

**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 1
PCH DO AÇUDE CASTANHÃO**

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 Castanhão 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

A PCH do açude Castanhão será implantada no pé-de-barragem desse açude existente, utilizando as atuais estruturas de tomada de água, que foram executadas tendo já em consideração a futura implementação de uma central hidrelétrica. Foi assim reservado um local para a sua implantação, adjacente à câmara das válvulas dispersoras da tomada de água.

Na construção da barragem foi deixada uma junta cega (calote esférica) do lado esquerdo da galeria de tomada de água, destinada ao futuro prolongamento da tubulação para alimentação de uma turbina e foi prevista a possibilidade de execução de uma nova tubulação no interior dessa galeria para a alimentação de uma segunda turbina.

A captação de água do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, recentemente executada, foi também projetada de forma a possibilitar a futura implantação da central hidrelétrica. Foi assim executado o prolongamento desta derivação para execução da tomada de água do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, através da construção de um reservatório em pressão. Verifica-se contudo que a junta cega deixada para futura alimentação da PCH foi colocada a uma cota superior à da tubulação da tomada de água, e muito acima do nível do leito do canal de restituição, o que exigirá a realização de curvas verticais para o seu prolongamento.

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 CASTANHÃO

O açude Castanhão, cuja construção foi concluída recentemente (2004), tem por objetivo principal a perenização do rio Jaguaribe para irrigação do Baixo Jaguaribe e o controle de cheias, e constituirá a origem das vazões a derivar pela transposição para a Região Metropolitana de Fortaleza (Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza). A implantação de uma usina hidrelétrica em pé-de-barragem no açude Castanhão foi prevista numa segunda fase de execução do aproveitamento.

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE

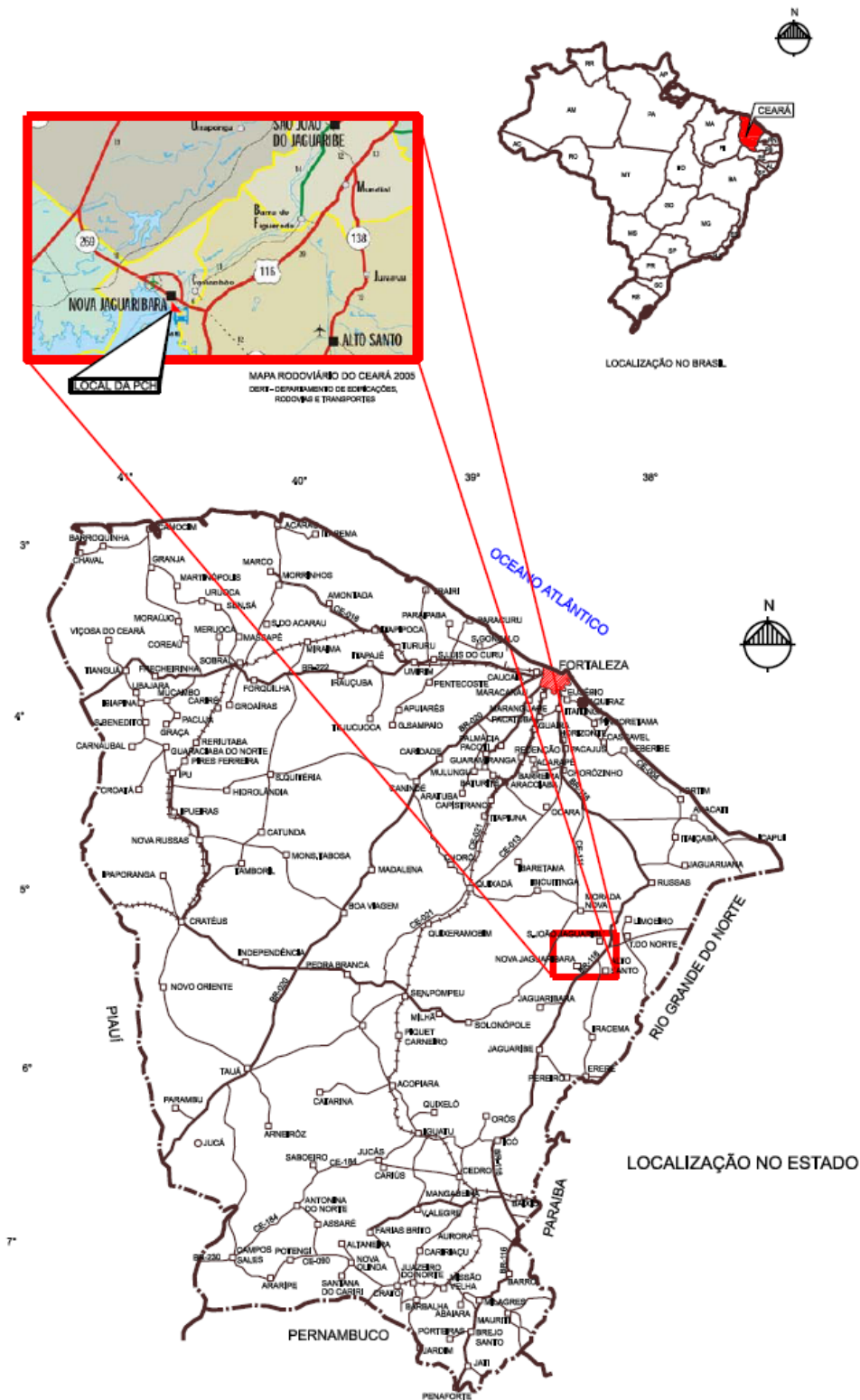


Figura 2.1

Localização e acesso à PCH do açude Castanhão

O açude Castanhão barra o rio Jaguaribe, perto da cidade Nova Jaguaribara. A partir de Fortaleza, o acesso é feito pela rodovia BR116, aproximadamente ao km 228, dobra-se à direita seguindo pela CE269 em direção a Nova Jaguaribara. O acesso ao local do barramento é feito por uma estrada asfaltada em boas condições.

Esse reservatório, o maior do estado do Ceará, é a principal estrutura para ampliação da oferta na Bacia do Rio Jaguaribe, sendo uma componente essencial para a solução do abastecimento da RMF a partir do rio Jaguaribe. É localizado no Rio Jaguaribe, na sua extremidade de jusante no município de Alto Santo, pertencendo à Bacia do Médio/Baixo Jaguaribe.

Este açude é fundamental para o desenvolvimento sócio-econômico do estado do Ceará. A sua vazão regularizada estimada em cerca de 22 m³/s (valor indicativo referido em estudos anteriores com 90% de garantia e utilização essencialmente para irrigação, que será revisto no âmbito do presente estudo), associada à vazão remanescente do açude Orós, irrigará cerca de 30 000 ha de terras férteis. Espera-se que este venha a beneficiar mais de 2,5 milhões de habitantes. O canal da integração levará as águas deste açude até à região metropolitana de Fortaleza, incluindo a zona industrial do Pecém, garantindo desta forma o abastecimento de água para rega e populações em toda a faixa litoral no leste do estado.

Este açude controla ainda as enchentes do Baixo Vale do Jaguaribe, assim como permite o desenvolvimento da piscicultura.

2.3. TRANSFERÊNCIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Está planejado que o açude do Castanhão receba vazões transferidas pelo Projeto da Transferência do Rio São Francisco (estado da Bahia) e destinadas ao estado do Ceará, aumentando assim significativamente a capacidade de regularização de vazões deste açude.

A implementação deste projeto encontra-se atualmente numa fase ainda inicial, não estando garantida a sua concretização a curto ou médio prazos. Nesse contexto, no presente estudo considera-se o dimensionamento da PCH sem a concretização da referida Transferência.

A implementação desta transferência permitiria “compensar” as vazões a derivar a longo prazo pelo Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, e que não poderão ser turbinadas, e assim manter uma capacidade de perenização do rio e de produção de energia semelhantes à situação atual.

