

GOVERNO DO ESTADO



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

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM ARACOIABA
E ADUTORAS DE ARACOIABA E BATURITÉ

PLANO DE APROVEITAMENTO
DO AÇUDE DE ARACOIABA

RHAR - 971211 - RE

CONSÓRCIO GEODINÂMICA COBA

FORTALEZA- CE
DEZEMBRO DE 1997

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

PLANO DE APROVEITAMENTO
DO AÇUDE DE ARACOIABA

Lote: 02347 - Prep () Scan () Index ()
Projeto N° 0217/C
Volume /
Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____
Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____
Qtd. A0 _____ Outros _____

RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS

RHAR-971211-PA



CONSÓRCIO GEODINÂMICA COBA

FORTALEZA
DEZEMBRO/97

INDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS DO APROVEITAMENTO	2
3 - NECESSIDADES DE ÁGUA	3
4 - PRINCIPAIS CARATERÍSTICAS DO APROVEITAMENTO	4
4.1 - Hidrologia e climatologia	4
4.2 - Caraterísticas topográficas	5
4.2.1 - Reservatório	5
4.2.2 - Barragem	6
5 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO	8
5.1 - Descrição do método utilizado	8
5.2 - Resultados obtidos	9
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	11

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta o Plano do Aproveitamento do açude de Aracoiaba, necessário para a definição das principais características da obra.

Estes estudos foram elaborados no âmbito do Contrato nº 006/PROURB-CE/COGERH, firmado entre o Consórcio Geodinâmica/Coba e a COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, que tem por objeto o "Projeto Executivo da Barragem de Aracoiaba e Adutoras Aracoiaba e Baturité".

O presente estudo tem por objetivo principal, definir as necessidades a satisfazer, analisar as características do local, definir o potencial de regularização do açude, selecionar os níveis máximos a fixar para o reservatório e definir a capacidade dos órgãos de tomada da barragem.



2 - OBJETIVOS DO APROVEITAMENTO

A barragem de Aracoiaba, a construir sobre o rio do mesmo nome, cerca de 18 km a oeste da cidade de Aracoiaba, terá como objectivo principal criar um reservatório que possibilite regularizar as vazões do rio, permitindo garantir em boas condições o fornecimento de água aos municípios de Aracoiaba e de Baturité.

Dadas as potencialidades hídricas do rio no local do barramento, e as características topográficas do vale, será possível criar um reservatório com capacidade de regularização superior à estritamente necessária para satisfação das necessidades destes municípios. Os volumes excedentes serão utilizados para rega em pequena escala, essencialmente na orla do reservatório e, maioritariamente, para reforço do abastecimento da zona metropolitana de Fortaleza.

3 - NECESSIDADES DE ÁGUA

Conforme se referiu anteriormente, o reservatório será utilizado essencialmente para abastecimento público dos municípios de Aracoiaba e de Baturité.

As necessidades em água para abastecimento destas duas cidades foram estimadas no relatório RHAR-970618-RA, e estão resumidas no Quadro 1:

QUADRO 1 - NECESSIDADES DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO NO HORIZONTE DE PROJETO

Município	População	Capitação (l/hab.dia)	Índice atendimento	Demanda anual (10 ⁶ m ³)
Aracoiaba	44 170	150	0,9	2,1
Baturité	30 970	150	0,9	1,6
Total	75 140	150	0,9	3,7

Como se pode observar, as demandas de água para abastecimento público dos municípios de Aracoiaba e de Baturité são bastante modestos, face às potencialidades hídricas do local de barragem, o qual apresenta afluência médias anuais superiores a 150 hm³.

Conforme já se referiu, as disponibilidades excedentes serão utilizadas para reforço do abastecimento da zona urbana de Fortaleza, cujo crescimento da demanda poderá facilmente absorver a totalidade da água regularizada num futuro próximo.

4 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO APROVEITAMENTO

4.1 - Hidrologia e climatologia

O estudo das características hidrológicas do local foi apresentado no relatório RHAR-970610-RE, apresentando-se de seguida um breve resumo, no que se refere aos parâmetros com relevância para a exploração do aproveitamento: vazões e evaporação.

Com base nos registos de precipitação sobre a bacia no período 1912-1988 e nos registos de vazão na estação fluviométrica de Aracoiaba no período 1924-1930 procedeu-se à calibração do modelo chuva-deflúvio MODHAC, o qual foi de seguida utilizado para estimar a série de vazões mensais no local de barragem no período de 77 anos correspondente aos anos de 1912 a 1988.

Os resultados obtidos indicam uma vazão média anual de 155 hm^3 ($4,9 \text{ m}^3/\text{s}$). Os valores da vazão anual são no entanto muito variáveis, estando compreendidas no período de análise entre um mínimo de 5 hm^3 e um máximo de 562 hm^3 .

No Quadro 2 indicam-se os valores das vazões mensais no local da barragem estimadas para o período 1912-88. As vazões anuais estão também representadas graficamente na Figura 1, podendo-se facilmente observar a sua irregularidade. Nesta figura apresentam-se igualmente as médias móveis correspondentes a períodos de 10 e de 20 anos. A análise destas curvas mostra a estabilidade do período analisado, não se observando qualquer tendência de aumento ou redução da vazão ligada a eventuais alterações climáticas, naturais ou antropogénicas.

