P_{\text{bacia}} = P_o [1 - w \cdot \log(A_{\text{bacia}}/A_o)] ,$$

onde:

P_{bacia} - chuva média na bacia hidrográfica, em mm;

P_o - chuva no ponto (posto pluviométrico), em mm;

A_{bacia} - área na bacia hidrográfica, em Km²;

A_o - área de influência do ponto, considerada igual a 25 Km²;

w - coeficiente empírico. Adotou-se o valor 0,16, obtido por MENESES FILHO¹

Assim sendo, determinou-se a chuva diária na bacia do açude Anil, para o período de 1962 a 1988, perfazendo, portanto, um total de 27 anos de dados.

Na tabela 3.2.1 é apresentado a precipitação média na bacia, a nível mensal e anual, como também seu resumo estatístico.

¹ Meneses Filho, Anísio de Sousa. Estudo da Distribuição Espacial de Chuvas Intensas no Estado do Ceará. Fortaleza-Ce: 79p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, 1991.

**Tabela 3.2.1 - Pluviometria Mensal e Anual da Bacia do Açude Anil e Respectivo
Resumo Estatístico**

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1962	138,7	122,5	50,5	149	110,9	32	6,2	2,3	7,1	0	4,6	8,9	632,7
1963	184	198,6	314,5	188,8	76,2	8,8	28,3	2,4	0	0,2	62,6	51,7	1116,1
1964	148,7	277	230	531,6	194,5	50,8	85,1	11,2	44	5,8	0,7	10,3	1589,7
1965	94	15,9	259,5	340,2	211,5	109,3	11,6	0,9	2,4	5,3	0,1	6,5	1057,2
1966	5,7	38,3	106,2	127,5	230	71,2	63,2	11,6	17,1	0,4	7,3	3	681,5
1967	15,9	366	288,8	236,6	205,6	61,3	35,6	8,4	15,4	7,9	1,3	9,9	1252,7
1968	73,3	68,8	170,5	161,2	264,6	19,9	25,5	5,2	0,6	3,3	1,1	44,1	838,1
1969	32,5	35,6	291	337,7	123,3	104,5	82,2	24	2,2	3,5	1,3	0,8	1038,6
1970	78,8	15,8	163	370,2	56	27,9	10,2	8,5	0,6	1,4	12,4	0,7	745,5
1971	82,5	84,4	243,8	179,9	199,9	117,7	136,6	8,2	2,1	20,7	5	17,4	1098,2
1972	41,5	59,2	96,5	169,6	135,7	89,4	47,5	46,9	3,1	0,5	0	15,8	705,7
1973	119,3	237,2	288,5	313,6	228,8	155,2	102,4	6	17,9	0,3	8,8	1,2	1479,2
1974	311,4	134,4	497,6	410,2	383,9	88,8	4,3	3,7	16,2	6,1	6,5	83,8	1946,9
1975	67	133,2	261	247,7	287,7	76,5	145,1	2,6	20,5	1,8	2,5	83,8	1329,4
1976	33,6	291,6	389,2	228,1	25,2	12,6	16,8	2,2	2,3	15,1	18,7	3,7	1039,1
1977	165,6	126,3	240,2	219,8	127,5	154,9	128,2	4,5	4,3	4,6	0	0	1175,9
1978	13,9	132,7	173,4	237,7	145,4	27,4	86,1	9,1	3	4,4	0	23,7	856,8
1979	34,6	71,6	117,7	69,2	106,6	50,1	0	8,6	13,4	0	2,7	4	478,5
1980	93	206,7	160,1	48,9	45,8	26,8	6,5	0	4,1	0	0	8,1	600
1981	13	51,6	372,8	84,7	55,1	2,7	0	0	0	0	1,7	70,2	651,8
1982	86,7	94,3	172,7	171,2	25,8	38,2	23,9	0	0	2,7	21,7	4,9	642,1
1983	4,5	140,6	103,6	47,4	44,6	9	0	0	0	1,2	0	4,8	355,7
1984	40,9	85,7	285,3	231,2	272,8	70	44,1	3,4	12,3	2,2	2,8	3,5	1054,2
1985	210,1	365,6	371,2	387,4	258,8	111,9	60,3	2,2	6,2	0	0	147,1	1920,8
1986	96,7	236,3	341,4	202,5	129,2	116,1	0	0	0	0	0	0	1122,2
1987	0	46,7	275,1	88,7	0	93	0	0	0	0	0	0	503,5
1988	41,9	90	214	286,7	158,3	37,5	89,6	0	0	0	0	27,5	945,5
Mínimo	0	15,8	50,5	47,4	0	2,7	0	0	0	0	0	0	355,7
Média	79,6	133,7	233,2	218,4	146,6	63,1	44,3	6,1	7,0	3,1	5,8	22,7	963,6
Máximo	311,4	366	497,6	531,6	383,9	155,2	145,1	46,9	44	20,7	62,6	147,1	1946,9

3.3 - TEMPERATURA

A tabela 3.3.1 e a figura 3.3.1 apresentam os valores médios das temperaturas médias, mínimas e máximas.

Tabela 3.3.1 - Temperatura Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na Estação Meteorológica de Fortaleza

TEMPERATURA (°C)	MESES												
	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ANO
Média	27,3	26,9	26,5	26,5	26,4	26,0	25,8	26,2	26,7	27,2	27,3	27,5	26,7
Mínima Média	24,4	23,8	23,5	23,4	23,3	22,8	22,3	22,6	23,3	23,9	24,4	24,6	23,5
Máxima Média	30,6	30,2	29,7	29,8	30,0	29,7	29,7	30,2	30,4	30,8	30,9	31,0	30,3
Mínima Absoluta	22,1	21,8	22,1	21,9	21,9	21,3	20,8	21,0	21,7	22,2	22,7	23,0	21,9
Máxima Absoluta	32,1	31,8	31,3	31,2	31,2	30,0	31,1	31,1	31,1	32,0	31,9	32,3	31,4

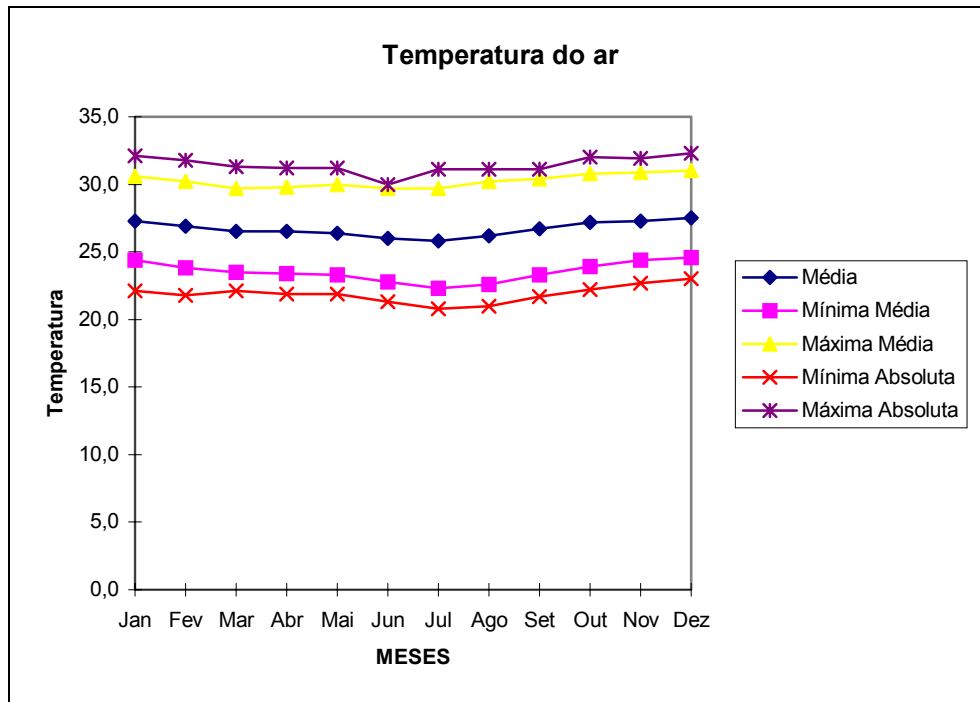


Figura 3.3.1 - Temperaturas do ar para a bacia do açude Anil.