Caso se concretize essa transferência poderá considerar-se uma segunda fase de execução do aproveitamento hidrelétrico, com o aumento da potência instalada na PCH, através da instalação de um novo grupo gerador e ampliação do edifício da usina.

2.4. CARACTERÍSTICAS DE DIMENSIONAMENTO

2.4.1. 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 conseqüência 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 98,00 m (2,00 m inferior ao nível máximo normal, NNR, 100,00 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 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 71,00 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 84,00 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 54,00 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 (69,50 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) 100,00 / 106,00 m
 - Nominal 98,00 m
 - Mínimo (abastecimento / turbinamento)..... 71,00 / 84,00 m
- Nível de água a jusante
 - Máximo (situação de cheia ~ cota da plataforma) 69,5 m
 - Nominal (vazão máxima de turbinamento) 54,0 m
 - Mínimo (vazão mínima de turbinamento)..... 54,0 m
- Queda bruta
 - Máximo..... 50,0 m
 - Nominal 44,0 m
 - Mínimo 30,0 m
- Perda de carga máxima..... 2,0 m
- Queda útil
 - Máximo..... 48,0 m
 - Nominal 42,0 m
 - Mínimo 28,0 m

2.4.2. 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 15 m³/s

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



- Potência instalada..... 5,25 MW
- 2ª Fase (valores totais, incluindo a 1ª Fase)
 - Número de grupos 2
 - Vazão nominal de equipamento 30 m³/s
 - Potência instalada..... 10,50 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 Castanhão, situa-se no rio Jaguaribe próximo da localidade de Nova Jaguaribara, dominando uma área de drenagem não controlada de 16 821 km², e uma bacia hidrográfica total de quase 35 000 km² (ver desenho em anexo).

A vazão afluente média anual é estimada em 1 878,4 hm³/ano (59,6 m³/s), ou seja uma altura de escoamento de 53,7 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 ²)	Precipitação média anual (mm)	Escoamento médio anual		
				(mm)	(hm ³)	(m ³ /s)
Castanhão	Jaguaribe	35 000	857,8	53,7	1 878,4	59,6

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 Morada Nova, 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 Castanhão - 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	673.55	114.17	32.15	11.16	8.58	0.88	48.44	1.40	0.19	0.28	0.40	0.17	891.4	28.25
1915	2.94	0.26	11.01	102.59	2.44	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	181.67	302.0	9.57
1916	51.79	2.19	696.33	177.42	407.11	34.53	1.14	0.20	0.18	0.20	3.85	0.58	1375.5	43.59
1917	896.16	1 171.44	2 890.35	626.10	843.65	357.38	97.64	1.89	0.18	0.20	0.35	0.60	6885.9	218.20
1918	48.66	125.11	220.35	280.29	184.32	79.85	5.20	0.41	0.18	0.18	0.18	0.20	944.9	29.94
1919	28.49	15.78	0.69	0.63	0.19	0.19	0.29	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	47.1	1.49
1920	0.18	0.28	1 474.74	1 433.83	493.10	202.98	44.87	0.81	0.18	0.19	0.18	0.20	3651.5	115.71
1921	9.91	513.64	1 288.23	995.33	833.77	275.47	83.24	6.06	0.18	0.18	1.45	0.18	4007.7	126.99
1922	0.37	222.80	34.02	2 912.59	629.30	331.07	165.04	23.79	1.77	0.18	10.34	279.72	4611.0	146.11
1923	0.52	515.09	157.46	489.48	54.67	17.11	6.52	0.36	0.18	0.18	0.19	0.19	1242.0	39.36
1924	21.25	1 777.35	2 398.03	8 742.55	1 403.54	683.74	325.84	50.67	0.42	0.23	0.32	0.60	15404.5	488.14
1925	324.15	246.76	426.39	637.81	123.81	30.24	7.80	0.19	0.71	0.26	0.18	0.21	1798.5	56.99
1926	0.52	286.63	847.56	495.76	243.09	77.57	3.99	0.18	0.18	0.18	0.17	0.19	1956.0	61.98
1927	0.39	164.89	363.56	228.97	83.69	14.23	0.33	0.18	0.18	0.18	0.17	7.71	864.5	27.39
1928	0.27	0.21	474.63	575.97	148.11	13.75	0.57	0.18	0.18	0.20	0.24	9.79	1224.1	38.79
1929	3.49	270.39	695.42	387.66	188.41	69.17	15.10	0.18	0.18	0.18	0.18	9.81	1640.1	51.97
1930	0.79	1.28	367.75	117.86	36.46	4.08	1.43	0.18	0.18	0.45	0.19	0.18	530.8	16.82
1931	0.48	192.96	108.88	36.55	8.80	0.37	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.86	349.8	11.08
1932	3.67	1.05	2.24	1.99	0.25	0.18	0.17	0.17	0.20	0.17	0.16	0.16	10.4	0.33
1933	35.58	89.60	395.94	1 100.16	230.41	30.70	0.77	0.18	0.18	0.18	0.98	0.45	1885.1	59.74
1934	3.80	122.31	1 588.40	490.39	611.69	192.66	44.90	3.22	0.18	0.18	0.20	0.87	3058.8	96.93
1935	2.16	331.58	440.54	738.62	514.75	147.98	28.38	0.24	0.18	0.18	0.17	0.17	2205.0	69.87
1936	0.24	273.05	248.69	11.05	13.88	1.74	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.25	549.8	17.42
1937	0.61	325.92	264.89	601.02	109.04	22.51	3.57	0.20	0.18	0.18	0.17	0.17	1328.5	42.10
1938	0.31	0.26	1 015.28	361.52	167.20	31.12	0.31	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	1576.9	49.97
1939	0.19	215.55	666.32	87.67	27.71	6.25	0.23	0.18	0.18	0.19	0.58	0.17	1005.2	31.85
1940	1.84	27.30	1 619.01	1 134.10	616.21	350.49	123.72	13.86	0.18	0.18	0.17	0.36	3887.4	123.18
1941	0.50	2.92	979.43	90.70	49.67	5.28	0.26	0.19	0.17	0.17	0.17	0.17	1129.6	35.80
1942	0.48	83.59	5.79	1.40	0.51	0.18	0.18	0.19	0.17	2.73	0.21	0.32	95.8	3.03
1943	0.30	53.33	458.22	187.01	22.16	1.49	0.29	0.20	0.18	0.18	0.18	0.25	723.8	22.94
1944	0.71	1.00	53.02	319.28	54.98	7.46	0.20	0.18	0.18	0.18	0.17	105.00	542.3	17.19
1945	16.24	207.76	96.47	115.62	500.29	41.43	2.65	0.19	0.18	0.21	0.19	1.15	982.4	31.13
1946	32.14	42.09	60.44	136.77	33.16	3.59	0.17	0.16	0.16	0.16	0.18	18.97	328.0	10.39
1947	0.97	2.42	758.71	752.04	258.17	38.33	7.37	0.19	0.18	0.18	3.30	1.53	1823.4	57.78
1948	0.77	0.62	884.54	230.08	121.63	20.13	0.36	0.22	0.18	0.18	0.17	0.96	1259.8	39.92
1949	0.26	3.29	62.84	275.70	28.68	12.14	0.34	0.19	0.18	0.20	5.53	0.68	390.0	12.36
1950	1.87	0.56	278.68	1 348.06	307.52	79.63	7.93	0.19	0.18	1.25	0.24	0.29	2026.4	64.21
1951	1.25	0.55	5.74	138.11	14.19	2.76	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.88	164.4	5.21
1952	0.22	2.03	45.61	278.12	131.87	4.72	0.21	0.18	0.18	0.18	0.17	1.34	464.8	14.73
1953	0.19	0.95	8.28	44.58	41.23	7.11	0.18	0.18	0.17	0.17	0.72	0.24	104.0	3.30
1954	0.21	2.67	75.56	83.90	7.84	2.11	0.21	0.18	0.18	0.18	0.20	0.20	173.4	5.50
1955	3.57	122.47	229.71	213.60	51.04	12.07	0.71	0.19	0.18	0.18	0.17	1.74	635.6	20.14
1956	0.17	915.04	440.75	918.25	172.20	30.74	8.58	0.32	0.18	0.25	0.18	0.18	2486.8	78.80
1957	69.39	2.07	860.21	1 179.13	253.41	58.23	5.24	0.19	0.18	0.18	0.17	0.18	2428.6	76.96
1958	0.34	0.34	9.15	1.25	0.59	0.20	0.22	0.23	0.17	0.17	0.17	0.19	13.0	0.41
1959	0.78	13.95	71.60	95.41	35.52	1.06	0.24	0.29	0.17	0.17	0.18	0.17	219.5	6.96
1960	0.18	0.25	1 952.86	370.47	232.31	68.92	5.23	0.18	0.18	0.18	0.17	0.23	2631.2	83.38