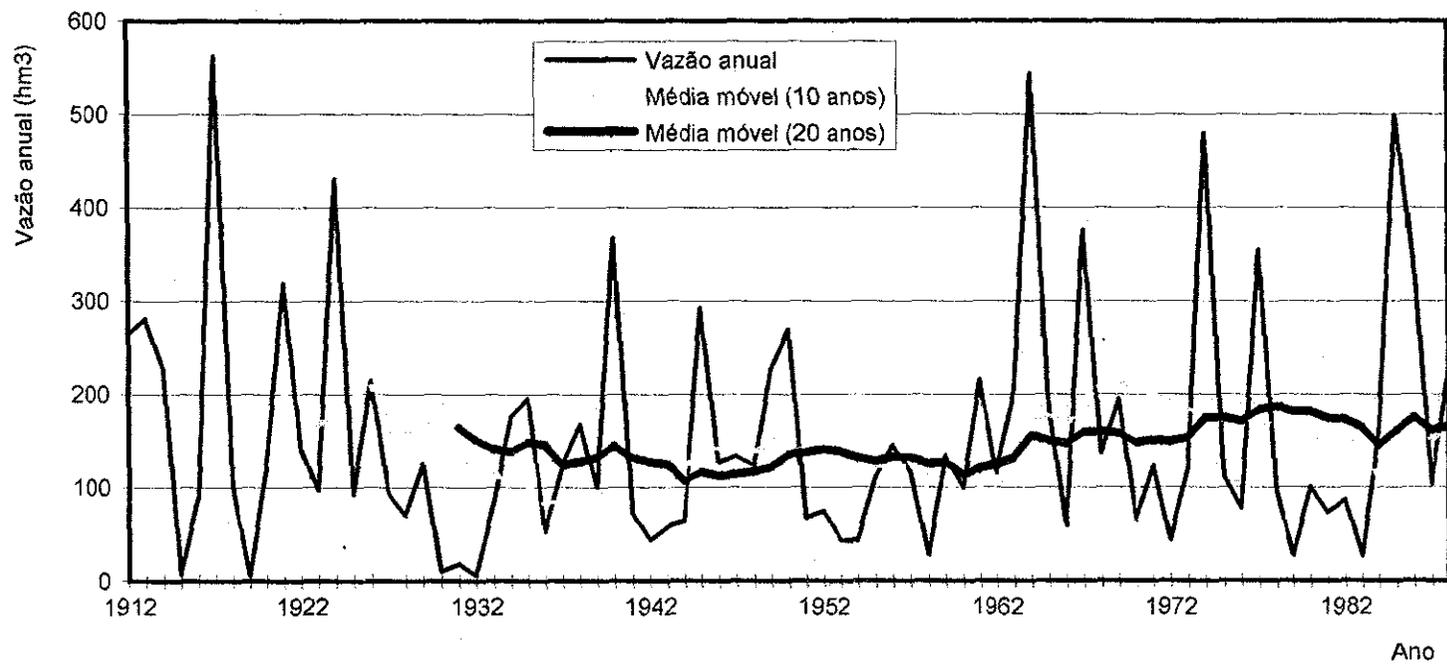
A distribuição intraanual da vazão é igualmente muito irregular, concentrando-se nos quatro meses de Março a Junho, aos quais corresponde em média mais de 75% da vazão anual, sendo normalmente os meses de Abril e Maio os mais úmidos, com vazões médias de $14,8 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, o triplo da vazão média anual. A vazão mensal atinge normalmente um mínimo em Dezembro, não se ultrapassando em média neste mês $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$, não atingindo portanto 15% da vazão média anual.

Na estimativa das perdas por evaporação no reservatório, utilizaram-se como base os valores de evaporação em tina classe A observadas na estação meteorológica de Fortaleza, que se considera representativa do local da barragem. Para ter em conta o efeito de lago, os valores registados foram multiplicados por 0,8.

Para o cálculo das perdas no reservatório utilizou-se o conceito de evaporação líquida que resulta da diferença entre as perdas por evaporação e a precipitação direta sobre a superfície do lago. Para a estimativa dos valores da precipitação sobre o reservatório utilizaram-se os valores obtidos na estação de Vazantes.

Dada a relativamente pouca importância das perdas no balanço global e a sua reduzida variabilidade, consideraram-se valores médios mensais constantes. Os valores utilizados estão apresentados no Quadro 3.

