

ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO	1
2. INTRODUÇÃO.....	2
2.1. Objetivo	2
2.2. Histórico dos Estudos	2
2.3. Estudos Anteriores	3
2.4. Localização e Acessos	5
2.5. Organização do Relatório	6
3. SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	8
4. EIH E PB: CARACTERÍSTICAS E JUSTIFICATIVAS PARA ALTERAÇÕES DE PROJETO	10
5. LEVANTAMENTOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS	13
5.1. Levantamentos dos Estudos de Inventário	13
5.2. Perfilamento a Laser.....	16
5.2.1. Informações Gerais	16
5.2.2. Perfilamento Laser Aerotransportado	17
5.2.3. Ortorretificação	18
5.2.4. Fluxograma	18
5.2.5. Planejamento e Execução do Voo.....	20
5.2.6. Equipamentos Utilizados.....	21
5.2.7. Equipe Envolvida	23
5.2.8. Relatório de Voo.....	24
5.2.9. Considerações.....	24
5.2.10. Documentação de Referência	24
5.2.11. Documentação Oficial	28
5.2.12. Apoio de Campo	28
5.2.13. Processamentos dos Produtos.....	30
5.3. Levantamentos Topográficos Complementares.....	34
5.3.1. Levantamento Geodésico.....	34
5.3.2. Levantamento Topográfico.....	37
5.3.3. Sistema de Referência.....	38
5.3.4. Equipamentos e Softwares.....	41
5.3.5. Produtos e Resultados.....	42
5.3.6. Equipe Técnica	43
6. ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	44
6.1. Caracterização Fisiográfica da Bacia.....	44
6.1.1. Localização e Hidrografia.....	44
6.1.2. Área de Drenagem e Perímetro	45
6.1.3. Índice de Compacidade.....	45
6.1.4. Fator de Forma.....	45
6.1.5. Declividade Média.....	46
6.1.6. Densidade de Drenagem	46
6.1.7. Tempo de Concentração.....	47
6.1.8. Geologia	47
6.1.9. Interpretação do Escoamento Fluvial.....	48
6.2. Caracterização Climatológica.....	48
6.2.1. Aspectos Gerais da Climatologia.....	48
6.2.2. Características Climatológicas Locais.....	49
6.3. Dados Básicos	50
6.3.1. Dados Fluviométricos	51
6.4. Vazões Médias Mensais Afluentes.....	66

6.4.1.	Metodologia de Geração das Séries de Vazões.....	66
6.4.2.	Série de Vazões Médias Mensais Afluente no Local da PCH Cumbuco	66
6.4.3.	Validação da Série de Vazões Gerada com as Medições Realizadas.....	68
6.4.4.	Comparação da Série de Vazões do Projeto Básico com a Série do Inventário	69
6.5.	Permanência de Vazões Médias Mensais Afluentes	71
6.6.	Vazões Extremas	72
6.6.1.	Dados Básicos	73
6.6.2.	Vazões Máximas Anuais	75
6.6.3.	Vazões Máximas na Estiagem	76
6.7.	Vazões Mínimas.....	77
6.8.	Curva-Chave no Canal de Fuga e Barragem – PCH Cumbuco.....	77
6.9.	Curvas Cota-Área-Volume	79
6.10.	Enchimento do Reservatório	80
6.11.	Tempo de Residência	81
6.12.	Evaporação Líquida no Reservatório da PCH Cumbuco.....	82
6.12.1.	Metodologia de Cálculo.....	82
6.12.2.	CrITÉRIOS de Cálculo.....	83
6.12.3.	Resultados.....	83
6.13.	Borda Livre.....	83
6.14.	Assoreamento e Vida Útil do Reservatório da PCH Cumbuco	85
7.	ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS	90
7.1.	Caracterização Regional.....	90
7.2.	Geologia Regional	91
7.3.	Geotectônica e Geologia Estrutural.....	93
7.4.	Geomorfologia Regional.....	94
7.5.	Recursos Minerais.....	95
7.6.	Sismicidade Natural e Induzida.....	95
7.7.	Estanqueidade do Reservatório	97
7.8.	Estabilidade das Encostas.....	98
7.9.	Geologia Local	98
7.9.1.	Investigações Geológico-Geotécnicas Executadas	98
7.9.2.	Interpretação dos Resultados das Investigações Geológico-Geotécnicas	98
7.10.	Condições Geológico-Geotécnicas das Fundações Estruturais.....	99
7.10.1.	Barragem de Terra.....	99
7.10.2.	Adufas de Desvio.....	99
7.10.3.	Vertedouro.....	99
7.10.4.	Muro de Ligação	100
7.10.5.	Tomada d'Água de Controle.....	100
7.10.6.	Canal de Adução	100
7.10.7.	Câmara de Carga e Tomada d'Água.....	100
7.10.8.	Conduto Forçado.....	101
7.10.9.	Casa de Força e Canal de Fuga.....	101
7.11.	Disponibilidades de Materiais Naturais de Construção	101
7.11.1.	Solos	101
7.11.2.	Areias e Cascalho	102
7.11.3.	Material Rochoso.....	102
7.12.	Balanço de Materiais.....	102
7.13.	Áreas de Bota-Fora.....	104
8.	ESTUDOS DE CUSTOS.....	105
8.1.	Obras Cíveis.....	105

8.2.	Equipamentos Eletromecânicos	114
8.3.	Custos Indiretos e Juros Durante a Construção	115
9.	DIMENSIONAMENTOS HIDRÁULICOS.....	116
9.1.	Estruturas de Desvio do Rio	116
9.2.	Vertedouros	122
9.3.	Circuitos de Adução	127
9.3.1.	Cálculo das perdas de carga no circuito de adução	128
10.	ESTUDOS DE ALTERNATIVAS	134
10.1.	Considerações Iniciais	134
10.2.	Conceitos Gerais	134
10.2.1.	Concepção Geral.....	134
10.2.2.	Dimensionamentos Hidráulicos e Levantamentos de Custos de Implantação.....	134
10.2.3.	Estruturas de Desvio do Rio	135
10.2.4.	Vertedouros	135
10.2.5.	Circuitos de Adução.....	136
10.2.6.	Casa de Força e Canal de Fuga.....	136
10.2.7.	Dimensionamentos Geotécnicos	136
10.2.8.	Reservatórios.....	136
10.3.	Características dos Arranjos Implantados	137
10.4.	Seleção da Alternativa de Arranjo	142
11.	ESTUDOS ENERGÉTICOS	144
11.1.	Critérios para a Determinação da Energia Média Gerada.....	144
11.2.	Valoração dos Benefícios Energéticos	147
11.3.	Estudos de Motorização	150
11.4.	Determinação do Número de Unidades Geradoras.....	166
11.5.	Estudos de Otimização do Circuito de Adução.....	166
11.6.	Determinação da Energia Média da PCH	167
11.7.	Determinação das Quedas de Projeto e de Referência	168
11.8.	Garantia Física da PCH	170
11.9.	Determinação das Características Finais do Empreendimento.....	176
12.	DETALHAMENTO DO PROJETO	177
12.1.	Arranjo Geral da Usina.....	177
12.2.	Fases de Desvio e Sequência Construtiva	178
12.3.	Reservatório	179
12.4.	Desvio do Rio	180
12.5.	Ensecadeiras.....	180
12.6.	Fechamento do Desvio e Enchimento do Reservatório	181
12.6.1.	Equipamentos Eletromecânicos	181
12.7.	Vazão Remanescente	182
12.8.	Barragem e Aterros	182
12.9.	Vertedouro.....	183
12.10.	Tomada d'Água de Controle do Canal de Adução	184
12.10.1.	Equipamentos Eletromecânicos	185
12.11.	Canal de Adução e Câmara de Carga	186
12.12.	Tomada d'Água	187
12.12.1.	Equipamentos Eletromecânicos	188

12.13. Conduto Forçado.....	191
12.14. Casa de Força, Área de Montagem e Canal de Fuga	192
12.14.1. Equipamentos Eletromecânicos	193
12.15. Sistemas de Utilidades.....	196
12.15.1. Sistema de Esvaziamento e Enchimento	196
12.15.2. Sistema de Água de Resfriamento e de Serviço.....	197
12.15.3. Sistema de Drenagem.....	197
12.15.4. Sistema de Ar Comprimido de Serviço	198
12.15.5. Sistema de Ventilação.....	198
12.15.6. Sistemas de Água Potável e Esgoto Sanitário	198
12.15.7. Sistema de Proteção Contra Incêndios.....	199
12.15.8. Sistema de Medições Hidráulicas	199
12.16. Equipamentos e Sistemas Elétricos Principais.....	200
12.16.1. Geradores.....	201
12.16.2. Cubículos de Média Tensão	202
12.16.3. Transformador Elevador.....	203
12.16.4. Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).....	203
12.16.5. Sistema de Proteção.....	205
12.16.6. Subsistema de Medição e Supervisão	206
12.16.7. Sistema de Segurança Eletrônica.....	206
12.16.8. Sistema de Telecomunicações	206
12.16.9. Serviços Auxiliares em Corrente Alternada	207
12.16.10. Serviços Auxiliares em Corrente Contínua.....	208
12.16.11. Sistema de Iluminação e Tomadas	210
12.16.12. Sistema de Vias Para Cabos e Condutores	211
12.16.13. Sistema de Aterramento e de Proteção Contra Descargas Atmosféricas	212
12.16.14. Subestação Elevadora	212
12.16.15. Linha de Transmissão.....	214
13. COMPONENTE AMBIENTAL.....	215
14. INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DE ABASTECIMENTO.....	217
14.1. Acessos	217
14.2. Logística.....	219
14.3. Canteiro e Alojamentos	220
14.3.1. Canteiro de Obras.....	220
14.3.2. Alojamentos.....	220
15. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO.....	221
16. ORÇAMENTO PADRÃO ELETROBRÁS.....	225
17. AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO EMPREENDIMENTO.....	227
18. FICHA TÉCNICA PADRÃO ANEEL.....	228
19. PARTICIPANTES DOS ESTUDOS.....	229
20. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	231
21. ANEXOS.....	234

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1: Usinas inventariadas no rio das Mortes e seus afluentes (conforme Despacho ANEEL nº 4.899 de 22 de dezembro 2014).....	4
Tabela 4-1: Quadro comparativo entre Inventário e Projeto Básico	10
Tabela 5-1: Cartas topográficas na escala 1:100.000 utilizadas nos Estudos de Inventário de referência	13
Tabela 5-2: Lista de produtos entregues (serviços executados)	43
Tabela 6-1: Dados Obtidos – PCH Cumbuco	45
Tabela 6-2: Características Climatológicas – Estação Cuiabá (83361)	49
Tabela 6-3: Postos Fluviométricos – Região da Bacia do Rio Cumbuco.....	51
Tabela 6-4: Medições de Vazões Posto Fazenda Suspiro (26034600) – Rio Cumbuco.....	52
Tabela 6-5: Série de Vazões Observadas – Rio das Mortes (26040000).....	53
Tabela 6-6: Série de Vazões Observadas – Toriqueje (26050000)	55
Tabela 6-7: Série de Vazões Observadas – Xavantina (26100000)	56
Tabela 6-8: Série de Vazões Observadas – Fazenda Rio Doce (66171500)	58
Tabela 6-9: Série de Vazões Observadas – Ponte do Rio Casca Man-F2 (66173000)	59
Tabela 6-10: Réguas Instaladas – Rio Cumbuco.....	60
Tabela 6-11: Medições de Vazões – Rio Cumbuco – Posto Fazenda Cumbuco – Ponte (EF-RC-01)	60
Tabela 6-12: Medições de Vazões – Rio Cumbuco – Posto Jusante da Ponte MT-130 (EF-RC-02)	60
Tabela 6-13: Classificação – Capacidade Natural de Regularização	61
Tabela 6-14: Capacidade Natural de Regularização – Postos Fluviométricos.....	62
Tabela 6-15: Série de Vazões Médias Mensais – Posto Toriqueje (26050000)	65
Tabela 6-16: Série de Vazões Médias Mensais – PCH Cumbuco – AD = 2.225 km ²	66
Tabela 6-17: Medições Realizadas no Rio Cumbuco	68
Tabela 6-18: Permanência de Vazões Médias Mensais Afluentes – PCH Cumbuco (m ³ /s)	71
Tabela 6-19: Vazões Máximas Diárias Anuais – Setembro a Agosto (m ³ /s)	73
Tabela 6-20: Vazões Máximas Diárias na Estiagem – Junho a Novembro (m ³ /s)	74
Tabela 6-21: Vazões Máximas Diárias Anuais – Posto Rio das Mortes (m ³ /s)	75
Tabela 6-22: Vazões Máximas Diárias e Instantâneas Anuais – PCH Cumbuco (m ³ /s)	76
Tabela 6-23: Vazões Máximas Diárias na Estiagem – Posto Rio das Mortes (m ³ /s)	76
Tabela 6-24: Vazões Máximas Diárias e Instantâneas na Estiagem – PCH Cumbuco (m ³ /s)	77
Tabela 6-25: Vazões Mínimas – PCH Cumbuco (m ³ /s).....	77
Tabela 6-26: Pontos Cota (m), Área (km ²) e Volume (hm ³) – PCH Cumbuco	79
Tabela 6-27: Tempos de Enchimento do Reservatório – PCH Cumbuco	81
Tabela 6-28: Tempo de Residência – PCH Cumbuco.....	82
Tabela 6-29: Dados de Entrada do SISEVAPO – PCH Cumbuco.....	83
Tabela 6-30: Evaporação Líquida (mm) – PCH Cumbuco.....	83
Tabela 6-31: Parâmetros da Altura de Ondas no Reservatório, Segundo o Método de Saville.....	84
Tabela 6-32: Resultados dos estudos de borda livre	85
Tabela 6-33: Estimativa da Produção Específica de Sedimentos – Rio das Mortes.....	86
Tabela 6-34: Postos do Rio das Mortes – Medições de Descargas Sólidas.....	86
Tabela 6-35: Estimativa de Vida Útil – PCH Cumbuco – Volume Total	89
Tabela 7-1: Coluna Litoestratigráfica (CPRM, 2004)	91
Tabela 7-2: Balanço de materiais simplificado	103
Tabela 8-1: Obras Civas – Preços Unitários (setembro/2015).....	112
Tabela 10-1: Principais características físicas das alternativas de Arranjo e Circuito de Geração de Baixa Pressão.....	141
Tabela 10-2: Principais características físicas das alternativas de Circuito de Geração de Alta Pressão.....	142
Tabela 10-3: Estudos de alternativas – Resumos dos orçamentos	142
Tabela 11-1: Série de vazões médias mensais no local da PCH Cumbuco.....	144
Tabela 11-2: Vazões remanescentes utilizadas.....	147
Tabela 11-3: Empreendimentos Hidrelétricos Considerados na Simulação.....	148
Tabela 11-4: Mapeamento energético preliminar	151

Tabela 11-5: Estudos de motorização – Coeficientes das equações de perda de carga	153
Tabela 11-6: Estudos de Motorização – Simulações energéticas	154
Tabela 11-7: Estudos de Motorização – Parâmetros do circuito de adução alterados com a potência instalada (parte 1)	157
Tabela 11-8: Estudos de Motorização – Parâmetros do circuito de adução alterados com a potência instalada (parte 2)	158
Tabela 11-9: Estudos de Motorização – Estimativa de custos do circuito de geração (R\$ x 10 ⁹) – Parte 1	160
Tabela 11-10: Estudos de Motorização – Estimativa de custos do circuito de geração (R\$ x 10 ⁹) – Parte 2	161
Tabela 11-11: Estudos de Motorização – Estimativa de custos do circuito de geração	162
Tabela 11-12: Relação dos incrementais de custos com as alterações na rotação dos grupos geradores, largura do canal de adução e/ou largura da base da galeria de adução	163
Tabela 11-13: Estudos de Motorização – Variação Custo/Benefício anual para cada potência instalada	164
Tabela 11-14: Estudo comparativo entre a implantação de 2 ou 3 unidades geradoras	166
Tabela 11-15: Resumo das perdas elétricas nos aproveitamentos	173
Tabela 12-1: Sobrelevações (h _v) no vertedouro para passagem das vazões remanescentes	182
Tabela 16-1: Resumo das quantidades (obras civis)	225
Tabela 16-2: OPE – Resumo das Contas	225

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Rio Cumbuco – Acessos [Fonte: Mapa Multimodal do Mato (DNIT - 2009)].....	6
Figura 4-1: EIH e PB – Séries de vazões médias mensais – Curvas de permanência comparativas	11
Figura 5-1: Mapa-índice de cartas topográficas na escala 1:1.000.000	13
Figura 5-2: Articulação de cartas topográficas na escala 1:100.000 utilizadas nos Estudos de Inventário de referência ...	14
Figura 5-3: Localização da área do levantamento	17
Figura 5-4: Fluxograma de atividades	19
Figura 5-5: Captação dos dados Lidar.....	20
Figura 5-6: Sistemas aerotransportados.....	22
Figura 5-7: GPS para apoio de campo	22
Figura 5-8: Modelo Geoidal MAPGEO2010.....	25
Figura 5-9: Modelo Geoidal SIRGAS2000 Brasil	26
Figura 5-10: Erro existente no Modelo Geoidal MAPGEO2010	27
Figura 5-11: Modelo Geoidal MAPGEO2010 na região do levantamento.....	28
Figura 5-12: Parâmetros de classificação	31
Figura 5-13: Curvas de Nível (exemplo).....	32
Figura 5-14: Exemplo de tamanho de pixel e visualização de zoom.....	33
Figura 5-15: Triangulação geodésica para ajuste planimétrico	35
Figura 5-16: Derivação marcos SAT a partir do FRR405	36
Figura 5-17: Esquema de ocupação por GPS.....	37
Figura 5-18: Desenho esquemático do levantamento topográfico	38
Figura 5-19: Elipsoide x Geoide	39
Figura 5-20: Sistema de interpolação de ondulação geoidal (MAPGEO 2010)	40
Figura 6-1: Rio Cumbuco – Localização (Fonte: Mapa Político do Estado do Mato Grosso – IBGE – 2014).....	44
Figura 6-2: Geologia na Bacia do Rio das Mortes – PCH Cumbuco (Fonte: Mapa Geológico do Estado do Mato Grosso – CPRM – 2004)	47
Figura 6-3: Curva-Chave – Rio das Mortes (26040000).....	53
Figura 6-4: Curva-Chave – Toriqueje (26050000).....	54
Figura 6-5: Curva-Chave – Xavantina (26100000)	56
Figura 6-6: Curva-Chave – Fazenda Rio Doce (66171500).....	58
Figura 6-7: Curva-Chave – Ponte do Rio Casca Man-F2 (66173000).....	59
Figura 6-8: Vazões Médias Mensais de Longo Termo Adimensionais – Postos Fluviométricos.....	62
Figura 6-9: Curvas de Regionalização de Vazões Específicas – Rio das Mortes	63
Figura 6-10: Correlação Xavantina x Toriqueje	64
Figura 6-11: Correlação Ponte Rio Casca x Toriqueje.....	64
Figura 6-12: Série de Vazões x Medições de Vazões Realizadas.....	69
Figura 6-13: Comparação da Série de Vazões – Projeto Básico x Estudos de Inventário.....	70
Figura 6-14: Comparação da Permanência de Vazões – Projeto Básico x Estudos de Inventário	71
Figura 6-15: Curva de Permanência – Vazões Médias Mensais Afluentes – PCH Cumbuco (m³/s).....	72
Figura 6-16: Curva-Chave – Barramento – PCH Cumbuco.....	78
Figura 6-17: Curva-Chave – Canal de Fuga – PCH Cumbuco.....	78
Figura 6-18: Curva Cota-Área – PCH Cumbuco	80
Figura 6-19: Curva Cota-Volume – PCH Cumbuco	80
Figura 6-20: Mapa Potencial de Produção de Sedimentos na Bacia do Rio das Mortes (Fonte: Estudos de Inventário do Rio das Mortes (obtido em http://sigel.aneel.gov.br))	86
Figura 6-21: Curvas-Chaves de Sedimentos – Rio das Mortes	87
Figura 7-1: Sismos no Brasil.....	97
Figura 9-1: Planta e seção transversal típica de canal de desvio	117
Figura 9-2: Coeficiente de descarga para vertedouro com ogiva de paramento vertical.....	123
Figura 9-3: Correção do coeficiente de descarga para vertedouro com ogiva de paramento inclinado	124

Figura 9-4: Correção do coeficiente de descarga para vertedouro submetido a cargas diferentes da carga de projeto	124
Figura 9-5: Correção do coeficiente de descarga para vertedouro sob influência do nível d'água de jusante	125
Figura 9-6: Gabarito Hidráulico para vertedouro de soleira livre – Definição do Perfil Creager	126
Figura 9-7: Vertedouro de soleira livre com paramento de jusante em escada – Definição das dimensões dos degraus	127
Figura 10.1: Localização dos Eixos Estudados	137
Figura 10.2: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Barramento - Alternativa 01	138
Figura 10.3: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Barramento - Alternativa 02	139
Figura 10.4: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Circuito de Geração - Alternativa 03	140
Figura 10.5: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Barramento - Alternativa 03	140
Figura 11-1: Curva de energia média produzida (preliminar)	153
Figura 11-2: Estudos de Motorização – Energia média e Fator de Capacidade.....	155
Figura 11-3: Estudos de Motorização – Variação custo/benefício.....	165
Figura 11-4: Curva de perdas de carga no circuito de adução	167
Figura 11-5: Curva de energia produzida pelo aproveitamento.....	168
Figura 11-6: Curva de permanência de quedas brutas.....	169
Figura 11-7: Curva de permanência de quedas líquidas	169
Figura 11-8: Croqui esquemático do sistema de conexão para as PCHs Entre Rios, Cumbuco e Geól. Lucimar Gomes	171
Figura 11-9: Séries de vazões vertidas e turbináveis históricas (1968 a 2014)	174
Figura 11-10: Série de potências médias mensais históricas (1968 a 2014)	175
Figura 12-1: Curva de descarga do vertedouro	184
Figura 14-1: PCH Cumbuco – Acessos ao sítio de implantação (Fonte: Google Earth – Imagem 2016)	218
Figura 14-2: PCH Cumbuco – Canteiro de obras proposto	218
Figura 15-1: Histograma de consumo de concreto estrutural	221
Figura 15-2: Histograma de consumo de concreto massa	222
Figura 15-3: Histograma de consumo de concreto (total)	222
Figura 15-4: Histograma de escavação comum	223
Figura 15-5: Histograma de escavação em rocha a céu aberto	223
Figura 15-6: Histograma de aterro	224

1. APRESENTAÇÃO

A bacia do rio das Mortes, localizada na sub-bacia 26, bacia hidrográfica do rio Tocantins, no Estado do Mato Grosso, foi objeto de Estudos de Inventário Hidrelétrico, no trecho limitado pela sua nascente e pelo remanso da UHE Água Limpa. Tais estudos, que incluíram todos os seus afluentes, foram aprovados por meio do Despacho ANEEL nº 4.899, de 22 de dezembro de 2014.

Dentre os aproveitamentos selecionados encontra-se a **PCH Cumbuco**, localizada no afluente rio Cumbuco, distante 10 km da confluência com o rio das Mortes, com queda bruta da ordem de 27 m e potência instalada de referência de 13,9 MW.

Desde o início de 2015 a Nacional Energia, Participações e Investimentos Ltda., titular dos estudos de inventário, vem desenvolvendo as atividades com vistas à obtenção da outorga de autorização para este empreendimento.

Para tanto, foram executados, ao longo dos anos de 2015 e 2016, todos os levantamentos de campo necessários para a elaboração do projeto básico de engenharia.

Nesse sentido, o projeto básico desenvolvido contempla a avaliação e complementação aos serviços de campo realizados no inventário, bem como todo o detalhamento necessário para a concepção da PCH e a abordagem a respeito da componente ambiental.

Ante ao exposto, por meio deste e demais documentos complementares e visando a futura implantação do aproveitamento, a **Nacional Energia, Participações e Investimentos Ltda.** submete à Agência Nacional de Energia Elétrica os Estudos de Projeto Básico da PCH Cumbuco, com atendimento a todos os aspectos de engenharia, ambientais e econômicos envolvidos.

Os estudos de engenharia foram elaborados tendo como principais referências as seguintes publicações:

- “Diretrizes para Estudos e Projeto Básico de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, editadas pela ELETROBRÁS/ANEEL-MME em 1999;
- Resolução ANEEL nº 343/2008 e seus anexos;
- Resolução ANEEL nº 673/2015 e demais normativas publicadas pela ANEEL;
- Estudos de Inventário Hidrelétrico do rio das Mortes, no trecho limitado pela sua nascente e pelo remanso da UHE Água Limpa, incluindo todos os seus afluentes, localizados na sub-bacia 26, bacia hidrográfica do rio Tocantins, no estado do Mato Grosso, aprovados por meio do Despacho ANEEL nº 4.899/2014.

2. INTRODUÇÃO

Neste documento apresenta-se a síntese dos trabalhos, levantamentos e estudos realizados ao longo das etapas de desenvolvimento do projeto básico da **PCH Cumbuco**, consolidados em um conjunto de textos, tabelas e ilustrações, organizados conforme consta no item 2.5.

2.1. Objetivo

O objetivo destes Estudos de Projeto Básico é detalhar a Pequena Central Hidrelétrica Cumbuco, de sorte a permitir, após os trâmites legais junto ao Poder Concedente, a promoção dos processos de contratação dos empreiteiros civis e de fornecedores de equipamentos eletromecânicos, o detalhamento do Projeto Executivo e a implantação do empreendimento.

De maneira específica, a elaboração deste projeto contemplou os seguintes objetivos:

- Obtenção do Despacho de Registro da Adequabilidade do Sumário Executivo (DRS-PCH), a ser emitido pela SCG/ANEEL;
- Servir de fundamentação técnica para obtenção da Outorga de Autorização, a ser emitida pelo Poder Concedente;
- Servir como elemento técnico de engenharia para o processo de licenciamento ambiental do empreendimento;
- Apresentar os elementos técnicos necessários para a obtenção da Reserva de Disponibilidade Hídrica e posterior Outorga para Uso da Água para fins de Geração de Energia Elétrica;
- Apresentar a ideia básica para interligação da usina à rede de transmissão elétrica existente;
- Servir como fundamentação técnica para elaboração do Projeto Executivo da futura usina.

2.2. Histórico dos Estudos

A PCH Cumbuco foi identificada nos Estudos de Inventário Hidrelétrico do rio das Mortes, no trecho limitado pela sua nascente e pelo remanso da UHE Água Limpa, incluindo todos os seus afluentes, localizados na sub-bacia 26, bacia hidrográfica do rio Tocantins, no estado do Mato Grosso, apresentados pela empresa Nacional Energia, Participações e Investimentos Ltda., e aprovados por meio do Despacho ANEEL nº 4.899, de 22 de dezembro de 2014.

De acordo com os referidos estudos, o aproveitamento teria as seguintes características principais:

- Área de drenagem 2.386 km²
- Nível d'água de montante 548,30 m
- Nível d'água de jusante 521,60 m
- Potência instalada de referência 13,90 MW
- Área do reservatório 0,21 km²

Em 4 de março de 2015, por meio do Despacho ANEEL nº 576, a Nacional Energia Participações e Investimentos Ltda. obteve registro ativo para desenvolvimento dos estudos de projeto básico deste empreendimento.

Os serviços de cartografia e topografia foram executados entre os meses de maio e julho de 2013 e englobaram, pelo método do perfilamento a laser, o levantamento de curvas de níveis equidistantes de 1,0 m em todo o sítio, em atendimento às exigências da SGH/ANEEL contidas nas Diretrizes de Cartografia e Topografia, em sua versão mais atualizada. Desse trabalho, resultou o mapeamento topográfico nas áreas das estruturas e do reservatório da PCH Cumbuco.

Completando os trabalhos topográficos, foram levantadas cinco (5) seções topográficas planialtimétricas, quatro (4) seções topobatimétricas, sendo três (3) nas proximidades do ponto de captação e uma (1) no canal de fuga da usina. Além disso, foram locados os pontos e definidas as "cotas de boca" de nove (9) furos de sondagens da campanha de investigações geológico-geotécnicas na área de implantação da futura usina e executada a instalação e amarração topográfica de RRNN correspondentes a uma (1) estação fluviométrica locada próxima ao local previsto para o canal de fuga da PCH Cumbuco. Foi também executada a Planialtimetria de uma área de 11 ha, prevista para ser utilizada como área de empréstimo para a futura obra. Todos esses serviços topográficos complementares foram executados entre os meses de abril e julho de 2015.

A campanha de sondagens para o projeto básico da PCH Cumbuco teve início em julho de 2015 e foi concluída em agosto do mesmo ano, tendo sido realizadas em concordância com as especificações técnicas fornecidas e regidas especialmente pelo manual de sondagens da ABGE – 1999 e normas da ABNT. Foram executados três (3) furos de sondagens do tipo percussivas e seis (6) furos de sondagens do tipo mista, nos locais previstos para implantação da futura obra. Além disso, na área prevista para empréstimo, foram executados seis (6) furos de sondagens a trado para definição da qualidade e adequabilidade do material a ser utilizado na futura construção da usina.

Os estudos ambientais para composição dos estudos de projeto básico da PCH Cumbuco foram elaborados concomitantemente com os estudos de engenharia e concluídos no mês de fevereiro de 2016.

De posse de todas essas informações os estudos técnicos de engenharia referentes aos estudos de projeto básico da PCH Cumbuco foram desenvolvidos e concluídos em abril de 2016.

Com o cumprimento desta etapa e de posse dos estudos de projeto básico da PCH Cumbuco, serão retomadas as articulações com o órgão ambiental do Estado do Mato Grosso, no sentido de obter o licenciamento prévio ambiental para o empreendimento.

2.3. Estudos Anteriores

A solicitação à ANEEL para o desenvolvimento dos estudos de inventário hidrelétrico do rio das Mortes foi protocolizada no dia 07 de abril de 2009 pela empresa Nacional Energia Participações e Investimentos Ltda.

Em 04 de setembro de 2009, por meio do Despacho Nº. 3.336, a ANEEL efetivou como ativo o registro para a realização dos Estudos de Inventário Hidrelétrico no Rio das Mortes, no trecho da nascente ao remanso do reservatório da UHE Água Limpa e seus afluentes, sub-bacia 26, bacia hidrográfica do rio Tocantins, no Estado do Mato Grosso, em nome da empresa Nacional Energia Participações e Investimentos Ltda.

Como resultado deste trabalho, foram identificados 9 (nove) aproveitamentos hidrelétricos no rio das Mortes, 3 (três) no rio Cumbuco, 1 (um) no ribeirão dos Macacos, 2 (dois) no ribeirão Sangradouro Grande, 1 (um) no córrego Lavradinho, 1 (um) no ribeirão Matrinxã, 2 (dois) no rio Suspiro, 1 (um) no ribeirão Chimbica e 1 (um) no córrego Galheiros, que totalizaram um potencial de 306,90 MW, conforme aprovação dos estudos de inventário do rio das Mortes por meio do

Despacho ANEEL nº 4.899, de 22 de dezembro de 2014, com a partição de queda aprovada apresentada na Tabela 2-1.

Tabela 2-1: Usinas inventariadas no rio das Mortes e seus afluentes (conforme Despacho ANEEL nº 4.899 de 22 de dezembro 2014)

AHE	Coordenadas Geográficas dos Eixos dos Barramentos (*)	Distância Aproximada da Foz (km)	Área de Drenagem (km²)	NA Máximo Normal de Montante (m) (**)	NA Normal de Jusante (m) (**)	Potência Instalada (MW)	Área do Reservatório (km²)
Rio das Mortes							
PCH Primavera (***)	15° 22' 52,12"S 54° 24' 43,48"W	884,10	4.108,95	589,45	579,05	11,80	0,46
PCH Vila União	15° 22' 33,37"S 54° 24' 18,57"W	883,50	4.113,00	579,05	560,40	20,90	0,09
PCH Águas Claras	15° 18' 15,63"S 54° 11' 29,77"W	837,80	5.360,00	558,00	544,50	16,80	12,94
PCH Entre Rios	15° 15' 30,77"S 53° 58' 08,91"W	796,90	6.067,00	540,00	521,00	29,50	5,91
UHE Britizal	15° 15' 14,25"S 53° 51' 14,39"W	775,40	10.276,00	521,00	504,80	42,80	8,75
PCH Sangradourozinho	15° 15' 54,07"S 53° 49' 06,39"W	770,80	10.299,00	504,80	495,00	27,10	0,76
UHE Jatobá	15° 17' 27,07 "S 53° 47' 16,29"W	764,60	12.381,00	495,00	482,00	41,80	5,28
PCH Couro de Porco	15° 20' 42,38"S 53° 39' 14,05"W	735,90	14.091,00	482,00	475,50	22,90	7,57
PCH Samambaia	15° 22' 26,12"S 53° 30' 58,03"W	714,70	14.993,00	475,50	468,00	25,20	3,60
Rio Cumbuco							
PCH Córrego Fundo	15° 12' 10,30"S 54° 04' 8,22"W	24,00	2.261,00	587,00	576,00	5,40	0,07
PCH Geóloga Lucimar Gomes	15° 13' 35,10"S 54° 04' 07,05"W	18,70	2.317,00	576,00	548,30	13,80	0,14
PCH Cumbuco	15° 12' 51,76"S 53° 59' 53,27"W	9,70	2.386,00	548,30	521,60	13,90	0,21
Ribeirão dos Macacos							
PCH Macacos	15° 27' 52,67"S 53° 37' 45,03"W	19,90	389,00	520,00	492,00	2,30	2,87
Ribeirão Sangradouro Grande							
PCH Encantado	15° 26' 48,43"S 53° 50' 55,61"W	33,30	901,00	525,00	511,00	2,70	3,00
PCH Sangradouro Grande	15° 21' 33,32"S 53° 45' 43,32"W	7,70	1.094,00	510,00	482,00	2,30	2,56
Córrego Lavradinho							
PCH Córrego Lavradinho	15° 14' 27,34"S 53° 43' 49,58"W	4,60	752,00	517,00	495,00	3,40	3,00
Ribeirão Matrinxã							

AHE	Coordenadas Geográficas dos Eixos dos Barramentos (*)	Distância Aproximada da Foz (km)	Área de Drenagem (km ²)	NA Máximo Normal de Montante (m) (**)	NA Normal de Jusante (m) (**)	Potência Instalada (MW)	Área do Reservatório (km ²)
PCH Matrinxã	15° 13' 07,52"S 53° 45' 54,00"W	17,60	1.319,00	522,00	495,00	7,50	NA
Rio Suspiro							
PCH Suspiro	15° 01' 01,08"S 53° 56' 20,55"W	43,20	539,00	615,00	560,00	6,50	0,003
PCH Buriti	15° 04' 38,96"S 53° 56' 23,18"W	32,80	581,00	560,00	535,00	3,00	0,29
Ribeirão Chimbica							
PCH Chimbica	15° 16' 58,83"S 54° 17' 30,99"W	5,90	254,00	583,00	563,00	1,90	0,02
Córrego Galheiros							
PCH Galheiros	15° 05' 57,55"S 54° 43' 17,25"W	59,60	195,00	706,00	630,00	5,40	0,10

(*) Coordenadas em SIRGAS 2000.

(**) Altimetria determinada a partir do modelo MAPGEO2010.

(***) Aproveitamento existente com outorga concedida por meio do Decreto S/N de 10/12/1997, publicado no DOU em 11/12/1997, válida até 11/12/2027.

O aproveitamento hidrelétrico denominado PCH Cumbuco é o terceiro e último eixo da cascata do rio Cumbuco, de montante para jusante, tendo sido disponibilizado para estudos de projeto básico, à luz da Resolução ANEEL N°. 343/2008.

2.4. Localização e Acessos

O rio das Mortes tem suas nascentes na Serra dos Coroados ou São Lourenço, nas proximidades da rodovia BR-364, no trecho que liga a cidade de Cuiabá à localidade de São José da Serra, em altitudes superiores a 600 metros.

A bacia hidrográfica do alto rio das Mortes está inserida na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (sub-bacia 26), localizada na região Sudeste Matogrossense, tem características eminentemente agrícolas e faz parte da bacia do Alto Araguaia, que por sua vez é englobada pela bacia hidrográfica do Tocantins.

O principal contribuinte é o rio Cumbuco e o seu afluente rio Suspiro, que nascem no município de Primavera do Leste.

A bacia hidrográfica do rio Cumbuco está localizada no quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas aproximadas de 14° a 16° de Latitude Sul e de 53° a 55° de Longitude Oeste, na região Centro-Oeste do Brasil, no estado do Mato Grosso, sendo afluente do rio das Mortes pela margem esquerda. A PCH Cumbuco dista aproximadamente 9,70 km da foz do rio Cumbuco.

O rio das Mortes atravessa sete municípios matogrossenses: Campo Verde, Primavera do Leste, Novo São Joaquim, Dom Aquino, Santo Antônio do Leste, Poxoréo e General Carneiro. O rio das Mortes ainda corta a terra indígena de Sangradouro.

Os acessos aos rios da região podem ser realizados tanto por rodovias pavimentadas federais e estaduais, como por rodovias sem pavimentação. Localmente, os sítios em estudo podem ser

acessados por meio de estradas não pavimentadas que formam uma malha por meio das fazendas particulares da região.

Avaliando-se os acessos à bacia, de acordo com a base disponibilizada pelo DNIT, iniciando-se pelas nascentes do rio das Mortes, encontram-se cruzando as margens direita e esquerda, as rodovias BR-070/MT-140, BR-163 e BR-364, todas asfaltadas e de uso permanente.

Na cabeceira do rio Cumbuco, vizinho pela margem direita do rio Suspiro, encontra-se a rodovia MT-251 e estradas não identificadas e também não pavimentadas. Os rios Cumbuco e Suspiro possuem acessos por meio das rodovias MT-251, MT-130 e MT-448, todas não pavimentadas e de uso permanente, além de uma rede de acesso por rodovias sem identificação, sem pavimentação e de uso periódico.

Durante a construção da usina, a cidade de Primavera do Leste pode ser considerada boa base para alojamento da equipe técnica especializada (engenheiros, consultores, entre outros).

A Figura 2-1 ilustra esquematicamente o que aqui foi explicado, com delimitação da bacia do rio das Mortes e ênfase dada ao acesso ao rio Cumbuco, de uma maneira geral.

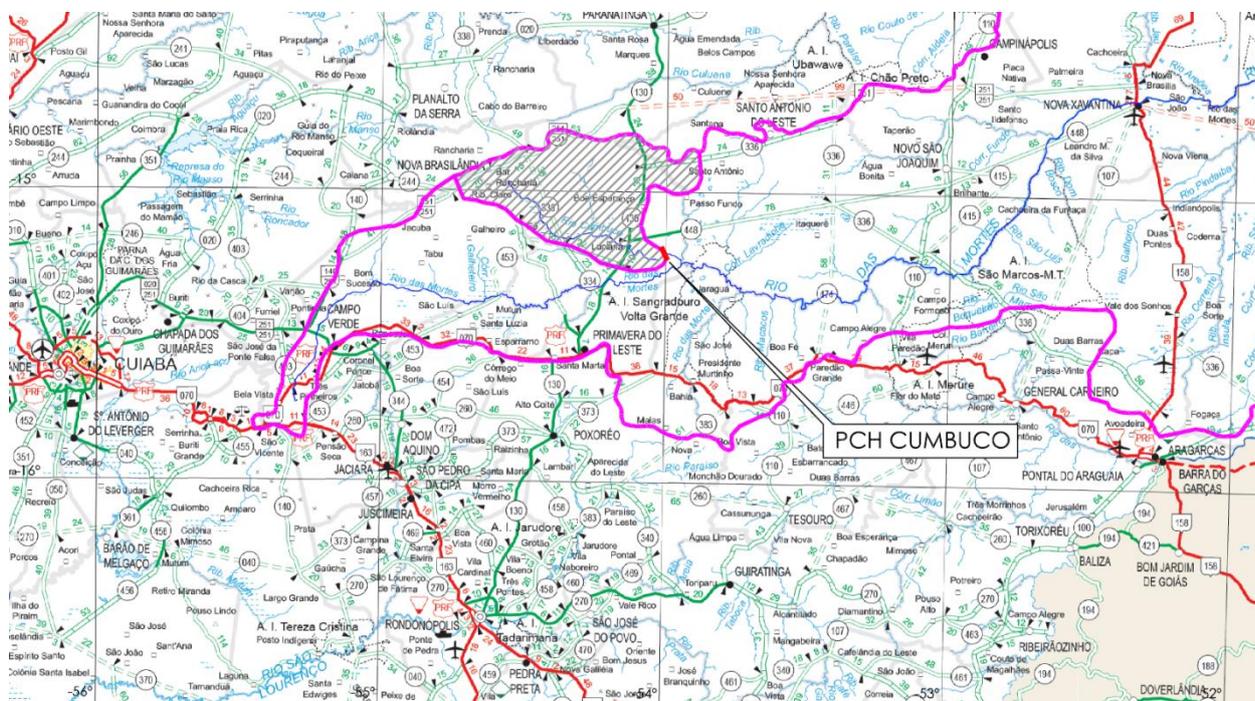


Figura 2-1: Rio Cumbuco – Acessos [Fonte: Mapa Multimodal do Mato (DNIT - 2009)]

2.5. Organização do Relatório

O relatório do Projeto Básico foi dividido em três volumes:

- Volume 1: Memorial Descritivo;
- Volume 2: Desenhos;
- Volume 3: Anexos.

O Volume 1 apresenta os resultados das investigações, ensaios e estudos realizados para a caracterização do empreendimento, e foi estruturado em 18 Capítulos principais, que seguem a sequência e o conteúdo preconizado pelo Setor Elétrico para estudos dessa natureza.

Nos Capítulos 1 e 2 encontram-se a apresentação e os objetivos dos estudos, a descrição da localização e dos acessos ao local do barramento e a organização do relatório.

No Capítulo 3 são apresentadas as principais conclusões acerca do projeto elaborado, bem como as recomendações para as próximas fases.

O Capítulo 4 apresenta um comparativo entre alguns dados técnicos do projeto básico e do inventário de referência, com as justificativas para os itens que sofreram algum tipo de alteração.

No Capítulo 5 estão relacionados as investigações e levantamentos executados que subsidiaram os estudos, compreendendo as áreas de cartografia e topografia.

No Capítulo 6 estão apresentados os estudos hidrometeorológicos e, no Capítulo 7, os estudos geológico-geotécnicos.

O Capítulo 8 apresenta a metodologia adotada para composição dos custos referentes ao orçamento da usina.

Já o Capítulo 9 apresenta as premissas utilizadas para os dimensionamentos hidráulicos, incluindo desvio do rio, vertedouro e perdas de carga no circuito de adução.

No Capítulo 10 são apresentados os estudos de alternativas, que resultaram na seleção do arranjo a ser implantado.

O Capítulo 11 apresenta os estudos energético-econômicos que definiram a potência instalada do aproveitamento, e também o número de unidades geradoras, os parâmetros otimizados do circuito de adução e as quedas líquidas da usina.

No Capítulo 12 encontram-se os estudos finais, onde se apresentam, em detalhes, a descrição e caracterização das obras civis e dos equipamentos previstos no arranjo geral proposto.

O Capítulo 13 sintetiza os estudos ambientais realizados para a fase do projeto básico.

No Capítulo 14 foram feitos comentários acerca da infraestrutura e logística de abastecimento, visando à implantação do empreendimento.

No Capítulo 15 encontra-se o detalhamento do Cronograma Físico de Construção, descrevendo as considerações assumidas.

O Capítulo 16 apresenta o orçamento detalhado do empreendimento, no modelo adotado pela Eletrobrás.

Finalmente, no Capítulo 17 encontra-se a análise técnico-econômica do empreendimento, juntamente com os critérios adotados e, no Capítulo 18, a ficha resumo do aproveitamento.

No Volume 2 encontram-se todos os desenhos referentes ao projeto.

Por fim, no Volume 3 são apresentados os anexos de interesse ao projeto, divididos nos seguintes tomos:

- Tomo I: Levantamentos Cartográficos e Topográficos;
- Tomo II: Sondagens e Hidrometria;
- Tomo III: Estudos Energéticos e de Motorização;
- Tomo IV: Estudos ambientais;
- Tomo V: Documentos processuais.

3. SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A PCH Cumbuco foi identificada nos Estudos de Inventário Hidrelétrico da bacia do Rio das Mortes, aprovados por meio do Despacho nº 4.899/2014.

Considerando todos os levantamentos de campo realizados no sítio do empreendimento, os estudos de Projeto Básico definiram a implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica com potência instalada de 17,0 MW, com queda bruta nominal da ordem de 26 m e área de reservatório de apenas 13 ha.

Os níveis operacionais serão os seguintes:

- Montante:
 - Nível d'água máximo normal..... 548,30 m
 - Nível d'água mínimo normal 548,30 m
 - Nível d'água máximo maximorum 550,30 m
- Jusante:
 - Nível d'água normal 522,22 m
 - Nível d'água mínimo (despacho parcial de uma unidade geradora) 521,27 m
 - Nível d'água máximo excepcional (cheia de projeto) 523,80 m
- Jusante (conforme Sumário Executivo no padrão ANEEL):
 - Nível d'água normal (mediana das vazões do histórico) 522,00 m
 - Nível d'água mínimo (mínima média mensal do histórico) 521,34 m
 - Nível d'água máximo (máxima média mensal do histórico) 523,13 m

A concepção do arranjo final previu o aproveitamento da queda por meio de um barramento em solo compactado no leito do rio e na margem esquerda, complementado pela estrutura de desvio, vertedouro de soleira livre, tomada de controle do canal de adução e muros de ligação e de fechamento.

A usina será do tipo derivação clássica, com restituição afastada do eixo de barramento e implantação de um canal a céu aberto na margem direita.

O vertedouro será de soleira livre, dimensionado para a vazão com recorrência milenar mas com sobrelevação para a passagem da cheia decamilenar sem riscos de galgamento, atendendo aos requisitos de segurança de barragens. Será implantado na margem direita do rio, predominantemente em concreto massa.

Justaposto ao vertedouro foi prevista a implantação de um conjunto de duas adufas para o desvio do rio (2ª fase), dimensionado para escoar uma cheia com recorrência de 50 anos do período seco. Sua operação permitirá a construção do vertedouro no leito do rio.

Por ser uma usina de derivação, será mantida uma vazão remanescente no trecho entre o barramento e o canal de fuga. Essa vazão será variável mensalmente (10% da médias de longo termo em cada mês) e será garantida por meio de pequenas sobrelevações no vertedouro.

Na margem direita foi prevista a implantação de uma estrutura em concreto para possibilitar eventuais manutenções no canal de adução.

O circuito de adução será composto por um trecho de baixa pressão e outro de alta pressão. O circuito de baixa pressão será composto pela estrutura de controle, seguida de canal de adução e câmara de carga.

O canal de adução será escavado em solo, com seção molhada revestida em manta PEAD.

A câmara de carga, construída em concreto, terá volume suficiente para suportar as oscilações de carga nos processos de abertura e fechamento das máquinas, sem riscos para as estruturas da usina.

O circuito de alta pressão será composto pelas tomadas d'água, seguidas de condutos forçados até a entrada da casa de força.

As tomadas d'água serão implantadas contíguas à câmara de carga e serão individualizadas, formando um circuito de alta pressão para cada grupo gerador.

Os condutos forçados foram calculados para garantir a regulação das unidades geradoras e terão espessura suficientes para suportar uma sobrepressão máxima de 45% na entrada das turbinas, garantindo também a condição autoportante.

Na casa de força foi prevista a implantação de duas unidades geradoras, com turbinas Francis de eixo horizontal e geradores acoplados diretamente ao eixo da turbina.

A subestação será localizada próxima à casa de força e a conexão da PCH será feita a partir da construção de uma linha de transmissão em 138 kV, com 4,5 km de extensão, até a SE Geóloga Lucimar Gomes, que concentrará as cargas de três empreendimentos: PCH Entre Rios, PCH Cumbuco e PCH Geóloga Lucimar Gomes.

A conexão dos empreendimentos à rede da CEMAT será feita na SE Primavera Rural, em 138 kV, circuito simples.

As **Ilustrações 46 a 80** apresentam o arranjo geral e detalhes das estruturas componentes da PCH Cumbuco.

A operação da usina será a fio d'água, com produção estimada de 10,78 MW médios (expectativa de Garantia Física), correspondendo a um fator de capacidade médio de 0,63, resultando em aproximadamente 94.400 MWh/ano de energia gerada.

O custo total do empreendimento foi estimado em **R\$ 106.536.100,00 (cento e seis milhões, quinhentos e trinta e seis mil, cem reais)**, incluindo o sistema de transmissão e juros durante a construção, referenciados a setembro de 2015.

O custo de implantação será de aproximadamente R\$ 6.300 por kW instalado, incluindo Usina, SE, LT e juros durante a construção, e o Índice Custo-Benefício (ICB) foi estimado em 150 R\$/MWh.

Tendo como cenário atual tarifas no ACR para empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte, verifica-se boa possibilidade de implantação da PCH Cumbuco, tornando-o prioritário no planejamento de expansão da capacidade de geração brasileira.

Além disso, recomenda-se que sejam iniciadas as tratativas com os fornecedores de equipamentos, objetivando a redução de custos do empreendimento.

4. EIH E PB: CARACTERÍSTICAS E JUSTIFICATIVAS PARA ALTERAÇÕES DE PROJETO

Ao longo do desenvolvimento do Projeto Básico da PCH Cumbuco, buscou-se a adequação do mesmo com os parâmetros principais, definidores do potencial hidráulico, estabelecidos nos Estudos de Inventário de referência, observando também as condicionantes ambientais já definidas ao longo do processo.

A Tabela 4-1 apresenta um quadro comparativo de algumas características do aproveitamento contidas tanto nos estudos de inventário (valores de referência) quanto no projeto básico (valores definitivos), o que permite uma análise das principais alterações promovidas com o avanço do projeto.

Tabela 4-1: Quadro comparativo entre Inventário e Projeto Básico

Características	Estudos de Inventário	Projeto Básico
	2014	2016
Coordenadas de referência (barramento)	15° 12' 51,75" S / 53° 59' 53,27" W	15° 12' 54,70" S / 54° 00' 01,10" W
Distância até a foz (km)	9,70	10,07
Área de drenagem (km²)	2.396	2.225
Potência instalada (MW)	13,90	17,00
Energia média (MW médios)	9,04	11,19
Número de unidades	2	2
Nível d'água de montante (m)	548,30	548,30
Nível d'água normal de jusante (m)	521,60	522,22
Queda bruta média (m)	26,70	26,08
Perda hidráulica média ponderada (m)	0,80	0,70
Perda hidráulica nominal (m)	0,80	1,00
Queda líquida nominal (m)	25,90	25,08
Tipo de turbina	Francis Horizontal	Francis Horizontal
Rendimento do conjunto turbina-gerador	89,73%	90,21%
Indisponibilidade forçada	-	1,26%
Indisponibilidade programada	-	3,73%
Vazão de projeto do vertedouro (m³/s)	335	329
Vazão remanescente + usos consuntivos (m³/s)	5,20	Variável (10% da média em cada mês)
Área do reservatório (km²)	0,21	0,13
Vazão média de longo termo (m³/s)	51,80	62,82

Com o intuito de justificar as alterações promovidas, partiu-se para uma síntese de cada item inserido na tabela, cujas definições, verificações, dimensionamentos e particularidades são detalhados ao longo deste relatório.

- a) Coordenadas de referência e distância até foz: o eixo do barramento sofreu alguns ajustes com relação ao inventário, visando à otimização do projeto.
- b) Área de drenagem: para a etapa de projeto básico a área de drenagem no local da PCH foi novamente calculada, resultando numa diferença da ordem de 7%.
- c) Nível d'água de jusante: a determinação dos níveis de jusante foi feita a partir de novos levantamentos topográficos e de um monitoramento hidrométrico nas proximidades do canal de fuga, possibilitando a formatação de uma curva-chave. A alteração no nível de jusante foi da ordem de apenas 60 cm, confirmando que na etapa de inventário esta grandeza havia sido adequadamente definida.
- d) Queda bruta: houve redução da ordem de 60 cm na queda bruta disponível, em função da aplicação da curva-chave no canal de fuga elaborada para o projeto básico.
- e) Perda hidráulica: nos estudos de inventário as perdas de carga foram estimadas a partir de um percentual fixo da queda bruta. Já no presente estudo foram levantadas equações de perda de carga em todo o circuito de adução, tendo as mesmas sido inseridas no modelo energético de simulação do aproveitamento, garantindo maior confiabilidade aos resultados.
- f) Queda líquida: houve redução na queda líquida do aproveitamento, da ordem de 80 cm, em função do exposto nos itens c), d) e e).
- g) Vazão média de longo termo (Q_{mit}): os estudos hidrometeorológicos, detalhados no Capítulo 6, foram atualizados e mostraram diferenças em relação ao inventário, em termos de média de longo termo, com aumento da ordem de 20%. A Figura 4-1 apresenta as curvas de permanência de vazões médias mensais para as duas fases do projeto.

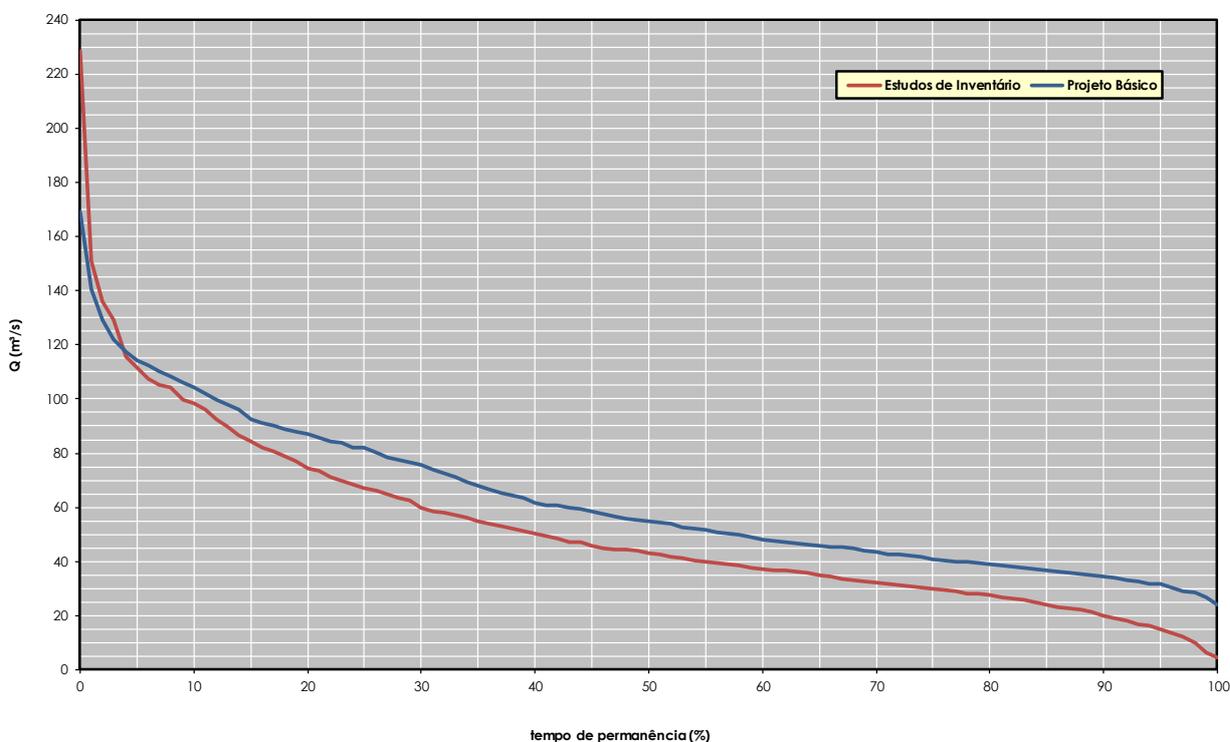


Figura 4-1: EIH e PB – Séries de vazões médias mensais – Curvas de permanência comparativas

- h) Rendimento do conjunto gerador: para a etapa de projeto básico foram utilizados rendimentos compatíveis com as máquinas propostas, obtidos a partir da experiência em projetos similares e de consultas a fornecedores especializados.
- i) Indisponibilidades forçada e programada: foram aplicados valores compatíveis com o porte do empreendimento e com os períodos previstos para manutenções, totalizando aproximadamente 440 horas por ano para as manutenções em cada grupo gerador.
- j) Potência instalada e energia média: nos Estudos de Inventário, a potência foi definida apenas como um valor de referência e a energia média associada a um fator de capacidade pré-determinado. Cabe à etapa de Projeto Básico definir o valor “ótimo”, ou a potência mínima a instalar, por meio dos estudos de motorização, com cálculo das variações de custo e benefício incrementais. As abordagens e metodologias aplicadas para a determinação da potência instalada encontram-se no Capítulo 11.
- k) Vazão de projeto do vertedouro: os estudos de vazões extremas foram revisados e atualizados. Para a etapa de projeto básico o vertedouro foi dimensionado para a cheia com recorrência milenar, com garantia de proteção de todas as estruturas de barramento para o escoamento da cheia com recorrência decamilenar.
- l) Área do reservatório: a execução do perfilamento laser em toda a área de interesse do projeto permitiu a determinação precisa da área do reservatório. As variações foram pequenas, devido ao porte do reservatório.
- m) Vazão remanescente: os critérios utilizados para a previsão de vazão remanescente foram os mesmos nas duas etapas. As variações ocorreram em função das alterações nos valores das vazões médias de longo termo em cada mês.

Ao longo deste relatório de projeto básico são apresentados detalhadamente todos os estudos realizados e fundamentadas todas as alterações necessárias no projeto concebido nas etapas anteriores.

5. LEVANTAMENTOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS

Este capítulo descreve sinteticamente os serviços cartográficos e topográficos realizados na área de interesse para a implantação da PCH Cumbuco. Esses levantamentos atenderam plenamente às Diretrizes de Cartografia e Topografia publicadas pela ANEEL, bem como às demais normativas vigentes.

5.1. Levantamentos dos Estudos de Inventário

Nos Estudos de Inventário de referência a região em estudo foi contemplada no mapeamento cartográfico do Brasil ao milionésimo, estando inserida nas folhas Cuiabá – SD-21 e Goiás – SD-22, conforme ilustrado pela Figura 5-1.

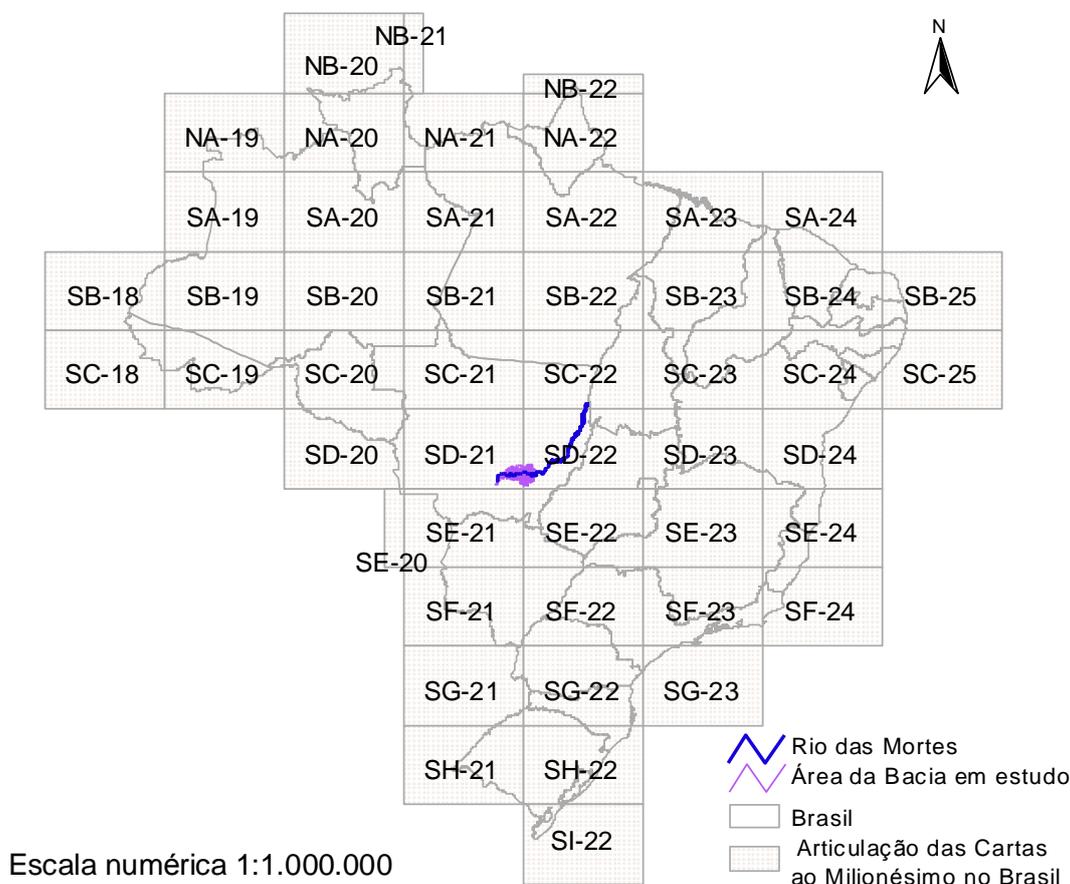


Figura 5-1: Mapa-índice de cartas topográficas na escala 1:1.000.000

Como fonte primária para planejamento dos estudos e coleta inicial de dados cartográficos, foram utilizadas as cartas topográficas apresentadas na Tabela 5-1 e na Figura 5-2.

Tabela 5-1: Cartas topográficas na escala 1:100.000 utilizadas nos Estudos de Inventário de referência

Nome da Carta	Codificação	Responsável
São Vicente	SD-21-Z-D-IV	DSG
Rio Casca	SD-21-Z-D-I	DSG

Nome da Carta	Codificação	Responsável
Dom Aquino	SD-21-Z-D-V	DSG
Galheiro	SD-21-Z-D-II	DSG
Fazenda Luciana	SD-21-Z-D-III	DSG
Brasilândia	SD-21-Z-B-V	DSG
Cacimba	SD-21-Z-B-VI	DSG
Volta Grande	SD-22-Y-A-IV	DSG
Poxoréo	SD-21-Z-D-VI	DSG
Lagoa do Cervo	SD-22-Y-C-I	DSG
Batovi	SD-22-Y-C-IV	DSG
Tori-Coejo	SD-22-Y-C-II	DSG
São Vicente	SD-21-Z-D-IV	DSG
São Joaquim	SD-22-Y-A-V	DSG

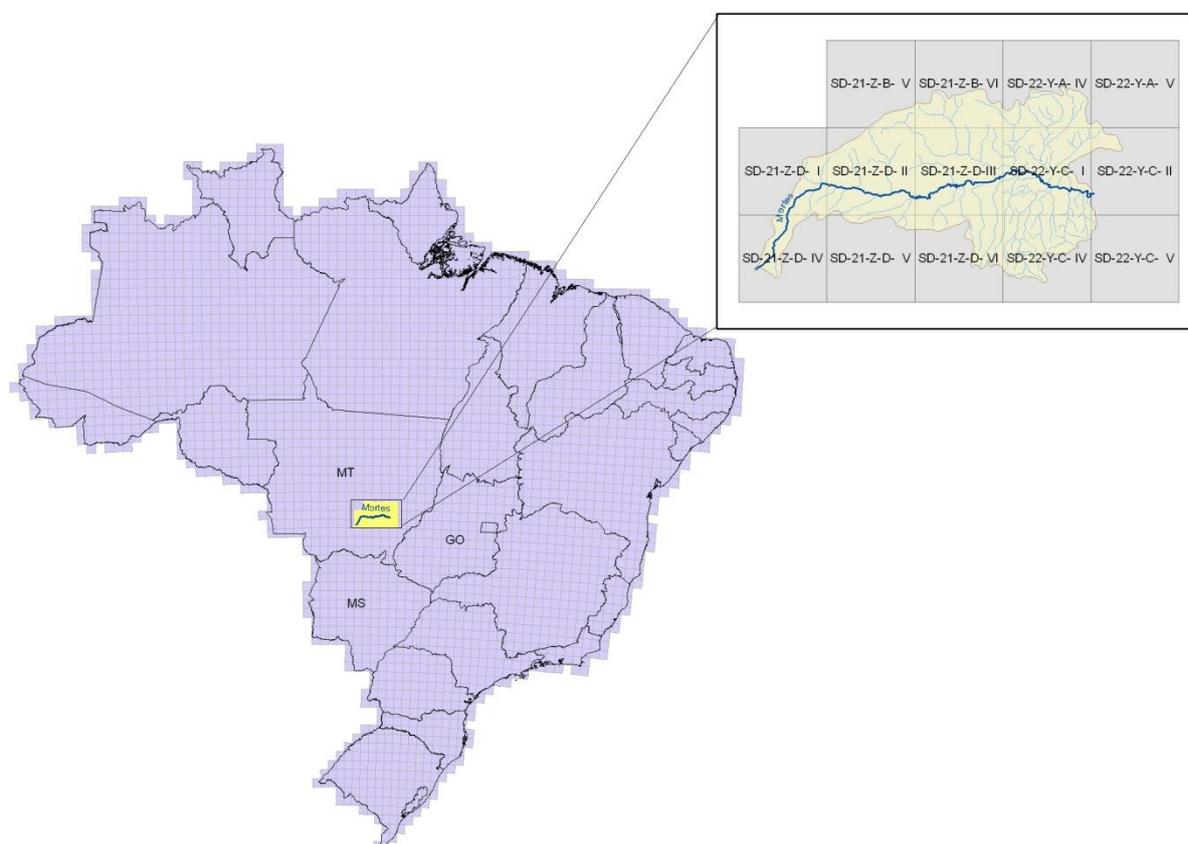


Figura 5-2: Articulação de cartas topográficas na escala 1:100.000 utilizadas nos Estudos de Inventário de referência

As cartas topográficas obtidas nas escalas 1:1.000.000 e 1:100.000 da região de interesse foram utilizadas para avaliação prévia dos locais a serem estudados. Serviram também para o planejamento inicial dos estudos e como base para determinação dos recursos d'água onde deveriam ser realizados estudos mais aprofundados.

Também foram utilizadas as cartas na escala 1:100.000 para os estudos de determinação das áreas de drenagem, associadas ao MDE – Modelo Digital de Elevação SRTM com 90 m de resolução, disponibilizado pela NASA (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>).

Como a cartografia coletada na escala 1:100.000 não se apresentou suficiente para uma avaliação adequada da região para fins de planejamento da restituição a ser executada no trecho de interesse, foi executada uma restituição aerofotogramétrica, com base em fotografias aéreas já existentes, para a geração de uma cartografia de avaliação em escala mais adequada.

Para tanto, foi adquirida uma coletânea de Fotos Aéreas AST-10 na escala 1:60.000, executadas pela Força Aérea Americana (USAF) junto à Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (5ª Divisão de Levantamento-Rio-RJ), datadas de 1964/1965 compreendendo o trecho referente ao rio das Mortes, de sua cabeceira à foz, rio Cumbuco, rio Suspiro e outros afluentes. No total foram selecionadas 256 fotografias.

Sobre as fotografias adquiridas, foram selecionados os pontos de apoio básico necessários para a orientação dos modelos estereoscópicos para a restituição. Foram concebidos os croquis e a locação sobre as cartas topográficas dos pontos selecionados de modo a permitir aos operadores de campo o devido acesso aos locais.

Em cada modelo estereoscópico foram determinados 04 pontos de apoio mínimos a serem obtidos por GPS.

Foi realizada a verificação dos pontos de apoio e NNAA, determinados por levantamentos geodésicos de precisão, e verificados também os croquis e localização dos pontos. Desta forma, foi possível fazer o ajuste da aerotriangulação, dentro das precisões requeridas para o trabalho.

A restituição foi executada na escala 1:10.000, na qual foi possível a obtenção de curvas de nível com equidistância de 5 metros.

Com a execução da restituição foi possível obter uma cartografia de melhor precisão, com curvas de nível em equidistância adequada para servir de apoio na determinação das áreas de vocação hidroenergética, servindo inclusive de apoio na decisão para posterior execução de restituição, por meio de imagens de alta resolução de sensores orbitais com par estéreo na área identificada.

Nos Estudos de Inventário de referência foi apresentada a restituição executada no trecho com vocação hidroenergética, que foi utilizada em todo o estudo, sendo desenvolvida a partir de metodologia de pares estereoscópicos de Imagem do Satélite IKONOS II, com 1 metro de resolução.

Para apoio na realização da restituição aerofotogramétrica e para determinação de perfis longitudinais de linha d'água dos rios estudados no Inventário foi necessário o desenvolvimento de trabalhos de campo adicionais.

O Sistema de Coordenadas utilizado no trabalho foi UTM (Transversa de Mercator), Meridiano Central 57. Datum Horizontal: SAD-69 e Datum Vertical: Marégrafo de Imbituba – SC.

O equipamento e os programas computacionais utilizados nos levantamentos aqui referidos foram:

- Aerorestituídor WILD B8S com sistema triaxial e interface;
- Estação Aerofotogramétrica IMAGESTATION;
- Programas: SUMMIT EVOLUTION FEATURE COLLETION (INPHO); MICROSTATION V8 (BENTLEY); GRID GENERATION (INTERGRAF).

O apoio de campo foi executado a partir da implantação de uma referência planialtimétrica ajustada ao Sistema Geodésico Brasileiro, feito por meio de um marco Base, do qual se derivou

uma rede de marcos SAT's, que serviu de apoio à cartografia no cadastro das seções relevantes ao estudo, gerando a representação do relevo e suas alterações.

O transporte de coordenadas planialtimétricas foi executado após processamento e ajustamento da base denominada FRR83, instalada na sede da Fazenda Cumbuco, no município de Primavera do Leste – MT. O ajustamento planimétrico do marco Base FRR83 foi realizado pelo método de triangulação entre os vértices, utilizando-se as estações ativas das RBMC's de Cuiabá-MT 92.583 e de Brasília-DF 91.200.

O ajustamento altimétrico também foi executado pelo método de triangulação entre os vértices, utilizando-se os marcos RN's 730 Z e 731 V, ambos em perfeito estado de conservação.

Todos os detalhes referentes ao apoio de campo executado, tanto para a restituição aerofotogramétrica, como para a restituição no trecho de vocação hidroenergética, por meio de imagens de sensores orbitais de alta resolução com par estéreo, bem como obtenção de perfis longitudinais de linha d'água dos rios estudados, seções topobatimétricas e outros levantamentos, encontram-se detalhados no Apêndice A – Estudos Cartográficos e Topográficos, dos Estudos de Inventário de referência.

Para o Estudo de Projeto Básico aqui descrito, todos esses estudos cartográficos e topográficos, executados para a elaboração dos Estudos de Inventário de Referência, serviram apenas como fonte de consulta e análises primárias do potencial hidroenergético, uma vez que os mesmos não apresentam o nível de precisão compatível e exigido pelas normativas da Agência Reguladora com a fase desse estudo.

Dessa forma, para o Projeto Básico aqui descrito foram planejados e executados novos levantamentos topográficos para a implantação da futura usina. Foram executados: perfilamento a laser de toda a área de influência da usina e levantamentos topográficos complementares para a complementação do mapeamento do sítio estudado.

Os itens 5.2 e 5.3 apresentam, respectivamente, uma breve descrição dos trabalhos e metodologias utilizadas para a execução do perfilamento a laser, pela empresa SAI – Serviços Aéreos Industriais, e levantamentos topográficos complementares, executados pela empresa Vértice.

5.2. Perfilamento a Laser

5.2.1. Informações Gerais

O princípio básico do sistema de perfilamento a laser é a obtenção de registros contínuos de coordenadas espaciais, as quais constituem os elementos primários para a modelagem do terreno e geração de mapas topográficos derivados destas informações.

O objetivo desse relatório é apresentar informações, características dos equipamentos e metodologias utilizadas no planejamento do voo, apoio de campo e produtos desenvolvidos no perfilamento a laser realizado na região da PCH Cumbuco, no estado do Mato Grosso, conforme indicado na Figura 5-3.

A PCH Cumbuco está localizada no município de Primavera do Leste (MT). O anexo 10.1 – Croqui do Planejamento de Voo, apresentado no **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico, indica a localização da área em estudo e também identifica as principais rodovias localizadas próximo ao local previsto para a implantação da futura usina, além da hidrografia da região.

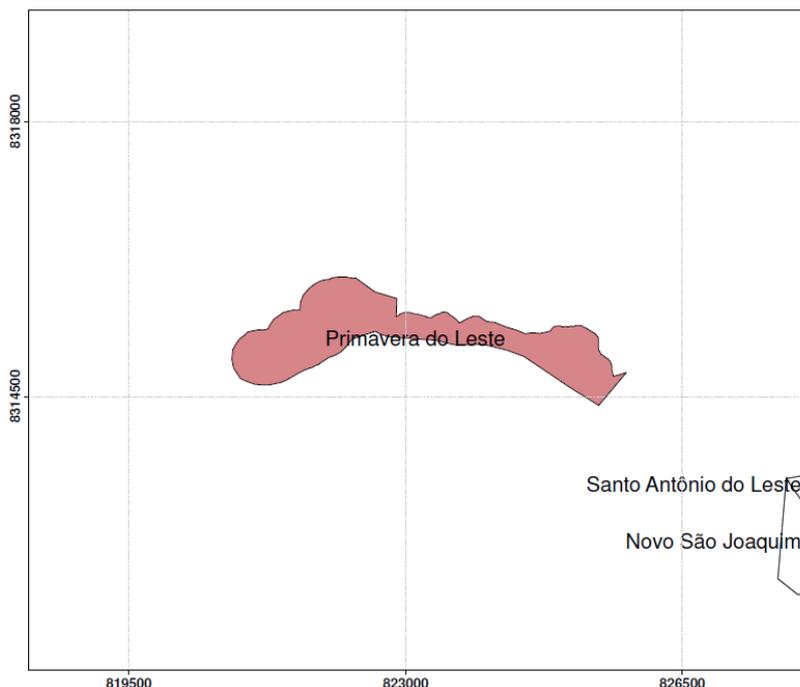


Figura 5-3: Localização da área do levantamento

5.2.2. Perfilamento Laser Aerotransportado

O sensoriamento remoto tem comprovada utilidade na coleta de informações e seus produtos são de fácil integração com outras ferramentas utilizadas na representação da superfície terrestre, pesquisa de meio ambiente e planejamento urbano. O sistema de Perfilamento a Laser Aerotransportado (ALS – Airborne Laser Scanning) é um sensor remoto ativo utilizado para medir a distância entre o sistema imageador e a superfície dos objetos. De maneira eficaz, o sistema obtém dados digitais da superfície do terreno com precisão equivalente à do sistema GPS.

O desenvolvimento dessa tecnologia deu-se início na década de 90 de acordo com as necessidades dos usuários de modelos digitais de elevação (DEM – Digital Elevation Model).

O Lidar é composto por três componentes básicos: uma unidade de medição laser, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura óptico mecânico e uma unidade de registro de medições de apoio (WEHR e LOHR, 1999).

O princípio do seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser, que é disparado na direção da superfície, e ao atingi-la, parte desse sinal emitido é refletido na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno, o qual é utilizado para calcular a distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz. A posição tridimensional do ponto onde o raio é refletido é determinada com base na distância entre o sensor e a superfície da terra e a orientação do raio.

