

**ELABORAÇÃO DA DECLARAÇÃO DE RESERVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA  
E DE ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO  
DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ**

**ETAPA V  
RELATÓRIO FINAL**

**TOMO 3  
PCH DO AÇUDE BANABUIÚ**

**1. INTRODUÇÃO**

No presente Tomo 1 do relatório da “ETAPA V – RELATÓRIO FINAL” apresentam-se os dados específicos relativos à Pequena Central Hidrelétrica (PCH) do Açude Banabuiú e são definidas as características de dimensionamento adotadas para esse aproveitamento.

No Tomo 0, relativo à Memória Geral, foram apresentados os estudos realizados que conduziram à definição das características principais desta PCH, sendo nos parágrafos seguintes efetuada a descrição da solução adotada.

No Capítulo 2 é indicada a localização do aproveitamento hidrelétrico e apresentadas as suas características de dimensionamento principais, incluindo os aspectos hidrológicos e de produção de energia.

O Capítulo 3 refere-se à implantação da PCH, à descrição das estruturas e à definição dos equipamentos electromecânicos e instalações elétricas.

Em anexo é incluído um desenho com a localização do aproveitamento e a delimitação da respectiva bacia hidrográfica (Anexo 1), são apresentadas fotografias do local de implantação da PCH (Anexo 2) e são resumidos os resultados da simulação da exploração do aproveitamento (Anexo 3).

## **2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PCH**

### **2.1. LOCALIZAÇÃO**

No projeto do açude Banabuiú foi prevista a construção, numa segunda fase, de uma central hidrelétrica no pé-de-barragem, tendo sido identificado um local para a sua implantação, adjacente à câmara das válvulas dispersoras da tomada de água, do lado da margem esquerda. A PCH do açude Banabuiú será assim implantada no pé-de-barragem desse açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água.

A captação de vazões para a central hidrelétrica foi prevista através de um derivante, situado a poucos metros da câmara das válvulas dispersoras. Embora estivesse previsto desde o início a implantação dessa usina, não é conhecido se as estruturas foram construídas de forma a facilitar a futura alimentação das turbinas, designadamente se terá sido executado um derivante na tubulação da tomada de água com um trecho de tubulação com junta cega (calote esférica) preparado para ser posteriormente prolongado. A existir essa tubulação, estará enterrada sob a plataforma da câmara das válvulas dispersoras, não sendo portanto visível.

Na margem esquerda, a poucos metros de distância da câmara das válvulas dispersoras, existe uma plataforma que apresenta condições de área, cota e fundação que se julgam adequadas à implantação da usina.

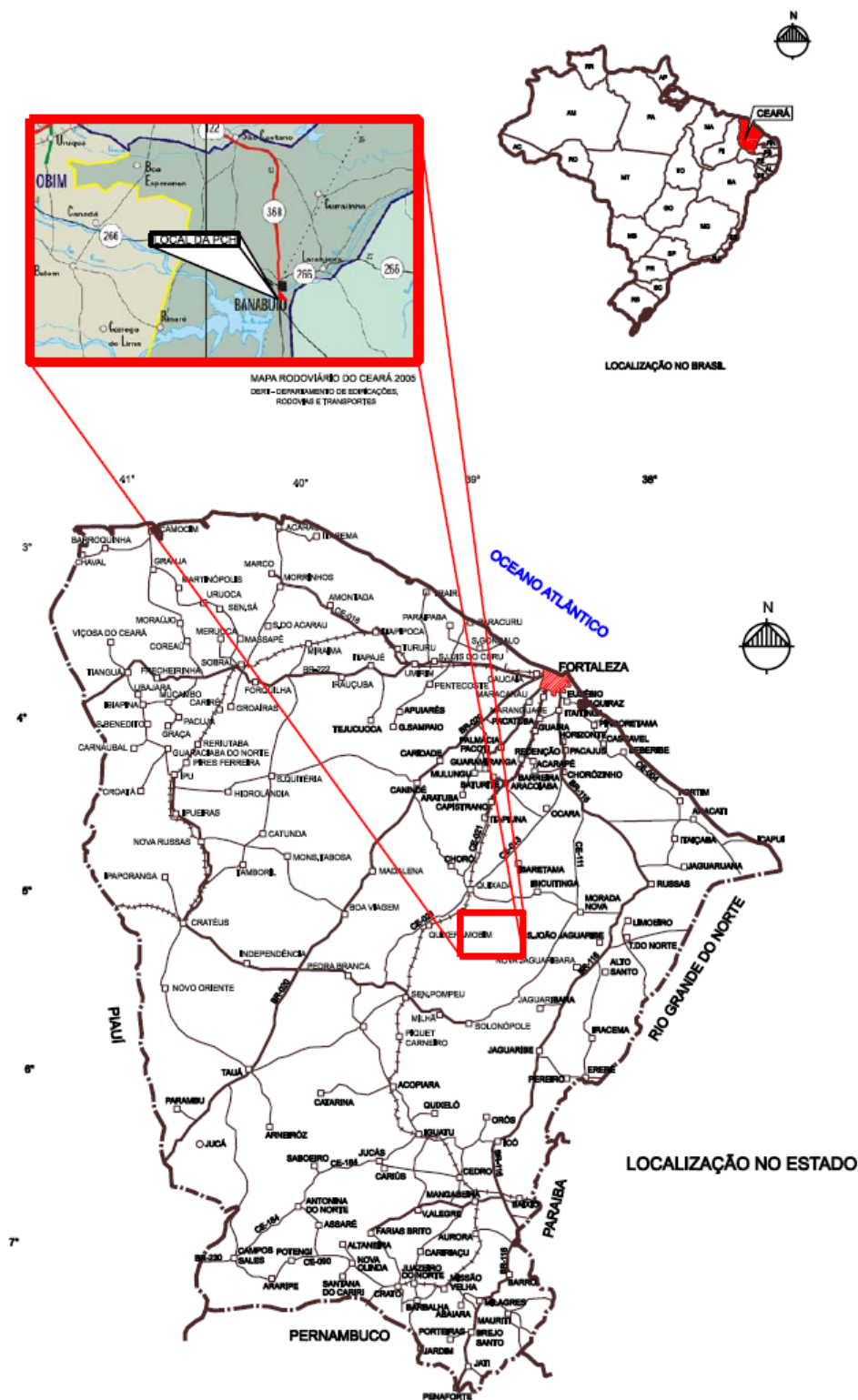
Na Figura 2.1 apresenta-se a localização da PCH e respectivos acessos. No Anexo 1 é delimitada a bacia hidrográfica definida pelo açude do aproveitamento.

No Anexo 2 são apresentadas fotografias que mostram as infra-estruturas existentes e a localização prevista para a PCH.

### **2.2. AÇUDE BANABUIÚ**

O açude Banabuiú situa-se no município de Banabuiú, na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, no Alto Jaguaribe, a cerca de 230 km de Fortaleza. Atualmente é o terceiro açude mais importante do Estado do Ceará.

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Localização e acesso à PCH do açude Banabuiú

O açude Banabuiú barra o rio com o mesmo nome, aproximadamente a 5 km da cidade de Banabuiú-CE. A partir de Fortaleza, o acesso é feito pela rodovia CE-060. Depois de Quixadá, aproximadamente ao km 164, dobra-se à esquerda em direção a Banabuiú, seguindo pela BR122. O acesso ao local do barramento é feito por uma estrada asfaltada em boas condições.

O açude Banabuiú (barragem Arrojado Lisboa), concluído em 1966, tem por objetivo principal a perenização do rio Jaguaribe para irrigação no Baixo Jaguaribe, nomeadamente do Projeto de Irrigação de Morada Nova (10 000 ha). Outras utilizações desta barragem são o controlo de cheias, a piscicultura e culturas agrícolas de áreas a montante.

A implantação de uma usina hidrelétrica em pé-de-barragem no açude Banabuiú foi prevista numa segunda fase de execução do aproveitamento, pelo que um dos condicionantes básicos para a definição da PCH é o conhecimento das características das estruturas desse açude.

## **2.3. CARACTERÍSTICAS DE DIMENSIONAMENTO**

### **2.3.1. Queda bruta e queda útil**

A queda bruta disponível no aproveitamento corresponde à diferença entre os níveis de água a montante e a jusante, sendo em consequência variável em função do nível de água no reservatório a montante.

Da consideração das perdas de carga no circuito hidráulico, também variáveis em função da vazão turbinada, resulta a determinação da queda útil disponível para produção de energia.

Considerou-se que a queda útil nominal corresponde ao nível de água no reservatório a montante à cota 140,50 m (2,00 m inferior ao nível máximo normal, NNR, de 142,50 m), ou seja aproximadamente igual ao nível médio da superfície da água no reservatório nos períodos de produção de energia.

A queda máxima disponível é definida essencialmente pelo nível máximo no reservatório, verificando-se contudo que para níveis de água superiores ao valor nominal poderá ser necessário limitar a vazão turbinada de forma a que a turbina não exceda a potência máxima permitida pelos alternadores (geralmente admite-se que os alternadores poderão funcionar até 115% da potência nominal respectiva).

A queda mínima disponível é definida essencialmente pelo nível mínimo de exploração do reservatório, podendo contudo ser também condicionada pelos limites de operação das

turbinas. No presente caso o nível mínimo de exploração do reservatório para abastecimento de água encontra-se à cota 180,00 m, o que não garante uma queda útil disponível compatível com as características de funcionamento das turbinas (o tipo de grupos previstos permite o funcionamento até uma potência mínima de cerca de 35% da potência nominal instalada). Definiu-se assim um nível mínimo de exploração para turbinamento à cota 125,50 m, que assegura a potência disponível mínima necessária para operação das turbinas.

O nível de água a jusante da PCH corresponde ao nível no canal de restituição (comum à das válvulas dispersoras), sendo diretamente variável em função da vazão turbinada em cada instante.

A jusante considera-se como valor nominal o nível de água correspondente ao turbinamento da vazão nominal, ou seja a cota 94,00 m. O nível máximo de água a jusante, em situação de cheia, corresponderá a um valor ligeiramente inferior à cota da plataforma de implantação da válvulas dispersoras. A cota da plataforma existente (aproximadamente 97,00 m) será também adotada para a implantação da plataforma de acesso à central.