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Quadro 3.2 (2/2)

Açude Castanhão - Série de escoamentos mensais afluentes

Ano	Escoamento mensal (hm ³)												Total anual (hm ³)	Total anual (m ³ /s)
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
1961	43.37	171.61	661.09	287.56	127.83	25.67	0.24	0.18	0.18	0.18	0.17	7.36	1325.4	42.00
1962	28.19	5.19	428.55	398.75	124.55	29.08	2.26	0.23	0.19	0.18	0.20	1.38	1018.8	32.28
1963	2.29	384.41	1 321.88	527.01	219.58	38.53	5.09	0.18	0.17	0.19	0.75	8.45	2508.5	79.49
1964	7.69	92.00	717.84	1 275.87	484.41	283.20	76.83	2.43	0.19	0.18	0.17	0.18	2941.0	93.19
1965	0.85	0.24	192.45	1 119.35	521.92	207.98	37.79	0.18	0.18	0.20	0.17	0.35	2081.6	65.96
1966	0.21	820.05	63.02	32.31	52.50	12.50	0.22	0.19	0.35	0.47	0.20	0.18	982.2	31.12
1967	1.17	201.62	714.40	1 568.83	1 132.98	228.39	60.90	4.98	0.18	0.18	0.17	0.32	3914.1	124.03
1968	17.37	1.39	1 406.49	226.22	314.45	104.28	4.92	0.18	0.18	0.18	0.18	0.21	2076.0	65.79
1969	64.26	6.86	328.12	660.61	124.18	59.72	3.79	0.34	0.19	0.18	0.17	0.18	1248.6	39.57
1970	15.98	1.41	451.70	30.81	5.44	0.23	0.18	0.18	0.18	0.21	0.26	0.17	506.7	16.06
1971	1.33	179.31	124.85	253.12	110.48	32.86	8.05	0.23	0.18	0.20	0.20	0.17	711.0	22.53
1972	116.62	26.68	54.71	64.80	32.89	8.24	0.19	0.41	0.17	0.17	0.17	1.47	306.5	9.71
1973	0.49	31.30	154.28	1 395.24	431.27	186.21	59.74	7.37	0.28	0.22	0.18	0.19	2266.7	71.83
1974	194.93	676.73	1 927.88	4 740.52	966.64	516.90	229.23	11.08	0.19	0.18	0.17	0.19	9264.6	293.58
1975	8.28	5.82	727.49	283.33	345.05	107.46	81.96	21.95	0.18	0.18	0.17	0.72	1582.6	50.15
1976	0.52	78.13	305.30	140.46	12.05	0.44	0.20	0.18	0.35	1.05	0.19	0.91	539.8	17.10
1977	0.58	1.37	170.11	622.37	446.18	120.59	33.86	2.66	0.20	0.18	0.17	1.69	1400.0	44.36
1978	2.92	220.14	177.67	32.21	364.44	24.29	4.23	0.41	0.23	0.19	0.19	0.25	827.2	26.21
1979	16.38	2.59	5.06	63.83	230.88	7.04	0.23	0.19	0.18	0.18	0.34	0.34	327.2	10.37
1980	3.11	807.45	804.20	93.23	18.01	1.99	0.18	0.18	0.17	0.20	0.46	0.19	1729.4	54.80
1981	1.45	0.63	1 802.64	725.30	115.16	4.78	0.20	0.18	0.18	0.18	0.17	0.36	2651.2	84.01
1982	0.82	4.49	13.21	212.58	102.90	7.91	0.20	0.18	0.17	0.17	0.31	0.19	343.1	10.87
1983	0.21	60.27	132.35	32.64	0.36	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	227.1	7.20
1984	0.23	0.71	504.75	1 885.70	519.02	221.68	61.23	6.08	0.18	0.19	0.18	0.18	3200.1	101.41
1985	172.26	1 231.61	2 257.69	5 097.54	3 264.81	515.43	320.56	64.59	0.20	0.18	0.21	21.78	12946.9	410.26
1986	2.46	76.23	1 143.52	1 067.87	527.25	260.91	89.42	14.93	0.20	0.19	0.19	0.36	3183.5	100.88
1987	4.67	0.96	680.28	560.82	85.09	12.62	0.32	0.20	0.20	0.18	0.17	0.19	1345.7	42.64
1988	2.50	2.05	521.12	957.45	465.13	89.91	23.73	0.20	0.18	0.18	0.18	14.62	2077.2	65.82
1989	1.17	0.19	468.04	2 202.17	1 125.38	362.07	135.24	13.01	0.19	0.18	0.27	457.76	4765.7	151.02
1990	32.93	0.73	1.36	94.84	187.88	0.96	0.78	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	320.4	10.15
1991	0.71	1.56	228.89	88.55	103.57	9.37	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	433.7	13.74
1992	200.86	431.65	186.60	470.50	30.95	5.44	0.29	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	1327.2	42.06
1993	0.21	3.97	5.85	2.01	2.50	0.26	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	15.9	0.50
1994	12.49	8.17	28.97	260.88	50.86	53.69	13.10	0.24	0.20	0.18	0.17	10.89	439.9	13.94
1995	63.22	2.63	338.57	926.60	223.75	86.33	22.56	0.35	0.19	0.18	3.45	0.28	1668.1	52.86
1996	11.46	19.92	204.48	418.75	807.05	73.95	7.08	0.20	0.18	0.18	0.34	0.21	1543.8	48.92
Mínimo.....	0.17	0.19	0.69	0.63	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	10.4	0.33
Média.....	39.48	168.99	546.05	703.36	288.90	85.24	28.15	3.19	0.21	0.25	0.55	14.01	1 878.4	59.52
Máximo.....	896.16	1 777.35	2 890.35	8 742.55	3 264.81	683.74	325.84	64.59	1.77	2.73	10.34	457.76	15 405	488.14
Escoamento médio mensal (m ³ /s)														
Mínimo.....	0.06	0.08	0.26	0.24	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.33	-
Média.....	14.74	69.23	203.87	271.36	107.86	32.89	10.51	1.19	0.08	0.09	0.21	5.23	59.52	-
Máximo.....	334.59	728.18	1 079.13	3 372.90	1 218.94	263.79	121.66	24.12	0.68	1.02	3.99	170.91	488.14	-