A grande vantagem oferecida pelo sistema é a possibilidade de obter uma grande quantidade de dados representativos da superfície de interesse, os quais podem ser processados obtendo assim modelos digitais do terreno. O maior potencial de aplicação da tecnologia de Perfilamento a Laser para o mapeamento topográfico é a obtenção da informação altimétrica de uma determinada superfície utilizando metodologia diferente das tradicionais com menor tempo de trabalho.

5.2.3. Ortorretificação

A ortorretificação tem como objetivo a reconstrução do terreno fotografado, a partir de suas fotografias. Essa técnica vem evoluindo com o passar dos anos. Em 1839, na França, ocorreu o primeiro fato registrado pela história do processo de registro fotogramétrico realizado com placas de metais expostas à luz. Nos anos seguintes começaram a pensar na utilização de imagens para representações topográficas. Desde então, o processo de fotogrametria analógica passou por transformações, chegando hoje em técnicas onde não é mais necessária a utilização de filmes fotográficos, nem revelação de fotos. Surge, então, a fotogrametria digital, onde todas as imagens coletadas durante o voo são armazenadas em disco rígido e posteriormente serão processadas.

A utilização de imagens digitais aperfeiçoa as fases do processo e também o torna menos dispendioso nos quesitos tempo e custo.

Mesmo considerando a evolução da tecnologia, as fases do processo como planejamento de voo, apoio de campo e calibração da câmera ainda se fazem necessárias.

A combinação das fotografias digitais e do perfilamento laser deu início ao que os pesquisadores chamam de LiDARgrametria, onde informações resultantes do perfilamento subsidiam o processo de ortorretificação das imagens digitais.

5.2.4. Fluxograma

As fases de desenvolvimento dos produtos realizados pela SAI estão representadas na Figura 5-4.

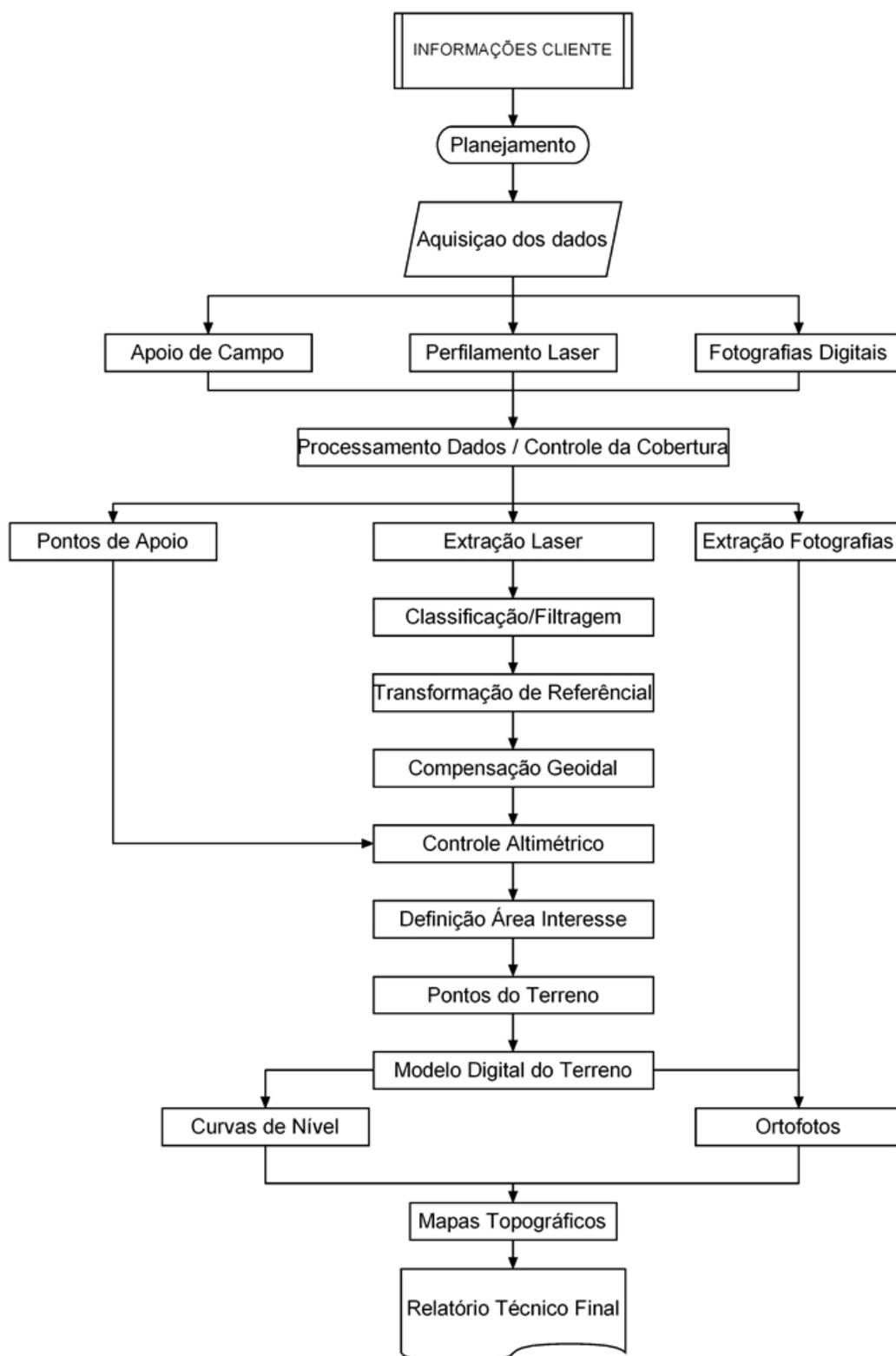


Figura 5-4: Fluxograma de atividades

5.2.5. Planejamento e Execução do Voo

No planejamento são definidas as características da aquisição dos dados, levando-se em consideração as informações fornecidas pelo cliente e a logística do trabalho – cidades que servirão como base para as equipes de campo, postos de reabastecimento, etc.

O princípio do perfilamento a laser consiste na emissão de feixes laser infravermelho em direção a superfície terrestre. Após tocarem a superfície, estes feixes são refletidos e captados pelo receptor acoplado ao equipamento. Para cada feixe emitido é registrado o tempo de percurso aeronave – objeto – aeronave e, a partir do tempo de percurso do laser, é possível determinar a distância do objeto por meio da fórmula abaixo:

$$\text{Distância} = \frac{\text{Velocidade da luz} \times \text{Tempo de Resposta}}{2}$$

A Figura 5-5 exemplifica o processo de captação dos dados LiDAR.

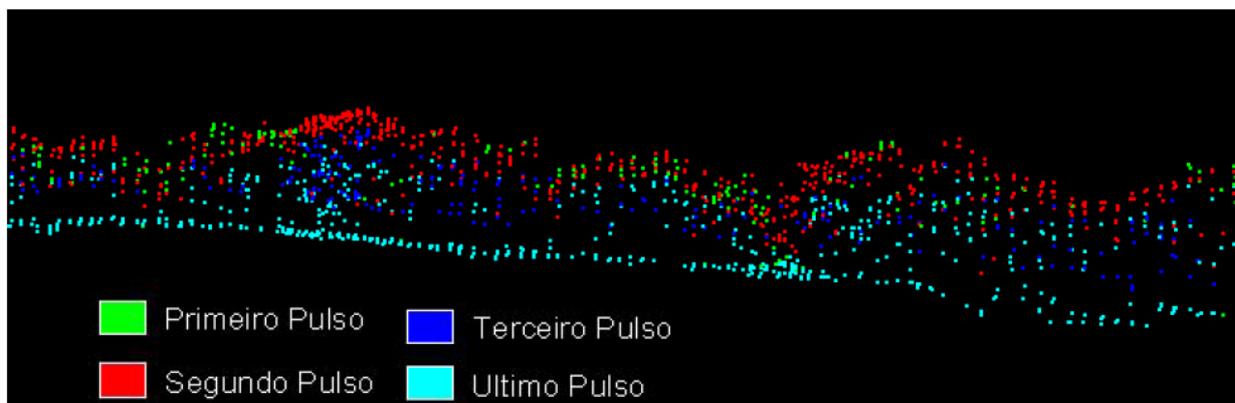


Figura 5-5: Captação dos dados Lidar

A definição do número de pontos por metro quadrado, a altura do voo, a sobreposição longitudinal das faixas, o tempo de aquisição e a velocidade de voo são parâmetros definidos no plano de voo.

Juntamente com a localização da área a ser perfilada, essas informações definem as linhas de voo e o traçado que será executado pela aeronave para recobrir a área de interesse.

Ainda para a execução do voo a equipe de campo necessita definir os pontos que serão utilizados como base de voo, os quais devem estar amarrados à rede oficial do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), para estar em concordância à rede brasileira de topografia e atender às exigências do órgão regulador (Agência Nacional de Energia Elétrica). Esses pontos necessitam estar em um raio de, aproximadamente, 30 km da área a ser sobrevoada, pois as antenas GPS, tanto da aeronave quanto a da base de voo, necessitam coletar informações dos mesmos satélites GPS, minimizando e melhorando assim os resultados no processamento dos dados.

O plano de voo analítico pode ser resumido da seguinte forma:

- Período da aquisição dos dados05/mai/2013
- Aeronave Helicóptero Esquilo B2
- Altura do voo1.000 m
- Largura da faixa varredura700 m
- Velocidade média 140 km/h

- Tempo estimado da aquisição..... 1 hora
- Ângulo de escaneamento 20°
- Sobreposição longitudinal 30%
- Pontos/m² de aquisição 1
- Total de linhas de voo..... 2

O plano de voo gráfico onde são representadas as linhas de voo projetadas pelos parâmetros anteriormente citados encontra-se no anexo 10.2 – Plano de Voo, no **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico.

5.2.6. Equipamentos Utilizados

O sistema laser e a câmera digital podem ser instalados tanto em aviões quanto em helicópteros. Na aeronave também são instalados um sistema inercial (Unidade Inercial de Movimento (IMU)), responsável pelo registro do trabalho realizado pela aeronave, e uma antena GPS, responsável pela determinação da posição da mesma em um determinado instante.

O posicionamento da aeronave é correlacionado com a posição da base de voo (equipamento GPS em terra em um ponto conhecido), onde o resultado dessa correlação é o georreferenciamento da trajetória da aeronave.

No levantamento são utilizados os seguintes equipamentos:

- LaserScan Optech 3100;
- Câmera digital Rollei H20 Metric;
- GPS TRIMBLE 5700 L1/L2.

O sistema laser e a câmera fotográfica são montados em uma abertura no piso da aeronave, possibilitando assim que o sensor possa emitir e receber os pulsos laser e a câmera tome as fotografias do terreno.

Portanto, dentro da aeronave estão presentes:

- Antena GPS;
- Sistema inercial (IMU);
- Sensor laser;
- Câmera fotográfica;
- Central de controle, onde se encontra o computador que gerencia todo o sistema.

Por último, no solo, está presente:

- Antena GPS definindo a base de voo.

A Figura 5-6 e a Figura 5-7 apresentam, respectivamente, ilustrações do sistema aerotransportado (perfilamento a laser e câmera fotográfica) e do equipamento GPS TRIMBLE 5700 L1/L2, utilizado na base de voo.



Figura 5-6: Sistemas aerotrassportados



Figura 5-7: GPS para apoio de campo

A seguir são descritas as características dos equipamentos utilizados.

5.2.6.1. Especificações Sistema Laser

As características do Laser Scan *Optech Modelo 3100* são apresentadas a seguir. Também fazem parte do sistema a antena GPS utilizada na aeronave e o sistema inercial.

- Resolução em range 1 cm
- Largura da faixa.....Variável de 0 a 0,93 x altitude m
- Resolução angular0,01°
- Frequência de oscilação lateral Variável, máximo 70 Hz
- Largura da onda do laser 1064 nm
- Frequência dos impulsos do laser 33 kHz (altitude máx. AGL 3.500 m);

- 50 kHz (altitude máx. AGL 2.500 m); 70 kHz (altitude máx. AGL 1.700 m); 100 kHz (altitude máx. AGL 1.100 m)
- Divergência da faixa Dual com 0,3 mrad ou 0,8 mrad (1/e nominal)
 - Classe do Laser Classe IV produto laser (FDA CFR 21)
 - Receptor GPS Interno Novotel Millenium DL
 - Potência requisitada..... 28 VDC @ 35 Amperes de pico
 - Temperatura operacional Rack de controle: +10 °C até +50 °C;
Armazenamento: -10 °C até +50 °C
 - Umidade 0% a 95% sem condensação

5.2.6.2. Especificações da Câmera Digital

A seguir são apresentadas informações sobre a Câmera Digital *Rollei H20 Metric* utilizada nesse trabalho:

- Tecnologia Full Frame CCD
- Tamanho do Pixel 9 x 9 micron
- Quadro Focal 4080 x 4076 pixel
- Filtro de Cores Red, Green e Blue
- Velocidade do Obturador 30 sec – 1/1000 sec

Com o intuito de garantir a qualidade das informações a Câmera *Rollei* é calibrada periodicamente.

No memorial descritivo apresentado pela empresa SAI, constante do **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico, são apresentados os relatórios da última calibração realizada para a câmera.

5.2.6.3. Especificações GPS

O GPS *TRIMBLE 5700* foi utilizado como GPS de solo e suas especificações são descritas a seguir:

- Tipo de Antena Zephyr
- Sinais Capitados..... L1/L2 C/A e Código P & Fase
- Registro da Aquisição 1 segundo
- Memória de Gravação 512 MB

5.2.7. Equipe Envolvida

Nos estudos cartográficos da área de implantação do aproveitamento hidrelétrico aqui descrito, as equipes envolvidas no levantamento de campo e também no sobrevoo englobaram:

- Pilotos 01
- Operadores *Lidar* 01
- Técnico Extração/Controle *Lidar* 01
- Auxiliar de Topografia 01
- Eng. Cartógrafo 01
- Motorista 01

5.2.8. Relatório de Voo

Logo após todo o processo de levantamento das informações, tanto de dados laser quanto de fotografias, o processo realizado em campo pode ser resumido da seguinte forma:

- Região.....PCH Cumbuco – Estado do Mato Grosso
- Data.....05/mai/2013
- Numero de faixas levantadas..... 2
- Total de Fotos 35

5.2.9. Considerações

No processo de fotogrametria convencional todos os produtos, inclusive as curvas de nível, estão vinculados à escala de voo, pois são extraídos das imagens obtidas. Quando se fala dos processos para geração dos produtos oriundos do perfilamento laser é necessário considerar que o Modelo digital do Terreno e da Superfície são gerados independentemente das ortofotos, ou seja, tem como base a nuvem de pontos.

A escala de voo no perfilamento laser influencia na tomada das fotografias e também na precisão da nuvem de pontos. Porém, é possível a produção de dados em diferentes escalas.

A altura média de voo desse trabalho foi de 1.000 m em relação ao terreno. Dessa forma, o erro do sistema Laser para essa altura é de aproximadamente 15 cm para um sigma de precisão, possibilitando então a geração de curvas de nível em uma escala de até 1:1.000, com equidistância das curvas de nível de 50 cm.

Para esse projeto a escala de restituição das curvas de nível é de 1:2.000, com equidistância das curvas de nível de 1 m.

Considerando a altura de voo adotada, a aquisição das ortofotos deu-se na escala de 1:5.000, influenciada pela equação abaixo:

$$E = \frac{f}{H}$$

Sendo:

E: escala das ortofotos

f: distância focal

H: altura do voo

Tais informações devem ser consideradas posteriormente para continuidade das análises sobre a qualidade dos produtos gerados.

5.2.10. Documentação de Referência

Os itens subsequentes apresentam a documentação de referência utilizada para a realização do trabalho.

5.2.10.1. Sistema Geodésico de Referência

Para esse trabalho foi utilizado os seguintes sistemas de referência:

- Sistema de Coordenadas.....UTM – SIRGAS2000

- Modelo Geoidal..... IBGE – Marégrafo de Imbituba (SC)
- ElipsoideSIRGAS 2000
- Meridiano Central.....51 e 57
- Fuso..... -22 e -21
- HemisférioSul

5.2.10.2. Transformação de Coordenadas

Os dados adquiridos durante o levantamento de voo e campo são referenciados ao Sistema WGS84 (World Geodetic System 1984). Porém, o sistema de referência utilizado nesse trabalho foi o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Como citado pelo IBGE, por serem praticamente idênticos, não existem parâmetros de conversão entre os sistemas.

5.2.10.3. Compensação Geoidal

Quando se realiza o sobrevoo, o sistema adotado é o WGS84, onde este é um elipsoide de referência de origem geocêntrica utilizado pelo GPS, e atualmente pelo GNSS, e sua elevação é denominada altitude geométrica.

Na maior parte dos trabalhos de engenharia, levantamentos geodésicos e topográficos, o produto entregue deve ser referenciado altimetricamente ao geoide, que é uma superfície equipotencial que coincide com o valor médio do nível médio das águas do mar, na qual sua altura é denominada altura ortométrica.

Surge então a necessidade de converter a altitude geométrica, fornecida pelo GPS, para altura ortométrica.

Para isto aplica-se a fórmula abaixo:

$$h = H + N$$

Onde, H é a altura ortométrica, h é a altitude geométrica e N, a ondulação geoidal. A Figura 5-8 demonstra esta relação.

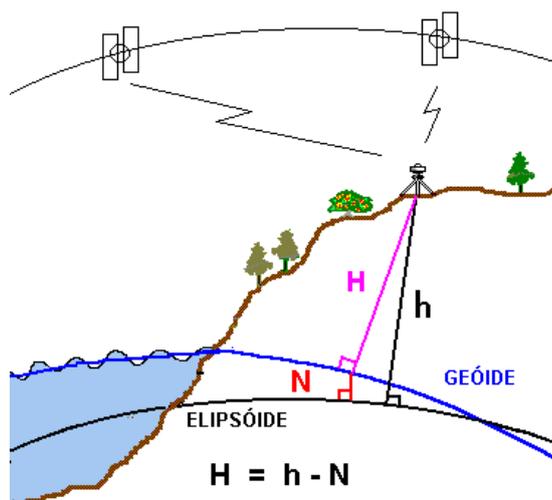


Figura 5-8: Modelo Geoidal MAPGEO2010

A ondulação para o Brasil é dada pelo software MAPGEO2010 do IBGE, que pode ser encontrado em:

ftp://geofp.ibge.gov.br/programa/Sistema_Interpolacao_Ondulacao_Geoidal/.

Esse endereço eletrônico, para o presente projeto, foi acessado em 09/mai/2013.

A visão geral da variação geoidal em SIRGAS2000 para o Brasil é mostrada na Figura 5-9.

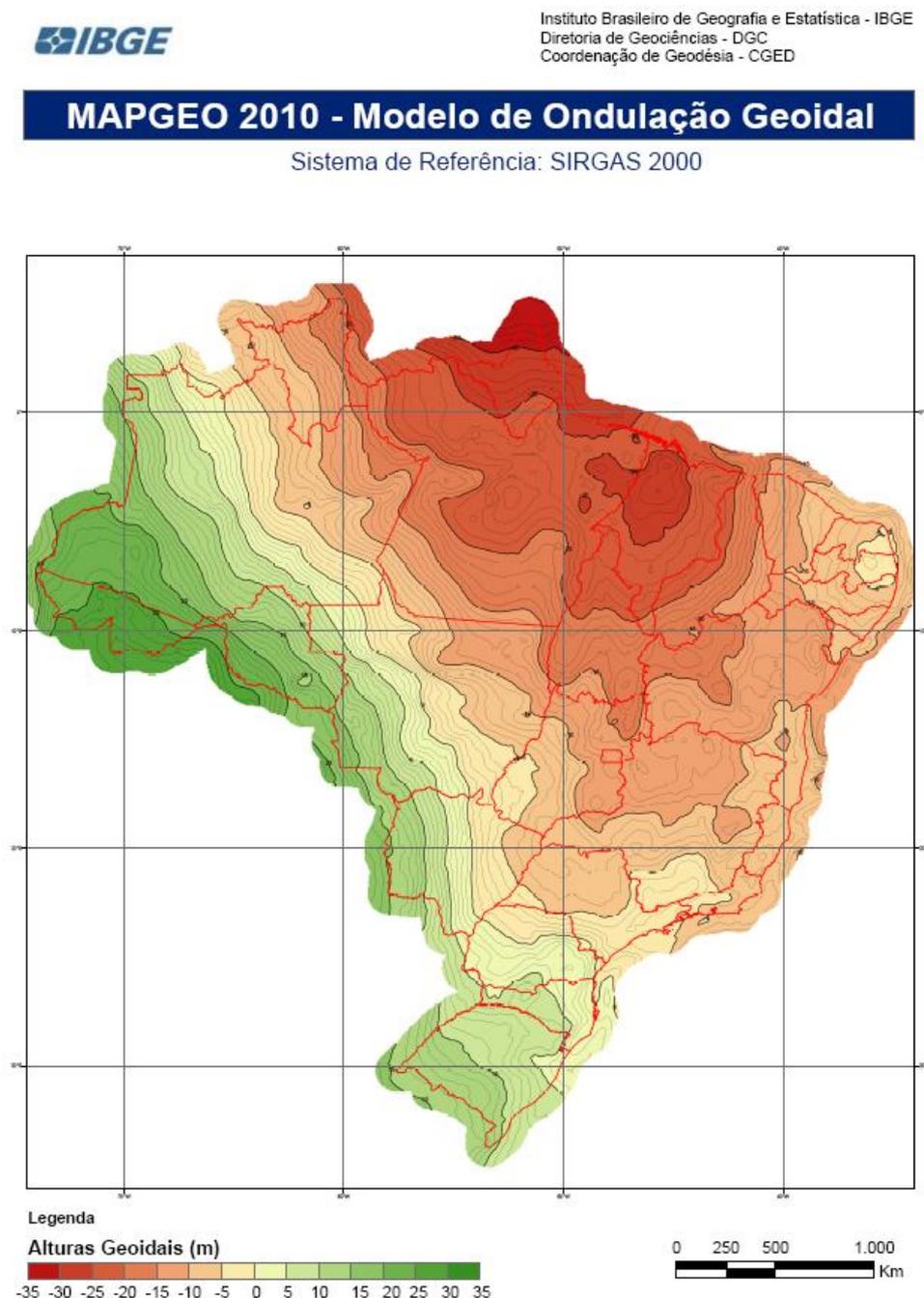


Figura 5-9: Modelo Geoidal SIRGAS2000 Brasil

No cálculo do modelo geoidal do MAPGEO2010 há limitações para a sua definição, como os programas de interpolação, distribuição dos dados gravimétricos, do modelo geopotencial e

também do modelo digital do terreno. Com isto, há alguns erros definidos pelo IBGE para o MAPGEO2010, como demonstrado na Figura 5-10.

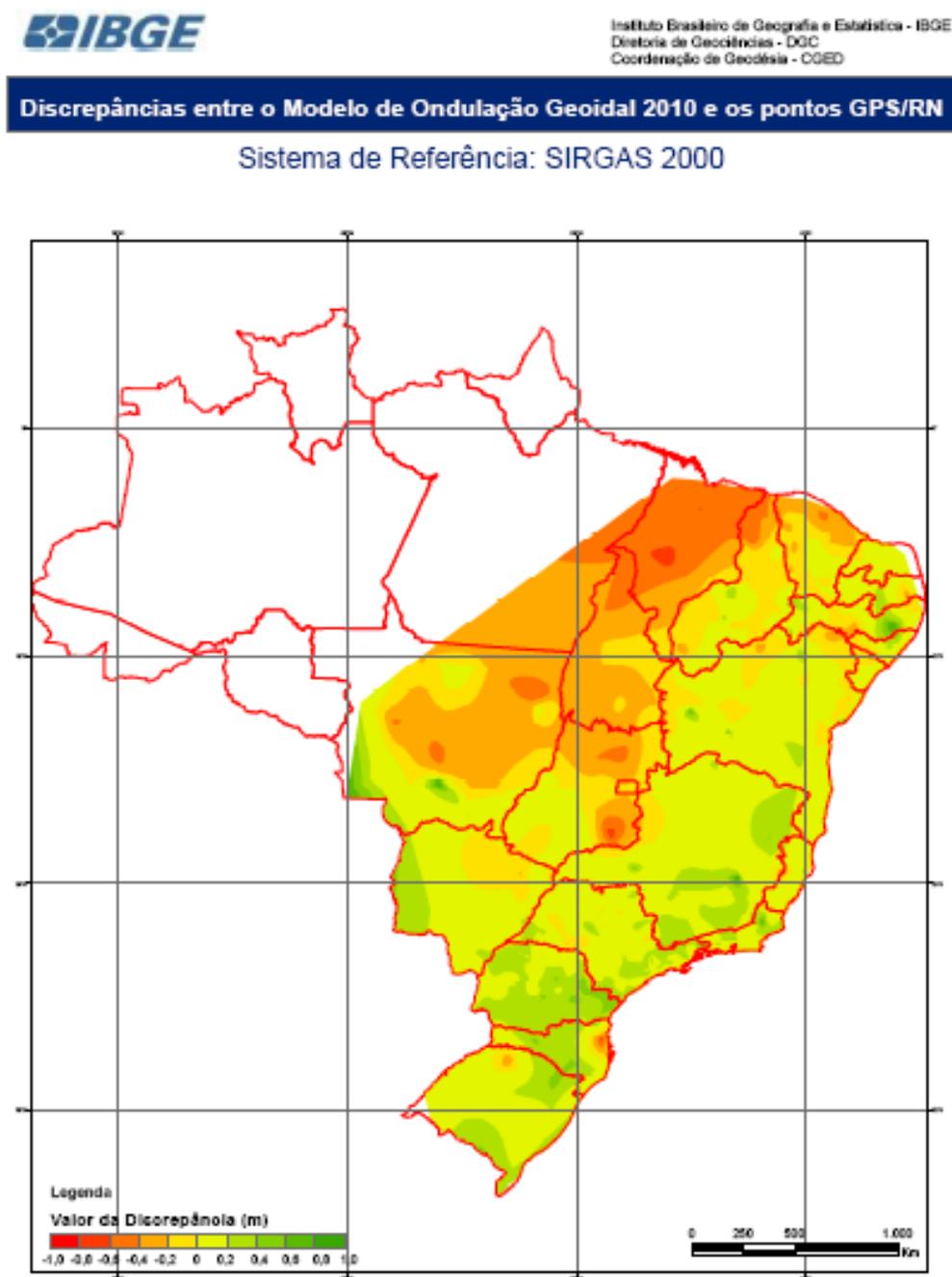


Figura 5-10: Erro existente no Modelo Geoidal MAPGEO2010

A Figura 5-11 demonstra o comportamento do modelo geoidal obtido pelo MAPGEO2010 para a região do levantamento aqui apresentado.

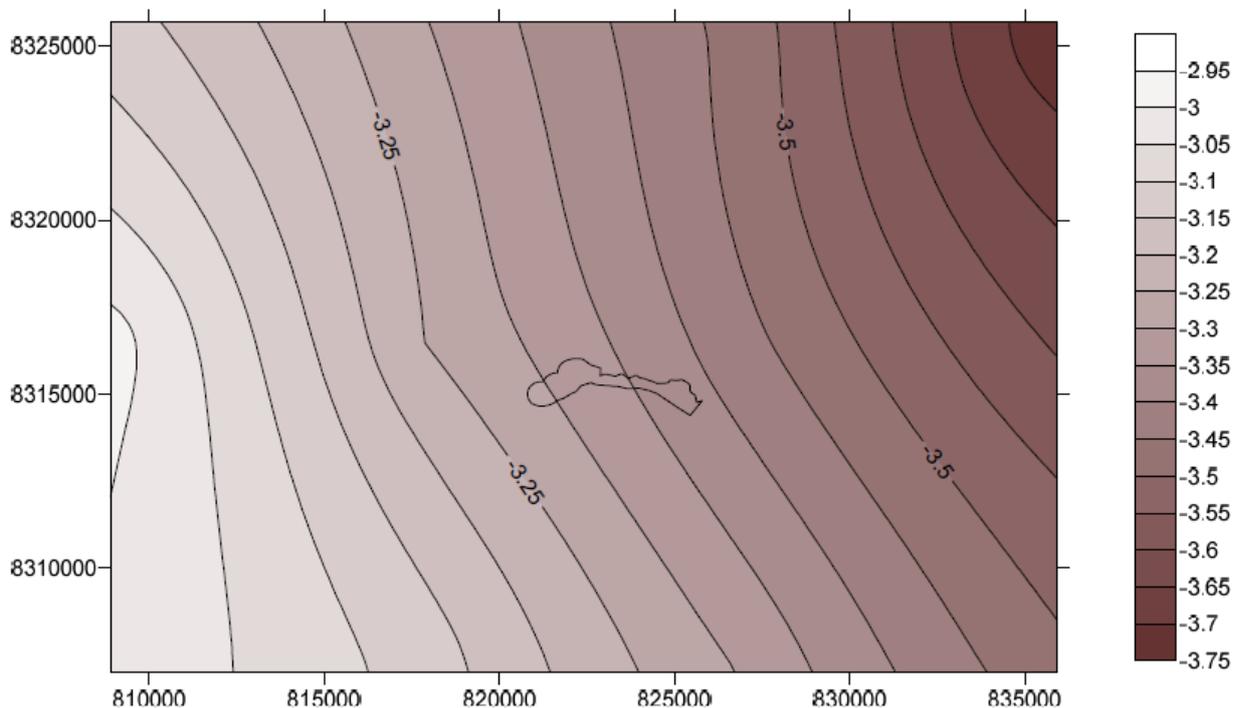


Figura 5-11: Modelo Geoidal MAPGEO2010 na região do levantamento

5.2.11. Documentação Oficial

A escolha de um ponto de controle em campo dá-se em função da sua localização em relação à área a ser levantada e a necessidade de pertencer à rede oficial do IBGE ou amarrada a um ponto da mesma.

A rede oficial do IBGE é composta pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), o qual contém a Rede Planimétrica, a Altimétrica, a Gravimétrica e as Redes Estaduais GPS.

Como base de voo foi utilizado o ponto Primavera do Leste, implantado pela SAI, na cidade Primavera do Leste-MT. Para o transporte de coordenadas para a base de voo, foi utilizada como referência geodésica o ponto da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) denominado de CUIB – CUIABÁ, localizado no município de Cuiabá (MT).

Para a coleta dos pontos de controle de campo foi utilizado como referência o SAT91207 localizado no município de Primavera do Leste (MT).

No **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico, são apresentados os relatórios das estações CUIB e SAT91207, respectivamente, disponibilizados pelo IBGE.

5.2.12. Apoio de Campo

Neste item serão apresentados dados referentes à equipe de apoio de campo, ao processo de transporte de coordenadas, às bases de voo utilizadas, aos pontos de controle e no final a comparação do processo Lidar com a topografia convencional.

5.2.12.1. Equipes

Para a região da PCH Cumbuco, o deslocamento da equipe primeiramente foi para a cidade Primavera do Leste – MT, por conter ponto SAT da rede do IBGE. Em Primavera do Leste foram rastreados os pontos de controle para os dados laser, apresentado no **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico.

5.2.12.2. Transporte de Coordenadas

Para o transporte de coordenadas planimétricas são utilizados marcos SAT e/ou estações da RBMC, não sendo utilizados marcos de SAT Doppler ou Vértice de Triangulação.

Para o transporte dos pontos de apoio terrestre foram utilizados GPS Geodésicos de dupla frequência (TRIMBLE 5700 L1/L2), com cadência de 1 segundo. Para escolha dos pontos deve ser levada em consideração a possível interferência de obstáculos, escolhendo sempre pontos em áreas sem cobertura vegetal e passível de preservação.

Para a região escolhida para implantação da PCH Cumbuco foram implantados no total 4 pontos de controle.

Todo o detalhamento do transporte dos pontos coletados para este levantamento é mais bem detalhado e pode ser conferido nos itens 5.3. (Bases de Voo) e 5.4. (Pontos de Controle), apresentados no memorial descritivo da SAI, constante do **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico.

5.2.12.3. Bases de Voo

Durante a aquisição dos dados laser é necessário um ou mais GPS em solo coletando informações (ponto base de voo). O ponto base de voo deve ser amarrado à rede oficial do IBGE.

O critério para escolha do ponto rastreado é que o mesmo necessita estar em um raio de 30 km da área a ser sobrevoada; isto porque as antenas GPS, tanto da aeronave quanto a da base em campo, precisam coletar satélites da mesma constelação durante cada instante da aquisição, com o objetivo de se estabelecer uma correlação das informações.

5.2.12.4. Pontos de Controle

Pontos de controle são pontos com coordenadas medidas em campo por meio de levantamentos geodésicos. A identificação desses pontos é feita por meio de croquis e/ou fotografias.

Em campo os dados podem ser coletados de forma independente ao voo, podendo, portanto, ser coletados durante ou após a aquisição dos dados laser.

Esses pontos têm por característica avaliar a precisão da superfície gerada pelo Laser e com isso garantir a precisão dos produtos gerados.

O processo de implantação dos pontos de controle teve como base planialtimétrica o SAT91207 do IBGE, situado na cidade de Primavera do Leste–MT.

Primeiramente fez-se o transporte planialtimétrico dos SAT91207 para o ponto M-0. Utilizando o ponto M-0 como base, foram implantados, a partir dele, os demais pontos de controle denominados de M-05, M-01, M-02, M-05.

Todos os pontos foram rastreados com o GPS TRIMBLE 5700 e processados com o software TopCon Tools e TGO.

Após a aquisição dos dados foram criados os arquivos RINEX utilizando o software da TRIMBLE TGO e posteriormente processados com o TopCon Tools.

Nos anexos 10.3 (Relatório de Processamento), 10.4 (Monografias) e 10.5 (Croqui do Apoio de Campo), apresentados pela SAI em seu Memorial Descritivo e constantes do **Volume 3 – Tomo I** deste relatório de Projeto Básico, podem ser observados o relatório de processamento, bem como as fotos e localização de todos os pontos de apoio levantados para o projeto aqui descrito.

5.2.12.5. Comparação LiDAR e Topografia Convencional

Analisando os resultados apresentados no relatório emitido pela SAI, observa-se que o erro médio quadrático é igual a 0,222 m e o desvio padrão de 0,162 m. Dessa forma, considerando que a equidistância das curvas de nível do projeto é de um metro, pode-se concluir que o projeto atende ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Classe A.

Portanto, os produtos LiDAR, quando comparados com o apoio de campo, resultaram nas precisões necessárias para classificação dos produtos como PEC Classe A.

5.2.13. Processamentos dos Produtos

5.2.13.1. Extração dos dados

Na fase de extração dos dados, todas as informações do laser, as fotografias digitais e os arquivos provenientes do GPS são convertidos do formato bruto para formatos que serão utilizados posteriormente.

A primeira fase da extração dos dados é a combinação dos dados do GPS da aeronave com o GPS de campo (base conhecida). Esse processo é realizado no software PosPac e tem como objetivo definir a trajetória realizada pela aeronave.

A segunda fase é a extração dos dados do laser utilizando o software DashMap. Esse processo tem como objetivo georreferenciar a nuvem de pontos.

Na terceira fase são extraídas as fotografias do formato bruto para o formato TIFF, as quais serão utilizadas posteriormente para geração das ortofotos. Antes da extração das imagens é necessária a equalização do contraste e variação de tonalidade de todas as imagens. Para o processo de equalização e extração das imagens utiliza-se o software Phase One.

Realizados os processos de georreferenciamento e extração, as informações estão prontas para serem utilizadas no desenvolvimento dos produtos de interesse.

5.2.13.2. Processamento dos pontos laser

O processamento dos dados após a fase de extração é realizado no programa *Microstation SE* (www.bentley.com/) juntamente com os softwares da *TerraSolid* (www.terrasolid.fi/).

No processamento é realizada uma sequência lógica de passos, que podem ser divididas em quatro classes:

- Classificação/Filtragem;
- Triangulação do Modelo Digital do Terreno (MDT);
- Ortoretificação;
- Restituição ou Vetorização.

A seguir são descritas sucintamente cada uma dessas fases.

- **Classificação/Filtragem**

Com a nuvem de pontos bruta, resultado da extração, é realizado o processo automático de classificação dos pontos, distinguindo assim os pontos definidores da superfície e os pontos oriundos de obstáculos.

No processo de filtragem é de extrema importância a escolha dos parâmetros corretos. Caso isso não ocorra, obstáculos como edificações e vegetação serão classificados como solo e criarão uma má representação do terreno. Para escolha dos parâmetros devem ser considerados os seguintes pontos: ângulo de iteração e iteração à distância.

O ângulo de iteração é o ângulo formado pelo plano do triângulo e uma linha de conexão com o ponto mais próximo do vértice do triângulo. Já a iteração com a distância é a distância do ponto ao plano do triângulo. A Figura 5-12 exemplifica estes conceitos.

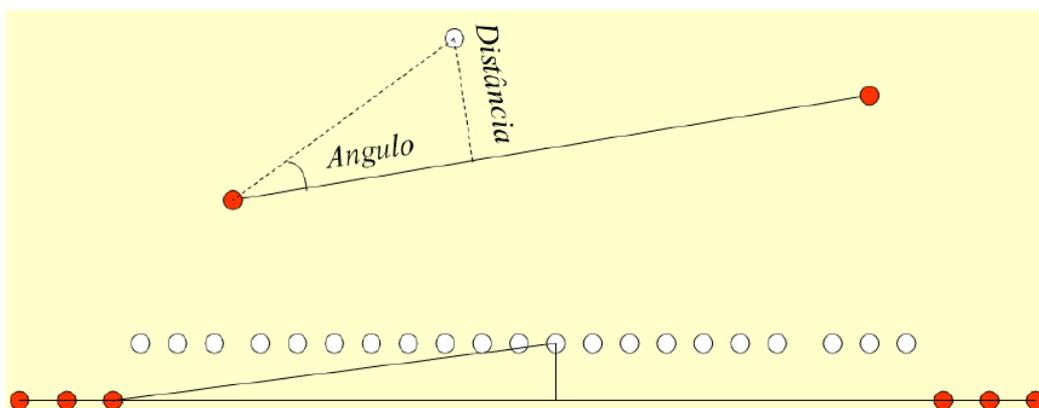


Figura 5-12: Parâmetros de classificação

Após a filtragem, a equipe técnica faz o controle dos pontos definidos como superfície, utilizando recursos tridimensionais e rotinas lógicas. Todo o processo de classificação e filtragem é realizado utilizando o software *TerraScan* do pacote *Terrasolid*.

- **Processamento das Curvas de Nível**

Com os pontos laser já classificados e filtrados gera-se um grid regular dos pontos e é realizada a triangulação da superfície por meio do software *TerraModel*, onde é possível a escolha da melhor rotina para definição da superfície de interesse.

Portanto, são criados modelos de superfície para a triangulação, isso significa que é gerada uma rede de triângulos que liga os pontos no modelo. A rede é construída de tal forma que existe um triângulo em cada posição XY dentro da área. No modelo do terreno cada posição XY tem apenas um valor de altitude.

Características como cor, equidistância das curvas e fonte das cotas estabelecidas pelo cliente, também são definidas nesse software.

A Figura 5-13 ilustra um exemplo das curvas de nível geradas.

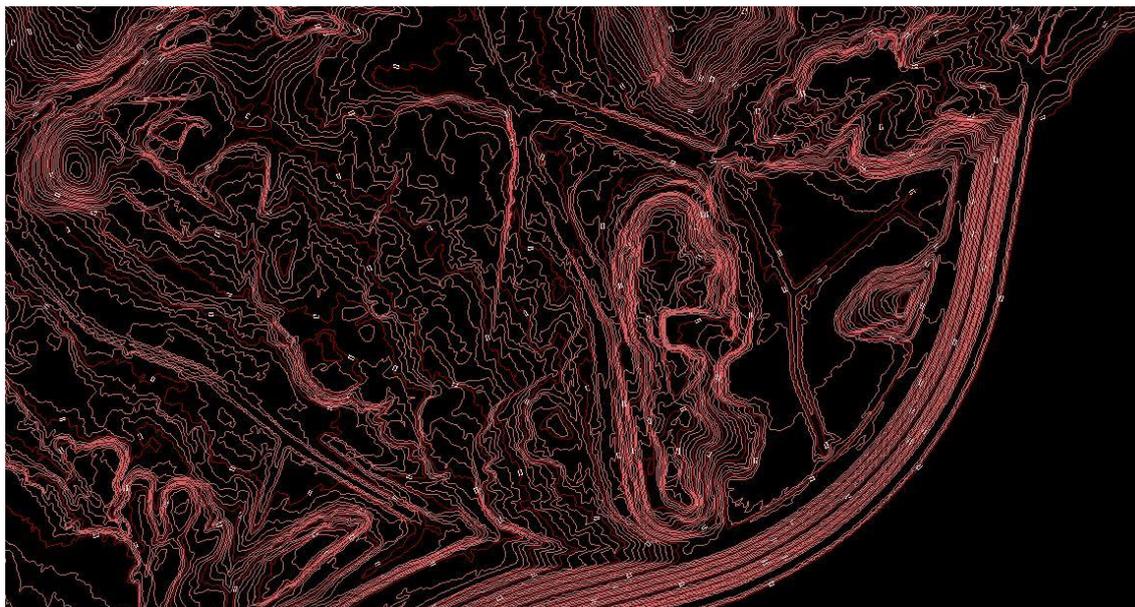


Figura 5-13: Curvas de Nível (exemplo)

Triangulação

A triangulação é uma operação trigonométrica que consiste na correlação da nuvem de pontos que representa os pontos que tocam o terreno. Essa triangulação permite a geração da superfície do MDT.

Interpolação

Para se interpolar as curvas de nível deve-se partir do princípio que, na natureza, em geral, dois pontos do terreno possuem uma inclinação quando ligados entre si, ou seja, normalmente o terreno é inclinado.

E a interpolação consiste em determinar as curvas definidas pelas cotas (altitudes) de valores inteiros, pois estas são obtidas no campo em valores fracionários.

• Ortorretificação

As imagens adquiridas no voo requerem o processo de ortorretificação para corrigi-las das distorções fotogramétricas ocasionadas pelo relevo, mantendo assim a escala constante em toda a imagem.

Para a fase de ortorretificação das fotografias é necessário utilizar as seguintes informações:

- Modelo digital do terreno;
- Fotografias digitais;
- Trajetória da aeronave.

Com base, tanto no MDT gerado pela nuvem de pontos do levantamento LiDAR, como nas informações da trajetória da aeronave e também nas informações do sistema inercial, inicia-se o processo de ortorretificação.

O processo de ortorretificação é totalmente digital, não existindo, portanto, a fase que compõe o processo de ortorretificação convencional, onde os dados são adquiridos com uma câmara analógica.

Com essas informações o software *TerraPhoto* realiza a mosaicagem das imagens, uma fusão de grande número de fotografias para o recobrimento fotográfico da área de interesse, possibilitando ao operador definir os pontos homólogos entre as cenas, os quais serão utilizados para triangulação das imagens, que servem como base para o ajustamento das mesmas até atingir a precisão esperada.

O processo de ortorretificação é semiautomático, pois são necessárias intervenções do operador até que o erro existente no processo de triangulação seja menor que o coeficiente pré-determinado. O erro aceitável é determinado pela seguinte regra: **Erro < Tamanho do Pixel da Ortofoto (cm) x Quatro**. Esse parâmetro garante a qualidade da ortorretificação.

Também nessa fase define-se o tamanho do pixel da ortofoto, melhor entendida na Figura 5-14.

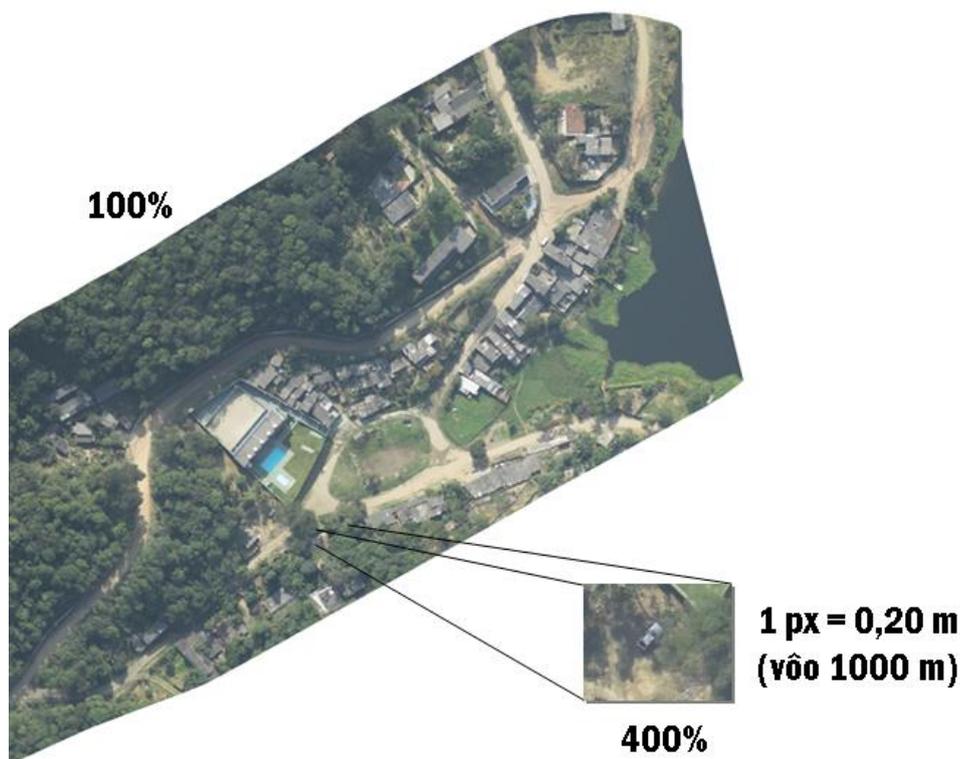


Figura 5-14: Exemplo de tamanho de pixel e visualização de zoom

- **Vetorização**

Utilizando os pontos laser, as ortofotos e as curvas de nível, são identificados pontos notáveis da superfície, que são representados em forma de vetor e representam sua respectiva classe (hidrografia, vias de acesso, edificações e outros).

Vetores são entidades definidas matematicamente como uma série de pontos unidos por linhas. Cada vetor é uma entidade independente com propriedades como cor, forma, contorno, tamanho e posição na tela, sendo possível mover e alterar suas propriedades.

- **Produtos Desenvolvidos**

- Arquivo Texto (representam as coordenadas dos pontos do terreno – Leste, Norte, Altitude Ortométrica);

- Arquivos rinex, Receiver Independent Exchange Format, utilizados para compatibilizar os dados gerados por receptores de diferentes fabricantes e que podem ser processados por diferentes programas; estão em formato texto;
- Ortofotos (arquivos imagem resultante do processo de ortorretificação já explicado anteriormente; diferente do processo convencional de aerofotogrametria, as ortofotos no levantamento laser não têm como objetivo a geração das curvas de nível, pois para gerar as curvas utiliza-se o modelo digital do terreno, como já mencionado; as ortofotos continuam sendo ferramentas importantes na tomada de decisão, facilitando assim a identificação de hidrografias, vias de acesso e edificações; as ortofotos desse trabalho têm resolução espacial de 25 cm, estão no formato JPG + JGW e podem ser visualizadas em qualquer software de imagens ou importadas como referência externa em software como AutoCad, Microstation, entre outros);
- Curvas de Nível e Pontos Cotados (as curvas de nível são representadas pela cor sépia (marrom) e são diferenciadas em curvas de nível mestra e intermediárias; a curva mestra é indicada por uma linha mais grossa que a usual e é contada a cada cinco curvas de nível a partir da curva de valor zero; os pontos cotados são representados numericamente e indicam a sua cota ou altitude);
- Identificação de Elementos Notáveis (na vetorização são identificados e organizados em layers os principais elementos notáveis presentes nas imagens, tais como: hidrografia, vias de acesso, edificações, pontes e outros, conforme a requisitos técnicos do projeto);
- Layouts (o layout é a representação gráfica da área vetorizada para uma determinada escala e a altimetria é representada pelas curvas de nível e pelos pontos cotados; além da representação gráfica, são apresentadas as informações cartográficas, tais como, coordenadas, escala, sistema de referência, meridiano central, data e sua localização nacional);
- Mapa Hipsométrico (o mapa hipsométrico representa o relevo utilizando as curvas de nível; aos espaços entre as curvas são atribuídas cores que mostram a menor e maior declividade do relevo, e constam na legenda do mapa com seus valores máximo e mínimo para a área fornecida).

5.3. Levantamentos Topográficos Complementares

O objetivo desse item é apresentar a metodologia e os resultados das campanhas de Levantamento Geodésico e Topográfico para a área prevista para implantação da futura PCH Cumbuco.

5.3.1. Levantamento Geodésico

Trata-se do conjunto de atividades relacionadas às operações com GPS Geodésico, necessárias à determinação do referencial físico e geométrico do projeto (geoide/elipsoide).

5.3.1.1. Implantação do Marco Base Principal

Foi implantado um (1) Marco Base Principal próximo ao sítio do futuro aproveitamento hidrelétrico. O Marco Base Principal **FRR405** é um marco de primeira ordem ajustado ao Sistema Geodésico Brasileiro. O ajuste planialtimétrico (coordenadas e altitude) foi determinado pelo método de triangulação geodésica entre ele e as estações ativas RBMC 92583/MT e RBMC 93965/MT.

A triangulação geodésica consiste na ocupação simultânea de três (3) marcos monumentados sobre a superfície terrestre, onde dois (2) deles fazem parte da Rede de Monitoramento Contínuo

(alta precisão) do IBGE e o terceiro é aquele implantado na obra que se pretende georreferenciar.

Os marcos geodésicos que formam os vértices do triângulo possuem elevada precisão e são utilizados para os mais variados fins, neste caso, como referência aos levantamentos topográficos do projeto em questão.

A Figura 5-15 apresenta o esquema de triangulação geodésica para o ajuste planimétrico no projeto em tela.

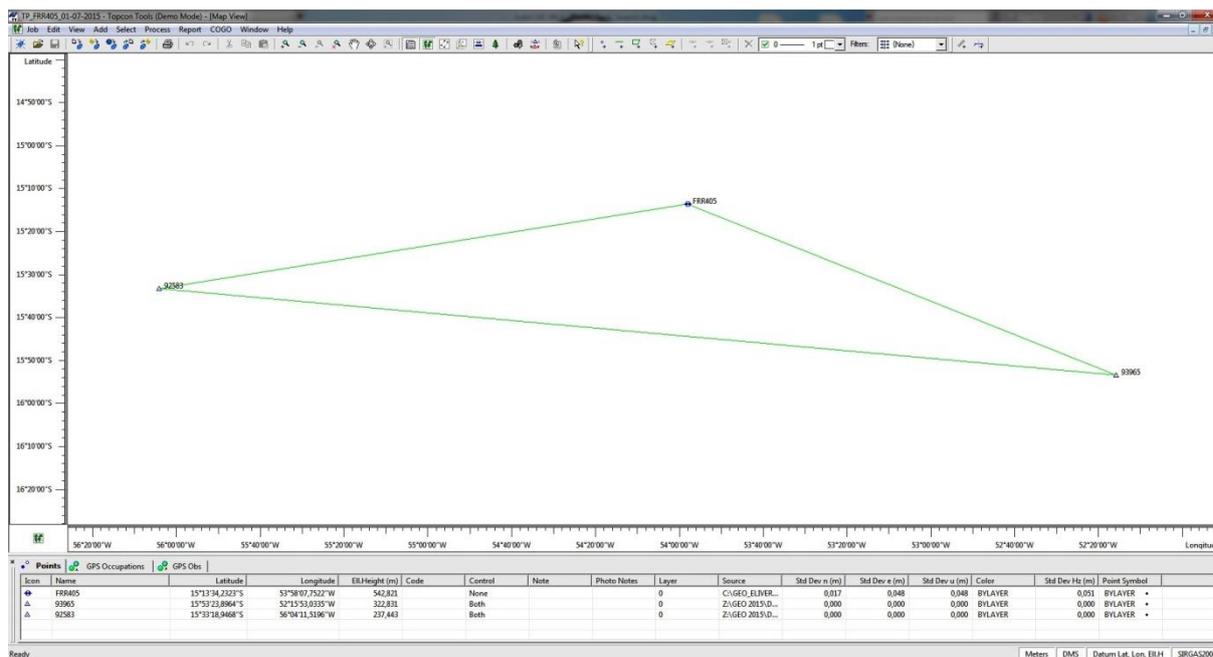


Figura 5-15: Triangulação geodésica para ajuste planimétrico

5.3.1.2. Implantação de Marcos SAT Intervisíveis

Após ajustamento a partir do Marco Base Principal, foram derivados diversos Marcos SAT intervisíveis para levantamento de seções topobatimétricas no eixo de barramento, ao longo do reservatório e nas áreas de empréstimo de solo.

A Figura 5-16 apresenta a derivação, a partir do Marco Base Principal, dos marcos SAT intervisíveis.

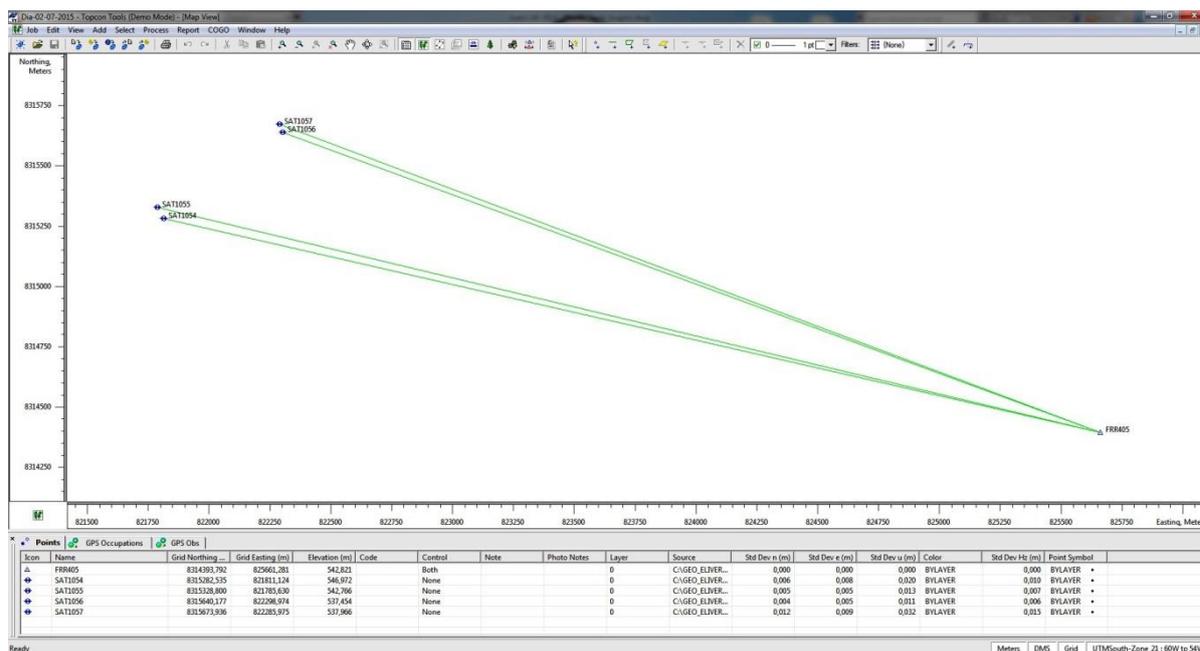


Figura 5-16: Derivação marcos SAT a partir do FRR405

5.3.1.3. Metodologia

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) inclui um conjunto de satélites de informação eletrônica que fornece, via rádio, ao receptor terrestre, a posição com referência às coordenadas.

O receptor GPS decodifica as transmissões do sinal de código e fase de múltiplos satélites e calcula a sua posição com base nas distâncias a estes. A posição é dada por latitude, longitude e altitude.

Nos levantamentos geodésicos aqui descritos foram utilizados um par de receptores GPS TOPCON HIPER capaz de captar as duas frequências (L1/L2) emitidas pelos satélites (GPS e Glonass), possibilitando assim a eliminação dos efeitos da refração ionosférica, permitindo elevada precisão.

A Figura 5-17 apresenta um desenho esquemático de ocupação por GPS.

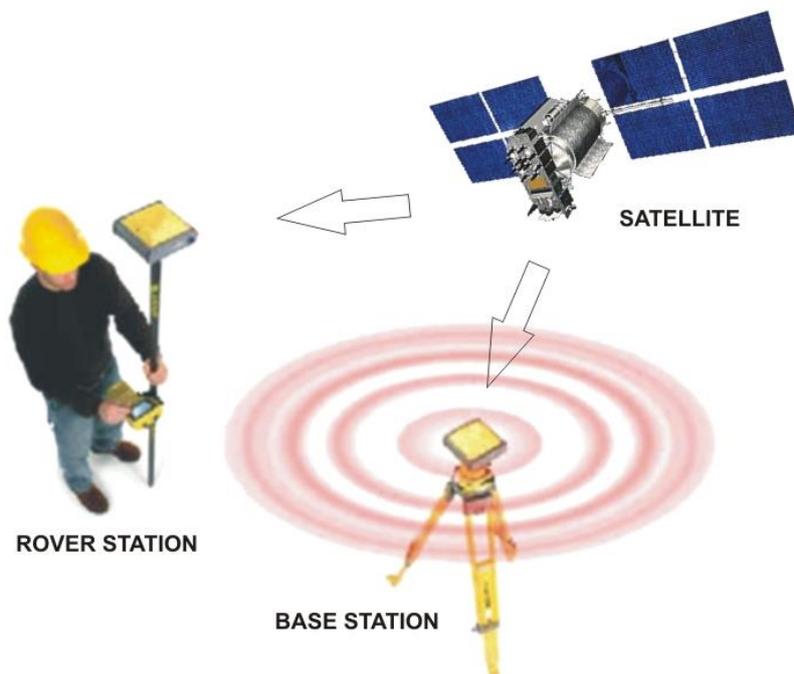


Figura 5-17: Esquema de ocupação por GPS

Em cada ponto implantado e coletado em campo, o receptor GPS foi cuidadosamente centrado e nivelado. A altura, do centro de fase da antena até o marco geodésico cravado no solo, foi medida, conferida e registrada nos diários de campo.

A duração da ocupação sempre depende de vários fatores, principalmente quanto à atividade ionosférica, comprimento das linhas de base e probabilidade de ocorrência de caminhamentos múltiplos da onda nos locais das estações.

A experiência adquirida na exaustiva aplicação do método permitiu estabelecer critérios em campo para visualização e checagem desses fatores e com isso evitar imprecisões e trabalhos perdidos. Dentre eles:

- Quanto maior a distância entre as estações (Base/Rover) maior o tempo de ocupação;
- Optar por dias ensolarados e com boas condições climáticas;
- Observar a constelação de satélites no display do receptor GPS, onde o mínimo necessário para uma boa acurácia é de 06 satélites disponíveis.

Os receptores GPS utilizados não informam o posicionamento instantaneamente, sendo necessário o pós-processamento dos dados. O software utilizado para o pós-processamento e cálculo das ocupações foi o TOPCON TOOLS, fornecido juntamente com o equipamento. Ele permite processar, analisar dados numéricos, ajustar, gerar relatórios e exportar os dados para softwares de CAD/GIS.

5.3.2. Levantamento Topográfico

Foram executados levantamentos no eixo de barramento, canal de fuga, estação fluviométrica, seções no reservatório, área de empréstimo e cadastro de estação fluviométrica e de pontos de sondagem.

No levantamento foi utilizada uma Estação Total TOPCON, capaz de coletar pontos com diversos atributos, com leitura direta de 1", precisão de 5" e alcance de 2.000 m. Como premissa, os levantamentos foram executados com tomadas de pontos notáveis do terreno com equidistância média de 25 m ou de acordo com o desenvolvimento do relevo.

A Figura 5-18 apresenta uma ilustração esquemática do levantamento topográfico executado para o projeto em tela.

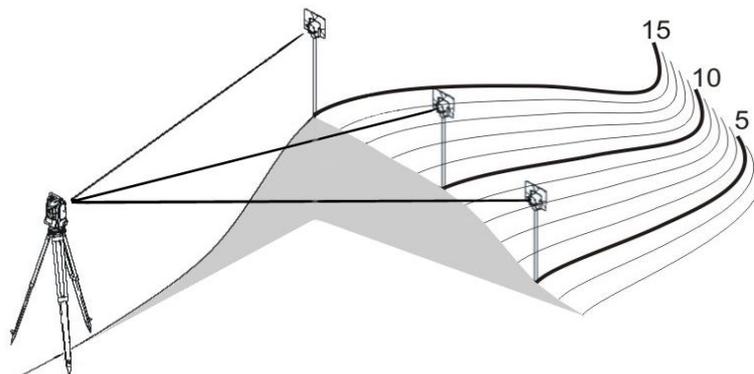


Figura 5-18: Desenho esquemático do levantamento topográfico

As seções foram levantadas por meio de poligonais topográficas classificadas como controladas, pois possuem dois pontos de coordenadas conhecidas (SAT Intervisíveis) e abertas, uma vez que cada margem foi mensurada a partir do SAT correspondente com orientação azimute no SAT da margem oposta.

A batimetria em cada seção foi determinada por meio da observação da profundidade, com tomadas de pontos equidistantes entre as margens.

Por fim, as poligonais e pontos irradiados foram transferidos da Estação Total ao computador e processados no software TOPOGRAPH e, então, exportados para softwares de CAD/GIS.

Com relação à área de empréstimo de solo, foi empregada a metodologia de Levantamento Cinemático com GPS Geodésico, utilizado na medição de vários pontos sucessivamente. É um método bastante eficaz de medir vários pontos próximos entre si.

Como o local selecionado é uma área antropizada, livre de elementos (árvores) que pudessem obstruir a trajetória do sinal do satélite, a aplicação desse método foi eficaz.

5.3.3. Sistema de Referência

5.3.3.1. Elipsoide

Segundo as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, anexas à Resolução COCAR nº 02/83, de 21/07/1983, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é definido a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção terrestre delimitada pelas fronteiras do país.

Para o SGB, a imagem geométrica da Terra é definida pelo elipsoide do Sistema Geodésico de Referência (SGR-67), aceito e recomendado pela União Geodésica e Geofísica Internacional (UGGI) em Lucerna, no ano de 1967.

Portanto, utilizamos como referência o Datum planimétrico ou horizontal SIRGAS 2000 e o Datum altimétrico do SGB que coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do

mar, definido pelas observações maregráficas tomadas em Imbituba, no litoral de Santa Catarina.

5.3.3.2. Coordenadas

Nos reconhecimentos, é empregado o Sistema de Coordenadas Geográficas baseado em valores angulares expressos em graus, minutos e segundos de latitude (paralelos) e graus, minutos e segundos de longitude (meridianos) de uso geral.

Devido à mudança de fuso que ocorre no interior do sítio do aproveitamento, foi utilizado o Sistema de Coordenadas na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), com meridiano central MC-57° FUSO 21 e MC-51° FUSO 22. Dessa forma, cada produto (desenho, processamento, etc.) foi desenvolvido no Fuso em que está localizado.

5.3.3.3. Altitude

A forma da Terra se assemelha a um elipsoide, onde o raio equatorial é maior que o raio polar, devido ao movimento de rotação em torno do seu eixo. Porém, o modelo que mais se aproxima de sua forma real, e que pode ser determinado por meio de medidas gravimétricas, é o geoidal.

A superfície do geóide é mais irregular do que a do elipsoide de revolução usado habitualmente para representar a forma do planeta, mas consideravelmente mais suave do que a própria superfície física terrestre.

A Figura 5-19 ilustra a explicação acima.

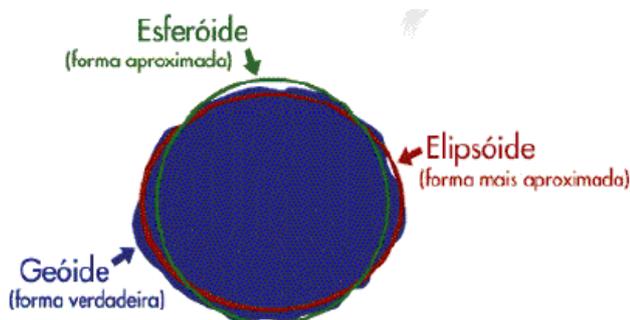


Figura 5-19: Elipsoide x Geóide

Como os receptores GPS indicam a altitude elipsoidal, faz-se necessário o ajuste em função da ondulação do geóide, a fim de se obter a altitude ortométrica (superfície terrestre).

Como já explicado anteriormente e ilustrado pela Figura 5-8, apresentada no item 5.2.10.3 deste relatório de Projeto Básico, a altitude ortométrica (H) é obtida pela diferença entre a altitude elipsoidal (h) e a ondulação Geoidal (N). O valor de N é obtido a partir do software MAPGEO 2010 desenvolvido pelo IBGE e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) que contém o Modelo de Ondulação Geoidal Brasileiro referenciado ao SIRGAS 2000.

A Figura 5-20 apresenta a tela de entrada de dados do programa de compensação geoidal MAPGEO 2010.

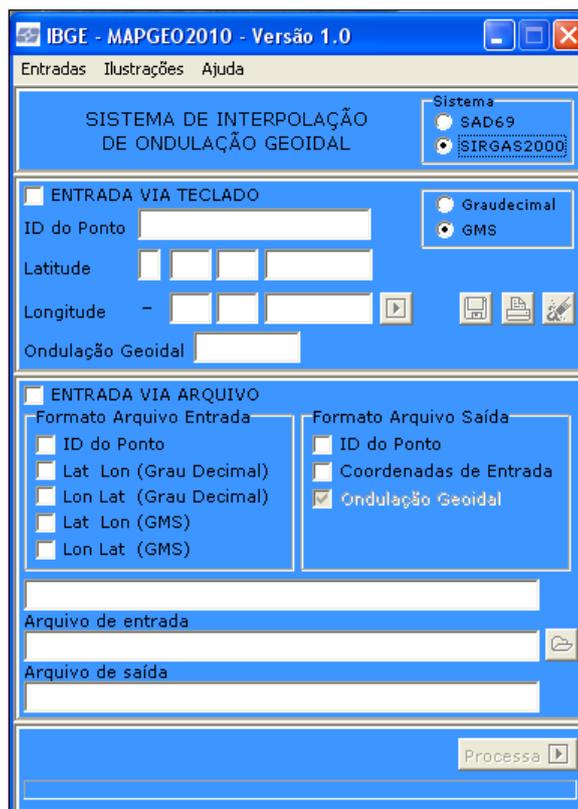


Figura 5-20: Sistema de interpolação de ondulação geoidal (MAPGEO 2010)

Desta maneira, todos os mapas, plantas e desenhos que compõem o presente relatório são apresentados em altitude ortométrica. Os relatórios específicos de processamento geodésico trazem em seu conteúdo os valores correspondentes a cada variante.

5.3.3.4. Escala

A escala é a relação matemática entre o comprimento ou distância medida sobre um mapa e a sua medida real na superfície terrestre, podendo ser representada numericamente e graficamente.

A documentação cartográfica produto dos estudos e levantamentos de campo que ilustram o presente relatório derivam das escalas originais: até 1/25.000 denominadas como plantas ou cartas cadastrais; entre 1/25.000 e 1/250.000 denominados como cartas topográficas (DSG, IBGE, etc.); acima de 1/250.000 folhas geográficas.

5.3.4. Equipamentos e Softwares



HIPER L1/L2 – GPS Geodésico totalmente integrado (receptor, antena, bateria e carregador), dupla portadora L1/L2, 40 canais, marca TOPCON, modelo HIPER com precisão pós-processada através da correção diferencial, precisão menor que 2 mm + 1 ppm.



ESTAÇÃO TOTAL – Estação total eletrônica TOPCON, modelo GTS-105N padrão e modelo GPT 3205 NW de medição sem prisma. Leitura direta de 1" e precisão de 5", alcance de 2.000 m, precisão linear de 2 mm + 2 ppm, coletor de dados interno com memória para 12.000 pontos com todos atributos ou 24.000 pontos de coordenadas (N, E).



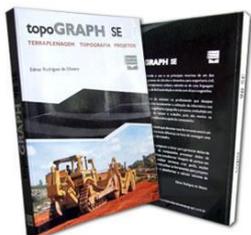
GARMIN ETREX – GPS de mão destinado à navegação; possui em sua memória um basemap; permite uma precisão de posição de menos de 3 m e o download das trilhas e acessos percorridos.



TRACK MAKER – software que permite a integração entre o GPS de navegação e o computador. Quando combinados no campo, possibilitam a navegação em tempo real da área que está sendo percorrida.



TOPCON TOOLS – software que permite a transferência dos dados dos receptores GPS, o pós-processamento, à análise numérica, o ajustamento de redes, a geração de relatórios e a exportação dos dados para vários softwares de GIS e CAD.



TOPOGRAPH – software utilizado no processamento de dados topográficos a partir de Estações Totais, Níveis Ópticos, etc. Destinado às diversas áreas da engenharia e construção, possibilita cálculo de volumes, cálculo de curva de nível, cálculo de perfil, desenhos, etc.



AutoCAD MAP – software utilizado para elaboração dos mapas, plantas e desenhos. Sua plataforma permite a interface direta com o TOPOGRAPH e demais softwares acima descritos.



NOTEBOOK – Computador portátil destinado ao uso campo/escritório uma vez que pode ser facilmente transportado. Sua tecnologia e portas de comunicação Serial/USB possibilitam a conexão com vasta linha de equipamentos de Topografia.



COMPUTADOR – Estação Gráfica destinada ao uso em escritório onde são processadas as informações de campo e elaborados os desenhos e plantas.



EQUIPAMENTOS DIVERSOS – Veículo 4x4, barco 4 m borda alta com motor popa 15 hp, motosserra, foices, facção, bastão topografia, trena, etc.

5.3.5. Produtos e Resultados

Os serviços de campo foram desenvolvidos de acordo com a especificação técnica emitida pela projetista e tiveram início no mês de abril de 2015.

Os resultados obtidos estão compatíveis com as tolerâncias do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), diretrizes ANEEL e Normas Técnicas da ABNT.

Por fim, os produtos deste trabalho, consubstanciados em plantas topográficas e relatórios técnicos, representam a configuração espacial ao longo do sítio de implantação da futura PCH Cumbuco.

A Tabela 5-2 apresenta a relação de produtos entregues. Todos esses serviços executados estão apresentados detalhadamente no Volume 3 – Tomo I deste relatório de Estudos de Projeto Básico.

Tabela 5-2: Lista de produtos entregues (serviços executados)

Item	Descrição	Quantidade	Unidade
01	Transporte Geodésico Planialtimétrico de Marco Base	01	Unidade
02	Implantação de Marcos SAT de Referência Topográfica	08	Unidades
04	Secções Topográficas Planialtimétricas	05	Unidades
05	Secções Topobatimétricas	04	Unidades
06	Cadastro Planialtimétrico Pontos de Sondagem	08	Unidades
07	Cadastro Planialtimétrico Área de Empréstimo de Solo	11	Hectares
08	Cadastro Planialtimétrico Estação Fluviométrica	01	Unidade

5.3.6. Equipe Técnica

Para a execução dos serviços aqui descritos foi demandada a seguinte equipe técnica, de campo e escritório:

- 1 Coordenador Geral;
- 1 Engenheiro Agrimensor (Gerente e Responsável Técnico);
- 1 Topógrafo (Levantamentos de Campo);
- 1 Técnico Operacional (Logística e Desenhos Técnicos).

6. ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Este capítulo consolida os estudos hidrometeorológicos realizados para o Projeto Básico da PCH Cumbuco, localizada no rio Cumbuco, afluente pela margem direita do rio Suspiro, o qual é afluente do rio das Mortes, que por sua vez é afluente do rio Araguaia, sub-bacia 26, no Estado do Mato Grosso.

Estão apresentados neste item a caracterização fisiográfica e climatológica da bacia, os estudos hidrológicos que abrangeram a coleta, análise e tratamento de dados fluviométricos na região de interesse, geração da série de vazões médias mensais, permanência de vazões, vazões extremas, vazões mínimas, curva-chave do canal de fuga, curvas cota-área-volume, determinação da evaporação líquida no reservatório, tempo de residência, enchimento do reservatório, assoreamento do reservatório e estimativa de vida útil.

6.1. Caracterização Fisiográfica da Bacia

As principais características físicas da bacia hidrográfica do rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, são analisadas neste item, de modo a identificar as suas influências e relações com o comportamento do escoamento fluvial.

6.1.1. Localização e Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Cumbuco nasce na porção Centro-Sul do Estado do Mato Grosso, situando-se, aproximadamente, entre os paralelos 15°10' e 15°40' Sul, e entre os meridianos 53°50' e 54°45' Oeste.

O rio Cumbuco nasce na divisa dos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste, conforme apresentado na Figura 6-1.

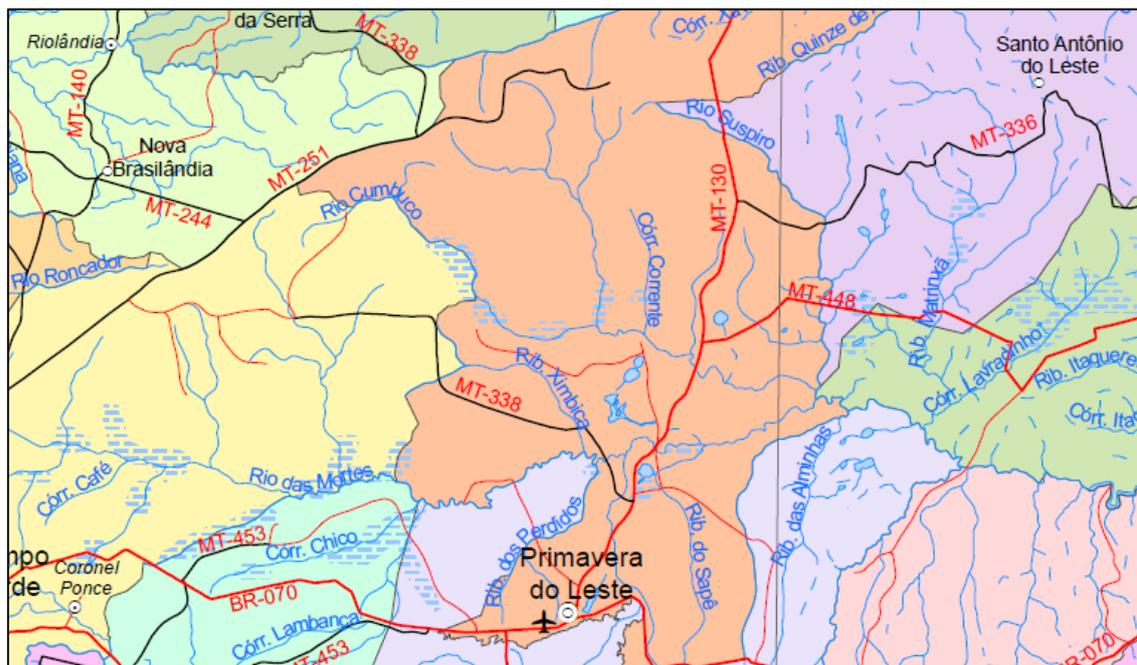


Figura 6-1: Rio Cumbuco – Localização (Fonte: Mapa Político do Estado do Mato Grosso – IBGE – 2014)

A bacia do rio Cumbuco limita-se ao Norte com as nascentes do rio Teles Pires, ao Sul com a bacia do rio das Mortes, a Leste com a bacia do Ribeirão Matrinchã e a Oeste com a bacia do

Ribeirão Ximbica. O rio Cumbuco pertence à bacia hidrográfica do rio Tocantins-Araguaia, Bacia 2, de acordo com a classificação usual utilizada no Setor Elétrico.