3.4 - EVAPORAÇÃO

A evaporação normalmente é medida pelos seguintes aparelhos: evaporímetro de Piché e evaporímetro Tanque Classe "A".

O evaporímetro de Piché mede apenas o poder evaporativo do ar, porquanto é instalado no abrigo meteorológico da estação e, conseqüentemente, ao abrigo de radiação solar e de fortes ventos. A tabela 3.4.1 e a figura 3.4.1 apresentam seus valores médios.

Tabela 3.4.1 - Evaporação de Piché (mm)

Posto	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	129,9	98,7	75,3	69,8	80,4	96,5	116,9	157,1	164,3	178,5	167,2	151,7	1486,3

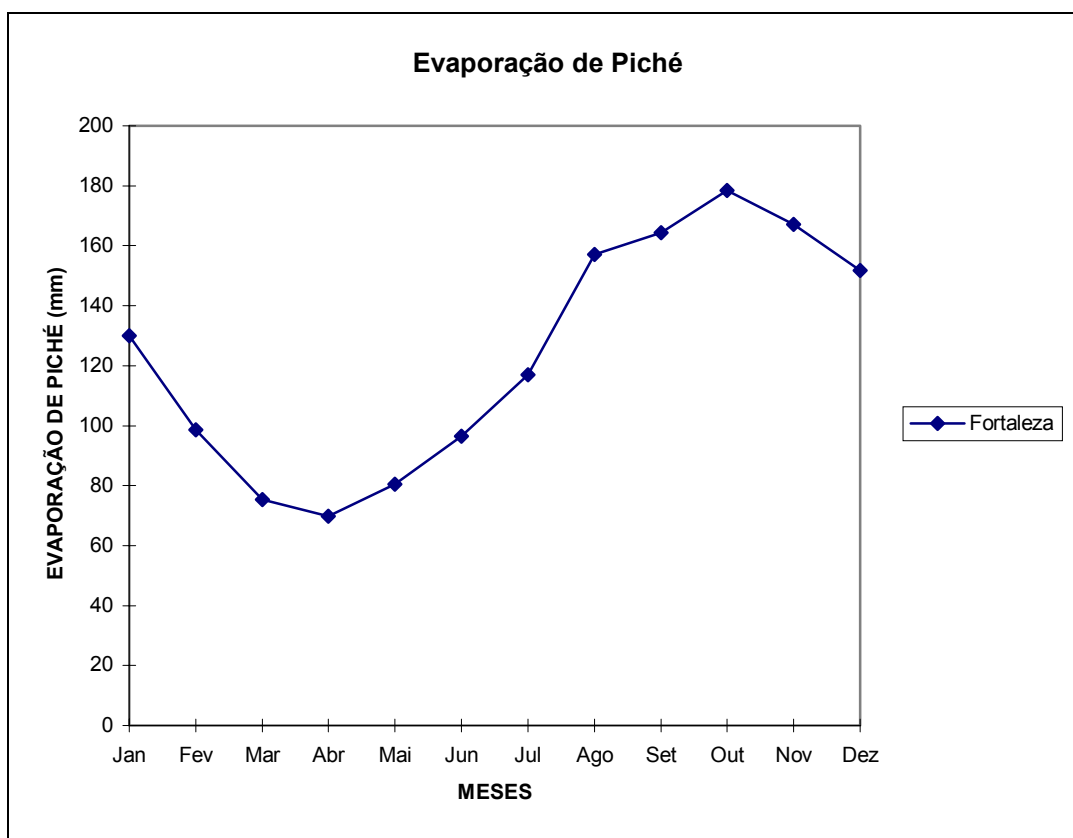


Figura 3.4.1 - Evaporação média de Piché na bacia do açude Anil

O Tanque Classe "A" mede a evaporação, porquanto exposto ao vento e à radiação solar. Esse aparelho, contudo, não fornece a evaporação real de lagos e açudes, medindo apenas o potencial evaporativo dos mesmos. No Estado do Ceará usa-se o coeficiente igual a 0,80 para estimar a evaporação dos açudes, a partir da evaporação do Tanque Classe "A" - conhecido como Coeficiente do Tanque Classe "A".

Na publicação do INMET - Normais Climatológicas (1961-1990) é apresentada a evaporação de Piché e não a do Tanque Classe "A". Como na referida publicação não está especificado o aparelho utilizado, é bastante possível sua utilização como sendo a evaporação do Tanque Classe "A", o que seria bastante lamentável, uma vez que a evaporação de Piché é bem inferior à do Tanque Classe "A".

Através da tabela 3.4.2 e da figura 3.4.2 observa-se que a evaporação média na bacia, tomando-se como base o posto de Fortaleza, atinge seu máximo em outubro com 272,9 mm e seu mínimo em abril com 145,0 mm, tendo uma evaporação anual da ordem de 2500mm.

Tabela 3.4.2 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm)

Posto	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Fortaleza	223,7	171,5	150,1	145,0	162,8	161,5	200,2	247,1	265,8	272,9	264,8	262,4	2527,8

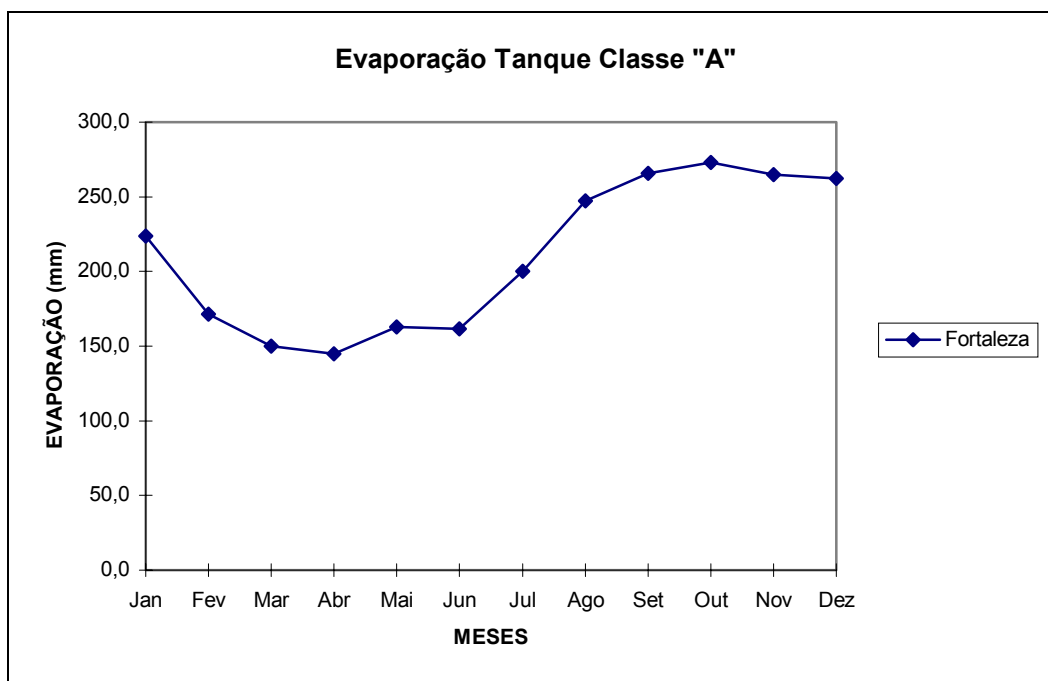


Figura 3.4.2 - Evaporação média do Tanque Classe "A" na bacia do açude Anil

4 – HIDROLOGIA

4 - HIDROLOGIA

4.1 - GENERALIDADES

Os estudos de fluviometria e demais aspectos hidrológicos do rio Anil foram elaborados a partir dos dados disponíveis da estação de Sítios Novos.

Os dados disponíveis de interesse foram submetidos a análises criteriosas, tais como determinação das relações cota-descarga e consistência de valores de descargas, níveis d'água, com a finalidade de obter-se vazões médias e vazões de chuva. Em função destes resultados foram desenvolvidos estudos para fins de determinação dos valores de vazões regularizadas e vazões de projeto .

Tais estudos foram apresentados com detalhes no relatório dos Estudos Hidrológicos cujos resultados são descritos de forma sucinta a seguir:

4.2 - CURVAS COTA-ÁREA E COTA-VOLUME

As curvas cota-área e cota-volume para o reservatório da barragem Anil foram obtidas da topografia da bacia hidráulica.