Resultam assim os seguintes valores de cálculo:

- Nível de água a montante
  - Máximo (NNR / Controlo de cheias) ..... 142,50 / 145,35 m
  - Nominal ..... 140,50 m
  - Mínimo (abastecimento / turbinamento)..... 110,00 / 125,50 m
- Nível de água a jusante
  - Máximo (situação de cheia ~ cota da plataforma) ..... 97,00 m
  - Nominal (vazão máxima de turbinamento) ..... 94,50 m
  - Mínimo (vazão mínima de turbinamento)..... 94,50 m
- Queda bruta
  - Máximo..... 50,85 m
  - Nominal ..... 46,0 m
  - Mínimo ..... 31,0 m
- Perda de carga máxima..... 2,0 m
- Queda útil
  - Máximo..... 48,85 m
  - Nominal ..... 44,0 m
  - Mínimo ..... 29,0 m

### **2.3.2. Vazão de equipamento**

Em resultado dos estudos de otimização econômica realizados (ver Tomo 0 – Memória Geral), foi considerada a execução da PCH em duas fases, tendo sido adotados os seguintes valores de vazão de equipamento e respetiva potência instalada:

- 1ª Fase
  - Número de grupos ..... 1
  - Vazão nominal de equipamento ..... 12 m<sup>3</sup>/s
  - Potência instalada..... 4,40 MW
  
- 2ª Fase (valores totais, incluindo a 1ª Fase)
  - Número de grupos ..... 2
  - Vazão nominal de equipamento ..... 24 m<sup>3</sup>/s
  - Potência instalada..... 8,80 MW

### **3. SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO**

#### **3.1. DADOS DE CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO**

##### **3.1.1. Considerações prévias**

Os estudos de simulação da exploração realizados para o aproveitamento visam a definição da capacidade de regularização de vazões para abastecimento e para irrigação, bem como o potencial disponível para produção de energia hidrelétrica.

Esta quantificação é efetuada através da utilização de um modelo de simulação hidráulica da exploração do aproveitamento (SIMPCH), desenvolvido especificamente para o presente estudo, descrito no Tomo 0 do presente relatório. Este programa considera os escoamentos afluentes, as demandas hídricas na bacia, o estado de enchimento do reservatório e as regras de operação estabelecidas para o aproveitamento.

Atendendo à grande capacidade de armazenamento do reservatório, a simulação da exploração é efetuada a nível mensal, tendo-se considerado uma série histórica de 83 anos hidrológicos de deflúvios mensais. Esta série pode considerar-se bastante longa, sendo assim possível obter valores médios da capacidade de regularização do açude e de produção de energia com razoável grau de segurança.

Nas seções seguintes indicam-se os dados de entrada do modelo de simulação e são apresentados os resultados obtidos para a configuração adotada.

##### **3.1.2. Bacia hidrográfica**

O açude Banabuiú, situa-se no rio Jaguaribe próximo da localidade de Banabuiú, dominando uma área de drenagem não controlada de 2 853 km<sup>2</sup>, e uma bacia hidrográfica total de 12 672 km<sup>2</sup> (ver desenho em anexo).

A vazão afluente média anual é estimada em 766,8 hm<sup>3</sup>/ano (24,3 m<sup>3</sup>/s), ou seja uma altura de escoamento de 60,5 mm.

No Quadro 3.1 apresentam-se as principais características da bacia hidrográfica definidas na seção do açude.

**Quadro 3.1**

**Características da bacia hidrográfica na seção do açude**

Açude / Aproveitamento	Linha de água	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitação média anual (mm)	Escoamento médio anual		
				(mm)	(hm <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)
Banabuiú	Jaguaribe	12 672	791,0	60,5	766,8	24,3

### 3.1.3. Escoamentos

A série de escoamentos gerados na bacia hidrográfica do açude Castanhão, utilizada para o presente estudo e apresentada no Quadro 3.2, corresponde a deflúvios mensais para um período de 83 anos.

Na Figura 3.1 são representados os escoamentos anuais e na Figura 3.2 os escoamentos médios mensais.

### 3.1.4. Evaporação

A evaporação ao nível do reservatório admite-se constante em cada ano ao longo do período de simulação. Foram utilizados valores médios mensais da evaporação registados na estação climatológica de Quixeramobim a, que se considera característica da região.

A evaporação no reservatório é considerada igual a 70% da evaporação registada em tina classe A. Com base na evaporação no reservatório e na precipitação média mensal (nas bacias hidrográficas), determinou-se a evaporação real. Valores negativos da evaporação real significam um excesso de precipitação direta no reservatório.

No Quadro 3.3 apresentam-se os valores da precipitação e evaporação real considerados no cálculo da evaporação real no reservatório.



# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Quadro 3.2 (1/2)

## Açude Banabuiú - Série de escoamentos mensais afluentes

Ano	Escoamento mensal (hm³)												Total anual (hm³)	Total anual (m³/s)
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
1914	274.96	46.61	13.12	4.56	3.50	0.36	19.77	0.57	0.08	0.12	0.16	0.07	363.9	11.53
1915	1.20	0.10	4.49	41.88	0.99	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	74.16	123.3	3.91
1916	21.14	0.89	284.25	72.43	166.19	14.10	0.46	0.08	0.07	0.08	1.57	0.24	561.5	17.79
1917	365.83	478.20	1179.90	255.59	344.39	145.89	39.86	0.77	0.07	0.08	0.14	0.24	2811.0	89.07
1918	19.87	51.07	89.95	114.42	75.24	32.60	2.12	0.17	0.07	0.07	0.07	0.08	385.7	12.22
1919	11.63	6.44	0.28	0.26	0.08	0.08	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	19.2	0.61
1920	0.07	0.11	602.02	585.32	201.29	82.86	18.32	0.33	0.07	0.08	0.07	0.08	1490.6	47.24
1921	4.04	209.68	525.88	406.32	340.36	112.45	33.98	2.47	0.07	0.08	0.59	0.07	1636.0	51.84
1922	0.15	90.95	13.89	1188.98	256.89	135.15	67.37	9.71	0.72	0.07	4.22	114.19	1882.3	59.65
1923	0.21	210.27	64.28	199.82	22.32	6.99	2.66	0.15	0.07	0.07	0.08	0.08	507.0	16.07
1924	8.67	725.55	978.92	3568.88	572.95	279.12	133.02	20.68	0.17	0.09	0.13	0.24	6288.4	199.27
1925	132.33	100.73	174.06	260.36	50.54	12.34	3.18	0.08	0.29	0.11	0.07	0.09	734.2	23.27
1926	0.21	117.01	345.99	202.38	99.24	31.67	1.63	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	798.5	25.30
1927	0.16	67.31	148.41	93.47	34.16	5.81	0.13	0.07	0.07	0.07	0.07	3.15	352.9	11.18
1928	0.11	0.09	193.75	235.12	60.46	5.61	0.23	0.07	0.07	0.08	0.10	4.00	499.7	15.83
1929	1.42	110.38	283.88	158.25	76.91	28.23	6.17	0.07	0.07	0.07	0.07	4.00	669.5	21.22
1930	0.32	0.52	150.12	48.11	14.88	1.67	0.58	0.07	0.07	0.18	0.08	0.07	216.7	6.87
1931	0.19	78.77	44.45	14.92	3.59	0.15	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.35	142.8	4.52
1932	1.50	0.43	0.91	0.81	0.10	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	4.3	0.13
1933	14.53	36.58	161.63	449.11	94.06	12.53	0.32	0.08	0.07	0.07	0.40	0.18	769.5	24.39
1934	1.55	49.93	648.42	200.19	249.71	78.65	18.33	1.32	0.07	0.07	0.08	0.36	1248.7	39.57
1935	0.88	135.36	179.84	301.52	210.13	60.41	11.59	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	900.1	28.52
1936	0.10	111.46	101.52	4.51	5.67	0.71	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	224.4	7.11
1937	0.25	133.05	108.13	245.35	44.51	9.19	1.46	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	542.3	17.18
1938	0.12	0.11	414.46	147.58	68.26	12.71	0.13	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	643.7	20.40
1939	0.08	87.99	272.00	35.79	11.31	2.55	0.09	0.07	0.07	0.08	0.24	0.07	410.4	13.00
1940	0.75	11.15	660.91	462.96	251.55	143.08	50.51	5.66	0.08	0.07	0.07	0.15	1586.9	50.29
1941	0.20	1.19	399.82	37.03	20.28	2.16	0.11	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	461.1	14.61
1942	0.19	34.12	2.37	0.57	0.21	0.07	0.07	0.08	0.07	1.12	0.09	0.13	39.1	1.24
1943	0.12	21.77	187.06	76.34	9.05	0.61	0.12	0.08	0.07	0.07	0.07	0.10	295.5	9.36
1944	0.29	0.41	21.64	130.34	22.44	3.04	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	42.86	221.4	7.02
1945	6.63	84.81	39.38	47.20	204.23	16.91	1.08	0.08	0.07	0.09	0.08	0.47	401.0	12.71
1946	13.12	17.18	24.67	55.83	13.54	1.47	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	7.75	133.9	4.24
1947	0.40	0.99	309.72	307.00	105.39	15.65	3.01	0.08	0.07	0.07	1.35	0.62	744.3	23.59
1948	0.31	0.25	361.09	93.92	49.65	8.22	0.15	0.09	0.07	0.07	0.07	0.39	514.3	16.30
1949	0.11	1.34	25.65	112.55	11.71	4.96	0.14	0.08	0.07	0.08	2.26	0.28	159.2	5.05
1950	0.76	0.23	113.76	550.30	125.54	32.51	3.24	0.08	0.07	0.51	0.10	0.12	827.2	26.21
1951	0.51	0.22	2.34	56.38	5.79	1.13	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.36	67.1	2.13
1952	0.09	0.83	18.62	113.53	53.83	1.93	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.55	189.8	6.01
1953	0.08	0.39	3.38	18.20	16.83	2.90	0.07	0.07	0.07	0.07	0.29	0.10	42.5	1.35
1954	0.09	1.09	30.85	34.25	3.20	0.86	0.09	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	70.8	2.24
1955	1.46	50.00	93.77	87.19	20.83	4.93	0.29	0.08	0.07	0.07	0.07	0.71	259.5	8.22
1956	0.07	373.54	179.92	374.85	70.29	12.55	3.50	0.13	0.07	0.10	0.07	0.07	1015.2	32.17
1957	28.32	0.84	351.16	481.34	103.45	23.77	2.14	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	991.4	31.42
1958	0.14	0.14	3.74	0.51	0.24	0.08	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.08	5.3	0.17
1959	0.32	5.69	29.23	38.95	14.50	0.43	0.10	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07	89.6	2.84
1960	0.07	0.10	797.20	151.23	94.83	28.14	2.13	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	1074.1	34.04