O rio Cumbuco nasce na cota 777 m e no local da PCH Cumbuco possui cota 540 m. A bacia apresenta um eixo principal, desenvolvendo-se, aproximadamente, na direção Noroeste-Sudeste. Em termos de drenagem, o rio Cumbuco é assimétrico a esquerda, apresentando 3 drenagens inominadas pela margem esquerda, não apresentando drenagens pela margem direita. O rio Cumbuco percorre uma extensão de 102 km das nascentes até o local da PCH Cumbuco.

A **Ilustração 1** mostra a região do rio Cumbuco onde se localiza a PCH Cumbuco.

6.1.2. Área de Drenagem e Perímetro

As áreas de drenagem foram aferidas, com base em dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 90m e o sistema ArcGis 10.1, com auxílio das ferramentas hidrológicas da extensão Spatial Analyst. A ANA tem adotado procedimentos semelhantes para o cálculo das áreas de drenagem da sua rede hidrométrica. Maiores detalhes sobre o procedimento empregado podem ser encontrados nas notas técnicas emitidas pelo órgão.

As cartas SRTM foram adquiridas pelo banco de dados da Embrapa, que disponibiliza os modelos digitais do terreno em arquivos divididos de acordo com a articulação oficial de cartas na escala 1:250.000. A partir das imagens brutas originalmente disponibilizadas pela NASA, a Embrapa fez a consistência dos modelos de terreno por meio de modelos matemáticos que permitiram reconstituir o relevo do país, como as cartas topográficas, mas de forma digital e homogênea.

A Tabela 6-1 apresenta os dados obtidos.

Tabela 6-1: Dados Obtidos – PCH Cumbuco

Local	Coordenadas Geográficas		Distância da Foz (km)	Perímetro (km)	Área de Drenagem (km ²)
	Latitude	Longitude			
PCH Cumbuco	15° 12' 54,6" S	54° 00' 1,13" W	102	278	2.225 km ²

6.1.3. Índice de Compacidade

O Índice de Compacidade é definido como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Relacionando-se este com a superfície da bacia hidrográfica obtém-se:

$$K_c = 0,28 \times \left(\frac{P}{A^{0,5}} \right)$$

onde P = perímetro da bacia, e A = área de drenagem.

O Coeficiente de Compacidade é uma medida do grau de irregularidade da bacia, já que para uma bacia circular ideal ele é igual a 1. Desde que outros fatores não interfiram, quanto mais próximo da unidade for o índice de compacidade maior será a propensão à ocorrência de picos elevados de enchentes. Para a bacia do rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, $K_c = 1,65$, o que reflete a predominância de sua forma medianamente alongada.

6.1.4. Fator de Forma

O Índice de Conformação ou Fator de Forma (K_f) é a relação entre a área de drenagem da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial, medido ao longo do curso d'água

principal, desde a foz até a cabeceira (nascente) mais distante, próxima do divisor de águas (topográfico) da bacia, ou seja:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

O Índice de Conformação relaciona a forma da bacia com um retângulo. Numa bacia estreita e longa, a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo, ao mesmo tempo, toda sua extensão, é menor que em bacias largas e curtas. Desta forma, para bacias de mesmo tamanho, será menos sujeita às enchentes aquela que possuir menor fator de forma.

Para a bacia do rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, $K_f = 0,21$, que demonstra sua baixa propensão à enchentes.

6.1.5. Declividade Média

A velocidade do escoamento em um rio depende da declividade dos canais fluviais. Quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes.

A Declividade Total (I_{Total} m/km) de um rio é calculada por:

$$I_{Total} = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{L}$$

onde $H_{máx}$ e $H_{mín}$ são as cotas na nascente e na foz, (m), e L é o comprimento do rio no trecho (km). Para o rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, a declividade total é igual a 2,32 m/km.

A Declividade Média (\bar{I}), em m/km, é dada pela seguinte expressão:

$$\bar{I} = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{\sqrt{A}}$$

Onde \bar{I} é a declividade média (m/km) da bacia; $H_{máx}$ e $H_{mín}$ são as cotas máxima e mínima da bacia (m), respectivamente; e A é a área da bacia hidrográfica (km²). No caso do rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, a declividade média é igual a 5,0 m/km.

6.1.6. Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (D_d) é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e sua área total. Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem, ou seja, da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. É obtida pela seguinte equação:

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

- Bacias com drenagem pobre → $D_d < 0,5$ km/km²
- Bacias com drenagem regular → $0,5 \leq D_d < 1,5$ km/km²
- Bacias com drenagem boa → $1,5 \leq D_d < 2,5$ km/km²
- Bacias com drenagem muito boa → $2,5 \leq D_d < 3,5$ km/km²
- Bacias excepcionalmente bem drenadas → $D_d \geq 3,5$ km/km²

A bacia hidrográfica do rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, possui uma densidade de drenagem pobre, uma vez que $D_d = 0,07$ km/km².

6.1.7. Tempo de Concentração

O Tempo de Concentração (t_c) mede o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa seção considerada, ou seja, é o tempo em que a gota que se precipita no ponto mais distante da seção considerada, leva para atingir essa seção. Pela Fórmula de Kirpich, o tempo de concentração de uma bacia, em minutos, é dado pela seguinte equação:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Sendo:

t_c : tempo de concentração (min),

L: comprimento total da bacia, medido ao longo do talvegue principal até o divisor de águas (km),

ΔH : diferença de nível entre o ponto mais a montante da bacia e seu exutório na foz, em (m).

Para a bacia do rio Cumbuco, no local da PCH Cumbuco, o tempo de concentração pela fórmula de Kirpich é igual a 1.451 minutos (24,2 horas).

6.1.8. Geologia

A bacia hidrográfica do rio Cumbuco é constituída, predominantemente, por unidades geológicas sedimentares, representadas pelo Grupo Bauru Indiviso (K2b), que abrange os trechos alto e médio da bacia, e pela Formação Cachoeirinha (ENch), com presença predominante, no trecho médio-baixo, conforme ilustrado na Figura 6-2.

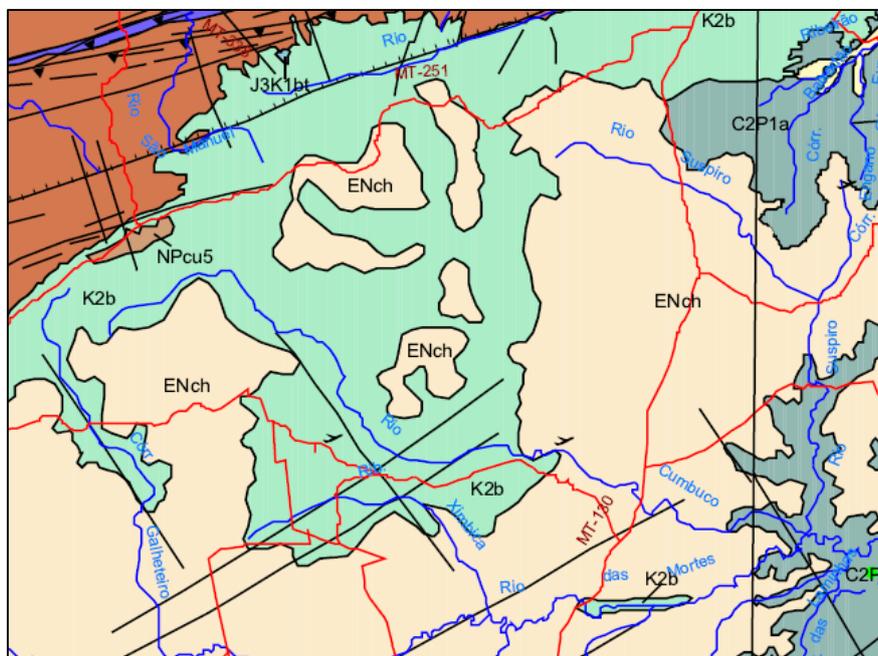


Figura 6-2: Geologia na Bacia do Rio das Mortes – PCH Cumbuco (Fonte: Mapa Geológico do Estado do Mato Grosso – CPRM – 2004)

A bacia está assente em domínios com depósitos mesozoicos, constituído pelos sedimentos arenosos do Grupo Bauru Indiviso (na base), e pelos depósitos cenozóicos da Formação Cachoeirinha (no topo).

O Grupo Bauru Indiviso (K2b) ocorre em toda região formadora das cabeceiras dos afluentes da margem esquerda do rio das Mortes, sendo constituída por arenito muito fino a fino com intercalações de siltito, argilito, arenito conglomerado, marrom a bege, róseo ou cinza esverdeado, calcirudito, calcarenito e calcilutito.

A Formação Cachoeirinha (ENch), maior predominância na bacia, é constituída por sedimento inconsolidado, areno-argiloso, vermelho, parcialmente laterizados. Apresenta, ainda, arenito argiloso amarelado, com lentes de conglomerado.

6.1.9. Interpretação do Escoamento Fluvial

As características fisiográficas e hidrogeológicas, permitem inferir que a bacia hidrográfica do rio Cumbuco apresenta elevada capacidade de infiltração, com predominância do escoamento basal e sazonalidade moderada entre cheias e estiagem. Disso resulta elevada capacidade de regularização natural.

6.2. Caracterização Climatológica

Este item contém a análise dos fatores que determinam o clima na região em estudo, o qual influencia diretamente no comportamento das vazões.

Inicialmente analisa-se a circulação de grande e média escala, para possibilitar a compreensão da formação do clima regional e de sua inter-relação com os diversos parâmetros utilizados para caracterização climática.

A análise dos parâmetros climáticos locais foi realizada a partir dos dados da estação meteorológica Cuiabá (código 83361), operada pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, localizada nas coordenadas 15°33'S e 56°07'W, nas proximidades da bacia do rio Cumbuco, a uma altitude de 151,3 metros.

6.2.1. Aspectos Gerais da Climatologia

A disposição latitudinal e a localização geográfica da bacia do rio das Mortes lhe dão uma característica predominante de clima tropical de natureza continental de verão úmido e período de estiagem no inverno. Apresenta época sazonal seca e fria bem definida, que é equilibrada em suas necessidades hídricas, por meses chuvosos de uma época sazonal mais úmida e quente.

A região tem comportamento climático classificado como tropical, devido à sua localização continental, sendo caracterizado por verão com chuvas e temperaturas elevadas e inverno com baixas temperaturas e pouca precipitação. Esse relativo afastamento em relação à borda ocidental do Oceano Atlântico, reduz, em certa escala, as influências marítimas na região. O clima é classificado como tropical com estação seca (Aw, segundo Köppen), próximo do clima subtropical úmido (ou tropical de altitude – Cwa).

Nos climas do grupo "A", a temperatura do ar apresenta variações muito baixas, no tempo e no espaço. A amplitude anual é pequena, não se notando a existência de inverno, uma vez que a temperatura do mês mais frio é superior a 17°C e a oscilação anual de temperatura, de modo geral, é sempre inferior a 5°C. Trata-se de um clima quente, sem verão ou inverno sazonal.

No subtipo climático "w" (clima de monção), as precipitações são excessivas durante alguns meses, o que é compensado com um ou dois meses com precipitação mais amenas, o que

permite a manutenção de florestas densas. O regime pluviométrico anual define uma estação relativamente seca e outra com maior intensidade de chuvas.

Em função dos valores totais anuais de precipitação, o clima tipo Aw é classificado de acordo com os totais anuais de chuva, onde são consideradas as seguintes subdivisões:

- Clima Tipo Aw1: precipitação média anual superior a 3.000 mm,
- Clima Tipo Aw2: precipitação média anual varia entre 2.500 mm e 3.000 mm,
- Clima Tipo Aw3: precipitação média anual varia entre 2.000 mm a 2.500 mm,
- Clima Tipo Aw4: precipitação média anual varia de 1500 mm a 2.000 mm.

Nestas condições, a bacia do Rio das Mortes pode ser caracterizada como do subtipo climático Aw4.

6.2.2. Características Climatológicas Locais

Para subsidiar os estudos climatológicos, que consistiram da análise dos fenômenos responsáveis pela definição e comportamento dos diversos parâmetros climáticos, considerou-se a estação climatológica Cuiabá (código INMET 83361).

Os seus dados, a nível médio mensal, abrangendo o período de 1961 a 1990, constam das "Normais Climatológicas (1961-1990)", publicadas em 1992 pelo INMET.

Os valores médios mensais registrados nessa estação constam na Tabela 6-2.

Tabela 6-2: Características Climatológicas – Estação Cuiabá (83361)

Mês	Temperatura (°C)					Evap. (mm)	Precip. (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação (horas)	Nebulosi- dade (0- 10)	Pressão Atmosférica (hPa)
	Média	Máxima		Mínima							
		Média	Absoluta	Média	Absoluta						
Jan	26,7	32,6	38,2	23,2	19,2	88,6	214,7	80,7	171,1	0,6	990,7
Fev	26,5	32,6	37,4	23,1	19,2	80,4	208,6	81,6	157,5	0,6	991,3
Mar	26,5	32,9	37,3	23,1	15,4	83,4	169,5	81,0	193,2	0,6	991,2
Abr	26,0	32,7	38,1	22,6	10,8	90,6	125,2	79,5	212,3	0,5	992,8
Mai	24,4	31,6	36,4	20,5	7,0	99,9	51,1	74,2	233,0	0,4	994,4
Jun	23,0	30,7	36,2	18,1	6,8	113,5	13,7	73,7	235,5	0,4	996,1
Jul	22,8	31,8	37,3	17,0	3,3	144,4	12,3	65,4	247,1	0,3	996,4
Ago	25,0	34,1	39,2	19,0	6,0	185,6	13,7	57,3	230,1	0,3	993,9
Set	26,6	34,1	41,1	21,4	10,2	176,0	55,5	61,8	190,6	0,3	993,1
Out	27,4	34,0	40,8	22,8	13,3	151,3	116,9	69,6	216,5	0,5	991,5
Nov	27,2	33,5	40,0	23,2	15,8	122,9	160,1	74,2	196,3	0,5	990,3
Dez	26,9	32,5	39,0	23,2	18,4	110,0	201,0	78,5	182,1	0,6	990,5
Ano	25,8	32,8	41,1	21,4	3,3	1446,6	1342,3	73,1	2465,3	0,5	992,7

Apesar das características brandas advindas de sua altitude média, a região apresenta temperaturas médias acima de 22 °C no mês mais frio, e de 26 °C no mês mais quente. O inverno é bastante seco e o verão quente e chuvoso. Na região predominam temperaturas elevadas na primavera e no verão. O inverno, embora sujeito a máximas diárias elevadas, é uma estação mais caracterizada por temperaturas amenas e frias, pelo efeito da latitude, altitude e maior participação de massa polar.

Abril e maio constituem a transição na bacia para a época seca e fria. Ele ainda é chuvoso porque representa o fim meteorológico da época chuvosa. É nele que o sol começa a atingir a vertical das latitudes equatoriais do hemisfério norte, após ter cruzado o equador terrestre. O mês de maio é, normalmente, mais seco, porque representa o início meteorológico da época seca e fria.

Os meses de setembro e outubro fazem a transição para a época chuvosa. Outubro é mais chuvoso porque precede o início da época chuvosa, com o sol posicionado na vertical das latitudes equatoriais do hemisfério sul.

As médias anuais de temperatura ocorrem, por causa do deslocamento do sol e do calor latente de vaporização, dentro de limites pouco significativos. A média anual da temperatura verificada na região fica em 25,8°C, com uma média anual máxima de 32,8°C e uma média anual mínima de 21,4°C. A máxima absoluta anual chega a 41,1°C e a mínima absoluta anual fica em 3,3°C.

O total pluviométrico anual na estação Cuiabá fica em torno de 1.340 mm. Os maiores valores médios mensais compreendem o período que vai de novembro a março, superiores a 150 mm ao mês, superando 70 % da precipitação anual. Já os meses mais secos, junho a agosto, apresentam valores inferiores a 15 mm, contribuindo com apenas 3% da precipitação anual. Em média, chove na região, aproximadamente, 100 dias por ano, o que corresponde a 27% dos dias do ano.

O ano hidrológico inicia em setembro de um ano e vai até agosto do ano seguinte.

O índice evaporimétrico na região acompanha as variações da insolação. Ele é muito mais elevado no período de junho até setembro e bem mais baixo na época chuvosa. A evaporação medida em Tanque Classe A tem um total anual de 1.446 mm. Ela, juntamente com a insolação e a nebulosidade, segue o curso inverso da precipitação e da umidade relativa do ar.

A distribuição da umidade do ar na região acompanha a faixa do calor latente máximo de vaporização. Ela é mais representativa na época quente e sem representatividade na época seca. A umidade do ar na região começa a adquirir características significativas a partir de outubro de cada ano, quando a umidade equatorial começa a chegar, dando início às chuvas sazonais. A variação média anual da umidade relativa comprova isto: apresenta um valor médio superior a 70% de novembro até junho, e valores inferiores a 70% no período de julho a outubro. Isto significa que a incidência maior de umidade ocorre associada à massa equatorial continental tendo, por isso, origem basicamente equatorial.

A nebulosidade vai aumentando a partir de outubro, pouco a pouco, até formar uma cobertura máxima entre dezembro e março. Essa cobertura reduz proporcionalmente à radiação solar, que atinge o seu mínimo entre novembro e fevereiro. A insolação média na época chuvosa, entre novembro a março, corresponde a cerca de 37% do total da insolação anual, com menos de 200 horas de insolação por mês. No período abril a setembro, em média, ocorrem mais de 200 horas de insolação por mês, correspondendo à 63% do total da insolação anual. O número médio anual de horas de insolação é 2.465 horas.

A distribuição das pressões na bacia mostra também uma grande homogeneidade nas massas de ar predominantes. A média anual da pressão atmosférica oscila entre 992 hPa, com a ocorrência de valores máximos na época seca e fria.

6.3. Dados Básicos

Neste item são apresentados os dados básicos utilizados neste estudo, incluindo a análise e consistência dos mesmos.

6.3.1. Dados Fluviométricos

O levantamento dos postos fluviométricos foi realizado no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA, no portal Hidroweb.

Tendo em vista a inexistência de postos fluviométricos no rio Cumbuco, para subsidiar a definição da produção hídrica na bacia de contribuição ao local da PCH Cumbuco, foram levantados postos fluviométricos instalados em bacias vizinhas existentes na região. Assim, buscou-se selecionar postos com séries razoavelmente longas e com qualidade suficiente para caracterizar o regime fluvial na região, com dados disponíveis a partir do ano de 1968.

Devido à ausência de dados observados na bacia do rio Cumbuco, os estudos hidrológicos de geração da série de vazões médias mensais e de cheias no local da PCH foram baseadas em dados estações fluviométricas instaladas em bacias adjacentes, todas homogêneas entre si sob os aspectos hidrogeológicos.

Além da bacia do rio das Mortes, da qual o rio Cumbuco faz parte, foram utilizados dados do rio Roncador e rio Casca, bacias vizinhas a bacia do rio das Mortes, que apresentam a mesma geologia predominante na região (arenitos do Grupo Bauru).

Vale salientar que as medições hidrométricas realizadas no rio Cumbuco, bem como no rio Roncador, foram fundamentais para a definição e ajuste do regime de vazões no local da PCH Cumbuco.

A localização de todos os postos fluviométricos utilizados estão dispostas na **Ilustração 4**, o qual mostra a existência de um número considerável de postos no entorno da bacia do rio Cumbuco.

A Tabela 6-3 apresenta os postos existentes na região próxima à bacia.

Tabela 6-3: Postos Fluviométricos – Região da Bacia do Rio Cumbuco

Código	Nome	Rio	Município	Operadora	A.D.	Localização		Período
					(km ²)	Lat.	Long.	
26034600	Fazenda Suspiro	Rio Cumbuco	Primavera do Leste	HYDROCONSULT	2.235	15°13'21"	53°57'58"	-
26040000	Rio das Mortes	Rio das Mortes	Primavera do Leste	ANA	5.180	15°18'53"	54°10'33"	06/76 a 03/10
26050000	Toriqueje	Rio das Mortes	Barra do Garças	CPRM	17.372	15°14'57"	53°03'21"	01/68 a 07/15
26100000	Xavantina	Rio das Mortes	Nova Xavantina	CPRM	25.145	14°40'21"	52°21'18"	01/69 a 06/15
66171500	Fazenda Riacho Doce	Rio Roncador	Chapada dos Guimarães	CONSÓRSIO MANSO	1.360	15°05'30"	55°26'30"	12/99 a 12/13
66173000	Ponte do Rio Casca Man-F2	Rio da Casca	Chapada dos Guimarães	ANA	2.837	15°01'21"	55°33'00"	09/82 a 12/99

6.3.1.1. Análise e Consistência de Cotas e Curvas-Chaves

No presente estudo todos os postos fluviométricos utilizados (postos base, postos usados na regionalização de vazões e postos utilizados para preenchimento de postos base), tiveram seus dados consistidos.

Cotas Médias Diárias: As séries de cotas médias diárias dos postos fluviométricos passaram por uma análise visual, com a finalidade de determinar leituras absurdas, variações bruscas dos seus valores e erros de “metro inteiro”. Foram efetuadas correções dos valores incoerentes e as falhas em curtos períodos preenchidas, quando necessário, respeitando a tendência do comportamento do fluviograma, resultando em séries finais consistidas e de maior confiabilidade. Os longos períodos contínuos em que há falhas de observações não tiveram seus dados preenchidos. O número de medições, bem como o intervalo de cotas em que elas ocorreram, são perfeitamente adequados para o estabelecimento das curvas-chaves dos postos fluviométricos.

Resumos de Medições: Foram realizadas consistências dos resumos de medições a partir de análise gráfica do comportamento das grandezas vazão-cota, área-cota, largura-cota, velocidade-cota e profundidade-cota, conjuntamente com os perfis transversais dos respectivos postos, de forma a se identificar padrões temporais e ocorrência de eventos, como modificação de níveis de referência, queda da régua, etc.

Curvas- Chaves: As curvas-chaves, de cada posto fluviométrico, foram obtidas a partir da plotagem dos resumos de medições respectivos, buscando-se o melhor ajuste possível no tramo inferior e superior (extrapolado) das curvas. Observou-se pequenos índices de extrapolações para as curvas-chaves, com valores máximos de 2 vezes (cotas extrapoladas em relação às cotas medidas).

Ressalta-se que os dados resultantes da análise e consistência realizadas neste estudo aproximaram-se bastante aos constantes na base de dados da ANA (Hidroweb). A seguir são apresentadas as curvas-chaves obtidas, bem como as respectivas séries resultantes.

a) Fazenda Suspiro (26034600)

Deste posto foram utilizados os dados constantes no resumo de medição.

Tabela 6-4: Medições de Vazões Posto Fazenda Suspiro (26034600) – Rio Cumbuco

Data	Hora	Área Molhada	Largura da Seção	Velocidade Média	Prof. Média	Cota Média	Vazão
	-	(m ²)	(m)	(m/s)	(m)	(m)	(m ³ /s)
01/07/2013	09:41	50,0	27,7	0,9	1,8	341,0	45,8
13/09/2013	13:30	45,6	27,7	0,8	1,7	329,0	36,6
21/11/2013	11:04	61,2	30,7	1,0	2,0	363,0	62,7
16/03/2014	11:48	80,9	32,7	1,1	2,5	440,0	90,8

b) Rio das Mortes (26040000)

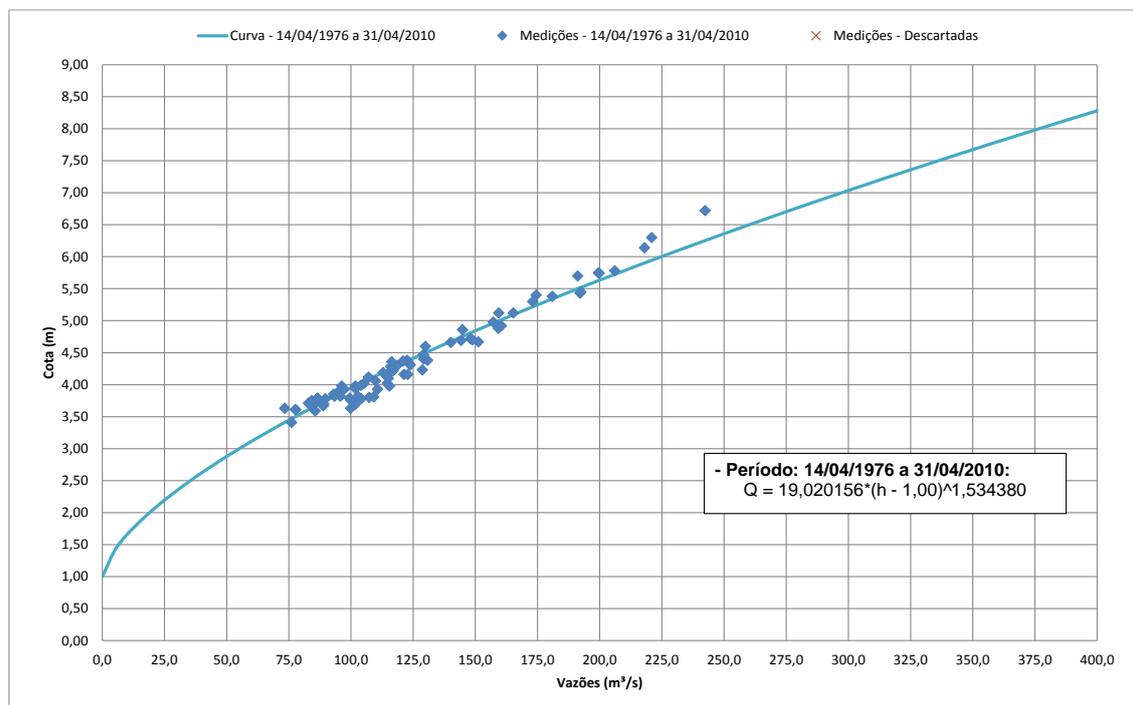


Figura 6-3: Curva-Chave – Rio das Mortes (26040000)

Tabela 6-5: Série de Vazões Observadas – Rio das Mortes (26040000)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1976						103,0	85,6	77,1	79,4	86,8	103,0	122,0	
1977	140,0	155,0	147,0	135,0	121,0	109,0	93,6	82,6	84,2	93,1	104,0	136,0	117,0
1978	204,0	156,0	195,0	142,0	132,0	118,0	97,8	89,1	90,2	93,8	107,0	137,0	130,0
1979	229,0	200,0	231,0	188,0	146,0	116,0	103,0	92,8	103,0	96,1	101,0	123,0	144,0
1980		202,0	227,0	165,0	121,0	114,0	101,0	91,6	94,9	92,3	101,0	127,0	
1981	159,0	171,0	259,0	202,0	130,0	118,0	104,0	93,6	86,2	93,6	124,0	126,0	139,0
1982	166,0	171,0	202,0	182,0	132,0	114,0	101,0	94,5	98,4	103,0	114,0		
1983	139,0	145,0	136,0	140,0	107,0	108,0	89,8	83,9	81,9	95,4	121,0	151,0	117,0
1984	151,0	147,0	169,0	163,0	136,0	107,0	93,6	88,5	90,2	94,6	107,0	153,0	125,0
1985	189,0	168,0	172,0	155,0	127,0	103,0	95,8	88,5	86,0	87,9	95,7	93,0	122,0
1986	114,0	127,0	113,0	118,0	109,0	91,4	83,1	84,9	90,3	90,0	93,8	111,0	102,0
1987	137,0	146,0	149,0	168,0	140,0	105,0	94,3	86,1	84,5	88,8	106,0	194,0	125,0
1988	171,0	180,0	208,0	183,0	147,0	122,0	105,0	94,6	84,7	91,7	98,7	125,0	134,0
1989	183,0	211,0	211,0								130,0	145,0	
1990	139,0	153,0	149,0				97,8	83,6	89,0	118,0	129,0	127,0	
1991	144,0										105,0	124,0	
1992	154,0									118,0	132,0	143,0	
1993	142,0	158,0	169,0	157,0		113,0	95,3	79,3	95,2	94,0	98,6	124,0	
1994	167,0	159,0	206,0	170,0	130,0	110,0	98,6	91,6	90,9	95,3	112,0	125,0	130,0

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1995	202,0	187,0	205,0	183,0	164,0	113,0	103,0	94,1	89,7	98,9	102,0	112,0	138,0
1996	146,0	143,0	163,0	166,0	129,0	112,0	96,2	90,0	91,1	91,2	113,0	111,0	121,0
1997	157,0	207,0	229,0	173,0	137,0	126,0	107,0	95,6	91,5	93,2	108,0	132,0	138,0
1998	123,0	152,0	167,0	148,0	115,0	102,0	90,9	86,8	85,0	90,8	108,0	175,0	120,0
1999	176,0	135,0	209,0	150,0	120,0	102,0	93,6	85,7	84,6	87,7	96,4	108,0	121,0
2000	107,0	134,0	157,0	86,5	100,0	93,7	88,3	82,4	86,7	85,9	102,0	121,0	104,0
2001	110,0	101,0	119,0	109,0	94,3	90,3	78,8	74,3	79,0	85,1	94,4	162,0	99,8
2002	171,0	148,0	171,0	132,0	111,0	93,6	85,8	81,3	79,4	81,3	96,0	105,0	113,0
2003	130,0	158,0	172,0	209,0	127,0	105,0	92,2	85,3	82,9	89,3	93,8	110,0	121,0
2004	154,0	235,0				99,1	96,4	92,5	83,8	80,7	97,8	103,0	
2005	115,0	112,0	127,0	114,0	94,4	83,9	76,7	72,7					
2006										96,5	103,0	115,0	
2007	117,0	128,0	127,0	109,0	93,8	83,8	79,3	76,7	71,2	77,6	95,4	105,0	97,0
2008	117,0	162,0	150,0	148,0	116,0	96,8	84,9	77,7	73,7	76,4	95,6	99,9	108,0
2009	108,0	125,0	163,0	157,0	105,0	94,1	84,8	78,4	80,1	82,7	96,0	115,0	107,0
2010	137,0	131,0	139,0										
Média	149,9	158,3	174,7	153,8	122,5	105,1	93,2	85,9	86,5	91,9	105,6	126,9	120,6

c) Torqueje (26050000)

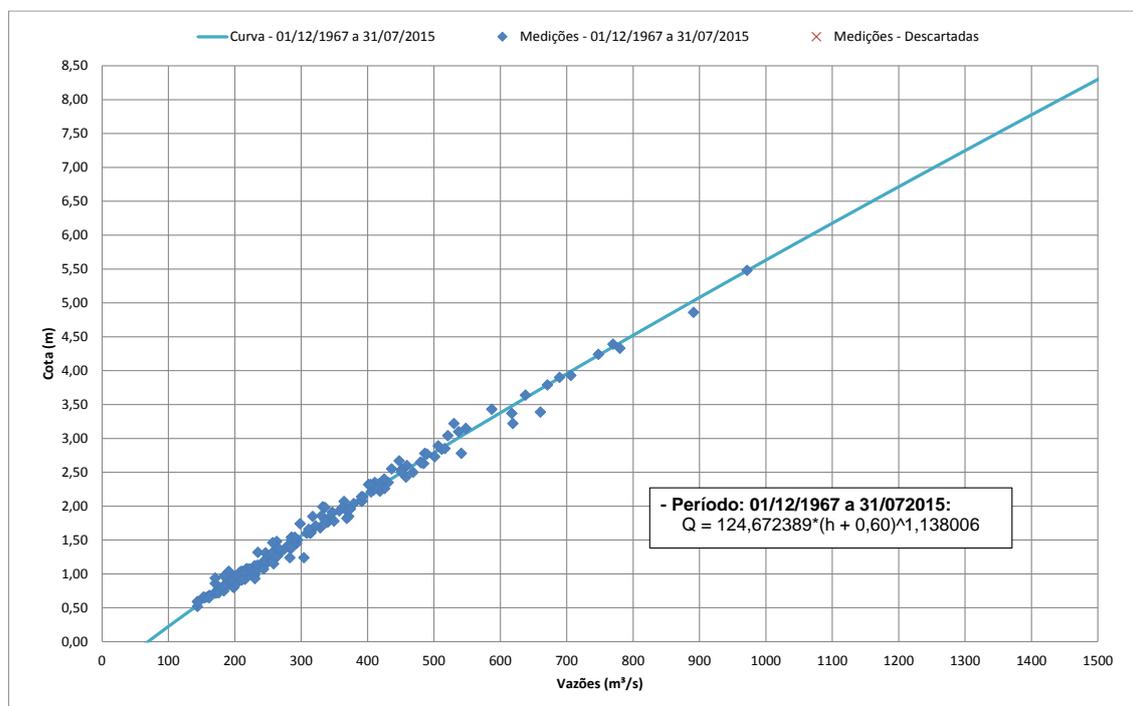


Figura 6-4: Curva-Chave – Torqueje (26050000)

Tabela 6-6: Série de Vazões Observadas – Toriqueje (26050000)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1968	288,0	596,0	502,0	339,0	253,0	185,0	185,0	167,0	155,0	175,0	207,0	288,0	278,0
1969	324,0	352,0	315,0	254,0	211,0	176,0	161,0	151,0	146,0	162,0	214,0	273,0	228,0
1970	335,0	507,0		378,0	260,0							203,0	
1971	235,0	269,0	369,0	305,0	227,0	186,0	156,0	146,0	140,0	168,0	236,0	263,0	225,0
1972	302,0	487,0	347,0	303,0	204,0	180,0	169,0	157,0	153,0	180,0	271,0	402,0	263,0
1973	371,0	429,0	405,0	359,0	269,0	212,0	183,0	167,0	161,0	200,0	290,0	345,0	283,0
1974	509,0	390,0	640,0	477,0	366,0	273,0	223,0	196,0	184,0	211,0	231,0	295,0	333,0
1975	346,0	372,0	394,0	444,0	299,0	220,0	198,0	175,0	164,0	183,0	276,0	401,0	289,0
1976	331,0	480,0	485,0	358,0	315,0	262,0	209,0	176,0	185,0	219,0	334,0	513,0	322,0
1977	499,0	606,0	449,0	416,0	380,0	290,0	238,0	197,0	203,0	251,0	346,0	488,0	364,0
1978	714,0	512,0	731,0	459,0	421,0	346,0	274,0	244,0	247,0	273,0	337,0	508,0	422,0
1979	975,0	944,0	799,0	592,0	437,0	349,0	299,0	261,0	304,0	275,0	346,0	423,0	500,0
1980	639,0			530,0	479,0	334,0	296,0	254,0	266,0	253,0	318,0	492,0	
1981	737,0	516,0	717,0		499,0	322,0	290,0	248,0	227,0	276,0	469,0	507,0	
1982	742,0	658,0	709,0	630,0	416,0	349,0	291,0	273,0	288,0	307,0	465,0	646,0	481,0
1983	602,0	564,0	476,0	451,0	346,0	305,0	244,0	226,0	217,0	266,0	355,0	546,0	383,0
1984	489,0	463,0	477,0	440,0	354,0	286,0	229,0	224,0	227,0	273,0	326,0	505,0	358,0
1985	680,0	455,0	548,0	488,0	352,0	277,0	247,0	215,0	208,0	222,0	257,0	269,0	352,0
1986	438,0	476,0	392,0	344,0	288,0	228,0	193,0	223,0	226,0	232,0	235,0	406,0	307,0
1987	477,0	449,0	495,0	444,0	358,0	264,0	227,0	206,0	199,0	207,0	300,0	616,0	353,0
1988	569,0	601,0	779,0	555,0	392,0	321,0	269,0	236,0	215,0	234,0	274,0	396,0	403,0
1989	618,0	685,0	679,0										
1990	570,0	566,0	522,0	443,0	371,0	290,0	264,0	228,0	248,0	318,0	319,0	383,0	377,0
1991	510,0	661,0	805,0	614,0	401,0	321,0	277,0	244,0	237,0				
1992									314,0	314,0	396,0	526,0	
1993	655,0						262,0	247,0	246,0	271,0	264,0	438,0	
1994	654,0	498,0	686,0	504,0	372,0	314,0	279,0	242,0	219,0	239,0	353,0	489,0	404,0
1995	754,0	849,0	577,0	629,0	522,0	357,0	307,0	259,0	238,0	281,0		354,0	
1996	449,0	455,0	441,0	429,0	338,0	304,0	252,0	232,0	239,0	232,0	394,0	387,0	346,0
1997	623,0	663,0	697,0	560,0	412,0	441,0	318,0	261,0	245,0	270,0	336,0	581,0	451,0
1998	524,0	639,0	572,0	521,0	354,0	294,0	252,0	229,0	219,0	259,0	380,0	628,0	406,0
1999	624,0	465,0	644,0	415,0	330,0	272,0	243,0	211,0	209,0	219,0	321,0	361,0	360,0
2000	486,0	650,0	668,0	456,0	352,0	270,0	244,0	212,0	252,0	231,0	316,0	426,0	380,0
2001	383,0	325,0	454,0	354,0	279,0	251,0	207,0	188,0	192,0	231,0	305,0	636,0	317,0
2002	835,0	658,0	549,0	406,0	334,0	265,0				226,0	249,0	321,0	
2003	474,0	617,0	635,0	686,0	388,0	304,0	264,0				266,0	351,0	
2004	583,0	922,0	650,0	476,0	379,0	301,0	272,0	230,0	215,0	235,0	326,0	379,0	414,0
2005	495,0	463,0	536,0	413,0	295,0	243,0	215,0	191,0	195,0	219,0	279,0	432,0	331,0
2006	443,0	377,0	564,0	576,0	325,0	260,0	233,0	204,0	213,0	313,0	318,0	437,0	355,0
2007	523,0	682,0	511,0	373,0	297,0	242,0	219,0	198,0	184,0	198,0	267,0	344,0	336,0

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
2008	422,0	595,0	561,0	488,0	349,0	276,0	230,0	201,0	187,0	210,0	291,0	303,0	343,0
2009	324,0	446,0	557,0	528,0	310,0	262,0	222,0	197,0	212,0	223,0	325,0	584,0	349,0
2010	535,0	493,0	478,0	523,0	293,0	263,0	219,0	200,0	191,0	186,0	263,0	349,0	333,0
2011	526,0	443,0	608,0	537,0	378,0	257,0	222,0	195,0	180,0	212,0	242,0	285,0	340,0
2012	490,0	413,0	399,0	326,0	275,0	241,0	200,0	174,0	167,0	190,0	282,0	318,0	290,0
2013	512,0	673,0	535,0	511,0	300,0	290,0	223,0	191,0	180,0	219,0	284,0	467,0	365,0
2014	449,0	511,0	595,0	519,0	337,0	275,0	232,0	205,0	194,0	198,0	274,0	570,0	363,0
2015	394,0	457,0	627,0	550,0	404,0	287,0	251,0						
Média	520,4	540,7	558,6	463,7	344,9	278,3	238,4	211,5	211,4	234,0	305,5	425,2	351,5

d) Xavantina (26100000)

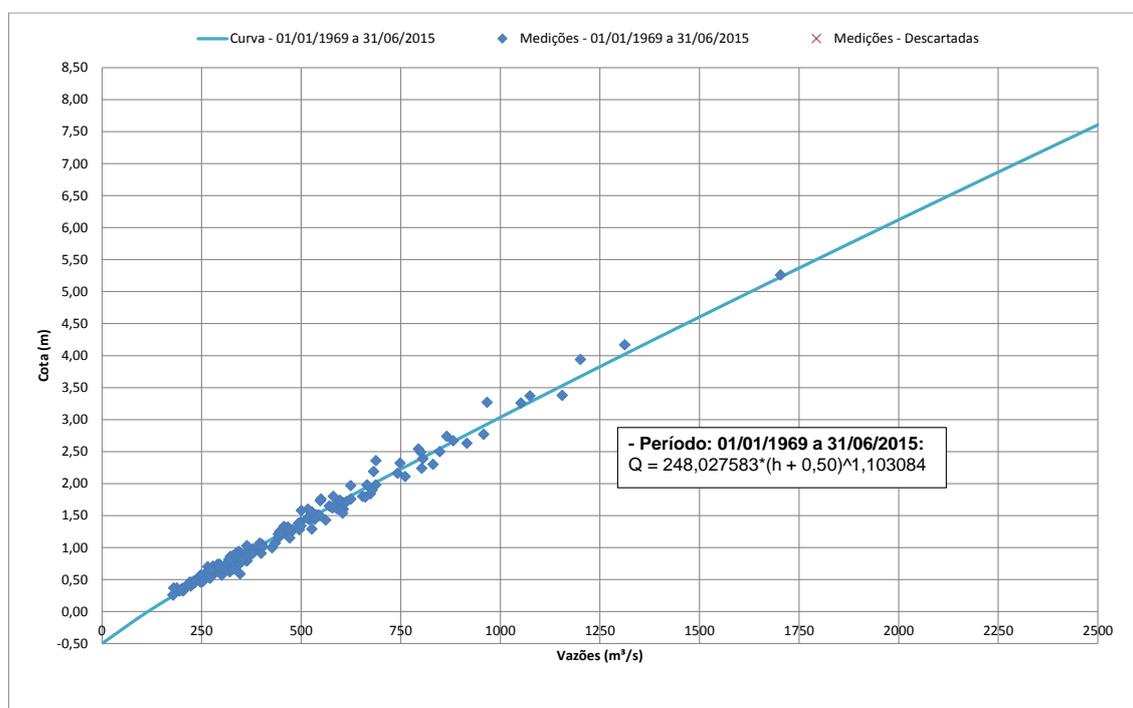


Figura 6-5: Curva-Chave – Xavantina (26100000)

Tabela 6-7: Série de Vazões Observadas – Xavantina (26100000)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1969	456,0	461,0	422,0	327,0	276,0	222,0	200,0	182,0	178,0	222,0	300,0	379,0	302,0
1970	476,0	741,0	871,0	475,0	336,0	268,0	237,0	207,0	217,0	255,0	285,0	273,0	387,0
1971	298,0	339,0	466,0	399,0	292,0	245,0	206,0	192,0	183,0	236,0	333,0	355,0	295,0
1972	415,0	677,0	467,0	411,0	272,0	231,0	215,0	195,0	187,0	240,0	367,0	599,0	356,0
1973	512,0	616,0	583,0	517,0	369,0	283,0	243,0	217,0	207,0	286,0	403,0	485,0	393,0
1974	786,0	559,0	1015,0	752,0	524,0	375,0	305,0	269,0	248,0	294,0	308,0	412,0	487,0
1975	454,0	492,0	516,0	566,0	387,0	289,0	263,0	229,0	213,0	247,0	386,0	526,0	381,0

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1976	422,0	653,0	663,0	471,0	419,0	339,0	270,0	235,0	246,0	297,0	472,0	736,0	435,0
1977	758,0	958,0	620,0	610,0	504,0	379,0	312,0	254,0	267,0	338,0	435,0	595,0	502,0
1978	1093,0	782,0	1136,0	656,0	539,0	443,0	367,0	309,0	314,0	345,0	441,0	721,0	595,0
1979	1539,0	1623,0	1178,0	747,0	569,0	457,0	394,0	354,0	397,0	371,0	455,0	576,0	722,0
1980	868,0	1478,0	1134,0	804,0				344,0	356,0	337,0	428,0	677,0	
1981	1219,0	794,0	1070,0	833,0	528,0	439,0	374,0	330,0	301,0	363,0	619,0	639,0	626,0
1982	1126,0	1019,0	1026,0	905,0	565,0	464,0	385,0	347,0	377,0	412,0	417,0	501,0	629,0
1983	795,0	1179,0	893,0	656,0	439,0	409,0	330,0	296,0	286,0	375,0	473,0	1011,0	595,0
1984	874,0	580,0	619,0	587,0	458,0	349,0	301,0	285,0	297,0	320,0	369,0	597,0	470,0
1985	998,0	689,0	851,0	683,0	473,0	364,0	328,0	291,0	280,0	311,0	357,0	362,0	499,0
1986	660,0	684,0	543,0	445,0	391,0	311,0	270,0	295,0	304,0	308,0	311,0	532,0	421,0
1987	637,0	596,0	668,0	587,0	442,0	333,0	287,0	262,0	255,0	264,0	378,0	770,0	457,0
1988	772,0	816,0	1162,0	748,0	509,0	404,0	337,0	297,0	271,0	295,0	344,0	498,0	538,0
1989	791,0	898,0	919,0	642,0			347,0	329,0	313,0	300,0	450,0	801,0	
1990	831,0	786,0	776,0	615,0	484,0	370,0	329,0	286,0	308,0	383,0	390,0	480,0	503,0
1991	678,0	911,0	1221,0	892,0	475,0	370,0	297,0	258,0	243,0	322,0	397,0	487,0	546,0
1992	743,0	840,0	982,0	942,0	550,0	408,0	351,0	317,0	388,0	403,0	509,0	789,0	602,0
1993	734,0	1125,0	750,0	664,0	451,0	398,0	348,0	325,0	322,0	353,0	335,0	594,0	533,0
1994	1087,0	710,0	853,0	679,0	450,0	406,0	370,0	309,0	270,0	297,0	451,0	688,0	548,0
1995	1098,0	1286,0	807,0	810,0	641,0	443,0	381,0	328,0	301,0	377,0	436,0	532,0	620,0
1996	765,0	595,0	667,0	529,0	453,0	378,0	313,0	292,0	307,0	304,0	503,0	507,0	468,0
1997	923,0	937,0	1006,0	771,0	532,0	541,0	391,0	334,0	311,0	341,0	415,0	794,0	608,0
1998	694,0	941,0	807,0	643,0	449,0	374,0	323,0	296,0	282,0	330,0	493,0	839,0	539,0
1999	869,0	623,0	923,0	529,0	417,0	349,0	313,0	279,0	275,0	286,0	419,0	494,0	481,0
2000	688,0	960,0	1018,0	653,0	455,0	359,0	321,0	291,0	331,0	307,0	425,0	609,0	535,0
2001	542,0	431,0	636,0	496,0	369,0	333,0	277,0	250,0	252,0	306,0	391,0	852,0	428,0
2002	980,0	1004,0	808,0	554,0	414,0	347,0	313,0	279,0	274,0	277,0	350,0	492,0	508,0
2003	744,0	916,0	923,0	973,0	509,0	397,0	338,0	298,0	280,0	319,0	355,0	462,0	543,0
2004	891,0	1601,0	963,0	648,0	512,0	402,0	362,0	314,0	283,0	321,0	423,0	495,0	601,0
2005	725,0	639,0	756,0	560,0	398,0	329,0	293,0	261,0	260,0	291,0	360,0	643,0	459,0
2006	632,0	532,0	835,0	782,0	440,0	354,0	314,0	274,0	285,0	403,0	438,0	579,0	489,0
2007	722,0	1116,0	726,0	490,0	389,0	328,0	295,0	269,0	244,0	265,0	342,0	454,0	470,0
2008	565,0	868,0	799,0	653,0	448,0	359,0	307,0	267,0	246,0	267,0	350,0	409,0	461,0
2009	429,0	636,0	639,0	714,0	404,0	343,0	294,0	263,0	281,0	299,0	400,0	680,0	449,0
2010	776,0	654,0	651,0	667,0	379,0	318,0	270,0	244,0	220,0	242,0	376,0	443,0	437,0
2011	791,0	613,0	949,0	706,0	393,0	325,0	285,0	249,0	224,0	272,0	313,0	389,0	459,0
2012	735,0	563,0	523,0	440,0	351,0	306,0	253,0	218,0	212,0	245,0	344,0	397,0	382,0
2013	734,0	980,0	708,0	696,0	399,0	376,0	288,0	250,0	232,0	282,0	363,0	629,0	495,0
2014	617,0	751,0	828,0	689,0	434,0	344,0	292,0	261,0	246,0	250,0	347,0	715,0	481,0
2015	494,0	623,0	858,0	727,0	528,0	365,0							
Média	754,0	814,4	813,5	645,6	444,8	360,6	308,6	276,8	273,3	307,8	396,9	576,0	494,0

e) Fazenda Rio Doce (66171500)

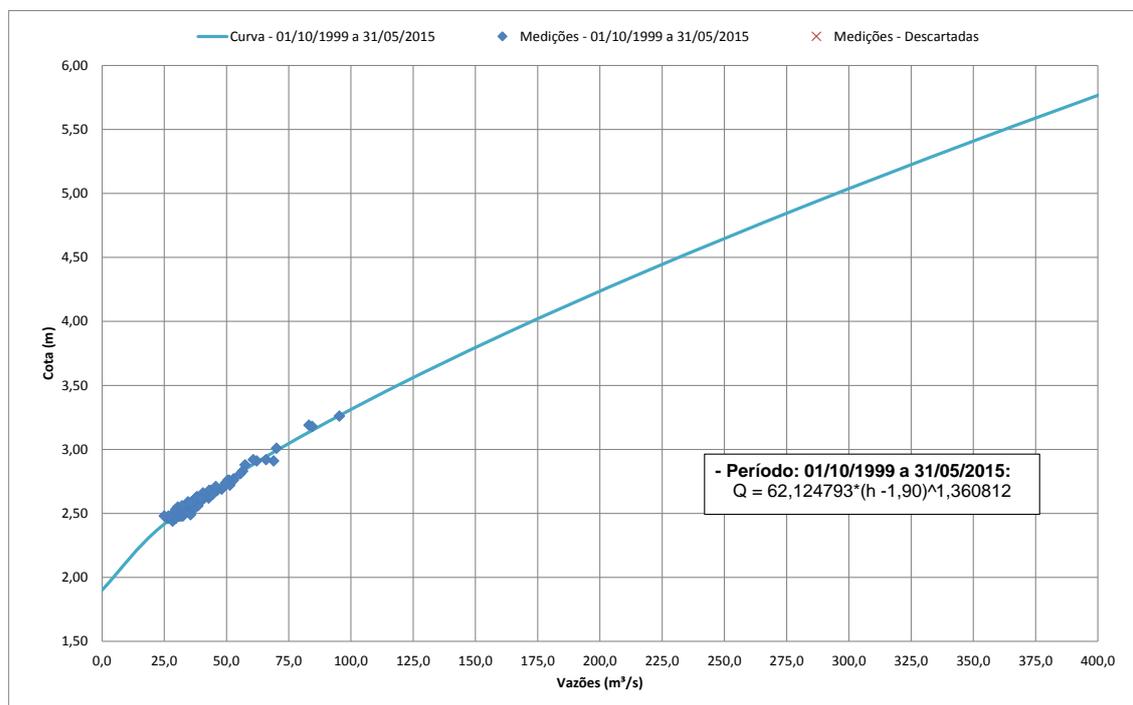


Figura 6-6: Curva-Chave – Fazenda Rio Doce (66171500)

Tabela 6-8: Série de Vazões Observadas – Fazenda Rio Doce (66171500)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1999												36,0	
2000	34,1	59,1	73,1	42,7	35,1	31,9	30,9	30,2	30,4	30,3	33,6	34,8	38,8
2001	33,9	35,1	46,0	35,6	31,6	30,1	27,7	26,3	28,0	28,8	34,9	59,2	34,8
2002	73,3	68,7	66,2	47,0	41,7	34,8	32,5	30,2	31,6	31,2	35,7	34,8	44,0
2003	55,1	58,2	60,7	54,8	39,0	35,2	32,2	30,3	29,9	31,3	31,1	34,8	41,1
2004	61,2	91,8	51,1	42,2	37,4	34,8	33,0	30,6	29,6	32,0	34,7	34,9	42,8
2005	53,6	42,4	47,2	39,5	33,2	31,0	29,8	28,8	29,4	32,0	35,1	39,9	36,8
2006	49,7	55,3	77,4	56,8	38,3	35,2	34,4	30,7	32,1	35,9	35,8	58,0	45,0
2007	44,6	59,0	46,8	39,4	35,0	32,7	31,2	30,1	29,3	31,8	36,4	42,2	38,2
2008	52,9	62,8	56,1	47,7	43,0	37,6	34,3	32,4	31,5	32,3	34,7	42,5	42,3
2009	40,9	49,6	57,9	60,1	40,8	38,2	34,3	32,3	32,3	32,1	34,7	44,4	41,5
2010	50,8	54,4	45,7	40,4	35,7	32,7	31,2	30,4	29,4	30,8	33,3	35,2	37,5
2011	53,9	56,4	62,8	46,2	36,3	34,7	33,0	30,6	30,4	34,2	33,7	36,1	40,7
2012	66,1	42,0	40,0	38,2	35,8	33,5	31,3	30,1	30,5	30,5	37,2	34,5	37,5
2013	55,4	51,7	46,7	37,6	32,7	32,5	29,4	28,5	28,6	29,8	31,4	34,8	36,6
2014	42,6	54,6	51,2	42,6	36,3	33,3	31,7	29,9	31,2	34,0	39,1	53,0	40,0
Média	51,2	56,1	55,3	44,7	36,8	33,9	31,8	30,1	30,3	31,8	34,8	40,9	39,8

f) Ponte do Rio Casca Man-F2 (66173000)

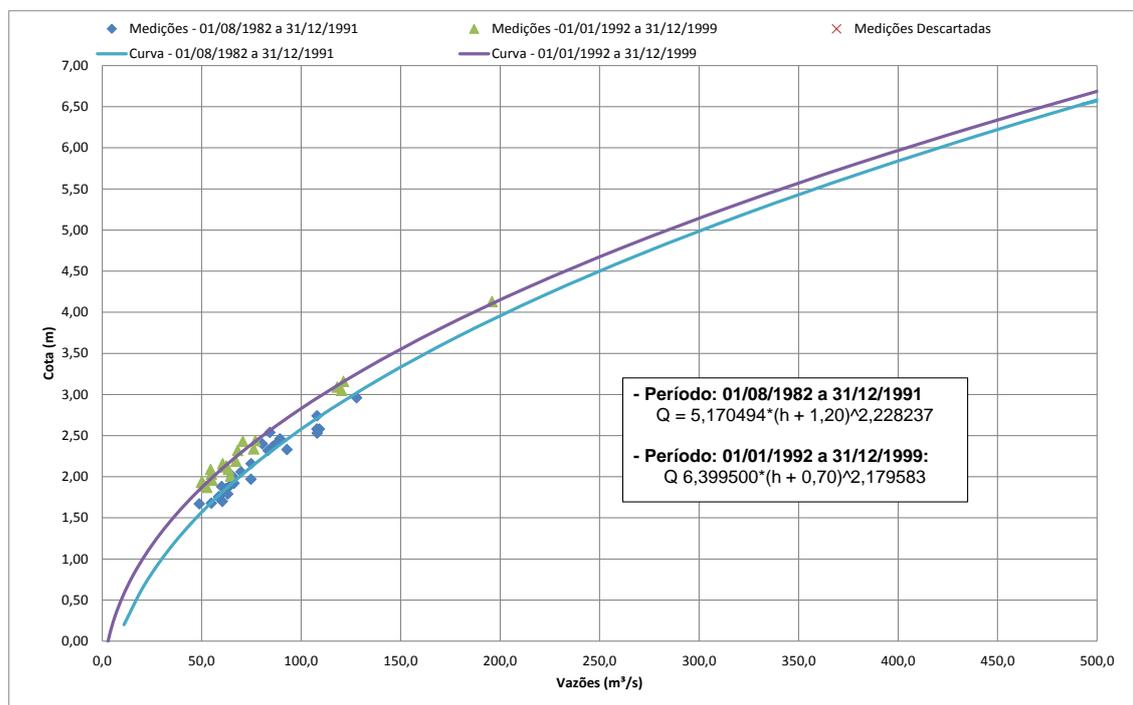


Figura 6-7: Curva-Chave – Ponte do Rio Casca Man-F2 (66173000)

Tabela 6-9: Série de Vazões Observadas – Ponte do Rio Casca Man-F2 (66173000)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1982									72,8	71,4	71,2	74,6	
1983	109,0	126,0	119,0	100,0	82,6	77,6	68,8	60,0	63,4	69,7	88,5	117,0	90,1
1984	97,6	107,0	109,0	109,0	92,9	75,4	71,4	69,0	68,5	70,2	69,5	71,0	84,2
1985	92,2	94,4	119,0	112,0	88,8	76,5	72,2	68,5	70,7	68,1	77,3	69,1	84,1
1986	86,7	92,6	91,1	84,4	76,0	68,5	64,2	65,3	67,3	66,7	67,3	89,6	76,6
1987	87,8	85,1	92,4	100,0	81,3	67,7	63,1	61,0	60,1	63,6	69,6	106,0	78,1
1988	103,0	113,0	120,0	117,0	86,1	75,2	68,3	64,0	63,3	64,7	65,7	76,4	84,8
1989	137,0	157,0	135,0	125,0	92,3	77,9	73,8	72,0	66,8	70,5	79,3	98,9	98,7
1990	112,0	99,0	108,0	96,5	85,2	73,2	70,0	66,5	72,7	82,4	72,3	73,6	84,3
1991													
1992	102,0	86,7	84,6	92,9	68,2	59,7	69,5	54,7	60,8	58,8	68,5	69,3	73,0
1993	99,0	100,0				58,4	51,9	46,7	47,3	50,0	56,6	70,1	
1994	88,7	85,4	94,9	81,3	64,7	58,1	53,1	47,7	46,0	52,8	58,5	86,8	68,2
1995	131,0	149,0	114,0	101,0	85,7	65,3	58,0	52,7	51,7	53,4	57,0	87,3	83,8
1996	102,0	93,5	105,0	84,6	69,8	59,1	54,2	51,7	50,8	51,4	68,5	70,8	71,8
1997	153,0	153,0	108,0	99,2	77,2	68,8	59,1	50,6	49,8	51,8	54,2	59,6	82,0
1998	64,4	81,0	83,1	73,8	58,1	51,4	46,8	49,2	48,5	50,4	54,3	87,4	62,4
1999	105,0	82,9	127,0	84,4	64,3	57,6	54,1	49,0	49,4	49,8	53,1	62,2	69,9
Média	104,4	106,6	107,3	97,4	78,2	66,9	62,4	58,0	59,4	61,5	66,6	80,6	79,5

6.3.1.2. Levantamentos Hidrométricos – Projeto Básico

No âmbito dos estudos de Projeto Básico da PCH Cumbuco, foram realizadas medições de vazão no rio Cumbuco, em dois locais, denominados Fazenda Cumbuco (Ponte) – EF-RC-01 e Jusante da Ponte MT-130 – EF-RC-02.

A Tabela 6-10 apresenta os dados dos postos instalados.

Tabela 6-10: Réguas Instaladas – Rio Cumbuco

Rio Cumbuco			
Local	Coordenadas		A.D
	Latitude S	Longitude W	(km ²)
Faz Cumbuco (ponte) - EF-RC-01	15° 13' 19,77" S	53° 58' 09,95" W	2.241
Jusante da Ponte MT-130 - EF-RC-02	15°12' 34,14" S	54° 06' 57,77" W	2.086

A seguir seguem as medições de vazões realizadas nas réguas instaladas no rio Cumbuco.

Tabela 6-11: Medições de Vazões – Rio Cumbuco – Posto Fazenda Cumbuco – Ponte (EF-RC-01)

Data	Vazão (m ³ /s)
18/09/2007	44,8
12/09/2008	39,5
19/11/2008	81,6
07/02/2009	61,1
08/04/2009	102,0
19/05/2009	65,5
10/07/2009	45,9
18/09/2009	42,7
14/11/2009	71,0
13/01/2010	91,8
18/03/2010	64,5

Tabela 6-12: Medições de Vazões – Rio Cumbuco – Posto Jusante da Ponte MT-130 (EF-RC-02)

Data	Vazão (m ³ /s)
18/09/2007	37,2
14/03/2008	67,4
12/07/2008	46,4
11/09/2008	38,1
18/11/2008	67,6
07/02/2009	57,0
07/04/2009	81,3
19/05/2009	63,5
09/07/2009	45,3
19/09/2009	40,2
13/11/2009	68,5
13/01/2010	79,9
16/03/2010	63,1

Data	Vazão (m³/s)
23/07/2012	29,4
28/11/2012	67,9
09/03/2013	67,3
19/12/2014	69,9

6.3.1.3. Análise do Comportamento Hidrológico da Bacia

O Rio Cumbuco não apresenta postos fluviométricos com séries longas, sendo a regionalização de vazões o processo usual para esse caso. Este processo consiste na transferência de informações de um local com dados, para outro sem dados, dentro de uma mesma área com comportamento hidrológico semelhante. Portanto, a transferência de dados somente é permitida caso haja similaridade espacial entre as bacias.

A semelhança hidrológica entre bacias pode ser estabelecida por meio do comportamento esperado de diversos parâmetros que influenciam o escoamento em uma calha fluvial. Em termos descritivos ou qualitativo, pode-se verificar que os parâmetros regime pluviométrico semelhante e hidrogeologia (tipo de embasamento geológico da bacia), podem explicar o comportamento hidrológico do rio. Com base na identificação de regiões homogêneas, agrupa-se os postos fluviométricos, avaliando-se, em termos estatísticos ou quantitativos, o comportamento das séries.

O Rio Cumbuco corre sobre arenitos do Grupo Bauru Indiviso, cuja predominância ocorre também nos afluentes do rio das Mortes, do qual é afluente). Tal domínio geológico também apresentam elevada capacidade de regularização natural. Pode-se admitir a existência de semelhança hidrogeológica entre essas bacias, tendo em vista as similaridades climatológica, pluviométrica e, sobretudo, geológica. Tais constatações são facilmente verificadas no comportamento dos postos fluviométricos.

Essas formações representam elevada capacidade armazenamento de água, devido a sua grande porosidade, o que resulta em um regime de vazões com alta capacidade de regularização natural. Este comportamento exerce um processo natural de regularização das vazões, reduzindo-se os picos na época de chuvas e aumentando-se as descargas do rio no período de estiagem. Em muitas das sub-bacias dessa área as vazões mínimas mensais atingem até 70% da média de longo período.

A capacidade natural de regularização de uma bacia pode ser estabelecida com base em escala classificatória, a qual relaciona percentualmente a vazão de longo termo do mês mais seco à vazão de longo termo.

Tabela 6-13: Classificação – Capacidade Natural de Regularização

Relação $Q_{MÍNIMA} / Q_{MLT}$	Capacidade Natural de Regularização
> 75 %	Muito Alta
55 a 75 %	Alta
35 a 55 %	Média
15 a 35 %	Baixa
< 15 %	Muito Baixa

Com base na tabela apresentada, segue a classificação dos postos fluviométricos da região. Para efeito de análise, tendo em vista a homogeneidade temporal, foi considerado o período de dados observados de 2004 a 2014, comum a todos os postos utilizados.

Tabela 6-14: Capacidade Natural de Regularização – Postos Fluviométricos

Código	Posto	Rio	A.D. (km ²)	Q _{MLT}	q _{ESPECÍFICA}	Q _{MÍNIMA}	Relação	Classificação
				(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)		
26040000	Rio das Mortes	Rio das Mortes	5.180	120,6	23,3	85,9	71%	Alta
26050000	Toriqueje	Rio das Mortes	17.372	351,5	20,2	211,4	60%	Alta
26100000	Xavantina	Rio das Mortes	25.145	494,0	19,7	273,3	55%	Alta
66171500	Fazenda Riacho Doce	Rio Roncador	1.360	39,8	29,3	30,1	76%	Muito Alta
66173000	Ponte do Rio Casca	Rio da Casca	2.900	79,5	27,4	58,0	73%	Alta

A seguir são apresentados os hidrogramas comparativos das vazões médias mensais de longo termo adimensionais (divididas pela média de longo termo) para os postos fluviométricos da região.

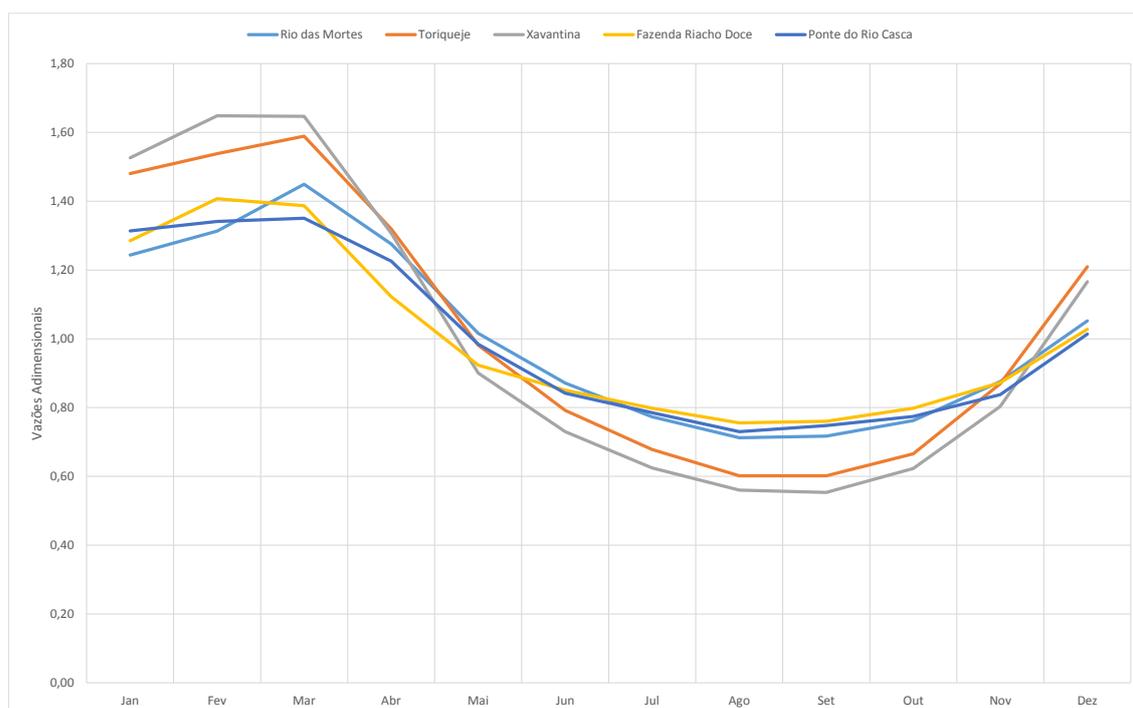


Figura 6-8: Vazões Médias Mensais de Longo Termo Adimensionais – Postos Fluviométricos

Verifica-se que o grau de regularização dos postos diminui com o aumento da área de drenagem. Os postos Rio das Mortes, Fazenda Riacho Doce e Ponte do Rio Casca, com área de drenagem menores, apresentam capacidade de regularização classificada como “muito alta” ou “alta”, indicando a existência de um regime de vazões bem regularizado naturalmente, com oscilação próxima a 20% em torno da média de longo termo, ao longo do ano, com capacidade de regularização superior a 70%. Já os postos Toriqueje e Xavantina, apresentam capacidade de regularização classificada como “alta”, indicando a existência de um regime de vazões bem

menos regularizado que os outros postos, com oscilação ao longo do ano de 60% em torno da média de longo termo, com capacidade de regularização inferior a 60%.

Com isso, é possível se estabelecer uma curva de regionalização para a vazão específica na região estudada. A Figura 6-9 apresenta a curva obtida.

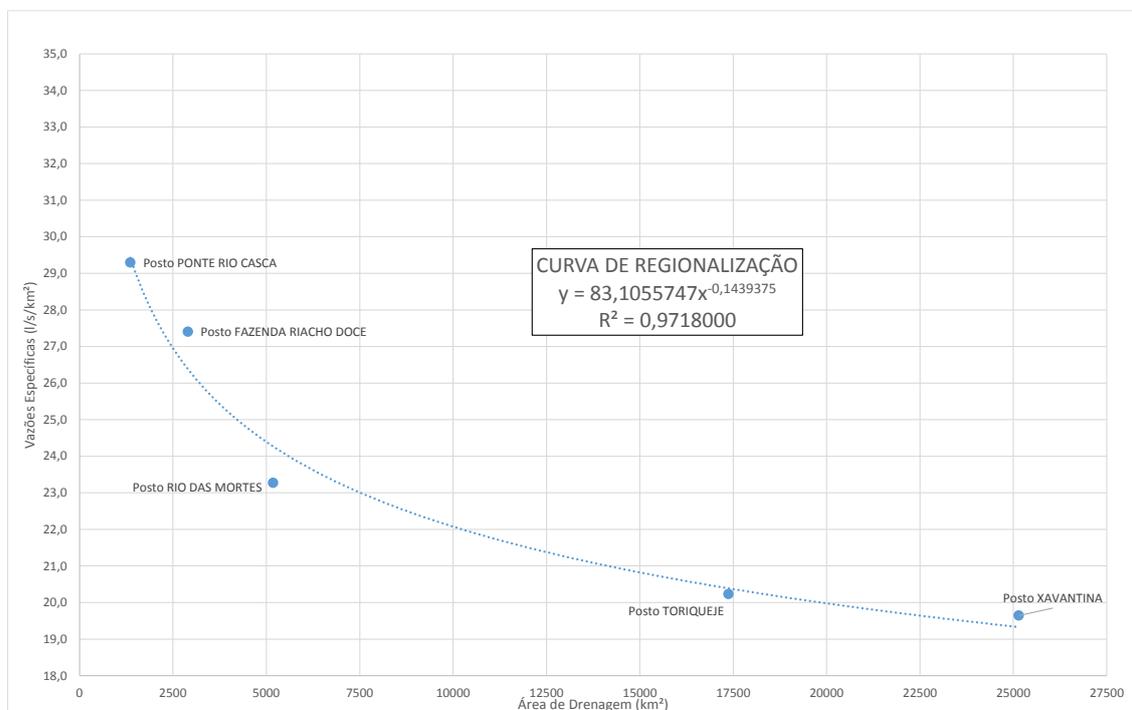


Figura 6-9: Curvas de Regionalização de Vazões Específicas – Rio das Mortes

Ante o exposto, e com base nas medições realizadas no rio Cumbuco (28 medições), pode-se definir o regime hidrológico (seleção do posto base) e a produção hídrica (vazão específica) adequada para o local da PCH Cumbuco. Em que pese as medições realizadas nesta etapa serem pontuais, em determinado instante do mês, não representando a média mensal de um determinado mês, optou-se por utiliza-las para seleção dos parâmetros citados acima.

Em termos de regime hidrológico, o posto Toriqueje (26050000, A.D. = 17.372 km²), mostrou-se mais próximo ao rio Cumbuco, em que pese sua elevada área de drenagem frente aos demais postos existente na bacia rio das Mortes (Rio das Mortes, A.D. = 5.180 km²), bem como da bacia 66, no rio Roncador (Fazenda Riacho Doce, A.D. = 1.360 km²) e no rio da Casca (Ponte do Rio Casca, A.D. = 2.900 km²). Tais postos apresentaram grau de regularização natural maior do que o verificado no rio Cumbuco, o qual indicou uma oscilação da vazão mínima mensal em torno de 60% da Q_{MLT} .

No que tange à produção hídrica, a curva de regionalização obtida acima estimou para o local da PCH Cumbuco (2.225 km²) uma vazão específica de 27,4 l/s/km², que mostrou-se aderente às medições realizadas no Cumbuco¹.

¹ As medições realizadas no rio Cumbuco, nos postos Fazenda Suspiro (26034600, A.D. = 2.235)), EF-1 (A.D. = 2.241 km²) e EF-2 (2.086 km²), foram transpostas por relação direta de área de drenagem para o local da PCH Cumbuco (2.225 km²).

6.3.1.4. Preenchimento da Série de Vazões do Posto Base

As séries de vazões médias, do posto base Toriqueje (26050000) foi preenchida e estendida por correlação estatística com os demais postos da região. Abaixo seguem as correlações utilizadas e a série obtida para o período 01/1968 a 06/2015. Vale destacar que os valores em azul e verde referem-se, respectivamente, aos postos Xavantina e Ponte Rio Casca.