FIGURA 1 - VAZÃO ANUAL NO LOCAL DO BARRAMENTO



000008

QUADRO 2 - VAZÕES MENSAIS NA SEÇÃO DA BARRAGEM

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1912	0,0	32,6	31,0	38,2	91,1	43,2	8,4	6,8	4,8	3,6	2,4	1,8	264,0
1913	1,3	36,3	84,6	70,4	43,6	8,4	8,3	7,6	5,2	3,9	2,8	8,6	280,9
1914	2,5	18,5	25,0	31,7	44,7	71,7	8,8	8,4	6,2	4,3	2,8	2,1	226,7
1915	1,5	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,1	7,8
1916	0,1	0,1	31,4	16,6	18,7	6,7	5,8	4,6	3,1	2,2	1,5	1,2	91,9
1917	37,6	42,5	141,7	96,6	174,9	41,2	8,7	7,0	4,7	3,4	2,2	1,8	562,2
1918	1,5	3,1	16,6	26,0	20,1	11,4	6,8	5,5	3,9	2,8	1,8	1,3	100,8
1919	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	5,4
1920	0,1	0,1	41,1	26,7	22,1	10,0	7,1	6,2	4,2	3,0	2,0	1,6	124,2
1921	1,4	17,1	47,1	57,0	149,7	8,5	14,4	8,3	5,8	4,3	3,0	2,3	318,8
1922	1,7	1,2	1,2	61,5	28,1	14,5	8,7	8,4	6,6	4,6	3,0	2,3	141,5
1923	1,8	3,3	36,6	24,8	6,4	6,0	5,9	4,9	3,2	2,3	1,5	1,1	97,8
1924	0,8	14,4	66,4	100,3	118,1	100,4	10,0	7,5	5,0	3,5	2,3	1,7	430,3
1925	1,4	1,2	13,7	37,1	16,4	6,4	5,6	4,1	2,9	2,2	1,5	1,1	93,5
1926	0,9	7,7	54,3	74,9	44,9	8,4	7,8	5,7	3,8	2,6	1,7	1,3	214,1
1927	0,9	0,7	6,4	46,1	12,3	8,1	6,3	5,0	3,4	2,4	1,6	1,2	94,3
1928	0,9	0,7	4,6	32,3	16,3	4,2	3,6	2,7	1,8	1,3	0,9	0,7	70,0
1929	0,5	13,5	31,2	35,4	13,3	7,5	7,4	6,1	4,2	3,0	2,0	1,6	125,7
1930	1,2	0,9	0,9	1,9	1,2	1,1	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	10,7
1931	0,2	0,2	2,4	8,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	18,3
1932	0,3	0,2	0,3	1,4	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	6,0
1933	0,2	0,2	5,2	51,6	6,1	5,4	5,0	3,7	2,5	1,8	1,2	0,9	83,6
1934	0,7	12,5	46,7	24,5	58,6	8,5	8,2	6,0	4,1	2,9	1,9	1,5	176,1
1935	1,2	5,0	35,5	32,3	39,6	48,7	10,0	8,3	5,8	4,1	2,7	2,0	195,1
1936	1,5	1,0	2,6	1,5	8,8	24,8	4,1	3,5	2,4	1,7	1,2	0,9	53,9
1937	0,7	2,2	6,7	42,4	23,3	19,6	7,8	7,2	5,1	3,9	2,6	1,9	123,3
1938	1,5	1,2	37,1	52,8	34,0	14,5	8,2	6,3	4,5	3,2	2,2	1,6	167,2
1939	1,3	17,2	34,0	13,1	8,7	6,0	5,6	4,6	3,4	2,6	2,1	1,5	100,0
1940	1,2	1,1	22,0	62,3	151,4	63,1	41,8	8,4	6,2	4,4	2,9	2,1	366,8
1941	1,6	1,1	8,0	24,7	18,4	5,0	4,4	3,3	2,3	1,6	1,1	0,8	72,3
1942	0,6	0,5	9,6	10,8	9,2	3,9	3,1	2,4	1,6	1,2	0,9	0,7	44,3
1943	0,5	0,4	9,3	28,3	5,0	3,7	3,6	2,9	2,0	1,4	1,0	0,8	58,7
1944	0,7	0,5	1,6	20,3	21,3	5,2	4,7	3,7	2,5	1,8	1,2	0,9	64,5
1945	0,8	34,1	22,2	58,0	80,9	54,7	20,1	7,6	5,3	3,8	2,6	2,0	291,9
1946	21,5	11,6	20,3	35,7	9,9	8,1	7,0	5,0	3,3	2,3	1,6	1,1	127,4
1947	0,9	3,9	22,1	30,7	43,5	8,0	7,8	5,9	4,0	2,9	2,0	1,8	133,3
1948	1,7	1,5	26,7	20,6	23,5	12,9	15,5	7,8	5,4	3,8	2,6	1,9	123,7
1949	1,4	1,0	41,3	46,2	93,7	15,0	8,5	7,2	4,9	3,4	2,3	1,8	226,8
1950	1,3	1,0	32,8	108,5	95,4	8,4	7,3	5,4	3,6	2,5	1,7	1,3	269,2
1951	1,0	0,7	0,6	9,1	1,8	38,2	4,9	4,1	2,8	2,0	1,4	1,1	67,5
1952	0,9	0,7	6,3	29,1	19,5	5,0	4,4	3,3	2,2	1,6	1,1	0,8	74,9
1953	0,6	0,5	0,5	17,6	5,3	7,7	3,4	2,7	1,9	1,4	1,0	0,7	43,2
1954	0,6	0,4	3,3	4,7	19,7	4,0	3,6	2,8	1,9	1,4	0,9	0,7	44,0
1955	0,5	0,5	12,2	34,2	36,7	7,0	6,7	5,1	3,4	2,4	1,8	1,4	111,9
1956	1,1	6,9	36,3	62,5	8,4	7,6	6,9	5,5	4,0	2,8	1,9	1,4	145,1
1957	1,1	0,9	25,4	54,8	7,7	7,2	6,6	4,9	3,3	2,3	1,5	1,1	116,8
1958	0,8	0,6	0,5	0,5	17,2	2,0	2,0	1,6	1,1	0,8	0,6	0,5	28,2
1959	0,4	17,8	37,4	21,5	25,1	7,6	7,5	6,3	4,2	2,9	1,9	1,4	134,1
1960	1,0	0,8	28,9	39,4	6,4	5,9	5,5	4,4	3,0	2,1	1,1	1,1	99,7
1961	0,8	27,8	40,5	39,8	51,4	26,8	8,5	7,2	4,9	3,4	2,3	1,7	215,1
1962	1,3	1,0	56,0	19,9	9,9	7,1	6,7	5,1	3,5	2,5	1,7	1,3	115,9
1963	4,4	13,8	72,3	51,5	31,7	8,3	7,4	5,5	3,6	2,5	1,7	1,5	204,1
1964	14,5	58,3	92,0	237,1	90,8	17,8	8,5	8,0	6,1	4,4	2,9	2,1	542,6
1965	1,6	1,2	10,0	47,2	21,1	65,4	14,4	7,9	5,4	4,0	2,7	2,0	182,9
1966	1,4	1,1	1,1	1,0	13,2	22,2	7,3	4,4	3,2	2,4	1,7	1,2	60,0
1967	1,0	14,3	50,3	116,9	143,5	18,2	8,8	8,2	5,8	4,0	2,6	1,9	375,4
1968	1,5	1,3	26,0	26,8	36,9	16,7	8,5	7,3	4,9	3,4	2,3	1,7	137,2
1969	1,3	1,0	10,7	50,4	15,6	24,1	61,0	8,9	7,9	6,3	4,3	3,1	194,5
1970	2,3	1,8	9,9	28,7	5,0	4,6	4,1	3,2	2,2	1,6	1,1	0,8	65,2
1971	0,6	0,5	20,8	22,7	23,5	22,6	9,0	7,4	5,9	4,4	3,2	2,4	123,1
1972	1,9	1,5	1,5	5,6	15,5	4,6	3,8	3,4	2,4	1,7	1,2	0,9	44,1
1973	0,8	0,6	5,7	25,5	32,7	22,2	11,7	8,2	5,9	4,2	2,8	2,2	122,6
1974	31,6	24,8	71,2	160,6	110,7	48,7	8,8	8,0	5,8	4,2	2,8	2,1	479,3
1975	1,7	1,4	26,3	10,1	29,7	10,6	9,3	7,9	5,9	4,2	2,8	2,2	112,1
1976	1,8	5,7	22,0	23,0	6,0	5,4	4,4	3,4	2,4	1,8	1,2	1,0	78,0
1977	1,6	22,6	33,3	21,5	110,7	73,9	66,1	8,7	6,4	4,4	2,9	2,1	354,1
1978	1,5	1,1	10,8	23,2	29,0	6,7	6,7	6,2	4,6	3,3	2,3	1,9	97,3
1979	1,4	1,0	1,1	1,0	12,7	2,4	2,3	1,8	1,3	1,0	0,7	0,6	27,3
1980	0,5	35,0	30,7	11,1	5,8	4,9	4,3	3,1	2,1	1,5	1,0	0,8	100,7
1981	0,6	0,4	47,3	5,9	4,4	4,0	3,6	2,6	1,8	1,3	0,9	0,7	73,4
1982	0,6	0,5	19,4	12,2	28,7	7,1	5,4	4,5	3,2	2,3	1,6	1,2	86,6
1983	0,9	0,7	8,8	6,9	2,2	2,0	1,7	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	27,0
1984	0,3	0,3	9,5	26,2	44,8	24,0	26,9	8,5	6,8	5,0	3,3	2,5	158,0
1985	2,0	30,7	75,4	122,5	119,3	69,3	54,3	8,7	6,6	4,6	3,1	2,3	498,7
1986	2,0	11,2	31,8	121,4	89,5	58,3	8,8	8,1	5,8	4,5	3,2	2,4	346,9
1987	1,9	1,4	23,9	20,0	6,3	26,3	7,0	6,2	4,3	3,0	2,0	1,5	103,9
1988	1,1	1,0	4,4	77,8	84,3	15,3	8,8	8,4	6,4	4,6	3,2	2,6	217,9
	2,4	7,6	25,8	39,5	37,4	18,0	9,5	5,4	3,8	2,7	1,9	1,5	155,5

QUADRO 3 - EVAPORAÇÃO E CHUVA SOBRE O RESERVATÓRIO - VALORES MÉDIOS

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Evaporação	187	137	120	116	130	129	160	198	213	218	212	210	2022
Chuva	70	132	135	209	135	60	26	6	3	7	8	23	915
Evaporação líquida	117	5	-15	-93	-5	69	134	192	210	211	204	187	1107

4.2 - Características topográficas

4.2.1 - Reservatório

As características topográficas do reservatório foram estimadas inicialmente com base na topografia disponível à escala 1:25 000.

Entretanto, foi disponibilizado o levantamento do reservatório, realizado no âmbito do presente estudo. A área levantada está apresentada, à escala 1:40 000, na Figura 2.