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE

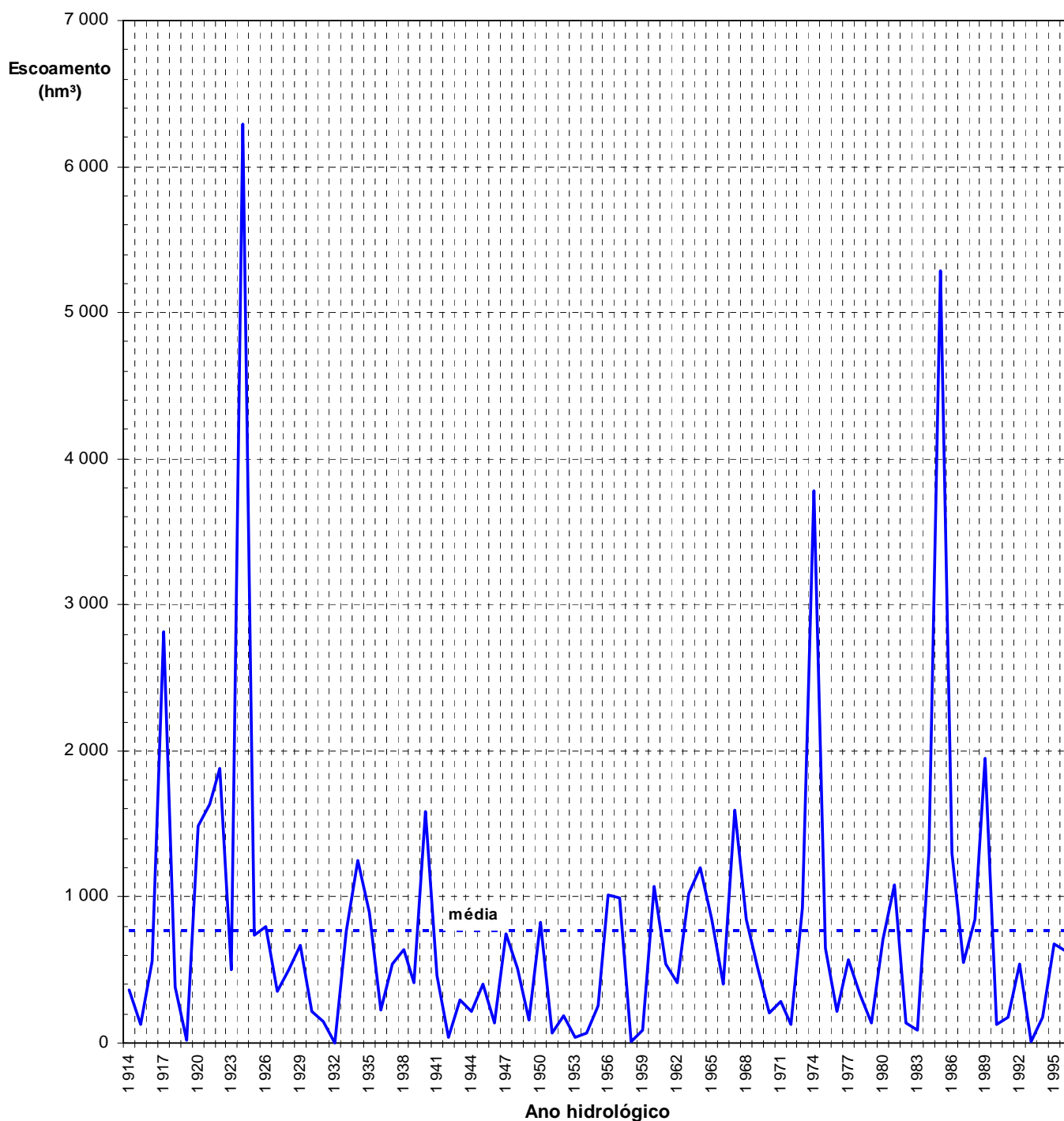


Quadro 3.2 (2/2)

## Açude Banabuiú - Série de escoamentos mensais afluentes

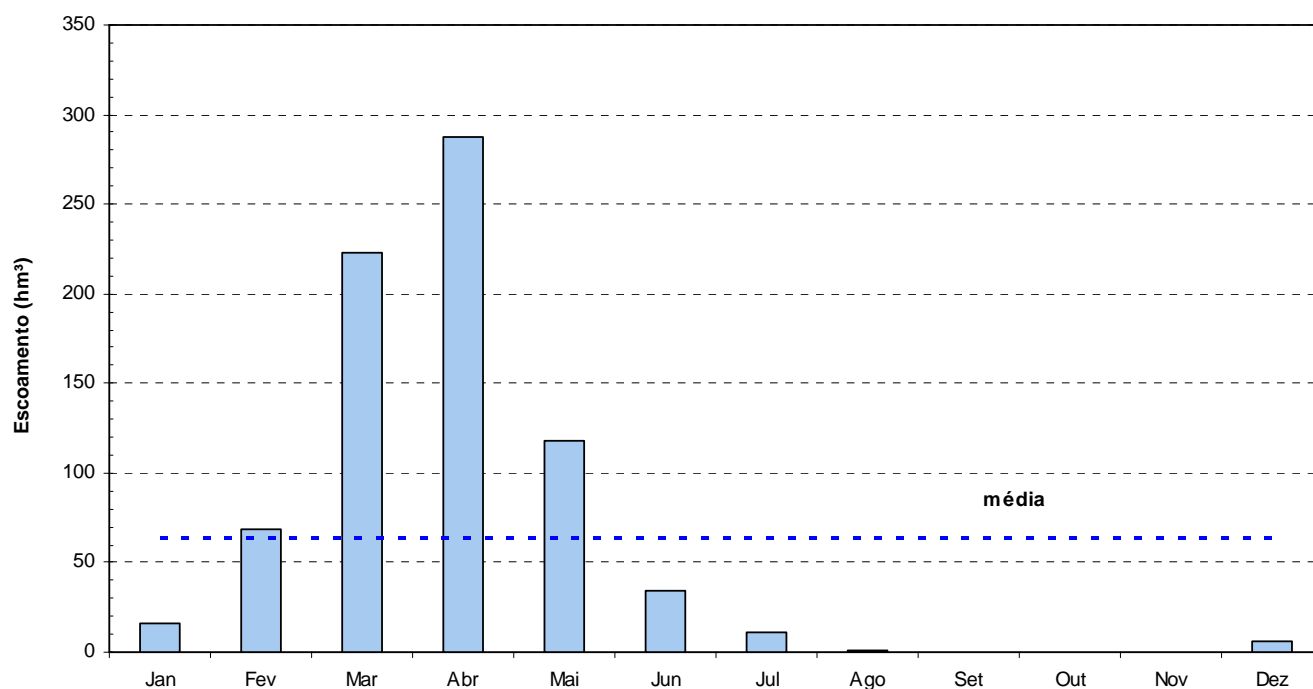
Ano	Escoamento mensal (hm³)												Total anual (hm³)	Total anual (m³/s)	
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
1961	17.70	70.05	269.87	117.39	52.18	10.48	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	3.01	541.1	17.15
1962	11.51	2.12	174.94	162.78	50.84	11.87	0.92	0.10	0.08	0.07	0.08	0.08	0.56	415.9	13.18
1963	0.93	156.92	539.62	215.14	89.64	15.73	2.08	0.07	0.07	0.08	0.31	3.45	1024.0	32.45	
1964	3.14	37.56	293.04	520.84	197.75	115.61	31.37	0.99	0.08	0.07	0.07	0.07	1200.6	38.04	
1965	0.35	0.10	78.56	456.94	213.06	84.90	15.42	0.07	0.07	0.08	0.07	0.14	849.8	26.93	
1966	0.09	334.76	25.73	13.19	21.43	5.10	0.09	0.08	0.14	0.19	0.08	0.07	401.0	12.71	
1967	0.48	82.30	291.63	640.43	462.50	93.23	24.86	2.03	0.07	0.07	0.07	0.13	1597.8	50.63	
1968	7.09	0.57	574.16	92.35	128.36	42.57	2.01	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	847.5	26.86	
1969	26.23	2.80	133.95	269.68	50.69	24.38	1.55	0.14	0.08	0.07	0.07	0.07	509.7	16.15	
1970	6.52	0.58	184.39	12.58	2.22	0.09	0.08	0.07	0.07	0.09	0.11	0.07	206.9	6.56	
1971	0.54	73.20	50.97	103.33	45.10	13.41	3.29	0.10	0.07	0.08	0.08	0.07	290.2	9.20	
1972	47.60	10.89	22.33	26.45	13.42	3.36	0.08	0.17	0.07	0.07	0.07	0.60	125.1	3.96	
1973	0.20	12.78	62.98	569.56	176.05	76.01	24.39	3.01	0.11	0.09	0.07	0.08	925.3	29.32	
1974	79.57	276.25	787.00	1935.17	394.60	211.01	93.58	4.52	0.08	0.07	0.07	0.08	3782.0	119.84	
1975	3.38	2.38	296.98	115.66	140.86	43.87	33.46	8.96	0.07	0.07	0.07	0.30	646.0	20.47	
1976	0.21	31.89	124.63	57.34	4.92	0.18	0.08	0.07	0.14	0.43	0.08	0.37	220.3	6.98	
1977	0.24	0.56	69.44	254.06	182.14	49.23	13.82	1.09	0.08	0.07	0.07	0.69	571.5	18.11	
1978	1.19	89.86	72.53	13.15	148.77	9.92	1.73	0.17	0.09	0.08	0.08	0.10	337.7	10.70	
1979	6.69	1.06	2.06	26.06	94.25	2.88	0.09	0.08	0.07	0.07	0.14	0.14	133.6	4.23	
1980	1.27	329.62	328.29	38.06	7.35	0.81	0.08	0.07	0.07	0.08	0.19	0.08	706.0	22.37	
1981	0.59	0.26	735.87	296.08	47.01	1.95	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.15	1082.3	34.30	
1982	0.34	1.83	5.39	86.78	42.01	3.23	0.08	0.07	0.07	0.07	0.13	0.08	140.1	4.44	
1983	0.09	24.60	54.03	13.33	0.15	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	92.7	2.94	
1984	0.09	0.29	206.05	769.78	211.87	90.49	24.99	2.48	0.07	0.08	0.07	0.07	1306.4	41.40	
1985	70.32	502.77	921.63	2080.92	1332.76	210.41	130.86	26.37	0.08	0.07	0.08	8.89	5285.2	167.48	
1986	1.00	31.12	466.81	435.93	215.23	106.51	36.50	6.09	0.08	0.08	0.08	0.15	1299.6	41.18	
1987	1.91	0.39	277.70	228.94	34.73	5.15	0.13	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	549.3	17.41	
1988	1.02	0.84	212.73	390.85	189.88	36.70	9.69	0.08	0.07	0.07	0.07	5.97	848.0	26.87	
1989	0.48	0.08	191.07	898.97	459.40	147.80	55.21	5.31	0.08	0.07	0.11	186.87	1945.4	61.65	
1990	13.44	0.30	0.55	38.71	76.70	0.39	0.32	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	130.8	4.14	
1991	0.29	0.64	93.44	36.15	42.28	3.82	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	177.0	5.61	
1992	82.00	176.21	76.17	192.07	12.63	2.22	0.12	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	541.8	17.17	
1993	0.09	1.62	2.39	0.82	1.02	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	6.5	0.21	
1994	5.10	3.34	11.83	106.50	20.76	21.92	5.35	0.10	0.08	0.07	0.07	4.45	179.6	5.69	
1995	25.81	1.07	138.21	378.26	91.34	35.24	9.21	0.14	0.08	0.07	1.41	0.11	680.9	21.58	
1996	4.68	8.13	83.47	170.94	329.45	30.19	2.89	0.08	0.07	0.07	0.14	0.08	630.2	19.97	
<b>Mínimo.....</b>	0.07	0.08	0.28	0.26	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	<b>4.3</b>	<b>0.13</b>	
<b>Média.....</b>	16.12	68.98	222.91	287.13	117.93	34.80	11.49	1.30	0.09	0.10	0.22	5.72	<b>766.8</b>	<b>24.30</b>	
<b>Máximo.....</b>	365.83	725.55	1179.90	3568.88	1332.76	279.12	133.02	26.37	0.72	1.12	4.22	186.87	<b>6288</b>	<b>199.27</b>	
<b>Escoamento médio mensal (m³/s)</b>															
<b>Mínimo.....</b>	0.03	0.03	0.11	0.10	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	<b>0.13</b>	-	
<b>Média.....</b>	6.02	28.26	83.22	110.77	44.03	13.42	4.29	0.49	0.03	0.04	0.09	2.14	<b>24.30</b>	-	
<b>Máximo.....</b>	136.58	297.26	440.52	1376.88	497.60	107.68	49.66	9.84	0.28	0.42	1.63	69.77	<b>199.27</b>	-	