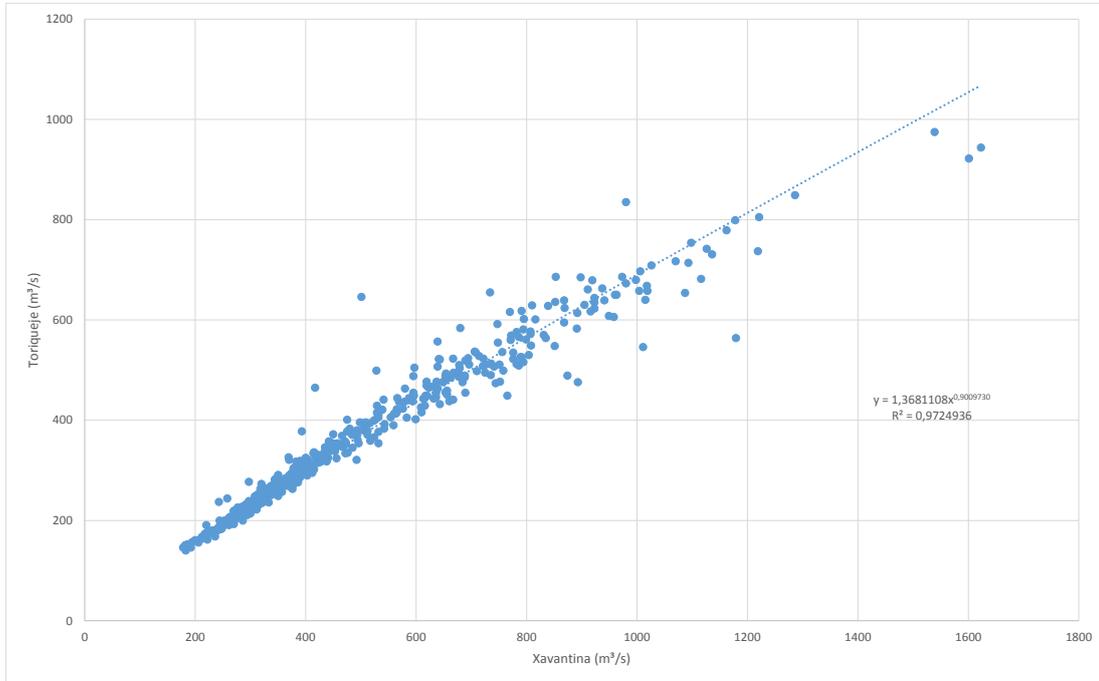


Figura 6-10: Correlação Xavantina x Toriqueje

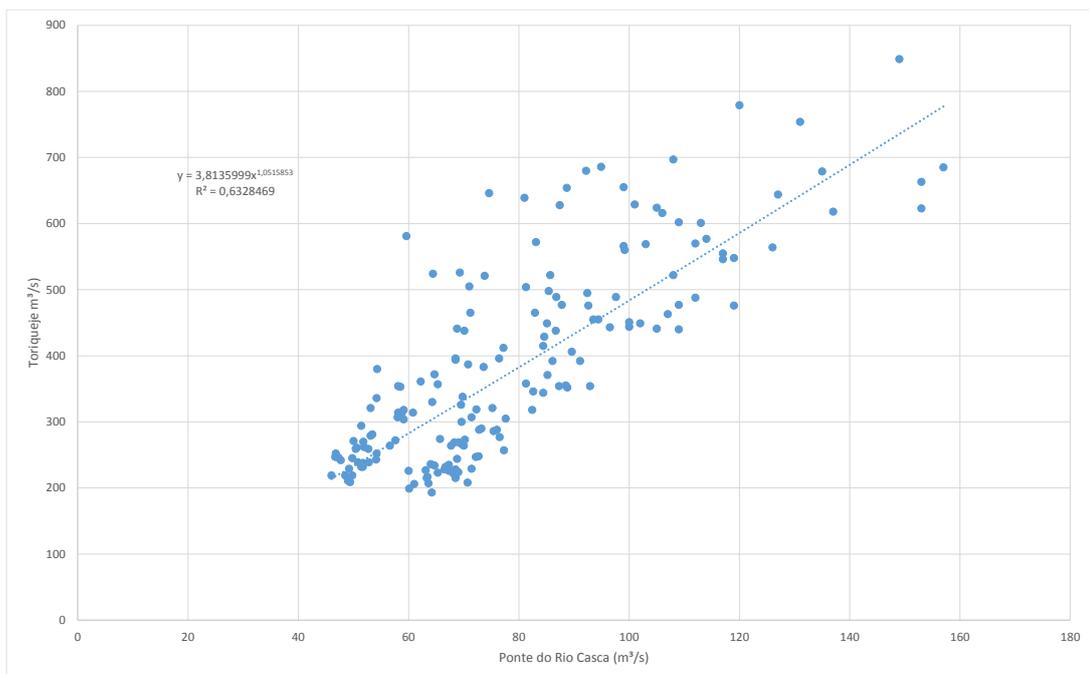


Figura 6-11: Correlação Ponte Rio Casca x Toriqueje

Tabela 6-15: Série de Vazões Médias Mensais – Posto Toriqueje (26050000)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1968	288,0	596,0	502,0	339,0	253,0	185,0	185,0	167,0	155,0	175,0	207,0	288,0	278,3
1969	324,0	352,0	315,0	254,0	211,0	176,0	161,0	151,0	146,0	162,0	214,0	273,0	228,3
1970	335,0	507,0	609,5	378,0	260,0	210,8	188,7	167,0	174,3	201,5	222,8	203,0	288,1
1971	235,0	269,0	369,0	305,0	227,0	186,0	156,0	146,0	140,0	168,0	236,0	263,0	225,0
1972	302,0	487,0	347,0	303,0	204,0	180,0	169,0	157,0	153,0	180,0	271,0	402,0	262,9
1973	371,0	429,0	405,0	359,0	269,0	212,0	183,0	167,0	161,0	200,0	290,0	345,0	282,6
1974	509,0	390,0	640,0	477,0	366,0	273,0	223,0	196,0	184,0	211,0	231,0	295,0	332,9
1975	346,0	372,0	394,0	444,0	299,0	220,0	198,0	175,0	164,0	183,0	276,0	401,0	289,3
1976	331,0	480,0	485,0	358,0	315,0	262,0	209,0	176,0	185,0	219,0	334,0	513,0	322,3
1977	499,0	606,0	449,0	416,0	380,0	290,0	238,0	197,0	203,0	251,0	346,0	488,0	363,6
1978	714,0	512,0	731,0	459,0	421,0	346,0	274,0	244,0	247,0	273,0	337,0	508,0	422,2
1979	975,0	944,0	799,0	592,0	437,0	349,0	299,0	261,0	304,0	275,0	346,0	423,0	500,3
1980	639,0	981,5	773,1	530,0	479,0	334,0	296,0	254,0	266,0	253,0	318,0	492,0	468,0
1981	737,0	516,0	717,0	585,5	499,0	322,0	290,0	248,0	227,0	276,0	469,0	507,0	449,5
1982	742,0	658,0	709,0	630,0	416,0	349,0	291,0	273,0	288,0	307,0	465,0	646,0	481,2
1983	602,0	564,0	476,0	451,0	346,0	305,0	244,0	226,0	217,0	266,0	355,0	546,0	383,2
1984	489,0	463,0	477,0	440,0	354,0	286,0	229,0	224,0	227,0	273,0	326,0	505,0	357,8
1985	680,0	455,0	548,0	488,0	352,0	277,0	247,0	215,0	208,0	222,0	257,0	269,0	351,5
1986	438,0	476,0	392,0	344,0	288,0	228,0	193,0	223,0	226,0	232,0	235,0	406,0	306,8
1987	477,0	449,0	495,0	444,0	358,0	264,0	227,0	206,0	199,0	207,0	300,0	616,0	353,5
1988	569,0	601,0	779,0	555,0	392,0	321,0	269,0	236,0	215,0	234,0	274,0	396,0	403,4
1989	618,0	685,0	679,0	611,5	444,5	371,9	351,4	342,4	316,4	334,9	379,0	478,0	467,7
1990	570,0	566,0	522,0	443,0	371,0	290,0	264,0	228,0	248,0	318,0	319,0	383,0	376,8
1991	510,0	661,0	805,0	614,0	401,0	321,0	277,0	244,0	237,0	248,7	300,3	361,0	415,0
1992	528,2	590,0	679,1	654,1	402,8	307,8	268,8	245,2	314,0	314,0	396,0	526,0	435,5
1993	655,0	767,6	532,7	477,3	336,9	301,0	262,0	247,0	246,0	271,0	264,0	438,0	399,9
1994	654,0	498,0	686,0	504,0	372,0	314,0	279,0	242,0	219,0	239,0	353,0	489,0	404,1
1995	754,0	849,0	577,0	629,0	522,0	357,0	307,0	259,0	238,0	281,0	326,8	354,0	454,5
1996	449,0	455,0	441,0	429,0	338,0	304,0	252,0	232,0	239,0	232,0	394,0	387,0	346,0
1997	623,0	663,0	697,0	560,0	412,0	441,0	318,0	261,0	245,0	270,0	336,0	581,0	450,6
1998	524,0	639,0	572,0	521,0	354,0	294,0	252,0	229,0	219,0	259,0	380,0	628,0	405,9
1999	624,0	465,0	644,0	415,0	330,0	272,0	243,0	211,0	209,0	219,0	321,0	361,0	359,5
2000	486,0	650,0	668,0	456,0	352,0	270,0	244,0	212,0	252,0	231,0	316,0	426,0	380,3
2001	383,0	325,0	454,0	354,0	279,0	251,0	207,0	188,0	192,0	231,0	305,0	636,0	317,1
2002	835,0	658,0	549,0	406,0	334,0	265,0	242,4	218,5	215,0	226,0	249,0	321,0	376,6
2003	474,0	617,0	635,0	686,0	388,0	304,0	264,0	231,9	219,3	246,6	266,0	351,0	390,2
2004	583,0	922,0	650,0	476,0	379,0	301,0	272,0	230,0	215,0	235,0	326,0	379,0	414,0
2005	495,0	463,0	536,0	413,0	295,0	243,0	215,0	191,0	195,0	219,0	279,0	432,0	331,3

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
2006	443,0	377,0	564,0	576,0	325,0	260,0	233,0	204,0	213,0	313,0	318,0	437,0	355,3
2007	523,0	682,0	511,0	373,0	297,0	242,0	219,0	198,0	184,0	198,0	267,0	344,0	336,5
2008	422,0	595,0	561,0	488,0	349,0	276,0	230,0	201,0	187,0	210,0	291,0	303,0	342,8
2009	324,0	446,0	557,0	528,0	310,0	262,0	222,0	197,0	212,0	223,0	325,0	584,0	349,2
2010	535,0	493,0	478,0	523,0	293,0	263,0	219,0	200,0	191,0	186,0	263,0	349,0	332,8
2011	526,0	443,0	608,0	537,0	378,0	257,0	222,0	195,0	180,0	212,0	242,0	285,0	340,4
2012	490,0	413,0	399,0	326,0	275,0	241,0	200,0	174,0	167,0	190,0	282,0	318,0	289,6
2013	512,0	673,0	535,0	511,0	300,0	290,0	223,0	191,0	180,0	219,0	284,0	467,0	365,4
2014	449,0	511,0	595,0	519,0	337,0	275,0	232,0	205,0	194,0	198,0	274,0	570,0	363,3
2015	394,0	457,0	627,0	550,0	404,0	287,0	251,0						
Mínimo	235,0	269,0	315,0	254,0	204,0	176,0	156,0	146,0	140,0	162,0	207,0	203,0	225,0
Média	520,5	555,6	566,1	473,6	348,0	279,9	240,4	214,6	213,1	236,0	305,7	425,0	364,9
Máximo	975,0	981,5	805,0	686,0	522,0	441,0	351,4	342,4	316,4	334,9	469,0	646,0	500,3

6.4. Vazões Médias Mensais Afluentes

6.4.1. Metodologia de Geração das Séries de Vazões

Para geração no local da PCH Cumbuco utilizou-se o posto Toriqueje (26050000) como base, mediante relação de área de drenagem com correção pela relação entre vazões específicas dos locais, obtidas da curva de regionalização apresentada neste estudo, composta pelos postos fluviométricos Rio das Mortes, Toriqueje, Xavantina, Fazenda Riacho Doce e Ponte Rio Casca. A seguir segue a equação utilizada.

$$Q_{PCH\ CUMBUCO} = \frac{A_{PCH\ SUSPIRO}}{A_{POSTO\ BASE}} \times \frac{q_{ESPECÍFICA\ PCH\ SUSPIRO}}{q_{ESPECÍFICA\ POSTO\ BASE}} \times Q_{POSTO\ BASE}$$

$$Q_{PCH\ CUMBUCO} = 0,1721660 \times Q_{POSTO\ BASE}$$

6.4.2. Série de Vazões Médias Mensais Afluente no Local da PCH Cumbuco

A Tabela 6-16 apresenta a série de vazões médias mensais para o local da PCH Cumbuco, para o período 01/1968 a 12/2014.

Tabela 6-16: Série de Vazões Médias Mensais – PCH Cumbuco – AD = 2.225 km²

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1968	49,6	102,6	86,4	58,4	43,6	31,9	31,9	28,8	26,7	30,1	35,6	49,6	47,9
1969	55,8	60,6	54,2	43,7	36,3	30,3	27,7	26,0	25,1	27,9	36,8	47,0	39,3
1970	57,7	87,3	104,9	65,1	44,8	36,3	32,5	28,8	30,0	34,7	38,4	34,9	49,6
1971	40,5	46,3	63,5	52,5	39,1	32,0	26,9	25,1	24,1	28,9	40,6	45,3	38,7
1972	52,0	83,8	59,7	52,2	35,1	31,0	29,1	27,0	26,3	31,0	46,7	69,2	45,3
1973	63,9	73,9	69,7	61,8	46,3	36,5	31,5	28,8	27,7	34,4	49,9	59,4	48,7

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1974	87,6	67,1	110,2	82,1	63,0	47,0	38,4	33,7	31,7	36,3	39,8	50,8	57,3
1975	59,6	64,0	67,8	76,4	51,5	37,9	34,1	30,1	28,2	31,5	47,5	69,0	49,8
1976	57,0	82,6	83,5	61,6	54,2	45,1	36,0	30,3	31,9	37,7	57,5	88,3	55,5
1977	85,9	104,3	77,3	71,6	65,4	49,9	41,0	33,9	34,9	43,2	59,6	84,0	62,6
1978	122,9	88,1	125,9	79,0	72,5	59,6	47,2	42,0	42,5	47,0	58,0	87,5	72,7
1979	167,9	162,5	137,6	101,9	75,2	60,1	51,5	44,9	52,3	47,3	59,6	72,8	86,1
1980	110,0	169,0	133,1	91,2	82,5	57,5	51,0	43,7	45,8	43,6	54,7	84,7	80,6
1981	126,9	88,8	123,4	100,8	85,9	55,4	49,9	42,7	39,1	47,5	80,7	87,3	77,4
1982	127,7	113,3	122,1	108,5	71,6	60,1	50,1	47,0	49,6	52,9	80,1	111,2	82,8
1983	103,6	97,1	82,0	77,6	59,6	52,5	42,0	38,9	37,4	45,8	61,1	94,0	66,0
1984	84,2	79,7	82,1	75,8	60,9	49,2	39,4	38,6	39,1	47,0	56,1	86,9	61,6
1985	117,1	78,3	94,3	84,0	60,6	47,7	42,5	37,0	35,8	38,2	44,2	46,3	60,5
1986	75,4	82,0	67,5	59,2	49,6	39,3	33,2	38,4	38,9	39,9	40,5	69,9	52,8
1987	82,1	77,3	85,2	76,4	61,6	45,5	39,1	35,5	34,3	35,6	51,6	106,1	60,9
1988	98,0	103,5	134,1	95,6	67,5	55,3	46,3	40,6	37,0	40,3	47,2	68,2	69,5
1989	106,4	117,9	116,9	105,3	76,5	64,0	60,5	58,9	54,5	57,7	65,2	82,3	80,5
1990	98,1	97,4	89,9	76,3	63,9	49,9	45,5	39,3	42,7	54,7	54,9	65,9	64,9
1991	87,8	113,8	138,6	105,7	69,0	55,3	47,7	42,0	40,8	42,8	51,7	62,2	71,4
1992	90,9	101,6	116,9	112,6	69,4	53,0	46,3	42,2	54,1	54,1	68,2	90,6	75,0
1993	112,8	132,2	91,7	82,2	58,0	51,8	45,1	42,5	42,4	46,7	45,5	75,4	68,8
1994	112,6	85,7	118,1	86,8	64,0	54,1	48,0	41,7	37,7	41,1	60,8	84,2	69,6
1995	129,8	146,2	99,3	108,3	89,9	61,5	52,9	44,6	41,0	48,4	56,3	60,9	78,2
1996	77,3	78,3	75,9	73,9	58,2	52,3	43,4	39,9	41,1	39,9	67,8	66,6	59,6
1997	107,3	114,1	120,0	96,4	70,9	75,9	54,7	44,9	42,2	46,5	57,8	100,0	77,6
1998	90,2	110,0	98,5	89,7	60,9	50,6	43,4	39,4	37,7	44,6	65,4	108,1	69,9
1999	107,4	80,1	110,9	71,4	56,8	46,8	41,8	36,3	36,0	37,7	55,3	62,2	61,9
2000	83,7	111,9	115,0	78,5	60,6	46,5	42,0	36,5	43,4	39,8	54,4	73,3	65,5
2001	65,9	56,0	78,2	60,9	48,0	43,2	35,6	32,4	33,1	39,8	52,5	109,5	54,6
2002	143,8	113,3	94,5	69,9	57,5	45,6	41,7	37,6	37,0	38,9	42,9	55,3	64,8
2003	81,6	106,2	109,3	118,1	66,8	52,3	45,5	39,9	37,7	42,5	45,8	60,4	67,2
2004	100,4	158,7	111,9	82,0	65,3	51,8	46,8	39,6	37,0	40,5	56,1	65,3	71,3
2005	85,2	79,7	92,3	71,1	50,8	41,8	37,0	32,9	33,6	37,7	48,0	74,4	57,0
2006	76,3	64,9	97,1	99,2	56,0	44,8	40,1	35,1	36,7	53,9	54,7	75,2	61,2
2007	90,0	117,4	88,0	64,2	51,1	41,7	37,7	34,1	31,7	34,1	46,0	59,2	57,9
2008	72,7	102,4	96,6	84,0	60,1	47,5	39,6	34,6	32,2	36,2	50,1	52,2	59,0
2009	55,8	76,8	95,9	90,9	53,4	45,1	38,2	33,9	36,5	38,4	56,0	100,5	60,1
2010	92,1	84,9	82,3	90,0	50,4	45,3	37,7	34,4	32,9	32,0	45,3	60,1	57,3
2011	90,6	76,3	104,7	92,5	65,1	44,2	38,2	33,6	31,0	36,5	41,7	49,1	58,6
2012	84,4	71,1	68,7	56,1	47,3	41,5	34,4	30,0	28,8	32,7	48,6	54,7	49,9

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
2013	88,1	115,9	92,1	88,0	51,6	49,9	38,4	32,9	31,0	37,7	48,9	80,4	62,9
2014	77,3	88,0	102,4	89,4	58,0	47,3	39,9	35,3	33,4	34,1	47,2	98,1	62,5
Mínimo	40,5	46,3	54,2	43,7	35,1	30,3	26,9	25,1	24,1	27,9	35,6	34,9	38,7
Média	90,1	96,0	97,2	81,3	59,7	48,2	41,3	36,9	36,7	40,6	52,6	73,2	62,8
Máximo	167,9	169,0	138,6	118,1	89,9	75,9	60,5	58,9	54,5	57,7	80,7	111,2	86,1

6.4.3. Validação da Série de Vazões Gerada com as Medições Realizadas

Conforme comentado anteriormente, em que pese as medições realizadas no rio Cumbuco (28 medições) serem pontuais, em determinado instante do mês, não representando a média mensal de um determinado mês, optou-se por utiliza-las para seleção dos parâmetros citados acima, ante a ausência de leitura contínua dos níveis d'água. Vale destacar que as medições realizadas no rio Cumbuco foram transportadas para o local da PCH Cumbuco².

A Tabela 6-13 apresenta o resumo das citadas medições, considerando a média mensal, para o período de 09/2007 a 12/2014.

Tabela 6-17: Medições Realizadas no Rio Cumbuco

Local	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Posto EF1 (Rio Cumbuco)	91,1	60,7	65,5	101,3	65,0	-	37,4	-	42,0	-	73,5	70,4
Posto EF2 (Rio Cumbuco)	85,2	60,8	70,3	86,7	67,7	-	43,0	-	41,1	-	72,5	74,6
Posto Fazenda Suspiro (Rio Cumbuco)	-	-	90,4	-	-	-	45,6	-	36,4	-	62,4	-
Média	88,2	60,7	75,4	94,0	66,4	-	42,0	-	39,8	-	69,5	72,5

Para efeito de comparação com as medições realizadas na bacia do rio Cumbuco, o gráfico Figura 6-12 apresenta, respectivamente, a envoltória da série de vazões obtida, plotadas juntamente com a média das medições realizadas, e separadamente, também, as medições realizadas no rio Cumbuco.

² As medições realizadas no rio Cumbuco, nos postos Fazenda Suspiro (26034600, A.D. = 2.235)), EF-1 (A.D. = 2.241 km²) e EF-2 (2.086 km²), foram transportadas por relação direta de área de drenagem para o local da PCH Cumbuco (463 km²).

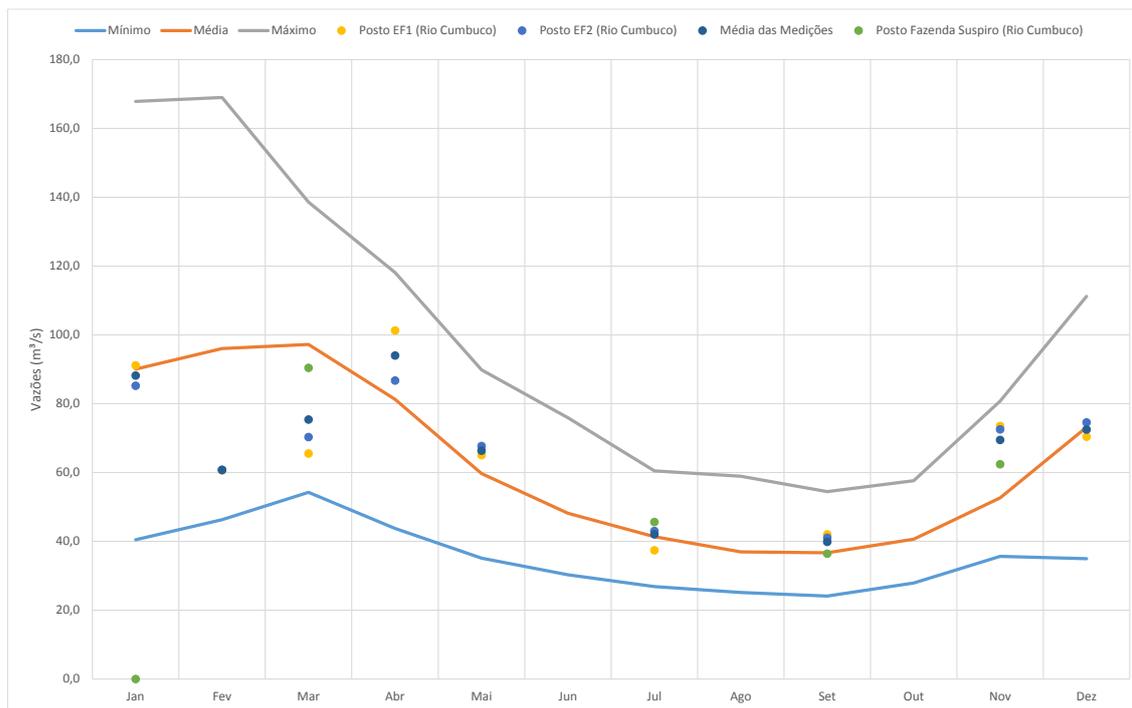


Figura 6-12: Série de Vazões x Medições de Vazões Realizadas

Observa-se que as medições realizadas no rio Cumbuco encontram-se bastante aderente à envoltória da série obtida. Vale repisar, em que pese as medições realizadas serem pontuais, obtidas em um único instante, não representando os valores médios mensais (não houve leitura diária de régua), verifica-se aderência das medições às vazões médias mensais da série.

6.4.4. Comparação da Série de Vazões do Projeto Básico com a Série do Inventário

Nos estudos de inventário foi utilizada regionalização³ de vazões para definição das séries nos locais eixos, tendo como base o posto fluviométrico Rio das Mortes. Abaixo segue a comparação das vazões médias mensais de longo termo da série obtida no presente estudo com aquela prevista nos estudos de inventário, plotadas juntamente com a média das medições realizadas.

³ Na etapa de inventário, a regionalização foi obtida a partir dos postos fluviométricos General Carneiro (24650000), Fazenda Riacho Doce (66171500), Acora (6617174000), Rio das Mortes (26040000), Tesouro (24500000) e Toriqueje (26050000).

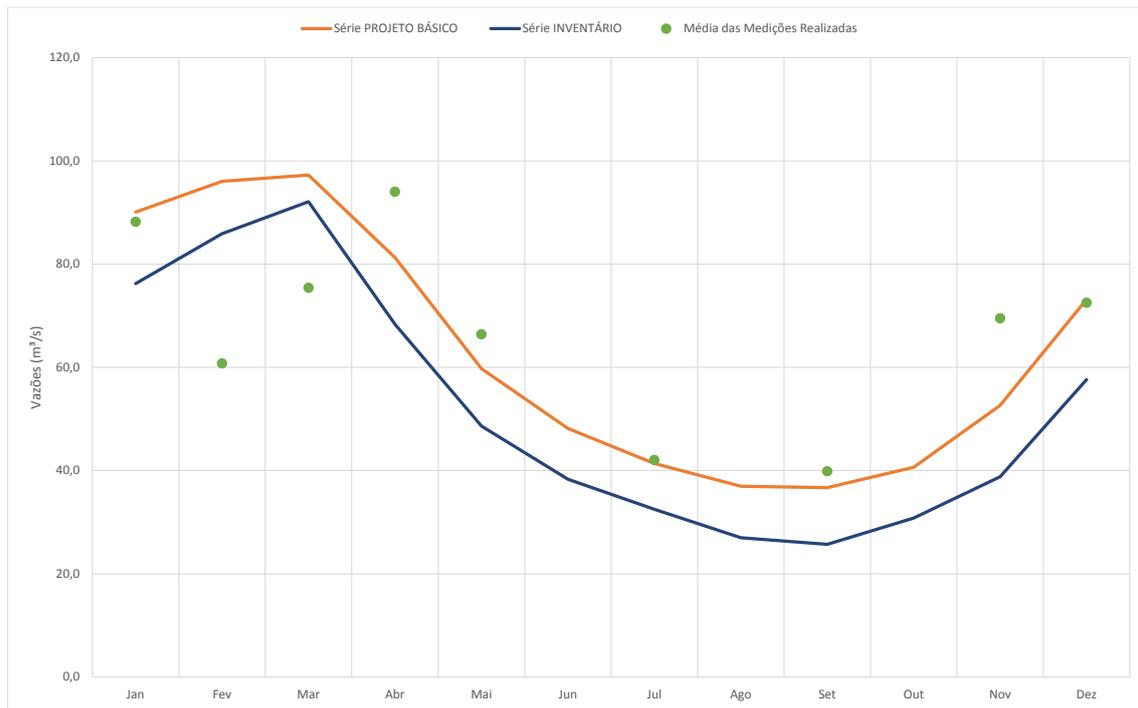


Figura 6-13: Comparação da Série de Vazões – Projeto Básico x Estudos de Inventário

Verifica-se do gráfico acima que a série de vazões prevista nos Estudos de Inventário ($Q_{MLT} = 51,8 \text{ m}^3/\text{s}$), apresenta uma produção hídrica inferior à obtida nesta etapa de Projeto Básico ($Q_{MLT} = 62,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Observa-se que as medições pontuais realizadas, no rio Cumbuco, aproximaram-se mais da série proposta nesta etapa de Projeto Básico.

Cumprido destacar que a série dos estudos de inventário, apresenta diversas incoerências com o regime hidrológico previsto para a região, inclusive com valores inferiores a $5 \text{ m}^3/\text{s}$ em diversos meses do histórico, especialmente no período estendido por modelagem chuva-vazão (anterior ao ano de 1976, para o posto Rio das Mortes), conforme se verifica da curva de permanência mostradas na Figura 6-14.

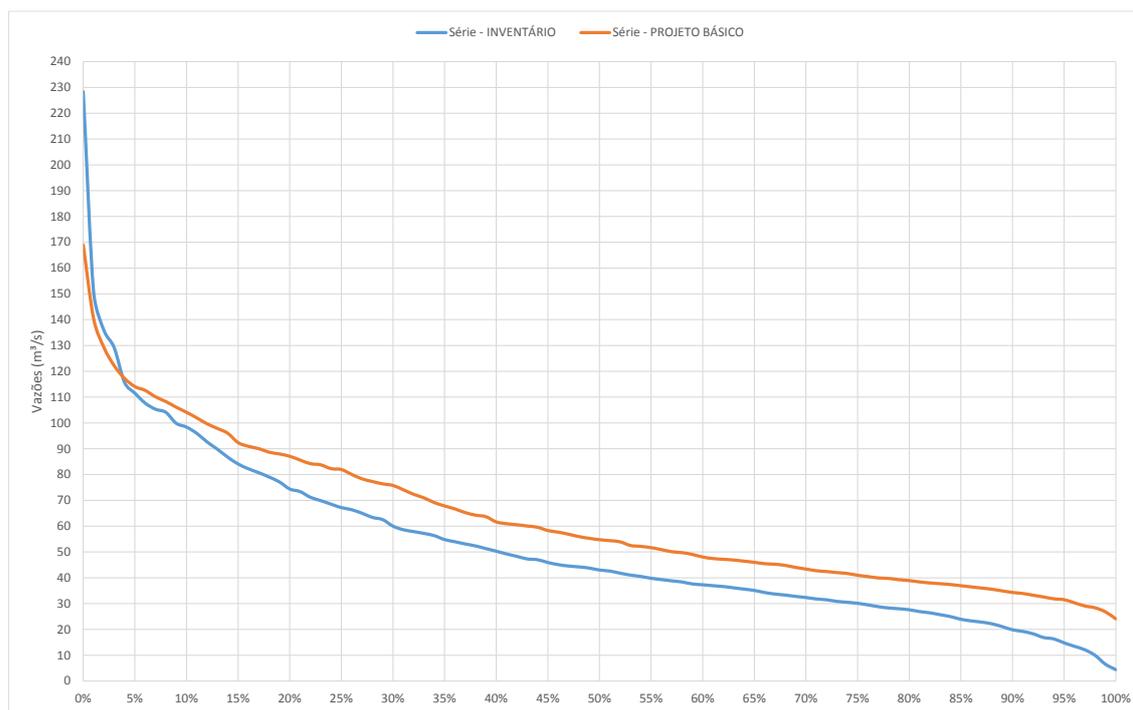


Figura 6-14: Comparação da Permanência de Vazões – Projeto Básico x Estudos de Inventário

6.5. Permanência de Vazões Médias Mensais Afluentes

A seguir apresenta-se a curva de permanências de vazões médias mensais para o local da PCH Cumbuco, em tabela e gráfico.

Tabela 6-18: Permanência de Vazões Médias Mensais Afluentes – PCH Cumbuco (m³/s)

Permanência	Vazões (m³/s)	Permanência	Vazões (m³/s)
0%	169,0	50%	54,7
1%	140,5	55%	51,7
5%	114,1	60%	48,0
10%	104,1	65%	46,0
15%	92,4	70%	43,4
20%	87,1	75%	41,0
25%	82,0	80%	38,9
30%	75,8	85%	36,9
35%	67,8	90%	34,3
40%	61,6	95%	31,5
45%	58,3	100%	24,1

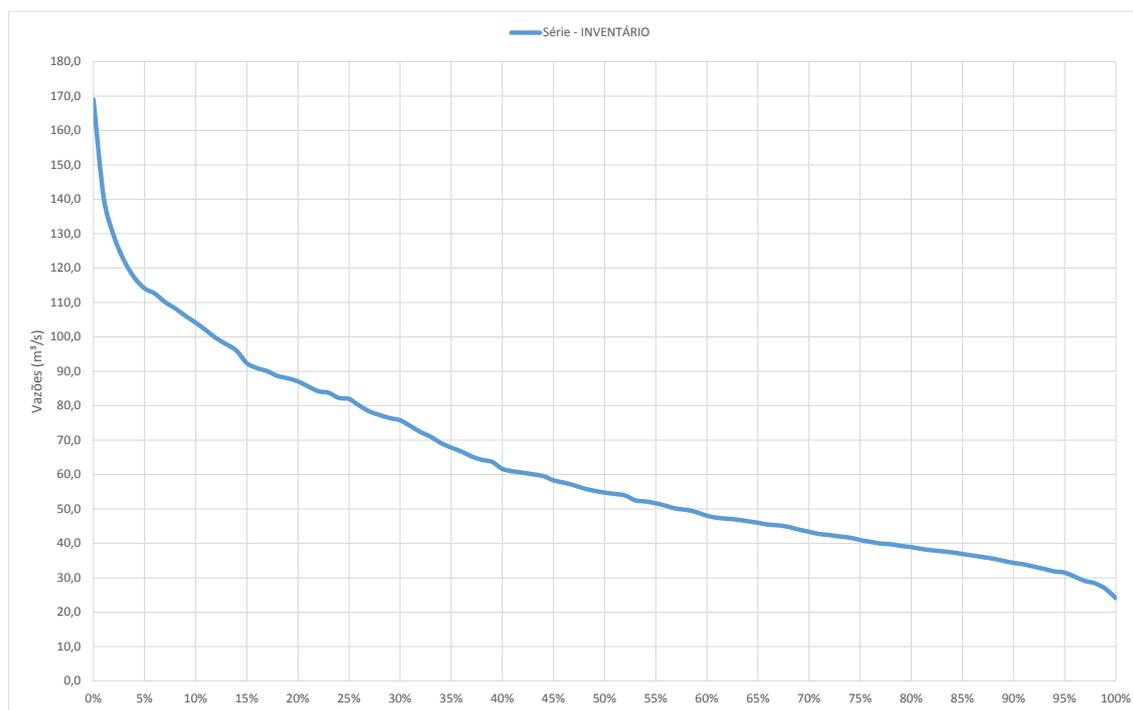


Figura 6-15: Curva de Permanência – Vazões Médias Mensais Afluentes – PCH Cumbuco (m³/s)

6.6. Vazões Extremas

Os estudos de vazões extremas foram realizados considerando dois períodos distintos: cheias anuais, que corresponde ao ano hidrológico normal, que vai de setembro de um ano civil a agosto do ano seguinte; e estiagem, sendo este o período de junho a novembro de um mesmo ano civil.

Para as cheias no período de estiagem, compreendido entre junho e novembro, considerou-se períodos de 6, 5, 4 e 3 meses, tendo em vista a existência de obras de desvio do rio com durações longas ou curtas.

Os resultados obtidos com o uso do período de cheias anuais são utilizados para dimensionamento dos vertedouros, enquanto que os resultados do período de estiagem são utilizados para dimensionamento das estruturas de desvio do rio.

Para realizar a transferência das vazões de cheias para o local da PCH Cumbuco, inicialmente tentou-se utilizar metodologia de regionalização das vazões máximas diárias. No entanto, os postos da bacia 66, Fazenda Riacho Doce e Ponte Rio Casca, cujas áreas de drenagem são menores, apresentaram vazões máximas em patamares muito superiores aos verificados com os postos do rio das Mortes. Já regionalização com uso dos postos somente do rio das Mortes (Rio das Mortes, Toriqueje e Xavantina) subestimou demasiadamente as vazões na PCH Cumbuco. A utilização dos dados do posto Toriqueje (26050000, A.D. = 17.372 km²), transpostos mediante relação de área de drenagem com correção pela relação entre vazões específicas dos locais, em simetria com a metodologia utilizada para gerar a série de vazões médias mensais, superestimou demasiadamente as vazões no local da PCH Cumbuco.

Com isso, no presente estudo, optou-se por utilizar como base o posto Rio das Mortes (26040000, A.D. = 5.180 km²), localizado no rio das Mortes, transferindo seus dados por relação direta de área de drenagem com o local da PCH Cumbuco (A.D. = 2.225 km²), tendo em vista a relativa proximidade entre estes locais, conforme equação transferência seguinte.

$$Q_{\text{PCH CUMBUCO}} = 0,4295367 \times Q_{\text{POSTO RIO DAS MORTES}}$$

A metodologia adotada neste estudo mostra-se a mais coerente com o porte da bacia do rio Cumbuco, no local da PCH estudada, sendo que os valores obtidos nesta etapa de Projeto Básico resultaram em valores 19% superiores aos obtidos na etapa de Inventário⁴.

6.6.1. Dados Básicos

Os dados de vazões máximas diárias para cheias anuais e no período de estiagem do posto Rio das Mortes (26040000) são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6-19: Vazões Máximas Diárias Anuais – Setembro a Agosto (m³/s)

Ano			Cheias Anuais (Setembro a Agosto)
1976	-	1977	173
1977	-	1978	272
1978	-	1979	301
1979	-	1980	
1980	-	1981	309
1981	-	1982	245
1982	-	1983	
1983	-	1984	196
1984	-	1985	210
1985	-	1986	146
1986	-	1987	232
1987	-	1988	317
1988	-	1989	327
1989	-	1990	
1990	-	1991	
1991	-	1992	
1992	-	1993	
1993	-	1994	221
1994	-	1995	284
1995	-	1996	182
1996	-	1997	283
1997	-	1998	190
1998	-	1999	256
1999	-	2000	198
2000	-	2001	130
2001	-	2002	232

⁴ Esta diferença já considera a diminuição da área de drenagem no local da PCH Cumbuco, que passou de 2.386 km² (Inventário) para 2.225 km² (Projeto Básico). A vazão máxima instantânea com 1.000 anos de recorrência, definida na etapa de Inventário, foi de 276,8 m³/s.

Ano			Cheias Anuais (Setembro a Agosto)
2002	-	2003	285
2003	-	2004	
2004	-	2005	151
2005	-	2006	
2006	-	2007	
2007	-	2008	176
2008	-	2009	201
Mínima			130
Media			230
Máxima			327
Desvio Pad.			58
Assimetria			0,077

Tabela 6-20: Vazões Máximas Diárias na Estiagem – Junho a Novembro (m³/s)

Ano	Jun-Nov	Jul-Nov	Jun-Out	Jun-Set	Jul-Out	Ago-Nov	Jun-Ago	Jul-Set	Ago-Out	Set-Nov
	6 Meses	5 Meses	5 Meses	4 Meses	4 Meses	4 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses
1976	117	110	117	117	95,4	110	117	90,3	95,4	110
1977	124	124	116	116	104	124	116	104	97,4	124
1978	131	115	131	131	103	115	131	102	103	115
1979	123	110	123	123	110	110	123	110	110	110
1980	130	106	130	130	106	104	130	106	103	104
1981	149	149	124	124	110	149	124	110	96,9	149
1982	127	122	127	127	107	122	127	107	107	122
1983	138	138	118	118	102	138	118	98,5	102	138
1984	143	143	122	122	105	143	122	97,9	105	143
1985	110	99,5	110	110	99,5	99,5	110	98,5	99,5	99,5
1986	105	105	99,5	99,5	99,5	105	96,9	99,5	99,5	105
1987	130	130	111	111	101	130	111	101	95,4	130
1988	132	123	132	132	111	123	132	111	99,5	123
1989										
1990										
1991										
1992										
1993	128	107	128	128	103	107	128	103	100	107
1994	139	139	119	119	102	139	119	102	98,5	139
1995	122	108	122	122	106	108	122	106	104	108
1996	140	140	129	129	100	140	129	100	95,9	140
1997	142	127	142	142	118	127	142	118	100	127
1998	118	118	111	111	98,5	118	111	94,4	98,5	118
1999	108	104	108	108	100	104	108	96,9	100	104

Ano	Jun-Nov	Jul-Nov	Jun-Out	Jun-Set	Jul-Out	Ago-Nov	Jun-Ago	Jul-Set	Ago-Out	Set-Nov
	6 Meses	5 Meses	5 Meses	4 Meses	4 Meses	4 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses
2000	106	106	101	101	93,8	106	101	91,8	93,8	106
2001	108	108	108	108	93,8	108	108	82,9	93,8	108
2002	105	100	105	105	88,3	100	105	88,3	87,3	100
2003	114	108	114	114	97,4	108	114	97,4	94,4	108
2004	103	103	102	102	99,5	103	102	99,5	95,4	103
2005										
2006										
2007	112	112	89,3	89,3	84,4	112	89,3	80,9	84,4	112
2008	111	111	103	103	89,8	111	103	89,8	80,5	111
2009	108	108	99,5	99,5	91,3	108	99,5	91,3	86,1	108
Mínima	103	100	89	89	84	100	89	81	81	100
Media	122	117	116	116	101	117	116	100	97	117
Máxima	149	149	142	142	118	149	142	118	110	149
Desvio Pad.	14	14	13	13	7	14	13	9	7	14
Assimetria	0,224	0,820	-0,025	-0,025	-0,128	0,814	-0,047	-0,229	-0,744	0,814

6.6.2. Vazões Máximas Anuais

Para obtenção das cheias máximas anuais (ano hidrológico normal, de setembro a agosto), foram aplicadas às vazões máximas diárias distribuições de probabilidades. Para seleção da distribuição de probabilidades a ser empregada seguiu-se a recomendação da ELETROBRÁS, constante no “Guia Para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores” (1987), que preconiza a utilização da distribuição de Gumbel para séries com assimetria inferior a 1,5, e distribuição exponencial para assimetrias superiores a 1,5. A Tabela 6-21 apresenta os valores obtidos para o posto base.

Tabela 6-21: Vazões Máximas Diárias Anuais – Posto Rio das Mortes (m³/s)

Recorrência (anos)	Vazões Máximas Diárias (m³/s)
2	220
5	271
10	305
20	338
25	348
50	379
100	411
200	442
500	484
1.000	515
5.000	587
10.000	618

Foi utilizado o Coeficiente de Fuller, considerando que bacias de menor área, como o rio das Mortes, apresentam maiores oscilações de nível d'água em menores intervalos de tempo, de modo que a passagem de cheia pode não ser registrada pelas duas leituras de cotas feitas num dia. Desse modo, as cheias calculadas com base em vazões médias diárias precisam ser corrigidas para que elas representem valores de picos instantâneos. O coeficiente é definido pela seguinte equação: $1 + 2,66 \times \text{Área de Drenagem}^{-0,3}$. A seguir são apresentadas as vazões máximas diárias e instantâneas (com Fuller) para o local da PCH Cumbuco (2.225 km²).

Tabela 6-22: Vazões Máximas Diárias e Instantâneas Anuais – PCH Cumbuco (m³/s)

Recorrência (anos)	Vazões Máximas (m ³ /s)	
	Diárias	Instantâneas
2	111	141
5	137	173
10	154	195
20	171	216
25	176	222
50	192	243
100	208	263
200	224	283
500	245	309
1.000	260	329
5.000	297	375
10.000	313	395

6.6.3. Vazões Máximas na Estiagem

Para obtenção das vazões máximas na estiagem (Junho a Novembro), foram aplicadas às vazões máximas diárias na estiagem as distribuições de probabilidades. Para seleção da distribuição de probabilidades a ser empregada seguiu-se a recomendação da ELETROBRÁS, constante no "Guia Para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores" (1987), que preconiza a utilização da distribuição de Gumbel para séries com assimetria inferior a 1,5, e distribuição exponencial para assimetrias superiores a 1,5. A Tabela 6-23 apresenta os valores obtidos para o posto base.

Tabela 6-23: Vazões Máximas Diárias na Estiagem – Posto Rio das Mortes (m³/s)

TR (anos)	Jun-Nov	Jul-Nov	Jun-Out	Jun-Set	Jul-Out	Ago-Nov	Jun-Ago	Jul-Set	Ago-Out	Set-Nov
	6 Meses	5 Meses	5 Meses	4 Meses	4 Meses	4 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses
2	120	115	114	114	99	114	114	98	96	114
5	132	127	125	125	106	127	125	105	102	127
10	140	135	132	132	110	135	132	110	106	135
20	148	143	139	139	115	144	139	115	110	144
25	150	146	141	141	116	146	141	117	111	146
50	158	154	148	148	120	154	148	121	115	154
100	165	162	155	155	124	162	155	126	118	162

Foi utilizado o Coeficiente de Fuller, considerando que bacias de menor área, como o rio das Mortes, apresentam maiores oscilações de nível d'água em menores intervalos de tempo, de modo que a passagem de cheia pode não ser registrada pelas duas leituras de cotas feitas num

dia. Desse modo, cheias calculadas com base em vazões médias diárias precisam ser corrigidas para que elas representem valores de picos instantâneos. O coeficiente é definido pela seguinte equação: $1 + 2,66 \times \text{Área de Drenagem}^{-0,3}$. A seguir são apresentadas as vazões máximas diárias e instantâneas (com Fuller) para o local da PCH Cumbuco.

A Tabela 6-24 apresenta as vazões máximas diárias e instantâneas (Fuller), para a estiagem (junho a novembro) para o local da PCH Cumbuco (2.225 km²).

Tabela 6-24: Vazões Máximas Diárias e Instantâneas na Estiagem – PCH Cumbuco (m³/s)

TR (anos)	Jun-Nov	Jul-Nov	Jun-Out	Jun-Set	Jul-Out	Ago-Nov	Jun-Ago	Jul-Set	Ago-Out	Set-Nov
	6 Meses	5 Meses	5 Meses	4 Meses	4 Meses	4 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses	3 Meses
2	77	73	73	73	64	73	73	63	62	73
5	84	81	80	80	68	81	80	67	65	81
10	90	87	84	84	71	87	84	71	68	87
20	94	92	89	89	73	92	89	74	70	92
25	96	93	90	90	74	93	90	75	71	93
50	101	98	95	95	77	98	95	78	73	98
100	106	103	99	99	79	103	99	81	76	103

6.7. Vazões Mínimas

O conhecimento das vazões mínimas (residual, remanescente ou ecológica) tem importância para fixação da descarga remanescente em trechos ensecados, quando a adução ocorre através de canal lateral, e no momento de enchimento do reservatório.

A Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA/MT) definiu como vazão mínima em trechos de vazão reduzida o equivalente a 10% da vazão média de longo termo de cada mês, o que resulta em um vetor de vazões mínimas a serem mantidas para jusante em cada mês. Essa vazão também pode ser utilizada como descarga mínima para enchimento dos reservatórios.

Ante ao exposto, julgou-se desnecessário realizar estudos de vazões mínimas a partir de outra metodologia, como a $Q_{7,10}$, por exemplo, não ser aplicada no Estado do Mato Grosso. Os valores das vazões mínimas a serem mantidas no Trecho de Vazão Reduzida (TVR) da PCH Cumbuco são apresentados na Tabela 6-25.

Tabela 6-25: Vazões Mínimas – PCH Cumbuco (m³/s)

Vazão	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Q_{MLT}	90,1	96,0	97,2	81,3	59,7	48,2	41,3	36,9	36,7	40,6	52,6	73,2
10% da Q_{MLT}	9,0	9,6	9,7	8,1	6,0	4,8	4,1	3,7	3,7	4,1	5,3	7,3

6.8. Curva-Chave no Canal de Fuga e Barragem – PCH Cumbuco

As curvas-chave da PCH Cumbuco foram obtidas a partir de medições de vazões desenvolvidas nas campanhas hidrométricas citadas no item 6.3.1.2. Para o tramo alto da curva foi utilizado ajuste logaritmo, compatibilizado com dados geométricos da seção medidora. A seguir são apresentadas as curvas desenvolvidas para os dois locais de interesse no sítio.

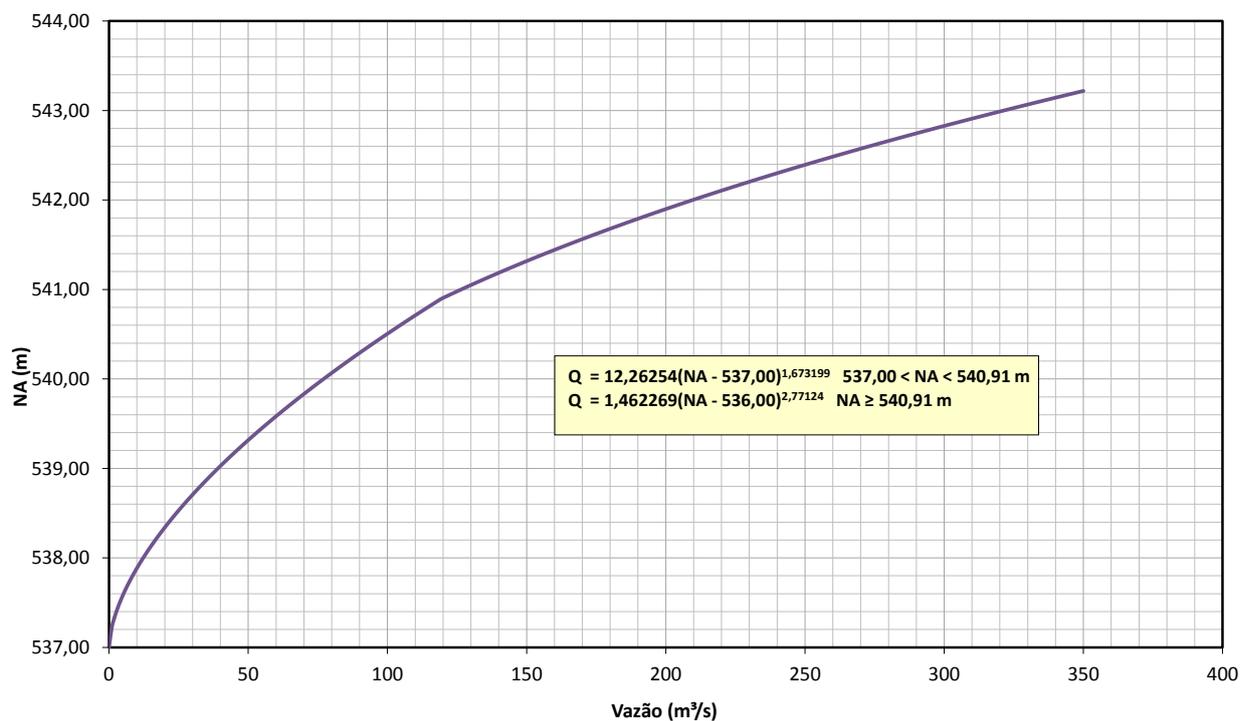


Figura 6-16: Curva-Chave – Barramento – PCH Cumbuco

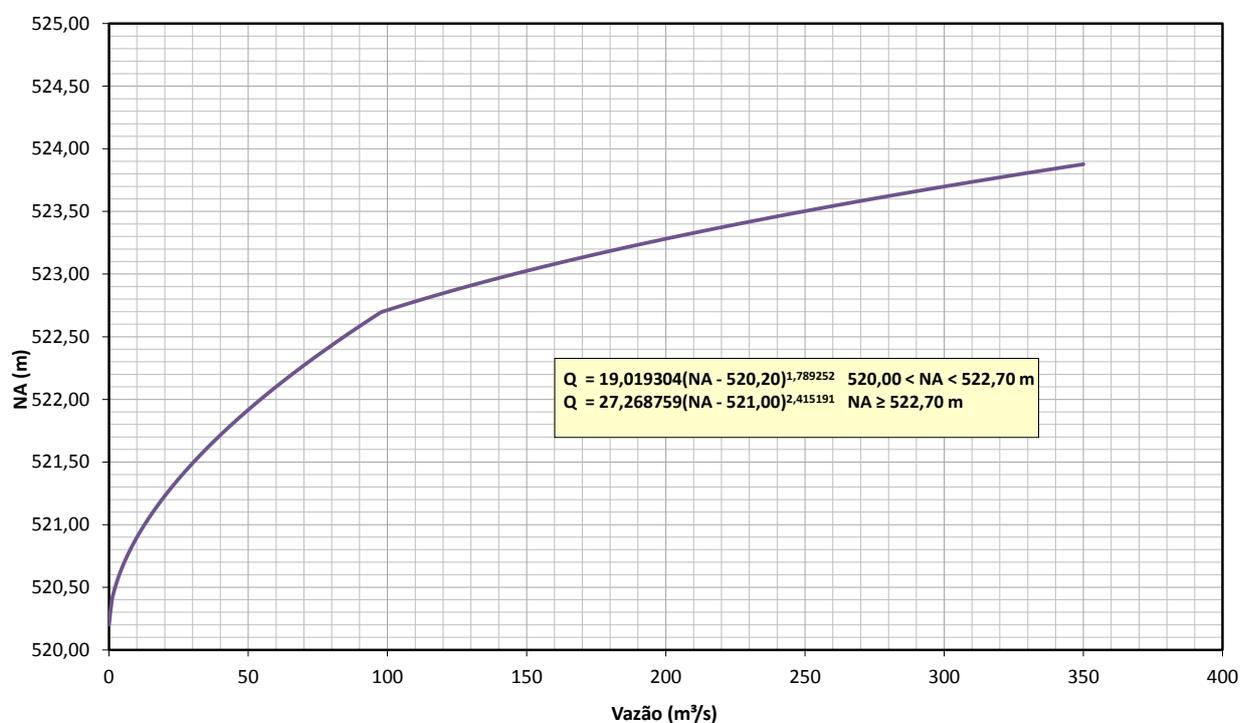


Figura 6-17: Curva-Chave – Canal de Fuga – PCH Cumbuco

6.9. Curvas Cota-Área-Volume

Para a caracterização do reservatório da PCH Cumbuco foram determinadas curvas cota x área, a partir das áreas sob as curvas de nível de 5 em 5 m, estabelecidas nas plantas de restituição aerofotogramétrica. As áreas em cada cota foram calculadas por medição automática, usando o software AutoCad.

A variação do volume ΔV entre duas cotas consecutivas, cuja diferença é ΔH , foi calculada por:

$$\Delta V = \frac{1}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \Delta H$$

sendo A_i a área correspondente à cota i e ΔH a variação de cota.

Usando as áreas medidas e a equação para cálculo dos volumes incrementais entre duas curvas de nível consecutivas, calcularam-se os volumes totais do reservatório em cada cota. Na Tabela 6-26 são apresentados os dados obtidos.

Tabela 6-26: Pontos Cota (m), Área (km²) e Volume (hm³) – PCH Cumbuco

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
540,00	0,000	0,000
541,00	0,010	0,001
542,00	0,022	0,016
543,00	0,034	0,045
544,00	0,048	0,088
545,00	0,063	0,144
546,00	0,079	0,214
547,00	0,098	0,302
548,00	0,119	0,409
548,30	0,127	0,446
549,00	0,145	0,540
550,00	0,176	0,701
551,00	0,214	0,896
552,00	0,259	1,133
553,00	0,314	1,420
554,00	0,379	1,765

A representação gráfica das curvas cota-área-volume é apresentada a seguir.

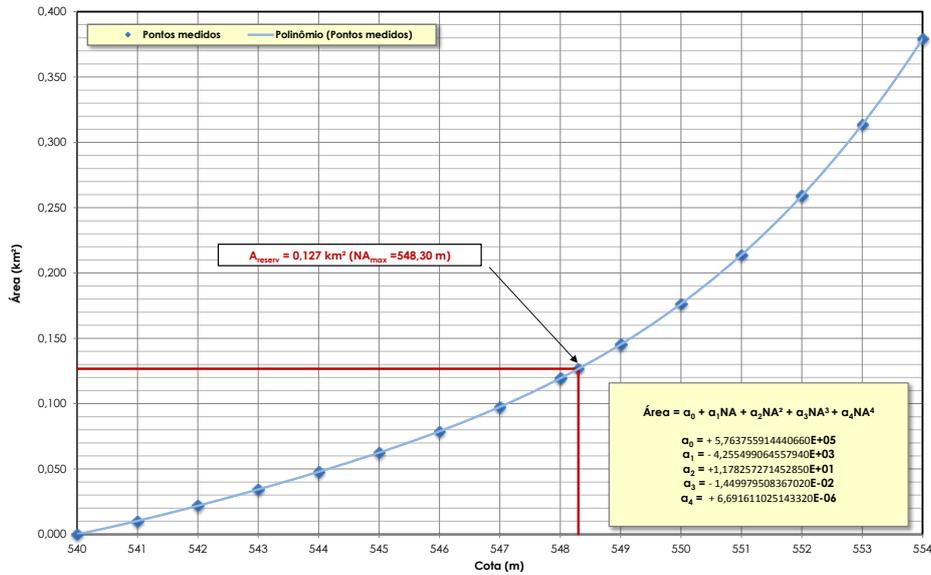


Figura 6-18: Curva Cota-Área – PCH Cumbuco

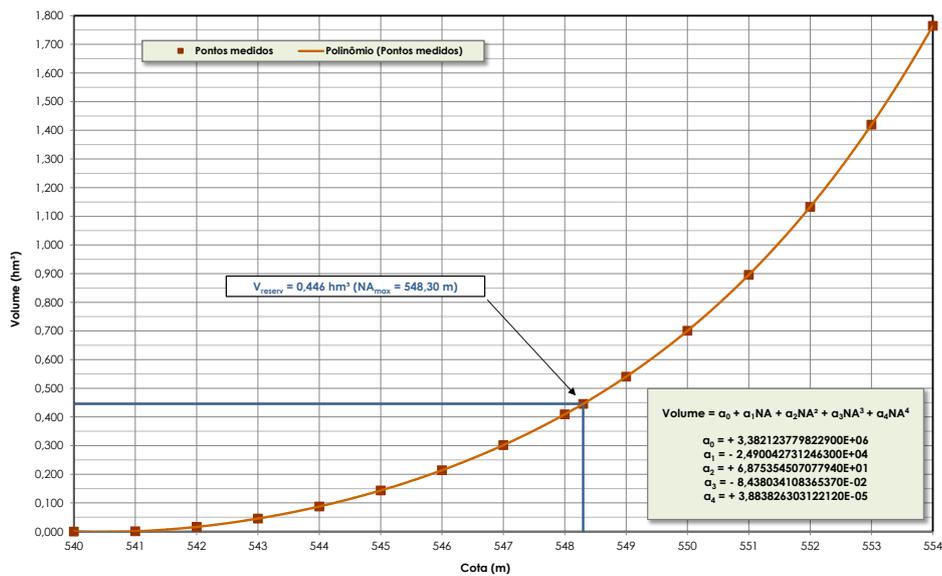


Figura 6-19: Curva Cota-Volume – PCH Cumbuco

6.10. Enchimento do Reservatório

O estudo de enchimento do reservatório da PCH Cumbuco foi realizado utilizando-se a série de vazões médias mensais, considerando o período de 01/1968 a 12/2014 e as curvas cota-volume apresentadas acima.

O tempo de enchimento corresponde ao tempo necessário para o reservatório atingir os níveis máximo de operação (NA máximo normal = 548,30 m).

Para o estudo de enchimento do reservatório, foram considerados as seguintes premissas:

- Vazões com 5% do tempo de permanência, médias mensais e com 95% do tempo de permanência;
- Início do enchimento em qualquer um dos doze meses do ano;
- Volume do reservatório no NA Máximo Normal, a partir do qual se admite que tenha início a geração, e o fluxo para jusante é restabelecido.
- Considerou-se, também, como vazão mínima a ser mantida para jusante, os valores definidos neste estudo, os quais foram descontados para efeito de enchimento;
- Utilizou-se a série de vazões afluentes para o período 01/1976-12/2014;
- Vazão líquida armazenada no reservatório calculada por:

$$\text{Vazão líquida} = Q_{\text{afluente}} - Q_{\text{mínima defluente}}$$

A Tabela 6-27 apresenta os tempos necessários para o enchimento do reservatório da PCH Cumbuco.

Tabela 6-27: Tempos de Enchimento do Reservatório – PCH Cumbuco

Mês	Vazões de enchimento (m³/s)			Tempo (h)			Tempo (dias)		
	Q _{5%}	Q _{MLT}	Q _{95%}	Q _{5%}	Q _{MLT}	Q _{95%}	Q _{5%}	Q _{MLT}	Q _{95%}
Janeiro	120,2	81,1	44,1	1,0	1,5	2,8	0,0	0,1	0,1
Fevereiro	145,4	86,4	52,0	0,9	1,4	2,4	0,0	0,1	0,1
Março	124,1	87,5	55,0	1,0	1,4	2,3	0,0	0,1	0,1
Abril	100,3	73,1	45,5	1,2	1,7	2,7	0,1	0,1	0,1
Maió	74,7	53,7	34,5	1,7	2,3	3,6	0,1	0,1	0,1
Junho	56,2	43,4	27,1	2,2	2,9	4,6	0,1	0,1	0,2
Julho	48,3	37,2	25,7	2,6	3,3	4,8	0,1	0,1	0,2
Agosto	41,2	33,3	23,9	3,0	3,7	5,2	0,1	0,2	0,2
Setembro	47,8	33,0	22,8	2,6	3,8	5,4	0,1	0,2	0,2
Outubro	49,9	36,6	26,3	2,5	3,4	4,7	0,1	0,1	0,2
Novembro	62,8	47,4	33,5	2,0	2,6	3,7	0,1	0,1	0,2
Dezembro	100,2	65,8	39,2	1,2	1,9	3,2	0,1	0,1	0,1

Os resultados mostram que o tempo para enchimento do reservatório da PCH Cumbuco é de, no máximo, 6 horas, para qualquer das hipóteses estudadas.

6.11. Tempo de Residência

O tempo de residência no reservatório é o número de dias que a água leva para sair do mesmo, contado desde o momento em que ela adentra no corpo d'água. Um reservatório tem regiões em que a velocidade do escoamento é maior, sendo os trechos ao longo dos talvegues aqueles em que o fluxo é preferencial. A massa de água que percorre estes trechos tem um tempo de residência sensivelmente menor do que a água que escoar pelas áreas marginais do reservatório.

A determinação do mapa bidimensional dos vetores de velocidade do fluxo no reservatório possibilita a determinação, com precisão, dos tempos de residência em cada compartimento do reservatório. Ela é feita por modelos matemáticos que resolvem as equações diferenciais de fluxo a superfície livre de Saint-Venant, através do processo de diferenças finitas. A aplicação desta metodologia é desejável quando o reservatório é grande, e há interesse em modelar as suas condições limnológicas, a fim de verificar a possibilidade de sua eutrofização. Mas, para

determinar se é necessária a sua realização, faz-se inicialmente a determinação do tempo de residência em termos médios.

O tempo de residência médio é, então, calculado por:

$$\text{Tempo de Residência} = \frac{\text{Volume do Reservatório}}{\text{Vazão Média}}$$

Para o reservatório da PCH Cumbuco, foi determinado o tempo médio de residência da água, usando a vazão média de longo termo da série de vazões afluentes, para o período 01/1968-12/2014. Os resultados são mostrados na Tabela 6-28.

Tabela 6-28: Tempo de Residência – PCH Cumbuco

Eixo	Q _{MLT} (m ³ /s)	Volume (hm ³)	Tempo de Residência (horas)
PCH Cumbuco	62,8	0,127	1,97

Assim, o tempo de residência é inferior a 2 horas, o que sinaliza a inexistência de qualquer problema de degradação da qualidade da água no reservatório, o que minimiza sobremaneira os impactos ambientais do empreendimento.

6.12. Evaporação Líquida no Reservatório da PCH Cumbuco

A avaliação das perdas de água, a título da evaporação, nos reservatórios de usinas hidrelétricas, tem papel fundamental, tanto nos estudos de planejamento, como na operação dos sistemas existentes. Nos estudos de planejamento da operação e da expansão energética, os dados de evaporação são utilizados de duas formas principais: nos estudos de simulação de operação de reservatórios; e nos estudos para obtenção das séries de vazões naturais nos locais de aproveitamentos hidrelétricos. Nestes processos, referentes à quantificação do valor perdido por evaporação e evapotranspiração nos reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos, este montante se traduz de forma linear em perda energética nas usinas hidrelétricas.

Antes do enchimento do reservatório ocorre, na sua área, a evapotranspiração, a qual já está computada nas vazões observadas e geradas. Após o início da operação do empreendimento essa evapotranspiração será substituída pela evaporação da superfície de água, alterando as vazões naturais afluentes ao barramento.

A evaporação líquida é a diferença entre a evaporação real do reservatório e a evapotranspiração real da bacia hidrográfica no local do reservatório antes da sua implantação. Ela é necessária para a reconstituição das séries de vazões naturais dos aproveitamentos hidrelétricos e para uso nas simulações energéticas. Isto significa que as séries de vazões devem, então, ser recalculadas, levando em conta esta evaporação líquida, de modo a se obter uma nova série.

Neste item apresentam-se os estudos realizados para a determinação da evaporação líquida no reservatório da PCH Cumbuco.

6.12.1. Metodologia de Cálculo

Os cálculos foram realizados usando metodologia e sistema desenvolvidos pelo CEHPAR - Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza, para o ONS, com o objetivo principal de calcular as grandezas evaporação de lago, evapotranspiração real e a evaporação líquida para as usinas que compõem o Sistema Interligado Nacional – SIN. O sistema utilizado é SISEVEVAPO, versão 1.0, utilizado no âmbito do Setor Elétrico Brasileiro para o cálculo de evaporações líquidas nos aproveitamentos hidrelétricos.

O método consiste em obter superfícies interpoladoras das grandezas temperatura média mensal, umidade relativa média mensal, número de horas de insolação mensal e da precipitação anual, necessárias na determinação das grandezas evaporação e evapotranspiração.

No trabalho do CEHPAR foi utilizado o método da interpolação multiquadrática para obtenção dos mapas de isolinhas das grandezas meteorológicas. Dos métodos de interpolação espacial, a interpolação quadrática é bastante utilizada por ser bastante eficiente e por apresentar uma formulação matemática bastante simples. É utilizado o método de Morton, (CRAE e CRLE,) a partir dos dados meteorológicos das Normais Climatológicas de 1961-1990, publicados pelo INMET.

6.12.2. Critérios de Cálculo

O principal parâmetro para o cálculo da evaporação líquida é a série de dados contendo os parâmetros meteorológicos. Neste estudo utilizou-se as normais climatológicas regionais do período 1961-1990, padrão hoje utilizado no planejamento do setor elétrico.

Para o cálculo da evaporação líquida utilizou-se dados de localização do reservatório, definidos pelas suas coordenadas geográficas, latitude e longitude, dos níveis d'água máximo normal, mínimo e médio, e das suas profundidades características. A Tabela 6-29 apresenta os dados de entrada do modelo.

Tabela 6-29: Dados de Entrada do SISEVAPO – PCH Cumbuco

NA máximo (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Profundidade Média (m)	Latitude			Longitude				
				Graus	Min.	Seg.	Graus	Min.	Seg.		
548,30	0,127	0,446	3,50	15°	12'	54,6''	S	54°	00'	1,13''	W

6.12.3. Resultados

Os valores de evaporação e de evapotranspiração potencial e real, e de evaporação líquida, a qual é a diferença entre as duas anteriores, calculados pelo SISEVAPO são apresentados na Tabela 6-30, para o local da PCH Cumbuco.

Tabela 6-30: Evaporação Líquida (mm) – PCH Cumbuco

Tipo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Evaporação Potencial	166	145	161	147	146	125	137	165	173	169	169	173	1877
Evaporação Real	157	138	151	135	126	104	100	117	131	139	147	163	1608
Evapotranspiração Potencial	158	140	154	141	133	118	141	167	163	180	172	159	1826
Evapotranspiração Real	147	132	139	122	90	74	65	66	74	128	135	142	1313
Evaporação Líquida	10	6	12	13	36	30	35	51	57	11	12	21	295

6.13. Borda Livre

A ocorrência de vento na área do reservatório provoca a formação de ondas, cujas alturas devem ser levadas em conta no estabelecimento da borda livre das estruturas.

O parâmetro básico para o cálculo da altura das ondas é a velocidade do vento, entendida como uma grandeza vetorial, que requer, portanto, o conhecimento da direção, do sentido e da intensidade.

A irregularidade dos reservatórios e as características da cobertura dos terrenos a eles adjacentes aumentam a turbulência do vento, provocando variações direcionais, e reduzindo

o valor da intensidade média do vento em valores medidos em estações terrestres instaladas antes do enchimento do reservatório. Outrossim, a intensidade do vento adotada para o projeto pode ocorrer por algum tempo, mas a sua direção tende a oscilar consideravelmente, podendo ou não coincidir com a direção crítica para a formação da onda.

Desta forma, e considerando a pouca disponibilidade de dados de vento na região, optou-se por fazer o estudo paramétrico de ondas no reservatório, para intensidades do vento de 50, 75 e 100 km/h, e direção e sentido coincidindo com os críticos. Vale ressaltar que este é um procedimento conservador, pois não é provável que ocorram ventos com estas intensidades e direção durante o tempo necessário para a geração das ondas.

Utilizando as características topográficas do reservatório, foram determinados os seus parâmetros necessários ao cálculo da altura de ondas, quais sejam:

- Fetch (km)
 - Máximo.....0,434
 - Efetivo.....0,178
- Profundidade Média do Tirante d'água ao longo do Fetch = 3,51 m
- Talude do Paramento de Montante = 1,00V : 2,20H

Para o cálculo da altura da onda significativa no reservatório utilizou-se o Método de Saville, que forneceu os parâmetros apresentados na Tabela 6-31.

Tabela 6-31: Parâmetros da Altura de Ondas no Reservatório, Segundo o Método de Saville

Parâmetro	Velocidade do Vento (km/h)		
	50	75	100
Maré de Vento (m)	0,01	0,02	0,03
Período (s)	1,33	1,59	1,80
Comprimento da onda (m)	2,76	3,94	5,08
Tempo de Geração (min)	4,35	3,64	3,21
Altura Significativa (m)	0,19	0,29	0,40

A condição para aplicação do método de Saville (profundidade maior do que a metade do comprimento da onda) é respeitada. Cabe ressaltar que os tempos que o vento tem que ocorrer para gerar a altura de onda significativa resultaram em valores possíveis de ocorrer, o que aumenta a confiabilidade nos valores calculados e a recomendação para o seu uso.

A partir desses parâmetros calculou-se, para as intensidades do vento adotadas, e para várias porcentagens de ondas maiores do que a significativa, os valores de:

- 1 Altura da Onda
- 2 *Run up* : altura que a onda atinge ao se chocar contra o paramento de montante do barramento, protegido por *rip rap*;
- 3 Borda Livre : soma das alturas da maré de vento e do *run up*;
- 4 *Run down* : altura de depressão da onda, medida a partir do NA, que é a altura mínima da proteção da barragem, medida abaixo do NA Máximo Normal.

Ressalta-se que pelo fato do fetch máximo estar localizado na barragem de terra da margem esquerda, adotou-se a sua inclinação do talude de montante, que é 1:2,2.

A borda livre é determinada por:

$$BL = \text{Maré de Vento} + \text{Altura da Onda}$$

Os resultados constam da Tabela 6-32.

Tabela 6-32: Resultados dos estudos de borda livre

Porcentagem de Ondas Maiores do que a Significativa	Velocidade do Vento (km/h)											
	50				75				100			
	Altura da Onda	Run Up	Borda Livre	Run Down	Altura da Onda	Run Up	Borda Livre	Run Down	Altura da Onda	Run Up	Borda Livre	Run Down
0	0,36	0,31	0,31	0,16	0,55	0,47	0,49	0,24	0,75	0,64	0,67	0,31
1	0,31	0,26	0,27	0,15	0,47	0,40	0,42	0,22	0,64	0,54	0,58	0,29
2	0,27	0,23	0,24	0,14	0,41	0,35	0,37	0,20	0,56	0,48	0,51	0,27
3	0,26	0,22	0,23	0,13	0,40	0,34	0,36	0,20	0,54	0,46	0,49	0,26
4	0,24	0,21	0,22	0,13	0,38	0,32	0,34	0,19	0,51	0,43	0,47	0,26
5	0,24	0,20	0,21	0,13	0,37	0,31	0,33	0,19	0,50	0,42	0,46	0,25
8	0,22	0,18	0,19	0,12	0,33	0,28	0,30	0,18	0,45	0,38	0,42	0,24
10	0,21	0,18	0,18	0,12	0,32	0,27	0,29	0,18	0,43	0,37	0,40	0,24
12	0,20	0,17	0,18	0,12	0,30	0,26	0,28	0,17	0,41	0,35	0,38	0,23
13	0,19	0,16	0,17	0,12	0,29	0,25	0,27	0,17	0,40	0,34	0,37	0,23

Na Tabela 6-32 encontram-se assinalados os valores mais significativos ao caso da PCH Cumbuco, que conduzem a borda livre mínima de **0,37 m**, calculada considerando o vento com velocidade de 75 km/h e 2 % de ondas maiores do que a significativa.

6.14. Assoreamento e Vida Útil do Reservatório da PCH Cumbuco

Em que pese o diminuto reservatório da PCH Cumbuco, neste item será avaliado o aporte de sedimentos ao reservatório desta PCH, com o objetivo de se estimar a sua vida útil e, também, estabelecer as ações preventivas a serem consideradas no controle de sedimentos.

A descarga sólida anual foi estabelecida com base na comparação de valores fornecidos em referências bibliográficas para a região e medições de sedimentos dos postos do rio das Mortes (Rio das Mortes, Toriqueije e Xavantina).

6.14.1.1. Produção de Sedimentos na Região Estudada

Conforme classificação sedimentológica do Mapa de Áreas de Produção de Sedimentos do Brasil (SIGEL, ANEEL), a região em que a bacia do Rio das Mortes se insere é enquadrada, preponderantemente, nas classes 3 e 5, de alta a muito alta. Há indicação, portanto, de elevada produção de sedimentos para a região estudada, acentuada pelos pela ocupação agrícola. A Figura 6-20 apresenta o referido mapa.

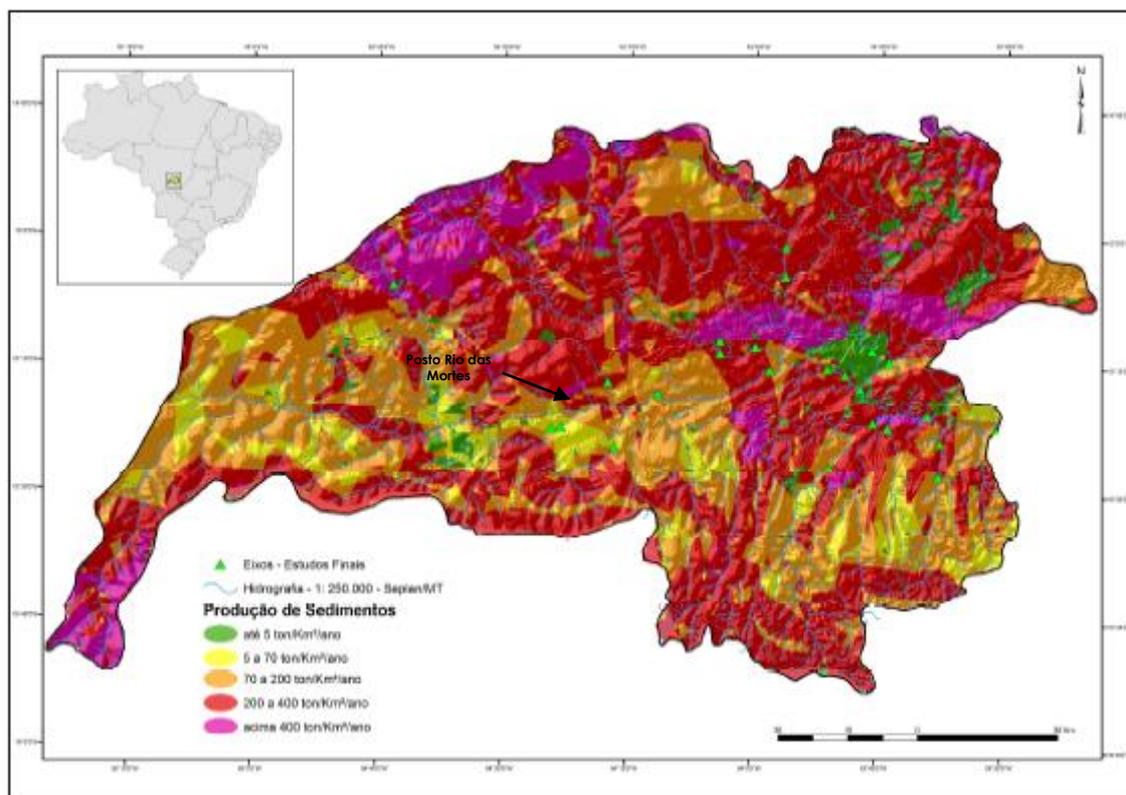


Figura 6-20: Mapa Potencial de Produção de Sedimentos na Bacia do Rio das Mortes (Fonte: Estudos de Inventário do Rio das Mortes (obtido em <http://sigel.aneel.gov.br>))

Com base na delimitação das áreas de classificação mostradas acima, pode-se obter uma estimativa aproximada de sedimentos para a região, da ordem de 211 ton/ano/km².

Tabela 6-33: Estimativa da Produção Específica de Sedimentos – Rio das Mortes

Classe	Produção Específica	% de Área	Produção Específica Ponderada (ton/ano/km ²)
1	Até 5 toneladas/km ² /ano	5%	0
2	5 a 70 toneladas/km ² /ano	10%	4
3	70 a 200 toneladas/km ² /ano	35%	47
4	200 a 400 toneladas/km ² /ano	40%	120
5	Superior a 400 ton/km ² /ano	10%	40
Total		100%	211

A Tabela 6-34 apresenta os dados dos postos utilizados, obtidos no site da ANA (Hidroweb).

Tabela 6-34: Postos do Rio das Mortes – Medições de Descargas Sólidas

Código	Nome	Rio	Município	Responsável	A.D. (Km ²)
26040000	Rio das Mortes	Rio das Mortes	Primavera do Leste	ANA	5.180
26050000	Torizeje	Rio das Mortes	Barra do Garças	ANA	17.372
26100000	Xavantina	Rio das Mortes	Nova Xavantina	ANA	25.145

Para estes postos fluviométricos, a descarga sólida medida foi obtida a partir da seguinte equação, conforme apresentado por Carvalho (1984):

$$D_{ST} = 1,824 \times D_{SM}$$
$$D_{SM} = 0,0864 \times Q \times C_s$$

Onde: D_{ST} = descarga sólida total, em t/dia; D_{SM} = descarga sólida medida, em t/dia; C_s = concentração de sólido em suspensão medida, em ppm; Q = vazão líquida.

Adotou-se o percentual de 82,4% para considerar a parcela não medida ("arraste")⁵, obtida a partir de medições realizadas na região do rio das Mortes. Abaixo seguem as curvas-chave de sedimentos representativas para o rio das Mortes.