Com base nestes elementos procedeu-se à medição da área do reservatório até à cota 100, tendo-se obtido os valores apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4 - SUPERFÍCIE INUNDADA PELO RESERVATÓRIO DE ARACOIABA

Cota (m)	Área medida na topografia existente (km ²)	Área medida no novo levantamento (km ²)	Capacidade de armazenam. (hm ³)
65	0,00	0,00	0.0
70	0,44	0,14	0.4
75	2,35	1,82	5.7
80	4,84	3,74	19.6
85	7,55	7,34	47.3
90	11,38	11,90	95.4
95	15,44	18,22	170.7
100	21,12	24,26	277.4

Como se pode observar, as áreas agora obtidas pelo novo levantamento são menores que as indicadas na cartografia disponível à escala 1:25 000 para níveis inferiores à cota 90 e maiores para níveis superiores.

A área superficial do reservatório pode ser representada, com bom ajuste, pela expressão:

$$S = 0,0177 (Z - 66)^{2,05}$$

em que S é a área do reservatório (km²) para a cota Z (m).

Por integração da expressão interior pode-se obter a curva de volumes acumulados, a qual será dada por:

$$V = 0,00591 (Z - 66)^{3,05}$$

em que V é a capacidade do reservatório (hm³) para a cota Z (m).

Na Figura 3 estão indicadas as curvas de superfície e de capacidade do reservatório de Aracoiaba.

4.2.2 - Barragem

A barragem de Aracoiaba será implantada no local indicado na Figura 4, seguindo o alinhamento aí indicado.

Procedeu-se à medição do volume do corpo da barragem para diferentes cotas do coroamento, considerando-se uma seção tipo simplificada com 8,0 m de largura no coroamento e taludes de montante e de jusante inclinados a 2,5h:1,0v.

Os valores obtidos estão apresentados no Quadro 5.

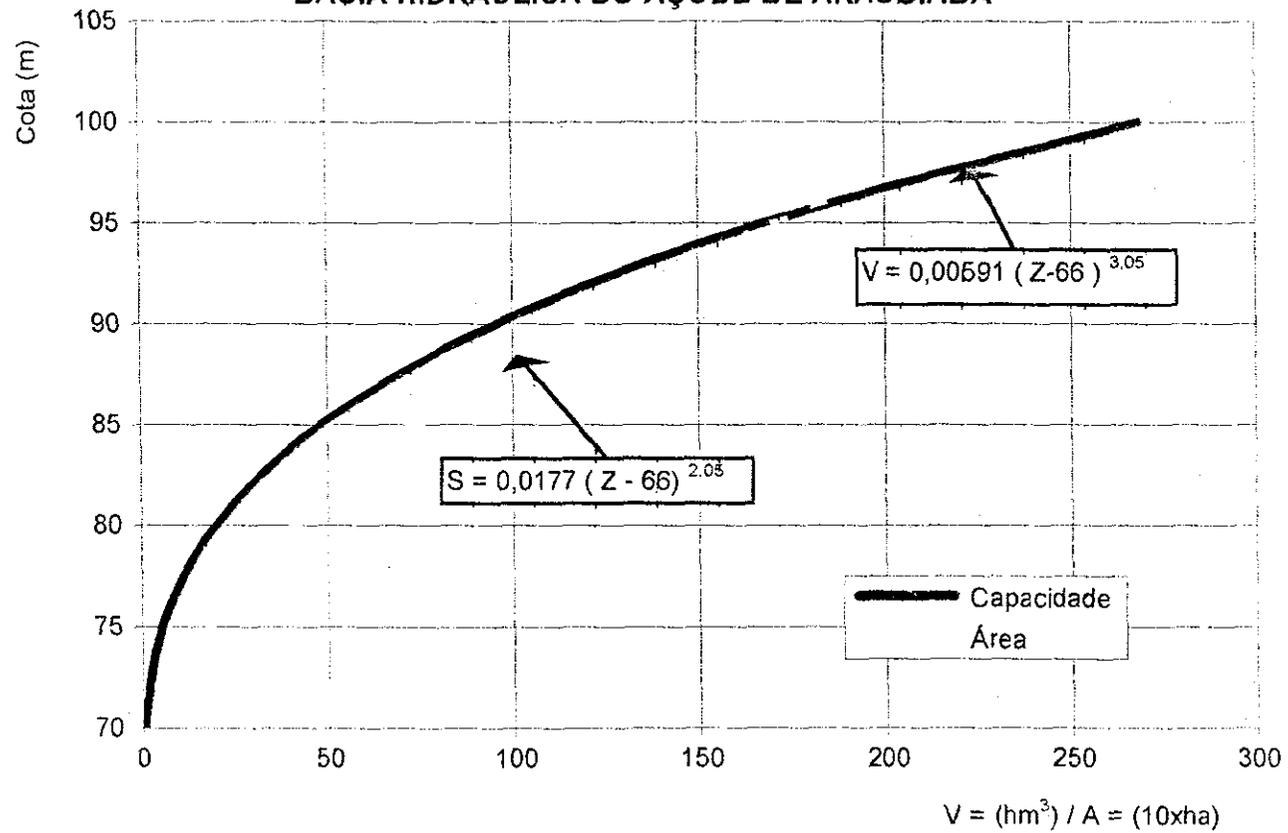
QUADRO 5 - VOLUME DA BARRAGEM PARA DIFERENTES COTAS DE COROAMENTO

Cota do coroamento (m)	Volume do corpo da barragem (10 ⁶ m ³)
85	0,36
90	0,63
95	0,99
100	1,53

O volume do corpo da barragem pode ser dado pela expressão:

$$V = 0,000164 (Z - 65)^{2,567}$$

FIGURA 3 - CURVAS DE ÁREAS INUNDADAS E DE CAPACIDADE DA BACIA HIDRÁULICA DO AÇUDE DE ARACOIABA





<p>LEGENDA</p> <p>NOTAS</p> <p>1- DIMENSÕES E ELEVACÕES EM METROS. EXCETO ONDE INDICADO</p>	<p>DESENHOS DE REFERENCIA</p> <p>-AR-CR-1009F DPLNICAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EIXOS</p>	<p>REVISÕES</p> <p>NATUREZA DA REVISÃO</p> <p>DATA</p> <p>APROV</p>	<p>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</p> <p>SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGE/IRH</p> <p>COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGE/IRH</p> <p>PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ - PROURB / CI</p> <p>PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM DE ARACOIABA</p>
			<p>PROJETO EXECUTIVO</p> <p>IMPLANTACAO GERAL</p> <p>PLANTA</p> <p>CONSORCIO GEODINAMICA - COBA</p>

Em que V é o volume de aterro (10^6 m^3) e Z a cota do coroamento (m).

Em barragens de aterro, o custo total da barragem (incluindo órgãos anexos) pode ser estimado em função do volume de aterro por uma expressão do tipo:

$$C = K V_a^{0,75}$$

em que K é um coeficiente e V_a o volume de aterro no corpo da barragem.