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



**Figura 3.1**  
**Açude Banabuiú - Série de escoamentos anuais**

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



**Figura 3.2**  
**Açude Banabuiú - Escoamentos médios mensais**

**Quadro 3.3**  
**Dados climatológicos do açude Banabuiú**

Mês	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Evaporação real (mm)
Jan.	77.4	189.0	54.9
Fev.	115.1	136.9	-19.3
Mar.	211.6	102.9	-139.6
Abr.	187.0	81.8	-129.7
Mai.	88.9	83.6	-30.4
Jun.	30.1	108.2	45.6
Jul.	15.7	149.0	88.6
Ago.	4.2	206.8	140.6
Set.	5.6	245.9	166.5
Out.	9.7	282.3	187.9
Nov.	8.9	241.3	160.0
Dez.	36.7	241.8	132.5
<b>Ano</b>	<b>791.0</b>	<b>2 069.5</b>	<b>657.7</b>

### 3.1.5. Açude Banabuiú

O nível de pleno armazenamento ou normal do reservatório (NNR) do Banabuiú é fixado à cota 142,50 m, sendo a área da bacia hidráulica respectiva de 212,0 km<sup>2</sup>.

O açude Banabuiú tem uma capacidade de armazenamento total de 2 100 hm<sup>3</sup> (cota 145,35 m), incluindo o volume livre reservado para controlo de cheias. O volume de armazenamento total para o nível máximo normal no reservatório é de 1 700 hm<sup>3</sup> (cota 142,50 m do NNR) e o volume de armazenamento útil é de 1 600 hm<sup>3</sup>. O volume morto, definido pela cota 110,00 m, é de 100 hm<sup>3</sup>.

**Quadro 3.4**

**Características do açude Banabuiú**

Açude / Aproveitamento	Altura máxima (m)	Área para o NNR (km <sup>2</sup> )	Níveis no reservatório (m) (1)			Capacidade do reservatório (hm <sup>3</sup> ) (2)		
			NNR	NME	NCM	Total	Útil	Morta
Castanhão	57,7	97,7	142,50	110	-	1 700	1 600	100

(1) – NNR = Nível máximo normal do reservatório; NME = Nível mínimo de exploração (mínimo para abastecimento); NCM = Nível de capacidade morta (soleira da descarga de fundo).

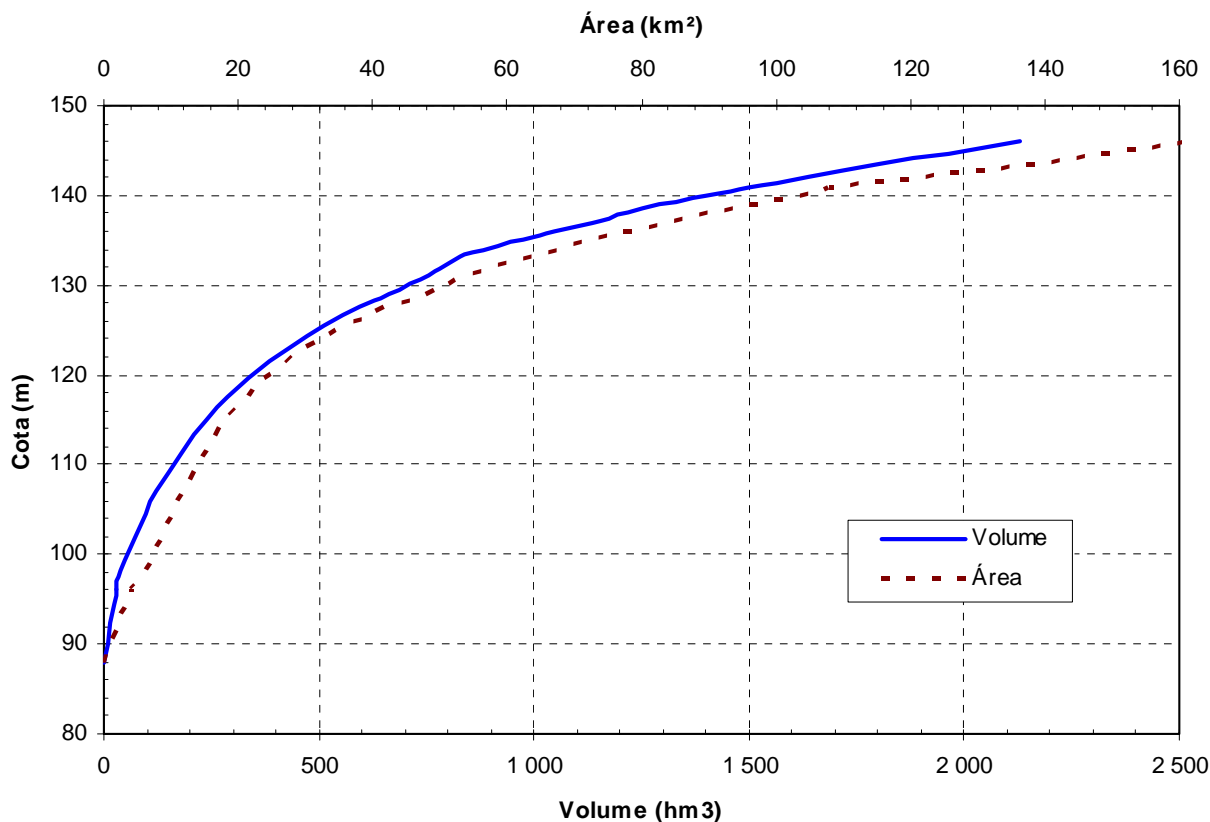
(2) – Valores para abastecimento de água.

Na Figura 3.3 apresentam-se as curvas de superfícies inundadas e de volumes armazenados (CAV) do reservatório. Os correspondentes valores de áreas e volumes são indicados no Quadro 3.5, juntamente com valores característicos de precipitação e de evaporação média mensal ao nível do reservatório.

As curvas que relacionam o volume total armazenado (V, hm<sup>3</sup>) com a cota do nível do reservatório (Z, m) e com a área inundada (A, km<sup>2</sup>), para cada um dos reservatórios, são definidas pelas expressões seguintes:

- $Z = 67,396 \times V^{0,1004} + 0,23$
- $A = + 0,0007474 V - 0,001076$

Estas expressões são válidas para cotas no reservatório entre o nível mínimo de exploração e o nível máximo normal do reservatório.



**Figura 3.3**

**Curvas de superfícies e de volumes do açude Banabuiú**

**Quadro 3.5**

**Curvas de superfícies e de volumes do açude Banabuiú**

Cota (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Volume (hm <sup>3</sup> )
88.0	0.0	0.0
96.0	4.0	29.2
97.6	6.0	35.0
107.0	12.0	123.3
115.0	18.0	240.0
119.7	24.0	334.0
123.0	30.0	426.7
125.5	36.0	511.7
127.6	42.0	592.3
128.9	48.0	661.3
131.0	54.0	753.3
132.5	60.0	803.3
133.6	66.0	858.3
135.0	72.0	973.3
136.0	78.0	1 050.0
137.0	84.0	1 133.3
138.0	90.0	1 216.7
139.7	102.0	1 370.0
141.0	108.0	1 500.0
143.5	138.0	1 800.0
146.0	162.0	2 130.0

Para o reservatório consideraram-se níveis mínimos de exploração para abastecimento (valores indicados no quadro) e níveis mínimos para turbinamento.

### **3.1.6. Demandas hídricas**

As demandas hídricas previstas satisfazer pelo reservatório, quer para abastecimento quer para irrigação referem-se a valores atuais e futuros, por tipo de utilizador e respetiva distribuição mensal média.

Para a simulação da exploração, as demandas de água foram agregadas às seguintes utilizações:

- Vazão turbinável: O volume regularizado disponível que será descarregado para o rio a jusante, para abastecimento e para irrigação.
- Vazão não turbinável: O volume regularizado transferido para abastecimento local ou irrigação a montante do açude ou derivado através de outras captações, e que não passa pela tomada de água da central (neste caso é nulo).

No Quadro 3.6 indicam-se os valores considerados das demandas hídricas associadas a este açude.