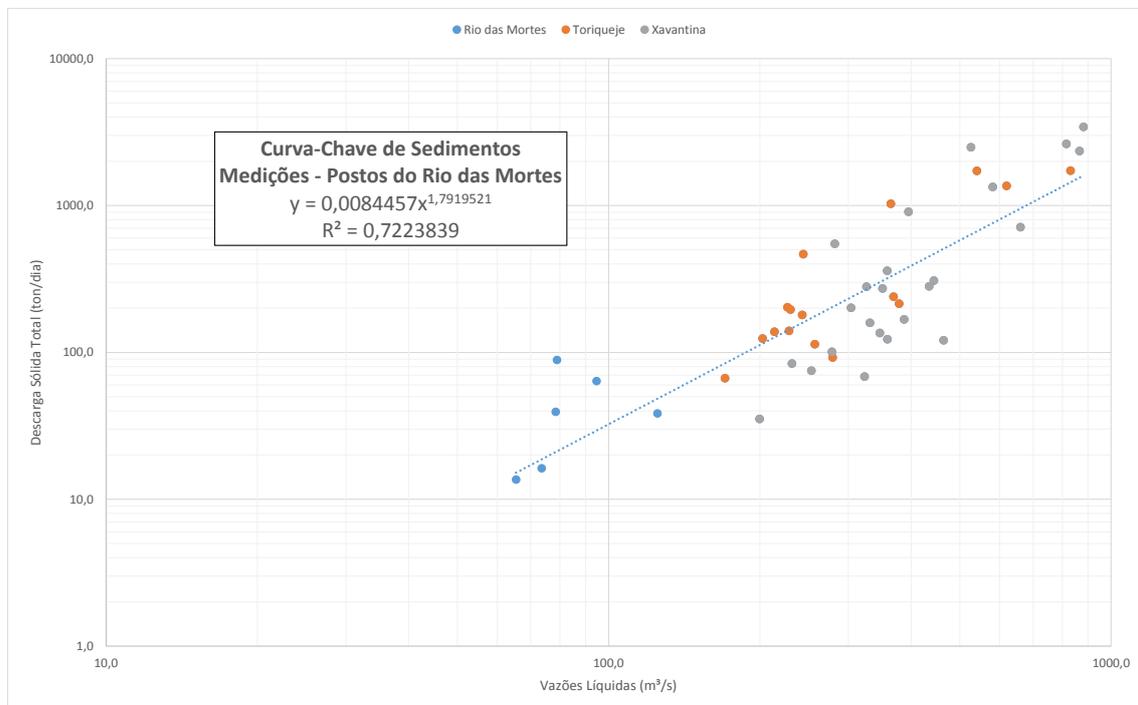


Figura 6-21: Curvas-Chaves de Sedimentos – Rio das Mortes

Aplicando-se a curva-chave de sedimentos obtida com dados dos postos do rio da Morte à série de vazões do posto Rio das Mortes (26040000), obtém-se uma produção específica média de sedimentos de 3,4 ton/ano/km², valor muito inferior ao verificado na referência bibliográfica citada, de 211 ton/ano/km², a qual será adotada no presente estudo. Tal opção, mostra-se extremamente conservadora.

⁵ Percentual obtido a partir das medições representativas para a região, realizadas no âmbito do Projeto Básico da PCH Galheiros (A.D. = 203 km²).

6.14.1.2. Peso Específico do Sedimento no Córrego Galheiros

O peso específico aparente dos depósitos de sedimentos varia de acordo com o tipo de operação do reservatório (com ou sem deplecionamento), do grau de compactação dos sedimentos (maior ou menor presença de argila e silte) e da granulometria (percentuais de cascalho, areia, silte e argila).

O peso específico dos sedimentos, em ton/m³, pode ser calculado com base nos pesos específicos das frações constituintes (cascalho, areia, silte e argila), ponderados pelos respectivos percentuais obtidos em medições:

$$\phi_{AP} = 1,750 * P_{\text{cascalho}} + 1,554 * P_{\text{areia}} + 1,121 * P_{\text{silte}} + 0,416 * P_{\text{argila}} \quad (\text{t/m}^3)$$

No presente estudo utilizaram-se medições realizadas⁶ em afluentes do rio da Morte, as quais apresentaram ensaios de granulometria do material de leito e do material em suspensão, resultando em uma densidade do material de 1,531 ton/m³, a qual será adotada como referência neste estudo.

6.14.1.3. Estimativa da Vida Útil do Reservatório

Na presente análise, foi realizada a estimativa de vida útil apenas para o volume total do reservatório da PCH Cumbuco, tendo em vista a ausência de volume disponível para assoreamento abaixo da cota da soleira da tomada d'água. Para a cota 548,30 m, o volume do reservatório associado é de 0,446 hm³.

Para efeito de cálculo, conforme demonstrado, adotou-se ϕ_{AP} igual a 1,531 ton/m³, considerando medições realizadas na região do rio das Mortes. Para determinação da Eficiência de Retenção (Er) dos Sedimentos, tendo em vista a pequena dimensão do reservatório da PCH (inferior 10 hm³), adotou-se a Curva de Churchill para volumes inferiores a 10,0 hm³, apresentada por Annandale (1987), recomendada pelo Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios (ANEEL/2000) para pequenos reservatórios. Para utilização da Curva de Churchill é necessário calcular o Índice de Sedimentação (IS) do reservatório. Este índice é calculado da seguinte forma:

$$IS = g \cdot (V^2 / (Q^2 * L))$$

Onde:

- $IS = g \cdot (V_{RES}^2 / (Q_{MLT}^2 * L))$;

- IS é o índice de sedimentação;

- V_{RES} é o volume em determinada cota, em m³;

- Q_{MLT} é a vazão média de longo termo do aproveitamento, igual a 31,0 m³/s.

- L é o comprimento total do reservatório em determinada cota, em m.

- g é a aceleração da gravidade, 9,81 m/s².

A partir dos critérios estabelecidos acima foi calculada a estimativa de vida útil do reservatório da PCH.

Cabe enfatizar que esta estimativa é excessivamente conservadora, uma vez que a capacidade de retenção de sedimentos do reservatório vai diminuindo com o tempo, na medida em que seu volume vai sendo comprometido com o sedimento depositado. Antes que o reservatório seja completamente tomado de sedimento, é estabelecido um regime de equilíbrio no qual não mais ocorre deposição, sendo todo o volume de sedimento afluente transferido para jusante.

⁶ Percentual obtido a partir das medições representativas para a região, realizadas no âmbito do Projeto Básico da PCH Galheiros (A.D. = 203 km²).

A partir dos critérios estabelecidos acima foi calculada a estimativa de vida útil do reservatório da PCH Cumbuco, conforme apresentado na Tabela 6-35.

Tabela 6-35: Estimativa de Vida Útil – PCH Cumbuco – Volume Total

Dados	Volume no NA máx. normal
Comprimento do reservatório (m)	1.100,00
Vazão média de longo termo (m³/s)	62,80
Volume do reservatório - (m³)	446.000
Área da seção transversal média (m²)	405
DST estimada para o local do AHE (t/ano)	469.475
Área de drenagem (km²)	2.225
Período de retenção (segundos)	7.102
Velocidade média do reservatório (m/s)	0,155
Curva de cálculo utilizada	CHURCHILL
IS - Índice de sedimentação - CHURCHILL	4,59E+04
ISg - gravidade - CHURCHILL	4,49E+05
Er - Sedimentos retidos no reservatório (%) - CHURCHILL	8,93
Sedimentos retidos no reservatório (m³/ano)	27.398
Tempo de Assoreamento (anos)	16

Os resultados obtidos indicam a existência de um pequeno volume passível de assoreamento. Com isso, recomenda-se a previsão de dispositivos para limpeza periódica do diminuto reservatório. Além disso, tendo em vista o pequeno comprimento do reservatório (apenas 1.100 m), não haverá tempo para deposição das partículas sólidas, inclusive, de algumas frações de areias, o que torna recomendável a previsão de dispositivo para proteção da tomada d'água de controle.

7. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Este capítulo apresenta os estudos e resultados dos levantamentos Geológico-Geotécnicos executados em campo, com objetivo de subsidiar a elaboração dos estudos de projeto básico da PCH Cumbuco.

Os estudos regionais permitiram o reconhecimento dos aspectos geológicos e geomorfológicos da bacia hidrográfica onde está inserido o aproveitamento, enquanto que os estudos locais permitiram a definição das características do sítio em estudo.

7.1. Caracterização Regional

Para caracterização geológica da área dos estudos foi feita uma pesquisa bibliográfica para obtenção dos dados técnicos, compreendendo mapas temáticos, cartas topográficas e imagens de satélite, permitindo a compreensão das características regionais da bacia no tocante à geologia, geomorfologia, ocorrência de recursos minerais, sismicidade regional e outros aspectos de interesse.

Os estudos primários no sítio da PCH Cumbuco consistiram no levantamento em campo de informações geológico-geotécnicas, visando à identificação das espessuras de solo e a caracterização do maciço rochoso, cujos resultados foram utilizados para o projeto básico.

Foi realizado um levantamento geológico-geotécnico a partir de consultas aos arquivos e bibliotecas dos principais órgãos públicos da área de geologia, em especial o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM, a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e a Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN/MT.

Os seguintes documentos e referências bibliográficas serviram com base para composição desse capítulo e confecção dos desenhos do projeto:

- Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha Cuiabá – SD.21, escala 1:1.000.000, executada pelo MME-DNPM, 1979;
- Projeto RADAMBRASIL – Levantamento de Recursos Naturais – Vol. 26 – Folha SD.21 – Cuiabá – 1982;
- Geologia do Brasil, Texto e Mapa Geológico do Brasil, em escala 1:2.500.000, executado pelo MME-DNPM, 1984;
- Mapa Geológico escala 1:1.000.000 – GEOBANK – CPRM, 2004;
- Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha Cuiabá – SD.21, escala 1:1.000.000, executada por MME/SMM/CPRM, 2004;
- Geologia e Recursos Minerais do Estado do Mato Grosso – SIG-MME-CPRM, 2004;
- Diagnóstico Ambiental da Região de Cuiabá/Várzea Grande e Entorno (MT) – CPRM/UFMT, 2006;
- Mapa Geomorfológico do Estado de Mato Grosso – Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – IBGE – 2009.

A análise dos dados, a interpretação das investigações de campo e os mapeamentos de superfície permitiram que se identificasse a geologia regional e local, bem como que fossem definidas as características geológico-geotécnicas das fundações das diversas estruturas previstas no projeto básico da PCH Cumbuco. Com base nessa análise foram elaborados os mapas geológico e geomorfológico regional, as seções geológico-geotécnicas pelas principais estruturas e as definições das áreas de bota-fora para abrigar os excedentes das escavações.

7.2. Geologia Regional

A área estudada encontra-se inserida na Bacia Sedimentar do Paraná a qual se comporta como uma unidade geotectônica, com evolução registrada a partir do final do Pré-Cambriano, após a estabilização da Plataforma Sul-Americana. Segundo a maioria dos pesquisadores, esta bacia representa uma depressão intracratônica simétrica, cujo eixo principal de deposição se alinha numa direção aproximada NNE-SSW e NS, refletindo um padrão estrutural com visíveis deslocamentos de blocos e falhamentos escalonados, próprios dos estilos paratectônicos.

A Bacia Sedimentar do Paraná é formada por uma variedade muito grande de litologias, desde o Paleozóico até o Cenozóico, as quais nos estudos regionais da PCH Cumbuco são representadas pelas seguintes unidades litológicas: Grupo Paraná – Formação Ponta Grossa, Formação Aquidauana, Grupo Bauru Indiviso e Cobertura Detrito Laterítica, posicionadas segundo a coluna litoestratigráfica apresentada na Tabela 7-1.

Tabela 7-1: Coluna Litoestratigráfica (CPRM, 2004)

EON	ERA	PERÍODO	DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	Cobertura Detrito Laterítica (Nqdl): Laterita com concreções ferruginosas; níveis de cascalho e horizontes mosqueados.
	Mesozóico	Cretáceo	Grupo Bauru Indiviso (K2b): Arenito fino com intercalações de siltito, argilito, arenito conglomerático e conglomerado, marrom a bege, róseo ou cinza esverdeado, calcirudito, calcarenito e calcilutito.
	Paleozóico	PermoCarbonífero	Formação Aquidauana (C2P1a): Arenitos com níveis conglomeráticos e intercalações de siltitos, argilitos, diamictitos e folhelhos. Ocorrência de camadas descontínuas de silexito em matriz arenosa.
	Paleozóico	Devoniano	Grupo Paraná-Formação Ponta Grossa (Dpg): Arenitos finos a muito finos com intercalações de siltitos, argilitos e delgados níveis conglomeráticos.

Formação Ponta Grossa (Dpg)

Esta formação, no estado do Mato Grosso, aparece cobrindo uma faixa descontínua a partir da cidade de General Carneiro, para norte, com até cerca de 40 km de largura. Seu contato inferior, com a Formação Furnas, é concordante e gradacional e, em alguns casos, é feito através de falha, como nas proximidades da cidade de Barra do Garças e General Carneiro. O contato superior, com a Formação Aquidauana, normalmente é discordante erosivo e outras vezes, ocorre por falhamentos de gravidade.

Ocorre no extremo leste da área estudada. Os clásticos finos são os tipos litológicos que ocorrem com maior incidência dentro da referida unidade. São argilitos, folhelhos, siltitos e arenitos muito finos, que se intercalam ao longo de todo o pacote. O horizonte superior, quando exposto, é marcado por uma capa detrito-laterítica de 2 a 3 m de espessura, onde ocorre razoável concentração de óxido de ferro.

Os siltitos, folhelhos e argilitos são de cores variadas, predominando as amareladas e marrons avermelhadas. Exibem laminação muito bem desenvolvida e alto conteúdo de micas.

Os arenitos são de cor branca, cinza, amarela ou marrom. Apresentam granulação fina, com grãos bem selecionados, contendo feldspatos, micas, e, em alguns pontos, concentrações de óxido de ferro. Exibem estratificações plano-paralelas e cruzadas de baixo ângulo e, localmente, leitons ondulados desenvolvidos por efeito da compactação diferencial.

Formação Aquidauana (C2P1a)

Ocorre na porção centro-leste e sudeste da área dos estudos e apresenta uma superfície geralmente plana ou em escarpa em degrau, coberta quase sempre por vegetação do tipo cerrado. Nas regiões afetadas por falhamentos, a topografia torna-se acidentada, evidenciando, com isso, corpos tabulares que desenvolvem abruptos paredões.

Sua espessura varia na região de 200 a 700 m, recobrando discordantemente a Formação Ponta Grossa e sendo recoberta, também de forma discordante, pela Formação Palermo.

Litologicamente, evidencia-se na Formação Aquidauana, como um todo, a presença de arenitos com níveis conglomeráticos e intercalações de siltito e argilito; subordinadamente, ocorrem lentes de diamictitos e silexito, supostamente de origem glacial. A deposição ocorreu entre o Carbonífero Superior (Stephaniano) e o Permiano Inferior (Sakaniano), em ambiente continental, fluvial e lacustre, em parte com contribuições glaciais.

Gonçalves & Schneider (1970) identificaram, nesta unidade, três conjuntos litológicos distintos, localmente com posicionamento definido.

- O conjunto inferior é constituído por arenitos vermelho-arroxeados, às vezes esbranquiçados ou avermelhados, médios a grosseiros, feldspáticos e argilosos, com níveis conglomeráticos (localmente delgado conglomerado basal) e com intercalações subordinadas de siltitos e diamictitos finos e médios, os quais podem ser vistos em afloramentos ao longo da estrada que liga Barra do Garças a Toricoejo;
- O pacote mediano da sequência mostra uma intercalação de arenitos e pelitos que englobam, muitas vezes, lentes de diamictitos. A fração pelítica é representada por delgadas camadas de argilitos e siltitos finamente estratificados, micromicáceos, de coloração róseo-avermelhada ou vermelho arroxeadado. Secundariamente, ocorrem arenitos arcoseanos e folhelhos cinza a cinza-esverdeados. Ao norte de Toricoejo, os argilitos demonstram um fraturamento de conformação concêntrica, que dá ligeira impressão de esfoliação esferoidal;
- No conjunto superior, predominam novamente sedimentos arenosos vermelho-arroxeados, só que de granulação mais fina e melhor selecionados.

Grupo Bauru Indiviso (K2b)

O Grupo Bauru, entre a região da Chapada dos Guimarães e Paredão Grande (município de General Carneiro), assenta em discordância erosiva sobre unidades mais antigas e é passível de individualização em quatro unidades conforme Weska et al. (1988), Godoy et al. (2003) e Costa et al. (2003). Todavia, não existem mapeamentos cuja cobertura permita uma compilação e integração com imagens de sensores remotos, de modo que esta divisão possa ser representada e discutida. Perfis elaborados nas regiões da Fazenda Chafariz, Cachoeira do Bom Jardim, Dom Aquino e Poxoréo permitiram a consolidação da propriedade da divisão proposta em quatro

formações: Paredão Grande, Quilombinho, Cachoeira do Bom Jardim e Cambambe. Entretanto, por questão de escala, apenas a Paredão Grande foi individualizada como Suíte Magmática, ficando as restantes como Bauru Indiviso.

Esses sedimentos depositaram-se no Cretáceo Superior e afloram na porção oeste da área, onde se assentam discordantemente sobre as Formações Aquidauana e Ponta Grossa. Sua base é constituída por conglomerado mal classificado, sustentado por matriz calcífera-argilosa (calculutito) e calcífera-arenosa (calcarenito), com seixos arredondados de quartzo, quartzitos e rochas básicas. A ele sobrepõe-se arenitos de granulação média a fina, de cor creme-avermelhado, mal classificados, bem arredondados, de alta esfericidade, localmente calcíferos e intercalações de siltito e argilito. Níveis de sílex oolítico são bastante comuns. As estruturas sedimentares estão pobremente expostas, predominando entre elas, as tabulares, as laminações plano-paralelas e as cruzadas.

Cobertura Detrito Laterítica (NQdl)

Ocorre dispersamente por quase toda a área, tendo a maior exposição na parte central, onde ocorre sobre os sedimentos da Formação Aquidauana. Geralmente ocupam interflúvios de extensas áreas peneplanizadas, conhecidas regionalmente como chapadões e chapadas, desenvolvidas durante o Tércio-Quaternário.

As superfícies aplainadas são constituídas predominantemente por solos argilo-arenosos de tonalidade avermelhada, ricos em concreções ferruginosas, além de níveis de argilas coloridas e areias inconsolidadas.

Os lateritos imaturos, quando em perfis completos e preservados, modelam grande arte do relevo atual. Apresentam a sua parte superior (horizonte colunar/concrecionário) aflorante, configurando a parte elevada do relevo. Em certas áreas, onde a parte superior está mais espessa e endurecida e houve maior entalhamento da drenagem, observa-se a formação de um relevo tendendo a platôs. Nas encostas, aflora a parte mediana dos perfis (horizonte mosqueado), podendo estar parcialmente recoberta por colúvios/alúvios areno-argilosos. Suas espessuras variam desde poucos decímetros a até, no máximo, 50 m.

7.3. Geotectônica e Geologia Estrutural

A bacia hidrográfica do rio Cumbuco está inserida integralmente no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná. As unidades constituintes e formadoras desta área refletem sua evolução tectônica e estão relacionadas aos domínios estruturais, muitas vezes distribuídas de forma linear ou entrecortadas.

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica que apresenta um histórico de evolução tectonossedimentar policíclico, que ocorre do Paleozóico ao Mesozóico e que se encontra situada no centro-leste da América do Sul.

Com formato alongado na direção NE-SW, a Bacia do Paraná desenvolveu-se totalmente inserida sobre a crosta continental, na plataforma Sul-Americana. Sua evolução está relacionada com um período de estabilização tectônica após os eventos metamórficos e magmáticos do Ciclo Brasileiro.

O limite noroeste da bacia, objeto desses estudos trata do cinturão de dobramentos do Paraguai-Araguaia (Pré-Cambriano Superior/Ordoviciano), que possivelmente agiu como uma barreira topográfica para a sedimentação. Os outros limites da bacia delimitam áreas onde os estratos encontram-se sobrepostos às rochas cristalinas de províncias cratônicas ou de faixas móveis de embasamento Pré-Cambriano.

O embasamento da Bacia do Paraná é dominado por um marcante padrão de feições lineares que se entrecruzam. Esses lineamentos podem ser divididos em três grupos, definidos por três

direções principais, NW-SE, NE-SW e E-W. Esses lineamentos constituem falhas, responsáveis pela evolução e controle de todos os aspectos geológicos da Bacia do Paraná (Zálan et al., 1990). Os lineamentos de direção NW-SE e NE-SW são os mais importantes e constituem as zonas de fraqueza mais antigas e extensas que foram recorrentes e ativas durante a evolução da bacia. A ocorrência de grandes diques e deformação associada é típica de zona de falha com direção NW. O padrão estrutural das zonas de falha NE é retilíneo, com ausência de diques e deformações associadas. Os lineamentos E-W são pouco compreendidos na Bacia do Paraná, entretanto, Zálan et al.(1990) sugerem a importância da Influência desses lineamentos na atual arcabouço estrutural da bacia.

7.4. Geomorfologia Regional

A similitude de formas de relevo e seu posicionamento altimétrico relativo, aliados as condicionantes de natureza estrutural, litológica e a traços genéricos comuns, constituem os elementos básicos para a definição de unidades geomorfológicas.

Estão presentes na área em estudo duas Unidades Geomorfológicas, definidas como Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas e Depósitos Sedimentares Quaternários.

A visível correlação entre nível altimétrico e características geomorfológicas, litológicas e geotectônicas na área levou à compartimentação da unidade morfoestrutural Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas em uma unidade morfoescultural denominada Planalto dos Alcantilados – Alto Araguaia 1 e Planalto dos Alcantilados – Alto Araguaia 2.

O Planalto dos Alcantilados é formado por um conjunto de relevo muito dissecado, elaborado em litologias sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Formação Aquidauana, Formação Ponta Grossa, Grupo Bauru e Formação Botucatu. A área toda foi fortemente influenciada pela tectônica, o que originou patamares estruturais posicionados em diferentes níveis altimétricos e escarpas associadas a linhas de falha.

A alta bacia do rio das Mortes, em especial, caracteriza-se com formas de acumulação e erosão com suave dissecção que representam em sua maioria formas tabulares e superfícies pediplanadas. Relevo de topo aplainado, com diferentes ordens de grandeza e aprofundamento de drenagem separado por vales de fundo plano. No entanto, não existem pontos com destaque de cotas elevadas, ficando com altitude média de 610 metros.

As principais formas erosivas da bacia estão associadas ao alto curso das drenagens contribuintes da porção norte e noroeste do domínio espacial da alta bacia do rio das Mortes, rios Suspiro e Cumbuco, apresentando superfície erosiva tabular com ressaltos topográficos.

Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas – Planalto dos Alcantilados – Alto Araguaia 1

O modelado neste compartimento em que afloram sedimentos do Grupo Bauru e sedimentos da Formação Aquidauana é menos dissecado, resultando em formas de relevos tabulares amplos e formas de topos convexos, medianamente extensos, fracamente entalhados pela rede de drenagem.

A chapada é contornada por relevo escarpado e na parte noroeste, nas cabeceiras do rio Cumbuco, afluente da margem esquerda do rio das Mortes, junto ao traçado da BR-251, as escarpas têm vertentes sustentadas por cristas e colinas estreitas alinhadas, resultantes de produtos de falhamentos.

Esse modelado ocupa grande parte da área em estudo, principalmente em toda região do rio Cumbuco, onde está prevista a futura implantação da Pequena Central Hidrelétrica Cumbuco.

Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas – Planalto dos Alcantilados – Alto Araguaia 2

O modelado deste compartimento, predominantemente, afloram os sedimentos arenosos da Formação Aquidauana. Ocupa toda porção leste da área em estudo, sobretudo na região da rodovia MT-110, englobando as localidades de Vila Paredão, Toricoejo e Novo São Joaquim.

Trata-se de um modelado formado por um conjunto de formas de relevo de topos tabulares, com aprofundamento das incisões fracas e densidade das drenagens grosseiras.

Depósitos Sedimentares Quaternários – Planície Amazônica-Planície Fluvial

As Planícies Fluviais dividem-se em Planície Aluvionar Meandriforme (Pmd), distribuída de maneira contínua na calha principal do rio das Mortes e abrangendo cerca de 6% da área de estudo; e, Planície Fluvial, de ocorrência restrita (1%), apresenta-se na cabeceira do extremo norte da rede de drenagem e no encontro dos rios Cumbuco, Suspiro e das Mortes. Essas unidades desenvolvem-se sobre sedimentos aluvionares recobertos por solos aluvionares predominantemente arenosos e pontos isolados de afloramentos rochosos (FM. Aquidauana), e de áreas encharcadas; e áreas deprimidas sujeitas a alagamentos periódicos. Ocorre nos vales com preenchimento aluvial holocênico.

7.5. Recursos Minerais

Foi feita uma pesquisa no Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM no mês de Abril/2016 para se determinar a presença e a fase em que se encontram os processos minerários nas proximidades do sítio de barramento.

Verificou-se que na área de influência do reservatório da PCH Cumbuco, não se encontram processos minerários em andamento (fonte: DNPM/SIGMINE).

7.6. Sismicidade Natural e Induzida

Os eventos sísmicos brasileiros são, de modo geral, de pequena magnitude (4,5 na escala Richter) e, comumente ocorrem em baixas profundidades (30 km), sendo, por isso, sentidos até poucos quilômetros do epicentro, respondendo ao padrão de sismicidade esperado para regiões de interior de placas tectônicas.

A implantação de usinas hidrelétricas exige estudos prévios das características sísmicas da região, a fim de se conhecer o risco sísmico para as estruturas a serem futuramente construídas. Nesse aspecto, tanto a sismicidade natural (SN), como sismicidade induzida por reservatórios (SIR) assumem importância dentro dos estudos prévios.

A sismicidade natural compreende a liberação repentina de energia na crosta terrestre, atribuída à ruptura do tipo rígido de maciços rochosos submetidos à concentração de tensões em profundidade. Trata-se de processos naturais de geração e propagação de ondas sísmicas em consequência dos movimentos da litosfera, sendo frequentemente destrutivos na superfície terrestre, em que a ocorrência se verifica quando as tensões ultrapassam o limite de resistência ao cisalhamento, e blocos de rocha se rompem, preferencialmente ao longo de planos de descontinuidades pré-existentes, gerando vibrações que podem afetar ou não a superfície terrestre.

A sismicidade induzida é aquela atribuída às obras de engenharia de grande porte, incluindo principalmente grandes reservatórios de acumulação de água, como os das usinas hidrelétricas. Dependendo da intensidade, as vibrações provocadas pelas obras, além de transtornos para a população, também podem afetar as estruturas construídas e os equipamentos mecânicos instalados, sendo que um número razoável de empreendimentos hidrelétricos brasileiros possui equipamentos e estações sísmicas instaladas ao redor de seus reservatórios. Alguns sismos induzidos já foram registrados no Brasil, em algumas usinas hidrelétricas.

Embora seja um fenômeno raro, a sismicidade induzida por reservatórios (SIR) é considerada um risco potencial, dado que anteriormente acreditava-se que os lagos artificiais só podiam gerar sismos de pequena magnitude, associados exclusivamente ao peso da água neles contida (barragens de alturas superiores a 100 m e volumes maiores de 1 bilhão de m³ de água; Oborn, 1994). Constatou-se, posteriormente, que não se pode descartar a hipótese de uma relação entre “abalos sísmicos” e enchimento de reservatórios. Por isso, o estudo da SIR tornou-se um campo de particular importância para as pesquisas sismológicas.

A formação de reservatórios, alterando as condições estáticas do substrato rochoso do ponto de vista mecânico (em virtude do próprio peso da massa d'água) e do ponto de vista hidráulico (em consequência da infiltração do fluido na subsuperfície), pode causar pressões internas nas camadas rochosas profundas, capazes de desencadear distúrbios tectônicos, caso as condições geológicas locais sejam propícias.

A SIR é, portanto, um fenômeno dinâmico resultante da interação complexa das novas forças induzidas pela formação de um lago, que passam a interferir sobre o regime de forças naturais previamente existentes. Não se sabe, ao certo, se o reservatório formado apenas antecipa a ocorrência de abalos sísmicos que viriam a ocorrer naturalmente de qualquer maneira, ou se pode também alterar a magnitude dos sismos.

Embora sejam facilmente identificáveis por instrumentos específicos, a constatação dos seus danos em superfície torna-se difícil, sobretudo pela energia extremamente dissipada, incapaz de produzir efeitos possíveis de mensuração e evidentemente desprezíveis no que concerne às estruturas de barragens existentes e futuras nessa região ou proximidades.

Nos estudos em tela pode-se concluir que a sismicidade natural de toda a região é baixa e que os registros de abalos existentes estão relacionados à presença de zonas sismogênicas. Quanto aos sismos induzidos, considerando em particular a região geologicamente estável do reservatório da PCH Cumbuco, não é de se esperar a ocorrência de abalos decorrentes do mesmo. No entanto, tem sido costume usual nos projetos de grandes barragens brasileiras a adoção do valor para aceleração horizontal de 0,005g e aceleração vertical de 0,003g (para $g=9,81 \text{ m/s}^2$).

A Figura 7-1 apresenta um mapa de localização de sismos com magnitude superior a 3,0 mR (Richter) e macrosismos históricos ocorridos no Brasil (Tomado do site www.obsis.unb.br, 2009).

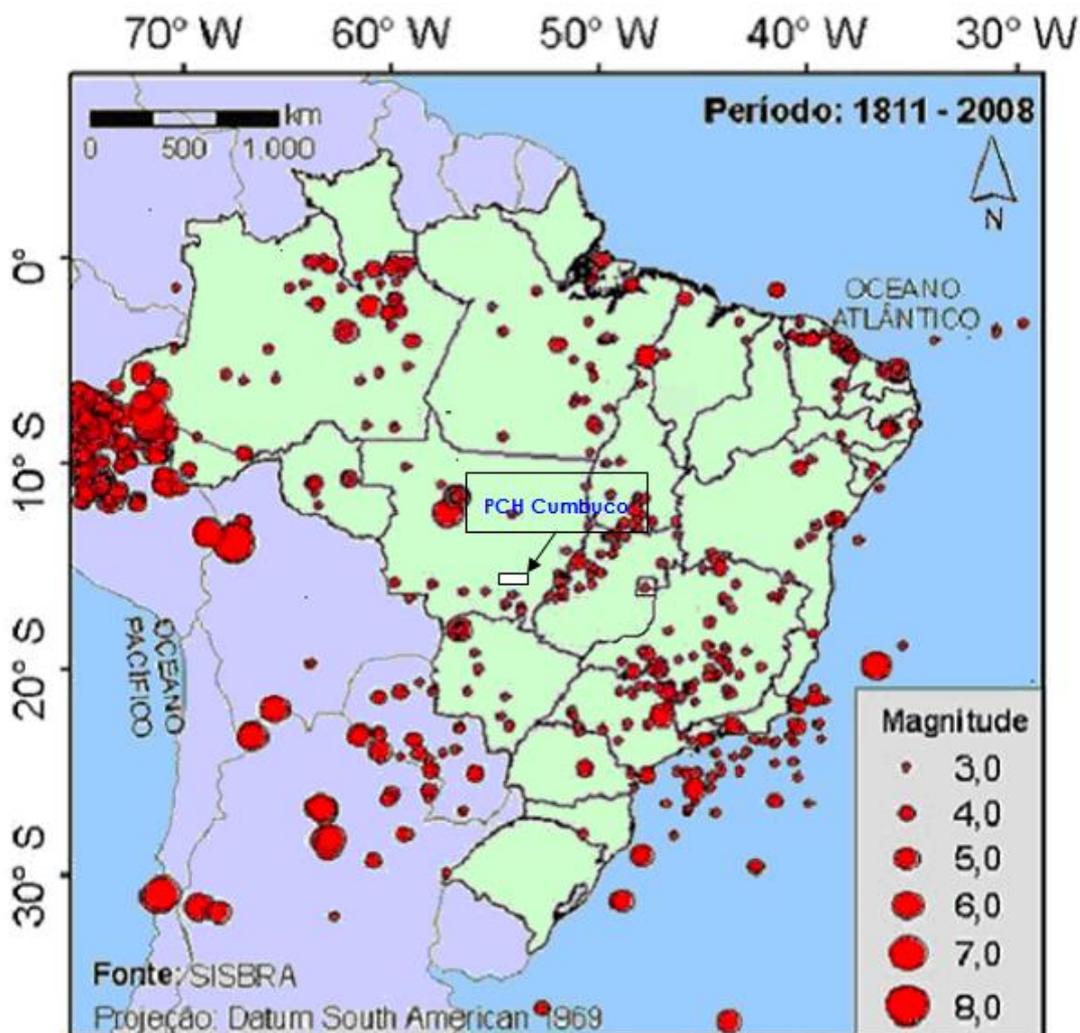


Figura 7-1: Sismos no Brasil

7.7. Estanqueidade do Reservatório

O reservatório da PCH Cumbuco deverá ocupar uma área cuja litologia é constituída pelas rochas da Formação Aquidauana, correspondentes a arenitos muito finos a médios com intercalações locais de siltitos e diamictitos. Em superfície, ocorrem solos arenosos mais permeáveis que poderiam se constituir em fugas preferenciais. Contudo, esses solos deverão ser removidos localmente por ocasião da construção do barramento. Nos trechos dentro do reservatório, porém fora da área de barragem, em função da grande espessura destes solos, a percolação d'água poderá ser significativa. O maciço rochoso de fundação do reservatório é, de maneira geral, pouco a medianamente fraturado e pouco permeável, não permitindo fugas em potencial por este material.

Nessa área não foi constatada a presença de cavidades e outras estruturas geológicas, nem mesmo corpos de sedimentos de cobertura com permeabilidade alta, tais como terraços aluviais, os quais, associados a determinadas situações topográficas, possam constituir elementos favoráveis para a fuga de água do reservatório em volumes consideráveis.

7.8. Estabilidade das Encostas

Foi realizada uma avaliação integrada da área do entorno do reservatório, com o intuito de se avaliar a estabilidade das encostas naturais mais imediatas ao mesmo.

A avaliação foi feita com base nas considerações regionais descritas nos itens anteriores, complementada pela interpretação de fotos aéreas, imagens de satélite e observações "in loco", tomadas durante a etapa de campo dos estudos de projeto básico. Foram consideradas as feições do relevo, as características do solo, a ocupação e uso atual da área.

O reservatório da PCH Cumbuco apresenta, em geral, encostas íngremes em suas margens próximas à área da barragem. Localmente, ocorrem taludes com maior declividade, o que pode gerar alguma instabilidade em função da presença de materiais arenosos e erodíveis em superfície.

Os remanescentes florestais existentes às margens do rio Cumbuco mostram uma vegetação de mata ciliar, em grande parte preservada e não deverá ser afetada pelo nível operacional do reservatório.

7.9. Geologia Local

7.9.1. Investigações Geológico-Geotécnicas Executadas

As investigações foram executadas pela empresa NACON Sondagens. Foram executadas 6 sondagens mistas, com comprimento total de perfuração igual a 85,38 m, 6 sondagens a percussão totalizando 17,85 m de perfuração e 6 sondagens a trado para pesquisa de área de empréstimo, totalizando 18,0 m de perfurações. Foram executados ainda ensaios geotécnicos de laboratório, cujo relatório específico dessas investigações está apresentado no **Volume 3 – Tomo II** deste relatório de Projeto Básico.

7.9.2. Interpretação dos Resultados das Investigações Geológico-Geotécnicas

As investigações indicaram a presença de locais com espesso capeamento de solo residual e de alteração de arenito/argilito, sobre o maciço rochoso de argilito/silexito pertencentes à Fm. Aquidauana. As sondagens à percussão foram executadas ao longo do traçado do canal de adução, barragem da margem esquerda e canal de fuga.

O maciço rochoso de arenito/argilito ocorre aflorando somente no leito do rio e junto às suas margens, sendo que no leito do rio os afloramentos são constituídos de lajedos descontínuos de arenito/silexito.

O solo residual/alteração em geral é composto por areia argilosa marrom a cinza, com índices de SPT variando de 4 a 8 golpes/30 cm finais de penetração, mostrando um solo fofo a pouco compacto. O solo de alteração subjacente é constituído por areia fina ou argila siltosa, com ocasionais níveis de silexito e índices de SPT variando de 5 a 31 golpes/30 cm finais de penetração, mostrando um solo de compactidade variando de pouco compacto a compacto.

O maciço rochoso de arenito/argilito subjacente até a profundidade investigada apresenta uma granulação fina, medianamente a muito alterado e medianamente a pouco coerente (A2/A4, C2/C4) e pouco a extremamente fraturado (F2/F5).

Nas sondagens SM-CB-01 a SM-CB-04 foi observada a ocorrência de uma camada de sílica-microcristalina, constituída de fragmentos de material silicoso em matriz de solo arenoso, pouco coerente, cuja camada desse material atinge uma espessura de 10,0 m, de acordo com as sondagens SM-CB-02 e SM-CB-04.

Esse material deverá ser mais bem investigado nas outras fases de projeto, pois pode se constituir de material que necessite de um tratamento mais rigoroso, devido suas baixas características geomecânicas, conforme resultados apresentados nas sondagens.

7.10. Condições Geológico-Geotécnicas das Fundações Estruturais

Neste item são descritas as condições de fundações previstas nas principais estruturas que compõem o arranjo das obras, que estão divididas entre as duas margens do rio e seu leito. As considerações foram feitas como base nas investigações executadas em profundidade e as informações obtidas com o mapeamento geológico de superfície.

7.10.1. Barragem de Terra

A barragem de terra deverá ter um comprimento de aproximadamente 210,00 m, ocupando o trecho compreendido entre a lateral esquerda das adufas de desvio, passando pelo leito do rio e prolongando-se até a ombreira esquerda. Complementando essa estrutura, foi previsto um pequeno trecho de barramento, de aproximadamente 7,00 m de comprimento, fechando a ombreira direita.

Suas fundações serão assentadas unicamente sobre solos de alteração de silcrete com valores de SPT acima de 5 golpes/30 cm finais de penetração, prevendo-se a remoção integral dos solos superficiais com valores de SPT inferiores e, em seguida, um tratamento rigoroso das fundações. O trecho de fundação em solo deverá ser regularizado, e na ocorrência de eventuais "bolsões" de material mole, os mesmos deverão ser removidos. No trecho de fundação em rocha, os tratamentos preveem limpeza com jatos de ar e água, remoção de materiais incoerentes, regularização com concreto e execução de eventuais injeções rasas de consolidação.

Ao longo do barramento, deverá ser executada uma trincheira de vedação (cut-off), até atingir profundidades que possam dar segurança quanto à percolação d'água pela fundação.

Nesta fundação, é prevista uma cortina de injeção a ser executada a partir do fundo do cut-off, que terá a finalidade de diminuir possível percolação.

7.10.2. Adufas de Desvio

Essa estrutura, prevista na margem direita do rio, apresenta um comprimento de 10,30 m e deverá ser assente na cota 536,50 m. Nessa cota, a fundação é composta por argilito, medianamente alterado e pouco a medianamente fraturado, de acordo com os resultados apresentados na sondagem SMCB-02.

Em sua fundação deve ser previsto o tratamento por meio de uma limpeza com jatos de ar e água, remoção de eventuais "bolsões" de material pouco consistente, execução de camada de regularização em concreto, cortina de injeção e eventuais injeções rasas, com a finalidade de preencher os vazios e consolidar o maciço rochoso da fundação.

7.10.3. Vertedouro

Está posicionado na margem direita do rio, com comprimento de 52,00 m, interligado em seu lado esquerdo com a estrutura das adufas de desvio e com o muro de ligação em seu lado direito.

Suas escavações deverão ser previstas até o topo rochoso, onde deverá ser assente em maciço rochoso de silcrete, composto por fragmentos de rocha, formando uma camada coesa de elevada dureza, com cavidades centimétricas interligadas, em matriz de solo arenoso, de acordo com os resultados apresentados nas sondagens SMCB-02.

São previstos tratamentos com limpeza com jatos de ar e água, remoção de eventuais "bolsões" de material pouco consistente, regularização em concreto, eventuais injeções de consolidação e cortina profunda de injeções.

O canal de aproximação deverá ser escavado até a cota 545,00 m, com inclinação de 1,0V:1,5H, em maciço rochoso de silcrete. São previstos tratamentos dos taludes por meio da execução de drenagens, eventuais chumbadores e concreto projetado.

O canal de restituição deverá ser escavado até o topo rochoso, com as mesmas características e os mesmos tratamentos previstos para o canal de aproximação.

7.10.4. Muro de Ligação

O muro de ligação aqui discutido deverá ligar a estrutura do vertedouro com a tomada de controle, devendo ter um comprimento de 31,50 m e altura máxima prevista de 8,80 m. Deverá ser assente em maciço rochoso de silcrete.

Deverá ser previsto tratamento por meio de limpeza com jatos de ar e água, remoção de eventuais "bolsões" de material pouco consistente, execução de camada de regularização em concreto, cortina de injeção e eventuais injeções rasas, com a finalidade de preencher os vazios e consolidar o maciço rochoso da fundação.

7.10.5. Tomada d'Água de Controle

Suas escavações deverão atingir a cota 542,00 m, onde se assentará em maciço rochoso de argilito medianamente alterado e pouco a medianamente fraturado, de acordo com os resultados apresentados na sondagem SMCB-02.

Nessa fundação é previsto o tratamento por meio de limpeza com jatos de ar e água, remoção de eventuais "bolsões" de material pouco consistente, execução de camada de regularização em concreto, cortina de injeção e eventuais injeções rasas, com a finalidade de preencher os vazios e consolidar o maciço rochoso da fundação.

7.10.6. Canal de Adução

O canal de adução será implantado na margem direita e deverá ter um comprimento de aproximadamente 3.100 m. A escavação do fundo do canal será iniciada na cota 543,20 m e terminará na entrada da câmara de carga na cota 543,06 m. Será escavado totalmente em rocha alterada mole (silcrete), com intercalações de solo de alteração e blocos de sílica, com inclinação do talude de 1,0V:1,5H e largura na base de 7,70 m.

No trecho em rocha, os taludes deverão ser revestidos com concreto projetado e no trecho em solo sua fundação deverá ser drenada e seus taludes e piso deverão ser revestidos com manta geomembrana de PEAD.

7.10.7. Câmara de Carga e Tomada d'Água

A câmara de carga terá comprimento de 34,80 m e largura de 35,40 m, devendo ser escavada até a cota 536,00 m. Nesta elevação ocorre o maciço rochoso de silcrete com intercalações de argilito, composto por blocos de rocha com intercalações de solo de alteração, de acordo com os resultados apresentados na sondagem SMCB-04.

A estrutura da tomada d'água, em sequência da câmara de carga, deverá ter um comprimento de 6,30 m e largura de 14,00 m e terá fundações escavadas até a cota 537,00 m. Nesta elevação ocorre o mesmo maciço rochoso previsto para a câmara de carga.

Nessas fundações são previstos tratamentos por meio de limpeza com jatos de ar e água, remoção de eventuais "bolsões" de material pouco consistente, camada de regularização em concreto, cortina de injeção e eventuais injeções rasas, com a finalidade de preencher os vazios e consolidar o maciço rochoso da fundação.

7.10.8. Conduto Forçado

Os condutos forçados se apresentam como 2 tubos de aço com diâmetro de 4,20 m cada. Serão assentes ao longo da cota 538,00 m, em maciço rochoso de silcrete com intercalações de argilito, composto por blocos de rocha com intercalações de solo de alteração, de acordo com os resultados apresentados na sondagem SMCB-05.

Na descida para a casa de força, o maciço rochoso se torna mais competente, o que seguramente evidenciará maiores dificuldades de escavação, confirmado pelos resultados da sondagem SMCB-05.

7.10.9. Casa de Força e Canal de Fuga

A casa de força deverá ter suas escavações obrigatórias previstas até as cotas 514,00 e 512,50 m, devendo seu piso inferior assentar-se em maciço rochoso de silcrete/argilito, resistente após as remoções dos capeamentos de solo e rocha que recobrem a fundação da estrutura.

Os resultados da sondagem SMCB-06, executada na região da casa de força, indicam que o maciço rochoso de silcrete/argilito, na cota de fundação, possui características geológico-geotécnicas adequadas, pois se trata de material pouco alterado e de alta resistência para suporte dessa estrutura.

Será previsto como tratamento das fundações a regularização dos pisos com concreto. Injeções de consolidação somente deverão ser executadas caso seja verificada a necessidade de aumentar a resistência do maciço após a conclusão das escavações.

Os taludes finais do trecho de escavação deverão ser protegidos com concreto projetado com fibras, tirantes e/ou chumbadores, complementado com drenagens que terão a finalidade de aliviar as subpressões contidas no maciço.

O canal de fuga foi dimensionado para ser escavado até a cota 520,00 m, sendo que deverá ser removida parte em solo e parte em rocha. O material rochoso aí identificado é constituído por silcrete/argilito, onde poderá ser necessária a regularização do piso e proteção dos taludes com concreto projetado e drenagens, no trecho abaixo do nível d'água de operação do canal. Os trechos dos taludes acima do N.A. deverão ser protegidos com cobertura vegetal, de modo a evitar os efeitos erosivos das águas superficiais. Canaletas de drenagens serão previstas nas bermas que deverão compor os taludes finais das escavações.

7.11. Disponibilidades de Materiais Naturais de Construção

7.11.1. Solos

Os estudos realizados para implantação da PCH Cumbuco demonstraram a existência de materiais terrosos com potencial para atender a demanda das obras civis. São solos finos com e sem concreções lateríticas, que apresentam textura predominantemente areno-argilosos, bem desenvolvidos e com uma espessura média de 3,0 m.

Os materiais terrosos deverão ser utilizados na execução dos aterros da barragem e ensecadeiras, na vedação do dique da tomada d'água, em zonas de transição (com filtros) e em camadas finas de aterro de acessos de serviços e definitivos.

Nesses materiais foram executados ensaios de laboratório, sendo executadas seis séries de cada ensaio: granulometria com sedimentação, massa específica, limites de consistência, umidade natural e compactação, cujos resultados estão apresentados no **Volume 3 – Tomo II** deste relatório de Projeto Básico.

É importante ressaltar que as escavações obrigatórias do vertedouro, da tomada d'água de controle e, principalmente, do canal de adução deverão ser suficientes para todos os aterros das obras civis, com sobra considerável de material terroso.

7.11.2. Areias e Cascalho

Os depósitos de areias e cascalhos ocorrem associados ao contexto pedogenético e morfológico favorável ao aparecimento de solos espessos na região, sendo que os locais mais indicados para exploração estão localizados nas margens do rio das Mortes e em alguns de seus principais tributários. Nos casos do material encontrado nas margens dos rios, esses formam depósitos aluvionares de ocorrência em forma de “bancos” descontínuos.

Esse material poderá ser usado como filtro e agregado para concreto, necessitando, na próxima fase de projeto, de completa caracterização tecnológica.

7.11.3. Material Rochoso

As rochas que ocorrem na região incluem principalmente rochas sedimentares, como arenitos, siltitos e às vezes argilitos associados aos horizontes calcíferos e blocos de silexito, as quais deverão ser obtidas das escavações obrigatórias. Em geral, são rochas de baixa resistência e muito friáveis. Subordinadamente ocorrem níveis lateríticos. No entanto, não é observada a possibilidade de exploração dos mesmos como pedreira para enrocamentos.

Durante os Estudos de Inventário, foram identificadas três fontes com materiais rochosos distintos, que deverão ser futuramente reavaliados:

- Ao norte da área, aproximadamente a 116 km da cidade de Primavera do Leste, na rodovia MT 130, ocorrem rochas calcárias da Formação Araras, com jazidas em exploração pelas empresas mineração Reical, Emal e Império Mineração que é uma opção de fonte de material pétreo de qualidade para uso na obra (agregado e/ou enrocamento);
- Ao sul, tem-se a cascalheira Mchnic, aproximadamente a 14 km de Primavera do Leste e 98 km de Campo Verde;
- Para oeste, encontra-se a Mineração Cavalca, aproximadamente a 160 km de Primavera do Leste e 60 km de Campo Verde.

Esse material poderá ser usado como filtro e agregado para concreto, necessitando, na próxima fase de projeto, de completa caracterização tecnológica.

7.12. Balanço de Materiais

Para o balanço de materiais devem ser considerados alguns aspectos e fenômenos que ocorrem com solos e rochas quando estes são escavados e transportados.

Os solos, quando escavados, perdem a compactação natural oriunda de seu próprio processo de formação. Esse processo de expansão volumétrica é chamado de empolamento, processo que pode ser bastante considerável em alguns casos. Com isso, após o desmonte, o solo assume um volume maior do que aquele em que se encontrava em seu estado natural. Para este estudo, foi considerado um grau de empolamento de 20%.

Já o material rochoso sofre o processo inverso, apresentando diminuição em seu volume quando removido e transportado. O volume final é diminuído devido a perdas de material por trituração, compactação, etc. Para este estudo foi considerada uma diminuição de volume de 10%.

Para o cálculo de balanço de materiais também foi considerado que 30% do volume previsto para concreto é representado por rocha. Este valor é somado ao volume final de aterro em rocha.

A Tabela 7-2 apresenta o resultado da análise do balanço de materiais simplificado para os Estudos de Projeto Básico da PCH Cumbuco.

Tabela 7-2: Balanço de materiais simplificado

SOLO		
Escavação em solo (m³)	Grau de Empolamento (m³)	Volume Final (m³)
734.000	1,20	880.800

ROCHA		
Escavação em rocha (m³)	Volume compactado (m³)	Volume Final (m³)
97.800	0,90	88.020

ATERROS		
Aterro Solo (m³)	Fator solo compactado (m³)	Volume final aterro solo (m³)
58.100	1,15	66.815
Aterro Rocha (m³)		Volume final aterro rocha (m³)
5.900	1,50	8.850
Volume Concreto		
18.000	-	-

BALANÇO DE MATERIAIS	
Volume Movimento Solo = Escavação menos Aterro (m³)	Volume Movimento Rocha = Escavação menos Aterro (m³)
814.000	79.200
Obs. Se positivo, vai para área de bota-fora, se negativo, vem da Área de Empréstimo/Pedreira.	

Como pode ser observado na Tabela 7-2, após a aplicação de todos os parâmetros já citados, o volume de solos produzidos durante as escavações obrigatórias é suficiente para as necessidades para aterro, sendo que resta um volume de cerca de 800.000 m³ de material que deverá ser conduzido para as áreas de bota-fora, localizadas a montante da barragem, na margem esquerda.

As escavações obrigatórias executadas em rocha serão suficientes para as necessidades da obra. Estas escavações estão previstas para produzir um total de aproximadamente 90.000 m³ de rocha, sendo que a necessidade total é por volta de 8.860 m³. Esta diferença de

aproximadamente 80.000 m³ deverá ser encaminhada para áreas de bota-fora, localizadas na margem direita, ao longo do canal de adução e próximo à casa de força, e na margem esquerda, no interior do futuro reservatório, conforme localização indicada na **Ilustração 35**.

A área de bota-fora ao longo do canal de adução deverá ser disposta no lado esquerdo. Após o material ser lançado, compactado e recomposto, poderá servir como acesso para manutenção do canal.

7.13. Áreas de Bota-Fora

Para esta fase dos estudos foram definidas três áreas de bota-fora, denominadas de ABF-1, ABF-2 e ABF-3, nas quais o volume de armazenamento totaliza cerca de 900.000 m³, considerando uma espessura de 3,0 m de material a ser lançado e compactado.

A **Ilustração 35** indica os locais das áreas, bem como seus volumes de armazenamento.

8. ESTUDOS DE CUSTOS

Para a formulação dos preços unitários das principais obras civis foram utilizados: o sistema SISORH e sua base de dados e também preços praticados em obras similares, coletados junto a empreiteiros e fornecedores especializados.

Para os equipamentos eletromecânicos, obtiveram-se os preços de aquisição a partir de banco de dados próprio, baseado em orçamentos já realizados para instalações e projetos de empreendimentos similares, bem como por meio de consultas informais a fabricantes.

Para as rubricas determinadas por valores globais ou taxas, foram utilizadas as sugestões contidas nos manuais, bem como dados e informações obtidas de obras similares, ou consideradas em estudos de mesma natureza.

A data de referência para os estudos econômicos foi estabelecida em **setembro de 2015** e a atualização dos preços unitários e globais, quando referenciados a outras datas, foi feita aplicando-se a taxa de variação do IGP-DI, da Fundação Getúlio Vargas, entre as datas de referência consideradas.

Os itens a seguir apresentam os critérios e valores considerados para as rubricas do OPE, aplicáveis aos estudos em tela.

8.1. Obras Civis

Para as rubricas do Plano de Contas do Orçamento Padrão ELETROBRÁS, correspondentes às características peculiares de cada uma das alternativas, foram estabelecidos os custos de implantação das estruturas e sistemas, ora aplicando-se preços unitários, ora globais, em função das características e importância relativa de cada uma delas no preço global do empreendimento.

- **Casa de Força:**

- **11.12. Benfeitoria na Área da Usina:** Para essa rubrica foi utilizada uma equação proposta pelo Manual de Inventário, em função da potência instalada da usina, com atualização de custos para a data base.
- **11.13.00.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3 como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 50% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 50% destinados para áreas de bota-fora.
- **11.13.00.12.11 Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de “pré-fissuramento”, em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
- **11.13.00.13 – Tratamento de Fundações:** Este serviço se refere à limpeza de superfície da rocha para fundação. Foram considerados: as operações de retirada da rocha solta e detritos, acerto dos desníveis, drenagem das superfícies, limpeza da área, obturação das falhas e preparo final da superfície com concreto de regularização e de preenchimento das cavidades (espessura média de 0,2 m). Também foram considerados os custos de execução das cortinas de injeção e de drenagem (2 linhas $\Phi=75$ mm, com espaçamento de 3 m e profundidade média de 30 m).
- **11.13.00.14.13 – Cimento:** Este serviço se refere ao fornecimento a granel do cimento (90%) e da pozolana (10%); à respectiva mão-de-obra auxiliar para o manuseio e à descarga no silo. Foi considerada a taxa de consumo igual a 350 kg/m³.

- **11.13.00.14.14 – Concreto sem cimento:** Este serviço inclui o processamento de rocha para produção de brita e areia artificial, a partir dos estoques; separação, armazenagem e transporte de brita e areia até a boca da central; transporte interno do depósito ou silo até a boca da central de aglomerante; preparo da mistura com utilização das instalações de central de concreto; tratamento de agregado (refrigeração); fornecimento de água de amassamento e/ou gelo; transporte, lançamento e adensamento do concreto; cura e reparo de falhas de concretagem e acabamento; tratamento de juntas de construção; aquisição, manuseio, confecção, preparação de forma (incluindo todas as instalações de carpintaria); transporte, montagem e desmontagem (após a cura do concreto) da forma; escoramentos e cimbramentos; controle da qualidade (incluindo os laboratórios para ensaios de concreto; cimento e armadura).

Foram consideradas as seguintes taxas: 60% do volume total de concreto, como volume de vazios para as estimativas de custo de cimbramento; área (m²) de formas planas (uso até 6 vezes) igual a 0,10 do volume de concreto e de 0,025, para formas curvas (uso até 6 vezes).

- **11.13.00.14.15 – Armadura:** Esta composição abrange todas as composições necessárias para a execução da armação diretamente nas formas: fornecimento, arrumação e manuseio no pátio de armação; preparo na central de armação; transporte, lançamento e fixação das armaduras nas formas. A taxa média de consumo de armadura foi de 80 kg/m³.
- **11.13.00.15. Instalações e Acabamentos:** Para essa rubrica foi utilizada uma equação proposta pelo Manual de Inventário, em função da potência instalada da usina, com atualização de custos para a data base.
- **11.14. Vila dos Operadores:** Não foi considerada qualquer previsão de recursos para essa rubrica, uma vez que a vila dos operadores foi admitida como reaproveitamento parcial do canteiro e acampamento de construção, quantificado na conta.17.
- **11.27. – Eventuais da conta 11:** Para essa rubrica foi considerado um percentual igual a 8% do subtotal da conta.

- **Ensecadeiras:**

- **12.16.22 – Ensecadeiras (serviços considerados em outras contas):** Para as ensecadeiras, as atividades referentes a desmatamento e escavações para preparo do terreno, foram consideradas já contempladas nas demais atividades das diversas estruturas que compõem o aproveitamento.
- **12.16.22.19 – Ensecadeira de Rocha e Terra:** O preço unitário para esta rubrica foi composto considerando-se as seguintes atividades e percentuais de incidência:

Aterro Lançado (10% do volume total): correspondente aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento de solo, para a vedação das ensecadeiras. Foram considerados 95% do volume desse material provenientes de escavações obrigatórias, e 5%, de áreas de empréstimo.

Para o material proveniente de escavações obrigatórias, os custos de escavação; carga e transporte não foram considerados, uma vez que já incidem nas rubricas escavações comuns.

Aterro Compactado (65% do volume total): correspondente aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento e de compactação de solo, para o alteamento das ensecadeiras. Foram considerados 80% do volume do material provenientes de escavações obrigatórias, e 20%, de áreas de empréstimo.

Para o material proveniente de escavações obrigatórias, os custos de escavação; carga e transporte não foram considerados, uma vez que já incidem nas rubricas escavações comuns.

Enrocamento Lançado (15% do volume total): correspondente aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento de enrocamento, nas ensecadeiras. Foram considerados 80% do volume do material provenientes de escavações obrigatórias, e 20%, de estoques.

Para o material proveniente de escavações obrigatórias, os custos de escavação; carga e transporte não foram considerados, uma vez que já incidem nas rubricas escavações em rocha.

Enrocamento Compactado (5% do volume total): correspondente aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento e de compactação de enrocamento, nas ensecadeiras. Foram considerados 80% do volume do material provenientes de escavações obrigatórias, e 20%, de estoques.

Para o material proveniente de escavações obrigatórias, os custos de escavação; carga e transporte não foram considerados, uma vez que já incidem nas rubricas escavações em rocha.

Transições (5% do volume total): corresponde aos serviços de produção de brita, a partir de rocha no estoque; separação e estoque nos pátios; carga e transporte; lançamento/espalhamento e de compactação desse material nas ensecadeiras.

- **12.16.22.21 – Remoção de Ensecadeiras:** Corresponde aos serviços de escavação, carga, transporte e espalhamento do material escavado, em áreas de bota-fora. Foi considerado que 90% do volume serão de escavação em seco, feita com trator de esteira e carga com pá-carregadeira, e 10% submersa, feita com retroescavadeiras.
- **12.16.22.22 – Esgotamento e Outros Custos:** Para essa rubrica, um percentual de 15% sobre o custo de construção das ensecadeiras.
- **Adufas de Desvio:**
 - **12.16.24.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3, como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 20% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 80% destinados para áreas de bota-fora.
 - **12.16.24.12.11 – Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de “pré-fissuramento”, em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
 - **12.16.24.12.13 – Tratamento de Fundações:** Este serviço se refere à limpeza de superfície da rocha para fundação. Foram considerados: as operações de retirada da rocha solta e detritos, acerto dos desníveis, drenagem das superfícies, limpeza da área, obturação das falhas e preparo final da superfície com concreto de regularização e de preenchimento das cavidades (espessura média de 0,2 m). Também foram considerados os custos de execução das cortinas de injeção e de drenagem (2 linhas $\Phi=75$ mm, com espaçamento de 3 m e profundidade média de 30 m).
 - **12.16.24.14.13 – Cimento:** Este serviço se refere ao fornecimento a granel do cimento (90%) e da pozolana (10%); à respectiva mão-de-obra auxiliar para o manuseio e à descarga no silo. Foi considerada a taxa de consumo igual a 350 kg/m³.

- **12.16.24.14.14 – Concreto sem cimento:** Este serviço inclui o processamento de rocha para produção de brita e areia artificial, a partir dos estoques; separação, armazenagem e transporte de brita e areia até a boca da central; transporte interno do depósito ou silo até a boca da central de aglomerante; preparo da mistura com utilização das instalações de central de concreto; tratamento de agregado (refrigeração); fornecimento de água de amassamento e/ou gelo; transporte, lançamento e adensamento do concreto; cura e reparo de falhas de concretagem e acabamento; tratamento de juntas de construção; aquisição, manuseio, confecção, preparação de forma (incluindo todas as instalações de carpintaria); transporte, montagem e desmontagem (após a cura do concreto) da forma; escoramentos e cimbramentos; controle da qualidade (incluindo os laboratórios para ensaios de concreto; cimento e armadura).

Foram consideradas as seguintes taxas: 60% do volume total de concreto, como volume de vazios para as estimativas de custo de cimbramento; área (m²) de formas planas (uso até 6 vezes) igual a 0,10 do volume de concreto e de 0,025, para formas curvas (uso até 6 vezes).

- **12.16.24.14.15 – Armadura:** Esta composição abrange todas as composições necessárias para a execução da armação diretamente nas formas: fornecimento, arrumação e manuseio no pátio de armação; preparo na central de armação; transporte, lançamento e fixação das armaduras nas formas. A taxa média de consumo de armadura foi de 80 kg/m³.

- **Barragem e Dique de Terra e Enrocamento:**

- **12.17.25.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 50% do volume com aplicação direta na área de compactação e 50% em áreas de botafora.
- **12.17.25.13 – Limpeza e Tratamento de Fundação:** Este serviço refere-se à limpeza de camada final em solo para fundação, envolvendo as operações de escavação de material executadas com trator de esteiras D8 L, auxiliado por um D-6 com 50% de ocupação, a carga deste material e sua retirada para botafora. A espessura da camada de limpeza foi considerada de 0,30 m.
- **12.17.25.24 – Aterro Compactado:** Corresponde aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento e de compactação de solo, nas barragens. Foram considerados: 20% do volume do material provenientes de escavações obrigatórias, e 80% de áreas de empréstimo.

Para o material proveniente de escavações obrigatórias, os custos de escavação; carga e transporte não foram considerados, uma vez que já incidem nas rubricas escavações comuns.

- **12.17.25.25 – Enrocamento:** Corresponde aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento e de compactação de enrocamento, nas barragens. Foram considerados 10% do volume do material provenientes de escavações obrigatórias, 85% de estoques, e 5% de exploração em pedreiras.
- **12.17.25.26 – Núcleo de Argila:** Estão incluídos os serviços: escavações em área de empréstimo; carga e transporte até a área de aplicação; lançamento, espalhamento e compactação; remoção de "borrachudos" ou material que por qualquer motivo não atingiu o grau de compactação especificado e controle tecnológico.
- **12.17.25.29 – Transições / Filtros:** Para as transições, foram considerados os serviços correspondentes à produção de brita, a partir de rocha no estoque; à formação de estoques nos pátios; à carga e ao transporte; ao lançamento/espalhamento e à compactação desse material.

Para os filtros, foram consideradas as atividades referentes à obtenção, beneficiamento e formação de estoques de areia lavada nos pátios e à carga, ao transporte, ao lançamento/espalhamento e à compactação desse material nas barragens.

Na composição do preço unitário, para Transições + Filtros, foram considerados: 40% para as transições; 60% para os filtros horizontais e verticais.

- **12.17.25.32.18 – Proteção dos Taludes de Montante (RIP RAP):** Corresponde aos serviços de obtenção; carga e transporte; lançamento/espalhamento e de compactação de enrocamento, nas barragens. Foram considerados 100% do volume do material provenientes de estoques.
- **12.17.25.32.19 – Proteção dos Taludes de Jusante (grama em placa):** Corresponde aos custos de serviços contratados junto a empresas especializadas.
- **12.17.25.17 Outros Custos:** No sentido de prever os dispêndios com os acabamentos e drenagem de pistas, de iluminação, sinalização, etc., foi arbitrada uma verba correspondente a 2% dos custos de implantação das barragens de terra e enrocamento.

• **Transições e Muros de Concreto:**

- **12.17.27.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3 como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 50% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 50% destinados a áreas de bota-fora.
- **12.17.27.12.11 – Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de "pré-fissuramento", em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
- **12.17.27.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações:** Este serviço se refere à limpeza de superfície da rocha para fundação. Foram considerados: as operações de retirada da rocha solta e detritos, acerto dos desníveis, drenagem das superfícies, limpeza da área, obturação das falhas e preparo final da superfície com concreto de regularização e de preenchimento das cavidades (espessura média de 0,2 m). Também foram considerados os custos de execução das cortinas de injeção e de drenagem (2 linhas $\Phi = 75$ mm, com espaçamento de 3 m e profundidade média de 30 m).
- **12.17.27.14.13 – Cimento:** Este serviço se refere ao fornecimento a granel do cimento (90%) e da pozolana (10%); a respectiva mão-de-obra auxiliar para o manuseio e a descarga no silo. A taxa de consumo considerada foi de 350 kg/m³.
- **12.17.27.14.14 – Concreto sem Cimento:** Considera as mesmas atividades previstas para a produção do concreto estrutural da casa de força.

Quanto a formas e cimbramento, nessa composição foram previstas apenas formas planas, a uma taxa de 0,05 m² de forma por m³ de concreto.

- **12.17.27.14.15 – Armadura:** Análoga à composição prevista para a casa de força, mas com taxa média de consumo de armadura de 10 kg/m³.
- **12.17.27.17 – Outros Custos:** Previsão de verba correspondente a 2% dos custos de construção dos muros, para acabamentos.

• **Vertedouro de Superfície:**

- **12.18.28.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3 como escavação com escarificação. Para a escavação

comum, 50% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 50 % destinados a áreas de bota-fora.

- **12.18.28.12.11 – Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de “pré-fissuramento”, em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
- **12.18.28.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações:** Este serviço se refere à limpeza de superfície da rocha para fundação. Foram considerados: as operações de retirada da rocha solta e detritos, acerto dos desníveis, drenagem das superfícies, limpeza da área, obturação das falhas e preparo final da superfície com concreto de regularização e de preenchimento das cavidades (espessura média de 0,2 m). Também foram considerados os custos de execução das cortinas de injeção e de drenagem (2 linhas $\Phi=75$ mm, com espaçamento de 3 m e profundidade média de 30 m) e, na bacia de dissipação, a instalação de barras de ancoragem, com malha de 2 m x 2 m.
- **12.18.26.14.13 – Cimento:** Este serviço se refere ao fornecimento a granel do cimento (90%) e da pozolana (10%); a respectiva mão-de-obra auxiliar para o manuseio e a descarga no silo. A taxa de consumo considerada foi de 350 kg/m³.
- **12.18.28.14.14 – Concreto sem Cimento:** Considera as mesmas atividades previstas para a produção do concreto estrutural da casa de força.

Quanto a formas e cimbramento, nessa composição foram previstas formas planas (uso até 6 vezes), a uma taxa de 0,05 m² de forma por m³ de concreto e 0,025 m² de formas curvas (uso até 6 vezes), por m³ de estrutura.

- **12.18.28.14.15 – Armadura:** Análoga à composição prevista para a casa de força, mas com taxa média de consumo de armadura de 10 kg/m³.
- **12.18.28.17 – Outros Custos:** Previsão de verba correspondente a 2% dos custos das obras civis do vertedouro, para acabamentos.

• **Tomadas d'Água:**

- **12.19.30.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3 como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 20% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 80% em áreas de bota-fora.
- **12.19.30.12.11– Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de “pré-fissuramento”, em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
- **12.19.30.13 – Tratamento de Fundações:** Este serviço se refere à limpeza de superfície da rocha para fundação. Foram considerados: as operações de retirada da rocha solta e detritos, acerto dos desníveis, drenagem das superfícies, limpeza da área, obturação das falhas e preparo final da superfície com concreto de regularização e de preenchimento das cavidades (espessura média de 0,2 m). Também foram considerados os custos de execução das cortinas de injeção e de drenagem (2 linhas $\Phi=75$ mm, com espaçamento de 3 m e profundidade média de 30 m).
- **12.19.30.14.13 – Cimento:** Este serviço se refere ao fornecimento a granel do cimento (90%) e da pozolana (10%); à respectiva mão-de-obra auxiliar para o manuseio e à descarga no silo. Foi considerada a taxa de consumo igual a 350 kg/m³.

- **12.19.30.14.14 – Concreto sem cimento:** Este serviço inclui o processamento de rocha para produção de brita e areia artificial, a partir dos estoques; separação, armazenagem e transporte de brita e areia até a boca da central; transporte interno do depósito ou silo até a boca da central de aglomerante; preparo da mistura com utilização das instalações de central de concreto; tratamento de agregado (refrigeração); fornecimento de água de amassamento e/ou gelo; transporte, lançamento e adensamento do concreto; cura e reparo de falhas de concretagem e acabamento; tratamento de juntas de construção; aquisição, manuseio, confecção, preparação de forma (incluindo todas as instalações de carpintaria); transporte, montagem e desmontagem (após a cura do concreto) da forma; escoramentos e cimbramentos; controle da qualidade (incluindo os laboratórios para ensaios de concreto; cimento e armadura).

Foram consideradas as seguintes taxas: 60% do volume total de concreto, como volume de vazios para as estimativas de custo de cimbramento; área (m²) de formas planas (uso até 6 vezes) igual a 0,10 do volume de concreto e de 0,025, para formas curvas (uso até 6 vezes).

- **12.19.30.14.15 – Armadura:** Esta composição abrange todas as composições necessárias para a execução da armação diretamente nas formas: fornecimento, arrumação e manuseio no pátio de armação; preparo na central de armação; transporte, lançamento e fixação das armaduras nas formas. A taxa média de consumo de armadura foi de 60 kg/m³.

- **Canal de Adução:**

- **12.19.31.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3, como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 20% do volume foi considerado com aplicação direta na área de compactação e 80% em áreas de bota-fora.bota-fora.
- **12.19.31.12.11– Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de “pré-fissuramento”, em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.

- **Conduto Forçado:**

- **12.19.34.12.10 – Escavação Comum:** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3 como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 20% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 80% em áreas de bota-fora.
- **12.19.34.12.11– Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de “pré-fissuramento”, em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
- **12.19.34.13 – Tratamento de Fundações:** Este serviço se refere à limpeza de superfície da rocha para fundação. Foram considerados: as operações de retirada da rocha solta e detritos, acerto dos desníveis, drenagem das superfícies, limpeza da área, obturação das falhas e preparo final da superfície com concreto de regularização e de preenchimento das cavidades (espessura média de 0,2 m). Também foram considerados os custos de execução das cortinas de injeção e de drenagem (2 linhas $\Phi=75$ mm, com espaçamento de 3 m e profundidade média de 30 m).

- **12.19.34.14.13 – Cimento:** Este serviço se refere ao fornecimento a granel do cimento (90%) e da pozolana (10%); à respectiva mão-de-obra auxiliar para o manuseio e à descarga no silo. Foi considerada a taxa de consumo igual a 350 kg/m³.
- **12.19.34.14.14 – Concreto sem cimento:** Este serviço inclui o processamento de rocha para produção de brita e areia artificial, a partir dos estoques; separação, armazenagem e transporte de brita e areia até a boca da central; transporte interno do depósito ou silo até a boca da central de aglomerante; preparo da mistura com utilização das instalações de central de concreto; tratamento de agregado (refrigeração); fornecimento de água de amassamento e/ou gelo; transporte, lançamento e adensamento do concreto; cura e reparo de falhas de concretagem e acabamento; tratamento de juntas de construção; aquisição, manuseio, confecção, preparação de forma (incluindo todas as instalações de carpintaria); transporte, montagem e desmontagem (após a cura do concreto) da forma; escoramentos e cimbramentos; controle da qualidade (incluindo os laboratórios para ensaios de concreto; cimento e armadura).

Foram consideradas as seguintes taxas: 60% do volume total de concreto, como volume de vazios para as estimativas de custo de cimbramento; área (m²) de formas planas (uso até 6 vezes) igual a 0,10 do volume de concreto e de 0,025, para formas curvas (uso até 6 vezes).

- **12.19.34.14.15 – Armadura:** Esta composição abrange todas as composições necessárias para a execução da armação diretamente nas formas: fornecimento, arrumação e manuseio no pátio de armação; preparo na central de armação; transporte, lançamento e fixação das armaduras nas formas. A taxa média de consumo de armadura foi de 60 kg/m³.
- **Canal de Fuga:**
 - **12.19.35.12.10 – Escavação Comum (Canal de Fuga):** Calculado considerando-se 2/3 do volume como escavação em solo e 1/3 como escavação com escarificação. Para a escavação comum, 50% do volume foram considerados com aplicação direta na área de compactação e 50% destinados a áreas de bota-fora.
 - **12.19.35.12.11 – Escavação em Rocha a Céu Aberto:** Foram previstas escavações em rocha alterada e rocha sã. Considerou-se 90% do volume escavado em rocha sã destinados ao estoque e 10% com aplicação direta nas praças de compactação. Nessa rubrica também foram considerados os serviços de "pré-fissuramento", em uma área correspondente a 0,05 do volume de rocha escavada.
 - **12.27.98. Eventuais da Conta. 12 – Obras Civis:** Para essa rubrica foi considerado um percentual igual a 8,0% do subtotal da conta.

A Tabela 8-1 apresenta os resultados dos custos unitários atualizados para a data de referência dos estudos.

Tabela 8-1: Obras Civis – Preços Unitários (setembro/2015)

Atividade	Unidade	Preços Unitários (R\$)
Casa de Força		
11.13.00.12.10 – Escavação Comum	m ³	15,50
11.13.00.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m ³	37,80
11.13.00.13 – Tratamento de Fundações	m ²	103,00
11.13.00.14.13 – Cimento	t	600,00
11.13.00.14.14 – Concreto sem cimento	m ³	380,00

Atividade	Unidade	Preços Unitários (R\$)
11.13.00.14.15 – Armadura	t	8.250,00
Ensecadeiras		
12.16.22.19.01 – Solo lançado	m³	13,70
12.16.22.19.02 – Solo compactado	m³	20,60
12.16.22.19.03 – Transições e filtros	m³	94,50
12.16.22.21 – Remoção de Ensecadeiras	m³	15,45
Estrutura de Desvio		
12.16.24.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.16.24.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.16.24.13 – Tratamento de Fundações	m²	103,00
12.16.24.14.13 – Cimento	t	600,00
12.16.24.14.14 – Concreto sem cimento	m³	310,00
12.16.24.14.15 – Armadura	t	8.250,00
Barragem de Terra e Enrocamento		
12.17.25.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.17.25.13 – Limpeza e Tratamento de Fundação	m²	34,00
12.17.25.24 – Aterro Compactado	m³	20,60
12.17.25.25 – Enrocamento	m³	27,50
12.17.25.26 – Núcleo de Argila	m³	20,60
12.17.25.29 – Transições / Filtros	m³	94,50
12.17.25.32.18 – RIP RAP	m³	20,60
12.17.25.32.19 – Grama em placa	m²	13,70
Transições e Muros de Concreto		
12.17.27.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.17.27.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.17.27.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações	m²	103,00
12.17.27.14.13 – Cimento	t	600,00
12.17.27.14.14 – Concreto sem Cimento	m³	310,00
12.17.27.14.14 – Concreto Massa	m³	310,00
12.17.27.14.15 – Armadura	t	8.250,00
Vertedouro		
12.18.28.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.18.28.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.18.28.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações	m²	103,00
12.18.28.14.13 – Cimento	t	600,00
12.18.28.14.14 – Concreto sem cimento	m³	310,00
12.17.28.14.14 – Concreto Massa	m³	310,00
12.18.28.14.15 – Armadura	t	8.250,00

Atividade	Unidade	Preços Unitários (R\$)
Tomadas d'Água		
12.19.30.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.19.30.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.19.30.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações	m²	103,00
12.19.30.14.13 – Cimento	t	600,00
12.19.30.14.14 – Concreto sem Cimento	m³	380,00
12.19.30.14.15 – Armadura	t	8.250,00
Canal de Adução		
12.19.31.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.19.31.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.19.31.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações	m²	34,00
12.19.31.14.13 – Cimento	t	600,00
12.19.31.14.14 – Concreto sem Cimento	m³	380,00
12.19.31.14.15 – Armadura	t	8.250,00
12.19.31.14.17 – Concreto Projetado	m³	1.200,00
Conduto Forçado		
12.19.34.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.19.34.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.19.34.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações	m²	103,00
12.19.34.14.13 – Cimento	t	600,00
12.19.34.14.14 – Concreto sem Cimento	m³	380,00
12.19.34.14.15 – Armadura	t	8.250,00
Canal de Fuga		
12.19.35.12.10 – Escavação Comum	m³	15,50
12.19.35.12.11 – Escavação em Rocha Sã	m³	37,80
12.19.35.13 – Limpeza e Tratamento de Fundações	m³	34,00
12.19.35.14.17 – Concreto Projetado	m³	1.200,00

8.2. Equipamentos Eletromecânicos

Nas estimativas de preços dos equipamentos eletromecânicos, principais e auxiliares, foi utilizado banco de dados elaborado a partir de obras similares, complementadas por consultas informais a fabricantes e fornecedores especializados.