Para a barragem com coroamento à cota (100) estima-se um custo total de 13 milhões de reais. Neste caso será:

$$K = 13 / 1,53^{0,75} = 9,45$$

Substituindo estes valores na expressão do volume virá então:

$$C = 0,0137 (Z - 65)^{1,93}$$

em que C é o custo de construção da barragem em milhões de Reais e Z a cota do coroamento.

A este custo será necessário adicionar os encargos referentes às desapropriações das zonas inundáveis e da faixa de proteção do reservatório. Considerou-se para estes encargos um valor médio de \$R400 por ha, tendo-se considerado que a área a desapropriar compreende toda a área abaixo da cota do coroamento da barragem, ou seja, 5 m acima do nível máximo no reservatório.

5 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO

5.1 - Descrição do método utilizado

O reservatório de Aracoiaba será integrado num vasto sistema que compreende diversas origens d'água, canais, adutoras e estações de tratamento. Deste modo, a sua exploração real deverá ser efetuada em conjunto com as outras origens d'água, de modo a maximizar o seu potencial conjunto.

No entanto, nesta fase preliminar dos estudos em que se pretende essencialmente definir as principais características do reservatório (nomeadamente a sua capacidade), considerou-se o reservatório isolado, satisfazendo uma demanda específica que não depende do estado do resto do sistema de abastecimento à zona metropolitana de Fortaleza.

Nestas condições, e com base nos valores das afluições mensais e da capacidade de armazenamento do reservatório anteriormente apresentadas, procedeu-se à simulação da exploração do reservatório, utilizando-se um programa de cálculo automático que se descreve sucintamente de seguida.

O programa procede ao balanço mensal do reservatório, utilizando a expressão seguinte:

$$V_{\text{final}} = V_{\text{inicial}} + V_{\text{afl}} - V_{\text{for}} - V_{\text{ver}} - V_{\text{eva}}$$

em que V_{final} é o volume armazenado no final do ciclo, V_{inicial} é o volume armazenado no início do ciclo, V_{afl} é a vazão afluente durante o período, V_{for} é o volume fornecido para satisfazer a demanda, V_{ver} é o volume descarregado pelo vertedouro e V_{eva} é o volume perdido por evaporação.

No início do ciclo o programa adiciona à água contida no reservatório a vazão afluente. Seguidamente verifica o volume acumulado no reservatório. Se esse volume for superior a um dado valor, o programa retira ao volume acumulado o volume necessário para satisfazer a totalidade da demanda; se for inferior a esse valor o programa fornece apenas uma percentagem da demanda (mês com restrição) ou, não havendo água suficiente, fornece apenas o volume disponível. De seguida, o programa calcula a área exposta do reservatório (utilizando a expressão apresentada anteriormente), calcula as perdas de água por evaporação, utilizando os valores de altura de evaporação indicados no Quadro 3, e retira esse valor ao volume armazenado. Finalmente, o programa verifica se o volume armazenado é superior à capacidade da albufeira e, se tal for o caso, descarrega o volume excedente.

Os anos em que não seja possível satisfazer pelo menos 95% da demanda são contabilizados pelo programa como anos de falha.

Para a distribuição mensal da demanda, considerou-se uma variação sinusoidal, com um máximo nos meses de Janeiro e Fevereiro correspondente a 110% da demanda média anual. Os valores obtidos estão indicados no Quadro 6.

QUADRO 6 - DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA DEMANDA (%)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Demanda	9,1	9,1	8,9	8,5	8,1	7,7	7,5	7,5	7,7	8,1	8,5	8,9	100,0

A introdução de restrições ao fornecimento quando o volume armazenado desce abaixo de certo valor crítico, terá por objetivo evitar que o reservatório se esvazie totalmente e que sejam impostas restrições excessivamente severas ao consumo.

A consideração de níveis de restrição (que variarão ao longo do ano, tomando a forma de curvas-guia) será essencial na fase de exploração. No entanto, nesta fase em que se comparam diferentes alternativas, a utilização de curvas-guia dificultará essa análise. Por este motivo, procedeu-se a uma simulação simplificada, sem níveis de restrição, em que o reservatório satisfaz a totalidade da demanda se houver água suficiente; caso contrário será fornecido apenas o volume disponível.

5.2 - Resultados obtidos

Utilizando a metodologia anteriormente descrita, procedeu-se à simulação da exploração do reservatório, considerando-se capacidades úteis compreendidas entre 100 e 300 hm³.

Para cada capacidade do reservatório procurou-se a demanda que podia ser integralmente satisfeita em 95% e em 90% dos anos.

Os resultados obtidos encontram-se resumidos nos Quadros 7.1 e 7.2, e nas Figuras 5.1 e 5.2.

Nesses Quadros indica-se para cada capacidade do reservatório o nível máximo (considerando-se 10 hm³ de volume morto), a cota do coroamento da barragem (considerando-se uma folga de 5 m), a demanda anual que pode ser satisfeita em 95 ou 90% dos anos, o volume médio fornecido (o qual é inferior à demanda devido à não satisfação integral desta nos anos de falha), o volume médio perdido por evaporação e ainda o volume médio evacuado pelo vertedouro.

Apresenta-se ainda o volume do corpo da barragem, a área a desapropriar e o custo das obras e da desapropriação.

Finalmente, na última coluna, apresenta-se o custo da água regularizada no pé da barragem, considerando-se os custos e benefícios atualizados ao ano de entrada em serviço da obra a uma taxa de 8%, num cenário de preços constantes (admitiu-se uma fase de construção de 2 anos e encargos de manutenção anual correspondentes a 1% do custo da obra).

Como se pode observar, o volume regularizável cresce continuamente com o aumento da capacidade do reservatório, embora mais lentamente para maiores capacidades. No entanto, não se nota um ponto de inflexão nítido; só para capacidades de armazenamento muito elevadas, da ordem de 300 hm³, o aumento da capacidade de regularização se torna marginal.

Em termos de custos da água, verifica-se um mínimo para uma capacidade de armazenamento da ordem de 120 hm³; no entanto, para capacidades superiores o custo cresce muito lentamente, o que significa que o aumento da capacidade para além da capacidade de custo mínimo será sem dúvida interessante. Convém notar que a alternativa ao aumento da capacidade do açude de

QUADRO 7.1 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE ARACOIABA

(Exploração sem restrições, garantia de satisfação integral da demanda em 95% dos anos) $= 2,72 \text{ m}^3/\text{p}$.