**Quadro 3.6**  
**Demandas hídricas por utilização**

Situação	Abastecimento (hm <sup>3</sup> /ano)	Irrigação (hm <sup>3</sup> /ano)	Total (hm <sup>3</sup> /ano)
- A montante (não turbinável)	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
- A jusante (turbinável)	<b>58,7</b>	<b>234,6</b>	<b>293,30</b>
<b>- Total</b>	<b>58,7</b>	<b>234,6</b>	<b>293,30</b>

(\*) – Admite-se a distribuição das demandas constante ao longo do tempo.

Considera-se que a situação futura de exploração (percentual de alocação de recursos) será idêntica à situação atual (2005).

No Quadro 3.7 indica-se a distribuição mensal considerada para as demandas para abastecimento e para irrigação.

**Quadro 3.7**

**Distribuição mensal da demanda de água por tipo de utilizador**

Mês	Demanda (%)	
	Humana, Industrial e Turística	Irrigação intensiva e difusa
Janeiro	8,33	9,3
Fevereiro	8,33	6,7
Março	8,33	4,8
Abril	8,33	4,7
Maio	8,33	6,1
Junho	8,33	5,8
Julho	8,33	7,6
Agosto	8,33	8,8
Setembro	8,33	11,2
Outubro	8,33	14,1
Novembro	8,33	10,6
Dezembro	8,33	10,3
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

### 3.1.7. Central hidrelétrica

No Capítulo 2 foram definidas as principais características de dimensionamento da PCH (1ª Fase) consideradas na simulação da exploração, que se resumem no Quadro 3.8.

**Quadro 3.8**

**Características gerais da central hidrelétrica (1ª fase)**

Central	Vazão equipada (m <sup>3</sup> /s)	Potência instalada (MW)	Rendimento global (1) (-)	Queda útil (m)		
				Mínimo	Nominal	Máximo
Banabuiú	12,0	4,40	0,85	29,0	44,0	48,85

(1) - Rendimento global da central admitido para o cálculo da energia produzida (compreende perdas na produção, transformação e transporte da energia até ao ponto de interligação à rede).

Atendendo a que a queda disponível ( $H_u$ ) em cada aproveitamento é variável em cada instante da simulação, em função do nível de água no reservatório, a respetiva vazão turbinada ( $Q$ ) será também função desse nível assim como o rendimento dos grupos.

Para a determinação do volume turbinado em função da queda útil considerou-se a seguinte expressão (o parâmetro “a” varia em função da variante de vazão equipada na central):



$$Q = 0,0411 Hu^{1.5}$$

O nível mínimo de exploração para turbinamento é estabelecido à cota 125,50 m (ver Capítulo 2) a que corresponde um volume armazenado não utilizável para produção de energia de 479 hm<sup>3</sup> (para abastecimento de água o nível mínimo de exploração situa-se à cota aproximada 110,00 m e o volume morto é de cerca de 100 hm<sup>3</sup>).

### **3.1.8. Curvas-guia de exploração**

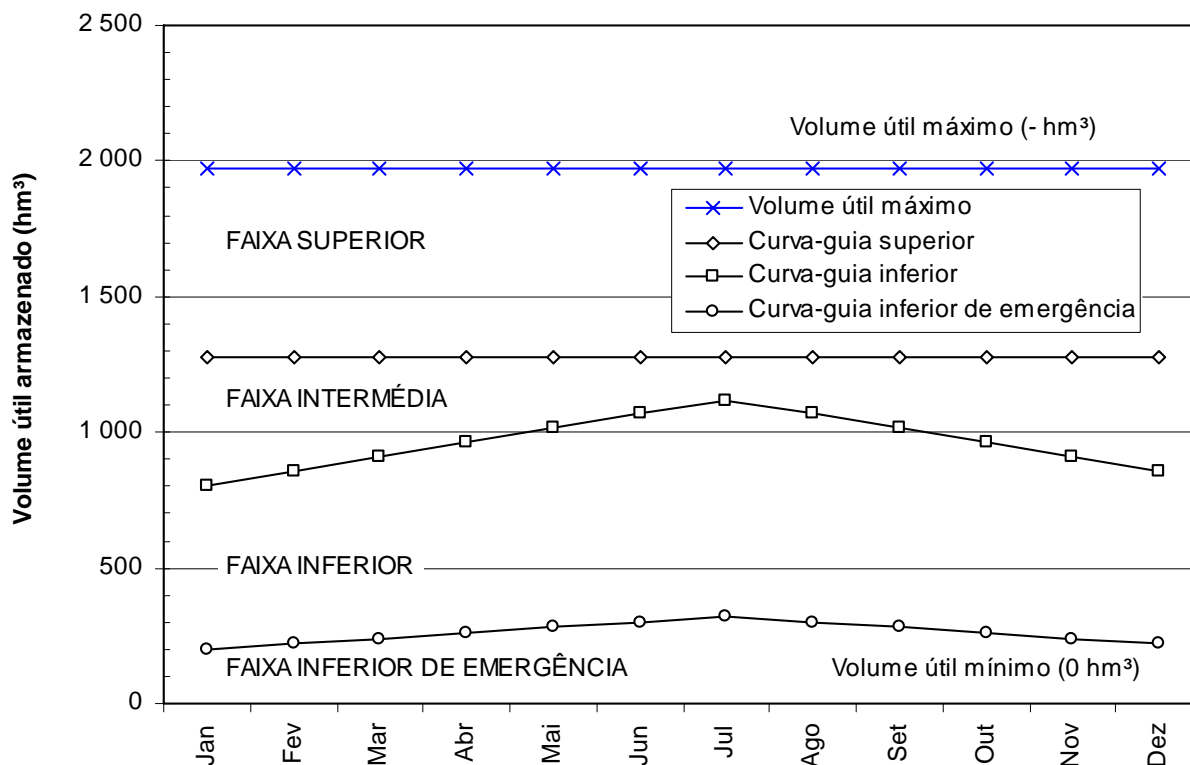
A definição de curvas-guia de exploração apropriadas possibilita a otimização da exploração do aproveitamento tendo em consideração determinados objetivos: maximização do valor da vazão regularizada a jusante ou maximização da produção de energia na central.

Na Figura 3.4 representam-se as curvas-guia de exploração adotadas, que são definidas pelos seguintes valores de volume útil armazenado no reservatório:

• Curva-guia superior			
Volume útil mínimo (janeiro).....	80%	1 280	hm <sup>3</sup>
Volume útil máximo (julho).....	80%	1 280	hm <sup>3</sup>
• Curva-guia inferior			
Volume útil mínimo (janeiro).....	50%	800	hm <sup>3</sup>
Volume útil máximo (julho).....	70%	1 120	hm <sup>3</sup>
• Curva-guia de emergência			
Volume útil mínimo (janeiro).....	20%	320	hm <sup>3</sup>
Volume útil máximo (julho).....	20%	320	hm <sup>3</sup>

Considerou-se ainda que, no início da simulação da exploração, o reservatório se encontra com metade da capacidade útil respetiva.

As curvas-guia permitem a turbinagem livre quando o nível do reservatório estiver muito alto e exista o risco de descargas nos meses seguintes, de modo a evitar o desperdício de água. De notar que a exploração dos açude é fortemente condicionada pela necessidade de garantia de vazões constantes a jusante, variáveis em função da época do ano (período chuvoso ou período seco).



**Figura 3.5**  
**Curvas-guia de exploração do reservatório**

## 3.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO

### 3.2.1. Considerações prévias

Para a determinação da capacidade do açude Banabuiú quer de regularização de água para abastecimento quer para produção de energia hidrelétrica foi utilizado o programa de simulação SIMPCH, desenvolvido no âmbito do presente estudo.

No Anexo 3 é apresentado o resumo dos dados de entrada do programa SIMPCH e dos respectivos resultados obtidos, considerando a primeira fase de implementação do aproveitamento.

### **3.2.2. Fornecimento de água**

Dos resultados do programa de exploração do aproveitamento SIMPCH, obteve-se o seguinte valor do volume total anual regularizado pelo aproveitamento, para abastecimento e para irrigação:

- **293,30 hm<sup>3</sup>/ano, ou seja 10,8 m<sup>3</sup>/s** (garantia em tempo de 96,4%, garantia em volume de 97,4% e falha máxima num ano de 39,4% do volume pedido).

Caso seja exigida uma garantia em tempo apenas superior a 85% o volume regularizado será de cerca de 370 hm<sup>3</sup>/ano (11,8 m<sup>3</sup>/s), o que poderá também ser admitido como valor aceitável, considerando-se que uma parte significativa das vazões serão utilizadas para irrigação.

### **3.2.3. Produção de energia**

Na simulação da exploração ao aproveitamento admitiu-se que a exploração é condicionada em prioridade pela necessidade de regularização de vazões (fornecimento do volume máximo regularizado de 370,30 hm<sup>3</sup>/ano).

Tendo em consideração o interesse por um lado em maximizar o retorno do investimento e por outro o interesse em minimizar o investimento total optou-se por selecionar a variante com:

- **Fase 1 : Vazão de equipamento de 12 m<sup>3</sup>/s, e potência instalada de 4,40 MW.**
- **Fase 2 : Vazão de equipamento de 24 m<sup>3</sup>/s, e potência instalada de 8,80 MW.**