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE

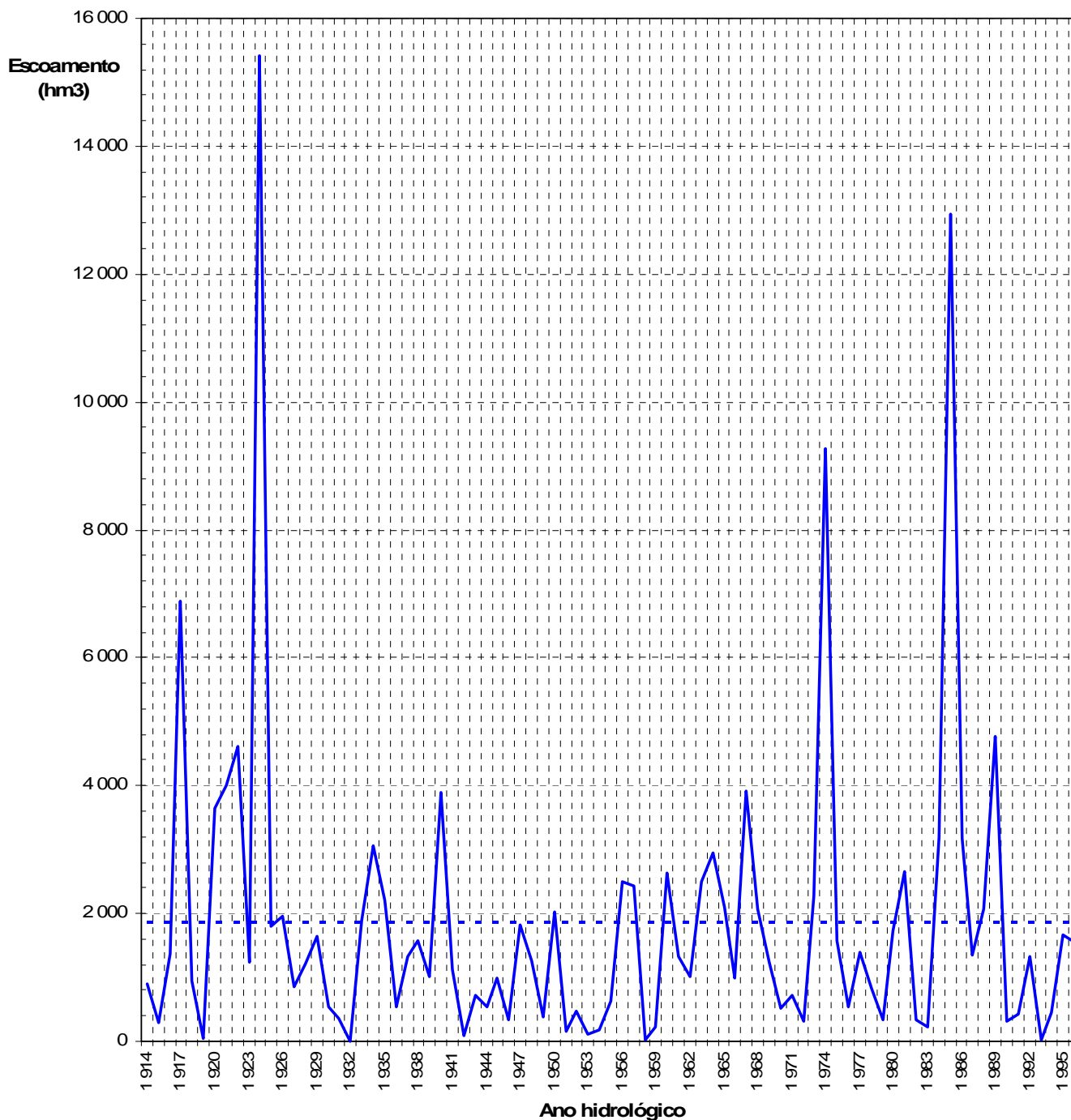


Figura 3.1
Açude Castanhão - Série de escoamentos anuais

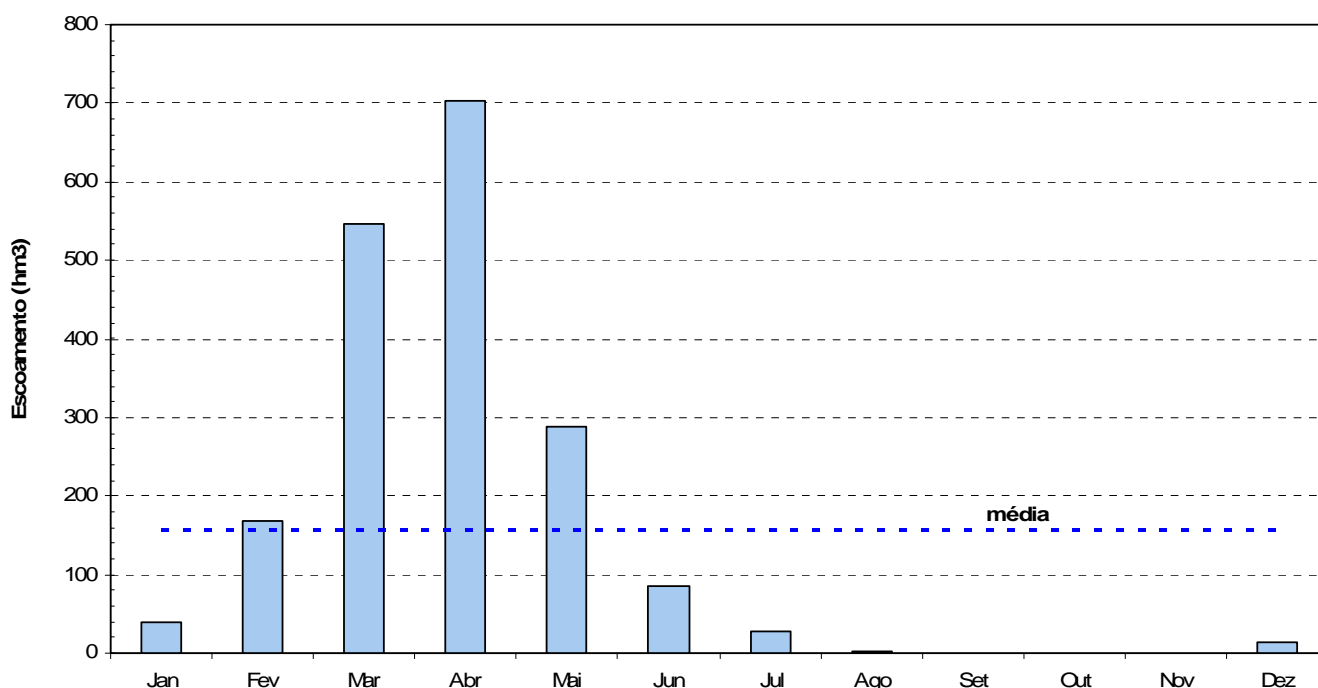


Figura 3.2
Açude Castanhão - Escoamentos médios mensais

Quadro 3.3
Dados climatológicos do açude Castanhão

Mês	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Evaporação real (mm)
Jan.	69.7	207.7	75.7
Fev.	125.9	149.8	-21.0
Mar.	217.9	87.7	-156.5
Abr.	197.3	90.1	-134.2
Mai.	111.5	112.4	-32.8
Jun.	58.0	128.7	32.1
Jul.	37.4	179.6	88.3
Ago.	3.5	243.8	167.2
Set.	2.4	246.7	170.3
Out.	5.5	279.3	190.0
Nov.	1.4	256.9	178.4
Dez.	27.3	249.5	147.4
Ano	857.8	2 232.2	704.7

3.1.5. Açude Castanhão

O nível de pleno armazenamento ou normal do reservatório (NNR) do Castanhão encontra-se à cota 100,00 m, sendo a área da bacia hidráulica respectiva de 325,0 km². No Quadro 3.4 indicam-se as principais características do reservatório do açude existente.

O açude Castanhão tem uma capacidade de armazenamento total de 6 700 hm³ (cota 106,00 m), incluindo o volume livre reservado para controlo de cheias. O volume de armazenamento total para o nível máximo normal no reservatório é de 4 452 hm³ (cota 100,00 m do NNR) e o volume de armazenamento útil é de 4 200 hm³. O volume morto, definido pela cota 71,00 m da tomada de água, é de 252 hm³.