O item Equipamentos Diversos da conta .15, devido a sua difícil caracterização nesta fase de estudos, foi estimado conforme sugerido pelo Manual de Inventário, como um percentual de 6% dos custos referentes a Turbinas e Geradores.

Relativamente às rubricas referentes a Custos Eventuais de Equipamentos, foram previstos percentuais de 8,0% sobre o valor das respectivas contas.

8.3. Custos Indiretos e Juros Durante a Construção

Para a composição dos Custos Indiretos (conta .17) foram admitidas as seguintes alíquotas:

- Construção do Canteiro e Acampamento 3,0% do total das contas .11 a .16
- Engenharia 3,0% do total das contas .11 a .16
- Projetos ambientais 5,0% do total da conta .10
- Administração do Proprietário 2,0% do total das contas .10 a .16
- Eventuais.....8,0% sobre os itens que compõem a conta .17

Para a conta .18: Juros Durante a Construção (JDC) foram considerados os procedimentos propostos pelo Manual de Inventário, estimados a partir do fluxo de despesas previsto no planejamento executivo da obra, para uma taxa de juros de 12% ao ano.

9. DIMENSIONAMENTOS HIDRÁULICOS

Os dimensionamentos hidráulicos basearam-se nas instruções contidas nas Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (Eletrobrás, 2000), com exceção de adaptações e complementações necessárias à maior precisão dos resultados obtidos. Foram utilizadas planilhas de dimensionamento das estruturas componentes dos arranjos implantados sobre o modelo digital de terreno, resultante dos levantamentos topográficos.

9.1. Estruturas de Desvio do Rio

A partir dos dados e estudos hidrológicos atualizados, o sistema e estruturas de desvio foram concebidos e dimensionados para garantir a passagem de vazões com recorrência de até 50 anos, no período de exposição das estruturas.

Para a execução das obras previstas em cada alternativa de arranjo foram configuradas duas fases de desvio do rio.

No desvio de primeira fase, as estruturas e áreas em construção serão protegidas por ensecadeiras e septos do terreno natural (solo remanescente), com interferência pouco significativa no leito natural e áreas adjacentes às margens do rio.

Assim sendo, foram verificadas as velocidades máximas esperadas nas seções críticas, onde foram observados possíveis estrangulamentos das seções de escoamento, com a aplicação de metodologia específica de cálculo, preconizada no "Open-Channel Hydraulics" – Ven Te Chow.

Para a continuidade das obras no leito e trechos adjacentes, a segunda fase de desvio será caracterizada pela execução de ensecadeiras de montante e de jusante, de forma a direcionar as águas para as estruturas de concreto do desvio incorporadas ao barramento.

De acordo com o planejamento construtivo das obras, as estruturas de desvio de primeira fase foram previstas para enfrentarem um período de cheias, enquanto que as de segunda fase, apenas um período de estiagem.

Será apresentada a seguir uma breve metodologia da rotina de cálculo utilizada no dimensionamento da primeira fase do desvio do rio.

O dimensionamento do desvio de **PRIMEIRA ETAPA** será dividido em três:

- a. Determinação das características do regime crítico na saída do canal;
- b. Determinação das características do regime natural do rio na saída do canal;
- c. Definição do regime do escoamento.

A Figura 9-1 ilustra esquematicamente o esquema proposto para o desvio de primeira etapa.

Sejam os seguintes parâmetros básicos para dimensionamento:

- | | |
|----------|---|
| E_s | Cota média do fundo do rio na seção imediatamente a jusante do canal; |
| E_{ec} | Cota média do fundo do canal na seção de entrada; |
| E_{sc} | Cota média do fundo do canal na seção de saída; |
| B_s | Largura do rio na seção imediatamente a jusante do canal; |
| B_{ec} | Largura do canal na seção de entrada; |
| B_{sc} | Largura do canal na seção de saída; |
| L_{cd} | Comprimento do canal; |
| Q_k | Vazão de projeto do desvio para tempo de recorrência de k anos; |

NA_{dcn} Nível de água natural no rio na seção imediatamente a jusante do canal para vazão Q_k ;

Tipo Canal com estrangulamento da seção com fundo irregular.

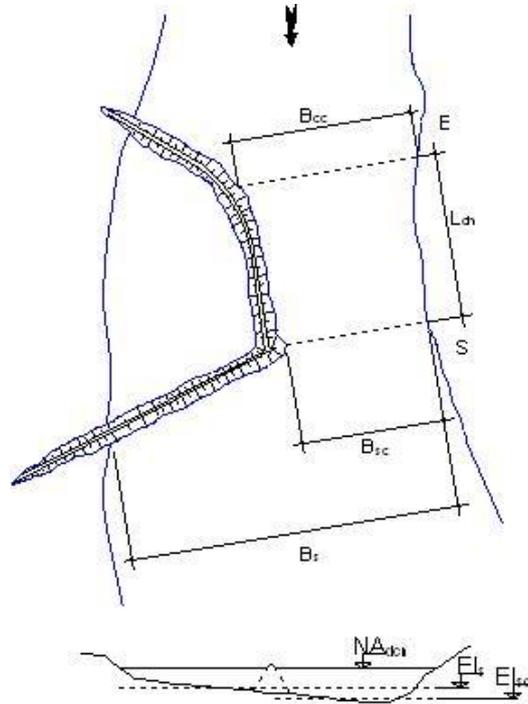


Figura 9-1: Planta e seção transversal típica de canal de desvio

Inicialmente é calculada a profundidade crítica da lâmina d'água na seção de saída do canal (Y_{cs}) através da seguinte equação:

$$Y_{cs} = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \left(\frac{Q_k}{B_{cs}} \right)^2}$$

Onde:

Q_k é a vazão de projeto do desvio para o tempo de recorrência adequadamente selecionado (25 anos, período total), em m^3/s ;

B_{cs} é a largura do canal na seção de saída, em metros;

g é aceleração da gravidade, em m/s^2 .

A velocidade crítica na seção de saída do canal (V_{cs}) é dada pela seguinte equação:

$$V_{cs} = \frac{Q_k}{B_{sc} Y_{cs}}$$

Diante disso, pode-se calcular a declividade da linha de energia (i_{cs}), a altura de energia na seção de saída do canal (E_{cs}) e também o nível d'água crítico na seção de saída do canal (NA_{cs}), através das seguintes expressões:

$$i_{cs} = 100 \frac{n^2 V_{cs}^2}{Y_{cs}^{4/3}}$$

$$E_{cs} = NA_{cs} + \frac{V_{cs}^2}{2g}$$

$$NA_{cs} = El_{cs} + Y_{cs}$$

Onde:

n é o coeficiente de rugosidade que depende do tipo de leito em estudo. Para canal escavado em solo, adota-se 0,025; para canal escavado em rocha, 0,035 e para estrangulamento com fundo irregular, o valor a ser adotado é 0,040;

El_{cs} é a cota média do fundo do canal na seção de saída, medida em metros.

Feito isso, serão calculadas a profundidade da lâmina d'água (Y_s), a declividade da linha de energia (i_s) e a altura de energia (E_{dcn}) considerando o regime natural do rio na saída do canal. Para tanto, será utilizada a seguinte formulação:

$$Y_s = NA_{dcn} - El_s$$

$$V_s = \frac{Q_k}{B_s Y_s}$$

$$i_s = 100 \frac{n^2 V_s^2}{Y_s^{4/3}}$$

$$E_{dcn} = NA_{dcn} + \frac{V_s^2}{2g}$$

Onde:

NA_{dcn} é o nível d'água natural no rio na seção imediatamente a jusante do canal para a vazão Q_k , medido em metros;

El_s é a cota média do fundo do rio na seção imediatamente a jusante do canal, medida em metros;

B_s é a largura do rio na seção imediatamente a jusante do canal, medida em metros.

Para a definição do regime do escoamento e também dos níveis d'água a montante e a jusante da enseadeira de primeira fase (NA_{dm} e NA_{dl}) deverão ser considerados os seguintes casos:

1. Caso 1 – Se $i_s < i_{cs}$ e $E_{dcn} < E_{cs}$, o regime de escoamento será subcrítico com controle não afogado;
2. Caso 2 – Se $i_s < i_{cs}$ e $E_{dcn} \geq E_{cs}$, o regime de escoamento será subcrítico com controle afogado;
3. Caso 3 – Se $i_s \geq i_{cs}$, o regime de escoamento será crítico e supercrítico.

As equações de cálculo dos níveis d'água a serem aplicadas em cada caso acima identificado são as seguintes:

- **Caso 1**

$$NA_{dl} = El_{sc} + Y_n$$

$$NA_{dm} = E_{cs} + h_p$$

Onde:

$$Y_n = 1,25y_{cs}$$

$$h_p = L_{cd} \frac{n^2 V_n^2}{Y_n^{4/3}}$$

$$V_n = \frac{Q_k}{B_{mc} y_n}$$

$$B_{mc} = \frac{B_{ec} + B_{sc}}{2}$$

- **Caso 2**

$$NA_{dl} = NA_{dcn}$$

$$NA_{dm} = NA_{dcn} + h_p + h_{vn}$$

Onde:

$$h_p = L_{cd} \frac{n^2 V_n^2}{Y_n^{4/3}}$$

$$h_{vn} = \frac{V_n^2}{2g}$$

$$V_n = \frac{Q_k}{B_{mc} Y_n}$$

$$Y_n = E_{dcn} - \frac{V_n^2}{2g} - El_{sc}$$

$$V'_n = \frac{B_s}{B_{mc}} V_s$$

- **Caso 3**

$$NA_{dl} = NA_{cs} \text{ até } NA_{ce} \text{ (variável)}$$

$$NA_{dm} = E_{ce}$$

Onde:

$$NA_{ce} = El_{ec} + Y_{ce}$$

$$E_{ce} = NA_{ce} + h_{vce}$$

$$Y_{ce} = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \left(\frac{Q_k}{B_{ec}} \right)^2}$$

$$h_{vce} = \frac{V_{ce}^2}{2g}$$

$$V_{ce} = \frac{Q_k}{B_{ec} Y_{ce}}$$

Na **SEGUNDA ETAPA**, o fluxo é desviado para estruturas especialmente dimensionadas para essa fase: adufas ou galerias de desvio.

O dimensionamento dessas estruturas de foi feito de acordo com os procedimentos previstos no "Hydraulic Design Criteria", editado pelo "U.S. Corp of Engineers", complementado por simulações de remanso, nos canais de aproximação e restituição, com a aplicação do modelo HEC-RAS.

Será apresentada a seguir uma breve metodologia da rotina de cálculo utilizada no dimensionamento da segunda fase do desvio do rio.

Quando adotada a solução de desvio por galerias ou adufas, inicialmente são fixadas suas dimensões geométricas, ou seja, B_{lad} (largura de uma adufa ou galeria, em metros) e H_{ad} (altura das adufas ou galerias). Aqui se deve observar o atendimento à seguinte inequação:

$$H_{ad} \leq 3,1B_{lad}$$

Com base em relações empíricas e em função da vazão de dimensionamento correspondente ao período de exposição das estruturas de desvio (Q_k , $Tr = 50$ anos, período de estiagem, em m^3/s), define-se também o número de adufas ou galerias (N_{ad}) utilizadas no desvio de segunda etapa do rio.

Dessa forma, calcula-se a velocidade média do escoamento (V_a , em m/s). A equação seguinte ilustra esse cálculo:

$$V_a = \frac{Q_k}{N_{ad} B_{lad} H_{ad}}$$

Ressalta-se que a velocidade média do escoamento deverá ser necessariamente inferior a 15 m/s, adotando-se, preferencialmente, um valor próximo a 7,5 m/s, visando uma boa segurança durante as obras de desvio do rio por essas estruturas.

A espessura dos pilares entre as adufas (e_{pl} , em metros) foi fixada em 1,5 m e a espessura dos pilares extremos da estrutura (e_{pl}' , em metros), 1,5 m.

Para as galerias, a espessura dos pilares entre os vãos (e_{pl} , em metros) foi fixada em 0,5 m e a espessura dos pilares extremos da estrutura (e_{pl}' , em metros), 0,6 m.

Sendo assim, a largura total da estrutura de desvio (B_{ad}) pode ser calculada pela expressão abaixo indicada.

$$B_{ad} = (N_{ad} B_{lad}) + (N_{ad} - 1)e_{pl} + 2e_{pl}'$$

Feita toda a caracterização geométrica do conjunto de adufas ou galerias de desvio, passa-se então ao cálculo do nível d'água junto à ensecadeira de montante, para definição de sua cota de elevação. Para tanto, faz-se necessária a verificação do afogamento na saída das estruturas de desvio.

Caso a inequação que se segue seja verificada, o escoamento na saída das adufas ou galerias será afogado.

$$E_{dcr} \geq E_{ad}$$

Sendo:

$$E_{dcr} = NA_{dcr} + \frac{V_{cr}^2}{2g}$$

$$V_{cr} = \frac{Q_k}{B_{ad}(NA_{dcr} - El_{cr})}$$

$$E_{ad} = El_{ca} + H_{ad} + \frac{V_a^2}{2g}$$

Onde:

E_{dcr} é a altura da linha de energia no canal de restituição das adufas ou galerias, em metros;

NA_{dcr} é o nível d'água no canal de restituição das adufas ou das galerias para a vazão de projeto de desvio, em metros;

V_{cr} é a velocidade média do escoamento no canal de restituição, em m/s;

El_{cr} é a cota do fundo do canal de restituição do desvio, em metros;

E_{ad} é a altura da linha de energia na saída das adufas ou das galerias, em metros;

El_{ca} é a cota do fundo do canal de aproximação às adufas ou galerias do desvio, em metros.

Portanto, para saída afogada, o nível d'água junto à ensecadeira de montante (NA_{dm}) é dado pela equação que se segue.

$$NA_{dm} = E_{dcr} + h_p$$

Sendo:

$$h_p = 0,2 \frac{V_a^2}{2g} + L_{desvio} \frac{n^2 V_a^2}{R_h^{4/3}}$$

$$R_h = \frac{B_{lad} H_{ad}}{2(B_{lad} + H_{ad})}$$

$$n = 0,010$$

Onde:

h_p é perda de carga ao longo da estrutura de desvio;

R_h é o raio hidráulico de uma abertura das adufas ou galerias de desvio;

n é o coeficiente de Manning;

L_{desvio} é o comprimento da estrutura de desvio.

Para saída em jato livre, o nível d'água junto à ensecadeira de montante (NA_{dm}) é dado pela equação que se segue.

$$NA_{dm} = El_{ca} + H$$

Sendo:

$$H = K_H H_{ad}$$

Onde:

$K_H = 0,0184K_Q^3 - 0,132K_Q^2 + 0,688K_Q + 0,18$ (equação empírica, com $K_Q = 3,20$, valor inicialmente adotado).

Quando houver qualquer alteração no dimensionamento, a seguinte relação deverá ser respeitada:

$$K_Q N_{ad} B_{1ad} H_{ad}^{3/2} = Q_k$$

Diante do exposto anteriormente, fica definido o nível d'água junto à ensecadeira de montante e assim a sua cota de coroamento, admitida 1,0 m acima do NA_{dm} .

Para definição do nível d'água junto à ensecadeira de jusante (NA_{jm}) e sua cota de coroamento, admitida 1,0 m acima do NA_{jm} , utiliza-se a curva-chave da canal de fuga.

Para a verificação das condições de fechamento do rio também são feitas simulações de remanso com aplicação do modelo HEC-RAS.

9.2. Vertedouros

A capacidade de transposição de vazões de um vertedouro é calculada pela fórmula descrita a seguir:

$$Q = CLH^{3/2}$$

Onde:

L é a largura efetiva do vertedouro;

C um coeficiente que depende da forma da soleira;

H a altura da linha de energia acima da crista da soleira.

O parâmetro L é igual à largura total L' do vertedouro, que pode compor-se de n vãos (n_v) separados entre si por pilares de espessura dimensionada, diminuída pela largura da contração lateral do jato d'água, quando tratar-se de um vertedouro controlado por comportas ou simplesmente o parâmetro L do vertedouro quando tratar-se de um vertedouro de soleira livre. O coeficiente de contração K depende da forma dos pilares.

Sendo assim:

$$Q = (L' - KH)CH^{3/2}$$

$$L' = n_v L_0$$

$$K = 2(n_p K_p + K_a)$$

O coeficiente C nestas equações depende:

- Da forma da soleira;
- De sua altura sobre o fundo da adução;
- Da inclinação de sua frente de montante;
- Do nível d'água de jusante;
- Da velocidade d'água a jusante.

Os diagramas representados na Figura 9-2 até a Figura 9-5 ("Design of Small Dams") foram utilizados para a fixação do valor do coeficiente C.

A Figura 9-2 indica o valor C_0 , para soleira com frente vertical, que representa a forma base do vertedouro. Já a Figura 9-3 corrige o coeficiente de descarga inicial para soleiras com frentes inclinadas (C_i/C_v).

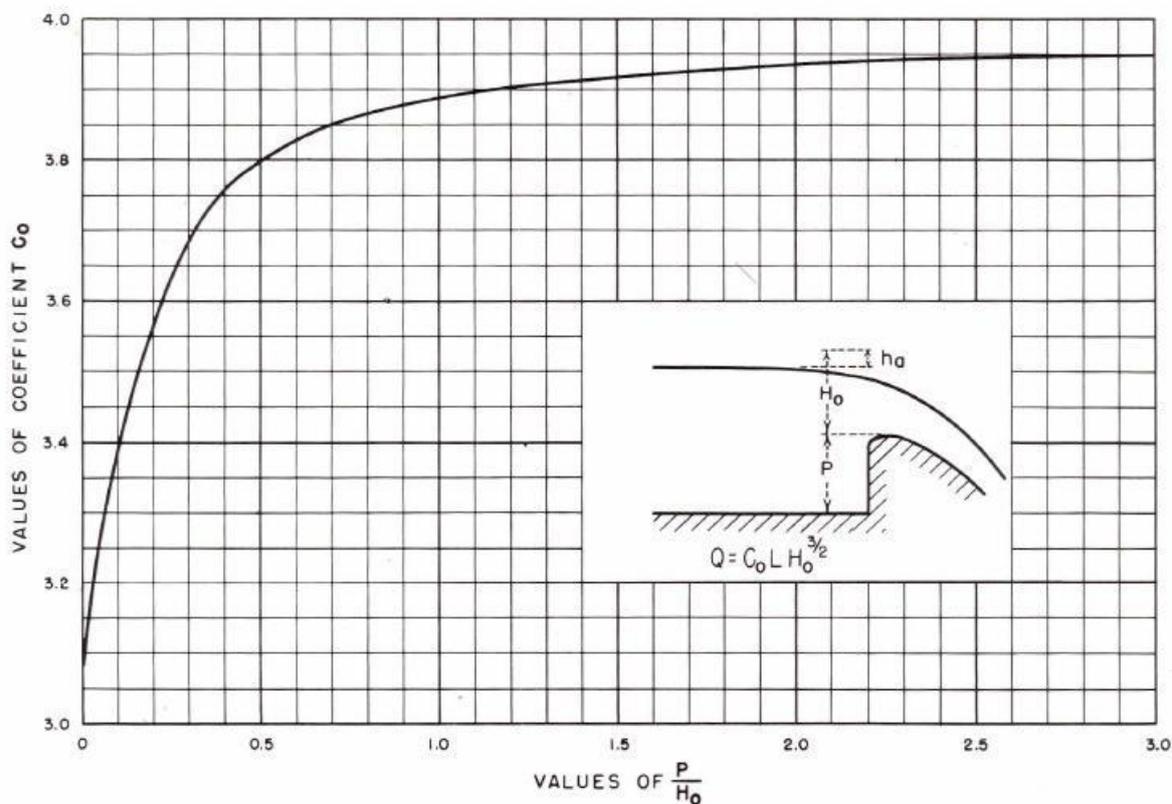


Figura 9-2: Coeficiente de descarga para vertedouro com ogiva de paramento vertical

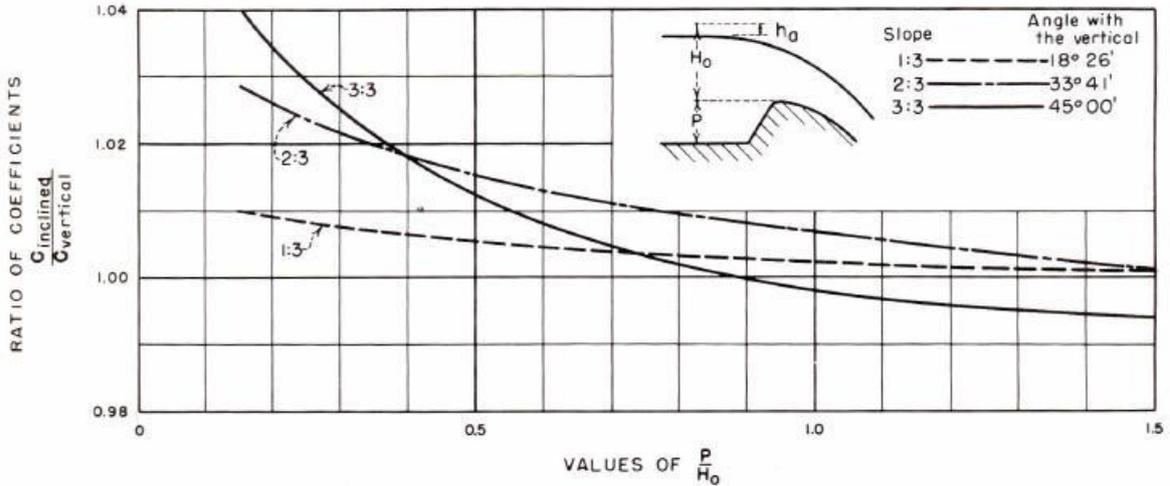


Figura 9-3: Correção do coeficiente de descarga para vertedouro com ogiva de paramento inclinado

A Figura 9-4 mostra as correções do coeficiente de descarga para o caso da linha energética efetiva não coincidir com aquela para qual a forma da soleira foi desenhada.

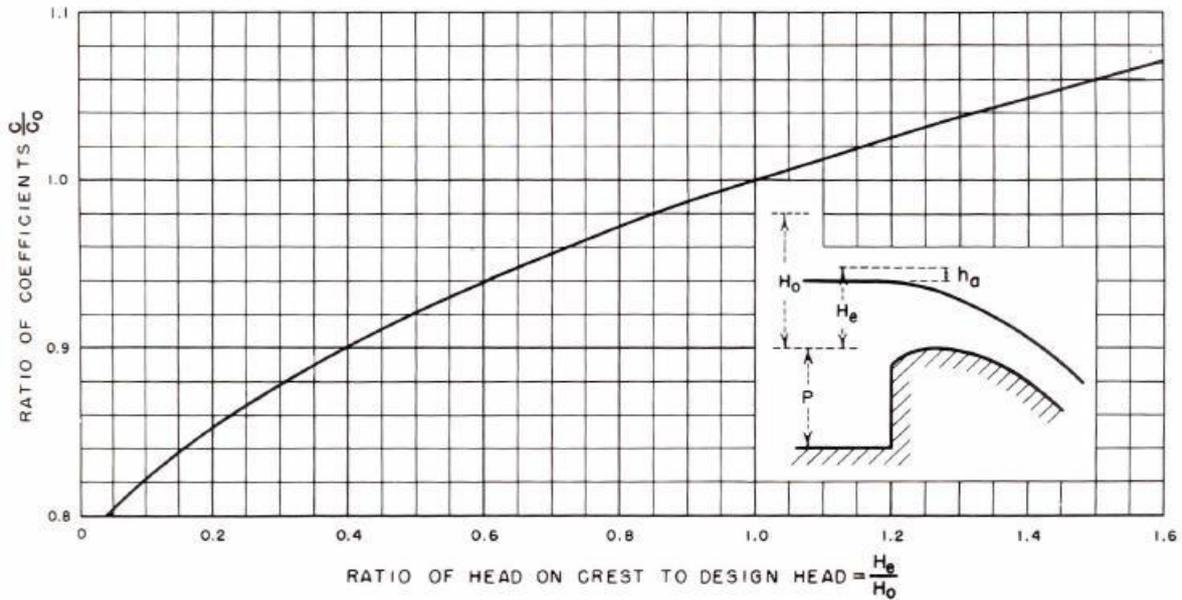


Figura 9-4: Correção do coeficiente de descarga para vertedouro submetido a cargas diferentes da carga de projeto

Esses diagramas indicam o valor do coeficiente de descarga, sem levar em conta a influência da altura do nível d'água de jusante, que deve ser verificada utilizando-se a Figura 9-5.

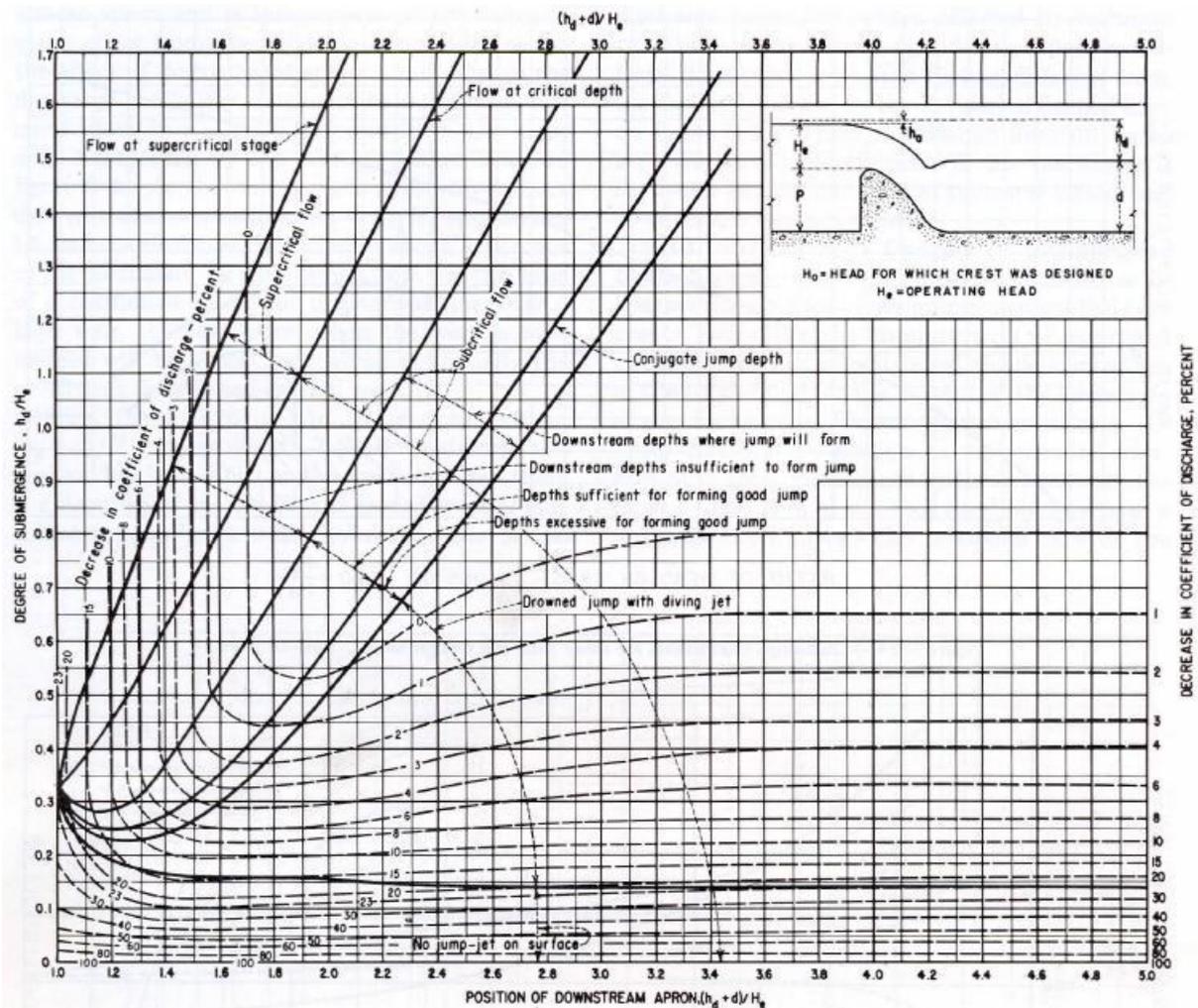


Figura 9-5: Correção do coeficiente de descarga para vertedouro sob influência do nível d'água de jusante

Nos estudos para definição do melhor arranjo para a PCH, o vertedouro, em todas as alternativas propostas, foi previsto para ser implantado em soleira livre, com paramento de jusante em escada.

Em todas as alternativas o vertedouro foi dimensionado para garantir a passagem da cheia com período de recorrência de 1.000 anos, conforme preconizado nas referências já mencionadas (ELETROBRÁS). Além disso, o dimensionamento considerou a verificação da estrutura vertente para a passagem da cheia decamilenar.

Os coeficientes de descarga adotados referem-se a uma estrutura vertente perpendicular ao fluxo, ou seja, a um vertedouro de soleira livre convencional. Concepções não usuais tenderiam a reduzir a capacidade de descarga do vertedouro por meio da redução do coeficiente de descarga.

Para os estudos de alternativas de arranjo e também para os estudos finais, a ogiva, constituída por um perfil tipo "Creager", foi projetada para a passagem da vazão de projeto, de modo a introduzir sobrelevação do nível d'água máximo normal (NAmáx) do reservatório. No seu dimensionamento foram levadas em consideração as condições de aproximação e de restituição e as perdas de carga introduzidas pelos muros laterais.

O dimensionamento da soleira vertente foi feito com a aplicação de algoritmos e coeficientes preconizados no "Hydraulic Design Criteria" (HDC), editado pelo "U.S. Corp of Engineers" e o sistema de dissipação de energia foi feito de acordo com "Design of Stepped Spillways and Downstream Energy Dissipators" e o HDC.

A estrutura vertente foi concebida com seção do tipo gravidade e prevista sua execução em concreto massa ou concreto compactado a rolo, com paramento de montante vertical e o de jusante, em escada, com inclinação de 0,70H:1,00V, prevendo-se degraus para dissipação de parte da energia.

A energia remanescente do fluxo nos degraus deverá ser dissipada no topo rochoso que deverá estar exposto no canal de restituição das vazões vertidas. O dimensionamento das estruturas de dissipação de energia foi efetuado para a vazão centenária, e verificado o seu bom funcionamento para diversas vazões representativas, com ênfase para a vazão milenar.

Ambos os paramentos dos vertedouros serão revestidos por Concreto Convencional (CC), a fim de mitigar a percolação de água através da estrutura.

As Figura 9-6 e Figura 9-7 ilustram a definição do gabarito hidráulico para um vertedouro de soleira livre, com paramento de jusante em escada, com inclinação resultante de 0,70(H):1,00(V).

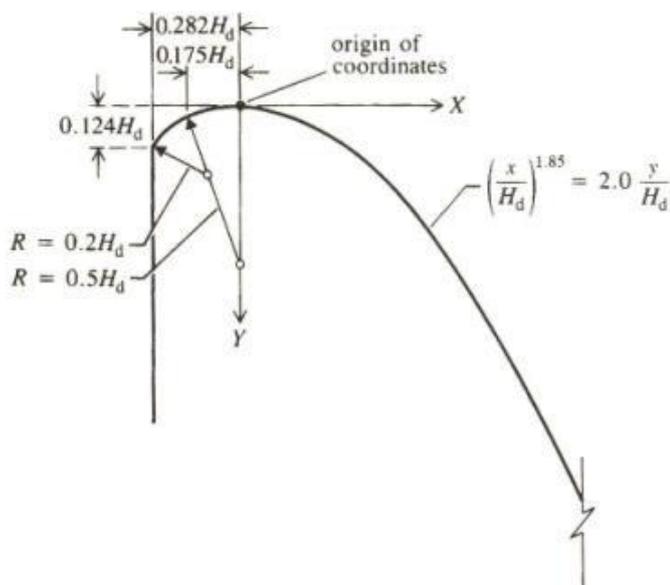


Figura 9-6: Gabarito Hidráulico para vertedouro de soleira livre – Definição do Perfil Creager

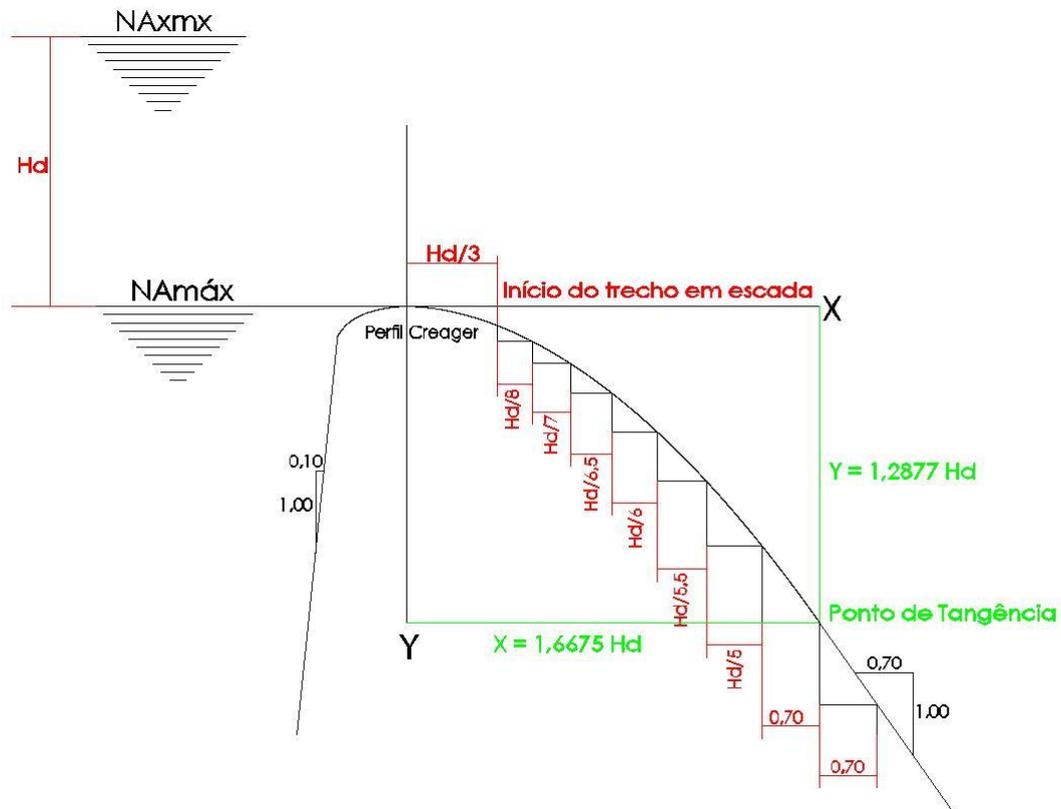


Figura 9-7: Vertedouro de soleira livre com paramento de jusante em escada – Definição das dimensões dos degraus

9.3. Circuitos de Adução

O circuito de adução compõe-se de canal de adução, tomadas d'água e condutos forçados que alimentam as turbinas.

O canal de adução foi previsto para operar com velocidades máximas da ordem de 1,0 m/s. A seção transversal será escavada com taludes de 1,0V:0,4H, para o trecho em rocha, e de 1,0V:1,5H, para o trecho em solo, com berma de 3,0 m na transição solo/tocha.

As tomadas d'água são dotadas de grades, comportas-vagão, acionadas por servomecanismos, que garantirão a interrupção do fluxo na adução, em uma eventual situação de emergência.

O dimensionamento das tomadas d'água foi feito para garantir a passagem da vazão máxima turbinada, com velocidade limitada a 1,0 m/s na área bruta das grades e velocidades compatíveis com as aberturas das comportas de emergência.

O afogamento mínimo das grades e aberturas das comportas foi feito de acordo com o critério de Gordon, admitindo-se condições de aproximação assimétricas.

Para o conjunto circuito de adução e turbinas, foram feitas verificações das condições de estabilidade do sistema, para casos de abertura/fechamento bruscos das turbinas e a inércia dos condutos.

As perdas de carga foram determinadas por meio da fórmula universal, para perdas distribuídas, e coeficientes específicos, para perdas localizadas, de acordo com parâmetros recomendados no HDC e em literatura especializada.

Em função das particularidades do circuito de adução, o item subsequente apresenta os critérios e equações utilizadas para o cálculo das perdas de carga no circuito.

9.3.1. Cálculo das perdas de carga no circuito de adução

Este item apresenta os critérios adotados para o levantamento das curvas de perda de carga no circuito de geração da usina, desde a tomada d'água até a entrada das turbinas.

As perdas de carga no circuito de geração foram calculadas pela seguinte equação:

$$h_p = h_d + h_l$$

Onde

- h_p : perdas de carga no circuito de adução, em m.c.a.;
- h_d : perdas de carga distribuídas, em m.c.a.;
- h_l : perdas de carga localizadas, em m.c.a..

9.3.1.1. Perdas de carga distribuídas no circuito de baixa pressão

As perdas de carga distribuídas no canal de adução (h_{d-ca}) foram calculadas por meio da seguinte equação:

$$h_d = \frac{Ln^2v^2}{R_h^{4/3}}$$

Onde

- L : comprimento do trecho, em m;
- n : número de Manning;
- v : velocidade no trecho, em m/s;
- R_h : raio hidráulico, em m.

O seguinte número de Manning foi adotado:

- Revestimento em manta PEAD ou concreto projetado0,014

O raio hidráulico (R_h), por sua vez, foi calculado por meio da seguinte relação:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

Onde

- A_m : área molhada, em m²;
- P_m : perímetro molhado, em m.

9.3.1.2. Perdas de carga distribuídas no circuito de alta pressão

As perdas de carga distribuídas foram estimadas de acordo com a fórmula universal, representada pela seguinte relação:

$$h_d = \lambda \frac{L}{d_{eq}} \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

- λ : coeficiente de perda de carga;
 L : comprimento do trecho, em m;
 d_{eq} : diâmetro equivalente no trecho, em m;
 v : velocidade no trecho, em m/s;
 g : aceleração da gravidade no local, assumida como 9,7803 m/s².

O coeficiente de perda de carga, λ , é dado pelas seguintes relações:

$$\lambda = \frac{64}{R_e}, \quad \text{se } R_e \leq 2.400$$

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{R_e}}, \quad \text{se } 4.000 \leq R_e < \frac{23}{\varepsilon/d}$$

$$\lambda = \frac{1}{\left(\frac{1,8 \log \frac{R_e}{R_e \frac{\varepsilon}{10d} + 7}}{\varepsilon/d} \right)^2}, \quad \text{se } \frac{23}{\varepsilon/d} \leq R_e < \frac{560}{\varepsilon/d}$$

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \log \frac{3,7d}{\varepsilon} \right)^2}, \quad \text{se } R_e \geq \frac{560}{\varepsilon/d}$$

Onde:

- R_e : número de Reynolds;
 ε : rugosidade absoluta, em mm.

Os seguintes valores de rugosidade absoluta foram utilizados:

- Aço0,15 mm
- Concreto estrutural.....2,00 mm

A velocidade no circuito de adução é dada pela relação abaixo:

$$v = \frac{4q_{turb}}{\pi d_{eq}^2}$$

Onde:

q_{turb} : vazão turbinada unitária, em m³/s, pois os circuitos de geração das unidades serão independentes.

O número de Reynolds, R_e , é dado pela seguinte equação:

$$R_e = \frac{vd_{eq}}{\nu}$$

Onde:

ν : viscosidade cinemática da água, assumida como $8,30 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, para água com temperatura de 30°C .

9.3.1.3. Perdas de carga localizadas

As perdas de carga localizadas foram estimadas pela seguinte equação geral:

$$h_l = k \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

k : coeficiente de perda de carga, variável, de acordo com a singularidade.

O circuito de adução possuirá as seguintes singularidades:

- Entrada da tomada d'água;
- Grades;
- Redução de seção na tomada d'água;
- Ranhuras laterais das comportas de emergência;
- Curvas;
- Redução se seções circulares e transições;
- Saída do tubo de sucção.

a) Coeficiente de perda de carga na entrada da tomada d'água

Para o cálculo das perdas na entrada adotou-se $k = 0,20$.

b) Coeficiente de perda de carga nas grades

O cálculo do fator k para a perda de carga localizada na grade, k_g , seguiu a equação:

$$k_g = k_d k_f p^{1,6} f \text{sen}(\theta)$$

Onde:

k_d : coeficiente de "depósito de detritos", valendo 1,20;

k_f : coeficiente de forma, valendo 0,51;

p : razão entre área de barras e área total da grade;

f : fator que relaciona a espessura da grade e o espaçamento entre barras;

θ : ângulo entre a grade e a soleira.

O fator f é calculado pela seguinte relação:

$$f = 8 + 2,3 \frac{e_g}{b} + 2,4 \frac{b}{e_g}$$

Onde:

- e_g : espessura da grade, em mm;
 b : espaçamento entre barras, em mm.

c) Coeficiente de perda de carga nas reduções de seção

O cálculo do fator k para a perda de carga localizada em reduções de seção, k_{rs} , seguiu a equação:

$$k_{rs} = \left(\frac{n^{1,8} - 1}{1,43n^{1,8} + 1} \right)^2 \text{sen}(\theta_{rs})$$

Onde:

- n : relação entre a área da seção de entrada e a de saída (maior que 1);
 θ_{rs} : ângulo de redução.

Considera-se, para efeitos de perda de carga nas reduções de seção, a velocidade no trecho de saída, ou seja, de menor seção transversal.

d) Coeficiente de perda de carga nas ranhuras laterais das comportas

O cálculo do fator k para a perda de carga localizada nas ranhuras laterais das comportas enescadeira e de emergência, k_{rl} , seguiu a equação:

$$k_{rl} = \left(\frac{\sigma^{1,8} - 1}{1,43\sigma^{1,8} + 1} \right)^2 \text{sen}(\theta_{rl})$$

Onde:

- σ : relação entre áreas.
 θ_{rl} : ângulo da ranhura lateral com o escoamento.

O coeficiente σ é calculado pela relação:

$$\sigma = \frac{A_c + 0,25b_m h_m}{A_c}$$

Onde:

- A_c : área da seção transversal da comporta, em m²;
 b_m : largura da ranhura, em m;
 h_m : altura da ranhura, em m.

O cálculo do coeficiente de perda de carga na parte superior dos vãos das comportas segue e mesma metodologia, com alterações nos coeficientes b_m e h_m , que passam a ser denominados comprimento da ranhura (equivalente à largura da comporta) e profundidade do vão, respectivamente.

e) Coeficiente de perda de carga no alargamento de seção

O cálculo do fator k para a perda de carga localizada em alargamento de seção, k_{as} seguiu a equação:

$$k_{as} = 3,2 \left(\operatorname{tg} \frac{\theta_{as}}{2} \right)^{\frac{5}{4}} \left(\frac{n-1}{n} \right)^2$$

Onde:

- n : relação entre a área da seção de entrada e a de saída (menor que 1);
 θ_{as} : ângulo de alargamento.

Considera-se, para efeitos de perda de carga nos alargamentos de seção, a velocidade no trecho de entrada, ou seja, de menor seção transversal.

f) Coeficiente de perda de carga na transição retangular/circular

O cálculo do fator k para a perda de carga localizada na transição retangular/circular da tomada d'água, k_{tr} é composto por duas parcelas.

$$k_{tr} = k'_{tr} + k''_{tr}$$

A parcela k'_{tr} é calculada pela equação:

$$k'_{tr} = 4 \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^{1,25} \left(1 - \frac{A_c}{A_r} \right)^2$$

Onde:

- A_c : área da seção circular, em m²;
 A_r : área da seção retangular, em m².

O ângulo α é calculado pela relação:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \left[\frac{2 \left(\frac{a_0 b_0}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} - d_c}{2L_{tr}} \right]$$

Onde:

- a_0 : altura da seção retangular, em m;
 b_0 : largura da seção retangular, em m;
 d_c : diâmetro da seção circular, em m;
 L_{tr} : comprimento da transição, em m.

A parcela k''_{tr} é calculada pela equação:

$$k''_{tr} = \frac{\xi}{8 \operatorname{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \left[1 - \left(\frac{A_c}{A_r} \right)^2 \right]$$

O coeficiente ξ é calculado pela relação:

$$\xi = \left[2 \log \left(\frac{3,7 D_h}{\Delta} \right) \right]^{-2}$$

Onde:

D_h : diâmetro hidráulico, em m;

Δ : rugosidade média, em m.

g) Coeficiente de perda de carga nas curvas

O cálculo do fator k para a perda de carga localizada nas curvas do circuito, k_{cv} , também é composto por duas parcelas.

$$k_{cv} = k_m + k_f$$

A parcela k_m é calculada pela equação:

$$k_m = \frac{0,189 \operatorname{sen} \beta}{\sqrt{\frac{R_0}{D_h}}}$$

Onde:

β : ângulo da curva, em graus;

R_0 : raio médio de curvatura, em m.

A parcela k_f é calculada pela equação:

$$k_f = 0,00035 \frac{R_0}{D_h} \beta$$

Onde β é dado em radianos.

h) Coeficiente de perda de carga na saída do tubo de sucção

Para o cálculo das perdas na entrada adotou-se $k = 1,00$.

10. ESTUDOS DE ALTERNATIVAS

Os arranjos gerais das estruturas foram concebidos tomando-se por base os conceitos e critérios correntes em estudos e projetos para a exploração de recursos hidroenergéticos, compatibilizados às condições de contorno do sítio de implantação, resultando em soluções convencionais, seguras e amplamente utilizadas pela engenharia nacional.

No total foram implantadas 3 (três) alternativas de arranjo, diferenciadas pela solução adotada para as estruturas de barramento, desvio do rio, localização da soleira vertente e a carga utilizada dessas estruturas componentes. O detalhamento desses estudos pode ser visualizado nas **Ilustrações 11 a 25**.

As descrições dos critérios gerais de dimensionamento e de implantação das estruturas, assim como o detalhamento das soluções adotadas serão apresentadas nos itens subsequentes.

10.1. Considerações Iniciais

O processo de definição dos arranjos das estruturas e dos equipamentos consiste em selecionar as soluções que melhor se adaptem às características físicas do local em estudo, segundo critérios e juízos seguros e compatíveis com essa etapa dos estudos de Projeto Básico.

A implantação dos barramentos e das estruturas componentes de cada alternativa de arranjo geral foi feita com base nos critérios preconizados pelas Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, publicadas pela Diretoria de Engenharia da Eletrobrás em janeiro de 2000.

Tanto para os estudos de definição da posição final do eixo, como para a definição do arranjo vencedor, a ser detalhado nos estudos finais, algumas das premissas dos estudos de inventário foram mantidas, uma vez que os estudos são comparativos e devem ser estabelecidos segundo critérios uniformes. O nível d'água máximo normal foi mantido na cota 548,30 m e as implantações foram feitas sobre o modelo digital de terreno gerado pelos levantamentos topográficos elaborados para os estudos de projeto básico aqui descritos.

10.2. Conceitos Gerais

Aqui são apresentados, de forma resumida, os critérios, condicionantes e dados básicos necessários à implantação das alternativas de arranjo geral das estruturas.

10.2.1. Concepção Geral

O arranjo geral de cada alternativa foi concebido buscando-se compatibilizar as necessidades de reservação, extravasão e geração com as características do rio, no que diz respeito a aproximações e restituições das águas vertidas e turbinadas e com as facilidades construtivas relativas às obras de desvio e à localização de áreas de empréstimo.

10.2.2. Dimensionamentos Hidráulicos e Levantamentos de Custos de Implantação

Os dimensionamentos hidráulicos e os levantamentos de quantidades e custos basearam-se nas instruções contidas nas Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, com exceção de adaptações e complementações necessárias à maior precisão dos resultados obtidos.

Os dimensionamentos hidráulicos foram obtidos das planilhas de dimensionamento das estruturas componentes dos arranjos implantados sobre o modelo digital de terreno, resultante dos levantamentos topográficos.

10.2.3. Estruturas de Desvio do Rio

Para a execução das obras previstas em cada alternativa de arranjo foram configuradas duas fases de desvio do rio.

Com o rio ainda permanecendo em sua calha natural, as obras de primeira fase terão continuidade, permanecendo sempre protegidas por septos naturais de solo remanescente e em outros casos com a proteção de ensecadeira de primeira fase para a construção das estruturas.

Para a continuidade das obras no leito e trechos adjacentes, a segunda fase de desvio será caracterizada pela execução de ensecadeiras, de forma a direcionar as águas para as estruturas de concreto das adufas de desvio incorporadas ao barramento, ou galerias de concreto sob a barragem.

O desvio do rio foi dimensionado para vazões com período de recorrência de 50 anos do período total (243 m³/s) na primeira fase e, na segunda fase, para tempo de retorno de 50 anos da estiagem de julho a outubro (77 m³/s).

10.2.4. Vertedouros

Adotou-se como concepção geral das estruturas extravasoras vertedouros de soleira livre com carga de projeto de até 3,0 m e coeficiente de descarga igual a 2,18, como recomenda o "Hydraulic Design Criteria" do U. S. Corps of Engineers.

O coeficiente de descarga adotado refere-se a uma estrutura vertente perpendicular ao fluxo, ou seja, a um vertedouro de soleira livre convencional. Concepções não usuais tenderiam a reduzir a capacidade de descarga do vertedouro, por meio da redução do coeficiente de descarga. Que não é o caso de nenhuma das alternativas implantadas nesse estudo.

Para todas as alternativas estudadas, o vertedouro foi dimensionado para a vazão milenar determinada nos estudos de Projeto Básico para o sítio do barramento, ou seja, 329 m³/s. Vale destacar que o valor previsto para a cheia milenar já considera a aplicação da unidade do coeficiente de Füller.

A ogiva, constituída por um perfil tipo "Creager", foi projetada para a passagem da vazão de projeto, de modo a introduzir sobrelevação do nível d'água máximo normal (NAmáx) do reservatório. No seu dimensionamento foram levadas em consideração as condições de aproximação e de restituição e as perdas de carga introduzidas pelos muros laterais.

A estrutura vertente foi concebida com seção do tipo gravidade e prevista sua execução em Concreto Compactado a Rolo (CCR), com paramento de montante vertical e o de jusante, em escada, com inclinação de 0,70H:1,00V, prevendo-se degraus para dissipação de parte da energia.

Para uma das alternativas foi previsto vertedouro de soleira livre do tipo poço (ou shaft, ou tulipa), com soleira circular em planta. Os vertedouros tipo poço (ou shaft) constituem a principal utilização das soleiras circulares em planta. Nelas a alimentação é radial, desde que não haja interferência de fronteiras próximas. O vertedouro em poço aqui apresentado é constituído por uma soleira descarregadora e um poço de diâmetro geralmente variável, seguido de uma galeria. Existe uma zona de transição entre a soleira e o poço e o poço e a galeria. A forma geral do perfil da soleira pode ser considerada coincidente com a face inferior da veia líquida descarregada por um vertedouro de lâmina delgada, cilíndrico, de diretriz circular.

A energia remanescente do fluxo nos degraus deverá ser dissipada no topo rochoso que deverá estar exposto no canal de restituição das vazões vertidas. O dimensionamento das estruturas de dissipação de energia foi efetuado para a vazão centenária (263 m³/s), e verificado o seu bom

funcionamento para diversas vazões representativas, com ênfase para a vazão milenar, vazões essas já consideradas com a aplicação da unidade do coeficiente de Füller.

Ambos os paramentos dos vertedouros de soleira livre serão revestidos por Concreto Convencional (CC), a fim de mitigar a percolação de água através da estrutura.

10.2.5. Circuitos de Adução

Para todas as alternativas de arranjo, o dimensionamento do circuito de adução foi feito de acordo com critérios usuais para o tipo de solução adotada.

A submergência da tomada d'água foi verificada segundo os critérios de Y. L. Gordon e do USBR, atendendo aos limites preconizados.

O circuito de adução compõe-se de tomada d'água de controle do canal de adução, canal de adução, câmara de carga, tomada d'água, e condutos forçados, que alimentam, individualmente, cada uma das turbinas.

A adução de alta pressão será feita por meio de condutos forçados. Os dimensionamentos dessas estruturas garantirão velocidades de escoamento compatíveis com o material utilizado, bem como a magnitude das perdas de carga sugeridas nas avaliações energéticas do potencial. A espessura da chapa do conduto deverá garantir a resistência contra sobrepressões de até 40%, bem como as condições autoportantes, condicionadas ao diâmetro do conduto.

10.2.6. Casa de Força e Canal de Fuga

A casa de força, para todas as alternativas em estudo, será externa e abrigada, uma vez que possui superestrutura completa e cobertura permanente. Abrigará as unidades geradoras, seus dispositivos de comando e controle e sistemas auxiliares. A área para recepção, montagem e manutenção dos equipamentos eletromecânicos de geração, também em concreto, será contígua aos blocos das casas de força. A Área de Montagem das turbinas e geradores será contígua à casa de força.

O canal de fuga foi dimensionado para que, na condição de operação com apenas a vazão média de longo termo, as velocidades não excedam a 1,5 m/s, garantindo assim perdas de carga mínimas.

10.2.7. Dimensionamentos Geotécnicos

Para as alternativas de estruturas de barramento implantadas o fechamento das obras será feito em terra. Sua seção será homogênea de solo compactado, com taludes 1,0V:2,2H a montante e 1,0V:2,1H a jusante e largura de crista de 6,0 m.

Ademais, os dimensionamentos geotécnicos ficaram restritos à análise das condições de fundação para a implantação das estruturas e também às definições dos critérios e condicionantes técnicos para a execução das futuras escavações obrigatórias em cada alternativa implantada.

10.2.8. Reservatórios

Os reservatórios formados pelos eixos dos barramentos implantados nas alternativas serão previstos para operar a fio d'água, com nível d'água definido pelo máximo normal do aproveitamento, ou seja, 548,30 m.

O reservatório de cada alternativa implantada sofrerá variações de nível d'água apenas para a passagem das cheias.

A forma predominante do reservatório acompanha o terreno em seu curto comprimento de aproximadamente 1100m, sem nenhuma ramificação.

A formação dos reservatórios, incluindo as sobrelevações em épocas de cheias, não trará quaisquer interferências com o meio antrópico em todo o seu contorno.

10.3. Características dos Arranjos Implantados

De maneira geral, as alternativas estudadas se diferem no posicionamento das estruturas que compõem o barramento, e tipo de solução dada a estrutura vertente e desvio. O circuito de geração, para todas as alternativas, se manteve o mesmo, variando apenas a cota de coroamento da tomada d'água devido à proteção necessária da estrutura, em função da carga do vertedouro de cada alternativa.

A Figura 10.1 ilustra a localização dos eixos estudados.

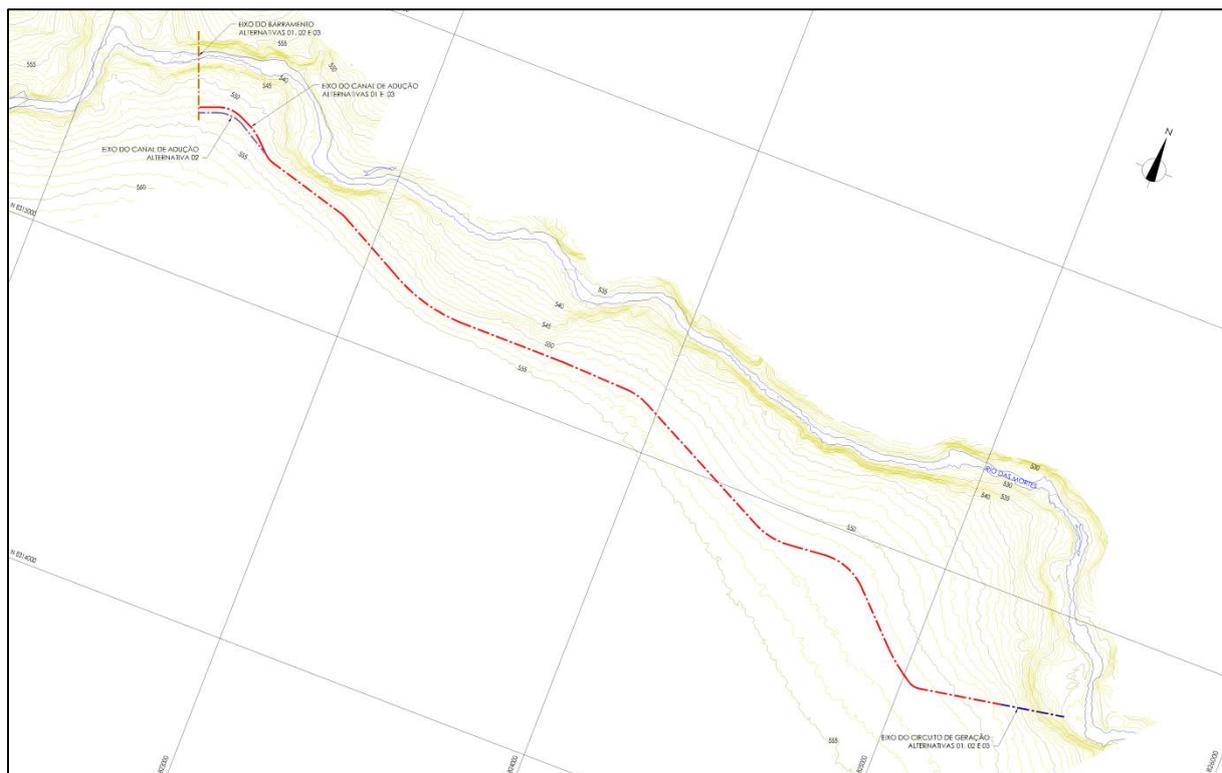


Figura 10.1: Localização dos Eixos Estudados

O projeto do **Circuito de Geração de Baixa Pressão** foi adotado com solução de corte com escavação em solo em todas as alternativas estudadas.

Para o **Circuito de Geração de Alta Pressão** foi realizada uma análise prévia para o posicionamento da tomada d'água e, escolhida a melhor localização para essa estrutura, e também foi avaliada a cota do fundo do canal de fuga mantendo as condições ideais para o trecho.

A **Alternativa 01** caracterizou-se por um barramento perpendicular ao curso d'água natural, com vertedouro de soleira livre localizado na margem esquerda do rio como é possível ver na Figura 10.2. O desvio do rio seria executado por adufas implantadas no corpo da barragem, localizando-se na margem esquerda. O fechamento do barramento em ambas as ombreiras se daria por barragem de terra. A transição entre as obras de concreto e terra ocorreria pela implantação de muro de topo implantado do lado esquerdo da estrutura de controle do canal de adução e do lado direito da adufa de desvio. O circuito de geração composto de tomada

d'água de controle, canal de adução, tomada d'água e condutos forçados, os quais alimentam individualmente cada turbina da casa de força.

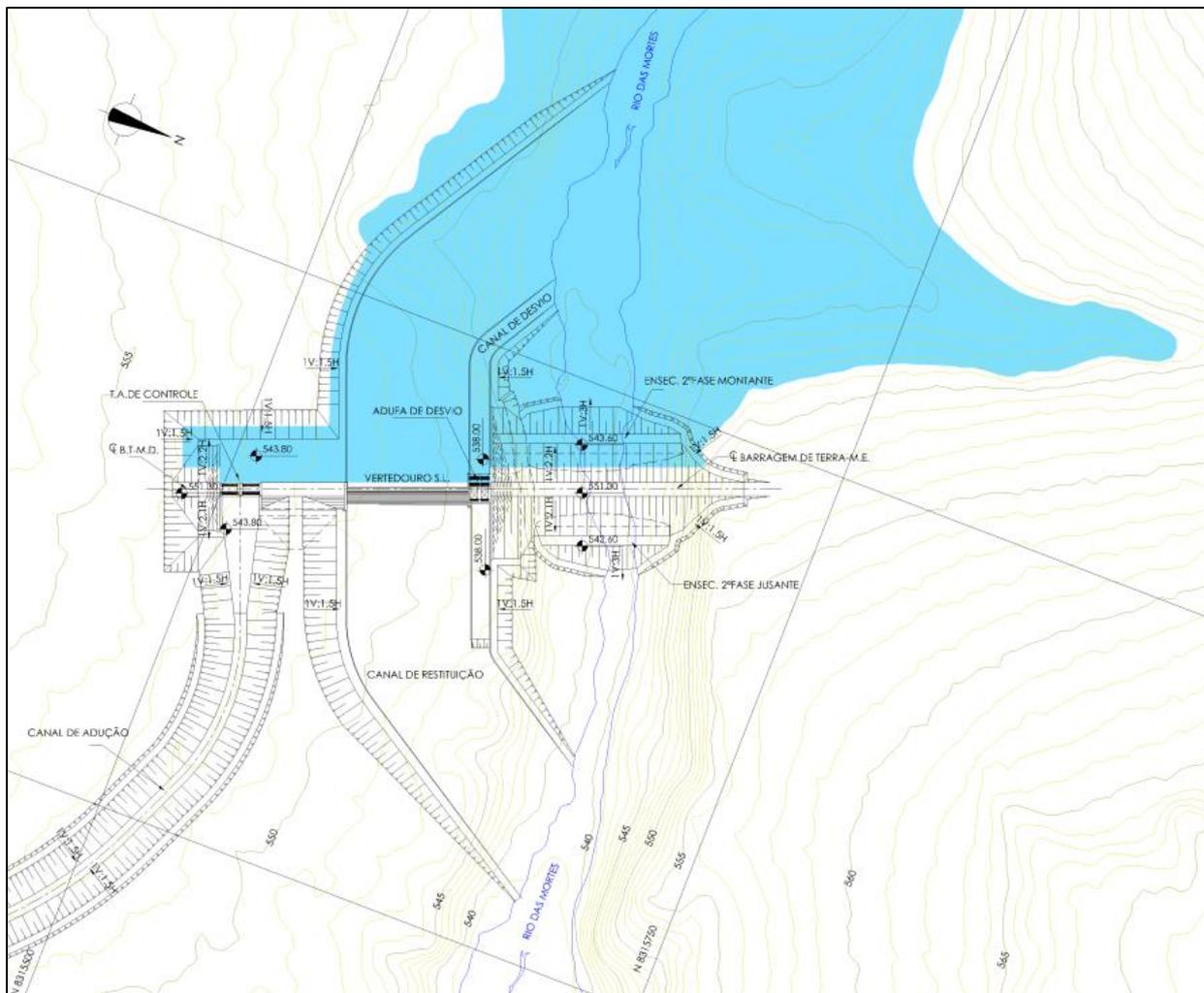


Figura 10.2: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Barramento - Alternativa 01

A **Alternativa 02** possui a mesma solução de barramento apresentada na Alternativa 01. A presente alternativa se diferencia da solução anterior basicamente pela solução de estrutura utilizada para o desvio do rio, uma galeria de concreto sob a barragem na margem esquerda do rio, como ilustrado na Figura 10.3, buscando redução no volume de concreto do muro de topo, que na alternativa 01 encontrava-se locado em cotas mais baixas, proporcionando maiores alturas de muro. A solução para o circuito de geração para essa alternativa é a mesma da anterior, alterando apenas a cota de proteção das estruturas devido à alteração do dimensionamento do vertedouro.

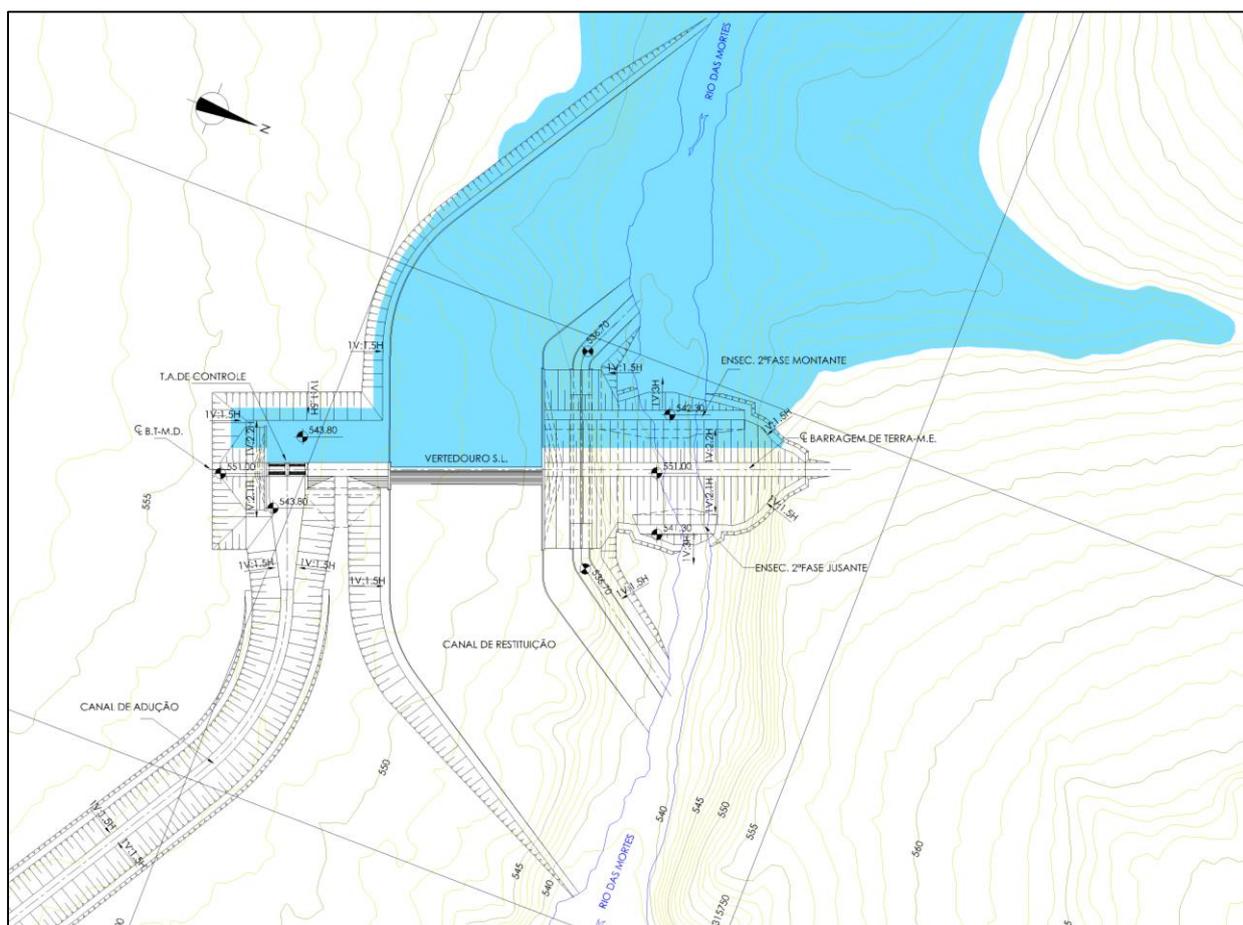


Figura 10.3: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Barramento - Alternativa 02

A **Alternativa 03** manteve o mesmo circuito de geração das alternativas anteriores, como apresentado na Figura 10.4. O eixo de barramento foi posicionado no mesmo local das alternativas anteriores, porém com alteração na solução da estrutura vertente. A barragem foi prevista com seção homogênea de solo em toda sua extensão, com incorporação total das ensecadeiras de segunda etapa do desvio do rio. O vertedouro seria de soleira livre tipo tulipa. O desvio do rio seria executado em uma galeria localizada sobre o barramento e adjacente à galeria do vertedouro, localizada também sobre a barragem de terra, como ilustra a Figura 10.5. A jusante dessas duas estruturas foi dimensionada uma bacia para a dissipação da energia do fluxo vertente. Essa bacia é comum à saída do desvio do rio.

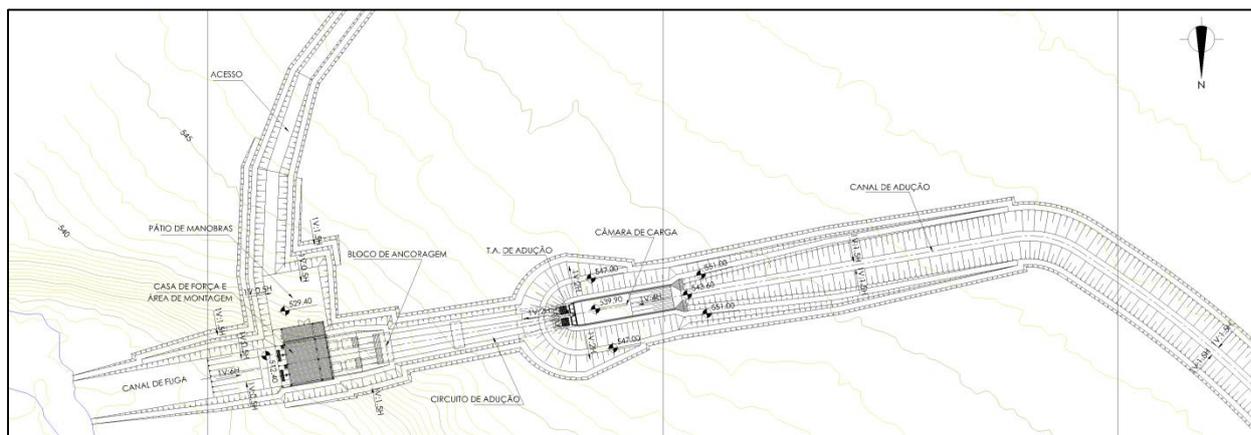


Figura 10.4: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Circuito de Geração - Alternativa 03

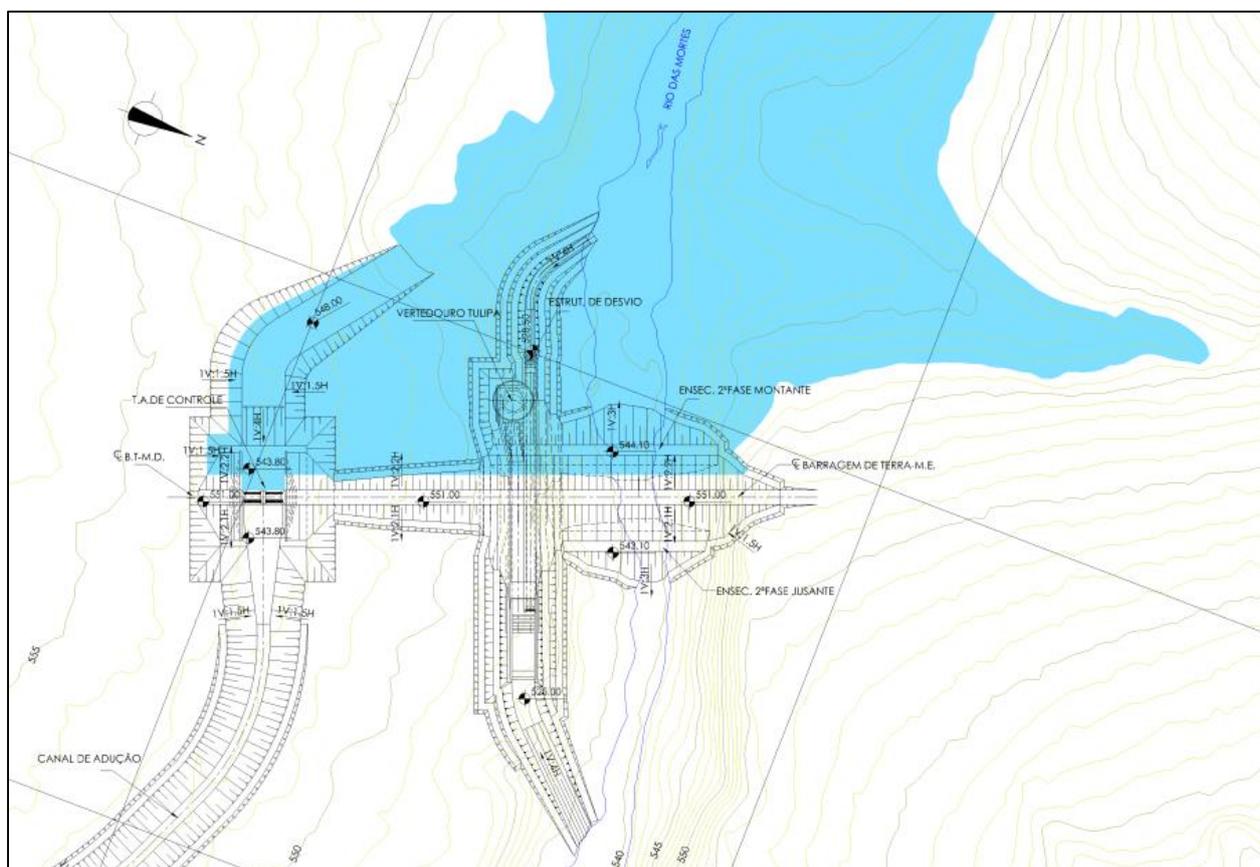


Figura 10.5: Estudos de Alternativas PCH Cumbuco - Barramento - Alternativa 03

As tabelas seguintes mostram um resumo das características físicas das alternativas de arranjo implantadas para a PCH Cumbuco.

Tabela 10-1: Principais características físicas das alternativas de Arranjo e Circuito de Geração de Baixa Pressão.

PCH Cumbuco	Alternativas de Arranjo e Circuito de Geração de Baixa Pressão					
	Estruturas de Barramento Alternativa 01		Estruturas de Barramento Alternativa 02		Estruturas de Barramento Alternativa 03	
Coordenadas	OD	OE	OD	OE	OD	OE
X (m)	822.359	822.270	822.365	822.271	822.358	822.269
Y (m)	8.315.479	8.315.711	8.315.464	8.315.707	8.315.481	8.315.712
Comprimento do eixo (m)	250,0		260,0		247,0	
NAmáx (m)	548,30		548,30		548,30	
Elcor (m)	551,30		551,00		551,00	
Desvio do Rio	2 fases		2 fases		2 fases	
Fase 1	leito natural		leito natural		leito natural	
Tr (anos)	50		50		50	
Período	total		total		total	
Q (m³/s)	243		243		243	
Fase 2	adufas		galeria		galeria	
Tr (anos)	50		50		50	
Período	Estiagem		Estiagem		Estiagem	
Q (m³/s)	77		77		77	
Posição	margem direita		margem direita		margem direita	
Número	2		2		1	
Dimensões (altura; largura) (m)	2,60 (H) 3,00(L)		2,60 (H) 3,00(L)		4,00 (H) 3,50(L)	
Vertedouro	soleira livre		soleira livre		soleira livre tipo tulipa	
Hp (m)	2,00		1,70		2,00	
Bcrista (m)	53		68		55	
Estrutura de Dissipação	degraus + topo rochoso		degraus + topo rochoso		bacia + topo rochoso	
Posição	Margem direita		Margem direita		Margem direita	
Q100 (m³/s)	263		263		263	
Q1.000 (m³/s)	329		329		329	
Q10.000 (m³/s)	395		395		395	
Canal de Adução (comprimento) (m)	3.145		3.145		3.145	
Posição	Margem direita		Margem direita		Margem direita	

Tabela 10-2: Principais características físicas das alternativas de Circuito de Geração de Alta Pressão.