As áreas foram calculadas por planimetragem das curvas de nível a cada metro.

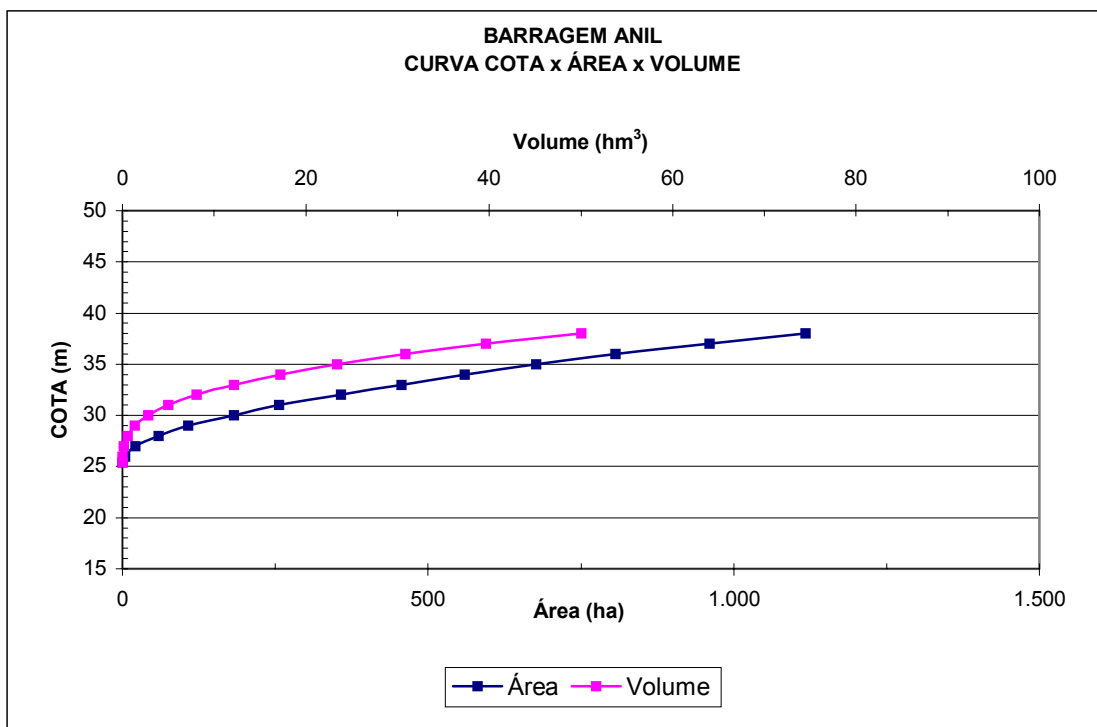
A partir destas áreas foram calculados os volumes do reservatório.

A seguir são apresentadas as curvas cota x área x volume, bem como uma tabela com as áreas e volumes do reservatório para curvas de nível compreendidas entre as cotas 25,40 a 38,00.

4.3 - VAZÕES REGULARIZADAS

Com base na série reconstituída de 26 anos de descargas médias mensais, de 1962 a 1988, estabeleceu-se o balanço hídrico do reservatório da barragem Anil, simulando-se mensalmente a operação do reservatório, considerando as perdas por evaporação e precipitação diretamente sobre o espelho d'água, para a descarga regularizada em estudo.

A simulação considerou o nível d'água mínimo operacional à cota 29,50m. Ao atingir este nível automaticamente a descarga regularizada passa a ser nula.



ÁREAS E VOLUMES DO RESERVATÓRIO

COTA (m)	ÁREA (ha)	ÁREA MÉDIA (ha)	ALTURA (m)	VOLUME	
				PARCIAL (hm ³)	ACUMULADO (hm ³)
25,4	0,000			0,000	0,000
		2,13	0,10	0,002	0,002
26	4,255				
		12,68	1,00	0,127	0,129
27	21,108				
		40,06	1,00	0,401	0,530
28	59,019				
		83,35	1,00	0,834	1,363
29	107,686				
		144,84	1,00	1,448	2,812
30	181,998				
		219,26	1,00	2,193	5,004
31	256,516				
		306,74	1,00	3,067	8,071
32	356,957				
		406,86	1,00	4,069	12,140
33	456,764				
		508,42	1,00	5,084	17,224
34	560,075				
		618,63	1,00	6,186	23,411
35	677,177				
		741,91	1,00	7,419	30,830
36	806,640				
		883,23	1,00	8,832	39,662
37	959,824				
		1.038,85	1,00	10,388	50,050
38	1.117,875				

Analisando os resultados obtidos com a simulação da operação do reservatório de Anil, concluiu-se pela da cota 35,00, para o Nível D'Água Máximo Normal, que corresponde ao custo mínimo do metro cúbico regularizado.

Utilizando-se os dados obtidos da simulação da operação do reservatório extraiu-se os seguintes valores de vazões e volumes anuais regularizados:

GARANTIA DE ATENDIMENTO	%	90
VAZÃO REGULARIZADA	m ³ /s	0,163
VOLUME ANUAL REGULARIZADO	hm ³ /ano	5,132

4.4 - CHEIAS DE PROJETO

A metodologia utilizada nos estudos de previsão de chuvas foi o modelo HEC-1 .Devido à escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

A metodologia escolhida para os estudos de previsão de chuvas foram os métodos de transformação chuva-deflúvio, tendo em vista a escassez de dados da bacia a ser estudada os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados.

Diante da metodologia aplicada foi possível descrever várias hipóteses de cálculo da cheia de projeto, tais como: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro.

O hidrograma unitário representativo da bacia hidrográfica foi assim, definido a partir de hidrógrafas de cheias geradas por chuvas isoladas e que apresentaram características compatíveis com os princípios básicos do hidrograma unitário.

Simulou-se as hidrógrafas de cheias pela aplicação das chuvas de projeto aos hidrogramas unitários, obtendo-se as hidrógrafas cujas características são:

TEMPO DE RECORRÊNCIA (Anos)	DESCARGA DE PONTA (m ³ /s)
1.000	511,74
10.000	674,59

As hidrógrafas de cheias com tempo de recorrência de 1.000 e 10.000 anos são apresentadas no Relatório dos Estudos Básicos - Estudos Hidrológicos.

4.4.1 - Cheias de Projeto do Sangradouro

O sangradouro foi dimensionado com base nos estudos hidrológicos e econômicos, visando definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada.

O estudo de amortecimento de cheias no reservatório foi feito para várias alternativas de soleira e extensão da crista.

Para dimensionamento hidráulico do vertedouro, adotou-se a vazão correspondente a 1.000 anos.

4.5 - ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO

Com o objetivo de estudar o tempo de enchimento do reservatório procedeu-se ao cálculo, para o período disponível de 1962 a 1988, da variação do número de meses necessários para o enchimento até a cota mínima operacional de 29,50 m até o nível máximo normal de 35,00m.

Com os resultados destes cálculos fez-se graficamente o ajustamento das funções de distribuição de probabilidade de enchimento, apresentado no relatório dos Estudos Hidrológicos, até as cotas acima referidas, considerando como meses iniciais o início do período de cheias (abril) e o início de estiagem (agosto).

5 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

5 - INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

5.1 - INTRODUÇÃO

Apresentam-se a seguir um resumo dos principais resultados obtidos das investigações geológico-geotécnicas de fundação realizadas na área de implantação da barragem e estruturas auxiliares, além dos estudos geológicos efetuados na área do futuro reservatório da barragem Anil.

Estas informações serviram de base para a elaboração do projeto executivo das obras.

5.2 - GEOLOGIA DA ÁREA DO RESERVATÓRIO

A região da bacia hidrográfica do açude Anil insere-se, em sua maior parte (89% da área), no Complexo Gnáissico - Migmatítico (P_{εgn} - mg), pertencente a unidade cronológica denominada Pré-Cambriano.

De acordo com o Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza - Texto Explicativo (CPRM, 1995) - essa associação petrotectônica, de provável posicionamento estratigráfico no Proterozóico Inferior, recebe na literatura denominações diversas como: Complexo Fundamental (Grandall, 1910); Complexo Caicó (Meunier, 1964); Pré-Cambriano Indiferenciado (Leal, 1970); Complexo Gnáissico - Migmatítico (Lima et al), 1980) e Complexo Nordeste (Nascimento et al, op. cit.).