Quadro 3.4
Características do açude Castanhão

Açude / Aproveitamento	Altura máxima (m)	Área para o NNR (km ²)	Níveis no reservatório (m) (1)			Capacidade do reservatório (hm ³) (2)		
			NNR	NME	NCM	Total	Útil	Morta
Castanhão	60	325	100	71	-	4 452	4 200	252

(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 , hm³) com a cota do nível do reservatório (Z , m) e com a área inundada (A , km²), para cada um dos reservatórios, são definidas pelas expressões seguintes:

- $Z = 33,666 \times V^{0,130} - 0,680$
- $A = - 1,5787 \times 10^{-6} V^2 + 0,07569 V + 17,01$

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

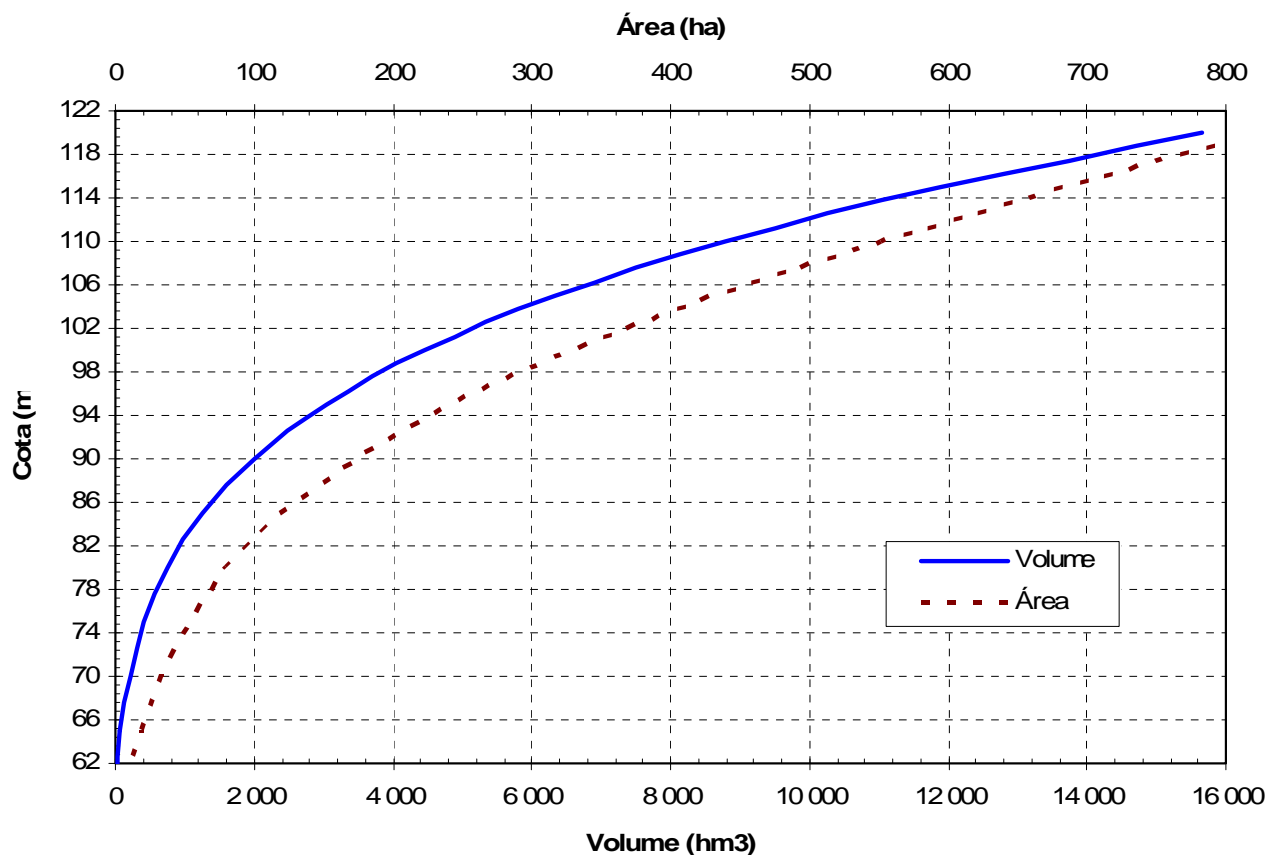


Figura 3.3

Curvas de superfícies e de volumes do açude Castanhão

Quadro 3.5

Curvas de superfícies e de volumes do açude Castanhão

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
53.0	0.0	0.0
60.0	5.1	17.8
65.0	18.5	76.6
70.0	33.5	206.5
75.0	53.3	423.5
80.0	80.7	752.3
85.0	119.3	1 258.3
90.0	174.4	1 992.6
95.0	240.6	3 028.0
100.0	328.1	4 451.7
105.0	429.1	6 344.7
110.0	551.8	8 797.0
115.0	684.0	11 886.6
120.0	823.1	15 654.5

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.

Foram consideradas as demandas agregadas ao Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, derivadas por bombeamento, sendo a restante capacidade de regularização do reservatório utilizada para regularização do rio a jusante do açude.

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.

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 ³ /ano)	Irrigação (hm ³ /ano)	Total (hm ³ /ano)
Atual (2005)			
- A montante (não turbinável)	105,9	144,6	250,5
- A jusante (turbinável)	247,1	337,4	584,7
- Total	353,0	482,0	835,0
Futuro (2030)			
- A montante (não turbinável)	279,0	186,0	465,0
- A jusante (turbinável)	74,0	296,0	370,0
- Total	353,0	482,0	835,0

(*) – A demanda com origem neste açude é variável ao longo do tempo.

PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DO CEARÁ ESTUDO DE VIABILIDADE



Considera-se que a situação atual (2005) é semelhante aproximadamente à situação que ocorrerá na data de entrada em exploração do aproveitamento hidrelétrico e que o ano 2030 corresponde à situação a longo prazo, que se manterá constante até ao ano horizonte de projeto (sem considerar o eventual reforço com a transferência do rio São Francisco).

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
Total	100,00	100,00

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 (m³/s)	Potência instalada (MW)	Rendimento global (1) (-)	Queda útil (m)		
				Mínimo	Nominal	Máximo
Castanhão	15,0	5,25	0,85	28,0	42,0	48,0

(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):

$$Q = 0,0551 H_u^{1.5}$$

O nível mínimo de exploração para turbinamento é estabelecido à cota 84,00 m a que corresponde um volume armazenado não utilizável para produção de energia de 1 181 hm³ (para abastecimento de água o nível mínimo de exploração situa-se à cota 71,00 m e o volume morto é de 252 hm³).

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%	3 360	hm ³
Volume útil máximo (julho).....	80%	3 360	hm ³
• Curva-guia inferior			
Volume útil mínimo (janeiro).....	50%	2 100	hm ³
Volume útil máximo (julho).....	70%	2 940	hm ³
• Curva-guia de emergência			
Volume útil mínimo (janeiro).....	20%	840	hm ³
Volume útil máximo (julho).....	20%	840	hm ³

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).