PCH Cumbuco	Circuito de Geração de Alta Pressão
	Alternativas 01, 02 e 03
Circuito de geração de Alta Pressão	2 Conduitos Forçados alimentando cada unidade geradora individualmente
Posição	margem direita
Seção (m)	circular
Diâmetro (m)	3,60
Comprimento (m)	2 x 128,0
Tomada d'Água	frontal, 2 unidades
Comprimento (m)	9,10
Largura (m)	13,20
Cota da Soleira (m)	540,40
Cota da Câmara de Carga (m)	539,90
Casa de Força	abrigada
Número de Blocos	2
Comprimento dos Blocos (m)	28,50
Largura dos Blocos (m)	23,20
Cota da Linha do Centro do Distribuidor (m)	519,15
Cota da Saída do Tubo de Sucção (m)	512,90
Largura da AM e Descarga (m)	9,00
Cota do Piso da AM (m)	529,40
Canal de Fuga	escavado
Comprimento (m)	112,00
Nível d'Água Normal (m)	521,60

10.4. Seleção da Alternativa de Arranjo

A Tabela 10-3 apresenta um resumo dos orçamentos elaborados para as alternativas de arranjo avaliadas.

Tabela 10-3: Estudos de alternativas – Resumos dos orçamentos

Conta	Valor (R\$×10³)		
	Estudos de Alternativas		
	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
.10	1.205,77	1.251,14	1.238,94
.11	6.146,97	6.146,97	6.146,97
.12	29.169,24	31.671,40	31.088,08
.13	20.433,37	20.433,37	20.433,37
.14	3.972,25	3.972,25	3.972,25
.15	2.640,09	2.640,09	2.640,09
.16	0,00	0,00	0,00

Conta	Valor (R\$x10³)		
	Estudos de Alternativas		
	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
Custo Direto	63.567,69	66.115,22	65.519,70
Custos Indiretos	6.826,25	7.099,90	7.035,98
Custo Total sem Juros	70.393,94	73.215,12	72.555,68
JDC	7.039,39	7.321,51	7.255,57
Custo Total	77.433,33	80.536,63	79.811,25

A análise da Tabela 10-3 mostra que os custos das soluções estudadas estão próximos. Para dar seguimento aos estudos, inicialmente, já foi descartada a alternativa 3 devido ao volume de concreto estrutural e a complexidade da estrutura vertente. Dentre as outras duas alternativas foi selecionada a Alternativa 01, pois além de apresentar menor custo, elimina o risco do contato concreto/solo compactado devido a estrutura da galeria de desvio sob a barragem de terra localizada na margem esquerda. Assim, para o detalhamento final do aproveitamento selecionou-se a **Alternativa 01**.

Para o detalhamento final, a partir do arranjo selecionado, foram promovidas algumas otimizações, visando à redução dos custos.

11. ESTUDOS ENERGÉTICOS

Os estudos energéticos desenvolvidos para a PCH Cumbuco objetivaram a determinação dos seguintes parâmetros:

- Potência instalada "ótima" do aproveitamento;
- Energia média do aproveitamento;
- Número de unidades geradoras;
- Queda de referência da usina, definida como a queda líquida na qual as turbinas, operando com os distribuidores completamente abertos, fornecem a potência nominal dos geradores (queda utilizada para o dimensionamento das turbinas);
- Queda líquida de projeto, na qual o rendimento da turbina é máximo, a ser utilizada no cálculo da Garantia Física da PCH.

11.1. Critérios para a Determinação da Energia Média Gerada

A energia gerada pela operação da PCH Cumbuco foi quantificada como a geração média histórica, compreendendo o período da série de vazões médias mensais (janeiro de 1968 a dezembro de 2014). Os parâmetros adotados para a simulação energética foram os seguintes:

- Nível d'água de montante fixo, na cota 548,30 m, uma vez que a usina operará a fio d'água, sem deplecionamento;
- Nível d'água de jusante variando de acordo com a curva-chave elaborada para o canal de fuga;
- Perdas hidráulicas no circuito de aduçãoequações de perda de carga
- Série de vazões médias mensais jan/1968 a dez/2014
- Vazão remanescentevariável mensalmente (10% da média em cada mês)
- Disponibilidade forçada 1,26%
- Disponibilidade programada 3,73%
- Rendimento nominal da turbina 93,0%
- Rendimento nominal do gerador 97,0%

Para a realização desses estudos foi utilizado um modelo matemático próprio, elaborado para estudos energéticos de aproveitamentos a fio d'água.

A série de vazões médias mensais é apresentada na Tabela 11-1.

Tabela 11-1: Série de vazões médias mensais no local da PCH Cumbuco

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
1968	49,6	102,6	86,4	58,4	43,6	31,9	31,9	28,8	26,7	30,1	35,6	49,6	47,9
1969	55,8	60,6	54,2	43,7	36,3	30,3	27,7	26,0	25,1	27,9	36,8	47,0	39,3
1970	57,7	87,3	104,9	65,1	44,8	36,3	32,5	28,8	30,0	34,7	38,4	34,9	49,6
1971	40,5	46,3	63,5	52,5	39,1	32,0	26,9	25,1	24,1	28,9	40,6	45,3	38,7
1972	52,0	83,8	59,7	52,2	35,1	31,0	29,1	27,0	26,3	31,0	46,7	69,2	45,3
1973	63,9	73,9	69,7	61,8	46,3	36,5	31,5	28,8	27,7	34,4	49,9	59,4	48,7

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
1974	87,6	67,1	110,2	82,1	63,0	47,0	38,4	33,7	31,7	36,3	39,8	50,8	57,3
1975	59,6	64,0	67,8	76,4	51,5	37,9	34,1	30,1	28,2	31,5	47,5	69,0	49,8
1976	57,0	82,6	83,5	61,6	54,2	45,1	36,0	30,3	31,9	37,7	57,5	88,3	55,5
1977	85,9	104,3	77,3	71,6	65,4	49,9	41,0	33,9	34,9	43,2	59,6	84,0	62,6
1978	122,9	88,1	125,9	79,0	72,5	59,6	47,2	42,0	42,5	47,0	58,0	87,5	72,7
1979	167,9	162,5	137,6	101,9	75,2	60,1	51,5	44,9	52,3	47,3	59,6	72,8	86,1
1980	110,0	169,0	133,1	91,2	82,5	57,5	51,0	43,7	45,8	43,6	54,7	84,7	80,6
1981	126,9	88,8	123,4	100,8	85,9	55,4	49,9	42,7	39,1	47,5	80,7	87,3	77,4
1982	127,7	113,3	122,1	108,5	71,6	60,1	50,1	47,0	49,6	52,9	80,1	111,2	82,8
1983	103,6	97,1	82,0	77,6	59,6	52,5	42,0	38,9	37,4	45,8	61,1	94,0	66,0
1984	84,2	79,7	82,1	75,8	60,9	49,2	39,4	38,6	39,1	47,0	56,1	86,9	61,6
1985	117,1	78,3	94,3	84,0	60,6	47,7	42,5	37,0	35,8	38,2	44,2	46,3	60,5
1986	75,4	82,0	67,5	59,2	49,6	39,3	33,2	38,4	38,9	39,9	40,5	69,9	52,8
1987	82,1	77,3	85,2	76,4	61,6	45,5	39,1	35,5	34,3	35,6	51,6	106,1	60,9
1988	98,0	103,5	134,1	95,6	67,5	55,3	46,3	40,6	37,0	40,3	47,2	68,2	69,5
1989	106,4	117,9	116,9	105,3	76,5	64,0	60,5	58,9	54,5	57,7	65,2	82,3	80,5
1990	98,1	97,4	89,9	76,3	63,9	49,9	45,5	39,3	42,7	54,7	54,9	65,9	64,9
1991	87,8	113,8	138,6	105,7	69,0	55,3	47,7	42,0	40,8	42,8	51,7	62,2	71,4
1992	90,9	101,6	116,9	112,6	69,4	53,0	46,3	42,2	54,1	54,1	68,2	90,6	75,0
1993	112,8	132,2	91,7	82,2	58,0	51,8	45,1	42,5	42,4	46,7	45,5	75,4	68,8
1994	112,6	85,7	118,1	86,8	64,0	54,1	48,0	41,7	37,7	41,1	60,8	84,2	69,6
1995	129,8	146,2	99,3	108,3	89,9	61,5	52,9	44,6	41,0	48,4	56,3	60,9	78,2
1996	77,3	78,3	75,9	73,9	58,2	52,3	43,4	39,9	41,1	39,9	67,8	66,6	59,6
1997	107,3	114,1	120,0	96,4	70,9	75,9	54,7	44,9	42,2	46,5	57,8	100,0	77,6
1998	90,2	110,0	98,5	89,7	60,9	50,6	43,4	39,4	37,7	44,6	65,4	108,1	69,9
1999	107,4	80,1	110,9	71,4	56,8	46,8	41,8	36,3	36,0	37,7	55,3	62,2	61,9
2000	83,7	111,9	115,0	78,5	60,6	46,5	42,0	36,5	43,4	39,8	54,4	73,3	65,5
2001	65,9	56,0	78,2	60,9	48,0	43,2	35,6	32,4	33,1	39,8	52,5	109,5	54,6
2002	143,8	113,3	94,5	69,9	57,5	45,6	41,7	37,6	37,0	38,9	42,9	55,3	64,8
2003	81,6	106,2	109,3	118,1	66,8	52,3	45,5	39,9	37,7	42,5	45,8	60,4	67,2
2004	100,4	158,7	111,9	82,0	65,3	51,8	46,8	39,6	37,0	40,5	56,1	65,3	71,3
2005	85,2	79,7	92,3	71,1	50,8	41,8	37,0	32,9	33,6	37,7	48,0	74,4	57,0
2006	76,3	64,9	97,1	99,2	56,0	44,8	40,1	35,1	36,7	53,9	54,7	75,2	61,2
2007	90,0	117,4	88,0	64,2	51,1	41,7	37,7	34,1	31,7	34,1	46,0	59,2	57,9
2008	72,7	102,4	96,6	84,0	60,1	47,5	39,6	34,6	32,2	36,2	50,1	52,2	59,0
2009	55,8	76,8	95,9	90,9	53,4	45,1	38,2	33,9	36,5	38,4	56,0	100,5	60,1
2010	92,1	84,9	82,3	90,0	50,4	45,3	37,7	34,4	32,9	32,0	45,3	60,1	57,3
2011	90,6	76,3	104,7	92,5	65,1	44,2	38,2	33,6	31,0	36,5	41,7	49,1	58,6
2012	84,4	71,1	68,7	56,1	47,3	41,5	34,4	30,0	28,8	32,7	48,6	54,7	49,9

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd.
2013	88,1	115,9	92,1	88,0	51,6	49,9	38,4	32,9	31,0	37,7	48,9	80,4	62,9
2014	77,3	88,0	102,4	89,4	58,0	47,3	39,9	35,3	33,4	34,1	47,2	98,1	62,5
Méd	90,1	96,0	97,2	81,3	59,7	48,2	41,3	36,9	36,7	40,6	52,6	73,2	62,8
Máx	167,9	169,0	138,6	118,1	89,9	75,9	60,5	58,9	54,5	57,7	80,7	111,2	-
Mín	40,5	46,3	54,2	43,7	35,1	30,3	26,9	25,1	24,1	27,9	35,6	34,9	-

As variações no nível de jusante serão regidas pela curva-chave elaborada para o canal de fuga, representada pelas seguintes equações:

$$NA = 521,00 \text{ m}, \quad \text{se } Q_{defl} \leq 12,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$NA = \left(\frac{Q_{defl}}{19,019304} \right)^{1/1,789252} + 520,20, \quad \text{se } 12,76 < Q_{defl} \leq 98,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$NA = \left(\frac{Q_{defl}}{27,268759} \right)^{1/2,415191} + 521,00, \quad \text{se } Q_{defl} > 98,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tendo em vista que a usina de jusante, UHE Buritizal, localizada no rio das Mortes, foi prevista para operar na El. 521,0 m, e que a vazão mínima média mensal será superior a 12,76 m³/s, a PCH Cumbuco não sofrerá interferências deste reservatório em seu canal de fuga, caso a UHE Buritizal seja construída.

Como a usina operará a fio d'água, a vazão defluente (Q_{defl}) será equivalente à vazão afluenta média em cada mês (Q_{afli}).

As perdas hidráulicas no circuito de adução foram estimadas por meio de equações em função das características físicas do circuito, desde o canal de adução até a entrada das turbinas. De maneira geral, as perdas, h_p , podem ser representadas pela seguinte relação:

$$h_p = h_{p1} + h_{p2}$$

onde

h_{p1} : perdas hidráulicas no canal de adução, em função da vazão turbinada total;

h_{p2} : perdas hidráulicas no circuito de alta pressão, desde a tomada d'água até a entrada da turbina, em função da vazão turbinada unitária.

As referidas perdas foram inseridas no modelo matemático de simulação energética, relacionando a vazão turbinada com a queda líquida do aproveitamento, para cada mês do período de simulação.

Uma vez que a PCH Cumbuco será uma usina de derivação, com restituição das vazões turbinadas afastada do eixo de barramento, será necessária, ao longo da operação da usina, a manutenção de uma vazão remanescente ou ecológica. Essa vazão, segundo os critérios definidos pela SEMA/MT, será variável e equivalente a 10% da média em cada mês.

Os valores utilizados são apresentados na Tabela 11-2 e estão compatíveis com a série de vazões médias mensais do aproveitamento.

Tabela 11-2: Vazões remanescentes utilizadas

Q (m³/s)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Qrem	9,01	9,60	9,72	8,13	5,97	4,82	4,13	3,69	3,67	4,06	5,26	7,32

Em relação às indisponibilidades, foram utilizados os seguintes valores:

- TEIF..... 1,26%
- IP 3,73%

onde TEIF é a indisponibilidade forçada e IP, a programada.

Estes valores representam um período da ordem de 440 horas por ano para cada máquina, destinadas às paradas forçadas e programadas: 330 horas para a parada programada e 110 horas para a forçada, totalizando aproximadamente 5% para as indisponibilidades totais, representadas pela seguinte relação:

$$\%_{\text{disponibilidade}} = (1 - TEIF)(1 - IP)$$

Aplicando esses valores à equação, obteve-se uma disponibilidade para geração energética de 95%, considerando assim que em 5% do tempo as máquinas estarão desligadas, em função de manutenções programadas e/ou forçadas.

Por fim, em relação às quedas líquidas de referência e de projeto, a primeira foi estabelecida como a queda com permanência de 95% no histórico de quedas líquidas, e a segunda, como a queda líquida média ponderada em todo o período de simulação energética.

11.2. Valoração dos Benefícios Energéticos

De acordo com as normativas da ANEEL, para valoração dos benefícios energéticos deve ser considerado o "Custo Marginal de Dimensionamento publicado pelo Poder Concedente ou, em casos em que esse parâmetro não esteja disponível, o Custo Marginal de Expansão, definido no Plano Decenal de Expansão do ano anterior".

Considerando que o Custo Marginal de Dimensionamento (CMD) não vem sendo publicado, e que o Custo Marginal de Expansão (CME), correspondente a R\$ 112,00/MWh, conforme publicado no Plano Decenal de Expansão 2023, considera as médias dos últimos Leilões de Energia, inclusive com as usinas estruturantes e de grande porte, que influenciam diretamente no cálculo do CME, abaixando significativamente o valor, foi desenvolvido um estudo específico para determinação de um custo marginal que reflita a realidade de empreendimentos do porte deste em desenvolvimento, considerando os aproveitamentos Leiloados nos últimos anos.

Conforme consta do Plano Decenal de Expansão, a metodologia para cálculo do CME "toma por base os preços das negociações realizadas nos leilões de energia nova, de reserva e de fontes alternativas ao longo dos últimos cinco anos, corrigidos monetariamente e ponderados conforme a demanda contratada".

Assim, de acordo com a metodologia do Plano Decenal de Expansão e com base nos dados obtidos junto à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), foram selecionadas as usinas hidrelétricas com potência inferior a 100 MW que comercializaram energia nos leilões dos últimos anos, que totalizaram 57 usinas.

O estabelecimento de uma potência máxima de 100 MW, para fins deste cálculo, se justifica pelo fato de representar uma faixa com custos de instalação similares. As usinas de maior porte

já passam a apresentar um ganho de escala, que vem a distorcer o valor da tarifa em relação aos demais empreendimentos.

Da base de dados da CCEE, os preços de venda foram atualizados até a base setembro/2015, com base no IPCA. O custo é obtido pela fórmula seguinte:

$$CUSTO = \frac{\sum ECOM_i \times PV_i}{\sum ECOM_i}, \text{ onde:}$$

$ECOM_i = \text{Energia Comercializada pela Usina [i]}$
 $PV_i = \text{Preço de Venda da Usina [i]}$

A Tabela 11-3 apresenta uma relação da usinas consideradas neste estudo.

Tabela 11-3: Empreendimentos Hidrelétricos Considerados na Simulação

Leilão	Data de realização do leilão	Tipo de Leilão	Vendedor	Empreendimento	UF	Potência (MW)	GF (MW médio)	Energia Contratada (MW médio)	Preço de Venda (R\$/MWh)	Preço de Venda Atualizado (R\$/MWh)
02° LFA	26/08/10	Fontes Alternativas	COPEL	CAVERNOSO II	PR	19,0	10,6	7,6	146,99	206,40
02° LFA	26/08/10	Fontes Alternativas	GALHEIROS	GALHEIROS I	GO	11,0	6,4	6,4	144,50	202,90
02° LFA	26/08/10	Fontes Alternativas	PCH SALTO GOES	SALTO GOES	SC	20,0	11,1	11,1	147,47	207,07
02° LFA	26/08/10	Fontes Alternativas	QUE	QUEIXADA	GO	30,0	21,6	16,6	148,39	208,36
02° LFA	26/08/10	Fontes Alternativas	UNAIBAIXO	UNAI BAIXO	MG	21,0	12,7	6,4	144,98	203,57
03° LER	26/08/10	Reserva	PRIMUS	INXU	MT	20,6	16,5	16,5	129,93	182,44
03° LER	26/08/10	Reserva	SEB	SAO SEBASTIAO	SC	9,9	5,2	5,2	133,25	187,10
08° LEN	27/07/09	Energia Nova	CESA	PCH RIO BONITO (AMPLIACAO)	-	22,5	1,4	1,0	144,00	211,59
10° LEN	30/07/10	Energia Nova	EMAE	PIRAPORA	-	25,0	0,0	16,0	154,49	217,01
10° LEN	30/07/10	Energia Nova	MEGA ENERGIA	CANAA	-	17,0	7,8	7,0	153,98	216,30
10° LEN	30/07/10	Energia Nova	MEGA ENERGIA	JAMARI	-	20,0	9,1	9,0	154,23	216,65
10° LEN	30/07/10	Energia Nova	MEGA ENERGIA	SANTA CRUZ DE MONTE NEGRO	-	17,0	0,0	7,0	153,73	215,95
15° LEN	14/12/12	Energia Nova	EDP	SANTO ANTONIO DO JARI	AP	73,4	21,6	20,9	82,00	99,47
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	ALUPAR	VERDE 08	GO	28,5	16,9	13,1	130,00	152,48
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	CANTU 2	CANTU 2	PR	18,0	9,5	9,5	128,99	151,29
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	EGP CABEÇA DE BOI	CABEÇA DE BOI	MT	29,7	13,6	13,6	119,99	140,74
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	EGP FAZENDA	DA FAZENDA	MT	19,5	9,1	9,1	120,00	140,75
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	EGP SALTO APIACAS	SALTO APIACÁS	MT	45,0	22,9	22,4	119,97	140,71
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	ELETROSUL	SANTO CRISTO	SC	19,5	10,8	0,5	129,00	151,30
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	MANOPLA	MANOPLA	PE	5,0	2,6	2,6	128,99	151,29

Leilão	Data de realização do leilão	Tipo de Leilão	Vendedor	Empreendimento	UF	Potência (MW)	GF (MW médio)	Energia Contratada (MW médio)	Preço de Venda (R\$/MWh)	Preço de Venda Atualizado (R\$/MWh)
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	PCH MATA VELHA	MATA VELHA	MG	24,0	13,1	12,7	128,99	151,29
16° LEN	29/08/13	Energia Nova	SANTA HELENA ENERGIA	YPÊ	GO	29,3	16,7	16,7	131,20	153,88
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	ALUPAR	Água Limpa	MG	23,0	11,4	6,0	138,00	158,06
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	CEC	Ado Popinhak	SC	19,3	10,4	10,4	135,90	155,66
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	COOGERVAAPA	Linha Aparecida	RS	24,9	13,8	11,7	136,98	156,90
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	COOGERVAJAC	Linha Jacinto	RS	17,4	9,9	9,3	137,98	158,04
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	FAZENDA VELHA	Fazenda Velha	GO	16,5	8,9	6,7	131,95	151,14
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	GARÇA BRANCA	Garça Branca	SC	6,5	3,4	3,2	137,86	157,90
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	JARDIM	JARDIM	RS	9,0	4,5	1,1	139,00	159,21
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	MORRO GRANDE	MORRO GRANDE	RS	9,8	4,4	1,1	139,00	159,21
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	MUTUM	Nova Mutum	MT	14,0	6,1	1,2	139,00	159,21
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	OMEGA SERRA DAS AGULHAS	Serra das Agulhas	MG	28,0	11,7	11,7	134,90	154,51
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	PGE	PITO	SC	4,0	2,3	2,3	134,90	154,51
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	QI	Quartel I	MG	30,0	14,0	13,9	139,20	159,44
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	QII	Quartel II	MG	30,0	14,2	14,1	139,20	159,44
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	QIII	Quartel III	MG	30,0	14,1	14,0	139,20	159,44
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	REN	Renic	GO	16,0	6,6	2,5	136,90	156,80
18° LEN	13/12/13	Energia Nova	TBL	Tamboril	GO	29,3	12,9	7,0	136,90	156,80
20° LEN	28/11/14	Energia Nova	CDESA	COMODORO	MT	10,0	6,2	6,2	162,50	176,28
20° LEN	28/11/14	Energia Nova	LAJARI	LAJARI	MT	20,9	10,9	9,0	160,90	174,55
20° LEN	28/11/14	Energia Nova	PDESA	PRESENTE DE DEUS	MT	13,0	8,5	8,5	162,50	176,28
21° LEN	30/04/15	Energia Nova	ATIAIA ENERGIA S.A.	BANDEIRANTE	MS	27,2	18,4	16,5	203,98	209,98
21° LEN	30/04/15	Energia Nova	SPE BOA VISTA 2 ENERGIA S.A.	BOA VISTA II	MG	26,5	14,4	14,0	207,64	213,75
21° LEN	30/04/15	Energia Nova	CONFLUÊNCIA ENERGIA SA	CONFLUÊNCIA	PR	27,0	13,7	13,5	205,00	211,03
21° LEN	30/04/15	Energia Nova	GEOMECANICA TECNOLOGIA - TEC DE SOLOS ROCHAS E MATERIAIS	SECRETÁRIO	RJ	2,7	1,3	1,2	202,99	208,96
21° LEN	30/04/15	Energia Nova	MINAS PCH S/A	TIBAGI MONTANTE	PR	32,0	20,3	19,0	209,50	215,67

Leilão	Data de realização do leilão	Tipo de Leilão	Vendedor	Empreendimento	UF	Potência (MW)	GF (MW médio)	Energia Contratada (MW médio)	Preço de Venda (R\$/MWh)	Preço de Venda Atualizado (R\$/MWh)
21ºLEN	30/04/15	Energia Nova	PHOENIX GERAÇÃO DE ENERGIA S.A.	VERDE 4A	MS	28,0	19,7	19,2	206,49	212,57
21ºLEN	30/04/15	Energia Nova	SAVANA GERAÇÃO DE ENERGIA S.A.	VERDE 4	MS	19,0	13,8	13,4	206,98	213,07
21ºLEN	30/04/15	Energia Nova	SERRA DOS CAVALINHOS I ENERGÉTICA S.A.	SERRA DOS CAVALINHOS I	RS	25,0	14,5	14,1	206,48	212,56
21ºLEN	30/04/15	Energia Nova	TIGRE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA LTDA	TIGRE	PR	9,0	5,3	1,0	195,00	200,74
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	CAROLINA GERAÇÃO DE ENERGIA LTDA	SANTA CAROLINA	RS	10,5	5,1	4,6	203,00	204,10
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	PCH DORES DE GUANHÃES S.A.	DORES DE GUANHAES	MG	14,0	7,1	7,1	205,50	206,61
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	PCH FORTUNA II S.A.	FORTUNA II	MG	9,0	4,7	4,6	205,50	206,61
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	PC JACARÉ S.A.	JACARE	MG	9,0	5,0	4,9	205,50	206,61
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	EUCLIDES MACIEL ENERGÉTICA SA	DAS PEDRAS	SC	5,6	3,3	2,3	207,00	208,12
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	PCH SENHORA DO PORTO S.A.	SENHORA DO PORTO	MG	12,0	6,5	6,5	205,50	206,61
22ºLEN	21/08/15	Energia Nova	XAVANTINA ENERGÉTICA S.A.	XAVANTINA	SC	6,1	3,5	3,1	202,85	203,95

O resultado obtido foi de **R\$ 179,20/MWh**, na base setembro/2015.

Detaca-se que para os Leilões de 2015, realizado em abril e agosto de 2015, o preço teto para estes empreendimentos foi elevado para R\$ 210,00/MWh e R\$ 216,00/MWh, respectivamente.

Nesse sentido, optou-se por fazer uma análise de sensibilidade dos valores de venda de energia, para a definição da potência instalada da PCH Cumbuco.

11.3. Estudos de Motorização

Os estudos de motorização da PCH Cumbuco objetivaram a definição de sua potência instalada, por meio da análise da relação entre a variação do custo de implantação e a variação do benefício gerado por cada alternativa de motorização.

Inicialmente, foi feito um “mapeamento” energético do sítio, para várias potências instaladas, com estimativas das energias médias, de seus respectivos fatores de capacidade, vazões turbinadas máximas e permanência destas na série de vazões médias mensais. Este estudo preliminar objetivou a escolha da faixa de potências a serem estudadas, em maior nível de detalhamento, nos estudos de motorização.

A Tabela 11-4 apresenta os resultados dessas simulações energéticas, considerando uma perda de carga média de 3% da queda bruta. Ressalta-se que nos estudos de motorização

propriamente ditos, etapa na qual são levantadas as curvas de perda de carga no circuito de adução, os valores poderão diferir dos apresentados na referida tabela

Tabela 11-4: Mapeamento energético preliminar

P_{inst} (MW)	E_{med} (MW_{méd})	f_{c-med}	ΔE_{med} (MW_{med})	Q_{turb} (m³/s)	% perm.
7,00	6,57	0,94	-	31,99	93,82%
7,25	6,78	0,94	0,21	33,13	92,11%
7,50	6,99	0,93	0,20	34,27	90,05%
7,75	7,18	0,93	0,20	35,42	88,15%
8,00	7,37	0,92	0,19	36,56	85,38%
8,25	7,56	0,92	0,18	37,70	83,67%
8,50	7,74	0,91	0,18	38,84	80,33%
8,75	7,91	0,90	0,17	39,99	76,69%
9,00	8,07	0,90	0,16	41,13	74,80%
9,25	8,23	0,89	0,16	42,27	72,22%
9,50	8,39	0,88	0,15	43,41	69,78%
9,75	8,53	0,88	0,15	44,56	68,58%
10,00	8,67	0,87	0,14	45,70	65,65%
10,25	8,81	0,86	0,14	46,84	63,05%
10,50	8,94	0,85	0,13	47,98	60,07%
10,75	9,06	0,84	0,13	49,13	58,91%
11,00	9,18	0,84	0,12	50,27	56,76%
11,25	9,30	0,83	0,12	51,41	55,63%
11,50	9,41	0,82	0,11	52,55	52,92%
11,75	9,52	0,81	0,11	53,70	52,11%
12,00	9,63	0,80	0,10	54,84	49,82%
12,25	9,73	0,79	0,10	55,98	47,94%
12,50	9,82	0,79	0,09	57,12	46,85%
12,75	9,91	0,78	0,09	58,27	45,04%
13,00	10,00	0,77	0,09	59,41	44,22%
13,25	10,09	0,76	0,09	60,55	42,01%
13,50	10,17	0,75	0,08	61,69	39,91%
13,75	10,26	0,75	0,08	62,84	39,29%
14,00	10,34	0,74	0,08	63,98	38,61%
14,25	10,41	0,73	0,08	65,12	37,44%
14,50	10,49	0,72	0,08	66,26	36,16%
14,75	10,56	0,72	0,07	67,41	35,57%
15,00	10,64	0,71	0,07	68,55	34,51%
15,25	10,70	0,70	0,07	69,69	33,59%
15,50	10,77	0,70	0,06	70,83	33,06%
15,75	10,83	0,69	0,06	71,98	32,08%

P_{inst} (MW)	E_{med} (MW _{méd})	f_{c-med}	ΔE_{med} (MW _{med})	Q_{turb} (m ³ /s)	% perm.
16,00	10,89	0,68	0,06	73,12	31,52%
16,25	10,95	0,67	0,06	74,26	30,95%
16,50	11,01	0,67	0,06	75,40	30,39%
16,75	11,07	0,66	0,05	76,55	28,59%
17,00	11,12	0,65	0,05	77,69	27,52%
17,25	11,17	0,65	0,05	78,83	26,71%
17,50	11,21	0,64	0,05	79,97	26,16%
17,75	11,26	0,63	0,04	81,12	25,51%
18,00	11,30	0,63	0,04	82,26	24,04%
18,25	11,34	0,62	0,04	83,40	23,29%
18,50	11,37	0,62	0,04	84,54	21,76%
18,75	11,41	0,61	0,04	85,69	20,98%
19,00	11,44	0,60	0,03	86,83	20,19%
19,25	11,48	0,60	0,03	87,97	19,02%
19,50	11,51	0,59	0,03	89,11	17,85%
19,75	11,54	0,58	0,03	90,26	16,68%
20,00	11,57	0,58	0,03	91,40	15,75%
20,25	11,59	0,57	0,03	92,54	14,92%
20,50	11,62	0,57	0,03	93,68	14,78%
20,75	11,64	0,56	0,02	94,83	14,34%
21,00	11,67	0,56	0,02	95,97	14,01%
21,25	11,69	0,55	0,02	97,11	13,32%
21,50	11,71	0,55	0,02	98,25	12,56%
21,75	11,73	0,54	0,02	99,40	12,07%
22,00	11,75	0,53	0,02	100,54	11,56%

P_{inst}	:	potência instalada de referência;
E_{med}	:	energia média (média do período total da série histórica de simulação);
f_{c-med}	:	fator de capacidade médio;
ΔE_{med}	:	variação de energia média;
Q_{turb}	:	vazão turbinada total;
%perm.	:	porcentagem da vazão turbinada total na curva de permanência de vazões médias mensais.

A Figura 11-1 mostra a curva preliminar de energia média estimada para o aproveitamento.

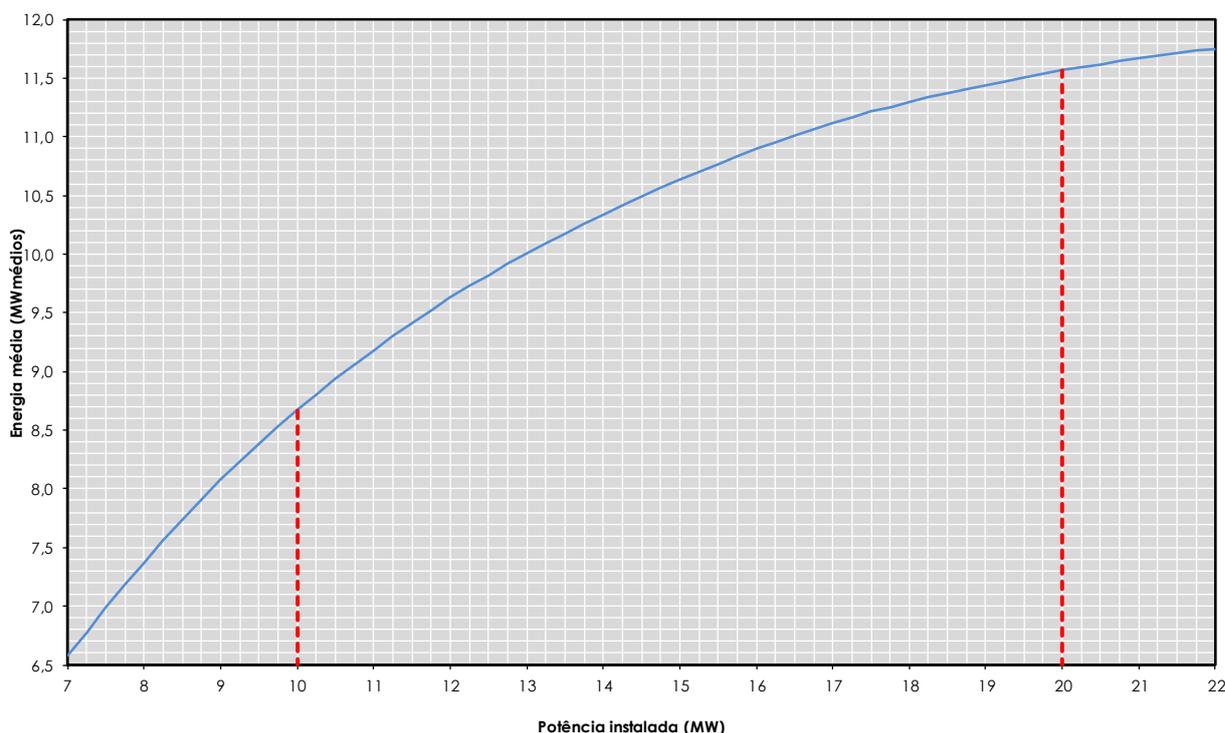


Figura 11-1: Curva de energia média produzida (preliminar)

Os resultados preliminares mostraram que a faixa operativa da usina, a ser detalhada nos estudos de motorização, estaria entre 10 MW e 20 MW. Potências inferiores a esse limite mínimo resultariam em submotorização. Já na potência de 20 MW a curva de energia apresenta sinais de saturação.

Sendo assim, os estudos de motorização abrangeram a faixa de potências instaladas entre **10,0 MW e 20,0 MW**, com incremento de **0,5 MW**.

Para cada potência, foram dimensionadas e quantificadas as estruturas principais do circuito de geração.

Para garantir maior precisão nestes estudos, estimaram-se, para cada alternativa de potência instalada, as perdas de carga em todo o circuito de adução, representadas por meio de equações inseridas no modelo computacional desenvolvido para os estudos energéticos.

Os canais de adução deverão operar com velocidades próximas de 1,0 m/s, para garantir maior segurança ao circuito e reduzir a magnitude das perdas de carga.

Os condutos forçados deverão trabalhar com velocidades que garantam tanto a proteção contra sobrepressão como a regulação das máquinas.

A usina foi implantada, nesses estudos de motorização, com dois conjuntos turbina-gerador de eixo horizontal, do tipo Francis.

A Tabela 11-5 seguinte apresenta os coeficientes das equações utilizadas para as perdas de carga no circuito de adução, desde o canal de adução até a entrada da turbina.

Cabe ressaltar que as curvas de perda de carga no canal de adução estão em função da vazão turbinada total, enquanto as perdas no circuito de alta pressão (tomada d'água até a entrada da máquina), em função da vazão turbinada unitária.

Tabela 11-5: Estudos de motorização – Coeficientes das equações de perda de carga

P _{instalada} (MW)	h _{p1} = a(Q _{turb-tot}) ^b		h _{p2} = c(Q _{turb-unit}) ^d	
	a	b	c	d
10,0	9,7085330919E-05	2,0000000101E+00	1,1188019452E-03	1,9757951687E+00
10,5	8,5749714576E-05	1,9999999967E+00	9,7224084220E-04	1,9776841834E+00
11,0	7,4395622124E-05	2,0000000140E+00	8,5777099066E-04	1,9725426963E+00
11,5	6,6103287776E-05	2,0000000155E+00	7,6485486803E-04	1,9748339184E+00
12,0	5,7734841804E-05	2,0000000030E+00	7,3107203940E-04	1,9751973914E+00
12,5	5,7734841804E-05	2,0000000030E+00	6,3727208953E-04	1,9792928947E+00
13,0	5,1578851500E-05	2,0000000148E+00	6,3531026219E-04	1,9722461124E+00
13,5	4,5323796242E-05	2,0000000115E+00	5,6463493224E-04	1,9742833418E+00
14,0	4,0692171736E-05	1,9999999939E+00	5,0205164068E-04	1,9766694973E+00
14,5	3,5956571941E-05	1,9999999981E+00	4,8316530739E-04	1,9770522667E+00
15,0	3,2428936851E-05	1,9999999939E+00	4,3519616675E-04	1,9793924701E+00
15,5	3,2428936851E-05	1,9999999939E+00	4,2198345090E-04	1,9800435128E+00
16,0	2,8801432544E-05	1,9999999970E+00	3,4921333843E-04	2,0088072381E+00
16,5	2,6084305466E-05	1,9999999989E+00	3,4665632423E-04	1,9787548458E+00
17,0	2,3275521147E-05	1,9999999912E+00	3,3788038955E-04	1,9787699448E+00
17,5	2,3275521147E-05	1,9999999912E+00	3,0662750467E-04	1,9802640627E+00
18,0	2,1160932366E-05	2,0000000013E+00	2,8007458781E-04	1,9783382680E+00
18,5	1,8964371319E-05	1,9999999936E+00	2,5757838730E-04	1,9801045961E+00
19,0	1,7302914890E-05	1,9999999855E+00	2,4870893719E-04	1,9804900068E+00
19,5	1,5569270195E-05	2,0000000018E+00	2,2840760509E-04	1,9805046039E+00
20,0	1,4252240968E-05	1,9999999969E+00	2,2269410927E-04	1,9806525379E+00

A Tabela 11-6 apresenta os resultados das simulações energéticas. Os efeitos do aumento na motorização da PCH Cumbuco processam-se apenas na própria usina, visto que a mesma operará a fio d'água.

Tabela 11-6: Estudos de Motorização – Simulações energéticas

P _{inst} (MW)	H _{liq-ref} (m)	H _{liq-proj} (m)	Q _{turb} (m ³ /s)	E _{média} (MW)	ΔE _{média} (MW)	f _{capacidade}	% perm.
10,0	24,75	25,54	45,66	8,71	-	0,87	65,69%
10,5	24,78	25,57	47,89	8,99	0,27	0,86	60,11%
11,0	24,81	25,61	50,10	9,24	0,26	0,84	57,02%
11,5	24,83	25,62	52,34	9,48	0,24	0,83	53,47%
12,0	24,82	25,62	54,64	9,70	0,22	0,81	50,70%
12,5	24,82	25,63	56,90	9,91	0,20	0,79	46,99%
13,0	24,80	25,61	59,23	10,09	0,19	0,78	44,40%

P_{inst} (MW)	$H_{liq-ref}$ (m)	$H_{liq-proj}$ (m)	Q_{turb} (m ³ /s)	$E_{média}$ (MW)	$\Delta E_{média}$ (MW)	$f_{capacidade}$	% perm.
13,5	24,83	25,64	61,43	10,27	0,18	0,76	40,34%
14,0	24,86	25,66	63,64	10,44	0,17	0,75	39,02%
14,5	24,85	25,65	65,93	10,60	0,16	0,73	36,42%
15,0	24,87	25,67	68,15	10,75	0,15	0,72	34,83%
15,5	24,84	25,65	70,51	10,89	0,14	0,70	33,11%
16,0	24,86	25,67	72,72	11,02	0,13	0,69	31,73%
16,5	24,89	25,69	74,89	11,15	0,13	0,68	30,80%
17,0	24,89	25,68	77,19	11,26	0,11	0,66	28,29%
17,5	24,89	25,69	79,43	11,36	0,10	0,65	26,54%
18,0	24,92	25,71	81,62	11,46	0,10	0,64	25,40%
18,5	24,94	25,72	83,83	11,54	0,09	0,62	22,93%
19,0	24,93	25,72	86,10	11,62	0,07	0,61	20,54%
19,5	24,96	25,73	88,29	11,69	0,07	0,60	18,15%
20,0	24,95	25,73	90,58	11,75	0,06	0,59	16,34%

A Figura 11-2 apresenta o comportamento da energia média em função da potência instalada.

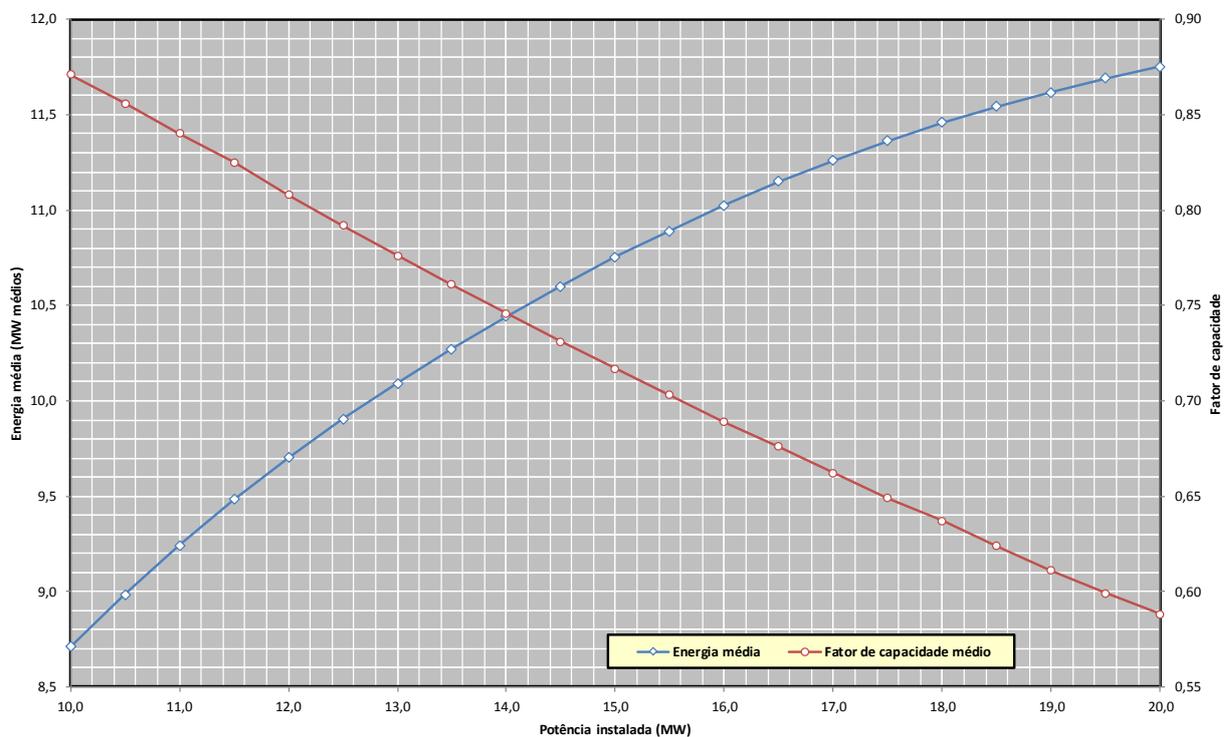


Figura 11-2: Estudos de Motorização – Energia média e Fator de Capacidade

Além da estimativa das energias médias geradas em cada alternativa, foram feitos levantamentos de quantidades e custos para as obras principais que sofrerão alterações com o acréscimo da potência instalada. São elas:

- Canal de adução: levantamento dos volumes de escavação em solo e em rocha e de revestimento em manta PEAD;
- Tomada d'água: levantamento dos volumes concreto e custos de equipamentos;
- Conduto forçado: levantamento dos volumes de concreto dos blocos e custos da blindagem metálica;
- Casa de força: levantamento dos volumes de concreto e custos de equipamentos eletromecânicos.

Nestes estudos de motorização optou-se por não quantificar os volumes de escavação em solo e em rocha na tomada d'água, conduto forçado, casa de força e canal de fuga, tendo em vista que os volumes diferenciais serão de pequena monta, e não deverão impactar na escolha da motorização "ótima" do aproveitamento.

Em adição, considera-se essa envoltória como mais segura, uma vez que os diferenciais de custos, considerando-se as escavações, tenderiam a ser ligeiramente maiores, o que poderia levar o ponto "ótimo" da potência para um valor inferior ao determinado a partir das premissas aqui adotadas. As tabelas seguintes apresentam alguns parâmetros do circuito de adução que sofreram variação com o aumento da potência instalada e, conseqüentemente, da vazão turbinada.

Tabela 11-7: Estudos de Motorização – Parâmetros do circuito de adução alterados com a potência instalada (parte 1)

Parâmetros	P = 10,0 MW	P = 10,5 MW	P = 11,0 MW	P = 11,5 MW	P = 12,0 MW	P = 12,5 MW	P = 13,0 MW	P = 13,5 MW	P = 14,0 MW	P = 14,5 MW	P = 15,0 MW
H _{liq-referência} (m)	24,75	24,78	24,81	24,83	24,82	24,82	24,80	24,83	24,86	24,85	24,87
H _{liq-projeto} (m)	25,54	25,57	25,61	25,62	25,62	25,63	25,61	25,64	25,66	25,65	25,67
Q _{turb-total} (m³/s)	45,66	47,89	50,10	52,34	54,64	56,90	59,23	61,43	63,64	65,93	68,15
N _{unidades}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P _{turbina} (kW)	5.155	5.413	5.671	5.928	6.186	6.444	6.702	6.959	7.217	7.475	7.732
n _{turbina} (rpm)	327,27	327,27	327,27	327,27	300,00	300,00	300,00	300,00	276,92	276,92	276,92
P _{gerador} (kVA)	5.556	5.834	6.112	6.389	6.667	6.945	7.223	7.500	7.778	8.056	8.334
n _{gerador} (rpm)	327,27	327,27	327,27	327,27	300,00	300,00	300,00	300,00	276,92	276,92	276,92
η _{turb}	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%
η _{ger}	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%
L _{canal} (m)	5,90	6,00	6,20	6,30	6,50	6,50	6,60	6,80	6,90	7,10	7,20
B _{canal} (m)	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150
L _{TA-bloco} (m)	6,70	6,80	6,90	7,00	7,00	7,10	7,10	7,20	7,30	7,30	7,40
L _{CF-bloco} (m)	17,00	17,00	17,00	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	19,00	20,00	20,00
L _{AM} (m)	11,00	11,00	11,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	13,00	13,00
L _{CF-total} (m)	45,00	45,00	45,00	48,00	48,00	48,00	50,00	50,00	50,00	53,00	53,00
V _{escav-canal-solo} (m³)	355.550	365.690	377.980	388.460	401.180	401.820	412.610	425.680	436.800	450.320	461.790
Manta PEAD (m²)	81.050	82.470	84.180	85.600	87.320	87.400	88.810	90.520	91.940	93.660	95.080
V _{conc-TA} (m³)	1.012	1.026	1.040	1.054	1.066	1.085	1.097	1.115	1.133	1.145	1.160
V _{conc-Conduto} (m³)	509	544	581	609	620	660	660	703	734	746	779
V _{conc-CF} (m³)	3.202	3.230	3.267	3.357	3.469	3.521	3.585	3.654	3.849	3.928	4.001

Tabela 11-8: Estudos de Motorização – Parâmetros do circuito de adução alterados com a potência instalada (parte 2)

Parâmetros	P = 15,5 MW	P = 16,0 MW	P = 16,5 MW	P = 17,0 MW	P = 17,5 MW	P = 18,0 MW	P = 18,5 MW	P = 19,0 MW	P = 19,5 MW	P = 20,0 MW
H _{liq-referência} (m)	24,84	24,86	24,89	24,89	24,89	24,92	24,94	24,93	24,96	24,95
H _{liq-projeto} (m)	25,65	25,67	25,69	25,68	25,69	25,71	25,72	25,72	25,73	25,73
Q _{turb-total} (m³/s)	70,51	72,72	74,89	77,19	79,43	81,62	83,83	86,10	88,29	90,58
N _{unidades}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P _{turbina} (kW)	7.990	8.248	8.506	8.763	9.021	9.279	9.537	9.794	10.052	10.310
n _{turbina} (rpm)	257,14	257,14	257,14	257,14	240,00	240,00	240,00	240,00	225,00	225,00
P _{gerador} (kVA)	8.612	8.889	9.167	9.445	9.723	10.000	10.278	10.556	10.834	11.112
n _{gerador} (rpm)	257,14	257,14	257,14	257,14	240,00	240,00	240,00	240,00	225,00	225,00
η _{turb}	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%	93,0%
η _{ger}	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%	97,0%
L _{canal} (m)	7,20	7,40	7,50	7,70	7,70	7,80	8,00	8,10	8,30	8,40
B _{canal} (m)	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150
L _{TA-bloco} (m)	7,40	7,50	7,60	7,60	7,70	7,80	7,90	7,90	8,00	8,00
L _{CF-bloco} (m)	21,00	21,00	21,00	21,00	22,00	22,00	22,00	22,00	23,00	23,00
L _{AM} (m)	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	15,00	15,00
L _{CF-total} (m)	56,00	56,00	56,00	56,00	58,00	58,00	58,00	58,00	61,00	61,00
V _{escav-canal-solo} (m³)	462.280	476.170	487.970	502.310	502.710	514.840	529.570	542.080	557.250	570.110
Manta PEAD (m²)	95.140	96.850	98.270	99.990	100.040	101.460	103.180	104.600	106.330	107.750
V _{conc-TA} (m³)	1.172	1.190	1.205	1.217	1.235	1.250	1.268	1.276	1.291	1.302
V _{conc-Conduto} (m³)	792	826	875	889	926	978	1.017	1.033	1.073	1.089
V _{conc-CF} (m³)	4.130	4.180	4.222	4.280	4.419	4.453	4.499	4.551	4.647	4.697

Uma vez levantadas as quantidades foram elaborados orçamentos preliminares, tendo como base o Orçamento Padrão Eletrobrás – OPE, contendo apenas as contas relativas aos itens que sofreram variação, para a estimativa, em cada alternativa, dos correspondentes incrementais de custos.

As outras contas (barragem, vertedouro, desvio do rio, etc.) não devem variar com a potência instalada, e serão quantificadas apenas para a alternativa final de motorização.

Os custos de investimento, apenas do circuito de geração da usina, estão apresentados nas tabelas seguintes. Estes foram estimados por meio levantamento de quantidades, sendo a base de dados dos custos unitários atualizada para a data de setembro/2015.

Tabela 11-9: Estudos de Motorização – Estimativa de custos do circuito de geração (R\$ x 10³) – Parte 1

Conta	P = 10,0 MW	P = 10,5 MW	P = 11,0 MW	P = 11,5 MW	P = 12,0 MW	P = 12,5 MW	P = 13,0 MW	P = 13,5 MW	P = 14,0 MW	P = 14,5 MW	P = 15,0 MW
.10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
.11	5.000,24	5.060,12	5.134,26	5.286,05	5.460,69	5.552,28	5.660,71	5.771,61	6.059,86	6.185,93	6.307,38
.12	13.448,25	13.944,31	14.482,94	14.977,64	15.296,39	15.607,40	15.864,23	16.490,68	16.993,07	17.345,70	17.888,94
.13	14.384,25	14.895,58	15.402,20	15.899,79	17.107,74	17.631,04	18.144,30	18.705,89	19.967,20	20.549,13	21.075,52
.14	2.796,30	2.895,70	2.994,19	3.090,92	3.325,74	3.427,48	3.527,25	3.636,42	3.881,63	3.994,75	4.097,08
.15	1.771,21	1.824,80	1.878,10	1.951,28	2.090,94	2.145,32	2.219,52	2.276,37	2.419,50	2.498,15	2.552,72
.16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Direto	37.400,25	38.620,51	39.891,69	41.205,68	43.281,50	44.363,52	45.416,01	46.880,97	49.321,26	50.573,66	51.921,64
Custos Indiretos	3.814,59	3.920,02	4.029,84	4.143,37	4.322,73	4.416,22	4.507,14	4.633,72	4.844,57	4.952,76	5.069,23
Custo Total s/ Juros	41.214,84	42.540,53	43.921,53	45.349,05	47.604,23	48.779,74	49.923,15	51.514,69	54.165,83	55.526,42	56.990,87
JDC	4.121,48	4.254,05	4.392,15	4.534,91	4.760,42	4.877,97	4.992,32	5.151,47	5.416,58	5.552,64	5.699,09
Custo Total	45.336,32	46.794,58	48.313,68	49.883,96	52.364,65	53.657,71	54.915,47	56.666,16	59.582,41	61.079,06	62.689,96

* custo total do circuito de geração – canal de adução, tomada d'água, conduto forçado e casa de força.

Tabela 11-10: Estudos de Motorização – Estimativa de custos do circuito de geração (R\$ x 10³) – Parte 2

Conta	P = 15,5 MW	P = 16,0 MW	P = 16,5 MW	P = 17,0 MW	P = 17,5 MW	P = 18,0 MW	P = 18,5 MW	P = 19,0 MW	P = 19,5 MW	P = 20,0 MW
.10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
.11	6.500,23	6.589,50	6.672,73	6.766,24	6.982,90	7.043,23	7.128,76	7.217,89	7.370,29	7.458,32
.12	17.971,47	18.568,85	19.174,27	19.517,08	19.848,61	20.509,70	21.102,97	21.433,89	22.130,50	22.454,27
.13	22.468,83	23.015,59	23.569,16	24.305,24	25.605,71	26.176,36	26.736,50	27.406,72	28.891,21	29.522,82
.14	4.367,94	4.474,23	4.581,85	4.724,94	4.977,75	5.088,68	5.197,58	5.327,87	5.616,45	5.739,24
.15	2.704,41	2.760,31	2.837,11	2.905,26	3.050,94	3.128,85	3.185,61	3.269,97	3.427,56	3.488,96
.16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Direto	54.012,88	55.408,48	56.835,12	58.218,76	60.465,91	61.946,82	63.351,42	64.656,34	67.436,01	68.663,61
Custos Indiretos	5.249,92	5.370,48	5.493,74	5.613,30	5.807,46	5.935,40	6.056,76	6.169,51	6.409,67	6.515,74
Custo Total s/ Juros	59.262,80	60.778,96	62.328,86	63.832,06	66.273,37	67.882,22	69.408,18	70.825,85	73.845,68	75.179,35
JDC	5.926,28	6.077,90	6.232,89	6.383,21	6.627,34	6.788,22	6.940,82	7.082,59	7.384,57	7.517,94
Custo Total	65.189,08	66.856,86	68.561,75	70.215,27	72.900,71	74.670,44	76.349,00	77.908,44	81.230,25	82.697,29

* custo total do circuito de geração – canal de adução, tomada d'água, conduto forçado e casa de força.

Na tabela anterior, foram considerados percentuais de 8% para os eventuais de cada conta, e de 10% para os juros durante a construção. Os custos indiretos possuem pequena variação, em função de contas representadas por percentuais do custo direto da obra.

A Tabela 11-11 apresenta os custos totais anuais de cada alternativa de motorização, e suas variações, ou incrementos. Para a estimativa dos custos de operação e manutenção, foi adotado o seguinte parâmetro:

- Custo de operação e manutenção (O&M)R\$ 12,00/MWh

Tabela 11-11: Estudos de Motorização – Estimativa de custos do circuito de geração

P_{inst} (MW)	Custo total* (R\$)	ΔC_{total} (R\$)	O&M (R\$/ano)	Custo total anual (R\$)	ΔC_{anual} (R\$)
10,0	45.336.320	-	915.700	6.461.086	-
10,5	46.794.580	1.458.260	944.503	6.668.258	207.172
11,0	48.313.680	1.519.100	971.519	6.881.085	212.827
11,5	49.883.960	1.570.280	996.853	7.098.490	217.405
12,0	52.364.650	2.480.690	1.019.769	7.424.836	326.346
12,5	53.657.710	1.293.060	1.041.214	7.604.443	179.607
13,0	54.915.470	1.257.760	1.060.661	7.777.735	173.292
13,5	56.666.160	1.750.690	1.079.688	8.010.901	233.165
14,0	59.582.410	2.916.250	1.097.663	8.385.582	374.681
14,5	61.079.060	1.496.650	1.114.272	8.585.256	199.674
15,0	62.689.960	1.610.900	1.130.460	8.798.484	213.228
15,5	65.189.080	2.499.120	1.144.757	9.118.465	319.980
16,0	66.856.860	1.667.780	1.158.843	9.336.548	218.083
16,5	68.561.750	1.704.890	1.172.088	9.558.329	221.782
17,0	70.215.270	1.653.520	1.183.756	9.772.251	213.921
17,5	72.900.710	2.685.440	1.194.479	10.111.447	339.196
18,0	74.670.440	1.769.730	1.204.570	10.338.006	226.559
18,5	76.349.000	1.678.560	1.213.505	10.552.257	214.251
19,0	77.908.440	1.559.440	1.221.179	10.750.676	198.419
19,5	81.230.250	3.321.810	1.228.853	11.164.662	413.986
20,0	82.697.290	1.467.040	1.235.265	11.350.518	185.856

* custo total do circuito de geração – canal de adução, tomada d'água, conduto forçado e casa de força.

A análise dos incrementais dos custos totais do circuito de geração mostra variações mais expressivas nos incrementais nos quais foi necessária a redução da rotação das turbinas.

Nos demais incrementais, houve manutenção das rotações dos grupos geradores, e as variações da ordem refletem a alteração ou manutenção das dimensões do canal de adução e/ou do conduto forçado.

A Tabela 11-12 apresenta uma síntese das variações de custos associadas, além do incremental de potência instalada, às alterações de rotação dos grupos, alterações na largura do canal e no diâmetro do conduto forçado.

Tabela 11-12: Relação dos incrementais de custos com as alterações na rotação dos grupos geradores, largura do canal de adução e/ou largura da base da galeria de adução

P _{inst} (MW)	Rotação dos grupos geradores (rpm)	Largura do canal de adução (m)	Diâmetro do conduto forçado (m)	Varição de custos
10,0	327,27	5,90	3,10	-
10,5	327,27	6,00	3,20	1.458.260
11,0	327,27	6,20	3,30	1.519.100
11,5	327,27	6,30	3,40	1.570.280
12,0	300,00	6,50	3,40	2.480.690
12,5	300,00	6,50	3,50	1.293.060
13,0	300,00	6,60	3,50	1.257.760
13,5	300,00	6,80	3,60	1.750.690
14,0	276,92	6,90	3,70	2.916.250
14,5	276,92	7,10	3,70	1.496.650
15,0	276,92	7,20	3,80	1.610.900
15,5	257,14	7,20	3,80	2.499.120
16,0	257,14	7,40	3,90	1.667.780
16,5	257,14	7,50	4,00	1.704.890
17,0	257,14	7,70	4,00	1.653.520
17,5	240,00	7,70	4,10	2.685.440
18,0	240,00	7,80	4,20	1.769.730
18,5	240,00	8,00	4,30	1.678.560
19,0	240,00	8,10	4,30	1.559.440
19,5	225,00	8,30	4,40	3.321.810
20,0	225,00	8,40	4,40	1.467.040
Alteração na rotação do grupo, largura do canal ou diâmetro do conduto.				

Para as estimativas do benefício econômico de cada alternativa de motorização foram consideradas as seguintes premissas:

- Taxa de juros 12% a.a.
- Período da autorização 35 anos
- Valores de venda da energia:
 - Cenário 01 R\$ 179,20/MWh
 - Cenário 02 R\$ 216,00/MWh

O Cenário 01 apresenta um valor de venda da energia compatível com a média dos últimos anos dos Leilões de Energia no ACR, para a mesma fonte, conforme mostrado no item 11.2.

Já o Cenário 02 resulta do preço teto definido para o Leilão de Energia A-5 realizado em agosto de 2015.

A Tabela 11-13 apresenta as variações de custo/benefício ($\Delta C/\Delta B$) para cada alternativa de motorização, considerando os dois cenários pré-determinados. A análise dos resultados permitirá

a escolha da potência instalada da usina, preferencialmente no ponto onde a variação de custo de implantação ainda não supera o benefício gerado pelo empreendimento, ou seja, no ponto onde o índice $\Delta C/\Delta B$ for próximo de 1,0.

Os resultados também podem ser observados no gráfico da Figura 11-3. Nestes apresentam-se o comportamento da variação do incremental de custo anual pelo incremental do benefício anual, em função da potência instalada.

Tabela 11-13: Estudos de Motorização – Variação Custo/Benefício anual para cada potência instalada

P _{inst} (MW)	ΔC_{anual} (R\$)	Cenário 01 (R\$ 179,20/MWh)			Cenário 02 (R\$ 216,00/MWh)		
		B _{anual} (R\$)	ΔB (R\$)	$\Delta C/\Delta B$	B _{anual} (R\$)	ΔB (R\$)	$\Delta C/\Delta B$
10,0	-	13.674.458	-	-	16.482.606	-	-
10,5	207.172	14.104.581	430.123	0,48	17.001.058	518.452	0,40
11,0	212.827	14.508.018	403.437	0,53	17.487.343	486.285	0,44
11,5	217.405	14.886.338	378.320	0,57	17.943.353	456.011	0,48
12,0	326.346	15.228.552	342.215	0,95	18.355.844	412.491	0,79
12,5	179.607	15.548.790	320.238	0,56	18.741.845	386.001	0,47
13,0	173.292	15.839.201	290.412	0,60	19.091.894	350.050	0,50
13,5	233.165	16.123.334	284.132	0,82	19.434.375	342.481	0,68
14,0	374.681	16.391.768	268.434	1,40	19.757.935	323.559	1,16
14,5	199.674	16.639.795	248.027	0,81	20.056.896	298.961	0,67
15,0	213.228	16.881.543	241.748	0,88	20.348.289	291.393	0,73
15,5	319.980	17.095.035	213.492	1,50	20.605.622	257.334	1,24
16,0	218.083	17.305.387	210.352	1,04	20.859.172	253.549	0,86
16,5	221.782	17.503.181	197.794	1,12	21.097.584	238.412	0,93
17,0	213.921	17.677.428	174.247	1,23	21.307.614	210.030	1,02
17,5	339.196	17.837.546	160.119	2,12	21.500.614	193.000	1,76
18,0	226.559	17.988.247	150.700	1,50	21.682.261	181.647	1,25
18,5	214.251	18.121.679	133.432	1,61	21.843.095	160.834	1,33
19,0	198.419	18.236.274	114.595	1,73	21.981.223	138.128	1,44
19,5	413.986	18.350.868	114.595	3,61	22.119.350	138.128	3,00
20,0	185.856	18.446.626	95.757	1,94	22.234.772	115.422	1,61

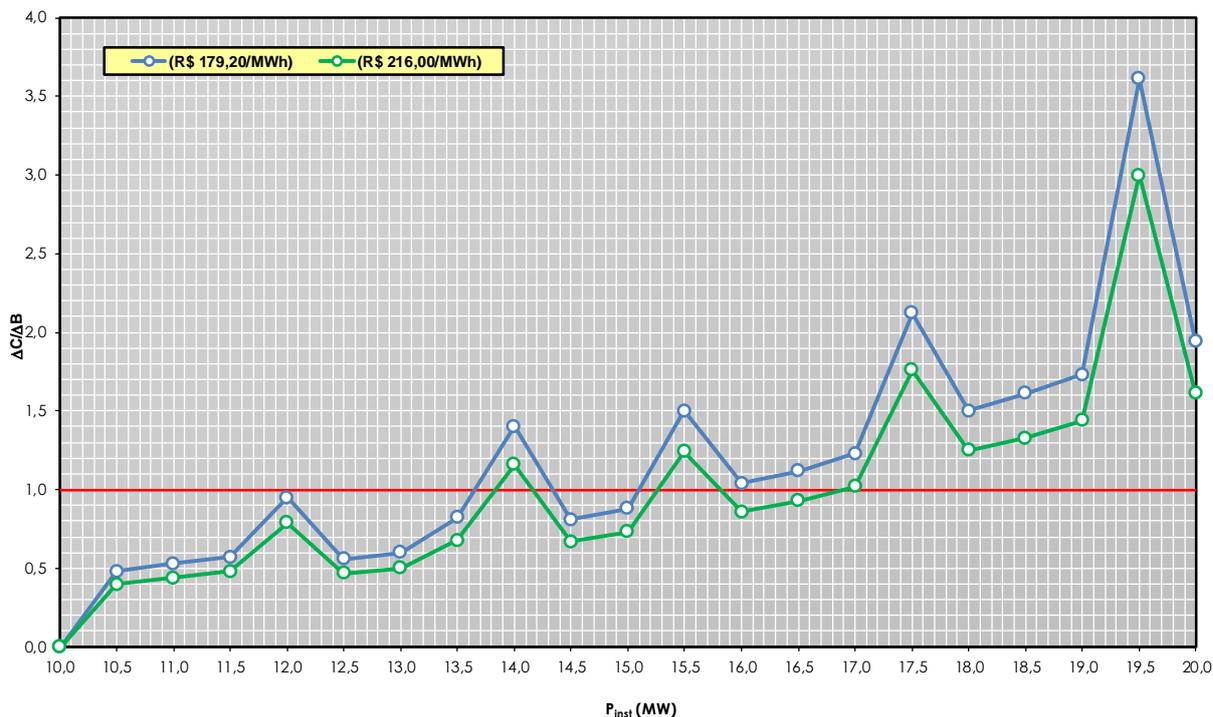


Figura 11-3: Estudos de Motorização – Variação custo/benefício

De acordo com os resultados obtidos, em alguns passos o índice $\Delta C/\Delta B$ assume valor superior à unidade, mas retornando a patamar abaixo de 1,0 no incremental seguinte. Isto se deu pela variação na rotação da turbina.

Ante ao exposto, julga-se adequado que a potência mínima a instalar esteja associada ao ponto no qual o índice assume definitivamente valores superiores à unidade, o que ocorreu na passagem de 15,0 MW para 15,5 MW, para o Cenário 01, e de 16,5 MW para 17,0 MW, para o Cenário 02.

Sendo assim, os resultados apontaram para uma pequena variação na potência mínima a instalar, dependendo do cenário econômico. Considerando a valoração do benefício energético pela média atualizada dos últimos Leilões de Energia no ACR, a potência mínima a instalar seria de 15,0 MW.

Num cenário mais otimista para o preço de venda da energia, baseado no preço teto para o Leilão A-5 realizado em agosto de 2015, a potência mínima a instalar seria elevada para 16,5 MW.

Tendo em vista que algumas consultas a fornecedores especializados apontaram para uma solução com duas unidades geradoras de 8,5 MW, já utilizadas em outro empreendimento de mesmas características, optou-se por elevar a potência instalada da PCH Cumbuco, para valor acima do mínimo definido nestes estudos de motorização.

Sendo assim, objetivando a simplificação do fornecimento e a maximização do potencial hidroenergético, definiu-se a potência instalada "ótima" da PCH Cumbuco como **17,0 MW**.

Para esta potência associa-se um fator de capacidade da ordem de 0,66 e uma vazão turbinada com permanência de aproximadamente 28% do tempo, sem descontar a vazão remanescente, e da ordem de 21%, descontando-se as vazões remanescentes.

A estimativa dos custos finais do aproveitamento, com base no dimensionamento final e detalhamento de suas estruturas principais, será realizada para a referida potência.

11.4. Determinação do Número de Unidades Geradoras

Para a determinação, nessa etapa de projeto, do número de unidades geradoras a serem instaladas na PCH Cumbuco, partiu-se da premissa de que 2 grupos geradores seria o número mínimo para garantir a sua flexibilidade operacional.

Para a vazão turbinada total de aproximadamente 77 m³/s, associada a 17 MW instalados, consultas a fabricantes especializados não apontaram óbices para a implantação de apenas dois grupos geradores.

Considerando o limite mínimo de operação de turbinas tipo Francis horizontal valendo 45% da vazão nominal unitária, pode-se fazer um estudo comparativo entre a implantação de 2 ou 3 unidades, com enfoque na garantia de despacho, cujos resultados são apresentados na Tabela 11-14.

Tabela 11-14: Estudo comparativo entre a implantação de 2 ou 3 unidades geradoras

Parâmetros	2 unidades	3 unidades
Vazão mínima afluyente	24,1 m ³ /s	
Vazão turbinada total	77,0 m ³ /s	
Vazão remanescente mínima (ago)	3,7 m ³ /s	
Vazão unitária nominal	38,5 m ³ /s	25,7 m ³ /s
Vazão mínima operacional	17,3 m ³ /s	11,6 m ³ /s
Vazão mínima operacional + vazão remanescente	21,0 m ³ /s	15,3 m ³ /s
Permanência na série de vazões médias mensais	100%	100%

Observa-se que não haverá restrição operativa com a implantação de apenas duas unidades geradoras.

Com isso, optou-se, por razões econômicas, pela implantação de duas unidades hidrogeradoras do tipo Francis de horizontal na PCH Cumbuco, confirmando o número adotado nos estudos de motorização.

11.5. Estudos de Otimização do Circuito de Adução

Para a fase final dos estudos, foram promovidos as otimizações no circuito de adução, com o objetivo de maximizar a produção energética com o menor custo de implantação.

As otimizações iniciais foram as seguintes:

- Otimização da seção do canal de adução, incluindo largura da base do canal, altura da lâmina d'água e declividade, além de ajustes no seu caminhamento;
- Ajustes no perfil hidráulico da tomada d'água de alta pressão;
- Ajustes e otimizações no traçados final do circuito de adução, incluindo o comprimento do conduto forçado;
- Cálculo das dimensões otimizadas o conduto forçado.

As otimizações promovidas resultaram em ajustes no circuito avaliado nos estudos de motorização, o que demandou a elaboração de novas curvas de perdas de carga.

11.6. Determinação da Energia Média da PCH

Após a implantação do circuito otimizado, foram elaboradas as curvas de perdas de carga para balizar os estudos energéticos finais do aproveitamento.

As perdas hidráulicas no circuito de adução foram estimadas por meio de equações em função das características físicas do circuito, desde o emboque da tomada d'água do canal até a entrada das turbinas e incluindo a saída do tubo de sucção.

A Figura 11-4 apresenta as referidas curvas, que relacionam as perdas de carga com as vazões turbinadas totais, para o trecho de baixa pressão, e com as vazões turbinadas unitárias, para o trecho de alta pressão.

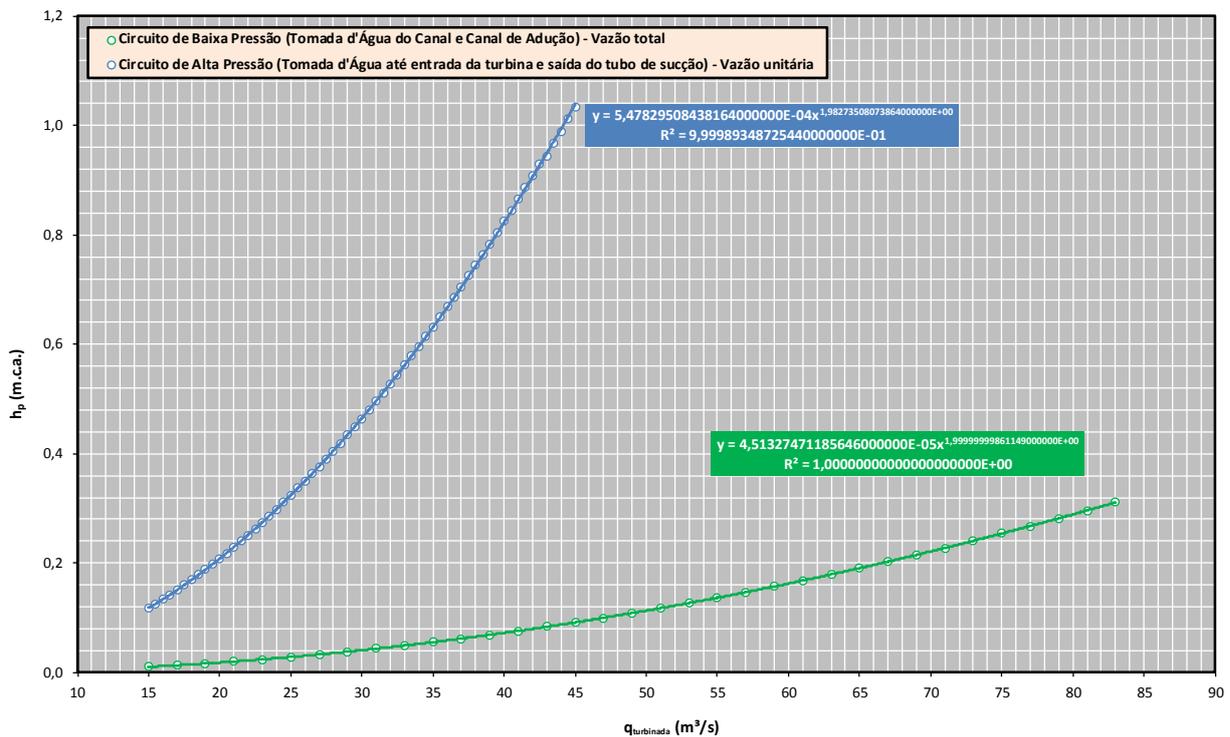


Figura 11-4: Curva de perdas de carga no circuito de adução

Com isso, estimou-se a energia média gerada pela PCH Cumbuco, resultando em **11,19 MW** médios, já descontadas as indisponibilidades.

A Figura 11-5 mostra a curva de energia produzida no aproveitamento, representada pela área abaixo da curva em azul.

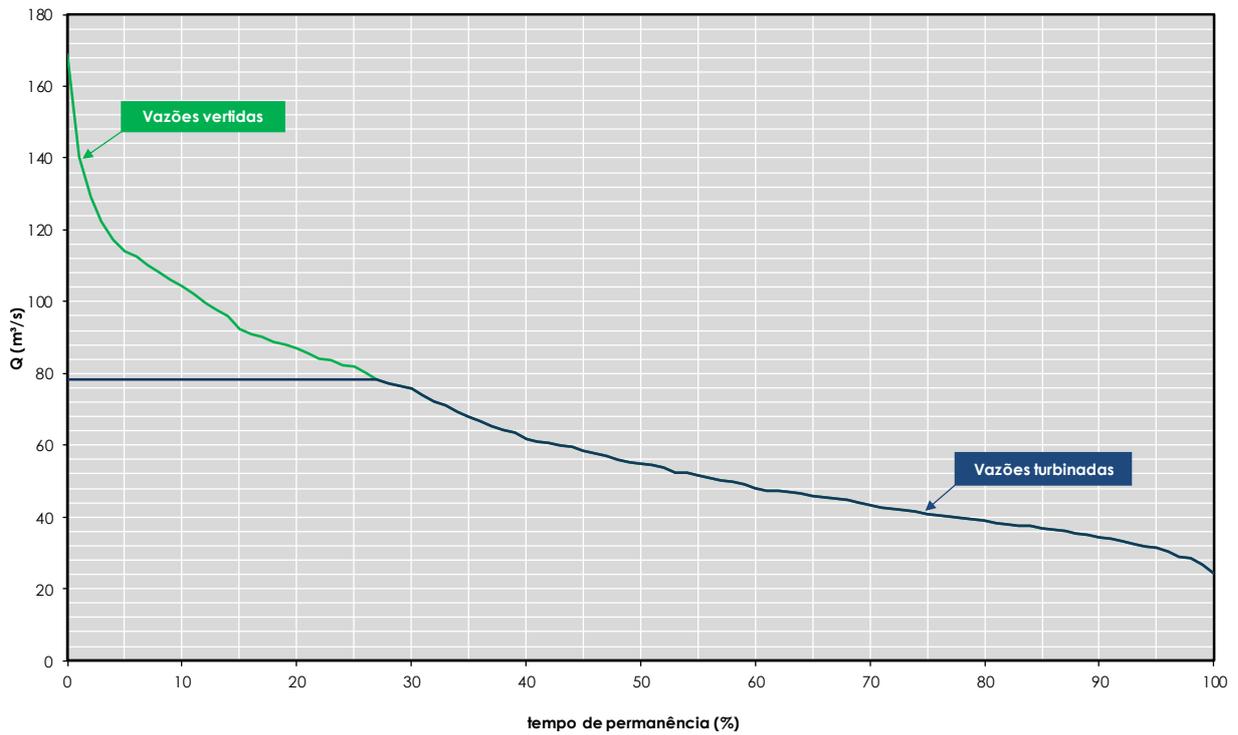


Figura 11-5: Curva de energia produzida pelo aproveitamento

11.7. Determinação das Quedas de Projeto e de Referência

A Figura 11-6 apresenta a curva de permanências de quedas brutas, uma vez que haverá oscilações no canal de fuga da usina.