As observações de campo sugerem que a distribuição das rochas consideradas como pertencentes ao Grupo Ceará, não se dá apenas a sul da área correspondente à R.M.F., como foi delimitado por Braga et al (op. cit.), uma vez que boa parte do que foi chamado de Complexo Caicó, corresponde aos terrenos parametamórficos correlacionáveis àquela unidade. Sendo assim, optou-se por adotar a designação de Complexo Gnáissico-Migmatítico, com uma conotação mais abrangente, englobando tanto segmentos de infraestrutura como supracrustais.

Dentre as unidades cartografadas, essa é a que ocupa maior área de distribuição no âmbito da R.M.F. Suas melhores exposições foram observadas na porção ocidental, onde descreve-se uma seqüência predominantemente paraderivada, constituída de gnaisses aluminosas, em parte migmatizados, frequentemente intercalados por níveis quartzíticos (qt) e carbonáticos (cc). São biotita-gnaisses com ou sem muscovita, anfibólio, granada e sillimanita, muitas vezes servindo de encaixante para sheets de leuco-ortognaisses,

pegmatóides e augen-ortognaisses. Subordinadamente ocorrem corpos anfíbolíticos e calcissilicáticos, em jazimentos lenticulares de pequenas dimensões e conformáveis ao bandamento gnáissico. Os termos migmatíticos mais comuns são os de estrutura bandada/dobrada, reconhecendo-se também, em menor proporção, tipos mais evoluídos mostrando tendência à homogeneização.

A análise globalizada dos litotipos do Complexo Gnáissico-Migmatítico mostra a atuação de processos metamórficos e deformacionais, em escala regional, compatíveis com a fácies anfíbolito e uma anisotropia estrutural representada por uma foliação resultável de deformação dúctil ou plástica, em regime de cisalhamento simples. A deformação progressiva heterogênea é materializada através do estabelecimento de uma foliação protomilonítica relativamente freqüente, evoluindo para a produção localizada de faixas de alta concentração de strain junto às zonas de cisalhamento. Nos termos petrográficos onde compõem fenoclastos de plagioclásio e de k-feldspato, a foliação é fortemente anastomótica e regular nos termos mais cominuidos. Nos litotipos mais finos, onde a concentração de minerais micáceos e anfíbolios são mais altas, a foliação assemelha-se a uma xistosidade. Nos planos da foliação milonítica muitas vezes observa-se uma orientação preferencial de minerais estirados, ou seja, há registros de uma lineação mineral expressa preferencialmente por micas, sillimanitas e barras de quartzo.

No domínio dessa unidade, em que as estruturas foram desenvolvidas sob condições de alto grau metamórfico, os dobramentos são complexos, segundo várias fases de redobramentos, observando-se, comumente, dobras em estruturas sinformes e antiformes, abertas ou apertadas, de geometrias simétricas ou assimétricas, harmônicas, desarmônicas e dobras recumbentes.

5.3 - GEOLOGIA DO LOCAL DA BARRAGEM

O local de implantação da barragem Anil, se situa em um vale relativamente aberto, de ombreiras muito suaves, com inclinações da ordem de 2%.

O eixo da barragem do rio Anil, será assente restritamente sobre rochas do tipo gnaisse xistosas. Ao longo de todo o eixo ocorrem solos de alteração, provenientes de decomposição de gnaisse, cobertos com uma argila arenosa.

De acordo com os resultados dos estudos geológicos e geotécnicos o grau de fraturamento do maciço é pequeno, com tendência a fechamento em profundidade, previsto pela

formação geológica regional. Esse pequeno grau de fraturamento indica que o maciço deve possuir baixa condutividade hidráulica. Do ponto de vista geomecânico, quanto maior a profundidade menor o grau de fraturamento, bem como as dimensões das fraturas, denotando uma maior capacidade de suporte do maciço a partir de 3,0m de profundidade.

5.4 - MATERIAIS PARA CONSTRUÇÕES

O material argiloso a ser utilizado na construção do corpo da barragem será proveniente de sete jazidas que se encontram localizadas a distâncias que variam de 1.400 a 4.700m do eixo, sendo quatro na ombreira direita, duas na ombreira esquerda e uma a jusante da ombreira esquerda. Nenhuma delas fica dentro da área de inundação. Estas jazidas foram reconhecidas e estudadas na fase de pesquisa de materiais de construção.

De acordo com os resultados dos ensaios de laboratório temos o resumo a seguir, das características dos materiais terrosos:

Jazida	Distância Média (km)	Volume Disponível (m³)	Classificação do Material
01	4,20	100.804	SM
02	1,56	104.500	ML
03	4,70	19.775	ML
04	1,40	86.223	SM
05	4,00	22.930	SM-SC
06	3,00	50.568	SC
07	4,10	6.539	SM

Na avaliação de custos exposta na Planilha Orçamentária considera todas as jazidas como origem de material para o maciço, uma vez que as quantidades serão necessárias para a completa execução do maciço.

Foram realizados ensaios de laboratório a partir de amostras de material retiradas na área onde será o vertedouro, a fim de caracterizar este material que será utilizado no paramento de jusante do maciço. Trata-se de material de baixa permeabilidade e alta resistência ao cisalhamento, atendendo assim, as exigências técnicas do mesmo, conforme colocado nas especificações técnicas deste projeto.

Os valores obtidos dos ensaios rotineiros foram submetidos a tratamento estatístico, sendo definidas as faixas representativas do material, de acordo com a média e o desvio padrão.

Para definição dos parâmetros de interesse ao projeto, foram executados ensaios de laboratório selecionando-se os dados das jazidas mais volumosas, resultando nos valores apresentados a seguir :

- Classificação de acordo com o Sistema UnificadoSM/SC
- Permeabilidade média..... $2,53 \times 10^{-8}$ cm/s
- Umidade ótima de compactação - Proctor Normal 11,6%
- Massa específica aparente máxima $1,956$ g/cm³
- Coesão(cisalhamento direto) $0,01$ kg/cm²
- Ângulo de atrito interno $30,3^\circ$
- Volume disponível 390.000 m³

O volume disponível das escavações do vertedouro, de acordo com perfil definido nos estudos de prospecção da fundação, é da ordem de 170.000 m³ , e poderá ser utilizado no paramento de jusante.

A areia será retirada ao longo da calha do rio, onde existem bancos de areia a montante da ponte existente na rodovia estadual CE-156. Estas areias serão utilizadas nas transições finas no contato entre o núcleo e o enrocamento e, como agregado para os concretos. Como o volume pesquisado é inferior às necessidades da obra, deverá ser identificado, logo no início da obra, outros bancos de areia para complementação das necessidades da obra. De acordo com informações obtidas na região, esta areia deverá ser adquirida a partir de fornecedores deste material, uma vez que na calha do rio Anil apresenta-se de forma muito dispersa e em pequenas porções. Na planilha orçamentária considerou-se uma distância complementar de transporte da ordem de 15 quilômetros.

De acordo com os resultados dos ensaios de laboratório apresentam as seguintes características:

- Classificação de acordo com o Sistema Unificado..... SP;
- Volume disponível 2.445m³;
- Permeabilidade média 4,0 x10⁻³ cm/s

Com base nas envoltórias das curvas granulométricas das areias do rio Anil, foram feitas verificações dos critérios de filtro, para estas areias e para os solos das jazidas. Os resultados obtidos foram satisfatórios, devendo-se observar, no entanto, que dada as elevadas porcentagens de finos nos solos, em contraposição com as amostras de areia de granulação mais grossa, não obedeceriam ao critério referente à proteção contra o carreamento de finos. Deste modo, devem ser tomados cuidados especiais, quando da execução das diversas zonas de transição fina, embora a experiência mostre que tais critérios são conservadores e, a ocorrência simultânea de condições extremas das granulometrias dos materiais envolvidos seja pouco provável.

No que diz respeito à utilização nos concretos, as amostras ensaiadas atendem integralmente aos limites recomendados pela A.B.N.T.(Associação Brasileira de Normas Técnicas) e da A.S.T.M.(American Society of Testing Materials) , especialmente no que se refere às porcentagens retidas nas peneiras N^{os} 4, 10 e 16, correspondentes respectivamente às aberturas da malha 4,8mm, 2mm e 1,2mm. Os percentuais de material pulverulento em todas as amostras está muito aquém do máximo permissível pelas normas.