Capacidade útil (hm3)	Cota reservatório (m)	Cota coroamento (m)	Demanda anual (hm3)	Volume fornecido (hm3/ano)	Volume evaporado (hm3/ano)	Volume vertido (hm3/ano)	Volume barragem (hm3)	Área a desapropriar (ha)	Custo obra 10e\$R	Custo água (\$R/m3)
100	91,1	96,1	68	66,4	9,6	79,0	1,12	1903	11,0	0,0157
120	92,5	97,5	75	73,0	10,5	71,4	1,25	2091	12,0	0,0156
140	93,8	98,8	80	77,8	11,5	65,6	1,38	2268	12,9	0,0158
160	95,0	100,0	84	81,7	12,3	60,8	1,50	2436	13,8	0,0160
180	96,0	101,0	88	85,4	13,0	56,2	1,63	2597	14,6	0,0163
200	97,0	102,0	91	88,4	13,8	52,4	1,75	2751	15,4	0,0166
220	98,0	103,0	93	90,5	14,5	49,4	1,86	2900	16,2	0,0170
240	98,9	103,9	95	92,6	15,2	46,5	1,97	3045	17,0	0,0174
260	99,7	104,7	97	94,6	15,9	43,7	2,09	3185	17,7	0,0177
280	100,5	105,5	99	96,7	16,5	41,0	2,20	3321	18,4	0,0180
300	101,3	106,3	101	98,7	17,1	38,3	2,30	3454	19,0	0,0183
350	103,0	108,0	104	102,1	18,8	32,8	2,57	3773	20,7	0,0192
400	104,7	109,7	107	105,6	20,4	27,5	2,82	4075	22,2	0,0199

QUADRO 7.2 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE ARACOIABA

(Exploração sem restrições, garantia de satisfação integral da demanda em 90% dos anos) = $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Capacidade útil (hm ³)	Cota reservatório (m)	Cota coroamento (m)	Demanda anual (hm ³)	Volume fornecido (hm ³ /ano)	Volume evaporado (hm ³ /ano)	Volume vertido (hm ³ /ano)	Volume barragem (hm ³)	Área a desapropriar (ha)	Custo obra 10e\$R	Custo água (\$R/m ³)
100	91,1	96,1	73	70,6	9,2	75,2	1,12	1903	11,0	0,0148
120	92,5	97,5	81	77,9	10,0	67,1	1,25	2091	12,0	0,0146
140	93,8	98,8	86	82,5	10,9	61,4	1,38	2268	12,9	0,0149
160	95,0	100,0	90	86,3	11,7	56,9	1,50	2436	13,8	0,0152
180	96,0	101,0	93	89,0	12,5	53,0	1,63	2597	14,6	0,0156
200	97,0	102,0	96	92,1	13,2	49,3	1,75	2751	15,4	0,0159
220	98,0	103,0	99	94,9	13,8	45,8	1,86	2900	16,2	0,0162
240	98,9	103,9	102	97,7	14,3	42,3	1,97	3045	17,0	0,0165
260	99,7	104,7	105	100,6	14,8	38,9	2,09	3185	17,7	0,0167
280	100,5	105,5	108	103,4	15,2	35,5	2,20	3321	18,4	0,0169
300	101,3	106,3	111	106,2	15,7	32,0	2,30	3454	19,0	0,0170
350	103,0	108,0	116	111,2	16,9	25,6	2,57	3773	20,7	0,0176
400	104,7	109,7	120	115,1	17,9	20,5	2,82	4075	22,2	0,0183

FIGURA 5.1 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO
Exploração sem restrições, garantia de fornecimento em 95% dos anos

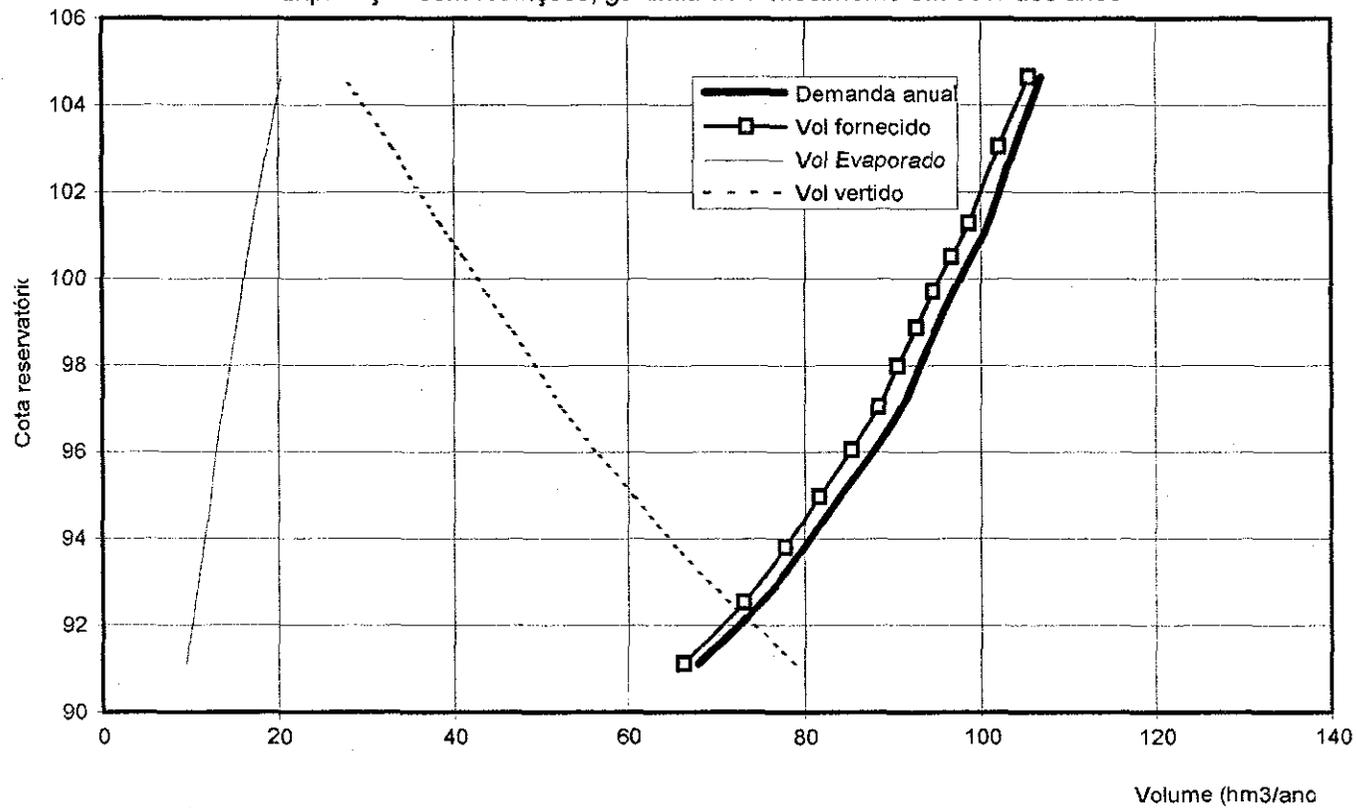
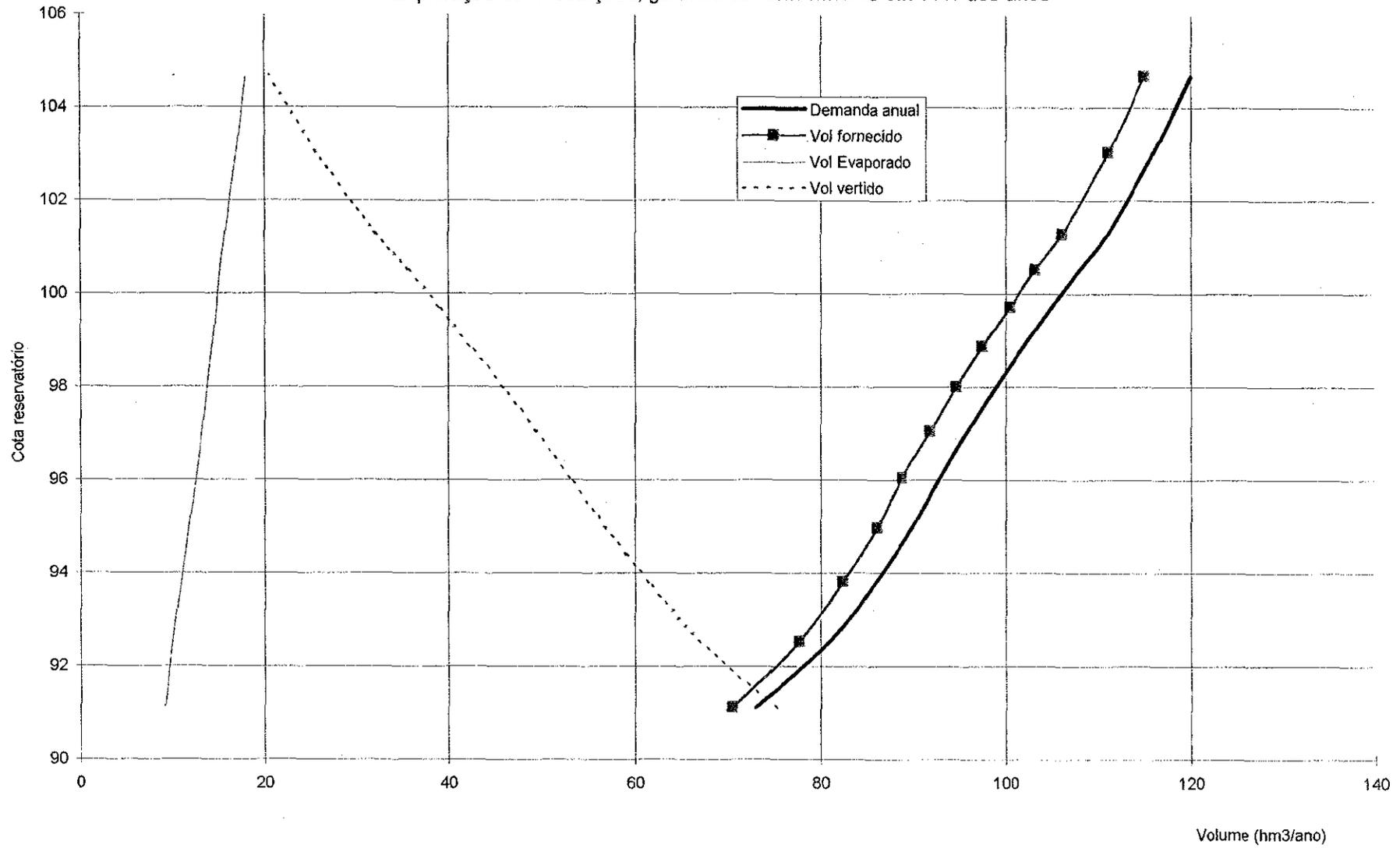