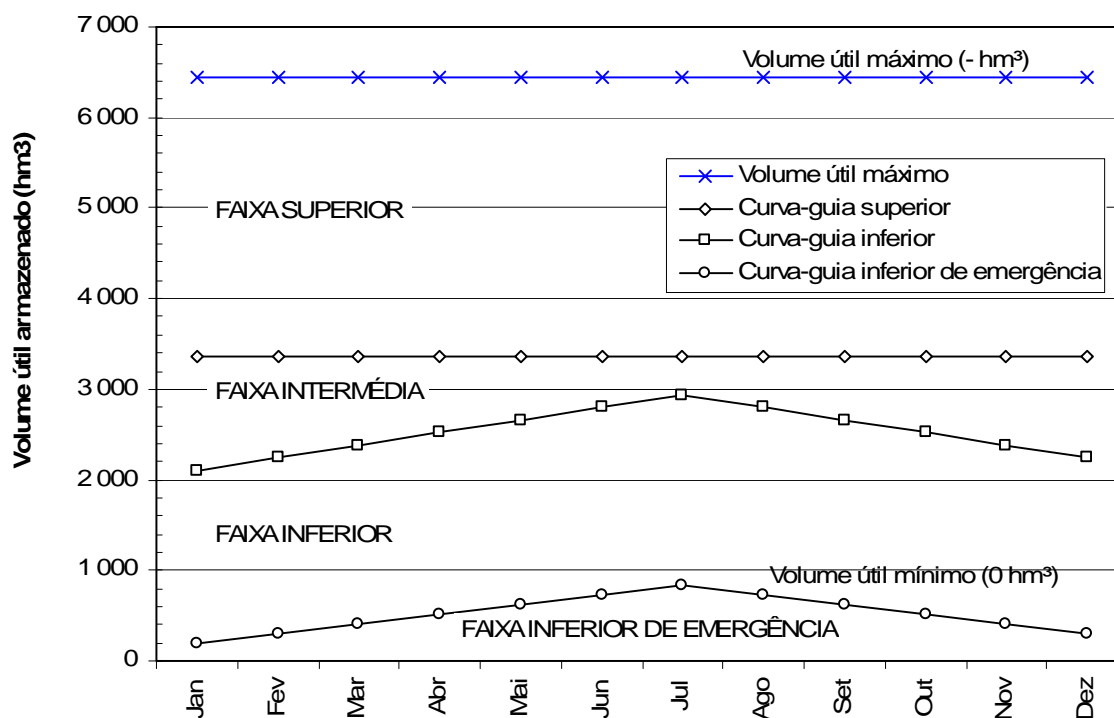


Figura 3.4
Curvas-guia de exploração do reservatório

3.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO

3.2.1. Considerações prévias

Para a determinação da capacidade do açude Castanhão 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:

- **835 hm³/ano, ou seja 26,6 m³/s** (garantia em tempo de 90,4%, garantia em volume de 97,4% e falha máxima num ano de 39,4% do volume pedido).

Caso seja exigida uma garantia em tempo superior a 95% o volume regularizado será de apenas 650 hm³/ano (20,7 m³/s), o que poderá também ser admitido como valor aceitável, considerando-se que uma parte significativa das vazões serão utilizadas para abastecimento humano.

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 835 hm³/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 15 m³/s, e potência instalada de 5,25 MW.**
- **Fase 2 : vazão de equipamento de 30 m³/s, e potência instalada de 10,50 MW.**

Para a solução adotada e 1ª Fase, a produção em ano médio é avaliada em 41,5 GWh/ano e a receita anual é estimada em 2,58 MR\$, considerando o tarifário da COELCE de 2005. O período de funcionamento médio é de 7 885 horas/ano, considerando o turbinamento à capacidade máxima.

Para a 2ª Fase a produção em ano médio será de 61,1 GWh/ano e a receita anual é estimada em 3,80 MR\$ para o mesmo tarifário. O período de funcionamento médio será de 6 094 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.

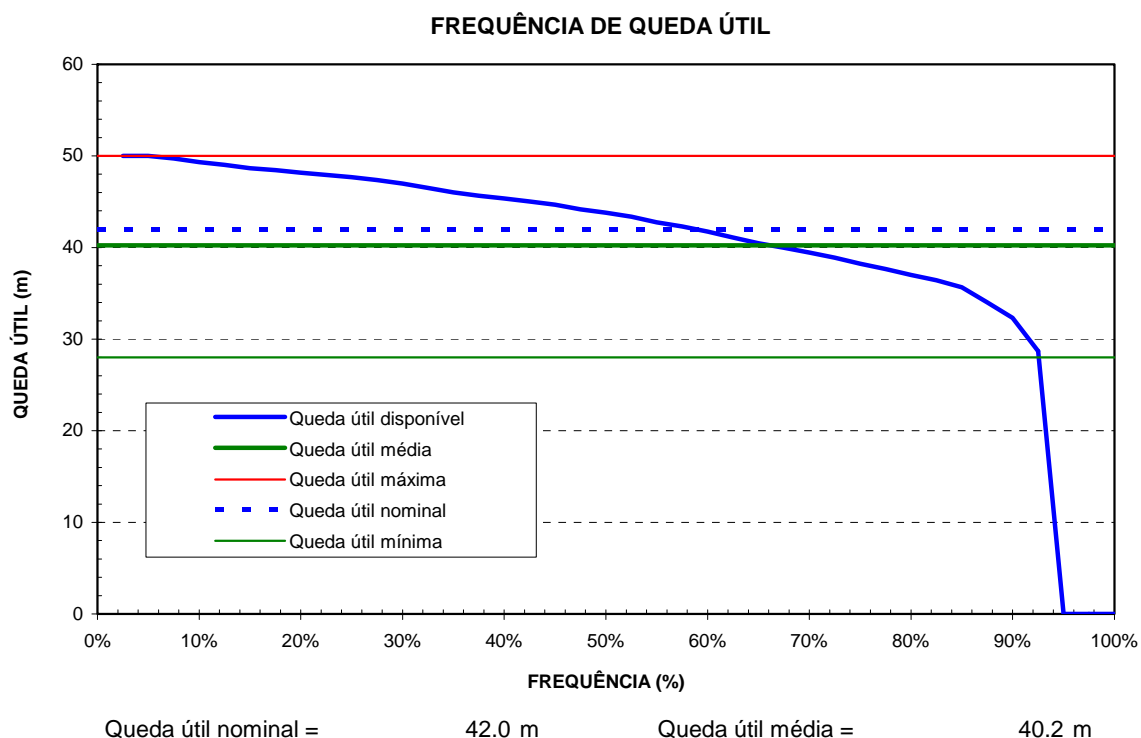
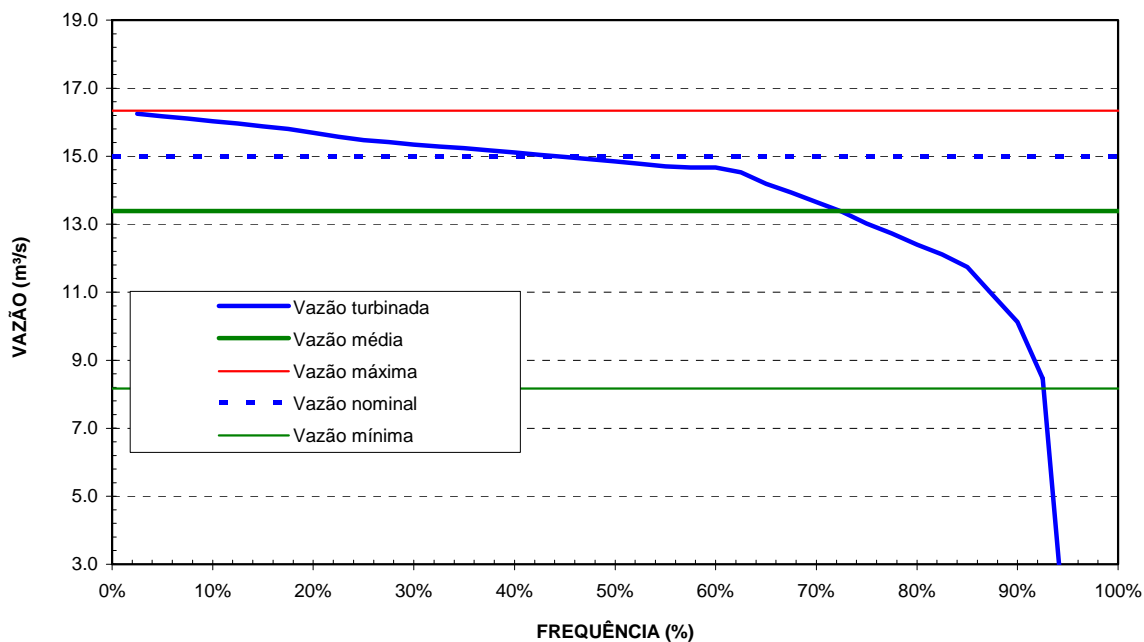