Existe uma pedreira localizada a cerca de 5km do eixo, próximo à BR-222, com um volume disponível da ordem de 360.000m³.

O volume disponível das escavações do vertedouro, de acordo com perfil definido nos estudos de prospecção da fundação, é da ordem de 61.000m³.

Os resultados obtidos com ensaios tipo Los Angeles em amostras de rocha da pedreira, permitem concluir que o material apresenta características adequadas de resistência e durabilidade, não havendo restrições quanto ao seu uso nos enrocamentos e como agregados nos concretos.

5.5 - FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS

As condições geológico-geotécnicas de fundação das estruturas, conforme apresentado no Perfil Geotécnico, são resumidamente discriminadas a seguir:

5.5.1 - Barragem

As ombreiras apresentam inclinação suave, sendo coberta por areias argilosa sobrepostas a solos de alteração de rocha com espessura média de 2,0 a 6,0 metros, com ausência de afloramentos ou de matacões. Este material apresenta boas condições geomecânicas, com altos valores de SPT e baixos índices de infiltração. Subjacente a este material, a rocha se apresenta diferentes graus de alteração a profundidades entre 6,0 e 10,0 metros, conforme boletins de sondagem. O gnaiss é em geral de coloração cinza-claro. No trecho central observa-se que o aluvião é mais espesso, onde predomina uma cobertura vegetal constituída de carnaubais, sendo necessário uma atenção especial à retirada de expurgo até uma profundidade que elimine todas as raízes.

Os ensaios de perda d'água revelaram valores do coeficiente de perda d'água específica variado longo dos furos realizados, sendo que na maioria dos trechos ensaiados as perdas foram baixas, mostrando ser a rocha pouco permeável. Deste modo as condições de estanqueidade são muito melhores que às de materiais a serem compactados na execução do maciço.

Dadas as condições geológicas e geotécnicas da fundação da barragem - incluindo os valores relativamente baixos do coeficiente de perda d'água específica - e as características da barragem projetada, o controle do fluxo pela fundação se dará através de uma trincheira com largura mínima de 6,00 metros, no trecho central do boqueirão. Esta trincheira será embutida no solo residual (alteração de rocha), numa espessura de 0,50 m. Nas ombreiras a trincheira poderá abranger toda a base do maciço.

5.5.2 - Tomada D'Água

Á Tomada D'Água localiza-se na ombreira direita da barragem, em trecho de talude relativamente suave. A área é constituída superficialmente por areia argilosa com pedregulho e seixo rolado. A estrutura será assente em solo, com capacidade carga suficiente aos esforços advindos da mesma, de acordo com os resultados dos ensaios SPT realizados no trecho. O apoio ao solo da fundação far-se-á com uma camada de concreto de regularização.

5.5.3 - Sangradouro

A rocha na área de implantação do sangradouro é coberta por um manto constituído por areia argilosa, de espessura variando de 2,0 a 4,0 metros no trecho compreendido canal de acesso e soleira vertedoura. Acima da rocha encontra-se ainda uma camada de solo residual, numa espessura média de 2,0m.

O maciço em gnaiss subjacente, com base nas sondagens executadas, apresenta uma percentagem de recuperação variada, e a zona mais alterada de espessura da ordem de dois metros. O grau de fraturamento tende a diminuir com a profundidade, sendo a rocha em geral medianamente a muito fraturada na zona a escavar, quando da execução da estrutura do vertedouro.

6 - BARRAGEM DE TERRA

6 - BARRAGEM DE TERRA

6.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM

A barragem projetada, foi prevista com eixo retilíneo em todo seu desenvolvimento, face as condições topográficas do vale. É do tipo terra zoneada devido à variedade de material proveniente das jazidas, conforme mostrado no item 5.4-materiais de construção. A porção de jusante deverá aproveitar todo o solo proveniente das escavações do vertedouro, o que além da economia da aquisição de material, conjuga um alternativa de minimização de impactos ambientais, quando se reduzirá a área a ser devastada com desmatamento/exploração de solos. A estrutura de barramento terá 13,83m de altura máxima, 1.700metros de extensão e capacidade total da ordem de 23.416.000 metros cúbicos.

A barragem tem seu coroamento à cota 37,40m, com 6,0m de largura de crista e taludes de montante e jusante com inclinações de 1V: 2H . É constituída por um aterro compactado com materiais provenientes de sete jazidas além do material escavado no vertedouro, compondo assim zonas ao longo do barramento, com o paramento de montante executado com material das jazidas e o de jusante, com material do vertedouro, exceto as seções de ombreira, onde este zoneamento poderá ser dispensado, simplificando a execução.

O espaldar de montante apresenta ainda um zoneamento quanto ao grau de compactação e teor de umidade de compactação, relativos aos ensaios do tipo Proctor Normal, objetivando com isto: melhorar as condições de contato com as ombreiras e reduzir a possibilidade da ocorrência de fissuras nas partes mais elevadas da zona impermeável, imediatamente adjacentes às ombreiras, face a possibilidade de tensões de tração.

É recomendável deste modo, que as camadas do aterro situadas em zonas mais elevadas, principalmente nas proximidades das ombreiras sejam executadas com graus de compactação menores e umidades acima e em torno da ótima. As camadas inferiores do aterro terão maior resistência ao cisalhamento , e a profundidades maiores o peso do solo sobrejacente será suficiente para se ter tensões de compressão.

A fundação terá uma largura mínima de contato no apoio em solo residual, de 6,0 metros no trecho central, podendo ser reduzida nas ombreiras. Previu-se tratamento superficial em toda área de implantação da barragem, consistindo este na remoção de todo o solo de recobrimento – areia argilosa mais permeável.

6.2 - DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA DA BARRAGEM

6.2.1 - Cota da Crista

A cota da crista da barragem foi fixada em 37,40m, com base na definição de soleira determinada nos Estudos Hidrológicos apresentados e nas estimativas de revanche efetuadas, constantes no Memorial de Cálculo. O nível d'água máximo maximum no reservatório para um tempo de recorrência de mil anos, se situa na cota 36,16 m. A folga("freeboard") necessária, obtida utilizando-se um "fetch" medido de 5,0 km, foi de 0,52m. A cota do NA máximo maximum do reservatório somada a folga, resultaria do nível 36,69m. Verificada a possibilidade de galgamento para uma cheia decamilenar e folga mínima de 0,50m resultou a cota da crista no nível 36,96, adotando-se então a cota 37,00m como cota da crista da barragem.

6.2.2 - Largura da Crista

A largura da crista da barragem é geralmente fixada com base nas dimensões de obras semelhantes e/ou para finalidades específicas que imponham uma determinada largura, além de aspectos construtivos.

No trabalho "Barragens em Terre Compactée - Practiques Americaines" - G. Post e P. Londe apresentam a fórmula de E.F. Preece, para fixar a largura b em função da altura H da barragem:

$$b = 1.1\sqrt{H} + 1 \quad H = \text{altura máxima}$$

obteve-se então $b = 4,93\text{m}$

Considerando as características específicas da barragem de Anil e a experiência acumulada de obras de porte semelhante adotou-se a largura de 6,00metros.

6.2.3 - Fixação dos Taludes

Na fixação dos taludes da barragem de Anil procurou-se, mantida a segurança necessária a uma obra desse porte, reduzir tanto quanto possível o volume do maciço de terra compactada. Recentemente tem-se verificado nas barragens outros condicionantes de projeto, além da estabilidade dos taludes para as diversas condições consideradas críticas.

Dado o porte da barragem, não foram determinados os valores de tensões e deformações no interior do maciço na seção máxima da barragem, utilizando-se o método dos elementos finitos.

Porém, dada a possibilidade da ocorrência de tensões de tração e conseqüentes fissuras nas partes mais elevadas, imediatamente adjacentes às ombreiras, foi projetado um zoneamento quanto ao grau de compactação e teor de umidade de compactação, relativos aos ensaios do tipo Proctor Normal.

Com base nesses procedimentos e nas exemplos em projeto e fiscalização de obras desse porte, foram fixados os taludes da barragem nas suas diversas zonas, sendo estes indicados nos desenhos de projeto.