FIGURA 5.2 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO
 Exploração sem restrições, garantia de fornecimento em 90% dos anos



Aracoiaba será a construção a curto prazo de novas barragens e respectivos sistemas adutores, os quais serão provavelmente menos vantajosos em termos de custos.

Sendo muito lenta a variação de custos, torna-se claro que o açude de Aracoiaba deverá ser construído de modo a criar a maior capacidade de armazenamento possível. Uma vez que essa capacidade está fisicamente limitada pelo fato de não poder ser excedida da cota (95) para o nível máximo de armazenamento, deverá ser este o valor a adotar.

Para o reservatório com nível máximo à cota (95), a capacidade útil do reservatório será da ordem de 160 hm^3 . Deste modo, poderá satisfazer-se uma demanda da ordem de $84 \text{ hm}^3/\text{ano}$, se se exigir uma garantia de satisfação total da demanda em 95% dos anos. A demanda poderá ser elevada até $90 \text{ hm}^3/\text{ano}$ se se aceitar uma garantia de satisfação total em apenas 90% dos anos.

Nas figuras 6.1 e 6.2 indicam-se para estes dois casos a flutuação do volume armazenado no reservatório e os volumes fornecidos. Os resultados da simulação indicam que, para os dois casos referidos o nível médio da superfície do reservatório estará às cotas (91,2) e (90,4), respectivamente.

FIGURA 6.1 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO
Nível máximo à cota 95. Demanda 84 hm³/ano. Exploração sem restrições.