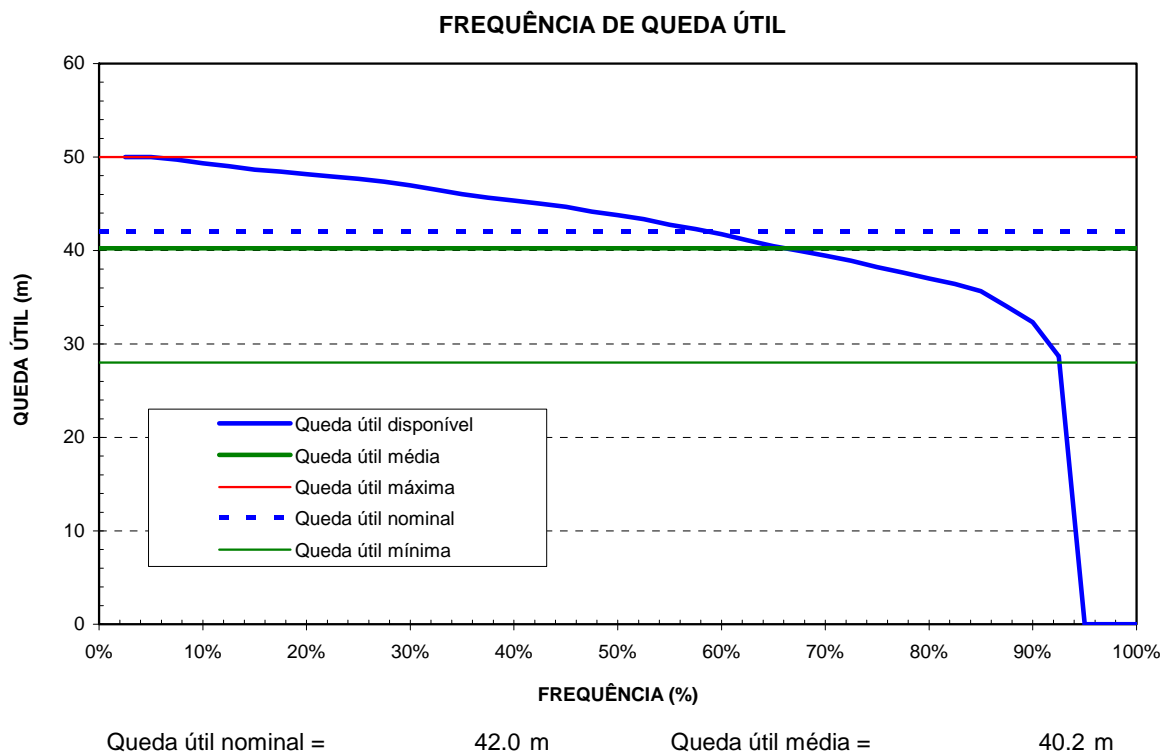
Para a solução adotada e 1ª Fase, a produção em ano médio é avaliada em 40,0 GWh/ano e a receita anual é estimada em 2,48 MR\$, considerando o tarifário da COELCE de 2005. O período de funcionamento médio é de 8 415 horas/ano, considerando o turbinamento à capacidade máxima.

Para a 2ª Fase a produção em ano médio será de 54,9 GWh/ano e a receita anual é estimada em 3,80 MR\$ para o mesmo tarifário. O período de funcionamento médio será de 6 444 horas/ano.

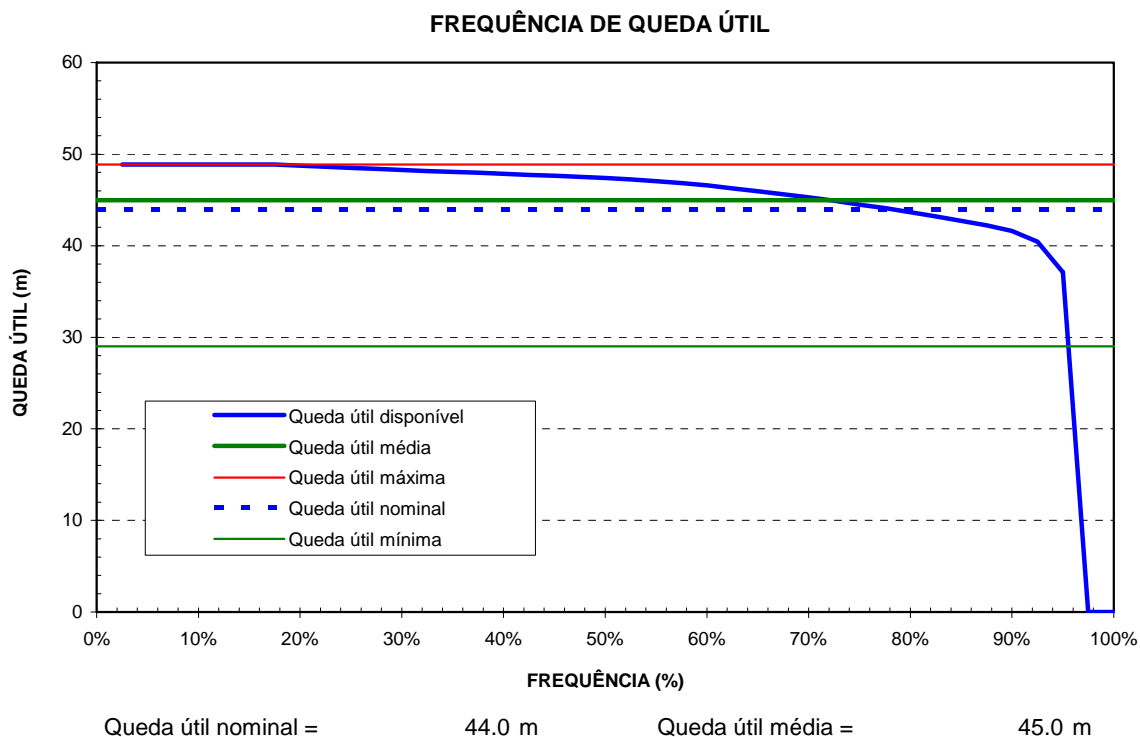
### 3.2.4. Condições de funcionamento

As condições de funcionamento esperadas para os grupos geradores, para a solução de vazão de equipamento adotada, podem ser caracterizados pelas respectivas curvas de frequência da queda útil, vazão turbinada e potência disponível, obtidas da simulação da exploração da PCH.

Nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7 representam-se as curvas de frequência da queda útil disponível, da vazão turbinada e da potência disponível, para a solução adotada, respectivamente.

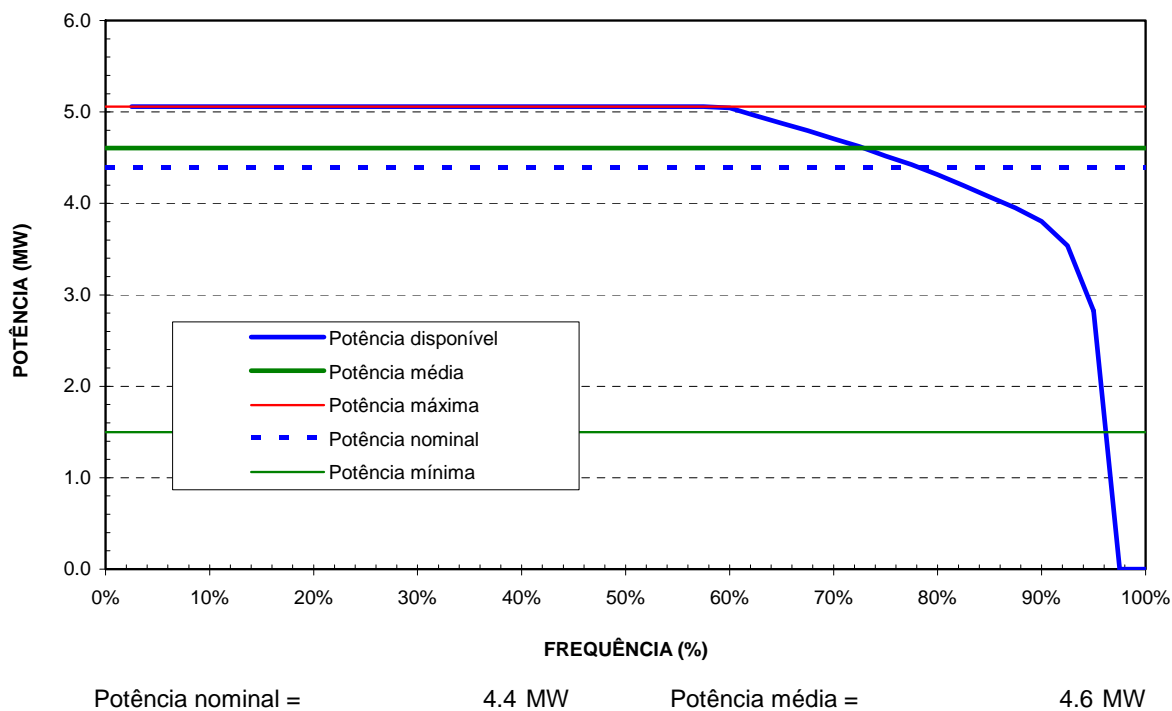


**Figura 3.5**  
**Curva de frequência da queda útil disponível**



**Figura 3.6**

**Curva de frequência da vazão tubinada  
FREQUÊNCIA DA POTÊNCIA DISPONÍVEL**



**Figura 3.7**

**Curva de frequência da potência disponível**

### **3.3. INDICADORES ECONÔMICOS**

Os indicadores econômicos foram determinados com base na estimativa de custo de execução do aproveitamento e no valor de venda da energia estimado. Foi considerada unicamente a 1ª Fase de implementação da PCH.

Para a solução adotada, o custo de execução foi estimado, nos relatórios anteriores do presente estudo, em 7,94 MR\$, sendo 5,82 MR\$ relativos a equipamentos, e 1,12 MR\$ a obras de construção civil.

No Quadro 3.9 apresenta-se o cálculo dos indicadores econômicos relativos à solução adotada para a PCH. É indicada a produção anual considerada ao longo da vida útil do aproveitamento e respectiva valorização econômica.

Considerando a taxa de retorno de 10%, o valor presente líquido é de 14,5 MR\$, o índice benefícios-custos é de 2,48 e o período de amortização do investimento de 5 anos. A taxa interna de retorno calculada é de 29,9%.

Também para a taxa de retorno de 10% o custo atualizado da energia produzida é de 25,0 R\$/MWh e o custo da potência instalada é de 2 219 R\$/kW.

Estes resultados permitem concluir que a construção da PCH do Banabuiú é economicamente viável, apresentado indicadores de rentabilidade econômica que se consideram muito interessantes.