6.3 - DISPOSITIVOS DE CONTROLE DA PERCOLAÇÃO D'ÁGUA PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

A percolação da água no interior do maciço compactado será disciplinada por um sistema de drenagem interna constituído de filtro vertical e tapete drenante, concluído com um enrocamento de pé. Este enrocamento será o coletor final do sistema de drenagem e, será construído até a cota 28,00, uma vez que acima desta a carga hidráulica é reduzida . Acima da cota 28,00, o sistema de drenagem interno é constituído somente pelo filtro vertical que terá um fluxo interno no sentido longitudinal da barragem, da cota da soleira para cotas inferiores, até encontrar o tapete drenante (cota 28,00). Este sentido de escoamento é garantido pelo gradiente de percolação que é bem superior ao do sentido montante-jusante. Os materiais do maciço compactado, dreno e enrocamento de pé serão mantidos na geometria original do maciço, o que será garantido pela obediência aos critérios estabelecidos para os materiais de filtro e transições.

Conforme descrito nos Estudos Geotécnicos deste volume a rocha de fundação apresenta valores do coeficiente de perda d'água específica baixos, de acordo com os ensaios de perda d'água realizados sob diversos estágios .Assim, com base nas condições geológico-

geotécnicas da rocha de fundação e face as características da barragem projetada, o cut-off será suficiente como controle da percolação pela fundação.

Objetivando avaliar e quantificar os efeitos dos dispositivos adotados para o controle da percolação, procedeu-se ao traçado de redes de fluxo através do maciço, pelo processo gráfico de Forcheimer, que permite estimar as perdas d'água por percolação e verificar pontos prováveis de concentração dos gradientes hidráulicos críticos.

Para se levar em conta a anisotropia provável dos solos da barragem, admitiu-se uma relação entre os coeficientes de permeabilidade horizontal e vertical igual a nove.

Os cálculos apresentados no Memorial de Cálculos, mostram que a vazão total através do maciço e fundação seria da ordem de 10 l/seg, valor este plenamente aceitável para o aproveitamento. Deve-se ressaltar entretanto, que qualquer análise deste tipo, em que se supõe homogeneidade dos materiais é simplificadora e sujeita a imprecisões, visto que as condições de fluxo reais são altamente influenciadas pelas heterogeneidades, difíceis de detectar e analisar teoricamente.

6.4 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

6.4.1 - Introdução

As análises de estabilidade foram feitas para a seção de máxima altura da barragem, para as condições críticas correspondentes ao final da construção e com o reservatório em funcionamento.

6.4.2 - Estabilidade dos Taludes ao Fim do Período Construtivo

Para ambos os taludes foram feitas análises de estabilidade pelo método de Bishop Simplificado, por computador, admitindo-se superfícies de ruptura cilíndricas.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento para o material da barragem foram determinados com base nos resultados de ensaios de cisalhamento direto lento. Admitiu-se portanto, que haverá dissipação das pressões neutras durante a construção. No relatório dos Estudos Geológico-Geotécnicos, se encontram resumidos os resultados desses ensaios, bem como no item 5.4 deste relatório.

Os parâmetros de resistência para os materiais de enrocamento, filtros e transições foram estimados com base nos valores obtidos em barragens semelhantes.

Os coeficientes de segurança obtidos nessas análises encontram-se na Memória de Cálculos da barragem, enquanto que no desenho, estão indicados os coeficientes de segurança mínimos obtidos para cada centro de círculo de ruptura passando pelo núcleo argiloso e enrocamento.

6.4.3 - Estabilidade dos Taludes com o Reservatório em Funcionamento

6.4.3.1- Talude de Montante

A condição mais crítica a que pode ser submetido o talude de montante corresponderia a um rebaixamento rápido do reservatório. Embora, esta seja uma hipótese com probabilidade de ocorrência quase nula no caso do reservatório do Anil, admitiu-se para efeito de verificação de estabilidade do talude o caso mais crítico, qual seja o rebaixamento instantâneo do reservatório entre dois níveis limites. O superior estaria na cota 36,26 m, enquanto que o nível inferior seria aquele na cota 30,06 m, correspondente ao mínimo operacional.

A análise foi procedida pelo método de Bishop Simplificado, por computador, admitindo-se ainda que as pressões neutras se desenvolvessem de acordo com o recomendado por A.W. Bishop no artigo "The Use Of Pore Pressure Coefficients in Practice", partindo-se da rede de fluxo para regime permanente. No desenho são apresentados os valores do coeficiente de segurança obtidos.

Tendo em vista as hipóteses extremamente conservadoras admitidas na análise não é de se temer qualquer problema com a estabilidade do talude de montante durante a operação do reservatório.

A seção tipo da barragem é apresentada no desenho n.º 08/28 encartado em anexo.

6.4.3.2 - Talude de Jusante

A estabilidade do talude de jusante, devido a geometria da seção da barragem, é adotada pela resistência ao cisalhamento dos materiais de construção, sendo o coeficiente de segurança mínimo, o mesmo obtido para a condição de final de construção.

No entanto procedeu-se ainda uma verificação da estabilidade do talude, para a possibilidade de ocorrência de superfícies de ruptura profundas, supondo o reservatório cheio. O resultado da análise está sendo apresentado no Memorial de Cálculos, juntamente com as hipóteses básicas admitidas no cálculo.

7 - TOMADA D'ÁGUA

7 - TOMADA D'ÁGUA

7.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA

Serão descritas a seguir as principais características da obra de tomada d'água da barragem Anil:

A tomada d'água ficará embutida no maciço da barragem, firmemente apoiada sobre solo residual da ombreira direita, em torno da cota 27,00m.

A orientação do fluxo em direção ao emboque da tomada d'água será feita através de um canal de acesso, encaixado na estrutura por meio de uma caixa de entrada provida de uma grade de proteção contra entrada de material gráudo que desce das margens.

A estrutura de captação, em concreto armado, será do tipo convencional "galeria", com dispositivos de controle de saída.

A galeria terá um diâmetro de 400mm, com cerca de 60 m de comprimento.

O acionamento da tomada d'água será feito a jusante, através de registro gaveta com comando de pedestal de manobra.

O eixo da tomada d'água será perpendicular ao da barragem.

7.2 - NÍVEIS OPERACIONAIS NO RESERVATÓRIO

O nível mínimo operacional no futuro reservatório foi determinado a partir da cota 30,06 m anteriormente citada, acrescida das perdas de carga devidas à veiculação da vazão de projeto através das obras da tomada d'água.

Com base nos cálculos hidráulicos efetuados adotou-se um total de perdas de carga de 0,324m

Por conseguinte o nível mínimo operacional no reservatório resulta igual a $31,5 + 0,324 = 31,824$ m.

Quanto ao nível máximo, que foi definido com base nos resultados dos estudos hidrológicos, adotou-se o nível 36,89 m.

8 - SANGRADOURO

8 - SANGRADOURO

8.1 - DESCRIÇÃO GERAL

Descrevem-se a seguir as características gerais do sangradouro da barragem Anil.

A solução adotada caracteriza-se pela simplicidade do arranjo, decorrente das favoráveis condições geológicas do local de implantação das obras, em que a soleira delgada do sangradouro localiza-se no alinhamento do eixo da barragem, do lado da ombreira esquerda, estando assente sobre solo de alteração de rocha, com contato na rocha propriamente somente sob a estrutura do muro.

O eixo do sangradouro é perpendicular ao eixo do maciço e está localizado entre as estacas 22 e 26, tendo sido escolhido devido às condições geotécnicas e topográficas, que permitem a implantação da estrutura vertedoura em material de melhor qualidade e, a restituição completa do fluxo dirigida a um talvegue que conduzirá as águas de sangria ao leito natural do rio.

Esse arranjo proporciona total segurança de funcionamento e, ao mesmo tempo, permitirá utilizar todo o material escavado para implantação do sangradouro, no aterro da barragem. Com isso, obter-se-á uma economia substancial nos investimentos, devido inclusive, à pequena distância de transporte dos materiais.

A soleira do vertedouro foi determinada a partir das características topográficas do boqueirão, das potencialidades da bacia hidrográfica e, da necessidade de acumulação de um volume d'água máximo possível à bacia hidráulica.