Figura 3.5
Curva de frequência da queda útil disponível

FREQUÊNCIA DE VAZÃO TURBINADA

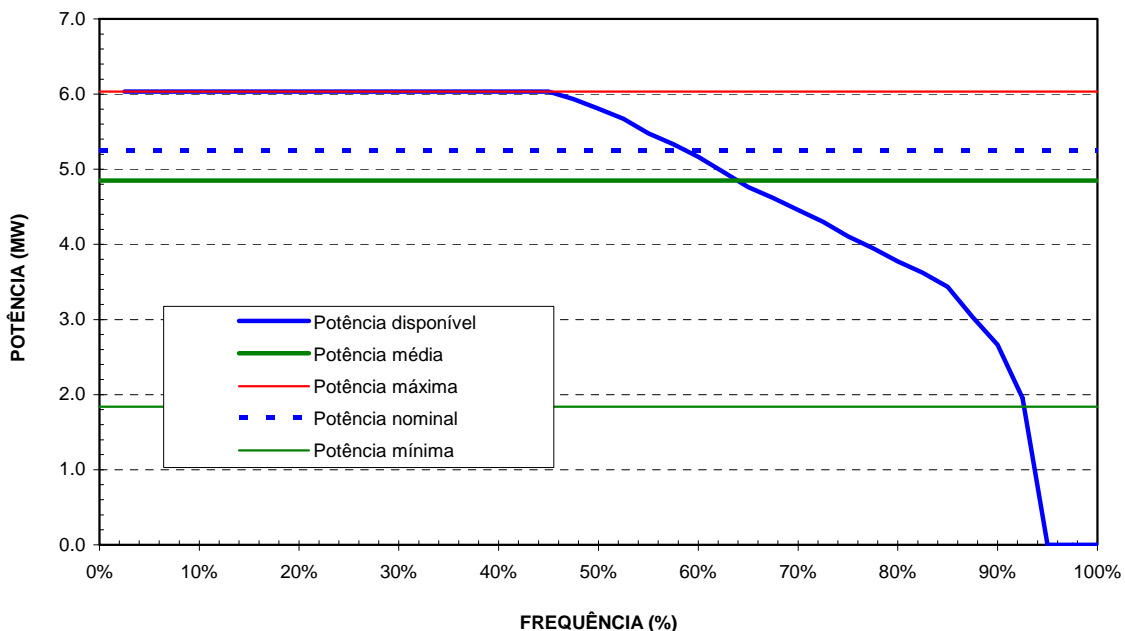


Vazão nominal = 15.0 m³/s Vazão média = 13.4 m³/s

Figura 3.6

Curva de frequência da vazão turbinada

FREQUÊNCIA DA POTÊNCIA DISPONÍVEL



Potência nominal = 5.2 MW Potência média = 4.8 MW

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 10,78 MR\$, sendo 8,09 MR\$ relativos a equipamentos e 2,69 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 11,9 MR\$, o índice benefícios-custos é de 1,90 e o período de amortização do investimento de 7 anos. A taxa interna de retorno calculada é de 22,4%.

Também para a taxa de retorno de 10% o custo atualizado da energia produzida é de 32,8 R\$/MWh e o custo da potência instalada é de 2 535 R\$/kW.

Estes resultados permitem concluir que a construção da PCH do Castanhão 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.....	15.0 m³/s
Potência instalada da central hidroelétrica.....	5.25 MW
Energia produzida em ano médio (ano 1).....	41.5 GWh/ano
Energia produzida em ano médio (ano 20).....	41.5 GWh/ano
Valor da energia (tarifário COELCE 2005).....	2.58 M R\$ / ano

INDICADORES DE RENTABILIDADE ECONÔMICA

Taxa de retorno, Tx (%).....	8%	10%	12%
Valor Presente Líquido, VPL (M R\$).....	16.6	11.9	8.5
Índice benefícios/custos, B/C.....	2.18	1.90	1.67
Tempo de retorno Tr (anos).....	6.0	7.0	7.0
Custo atualizado do kWh produzido (R\$/kWh).....	0.0286	0.0328	0.0373
Custo da potência instalada (R\$/kW).....	2 691	2 535	2 426
Taxa interna de retorno, TIR (%).....	22.4 %		

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	2.69	8.09	0.000	10.78
2007	1	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2008	2	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2009	3	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2010	4	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2011	5	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2012	6	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2013	7	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2014	8	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2015	9	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2016	10	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2017	11	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2018	12	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2019	13	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2020	14	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2021	15	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2022	16	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2023	17	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2024	18	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2025	19	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2026	20	5.25	41.47	2.58	0.00	8.09	0.135	8.23
2027	21	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2028	22	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2029	23	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2030	24	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2031	25	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2032	26	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2033	27	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2034	28	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2035	29	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2036	30	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2037	31	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2038	32	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2039	33	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2040	34	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2041	35	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2042	36	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2043	37	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2044	38	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2045	39	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
2046	40	5.25	41.47	2.58	0.00	0.00	0.135	0.13
Totais	40	---	---	---	---	---	---	---
Valores atualizados	Taxa de retorno de 8%.....			30.77	---	---	---	14.13
	Taxa de retorno de 10%.....			25.23	---	---	---	13.31
	Taxa de retorno de 12%.....			21.27	---	---	---	12.74

4. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS

4.1. IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL

A PCH do açude Castanhão, 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 existente à cota 69,50 m, do lado direito 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 largamente suficiente para permitir uma fácil implantação do edifício e caminhos de circulação, sendo os acessos já existentes. 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 na junta cega existente na estrutura cilíndrica de derivação que alimenta também a derivação para alimentação da estação de bombeamento do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza, apresentando uma inflexão para alinhamento com o canal de restituição existente.

O eixo longitudinal do edifício ficará perpendicular ao 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 42,0x25,0 m², com altura máxima de 35,00 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^a fase e 1 na 2^a 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 5 250 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 10 500 kW.

As duas turbinas são dimensionadas para um vazão nominal de 15 m³/s e uma queda útil nominal de 42 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 1,5 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 5,25 MVA
- Velocidade nominal..... 400 rpm
- Classe de isolamento..... 15 kV
- Tensão nominal de geração 13,8 kV
- Nível básico de isolamento 95 kV,
- 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 direito do canal de restituição, na mesma plataforma do edifício da usina.

As unidades geradoras da PCH do açude Castanhão poderão ser conectadas à subestação BARRA DO FIGUEIREDO – BFG distante 21,1 km, através de uma linha de transmissão em 13,8 kV, pelo fato de que a potência total não pode ser transportada pelo alimentador da rede Rural da Coelce que passa próximo ao aproveitamento.

No entanto, caso o arranjo institucional indique que a COGERH deverá ser um Autoprodutor, o melhor ponto de conexão será através da subestação CASTANHÃO de propriedade da COGERH.