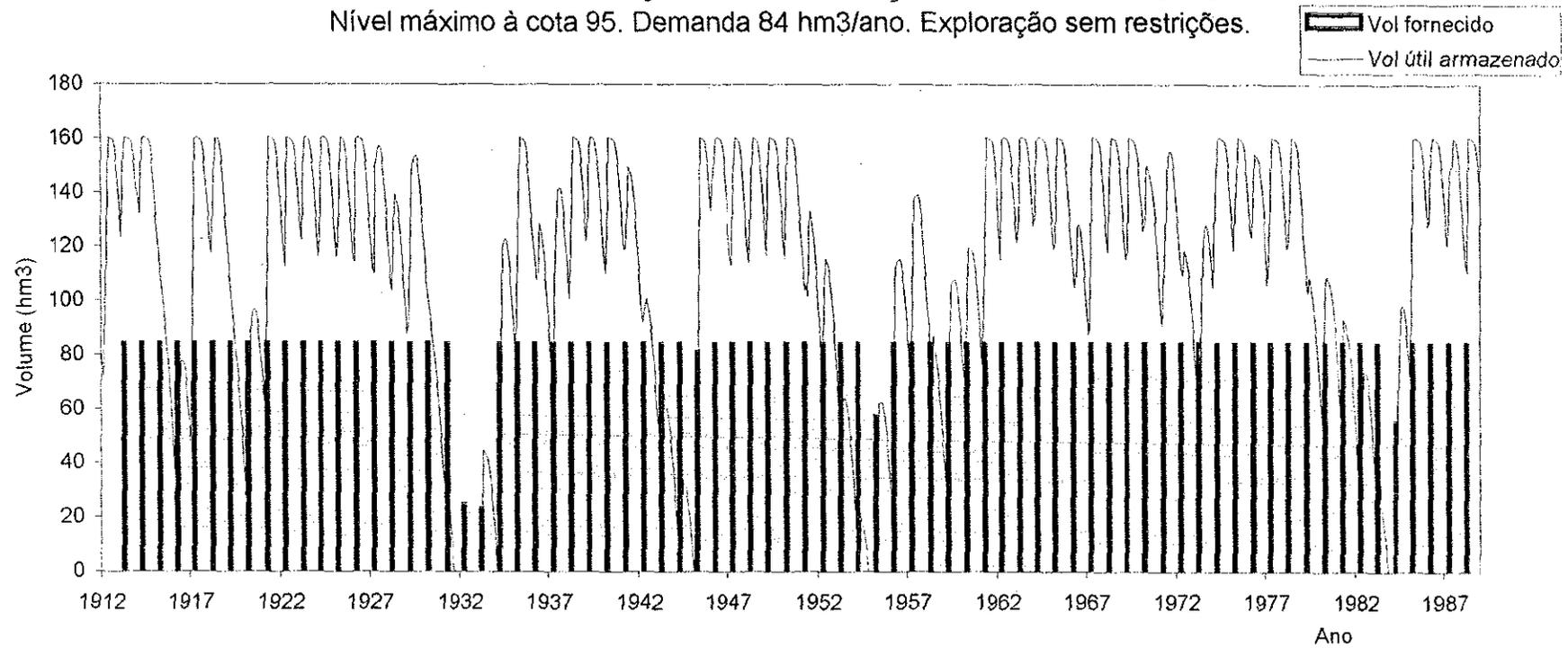
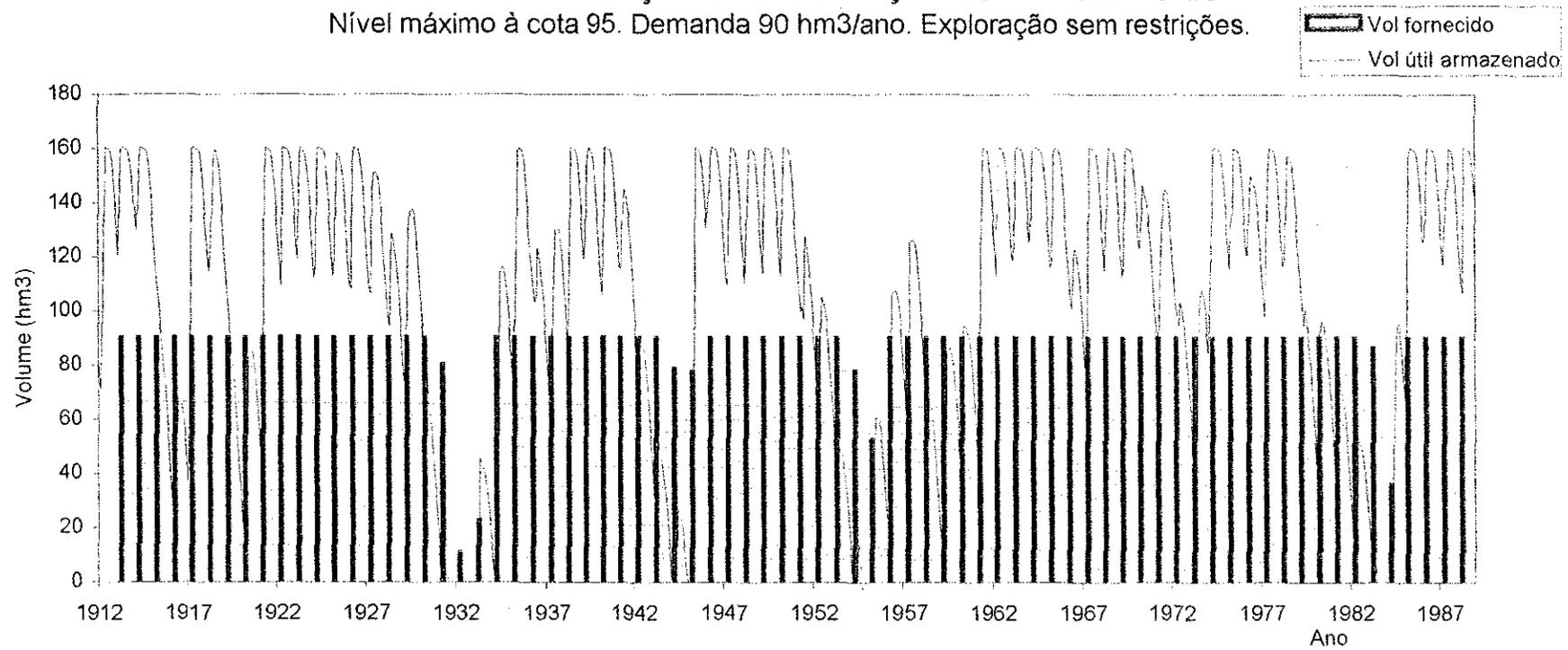


FIGURA 6.2 - SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO RESERVATÓRIO
Nível máximo à cota 95. Demanda 90 hm³/ano. Exploração sem restrições.



6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os estudos efetuados mostram claramente que o local do açude de Aracoiaba apresenta um potencial hídrico que só poderá ser totalmente explorado se se dispuser de uma capacidade de armazenamento bastante superior à que, por razões topográficas e sociais, pode ser conseguida.

Deste modo, o desenvolvimento racional do local implicará a criação do maior reservatório possível, com nível máximo normal à cota (95,0). A esta cota, o reservatório terá uma capacidade total de 170 hm^3 , dos quais 160 hm^3 serão úteis.

Com esta capacidade será possível regularizar um volume total da ordem de $84 \text{ hm}^3/\text{ano}$, se se exigir uma garantia de satisfação total em 95% dos anos, o qual poderá subir até $90 \text{ hm}^3/\text{ano}$ se se aceitar uma garantia de satisfação total em apenas 90% dos anos.

Os consumos de água para irrigação são difíceis de constabilizar, uma vez que esta será uma atividade informal, em que os pequenos proprietários na orla do reservatório tenderão a proceder a pequenas captações para rega das suas propriedades mais próximas. Sendo o perímetro do reservatório da ordem de 20 km, e admitindo a rega de 50% dos solos até uma distância de 250 m do reservatório, serão regados até 250 ha. Considerando uma dotação média de $8000 \text{ m}^3/\text{ha}$, poderá estimar-se um consumo de água para rega de até $2 \text{ hm}^3/\text{ano}$

Uma vez que a demanda local a satisfazer (alimentação urbana dos municípios de Aracoiaba e de Baturité), não atinge $4 \text{ hm}^3/\text{ano}$, poderão então ser disponibilizados entre 78 e $84 \text{ hm}^3/\text{ano}$ para reforço do abastecimento à zona metropolitana de Fortaleza, o que corresponde a uma vazão média da ordem de $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tendo em conta a variabilidade do pedido ao longo do ano, e o facto de o reservatório de Aracoiaba, integrado num sistema mais vasto, poder vir operar de forma irregular, a capacidade do órgão de tomada de água deverá ser significativamente superior a este valor, da ordem de 7,5 a $10,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

O custo da água, fornecida no pé da barragem, será da ordem de \$R 0,0160 por m^3 .