O vertedouro foi dimensionado para a vazão milenar de 211,19m³/s, tem uma largura de 80m e, uma lâmina máxima de sangria de 1,16m. É composto por um canal de aproximação escavado na cota 32,00, que é aprofundado em 2,0m sob a estrutura vertente e, após esta, o fluxo segue por um canal de restituição escavado na cota 31,00m numa extensão de 50,00m, sendo os 30 metros finais com redução da largura da seção de escoamento, de 80,00 para 40,00m e uma inclinação de 1%. Após esta redução da seção transversal inicia-se o canal de restituição propriamente dito, em seção trapezoidal, protegido no fundo e nas laterais com enrocamento médio, até a altura da altitude 30,00, a partir de onde a escavação se dará pelos processos erosivos da água.

O revestimento do canal em concreto armado só será necessário no trecho entre a estrutura vertente e o final da transição da largura da seção, numa faixa total de 70,00m, sendo 20,00m a montante e 50,00m a jusante em relação ao eixo do maciço. No trecho a montante a proteção será somente nas laterais, com a base do canal de acesso em solo residual de gnaíse.

A planta do sangradouro é apresentada no desenho n.º 16/28 encartado em anexo.

8.2 - PARÂMETROS HIDRÁULICOS

O sangradouro da barragem foi dimensionado para a cheia máxima de projeto correspondente ao tempo de recorrência de 1.000 anos e fez-se o amortecimento da cheia com recorrência de 10.000 anos, para verificar se o nível d'água ultrapassaria a crista da barragem.

Propagação da Cheia no Reservatório

Para determinar a propagação da cheia no reservatório utilizou-se o método de Puls, sendo um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios.

As descargas de pico calculadas para os períodos de retorno mencionado foram:

TEMPO DE RECORRÊNCIA (Anos)	DESCARGA DE PONTA (m³/s)
1.000	511,74
10.000	674,59

Para a crista do vertedouro em perfil "Creager", com largura de 80,00 m e situada a cota 35,00m, obtiveram-se os seguintes resultados de amortecimento de cheia com os tempos de recorrência considerados:

TR (ANOS)	VAZÃO MÁX. EFLUENTE m³/s	ALTURA LÂMINA VERTENTE (m)
1.000	211,19	1,16
10.000	265,07	1,46

9 - OBRAS COMPLEMENTARES

9 - OBRAS COMPLEMENTARES

9.1 - ACESSOS E CIRCULAÇÃO NA OBRA

Atualmente, os acessos ao local da obra são precários nos últimos 5,0km, podendo sofrer interrupção parcial nas épocas de maior precipitação pluviométrica. Esses acessos convergem, na margem esquerda e, cruzam o Rio Anil e pequenos cursos d'água onde não há qualquer obra para assegurar a travessia nos períodos chuvosos.

A circulação da obra, durante o período de construção da barragem deverá ser feita por meio de caminhos de serviço, cujo traçado e comportamento sejam satisfatórios à movimentação mecânica.

9.2 - DRENAGEM E PROTEÇÃO DAS ENCOSTAS

As encostas, nas ombreiras da barragem, terão proteção com revestimento vegetal, em área cuja extensão somente poderá ser fixada em definitivo ao final da obra, em função das condições em que as mesmas se encontrem. Este revestimento vegetal, cuja função é, em parte de proteger contra a erosão e, em parte, de conferir um melhor aspecto paisagístico, deverá cobrir ambas as ombreiras.

A natureza dos solos e rochas superficiais, bem como a topografia no local da obra, não são motivo para qualquer problema de vulto, decorrente do escoamento de águas superficiais.

10 - RECOMENDAÇÕES PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO

10 - RECOMENDAÇÕES PARA A FASE DE CONSTRUÇÃO

10.1 - ESCAVAÇÕES GERAIS

Os limites das escavações deverão ser reavaliados através de investigações geológico-geotécnicas complementares a serem executadas previamente ao início das escavações. O plano de execução, composto de sondagens complementares, com ensaios de infiltração e/ou perda d'água específica deverá ser apresentado e aprovado pela FISCALIZAÇÃO.

Portanto, os limites de escavações poderão ser alterados, em função das condições locais resultantes das investigações complementares, caso a rocha ou outros materiais, apresentem características diferentes das previstas nas considerações do projeto e nos desenhos, ficando a execução condicionada a análise do caso e aprovação pela FISCALIZAÇÃO.

10.2 - SANGRADOURO

A escavação para implantação do sangradouro da barragem do Anil terá que ser feita à proporção que progredir o alteamento do maciço da barragem, uma vez que o solo das escavações do sangradouro será utilizado no paramento de jusante do maciço. A qualquer indício de desmoronamento do taludes escavados, deverá ser solicitada uma inspeção técnica da área e, se for o caso, corrigir os taludes de projeto à realidade apresentada.

A ancoragem da laje do sangradouro também deverá ser reavaliada após execução das sondagens complementares.

10.3 - JAZIDAS

A exploração das jazidas deverá ser programada com bastante antecipação às necessidades e após o detalhamento das disponibilidades residuais das que estiverem sendo exploradas, para evitar desmatamentos desnecessários, uma vez que as disponibilidades de materiais são dispersas.

11 - ORÇAMENTO

ORÇAMENTO

ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda		BARRAGEM ANIL			
Planilha de Quantitativos e Preços					
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVICOS	UND.	QUANT.	PREÇOS	
				UNITARIO	TOTAL
				(R\$)	(R\$)
1	ADMINISTRAÇÃO E FISCALIZAÇÃO				
1.1	Instalação e manutenção do acampamento	m²	300,00	250,00	75.000,00
1.2	Placas alusivas à obra	m²	64,00	30,00	1.920,00
	Total do item 1				76.920,00
2	TRABALHOS PREPARATÓRIOS				
2.1	Estradas de acesso com faixa de domínio de 10,0m, greide colado, pista de rolamento de 6,0m de largura e 0,15m de espessura revestida em piçarra compactada, com valetas de drenagem, incluindo obras d'arte e os aterros a estas associadas	km	7,00	7.783,97	54.487,79
2.2	Caminhos de serviços c/faixa de domínio de 6,0 m	km	15,00	1.398,00	20.970,00
2.3	Desmatamento e destocamento da área da barragem, sangradouro , empréstimos e pedreira	ha	70,00	800,00	56.000,00
2.4	Expurgo de material nas áreas da barragem e empréstimos, com bota-fora de até 0,30 km, medido no	m³	60.000,00	1,35	81.000,00
2.5	Desmatamento racional da Bacia Hidráulica	ha	680,00	444,60	302.328,00
2.6	Remanejamento de linha de transmissão dentro da bacia hidráulica	km	2,00	8.500,00	17.000,00
	Total do item 2				531.785,79
3	BARRAGEM				
3.1	Escavação, carga, transporte e descarga com bota fora até 300m, de material de 1ª categoria da fundação	m³	6.000,00	2,21	13.260,00
3.2	Escavação, carga, transporte e descarga com bota fora ate 300m, de material de 2ª categoria da	m³	4.662,00	2,69	12.540,78
3.3	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1ª categoria da fundação com rebaixamento do lençol freático e bota-fora de 0,30 km	m³	6.500,00	5,58	36.270,00
3.4	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1ª categoria das jazida até 0,30 km	m³	164.000,00	2,21	362.440,00

ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda		BARRAGEM ANIL			
Planilha de Quantitativos e Preços					
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVICOS	UND.	QUANT.	PREÇOS	
				UNITARIO	TOTAL
				(R\$)	(R\$)
3.5	Espalhamento, umedecimento e compac., dos solos selecionados nas fundações e barragens	m³	250.700,00	1,10	275.770,00
3.6	Fornecimento, inclusive extração, carga, transporte, descarga, espalhamento e adensamento de areia para o dreno horizontal, filtro vertical e transição do rock-fill	m³	10.500,00	14,07	147.735,00
3.7	Fornecimento, inclusive extração, britagem, carga, transporte, descarga, espalhamento e compactação de brita para utilização nas zonas de transição do rip-rap e rock-fill	m³	8.990,00	25,10	225.649,00
3.8	Fornecimento, inclusive extração, carga, transporte, descarga e espalhamento de enrocamento de pedras jogadas no rip-rap e rock-fill	m³	13.980,00	17,43	243.671,40
3.9	Transporte complementar de solo para o maciço das barragens	m³.km	250.700,00	1,24	310.868,00
3.10	Fornecimento e assentamento de meio-fio de concreto simples para o coroamento da barragem	m	3.380,00	15,39	52.018,20
3.11	Preparo e regularização dos taludes	m²	52.000,00	0,75	39.000,00
3.12	Fornecimento de cascalho ou pedrisco para revestimento do coroamento, esp = 0,30m, inclusive extração, carga, descarga, transporte e espalhamento	m³	6.100,00	6,35	38.735,00
3.13	Fornecimento, inclusive extração e britagem, carga, transporte, descarga, espalhamento de brita para proteção do talude de jusante	m³	7.650,00	13,13	100.444,50
3.14	Calhas pluviais para as ombreiras e pé do talude de jusante em pedra rejuntada com argamassa no	m	575,00	90,45	52.008,75
3.15	Fornecimento e instalação de réguas limnimétricas, em perfil de alumínio, comprimento de 3,0m (traspasse =m 1,0m)	ud	15,00	40,00	600,00
	Total do item 3				1.911.010,63
4.0	SANGRADOURO E MUROS				
4.1	Escavação, carga, descarga e transporte até 0,30 km de material de 1a. categoria	m³	128.256,00	2,21	283.445,76
4.2	Escavação, carga, descarga e transporte até 0,30 km de material de 2a. Categoria	m³	25.652,00	2,69	69.003,88
4.3	Escavação, carga, descarga e transporte até 0,30 km de material de 3a. Categoria	m³	17.100,80	16,36	279.769,09
4.4	Escavação de vala para drenagem da bacia de dissipação (material de 2a. Categoria)	m³	41,38	8,66	358,35

ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda		BARRAGEM ANIL			
Planilha de Quantitativos e Preços					
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVICOS	UND.	QUANT.	PREÇOS	
				UNITARIO	TOTAL
				(R\$)	(R\$)
4.5	Concreto simples para regularização do Creager, fck > 9MPa com consumo médio de 200kg de	m³	117,86	187,00	22.039,82
4.6	Concreto ciclópico para a construção do Creager, terá fck > 10MPa e consumo de 250kg de cimento/m³ com até 30% de pedra de mão, inclusive escoramento e formas e desformas	m³	1.160,00	201,60	233.856,00
4.7	Concreto estrutural com consumo de 300kg/m³, fck>10MPa, inclusive forma, escoramento, armação, lançamento e desforma	m³	683,01	510,00	348.335,10
4.8	Fornecimento, inclusive extração, carga, descarga, transporte espalhamento e colocação de enrocamento do canal de restituição do sangradouro.	m³	16.251,09	20,55	333.959,90
4.9	Fornecimento e assentamento de junta de vedação tipo fungenband tipo O-22	m	298,00	50,42	15.025,16
4.10	Aterro compactado manualmente nos muros laterais	m³	850,00	8,33	7.080,50
4.11	Investigações Geológico-geotécnicas				
4.11.1	Mobilização e relatórios	vb	1,00	2.700,00	2.700,00
4.11.2	Sondagem a Percussão	m	20,00	32,00	640,00
4.11.3	Sondagem Mista				
4.11.3.1	Em solo	m	50,00	32,00	1.600,00
4.11.3.2	Em rocha (diâmetro NX)	m	60,00	240,00	14.400,00
4.11.4	Ensaio de Perda d'água específica	unid.	20,00	180,00	3.600,00
4.11.5	Caixas de amostras	unid.	9,00	60,00	540,00
4.12	Ancoragem da Laje da Bacia de Dissipação				
4.12.1	Execução de Tirante	m	1.330,00	17,02	22.636,60
4.12.2	Perfuração para injeção de cimento	m	1.330,00	32,73	43.530,90
4.12.3	Armadura CA-50A	kg	38.019,52	2,31	87.825,09

ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda		BARRAGEM ANIL			
Planilha de Quantitativos e Preços					
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVICOS	UND.	QUANT.	PREÇOS	
				UNITARIO (R\$)	TOTAL (R\$)
4.13	Drenagem da laje da bacia de dissipação				
4.13.1	Tubos PVC DN 200mm (furado)	m	82,31	16,71	1.375,40
4.13.2	Tubo PVC DN 200mm	m	94,00	15,46	1.453,24
4.13.3	Brita	m³	35,84	19,28	691,00
4.13.4	Caixas (1,00 x 1,00 x 0,80)m	un	2,00	174,85	349,70
	Total do item 4				1.774.215,48
5.0	TOMADA D'ÁGUA				
5.1	Escavação, carga, descarga e transporte com bota fora até 0,30 km de material de 1a. Categoria	m³	1.530,00	2,21	3.381,30
5.2	Escavação, carga, descarga e transporte com bota-fora até 0,30 km de material de 2a. categoria	m³	650,00	2,69	1.748,50
5.3	Escavação, carga, descarga e transporte até 0,30 km de material de 3a. Categoria	m³	370,00	16,36	6.053,20
5.4	Escavação manual em material de 1ª categoria, inclusive carga, descarga e transporte até 0,30km	m³	50,00	6,12	306,00
5.5	Escavação manual em material de 2ª categoria, inclusive carga, descarga e transporte até 0,30km	m³	65,00	8,20	533,00
5.6	Aterro compactado manualmente na galeria	m³	360,00	8,33	2.998,80
5.7	Fornecimento, inclusive extração, carga, descarga, transporte espalhamento e colocação de enrocamento no canal de acesso e na bacia de dissipação	m³	660,00	20,55	13.563,00
5.8	Concreto simples para regularização, fck > 9MPa com consumo médio de 200kg de cimento /m³	m³	9,80	187,00	1.832,60
5.9	Confeção e lançamento de concreto estrutural (fck > 10 MPa), e consumo de cimento de 300 kg/m³, incluindo forma, escoramento, armação, lançamento e desforma para caixa de montante, galeira e	m³	60,00	510,08	30.604,80
5.10	Fornecimento e montagem de junta Fungenband tipo O-22 para utilização na galeria	m	15,00	50,42	756,30
5.11	Fornecimento e montagem de tubulação em aço carbono DN 400mm	m	50,00	600,00	30.000,00

ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda		BARRAGEM ANIL			
Planilha de Quantitativos e Preços					
ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVICOS	UND.	QUANT.	PREÇOS	
				UNITARIO	TOTAL
				(R\$)	(R\$)
5.12	Fornecimento e montagem de registro de gaveta com flanges DN=400mm com acionamento manual	ud	1,00	20.000,00	20.000,00
5.13	Fornecimento e montagem de válvula borboleta com flanges DN=400mm	ud	1,00	12.000,00	12.000,00
5.14	Fornecimento e montagem de comporta tipo Stop-log, conforme projeto	ud	1,00	8.600,00	8.600,00
5.15	Fornecimento e montagem de junta de desmontagem com trava axial DN=400mm	ud	1,00	800,00	800,00
5.16	Fornecimento e montagem do vertedouro triangular para medição de vazão	ud	1,00	4.825,00	4.825,00
5.17	Confeção e instalação de grade de ferro para proteção da boca de montante, conforme projeto	un	1,00	909,00	909,00
	Total do item 5				138.911,50
	TOTAL GERAL				4.432.843,40

CRONOGRAMA

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ANIL
CRONOGRAMA FÍSICO DE IMPLANTAÇÃO DAS OBRAS**

ITEM	ATIVIDADE	MESES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Instalação do Canteiro de Obras	█							
2	Manutenção do Canteiro de Obras, Estradas de Acesso e Caminhos de Serviço	█	█	█	█	█	█	█	█
3	Mobilização de equipamentos	█	█						
4	Construção de estadas de acessos e caminhos de serviço	█	█						
5	Limpeza da área da barragem e jazidas de empréstimo	█	█	█					
6	Escavação e tratamento das fundações da barragem		█	█	█				
7	Limpeza e escavação da área da tomada d'água		█	█					
8	Execução de sondagens complementares no sangradouro	█							
9	Limpeza e escavação da área do sangradouro e muros		█	█	█				
10	Concretagem da Tomada d'água			█					
11	Execução do maciço da barragem			█	█	█	█	█	
12	Execução do sangradouro e muros			█	█	█	█		
13	Aquisição e instalação do equipamento hidromecânico						█	█	
14	Desmatamento racional da bacia hidráulica				█	█	█		
15	Acabamento e limpeza da obra								█