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



**Quadro 3.9**

## Indicadores econômicos para a solução adotada

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA PCH

Vazão equipada.....	12.0 m <sup>3</sup> /s
Potência instalada da central hidroelétrica.....	4.4 MW
Energia produzida em ano médio (ano 1).....	40.0 GWh/ano
Energia produzida em ano médio (ano 20).....	40.0 GWh/ano
Valor da energia (tarifário COELCE 2005).....	2.48 M R\$ / ano

### INDICADORES DE RENTABILIDADE ECONÔMICA

Taxa de retorno, Tx (%).....	8%	10%	12%
Valor Presente Líquido, VPL (M R\$).....	19.2	14.5	11.1
Índice benefícios/custos, B/C.....	2.86	2.48	2.19
Tempo de retorno Tr (anos).....	5.0	5.0	5.0
Custo atualizado do kWh produzido (R\$/kWh).....	0.0217	0.0250	0.0284
Custo da potência instalada (R\$/kW).....	2 354	2 219	2 126
Taxa interna de retorno, TIR (%).....	29.9 %		

Ano	Ano de exploração	Potência instalada (MW)	Produção de energia (GWh)	Valor da produção (M R\$)	Investimentos (MUSD)		Exploração e manutenção (MUSD)	Custo total (MUSD)
					Construção civil	Equipamentos		
2006	0	-	-	0.00	2.12	5.82	0.000	7.94
2007	1	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2008	2	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2009	3	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2010	4	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2011	5	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2012	6	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2013	7	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2014	8	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2015	9	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2016	10	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2017	11	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2018	12	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2019	13	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2020	14	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2021	15	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2022	16	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2023	17	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2024	18	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2025	19	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2026	20	4.40	39.96	2.48	0.00	5.82	0.098	5.92
2027	21	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2028	22	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2029	23	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2030	24	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2031	25	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2032	26	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2033	27	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2034	28	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2035	29	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2036	30	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2037	31	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2038	32	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2039	33	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2040	34	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2041	35	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2042	36	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2043	37	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2044	38	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2045	39	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
2046	40	4.40	39.96	2.48	0.00	0.00	0.098	0.10
Totais	40	---	---	---	---	---	---	---
Valores atualizados	Taxa de retorno de 8%.....			29.58	---	---	---	10.36
	Taxa de retorno de 10%.....			24.26	---	---	---	9.76
	Taxa de retorno de 12%.....			20.45	---	---	---	9.35

## **4. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS**

### **4.1. IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL**

A PCH do açude Banabuiú, como se referiu anteriormente, será implantada no pé-de-barragem desse açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água, num local adjacente à câmara das válvulas dispersoras da tomada de água.

Como o uso dessa água não tem a finalidade básica de geração de energia elétrica, mas sim garantir a oferta d'água para consumo humano, irrigação e industrial, a instalação de unidades geradoras deverá obedecer ao planejamento de liberação de vazões com o objetivo de garantir a oferta d'água acima referida.

Desse modo a proposição é a instalação de duas unidades, sendo que em uma primeira etapa será montado um só grupo gerador e em uma outra oportunidade, a ser determinada posteriormente, será então implementada a segunda unidade.

O edifício da central ficará implantado numa plataforma a criar à cota 98,00 m, do lado esquerdo da referida câmara de válvulas, fazendo-se a restituição das vazões turbinadas para o mesmo canal de fuga das válvulas dispersoras da tomada de água.

A plataforma envolvente da central apresenta uma área disponível suficiente para permitir a implantação do edifício e caminhos de circulação, sendo de fácil implantação e possuindo acesso existente. Os arranjos exteriores previstos consistem em arruamentos para circulação e zonas relvadas, com iluminação exterior, constituindo um recinto delimitado por uma vedação.

A tubulação forçada terá início imediatamente a montante da câmara da válvula dispersora, num local onde a tubulação de tomada de água se encontra visível, fazendo um ângulo a cerca de 45° para o lado esquerdo, em direção à usina.

O eixo longitudinal do edifício fará um ângulo de cerca de 60° com o eixo da tubulação forçada, ficando os canais de restituição dos caudais turbinados orientados na mesma direção do eixo das condutas forçadas. A restituição dos caudais turbinados é prevista sob o piso principal da estação, do lado oposto da entrada das condutas forçadas.

Na Figura 4.1, apresentada no final do presente capítulo, encontra-se representada a implantação prevista para a usina e é apresentada a seção longitudinal do aproveitamento pelo



eixo da tomada de água. Na Figura 4.2 mostra-se a disposição prevista para os diferentes equipamentos e instalações.

Na Figura 4.3 encontra-se representado o esquema unifilar geral das instalações elétricas e na Figura 4.4 representa-se a ligação da usina à rede elétrica da COELCE.

## **4.2. DESCRIÇÃO DA CENTRAL**

O edifício previsto para instalação dos grupos geradores apresenta dimensões máximas em planta de 42,0x23,0 m<sup>2</sup>, com altura máxima de 20,00 m desde a fundação e de 10,00 m acima da plataforma de acesso.

É prevista a instalação final de dois grupos, contudo atendendo a que o segundo grupo só será instalado numa segunda fase, poderá também prever-se a execução das obras civis da usina apenas para atender às necessidades da primeira fase.

O edifício é constituído por uma estrutura em betão enterrada, correspondente à sala dos grupos, sobre a qual se desenvolve uma superestrutura para cobertura e suporte da ponte rolante. Esta superestrutura cobre também as zonas do hall de descarga e do hall elétrico.

Adjacente ao corpo principal existirá um edifício de menor altura, onde se encontram as diferentes instalações elétricas e de apoio, incluindo a sala de comando.

Assim, no piso enterrado são previstos os seguintes equipamentos e instalações:

- Grupos turbina-alternador (1 grupo a instalar na 1<sup>a</sup> fase e 1 na 2<sup>a</sup> fase);
- Válvulas dos grupos;
- Fossa de drenagem e respectivos grupos de drenagem;

No piso correspondente ao acesso ao interior do edifício a partir da plataforma exterior, ficarão localizados os seguintes equipamentos e instalações:

- Hall de descarga;
- Hall elétrico;
- Sala de comando;

- Salas dos serviços auxiliares, sala de baterias e sala do grupo Diesel;
- Armazém, escritório, instalações para pessoal de exploração e WC.

Para descarga, montagem e desmontagem dos equipamentos existirá uma ponte rolante de acionamento elétrico, com caminho de rolamento assente sobre viga contínua de betão, cobrindo todo o desenvolvimento da central, incluindo a sala dos grupos e os halls de descarga e elétrico.

São ainda previstas comportas ensecadeiras, para seccionamento dos canais de restituição individuais dos grupos, manobradas através de um monocarril com diferencial elétrico.

A ventilação é prevista através de ventiladores de admissão de ar ao nível dos grupos e de extração instalados na cobertura do edifício.

Serão também previstos sistemas de detecção e extinção de incêndios e de detecção de intrusão.

### **4.3. EQUIPAMENTOS ELECTROMECAÑICOS**

A central hidrelétrica será equipada na primeira fase com um grupo turbina-alternador com potência de 4 400 KW (potência útil no veio da turbina), sendo prevista a instalação de um segundo grupo igual numa segunda fase, resultando então uma potência total de 8 800 kW.

As duas turbinas são dimensionadas para um vazão nominal de 12 m<sup>3</sup>/s e uma queda útil nominal de 44 m (variável). A velocidade síncrona prevista para os dois tipos de grupos é de 400 r.p.m. O rendimento previsto é de 85% e a altura de sucção exigida de 1,50 m, acima do eixo da turbina.

As duas unidades de geração hidráulica com turbinas tipo Francis com Caixa Espiral e de veio horizontal.

Cada turbina hidráulica estará acoplada a um gerador para operação em regime contínuo, com as seguintes características principais:

- Tipo ..... síncrono trifásico
- Tensão nominal ..... 6 KV
- Potência nominal ..... 5,0 MVA
- Velocidade nominal..... 400 rpm

- Classe de isolamento..... 15kV
- Tensão nominal de geração ..... 13,8kV
- Nível básico de isolamento ..... 95kV,
- Ligação em estrela com neutro acessível
- Grau de proteção..... IP23.

A montante da turbina está prevista uma válvula de guarda capaz de abrir e fechar em todas as condições de funcionamento tendo as funções de isolar a turbina quando o grupo estiver fora de serviço e de constituir o órgão de fecho de segurança no caso de não funcionamento dos distribuidor.

A válvula será do tipo borboleta com contrapeso e servomotor, sendo comandada pelo regulador da turbina.

Cada grupo estará preparado para funcionamento em comando automático, dispondendo também de equipamento suficiente para uma exploração completa em regime de comando manual (situação de recurso e ensaios).

O comando automático será executado através de um autômato programável que permitirá a realização de vários programas a partir das instruções dadas na consola local.

Atendendo a usina recorrerá a tomada de água já existente, admite-se não ser necessário instalar grades de proteção a montante. Deverá contudo efetuar-se a análise da compatibilidade entre as grades existentes e as exigências da turbina que for efetivamente instalada.

#### **4.4. SISTEMAS ELÉTRICOS**

No interior da central, para além dos geradores acima indicados, são previstos os seguintes equipamentos e instalações elétricas:

- Quadros dos grupos;
- Quadro de média tensão;
- Quadro de comando, situado no interior da sala de comando;
- Quadro dos serviços auxiliares, situado no interior de uma sala;
- Transformador dos serviços auxiliares;
- Grupo Diesel, situado no interior de uma sala, com acesso a partir do exterior.

Cada unidade geradora será conectada a um único CUBÍCULO BLINDADA TIPO METAL-CLAD SWITGEAR, classe de isolamento 15kV, uso interno e em consonância com o unifilar anexo.

Os serviços auxiliares da unidade e da usina serão alimentados através de um transformador trifásico de 30 kVA 13.800 V/380 V/220 V, localizado no METAL-CLAD SWITGEAR e conectado a este por fusível e chave seccionadora.

É também prevista a instalação de um sistema de comando e automação do funcionamento da central.

#### **4.5. CONEXÃO À REDE ELÉTRICA DO ESTADO**

A implantação da sub-estação é prevista adjacente ao edifício da usina, do lado esquerdo do canal de restituição, na mesma plataforma do edifício da usina.

As unidades geradoras da PCH Banabuiú deverão ser conectadas, através de linha de transmissão padrão COELCE rural, com três cabos de alumínio bitola 266,8 MCM por fase à Subestação BANABUIÚ, haja vista que a potência total da Usina não pode ser transportada pelo alimentador da rede Rural da Coelce que passa próximo ao aproveitamento.

A conexão será realizada com disjuntor de 15 kV e capacidade nominal de 1250 A, e mesmas características dielétricas e de interrupção do disjuntor de máquina.