Em ambos os casos a conexão ao sistema COELCE será através de disjuntor de 15 kV, 1250 A, e as 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

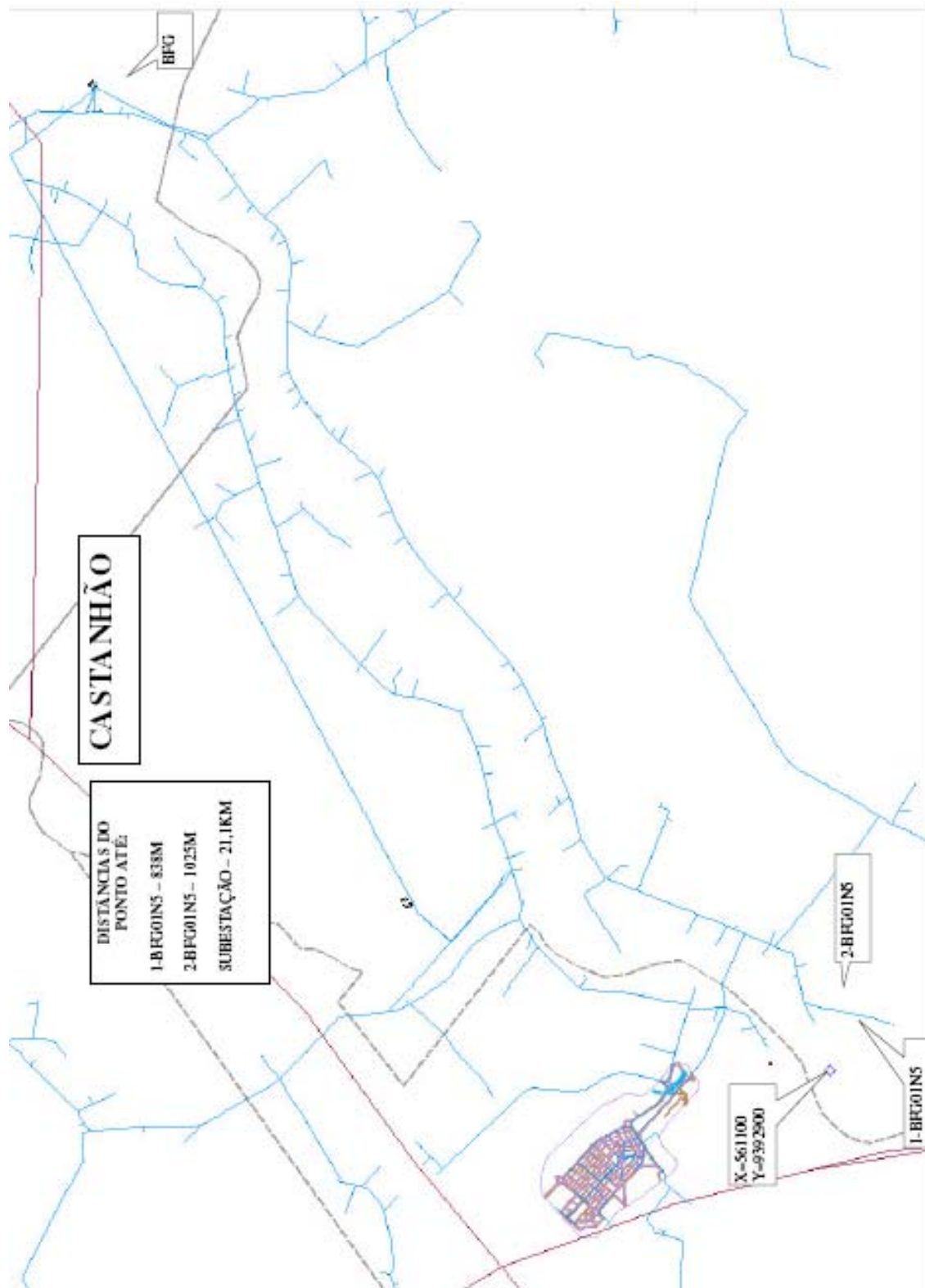


Figura 4.4
Ligação à rede elétrica da COELCE

5. RESUMO

A PCH do açude Castanhão 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..... 15 m³/s
- Queda bruta..... 44 m
- Queda útil (nominal) 42 m
- Potência..... 5,25 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 30 m³/s e uma potência instalada de 10,50 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 na calote esférica existente na saída da estrutura de tomada de água da estação de bombeamento do Eixo de Integração Castanhão-Fortaleza.

O custo de execução da 1ª Fase é estimado em 10,78 MR\$, repartidos por 8,09 MR\$ para equipamentos e 2,69 MR\$ para obras civis, de acordo com as seguintes parcelas:

- Usina hidrelétrica..... 9,59 x 10⁶ R\$
 - Equipamento mecânico..... 2,45 x 10⁶ R\$
 - Equipamento elétrico..... 2,56 x 10⁶ R\$
 - Conexão à rede da COELCE 2,30 x 10⁶ R\$
 - Edifício da central e instalações anexas 2,28 x 10⁶ R\$

- Circuito hidráulico..... 1,19 x 10⁶ R\$
 - Equipamentos 0,78 x 10⁶ R\$
 - Construção civil..... 0,41 x 10⁶ R\$

- Total global..... 10,78 x 10⁶ 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) 835 hm³/ano (26,6 m³/s)
- Energia produzida..... 41,5 GWh/ano
- Tempo de funcionamento médio 7 885 horas/ano
- Valor da energia produzida (tarifário COELCE 2005) 2,58 x 10⁶ 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 11,9 MR\$
- Índice benefícios-custos – B/C 1,90
- Tempo de retorno do investimento 7 anos
- Taxa Interna de Retorno – TIR 22,4 %
- Custo atualizado do kWh produzido 32,8 R\$/MWh
- Custo da potência instalada 2 535 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 Castanhão 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 1
PCH DO AÇUDE CASTANHÃO**

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PCH.....	2
2.1. LOCALIZAÇÃO	2
2.2. AÇUDE CASTANHÃO	2
2.3. TRANSFERÊNCIA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	4
2.4. CARACTERÍSTICAS DE DIMENSIONAMENTO	5
2.4.1. Queda bruta e queda útil.....	5
2.4.2. Vazão de equipamento	6
3. SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO	8
3.1. DADOS DE CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO.....	8
3.1.1. Considerações prévias.....	8
3.1.2. Bacia hidrográfica	8
3.1.3. Escoamentos	9
3.1.4. Evaporação	9
3.1.5. Açude Castanhão.....	14
3.1.6. Demandas hídricas	16

3.1.7. Central hidrelétrica	17
3.1.8. Curvas-guia de exploração	18
3.2. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO APROVEITAMENTO	19
3.2.1. Considerações prévias.....	19
3.2.2. Fornecimento de água	20
3.2.3. Produção de energia.....	20
3.2.4. Condições de funcionamento.....	21
3.3. INDICADORES ECONÔMICOS	23
4. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS	25
4.1. IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL.....	25
4.2. DESCRIÇÃO DA CENTRAL	26
4.3. EQUIPAMENTOS ELECTROMECAÑICOS.....	27
4.4. SISTEMAS ELÉCTRICOS	28
4.5. CONEXÃO À REDE ELÉTRICA DO ESTADO	29
5. RESUMO	34

QUADROS

- 3.1. Características da bacia hidrográfica na seção do açude
- 3.2. Açude Castanhão - Série de escoamentos mensais afluentes
- 3.3. Dados climatológicos do açude Castanhão
- 3.4. Características do açude Castanhão
- 3.5. Curvas de superfícies e de volumes do açude Castanhão
- 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 Castanhão
- 3.1. Açude Castanhão - Série de escoamentos anuais
- 3.2. Açude Castanhão - Escoamentos médios mensais
- 3.3. Curvas de superfícies e de volumes do açude Castanhão
- 3.4. Curvas-guia de exploração do reservatório
- 3.5. Curva de frequência da queda útil disponível
- 3.6. Curva de frequência da vazão tubinada
- 3.7. Curva de frequência da potência disponível
- 4.1. Implantação da PCH do açude Castanhão
- 4.2. Planta e seção transversal do edifício da PCH do açude Castanhão
- 4.3. Esquema unifilar elétrico da PCH do açude Castanhão
- 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