(Folha A3)

**Figura 4.1**  
**Implantação da PCH do açude Castanhão**

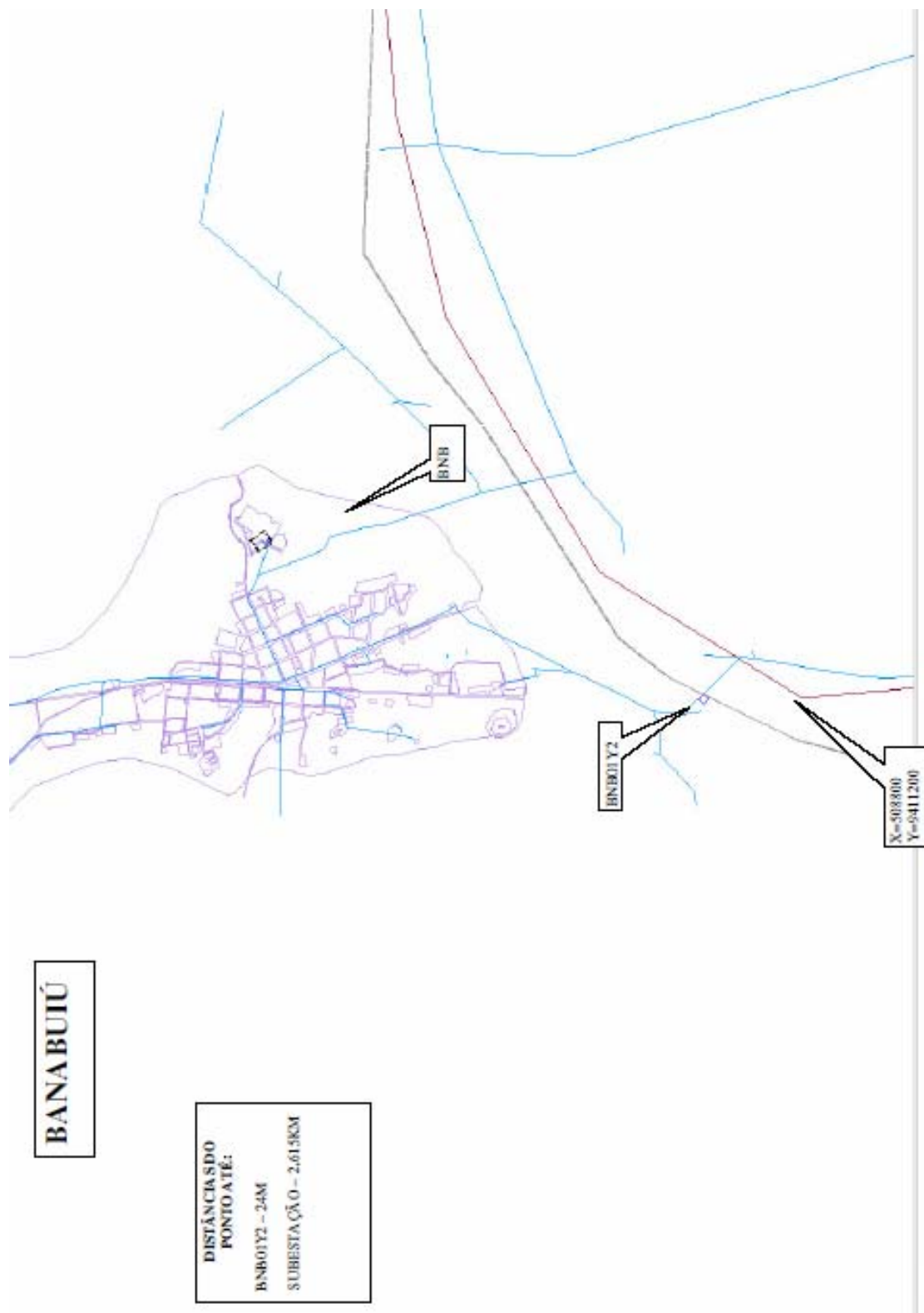
(Folha A3)

**Figura 4.2**

**Planta e seção transversal do edifício da PCH do açude Castanhão**

(Folha A4 – Arquivo Word)

**Figura 4.3**  
**Esquema unifilar elétrico da PCH do açude Castanhão**



**Figura 4.4**  
**Ligação à rede elétrica da COELCE**



## **5. RESUMO**

A PCH do açude Banabuiú ficará implantada no pé-de-barragem do açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água para alimentação da usina.

Os estudos realizados permitiram definir as características a adotar para a PCH, que são as seguintes (1ª Fase):

- Vazão de equipamento..... 12 m<sup>3</sup>/s
- Queda bruta..... 46 m
- Queda útil (nominal) ..... 44 m
- Potência..... 4,40 MW

Na 2ª Fase, cuja viabilidade deverá ser aferida em estudos a realizar posteriormente, será instalado um segundo grupo de iguais características, resultando uma vazão de equipamento total de 24 m<sup>3</sup>/s e uma potência instalada de 8,80 MW.

Será executado o edifício da central, em princípio previsto já para os dois grupos, conduta forçada, sub-estação anexa e linha de ligação à rede da COELCE. A conduta forçada terá origem num derivante a executar na tubulação de tomada de água existente, num local imediatamente a montante da câmara das válvulas dispersoras.

O custo de execução da 1ª Fase é estimado em 7,94 MR\$, repartidos por 5,82 MR\$ para equipamentos e 2,12 MR\$ para obras civis, de acordo com as seguintes parcelas:

- Usina hidrelétrica..... 7,50 x 10<sup>6</sup> R\$
  - Equipamento mecânico..... 2,52 x 10<sup>6</sup> R\$
  - Equipamento elétrico..... 2,62 x 10<sup>6</sup> R\$
  - Conexão à rede da COELCE ..... 0,40 x 10<sup>6</sup> R\$
  - Edifício da central e instalações anexas .... 1,97 x 10<sup>6</sup> R\$
  
- Circuito hidráulico..... 0,44 x 10<sup>6</sup> R\$
  - Equipamentos ..... 0,29 x 10<sup>6</sup> R\$
  - Construção civil ..... 0,15 x 10<sup>6</sup> R\$
  
- Total global..... 7,94 x 10<sup>6</sup> R\$

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Os resultados dos estudos de simulação da exploração do reservatório e da PCH permitiram a determinação dos seguintes parâmetros (1ª Fase):

- Volume regularizado (90% de garantia em tempo) ..... 293,3 hm<sup>3</sup>/ano (10,8 m<sup>3</sup>/s)
- Energia produzida..... 40,0 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio ..... 8 415 horas/ano
- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005) ..... 2,48 x 10<sup>6</sup> R\$/ano

O regime de funcionamento, em períodos com disponibilidades hídricas, será contínuo em 24 horas. A exploração da PCH será fortemente condicionada pela necessidade de satisfação prioritária das necessidades de água para abastecimento humano e para irrigação, quer a montante do açude (volumes não turbinados) quer a jusante (volumes turbinados). São também turbinadas as vazões que excedem a capacidade de armazenamento do reservatório.

Da análise econômica realizada resultaram os seguintes valores de indicadores econômicos para a 1ª Fase do aproveitamento (taxa de retorno de 10%):

- Valor Presente Líquido – VPL ..... 14,5 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C ..... 2,48
- Tempo de retorno do investimento ..... 5 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR ..... 29,9 %
- Custo atualizado do kWh produzido ..... 25,0 R\$/MWh
- Custo da potência instalada ..... 2 219 R\$/kW

A execução do aproveitamento poderá ser concretizada em cerca de 3 anos, incluindo um ano para a elaboração de estudos complementares e do Projeto Executivo e dois anos para encomenda e fabrico de equipamentos e construção.

Dos estudos efetuados conclui-se que a construção da PCH do açude Banabuiú apresenta condições de viabilidade técnica e econômica que se podem considerar muito interessantes.

20 de Maio de 2006

Pela COBA

Antônio Pereira da Silva

Diretor do Serviço de Recursos Naturais e Equipamentos

**ELABORAÇÃO DA DECLARAÇÃO DE RESERVA DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA  
E DE ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO  
DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ**

**ETAPA V  
RELATÓRIO FINAL**

**TOMO 3  
PCH DO AÇUDE BANABUIÚ**

**ÍNDICE**

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PCH.....</b>	<b>2</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO .....	2
2.2. AÇUDE BANABUIÚ .....	2
2.3. CARACTERÍSTICAS DE DIMENSIONAMENTO .....	4
2.3.1. Queda bruta e queda útil.....	4
2.3.2. Vazão de equipamento .....	6
<b>3. SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO .....</b>	<b>7</b>
3.1. DADOS DE CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO.....	7
3.1.1. Considerações prévias.....	7
3.1.2. Bacia hidrográfica .....	7
3.1.3. Escoamentos .....	8
3.1.4. Evaporação .....	8
3.1.5. Açude Banabuiú.....	13
3.1.6. Demandas hídricas .....	15
3.1.7. Central hidrelétrica .....	16

# PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



3.1.8. Curvas-guia de exploração .....	17
3.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO .....	18
3.2.1. Considerações prévias.....	18
3.2.2. Fornecimento de água .....	19
3.2.3. Produção de energia.....	19
3.2.4. Condições de funcionamento.....	20
3.3. INDICADORES ECONÔMICOS .....	22
<b>4. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>24</b>
4.1. IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL.....	24
4.2. DESCRIÇÃO DA CENTRAL .....	25
4.3. EQUIPAMENTOS ELECTROMECCÂNICOS.....	26
4.4. SISTEMAS ELÉCTRICOS .....	27
4.5. CONEXÃO À REDE ELÉTRICA DO ESTADO .....	28
<b>5. RESUMO .....</b>	<b>33</b>

## QUADROS

- 3.1. Características da bacia hidrográfica na seção do açude
- 3.2. Açude Banabuiú - Série de escoamentos mensais afluentes
- 3.3. Dados climatológicos do açude Banabuiú
- 3.4. Características do açude Banabuiú
- 3.5. Curvas de superfícies e de volumes do açude Banabuiú
- 3.6. Demandas hídricas por utilização
- 3.7. Distribuição mensal da demanda de água por tipo de utilizador
- 3.8. Características gerais da central hidrelétrica (1ª fase)
- 3.9. Indicadores econômicos para a solução adotada

**FIGURAS**

- 2.1. Localização e acesso à PCH do açude Banabuiú
- 3.1. Açude Banabuiú - Série de escoamentos anuais
- 3.2. Açude Banabuiú - Escoamentos médios mensais
- 3.3. Curvas de superfícies e de volumes do açude Banabuiú
- 3.4. Curvas-guia de exploração do reservatório
- 3.5. Curva de freqüência da queda útil disponível
- 3.6. Curva de freqüência da vazão tubinada
- 3.7. Curva de freqüência da potência disponível
- 4.1. Implantação da PCH do açude Banabuiú
- 4.2. Planta e seção transversal do edifício da PCH do açude Banabuiú
- 4.3. Esquema unifilar elétrico da PCH do açude Banabuiú
- 4.4. Ligação à rede elétrica da COELCE

**ANEXOS**

ANEXO 1 – LOCALIZAÇÃO E BACIA HIDROGRÁFICA

ANEXO 2 – FOTOGRAFIAS

ANEXO 3 – DADOS E RESULTADOS DO PROGRAMA SIMPCH