A Figura 11-7 apresenta a curva de permanências de quedas líquidas, na qual foram descontadas as perdas de carga impostas para cada valor de vazão a ser turbinada.

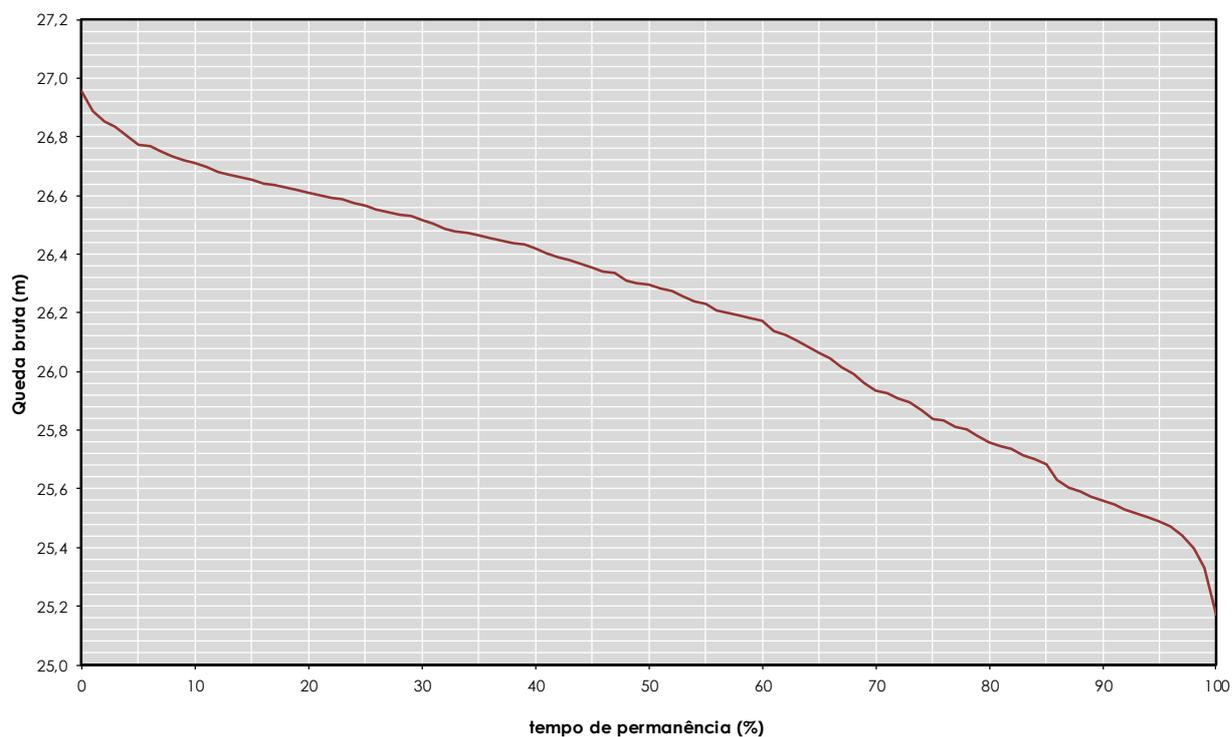


Figura 11-6: Curva de permanência de quedas brutas

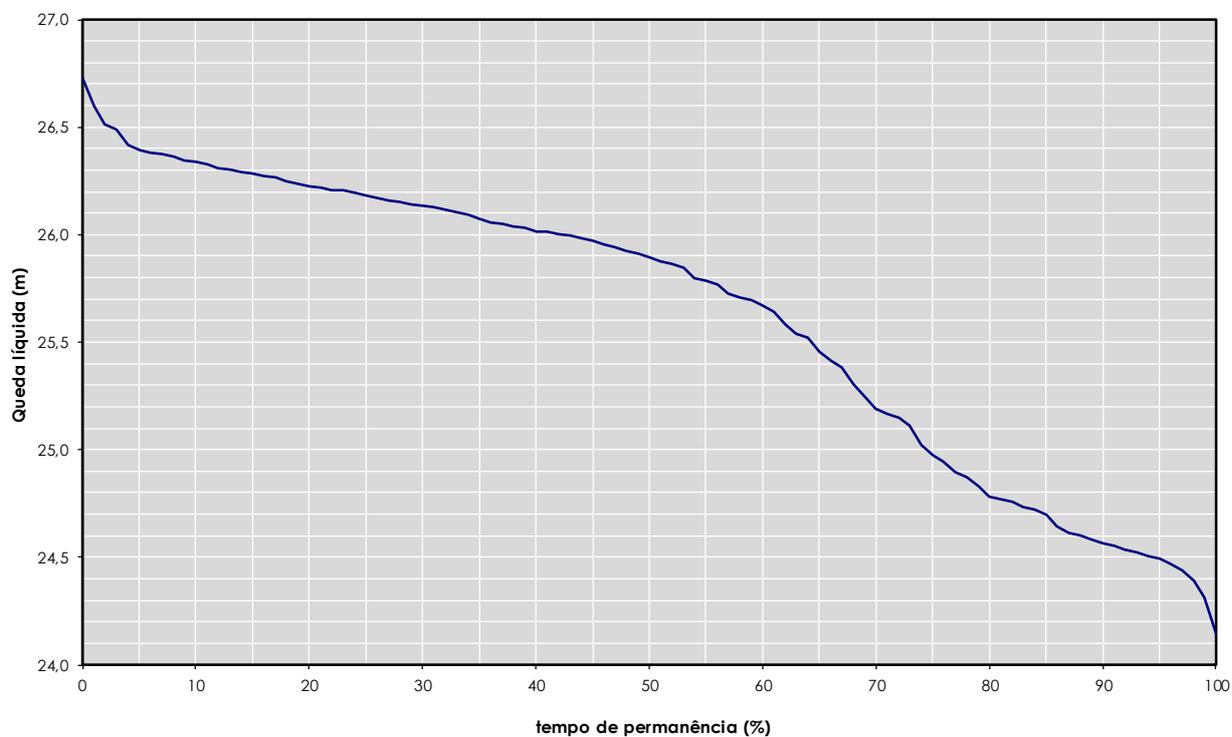


Figura 11-7: Curva de permanência de quedas líquidas

A queda líquida de referência do aproveitamento foi definida como a queda com 95% do tempo de permanência, na curva mostrada na Figura 11-7. O dimensionamento das turbinas deverá ser feito a partir dessa queda, com vistas à definição do engolimento máximo de cada unidade.

A queda líquida de projeto, por sua vez, foi estimada por meio do cálculo do valor médio ponderado com a produção energética, de acordo com a equação seguinte:

$$h_{liq-proj} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{liq-i} E_{med-i}}{\sum_{i=1}^n E_{med-i}}$$

onde n é o número de meses da simulação energética.

Essa queda estará associada ao ponto no qual o rendimento da turbina é máximo, e deve ser utilizada para o cálculo da energia assegurada da usina.

Dessa forma, os seguintes valores foram calculados e adotados:

- Queda líquida de referência24,42 m
- Queda líquida de projeto25,38 m

11.8. Garantia Física da PCH

A Garantia Física (GF) da PCH Cumbuco será calculada pelo MME, por meio da metodologia definida na Portaria nº 463/2009, a partir dos parâmetros aprovados pela ANEEL.

Em relação à energia média estimada no item 11.6, a GF apresenta as seguintes diferenças conceituais, de acordo com a referida Portaria do MME:

- Utilização da perda de carga hidráulica nominal, ou seja, associada à vazão turbinada nominal, desconsiderando as variações mensais calculadas por meio da curva de perdas hidráulicas;
- Inserção das perdas no consumo interno;
- Inserção das perdas elétricas no sistema de transmissão.

De acordo com o modelo elaborado para a PCH, as perdas hidráulicas nominais representam 1,00 m, valor equivalente a aproximadamente 3,8% da queda bruta.

As perdas no consumo interno, calculadas de acordo com proposta da ANEEL, representariam 0,3% da potência instalada (0,051 MW médios), tendo sido adotado um valor de 60 kW médios.

As perdas elétricas na transmissão, também calculadas por metodologia proposta pela ANEEL, seriam dadas por meio da seguinte equação:

$$h_{p-elet} = \frac{RL \sum_{i=1}^n \left\{ \min \left[\frac{9,81 [Q_i - (q_r + q_u)] (H_b - h) \eta_{tg}}{1000}; P_{inst} \right] - C_{int} \right\}^2}{V^2 n} \quad (MW \text{ médios})$$

onde

- R : Resistência ôhmica do condutor (Ohms/km);
- L : Comprimento da linha de transmissão (km);
- P_{inst} : Potência instalada da Central Geradora (MW);
- V : Tensão na linha de interesse restrito (kV);
- C_{int} : consumo interno (MWmédio);

- n : Quantidade de meses do histórico de vazões;
- Q_i : Vazão média do mês i do histórico de vazões (m^3/s);
- q_r : Vazão remanescente do aproveitamento (m^3/s);
- q_u : Vazão de uso consuntivos (m^3/s);
- H_b : Queda bruta nominal (m);
- h : Perdas hidráulicas nominais (m);
- η_{tg} : Rendimento do conjunto turbina e gerador (%)

A PCH Cumbuco integra um sistema com outros dois aproveitamentos localizados na bacia do rio das Mortes, com sistema de conexão com perdas e custos compartilhados.

A Figura 11-8 apresenta um desenho esquemático do sistema de conexão dos três empreendimentos à SE Primavera, da CEMAT.

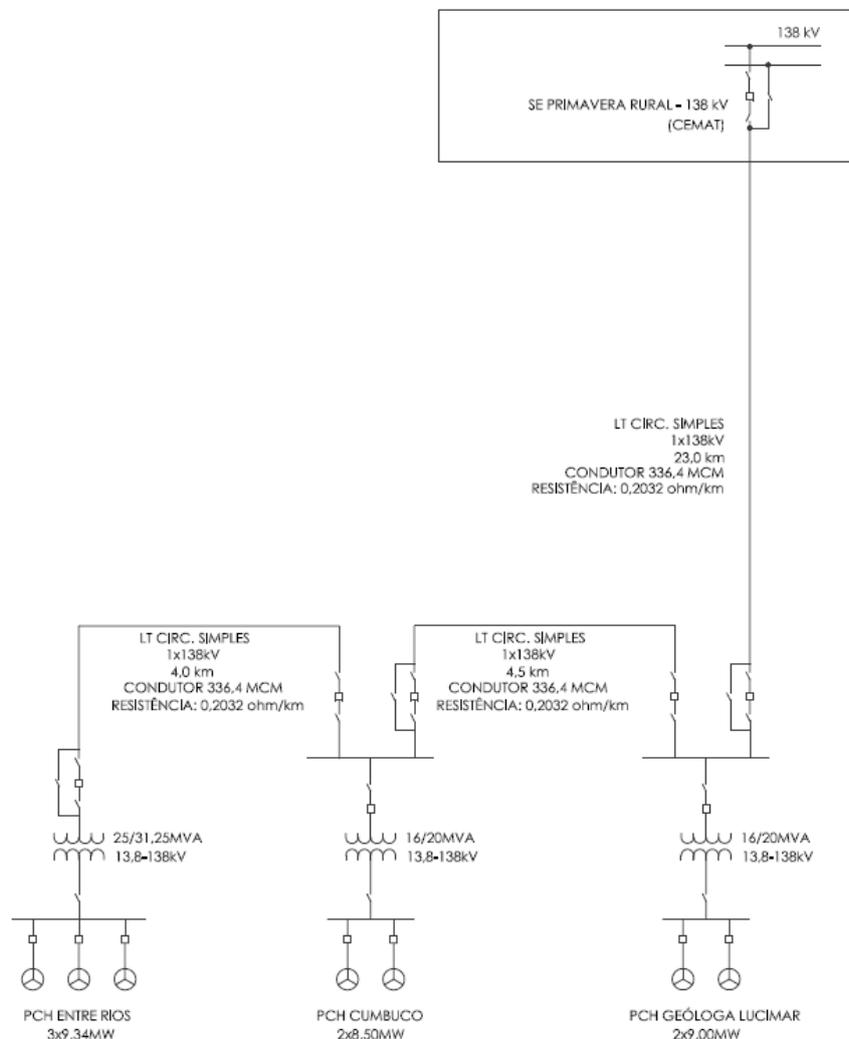


Figura 11-8: Croqui esquemático do sistema de conexão para as PCHs Entre Rios, Cumbuco e Geól. Lucimar Gomes

Em linhas gerais, foram previstos 3 (três) trechos de linhas de transmissão:

- Trecho 01:
 - Tensão 138 kV
 - Circuito simples
 - Extensão 4,0 km
 - Condutor 336,4 MCM
 - Resistência 0,2032 ohm/km
 - Função conexão da PCH Entre Rios à SE da PCH Cumbuco
 - Cargas PCH Entre Rios
 - Carga máxima 28,0 MW
- Trecho 02:
 - Tensão 138 kV
 - Circuito simples
 - Extensão 4,5 km
 - Condutor 336,4 MCM
 - Resistência 0,2032 ohm/km
 - Função conexão da PCH Cumbuco à SE da PCH Geól. Lucimar Gomes
 - Cargas PCHs Entre Rios e **Cumbuco**
 - Carga máxima 45,0 MW
- Trecho 03:
 - Tensão 138 kV
 - Circuito simples
 - Extensão 23,0 km
 - Condutor 336,4 MCM
 - Resistência 0,2032 ohm/km
 - Função conexão da SE Geól. Lucimar Gomes à SE Primavera (CEMAT)
 - Cargas PCHs Entre Rios, **Cumbuco** e Geól. Lucimar Gomes
 - Carga máxima 63,0 MW

A partir desta proposta de conexão, as perdas elétricas foram calculadas por trechos e compartilhadas entre os aproveitamentos, conforme sua participação no referido trecho.

Para tanto, com exceção do Trecho 1, que não será compartilhado, as perdas foram calculadas considerando os despachos mensais das PCHs que efetivamente utilizam o trecho de linha.

A Tabela 11-15 apresenta um resumo das perdas elétricas calculadas por trecho e compartilhadas pelos três aproveitamentos.

Tabela 11-15: Resumo das perdas elétricas nos aproveitamentos

		Trecho	Trecho 01	Trecho 02	Trecho 03	Perdas elétricas por PCH (MW médios e %)
		Extensão	4,0 km	4,5 km	23,0 km	
		Tensão	138 kV	138 kV	138 kV	
		Circuito	Simplex	Simplex	Simplex	
PCH	Entre Rios	Perdas elétricas (kW)	0,020	0,035	0,245	0,300
P_{inst} (MW)	28,0	Potência máxima despachada (MW)	28,0	28,0	28,0	1,53%
PCH	Cumbuco	Perdas elétricas (kW)		0,021	0,149	0,170
P_{inst} (MW)	17,0	Potência máxima despachada (MW)		17,0	17,0	1,58%
PCH	Geól. Lucimar Gomes	Perdas elétricas (kW)			0,158	0,158
P_{inst} (MW)	18,0	Potência máxima despachada (MW)			18,0	1,41%
Perdas elétricas em cada trecho (MW)			0,020	0,056	0,552	0,628
Potência máxima despachada no trecho (MW)			28,0	45,0	63,0	

Tendo em vista que as perdas são inseridas em valores percentuais na equação preconizada na Portaria MME nº 463/2009, foram calculados, a partir dos valores em MW médios, os respectivos percentuais referentes às perdas elétricas.

Sendo assim, os parâmetros utilizados para a estimativa da GF foram os seguintes:

- Potência instalada 17.000 kW
- Número de unidades 02
- Nível d'água máximo normal de montante 548,30 m
- Nível d'água normal de jusante 522,22 m
- Queda bruta nominal 26,08 m
- Perda de carga nominal 1,00 m
- Queda líquida nominal 25,08 m
- Consumo interno 0,06 MW médios
- Perdas no sistema de transmissão 1,58% (0,170 MW médios)

De posse desses e dos demais dados já informados neste relatório, a Garantia Física da PCH Cumbuco foi estimada em **10,78 MW médios**.

Este número, apesar de não ser oficial, será utilizado para as avaliações econômicas do empreendimento.

As Figura 11-9 e Figura 11-10 apresentam, respectivamente, as séries históricas de vazões vertidas e turbináveis, e a série histórica de potências geradas.

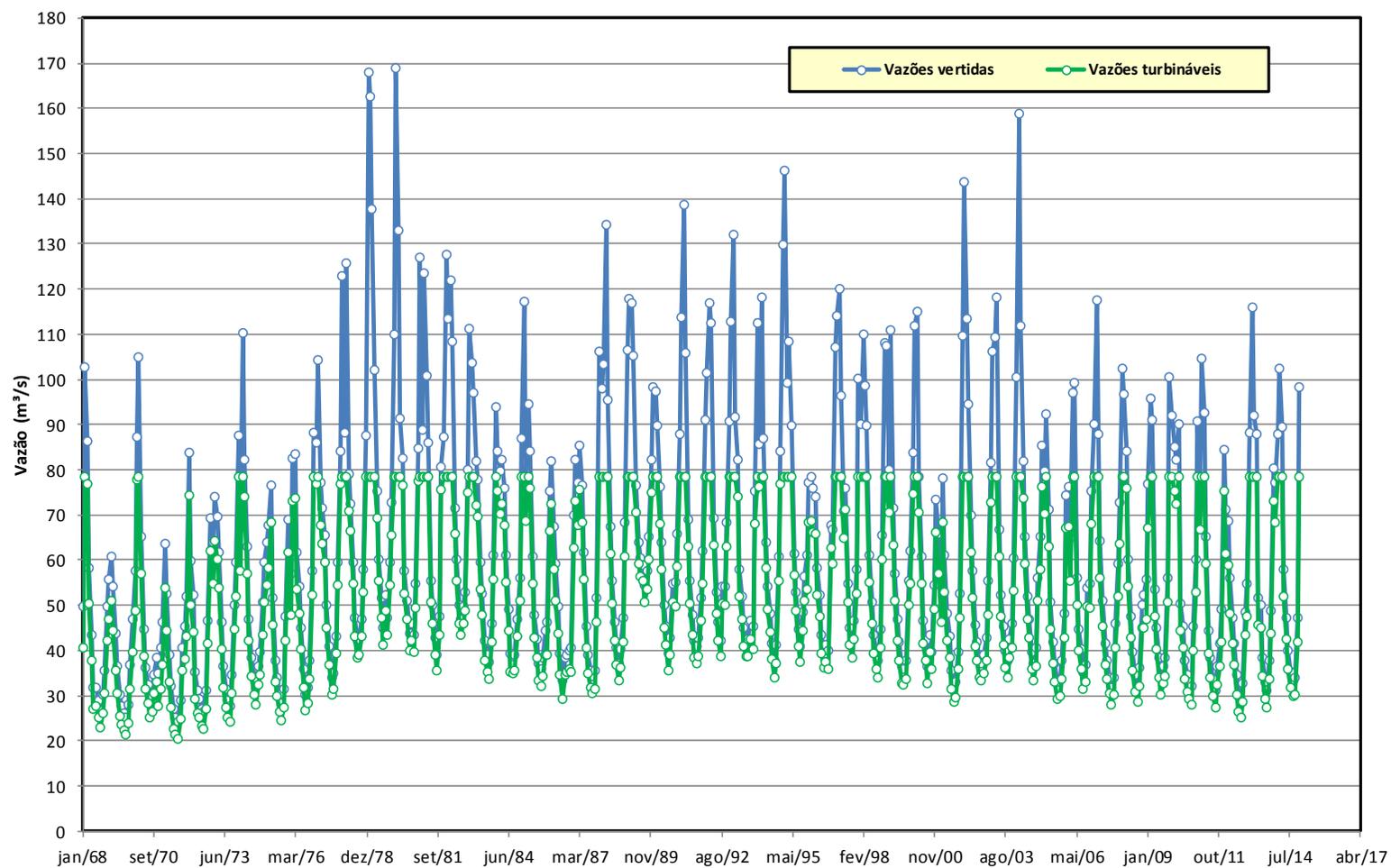


Figura 11-9: Séries de vazões vertidas e turbináveis históricas (1968 a 2014)

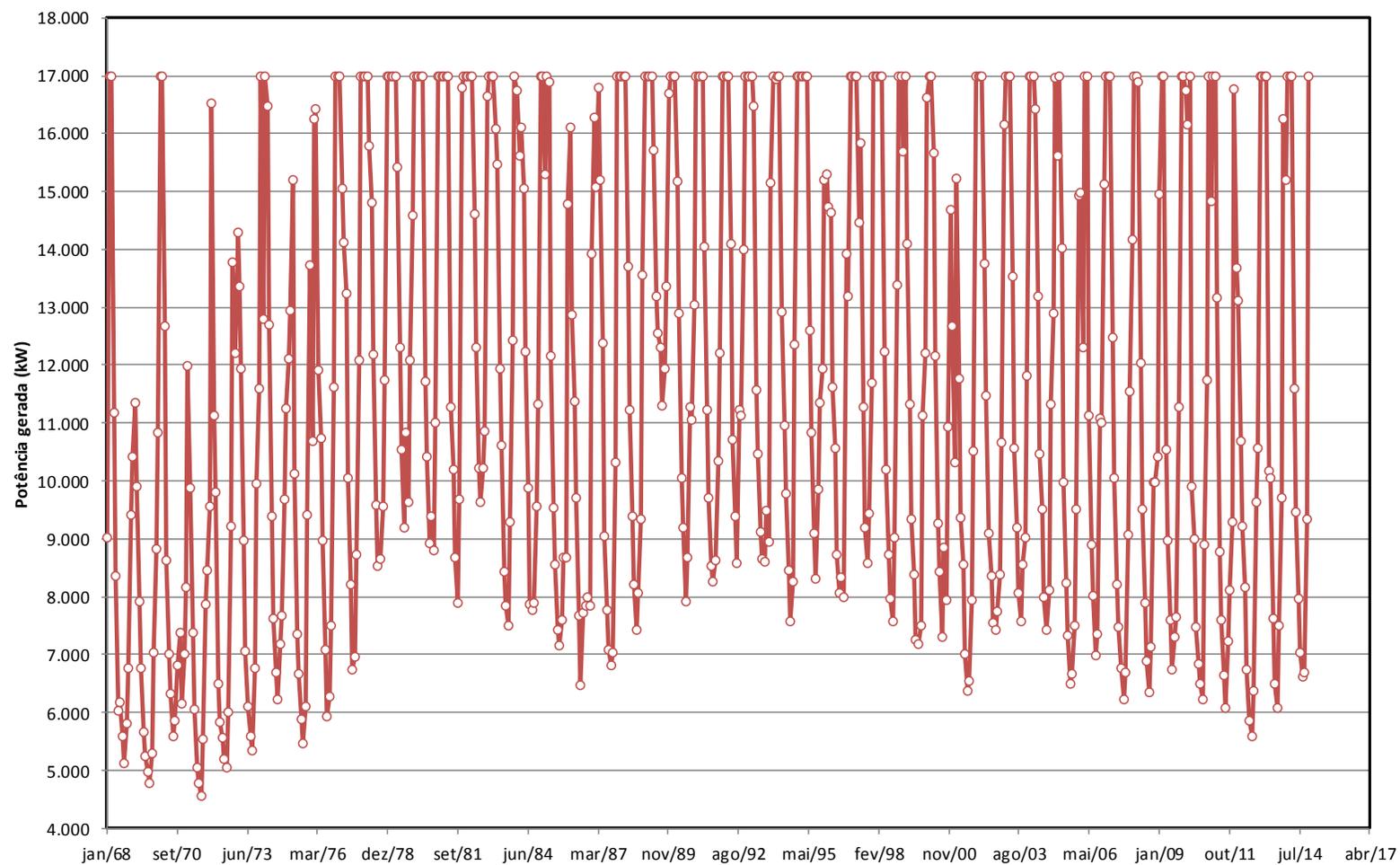


Figura 11-10: Série de potências médias mensais históricas (1968 a 2014)

11.9. Determinação das Características Finais do Empreendimento

Com base em todos os estudos realizados até o momento, e com vistas ao detalhamento das estruturas e equipamentos, podem-se definir, para a PCH Cumbuco, as seguintes características finais:

- Nível d'água máximo normal de montante	548,30 m
- Nível d'água mínimo de montante	548,30 m
- Nível d'água máximo excepcional de montante.....	550,30 m
- Nível d'água normal de jusante	522,22 m
- Nível d'água mínimo de jusante	521,27 m
- Nível d'água máximo excepcional de jusante	523,80 m
- Queda bruta nominal	26,08 m
- Perda de carga nominal.....	1,00 m
- Queda líquida nominal.....	25,08 m
- Queda líquida de referência	24,42 m
- Queda líquida de projeto	25,38 m
- Potência instalada	17,00 MW
- Energia média gerada (jan/1968 a dez/2014)	11,19 MW médios
- Fator de capacidade	0,66
- Indisponibilidade programada	1,26%
- Indisponibilidade forçada	3,73%
- Vazão turbinada nominal (total)	75,7 m³/s
- Vazão turbinada máxima (total)	78,7 m³/s
- Vazão turbinada unitária nominal	37,8 m³/s
- Tipo de turbina	Francis de eixo horizontal
- Número de unidades	2
- Rendimento da turbina	93,0%
- Rendimento do gerador	97,0%
- Potência unitária da turbina	8.763 kW
- Fator de potência.....	0,90
- Potência unitária do gerador.....	9.445 kVA
- Garantia Física (expectativa)	10,78 MW médios
- Fator de capacidade	0,63

12. DETALHAMENTO DO PROJETO

Nesse capítulo será apresentado o detalhamento das estruturas que contemplam o arranjo geral da PCH Cumbuco. O arranjo apresenta estruturas otimizadas em conformidade com o nível de precisão das informações disponíveis nesta etapa de estudos.

12.1. Arranjo Geral da Usina

A PCH Cumbuco constituirá uma usina com derivação por canal de adução implantado na ombreira direita e apresentará seu reservatório formado na cota 548,3 m, por meio de um barramento definido pelas coordenadas aproximadas 822.360E e 8.315.478N (ombreira direita) e 822.243E e 8315.780N (ombreira esquerda). O traçado do eixo apresenta-se ortogonal no leito do rio Cumbuco.

O comprimento total do eixo de barramento será de aproximadamente 325 m e a altura máxima do barramento de cerca de 30 m. A crista do barramento, com 6 m de largura, estará posicionada na cota 551,3 m e terá uma borda-livre de 3,0 m.

Sua operação será a "fio d'água", a forma predominante do reservatório acompanha o terreno em todo seu comprimento e o mesmo sofrerá variações de nível d'água apenas para a passagem das cheias. A formação do reservatório, incluindo as sobrelevações em épocas de cheias, não trará quaisquer interferências com o meio antrópico em todo o seu contorno.

Para o barramento principal foi definida uma seção transversal homogênea em solo compactado. Nas transições para as estruturas em concreto, foi definida uma seção transversal mista, de enrocamento e núcleo em solo compactado.

A geometria externa da seção homogênea de solo compactado apresenta taludes com inclinação de 1:0V:2,2H para montante e 1:0V:2,0H para jusante. O talude de montante apresentará blocos de rocha selecionados ("rip-rap") entre as cotas 547,30 m e a crista, na cota 551,30 m. Todo o trecho de jusante da barragem será protegido por revestimento vegetal. A ensecadeira de segunda etapa será integralmente incorporada à seção da barragem de solo compactado.

A geometria externa da seção mista apresenta taludes com inclinação de 1,0V:1,5H, tanto a montante como a jusante. O talude de montante apresentará blocos de rocha selecionados ("rip-rap") entre as cotas 547,30 m e a crista, na cota 551,30 m.

O desvio do rio foi concebido admitindo-se diversos fatores, tais como as características topográficas e geológico-geotécnicas, vazões do rio, tipo de barramento, bem como aspectos logísticos da futura obra.

De acordo com o planejamento construtivo das obras, as estruturas de desvio de primeira fase foram previstas para enfrentar um período de cheia de 50 anos de recorrência e o de segunda fase foi previsto para enfrentar um período de estiagem com recorrência de 50 anos.

Na primeira etapa o rio permanecerá em seu leito natural e as estruturas serão construídas ao abrigo de septos naturais de solo remanescente, enquanto que a segunda fase de desvio será caracterizada pela execução de ensecadeiras de montante e de jusante, de forma a direcionar as águas para a estrutura de desvio de segunda etapa, ou seja, uma adufa de desvio implantada no corpo da barragem na margem direita do rio Cumbuco.

A PCH Cumbuco terá seu reservatório formado na cota 548,30 m. Apresenta uma área de 0,13 km² e volume de 0,45 hm³, para o nível máximo normal de operação.

O vertedouro, a ser implantado na margem direita do rio Cumbuco, será do tipo soleira livre e com paramento de jusante em escada. Foi dimensionado para garantir a passagem da cheia com período de recorrência de 1.000 anos, com a aplicação da unidade do coeficiente de

Füller. A ogiva, constituída por um perfil tipo “Creager”, foi projetada para a passagem da vazão de projeto, de modo a introduzir 2,0 m de sobrelevação do nível d'água máximo normal ($NA_{m\acute{a}x}$) do reservatório.

A estrutura vertente foi concebida com seção do tipo gravidade e prevista sua execução em concreto, com paramento de montante vertical e o de jusante, em escada, com inclinação de 0,70H:1,00V, prevendo-se degraus para dissipação de parte da energia.

A energia remanescente do fluxo nos degraus deverá ser dissipada no topo rochoso que deverá estar exposto no canal de restituição das vazões vertidas. O dimensionamento das estruturas de dissipação de energia foi efetuado para a vazão centenária, e verificado o seu bom funcionamento para diversas vazões representativas, com ênfase para a vazão de TR=1.000 anos, todas elas com a aplicação da unidade do coeficiente de Füller.

O circuito de adução, posicionado na margem direita do rio, será composto por uma tomada d'água de controle incorporada ao eixo do barramento, um canal de adução, uma câmara de carga, um bloco de tomada d'água, condutos forçados para alimentar individualmente cada turbina instalada na casa de força/área de montagem, e canal de fuga.

O canal de adução apresenta seção escavada em solo e revestimento em manta PEAD. Ele é dimensionado para a vazão de engolimento total das máquinas, terá cerca de 2,8km de desenvolvimento, terminado em uma câmara de carga em concreto onde se instala a tomada d'água. Ele será escavado na margem esquerda do rio das Mortes, com compensação do tipo corte/aterro onde se fizer necessário.

A tomada d'água será do tipo frontal, uma para cada unidade geradora, dotada de grade e comporta de emergência do tipo vagão. A submergência da tomada d'água foi verificada segundo os critérios de Y. L. Gordon e do U.S.B.R., atendendo com folga aos limites preconizados.

A conexão da tomada d'água à casa de força será feita por meio de condutos forçados para alimentar individualmente cada turbina instalada na casa de força.

Os condutos apresentarão inclinação vertical de 30° na entrada da casa de força, onde ocorre a conexão para cada uma das turbinas. Foram previstos blocos de ancoragem nessas mudanças de direção e espessuras suficientes para suportar eventuais sobrepressões.

As estruturas da casa de força serão constituídas por dois blocos de concreto armado para abrigar dois grupos hidrogeradores de eixo horizontal tipo Francis de eixo horizontal.

O canal de fuga da usina será escavado em solo e rocha, terá largura de seção de fundo constante e igual a largura da saída do tubo de sucção das máquinas, e estará posicionado na margem direita do rio.

A **Ilustração 46** apresenta o arranjo geral das estruturas.

12.2. Fases de Desvio e Sequência Construtiva

O desvio do rio foi concebido admitindo-se diversos fatores, tais como as características topográficas e geológico-geotécnicas, vazões do rio, tipo de barramento, bem como aspectos logísticos da futura obra.

Na primeira etapa o rio permanecerá em seu leito natural, enquanto tem início as escavações dos canais de desvio, canal de adução e de restituição, mantendo-se, para tanto, septos naturais de solo remanescente para isolamento do recinto das obras do primeiro ano.

Ainda na primeira etapa de obra serão iniciadas as escavações do canal de fuga e das áreas de implantação da casa de força, da tomada d'água, câmara de carga em concreto e conduto forçado como também da barragem de terra.

Finalizadas as escavações da tomada d'água e da casa de força e, ainda, do muro de topo adjacente ao conjunto de adufas de desvio, serão efetivados o preparo e tratamento das fundações dessas estruturas componentes do arranjo geral.

Seguindo ainda a etapa 1 de obras, isto é, com o rio mantido em sua calha natural, terá início a concretagem das estruturas do barramento e do circuito de geração. Serão ainda concluídas as estruturas de desvio (bloco de adufa) e o muro de arrimo (topo), ambos posicionados na margem direita do rio Cumbuco.

Por último, neste primeiro ano de obras, serão iniciadas a concretagem e o lançamento do aterro da câmara de carga componente do circuito de geração.

A segunda fase de desvio será caracterizada pela execução de ensecadeiras de montante e de jusante, de forma a direcionar as águas para a estrutura de desvio de segunda etapa, ou seja, um conjunto de duas adufas de desvio implantadas no corpo da barragem na margem direita do rio Cumbuco.

O início da 2ª etapa da obra prevê o lançamento da ensecadeira de 2ª fase (montante e jusante) no leito do rio até as cotas previstas para o coroamento das mesmas.

Finalizada essa etapa, o desvio do rio pelas adufas será efetivado e terão início as operações de esgotamento do recinto no leito do rio, a limpeza e tratamento da fundação e o início da barragem no trecho ensecado.

Também nessa etapa estarão em andamento as escavações dos canais de adução e de fuga, a concretagem da tomada d'água de adução, da câmara de carga e da casa de força.

Serão iniciados e concluídos nesse mesmo ano de obra os processos de tratamento de fundação para implantação da barragem de terra na margem.

Concomitantemente, serão concluídas a concretagem da tomada d'água, da câmara de carga e da casa de força.

No final da 2ª etapa, já no 2º ano de obra, com o fim do desvio do rio, está prevista a remoção do septo natural do canal de fuga.

Diante do encerramento do procedimento anterior, as adufas serão então fechadas e terá início o enchimento do reservatório.

Com a conclusão da concretagem de todas as estruturas, do fechamento final do desvio e da montagem eletromecânica das máquinas da casa de força, dar-se-á o início da geração comercial.

A **Ilustração 54** apresenta detalhadamente a sequência construtiva das obras civis da PCH Cumbuco.

12.3. Reservatório

A PCH Cumbuco terá seu reservatório formado na cota 548,30 m. Apresenta uma área de 0,13 km² e volume de 0,45 hm³, para o nível máximo normal de operação.

Sua operação será a "fio d'água" e o tempo de enchimento, até a entrada em operação da primeira unidade, será de aproximadamente 6 horas, considerando seu início em novembro, para a vazão média de longo termo deste mês.

A forma predominante do reservatório acompanha o terreno em todo seu comprimento, sem ramificações.

O reservatório da alternativa selecionada sofrerá variações de nível d'água apenas para a passagem das cheias. A formação do reservatório, incluindo as sobrelevações em épocas de

cheias, não trará quaisquer interferências com o meio antrópico em todo o seu contorno. Suas profundidades média e máxima são, respectivamente 3,5 m e 31 m.

A **Ilustração 44** apresenta a planta e as curvas características do reservatório.

12.4. Desvio do Rio

Para a execução das obras previstas para as estruturas do arranjo geral foram configuradas duas fases de desvio do rio.

No desvio de primeira fase, as estruturas e áreas em construção permanecerão protegidas por septos do terreno natural (solo remanescente) para garantir a cota de proteção sem interferência no leito natural do rio Cumbuco, para o tratamento da fundação da estrutura de desvio, muro de topo, vertedouro e da barragem de terra localizada na margem direita.

Para a continuidade das obras no leito e trechos adjacentes, a segunda fase de desvio será caracterizada pela execução de ensecadeiras de montante e de jusante, de forma a direcionar as águas para a estrutura de desvio de segunda etapa, ou seja, uma adufa de desvio implantada no corpo da barragem na margem direita do rio.

De acordo com o planejamento construtivo das obras, as estruturas de desvio de primeira fase foram previstas para enfrentar um período de cheia de 50 anos de recorrência (243 m³/s) e o de segunda fase foi previsto para enfrentar um período de estiagem de 50 anos (5 meses junho-outubro) de recorrência (95 m³/s).

O desvio de segunda fase será executado por um conjunto de 2 (duas) adufas localizadas no corpo da barragem, na margem direita do rio, ao lado do vertedouro com a finalidade de permitir as obras no leito do rio Cumbuco. Para tanto, foram dimensionados: um canal de aproximação às adufas, escavado na cota 537,50 m, um bloco de 2 (duas) adufas, tendo uma seção retangular com 3,0 m de altura por 2,60 m de largura, separadas por pilares de 1,5 m de largura, e um canal de restituição do desvio, na cota 537,50 m. A cota de entrada e saída da adufa foi fixada em 538,0 m.

Nas adufas de desvio serão implantadas ranhuras para receber comportas ensecadeiras de concreto, possibilitando o ensecamento dos vãos. Foi prevista a instalação de ranhuras para a descida de comporta ensecadeira de concreto.

Nas **Ilustrações 54, 58 a 59** estão sintetizadas as fases concebidas para o desvio do rio e ainda o detalhamento estrutural das estruturas de desvio.

12.5. Ensecadeiras

Os dimensionamentos hidráulicos do desvio do rio indicaram uma cota de proteção para a 1ª fase das obras da PCH Cumbuco posicionada na elevação 542,10 m. Diante da morfologia da margem direita do rio Cumbuco, o desvio do rio será implantada na margem direita.

Para a execução das obras no leito do rio e em seus trechos adjacentes, a segunda fase de desvio será caracterizada pela execução de ensecadeiras de montante e de jusante, de forma a direcionar as águas para a estrutura de desvio de segunda etapa, ou seja, um conjunto de duas adufas de desvio implantadas no corpo da barragem na margem direita do rio.

As ensecadeiras de 2ª fase serão incorporadas a estrutura do barramento e são compostas por uma seção de enrocamento e vedação externa (com camada de transição intermediária), lançada diretamente no rio. Terão crista de 8,50 m de largura, posicionada à cota 543,60 m para o tramo de montante e 541,70 m para o de jusante.

Os taludes previstos para as ensecadeiras serão: 1,0V:1,3H (montante e jusante) para o enrocamento lançado, 1,0V:1,5H (montante) para a transição lançada e 1,0V:3,0H (montante)

para a vedação em solo lançado. A ensecadeira de montante terá um comprimento aproximado de 85,0 m e uma altura máxima de aproximadamente 3,5 m. A ensecadeira de jusante terá um comprimento aproximado de 80,0 m e uma altura máxima de aproximadamente 7,0 m.

A **Ilustração 58** apresenta as seções características das ensecadeiras projetadas.

12.6. Fechamento do Desvio e Enchimento do Reservatório

Após a conclusão das obras civis, a estrutura de desvio será fechada, para que tenha início o enchimento do reservatório.

O fechamento das adufas será realizado por meio do lançamento da comporta vagão corta-fluxo nos vãos da estrutura, para posterior descida das comportas ensecadeiras de concreto.

Será utilizada apenas uma comporta corta-fluxo para toda a operação, que será realizada por meio do seguinte procedimento:

- i. Lançamento, por meio de guindaste de obra, da comporta vagão corta-fluxo no primeiro vão das adufas;
- ii. Após o corte do fluxo do vão, lançamento, também por meio de guindaste de obra, dos elementos da comporta ensecadeira de concreto de montante;
- iii. Após o lançamento de todos os elementos da comporta ensecadeira de concreto, retirada da comporta vagão da ranhura e verificação das vedações da comporta ensecadeira;
- iv. Após o fechamento do vão, lançamento da comporta vagão na abertura seguinte e repetição do procedimento de lançamento das comportas de concreto, até o fechamento do vão;
- v. Após o início do enchimento do reservatório, lançamento, por meio de guindaste de obra, dos elementos das comportas ensecadeiras de concreto de jusante, para possibilitar o lançamento dos plugues de concreto dos vãos.

Para as operações para o fechamento das adufas será necessária a aquisição de apenas uma comporta vagão, que será responsável pelo corte do fluxo dos vãos, e de dois conjuntos de comportas ensecadeiras de concreto de montante e de jusante.

O fechamento do último vão das adufas será controlado até que o nível d'água atinja a soleira do vertedouro, restabelecendo assim o fluxo natural para jusante. Esta operação garantirá a manutenção da vazão remanescente para o trecho de jusante do rio ao longo do enchimento do reservatório.

A vazão a ser mantida para jusante ao longo do enchimento do reservatório será a mesma vazão remanescente no Trecho de Vazão Reduzida, correspondente a 10% da vazão média do mês.

12.6.1. Equipamentos Eletromecânicos

Nas adufas de desvio serão implantadas ranhuras para receber uma comporta corta-fluxo, possibilitando o fechamento dos vãos por montante.

Esta comporta será manobrada por meio de guindaste de obra, a partir do coroamento da estrutura.

12.6.1.1. Comporta Vagão

Nas adufas de desvio serão instaladas guias para receber uma comporta vagão corta-fluxo, com a finalidade de possibilitar o ensecamento dos dois vãos.

A comporta vagão terá vedação a montante e possuirá, além das rodas principais, rodas de contraguia e, para o guiamento lateral, sapatas de guia.

A movimentação da comporta será por meio de guindaste de obra, que deverá operar a partir do coroamento da estrutura, na El. 551,30 m.

As características principais da comporta vagão serão as seguintes:

- Quantidade 1
- Número de elementos para montagem 1
- Número de ranhuras 2
- Conjuntos de peças fixas extras 1
- Largura do vão 2,60 m
- Altura do vão 3,00 m
- Cota da soleira 538,00 m
- Cota da peça fixa frontal 541,00 m
- Nível d'água máximo normal de montante 548,30 m
- Nível d'água máximo excepcional de montante 550,30 m

12.7. Vazão Remanescente

Após a conclusão das obras civis, a estrutura de desvio será fechada, tendo início o enchimento do reservatório. Para esta etapa deverá ser mantida uma vazão mínima para jusante, até o início do vertimento e restabelecimento das condições normais de fluxo.

Após o enchimento do reservatório e restabelecimento das condições de fluxo, deverá ser mantida uma vazão remanescente no Trecho de Vazão Reduzida, quando da entrada em operação da PCH.

Esta vazão é variável mensalmente e foi definida como 10% da média de cada mês, tendo sido apresentadas na Tabela 11-2.

Na fase de enchimento do reservatório a vazão sanitária será garantida por meio do fechamento parcial da comporta corta-fluxo das adufas, quando inserida no segundo vão.

Já na fase de operação da usina a vazão remanescente será garantida pela operação do vertedouro de soleira livre, com pequenas sobrelevações, variáveis em função do mês, conforme mostrado na Tabela 12-1.

Tabela 12-1: Sobrelevações (h_v) no vertedouro para passagem das vazões remanescentes

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Q_{rem} (m ³ /s)	9,01	9,60	9,72	8,13	5,97	4,82	4,13	3,69	3,67	4,06	5,26	7,32
h_v (cm)	46,0	49,0	49,7	41,5	30,5	24,6	21,1	18,9	18,7	20,8	26,9	37,4

12.8. Barragem e Aterros

Para o barramento principal foi definida uma seção transversal homogênea em solo compactado. Nas transições para as estruturas em concreto, foi definida uma seção transversal mista, de enrocamento e núcleo em solo compactado.

A geometria externa da seção homogênea de solo compactado apresenta taludes com inclinação de 1:0V:2,2H para montante e 1:0V:2,0H para jusante. O talude de montante apresentará blocos de rocha selecionados ("rip-rap") entre as cotas 547,30 m e a crista, na cota 551,30 m. Todo o trecho de jusante da barragem será protegido por revestimento vegetal. A ensecadeira de segunda etapa, será integralmente incorporada à seção da barragem de solo compactado. A barragem de terra será assente em solo, limpo e tratado para esse fim.

A geometria externa da seção mista apresenta núcleo argiloso central e espaldares de enrocamento, com inclinação dos taludes externos de 1,0V:1,5H. O núcleo argiloso terá taludes com inclinações de 1,0V:0,4H a montante e a jusante. O talude de montante da face externa da barragem de enrocamento apresentará proteção com blocos de rocha selecionados ("rip-rap"). Entre o núcleo argiloso e o espaldar de montante (enrocamento) foi prevista camada de transição, com 1,5 m de espessura. Na interface entre o núcleo e o espaldar de jusante foram previstas duas camadas, uma de areia, com 1,5 m de espessura, seguida de outra de material de transição, com 2,0 m de espessura. A barragem em seção mista será assente em rocha, limpa, regularizada e tratada para esse fim. Ao longo do eixo será executada cortina de injeção de calda de cimento para tratamento do maciço rochoso.

Os aterros do canal de adução, executados em terra, foi concebida uma seção homogênea em solo compactado. A geometria externa da seção apresenta, a montante e a jusante, talude com inclinação de 1,0V:1,5H com crista (551,30 m).

O aterro da região da câmara de carga, executado em terra, foi concebida uma seção homogênea em solo compactado talude de jusante inclinação de 1,0V:2,0H e talude de montante aproximadamente vertical apoiado nas paredes da estrutura de concreto da câmara de carga.

12.9. Vertedouro

O vertedouro, a ser implantado na margem direita do rio Cumbuco, será do tipo soleira livre e com paramento de jusante em escada. Foi dimensionado para garantir a passagem da cheia com período de recorrência de 1.000 anos, com a aplicação da unidade do coeficiente de Füller (329 m³/s). A ogiva, constituída por um perfil tipo "Creager", foi projetada para a passagem da vazão de projeto, de modo a introduzir 2,0 m de sobrelevação do nível d'água máximo normal (NA_{máx}) do reservatório. O comprimento da crista será igual a 52,0 m, protegido por dois muros laterais de 1,0 m de largura.

A estrutura vertente foi concebida com seção do tipo gravidade e prevista sua execução em concreto, com paramento de montante vertical e o de jusante, em escada, com inclinação de 0,70H:1,00V, prevendo-se degraus para dissipação de parte da energia.

A energia remanescente do fluxo nos degraus deverá ser dissipada no topo rochoso que deverá estar exposto no canal de restituição das vazões vertidas. O dimensionamento das estruturas de dissipação de energia foi efetuado para a vazão centenária (263 m³/s), e verificado o seu bom funcionamento para diversas vazões representativas, com ênfase para a vazão de TR=1.000 anos, todas elas com a aplicação da unidade do coeficiente de Füller.

A Figura 12-1 apresenta a curva de descarga estabelecida para sua operação.

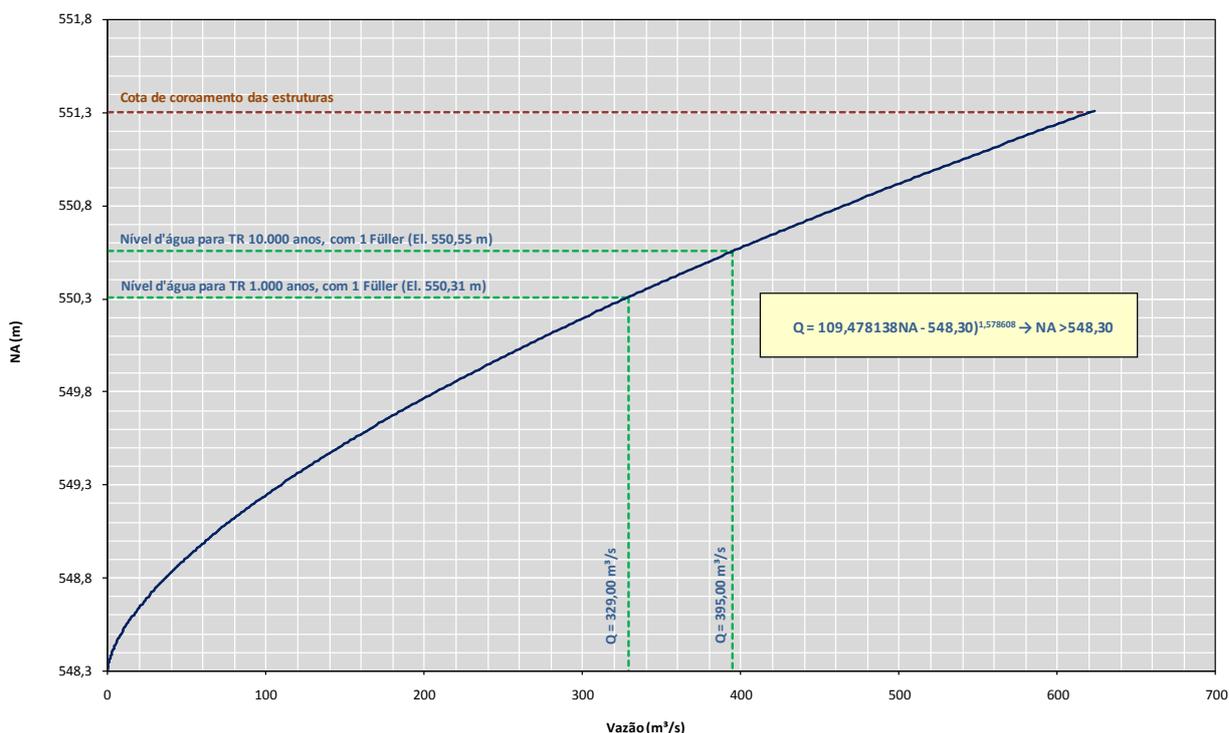


Figura 12-1: Curva de descarga do vertedouro

A **Ilustração 57** apresenta o projeto estrutural do Vertedouro de Soleira Livre.

12.10. Tomada d'Água de Controle do Canal de Adução

Foi prevista a implantação de uma tomada d'água para o canal de adução, com o objetivo de permitir o controle das operações de enchimento e esvaziamento e possibilitar eventuais manutenções ao longo do mesmo.

Essa estrutura será composta de 3 vãos com ranhuras para recebimento das comportas ensecadeiras metálicas.

Tendo em vista que as operações de fechamento do canal de adução serão eventuais e não terão caráter emergencial, as comportas serão armazenadas em depósito específico e serão movimentadas até a estrutura por meio de guindaste.

A tomada de controle do canal será implantada na margem direita, no eixo do barramento da PCH. Terá largura total de 21,00 m, comprimento de 9,00 m e altura de 9,30 m.

A montante da estrutura serão implantadas guias para a fixação de grades grossas, para permitir a retenção de materiais sólidos que poderiam danificar o canal ou a tomada d'água principal, reduzindo, assim, as manutenções ao longo da operação da usina.

O fechamento da tomada d'água de controle será feito com carga hidráulica equilibrada, ou seja, somente após a interrupção da geração e fechamento das comportas da tomada d'água principal.

Para o lançamento e retirada dos elementos das comportas ensecadeiras foi prevista a implantação de uma talha elétrica na estrutura de controle.

A **Ilustração 61** apresenta a concepção e detalhamento da estrutura de controle.

12.10.1. Equipamentos Eletromecânicos

Os equipamentos a serem implantados na tomada d'água de controle do canal de adução são representados pelas grades, comportas ensecadeiras e talha elétrica.

12.10.1.1. Grades Fixas

O emboque de montante do canal de adução será protegido por grades metálicas, com a finalidade de reter os detritos com dimensões prejudiciais ao canal e à tomada d'água principal.

Cada emboque da tomada d'água de controle terá largura livre de 5,00 m, com altura livre de 6,60 m. Cada grade terá três (3) painéis, com 5,00 m de largura por 2,30 m de altura, cada painel.

Nas laterais do emboque estão projetadas guias laterais para receber os painéis de grade. As grades serão fixas e sem inclinação com a vertical.

As principais características das grades serão as seguintes:

- Tipo de grade fixa
- Cota da soleira..... 543,50 m
- Cota da frontal..... 550,10 m
- Cota do coroamento da Tomada d'Água 551,30 m
- Inclinação vertical
- Largura do vão.....5,00 m
- Quantidade de vãos 3
- Quantidade de painéis por vão..... 3
- Dimensões aproximadas do painel (largura x altura) 5,00 x 2,30 m
- Vazão máxima para dimensionamento 78,7 m³/s
- Velocidade máxima do fluxo na seção bruta 1,10 m/s
- Carga de projeto..... 30 kN/m²
- Vão livre entre barras verticais..... 150 mm

12.10.1.2. Comporta Ensecadeira

Cada um dos vãos da estrutura poderá ser fechado por intermédio de uma (1) comporta ensecadeira, estando desligadas todas as unidades geradoras e fechadas as tomadas d'água de adução (sem fluxo pelo canal).

Cada comporta ensecadeira será constituída por três (3) elementos. Estes possibilitarão o isolamento de todo o canal de adução, para sua eventual manutenção.

A movimentação dos elementos da comporta ensecadeira será feita por meio de talha elétrica e monovia, operando no coroamento da estrutura, por meio de viga pescadora própria para a comporta.

Os elementos da comporta somente serão manobrados nas ranhuras em condições de carga hidráulica equilibrada, supervisionado pelo sistema de detecção de pressões diferenciais, incluindo no fornecimento.

O equilíbrio de pressões, para retirada dos elementos, será feito por meio de sistema de "bypass", composto por duas (2) válvulas localizadas no elemento superior da comporta, acionadas pelo peso próprio da viga pescadora.

A estocagem dos elementos será feita em depósito a ser implantado no canteiro da usina, com deslocamento até a tomada d'água por meio de guindaste, tendo em vista que as operações de fechamento do canal não serão emergenciais, mas sim programadas.

As características principais das comportas ensecadeiras serão:

- Tipo..... deslizante
- Quantidade 3
- Quantidade de elementos..... 3
- Vão livre5,00 m
- Cota da soleira..... 543,50 m
- Altura da comporta6,90 m
- Nível d'água máximo de dimensionamento 550,30 m
- Cota do coroamento da tomada d'água 551,30 m

12.10.1.3. Talha Elétrica

No coroamento da estrutura será instalada uma talha elétrica, que terá a finalidade de movimentar os elementos da comporta ensecadeira.

Este dispositivo será dotado de trole motorizado e se movimentará em uma monovia fixada em uma viga de concreto existente no local.

O curso do gancho permitirá movimentar os elementos da comporta ensecadeira nas respectivas ranhuras, retirá-los e colocá-los sobre o carrinho.

Os movimentos de translação e elevação motorizados serão acionados através de uma botoeira pendente, por um operador que se deslocará no coroamento da barragem.

Características principais:

- Capacidade da talha 30 kN*
- Curso do gancho..... 13 m
- Velocidade de elevação 5,0 / 1,0 m/min
- Velocidade de translação 15,0 m/min
- Extensão da monovia21 m
- Cota do coroamento da estrutura 551,30 m

(*) Capacidade a ser confirmada pelo fabricante das comportas.

12.11. Canal de Adução e Câmara de Carga

O circuito de adução, posicionado na margem direita do rio, será composto, além da tomada d'água de controle incorporada no eixo do barramento, de um canal de adução, uma câmara de carga em concreto, um bloco de tomada d'água e condutos forçados para alimentar individualmente cada turbina instalada na casa de força.

O canal de adução, dimensionado para a vazão de engolimento total das máquinas, terá cerca de 3,2 km de desenvolvimento, terminando em uma câmara de carga na qual será instalada a tomada d'água. O canal será escavado na margem direita do rio Cumbuco, com compensação do tipo corte/aterro quando necessário, sendo que o escoamento se desenvolverá em manta PEAD.

Para todos os trechos do canal de adução a velocidade máxima prevista para as condições de operação será de 1,0 m/s.

O eixo do canal de adução foi posicionado de modo a otimizar o balanceamento do volume de escavação, com a necessidade de materiais para a obra.

O canal terá 7,7 m de base e inclinação de 1,0V:1,5H em solo.

As características principais do canal serão as seguintes:

- Comprimento total3,154 m
- Vazão de dimensionamento..... 78,4 m³/s
- Talude de escavação em solo 1,0V:1,5H
- Largura da base.....7,70 m
- Cota do fundo no início do canal 543,20m
- Declividade média.....0,044 mm/m
- Cota do fundo no final do canal 543,06 m
- Revestimento manta PEAD

Ao final do canal de adução, para compensar as paradas e partidas de máquinas, será implantada uma câmara de carga, escavada em solo e rocha, em estrutura de concreto estrutural em que na sua extremidade será construída a tomada d'água. O fundo da câmara de carga estará posicionado na cota 537,0 m.

A **Ilustração 63** apresenta as seções típicas do canal de adução e da câmara de carga.

12.12. Tomada d'Água

A tomada d'água será frontal, localizada na margem direita do rio, a jusante do canal de adução e câmara de carga.

O conjunto de tomadas d'água será construído em concreto armado, prevendo-se uma tomada por unidade de geração. O conjunto das duas tomadas terá largura de 14,00 m, comprimento de 11,30 m e altura de 15,30 m.

Cada abertura será dotada de grades metálicas removíveis, dimensionadas para velocidade máxima de 1,0 m/s, em sua área bruta, e de até 2,5 m/s, para o caso de obstrução máxima admissível, situação limite para que sejam promovidas as ações de limpeza destes elementos ou a parada da operação da unidade ou unidades afetadas. As operações de limpeza serão feitas por meio de rastelo, acionado manualmente, a partir da crista da tomada d'água, e poderão ser feitas sem interrupção das unidades de geração.

A submersão da tomada d'água foi verificada segundo os critérios de Y.L. Gordon e do U.S.B.R., atendendo com folga aos limites preconizados.

Cada tomada será dotada de uma ranhura para a operação de comporta vagão de emergência, acionada automaticamente por servomotores assistidos por sistema oleodinâmico.

A montante das comportas de emergência foram projetadas ranhuras para a descida dos elementos da comporta ensecadeira, que permitirão a inspeção e eventuais reparos na soleira e guias da comporta de emergência, bem como da própria comporta. A menos de intervenções de grande monta, a manutenção das comportas será feita em seu próprio poço de descida.

A movimentação e lançamento dos elementos das grades metálicas, da comporta ensecadeira e para retirada da comporta de emergência será feita por meio de ponte rolante instalada sobre a crista da tomada d'água.

Cada tomada d'água será conectada à respectiva unidade geradora por meio de um conduto forçado metálico, com diâmetro principal de 4,20 m e extensão de aproximadamente 120 m, até a entrada da casa de força.

A transição entre a tomada d'água e o conduto forçado será feita de forma suave, de sorte a garantir pequena perda de carga ao circuito.

O circuito de adução foi dimensionado para vazão máxima de engolimento, devendo atender aos requisitos de estabilidade do conjunto hidrogerador e de pressões máximas no circuito.

As principais características geométricas da tomada d'água são apresentadas na **Ilustração 70**.

12.12.1. Equipamentos Eletromecânicos

Os equipamentos hidromecânicos da tomada d'água de adução serão representados pela grade e rastelo limpa-grades, comporta vagão, comporta ensecadeira e ponte rolante.

12.12.1.1. Grades metálicas

Os emboques de montante dos condutos forçados serão protegidos por grades metálicas, com a finalidade de reter os detritos com dimensões prejudiciais à operação das turbinas.

Cada emboque da tomada d'água terá largura livre de 4,60 m, com altura livre de 8,50 m. Cada grade terá quatro (4) painéis, com 4,60 m de largura por 2,20 m de altura, cada painel.

Nas laterais do emboque estão projetadas guias laterais para receber os painéis de grade. As barras da grade deverão permitir a movimentação do rastelo limpa-grades.

A inclinação das guias laterais será de 1V:0,20H (~78,7° em relação a horizontal).

Para a retirada dos painéis da grade será utilizado o guincho da ponte rolante da tomada d'água. Esta operação será feita com auxílio de uma viga pescadora dotada de rodas que deslizarão nas mesmas guias da grade.

A perda de carga nas grades será monitorada por medidores de pressão instalados a montante e jusante das mesmas.

As principais características da grade serão as seguintes:

- Tipo de grade guiada removível
- Cota da soleira..... 537,50 m
- Cota da frontal..... 545,90 m
- Cota do coroamento da Tomada d'Água 551,30 m
- Relação de inclinação..... 0,20:1
- Largura do vão..... 4,60 m
- Quantidade de vãos 2
- Quantidade de painéis por vão..... 4
- Dimensões aproximadas do painel (largura x altura) 4,60 x 2,20 m
- Vazão máxima para dimensionamento 39,35 m³/s
- Velocidade máxima do fluxo na seção bruta 1,00 m/s
- Carga de projeto..... 30 kN/m²
- Vão livre entre barras verticais..... 80 mm

- Limpeza.....rastelo limpa-grades
- Acionamento..... ponte rolante e viga pescadora

12.12.1.2. Rastelo Limpa-Grades

Um rastelo limpa-grades, instalado sobre o coroamento da tomada d'água, possibilitará a remoção dos detritos retidos pela grade, sem que haja necessidade de interromper o funcionamento das turbinas.

O rastelo deverá operar sobre a grade, realizando a coleta de detritos na descida. As rodas do rastelo deslizarão sobre as barras verticais da grade. Os movimentos de descida e subida do rastelo serão proporcionados pelo guincho da ponte rolante (o mesmo que manobrará a grade).

As características principais do rastelo limpa-grades serão:

- Tipo.....guiado sobre as barras verticais com fechamento/abertura semiautomática
- Curso do rastelo13,80 m
- Capacidade volumétrica do rastelo 0,50 m³
- Capacidade gravimétrica 10 kN
- Cota da soleira..... 537,50 m
- Cota do coroamento 551,30 m
- Velocidade de descida/subidaver ponte rolante

12.12.1.3. Comporta Ensecadeira

A tomada d'água de cada unidade geradora poderá ser fechada por intermédio de uma (01) comporta ensecadeira, com qualquer nível d'água do reservatório, estando fechada a comporta de emergência.

A comporta ensecadeira será constituída por dois (02) elementos. Estes possibilitarão o esvaziamento do espaço existente a jusante desta comporta, para manutenção do conduto forçado ou dos dispositivos da comporta vagão.

A manobra da comporta ensecadeira será efetuada pela ponte rolante que atende a tomada d'água, operando no coroamento da estrutura, por meio de viga pescadora própria para esta comporta.

Os elementos da comporta somente serão manobrados nas ranhuras em condições de carga hidráulica equilibrada, supervisionado pelo sistema de detecção de pressões diferenciais, incluindo no fornecimento.

O equilíbrio de pressões, para retirada dos elementos, será feito por meio de sistema de "bypass", composto por duas (02) válvulas localizadas no elemento superior da comporta, acionadas pelo peso próprio da viga pescadora.

A estocagem dos elementos será feita nas próprias ranhuras, um em cada vão.

As características principais da comporta ensecadeira serão:

- Tipo..... deslizante
- Quantidade 1
- Quantidade de elementos..... 2
- Quantidade de vãos 2

- Vão livre	4,20 m
- Cota da soleira.....	538,00 m
- Cota da viga frontal.....	544,10 m
- Altura livre	6,10 m
- Nível d'água máximo a montante	548,30 m
- Cota do coroamento da tomada d'água	551,30 m

12.12.1.4. Comporta Vagão

Cada unidade geradora deverá ser protegida por uma (01) comporta vagão na tomada d'água, de deslocamento vertical, projetada para atuar como órgão de fechamento do conduto forçado, tanto em condições normais, para possibilitar o esvaziamento da turbina ou do conduto, quanto em condições de emergência, em caso de inoperância do distribuidor da turbina, sob qualquer nível d'água a montante e através da vazão máxima da turbina em condições de disparo.

As comportas serão constituídas por dois (02) painéis articulados, acoplados entre si por dispositivos que mantenham a flexibilidade do conjunto. Terão vedação a montante, o que facilita a aeração do conduto a jusante da comporta e reduz os esforços hidrodinâmicos por ocasião do fechamento.

As comportas vagão terão, além das rodas principais, rodas de contraguia e para o guiamento lateral, sapatas de guia.

Cada comporta será manobrada por um servomotor oleodinâmico de simples efeito, disposto num nicho abaixo do coroamento da tomada d'água, com a extremidade da haste acoplada diretamente à estrutura do tabuleiro.

A alimentação do servomotor será assegurada por uma central oleodinâmica, comum às duas comportas, situada numa sala no coroamento da tomada d'água.

Serão instalados, numa posição intermediária, dispositivos de calagem de fácil manobra, que permitirão manter as comportas em repouso, tanto para a montagem como para manutenção.

O enchimento do conduto a jusante da comporta será efetuado por meio de válvulas by-pass situadas em elementos da comporta ensecadeira, situada a montante da comporta de emergência, ou por meio de operação de "cracking" desta última.

As características principais da comporta vagão serão:

- Tipo.....	vagão em elementos
- Quantidade de tomadas d'água.....	2
- Quantidade de aberturas por tomada	1
- Número de comportas	2
- Quantidade de elementos articulados	2
- Dimensão do vão livre	4,20 m
- Altura da abertura livre.....	5,35 m
- Altitude da soleira.....	538,00 m
- Altitude da frontal.....	543,35 m
- Nível d'água máximo a montante	548,30 m

- Nível d'água mínimo a montante 548,30 m
- Nível d'água máximo excepcional a montante 550,30 m

12.12.1.5. Ponte Rolante

No coroamento da tomada d'água será instalada uma ponte rolante, cujas finalidades são:

- movimentar as coberturas metálicas das ranhuras;
- movimentar os painéis de grade e o rastelo limpa-grades;
- movimentar os painéis da comporta ensecadeira;
- auxiliar na montagem e desmontagem das comportas de emergência.

Suas principais características serão:

- Capacidade do gancho 80 kN (*)
- Vão entre eixos.....6,00 m
- Comprimento do caminho do rolamento.....14,00 m
- Curso de levantamento do guincho19,80 m
- Cota da máxima elevação do gancho..... 557,30 m
- Velocidade de translação da ponte
 - máxima 15,00 m/min
 - mínima..... 1,50 m/min
- Velocidade de direção do carro
 - máxima 10,00 m/min
 - mínima..... 1,00 m/min
- Velocidade de elevação do gancho
 - máxima 5,00 m/min
 - mínima..... 0,50 m/min

* Valor a ser confirmado pelo fabricante, quando do projeto executivo.

12.13. Conduto Forçado

O circuito de alta pressão será composto por um conduto forçado metálico conectado à cada tomada d'água e apoiado em rocha.

Cada conduto terá diâmetro de 4,20 m até as proximidades da casa de força, sofrendo reduções suaves até a entrada da turbina.

Os condutos terão espessura suficiente para suportar uma sobrepressão de até 45%, nas proximidades da entrada da turbina, e também deverão ser autoportantes.

As características técnicas principais dos condutos forçados serão as seguintes:

- Número de condutos..... 2
- Trecho 01:
 - Comprimento.....2 x 95 m
 - Diâmetro4,20 m
 - Espessura da chapa 11,75 mm

- Cone de redução.....4,20 m x 3,80 m
- Trecho 02:
 - Comprimento.....2 x 10 m
 - Diâmetro3,80 m
 - Espessura da chapa 10,75 mm
 - Cone de redução.....3,80 m x 3,30 m
- Trecho 03:
 - Comprimento.....2 x 7 m
 - Diâmetro3,30 m
 - Espessura da chapa 9,50 mm
 - Cone de redução.....3,30 m x 2,90 m
- Trecho 04 (entrada das turbinas):
 - Comprimento.....2 x 8 m
 - Diâmetro2,90 m
 - Espessura da chapa 8,50 mm
- Vazão nominal de uma turbina..... 37,85 m³/s
- Vazão máxima de uma turbina..... 39,35 m³/s
- Vazão nominal total..... 75,70 m³/s
- Vazão máxima total..... 78,70 m³/s
- Máxima pressão incluindo o golpe de aríete, calculado na seção de entrada da caixa espiral 430 kPa

12.14. Casa de Força, Área de Montagem e Canal de Fuga

A casa de força da PCH Cumbuco será implantada na ombreira direita do vale. Será do tipo abrigada, executada em concreto armado, composta por dois blocos de 27,50 m de comprimento, com largura total total de 37,00 m (Unidade 01 com 19,00 m de largura e Unidade 02 com 18,00 m de largura). A altura total será de 13,00 m.

Cada bloco abrigará um conjunto turbina-gerador e seus equipamentos de comando e controle locais e parte dos sistemas auxiliares.

As turbinas, do tipo Francis Horizontal, terão potência nominal de 8.763 kW e rotação de 257,14 rpm e os geradores síncronos terão potência nominal de 9.445 kVA, com a mesma rotação.

No trecho de montante da casa de força será implantada uma galeria eletromecânica, com 6,00 m de comprimento e mesma largura dos blocos, nas quais serão instalados os demais equipamentos e sistemas auxiliares da usina.

O ensecamento das unidades será feito por meio do fechamento da comporta vagão da tomada d'água e do lançamento da comporta ensecadeira do tubo de sucção.

As comportas ensecadeiras do tubo de sucção serão compostas por um elemento metálico, que serão estocados nas próprias ranhuras, e sua movimentação e lançamento será feita por meio de uma talha elétrica, com capacidade de 30 kN, instalada em uma monovia junto à face de jusante da casa de força.

Justaposta à casa de força encontra-se a área de montagem e de recepção e descarga de equipamentos, com 10,0 m de largura e comprimento igual ao dos blocos das unidades.

Para movimentação dos equipamentos e cargas diversas, a casa de força e área de montagem serão equipadas com uma ponte rolante com capacidade de 650 kN.

As **Ilustrações 72 a 80** apresentam as principais características das estruturas da casa de força e da área de montagem.

12.14.1. Equipamentos Eletromecânicos

Os equipamentos mecânicos da casa de força compreendem as turbinas hidráulicas, reguladores de velocidade, ponte rolante, comportas ensecadeiras do tubo de sucção e talha elétrica de jusante. As **Ilustrações 81 a 82** apresentam o arranjo eletromecânico da casa de força e área de montagem.

12.14.1.1. Turbinas Hidráulicas e Reguladores

A casa de força possuirá dois grupos turbo-geradores de eixo horizontal iguais, sendo cada grupo constituído basicamente de um gerador de potência nominal de 9.445 kVA, sob tensão de 13,8 kV e frequência de 60 Hz, e de uma turbina hidráulica, tipo Francis e potência nominal de 8.763 kW, sob queda líquida de referência de 24,42 m, na qual o engolimento é máximo, e queda líquida de projeto de 25,38 m, na qual o rendimento do conjunto é máximo.

Os grupos turbo-geradores deverão operar com a velocidade de rotação síncrona de 257,14 rpm, controlados cada um por um regulador de velocidade eletrônico que, por meio de um sistema óleo-dinâmico, atuará sobre o distribuidor da turbina.

Cada turbina será alimentada por um conduto adutor, a partir da tomada d'água de adução. O dispositivo de segurança das máquinas será a comporta vagão de emergência, instalada na tomada d'água, atuando como órgão de fechamento da máquina, sob condições normais para manutenção ou sob condições de emergência, possibilitando que a turbina seja desligada e isolada sem prejuízo do funcionamento das outras turbinas da casa de força.

A água será conduzida a cada turbina por uma caixa espiral metálica embutida parcialmente em concreto, e será restituída ao canal de fuga da casa de força por um tubo de sucção com trecho de saída sem partição e dotado de ranhuras para instalação de uma comporta ensecadeira.

Cada grupo turbo-gerador será dotado de mancais de escora e guia, com óleo recirculante resfriado a água.

Os componentes da turbina serão descarregados na área de montagem, e serão preparados para montagem e montados nos próprios "bays". As dimensões e as posições da área de montagem e da ponte rolante da casa de força possibilitarão receber e pré-estocar os componentes a serem montados, de modo a reduzir ao mínimo a quantidade e a complexidade dos serviços de montagem a serem realizados nos "bays" das unidades geradoras.

As turbinas serão projetadas para operarem com queda líquida de referência de 24,42 m, tendo, nesse ponto, seu engolimento máximo. Em adição, o ponto de rendimento máximo será dado a partir da queda líquida de projeto, definida em 25,38 m.

As turbinas deverão operar com um nível mínimo de jusante de até 521,27 m, para a vazão parcial de uma unidade, sem risco de erosão por cavitação.

Os níveis adotados para a operação da usina são:

- máximo normal de montante 548,30 m
- normal de jusante 522,22 m

- mínimo de jusante (vazão mínima operacional de uma máquina) 521,27 m

As características técnicas principais das turbinas serão as seguintes:

- Tipo.....Francis de eixo horizontal
- Potência unitária no eixo8.763 kW
- Quantidade 2
- Queda líquida de referência24,42 m
- Vazão máxima de engolimento (unitária) 39,35 m³/s
- Rotação síncrona257,14 rpm
- Rotação específica..... 443,51
- Rendimento médio da turbina 93%
- Sistema de regulação.....regulador de velocidade eletrônico
- Nível de implantaçãoh_s = -2,97 m
- Nível da linha de centro da turbina..... 518,30 m
- Nível inferior do tubo de sucção 514,50 m

12.14.1.2. Comporta Ensecadeira

As comportas ensecadeiras dos tubos de sucção terão a finalidade de possibilitar o esvaziamento das turbinas, vedando a entrada de água do canal de fuga nos tubos de sucção.

Na casa de força haverá uma comporta ensecadeira para cada tubo de sucção, que possibilitará o esvaziamento da unidade.

A comporta ensecadeira será constituída por um elemento com vedações de soleira, laterais e frontal, podendo ser instalado indistintamente em quaisquer dos três tubos de sucção existentes na casa de força. Será movimentada por meio de viga pescadora, por uma talha elétrica existente no lado externo da extremidade jusante da casa de força.

Cada comporta será dotada de válvulas de equilíbrio de pressões que, quando acionadas pelo peso próprio da viga pescadora, possibilitará a entrada da água do canal de fuga no tubo de sucção vazio, promovendo-se assim o enchimento da turbina e o equilíbrio de pressões necessário para a abertura da comporta ensecadeira.

Seu armazenamento se dará em poços de estocagem situados nas laterais dos tubos de sucção.

As características técnicas principais da comporta ensecadeira serão as seguintes:

- Quantidade de vãos 2
- Quantidade de comportas 2
- Quantidade de elementos por comporta 1
- Vão livre2,90 m
- Altura livre4,50 m
- Cota da soleira..... 514,50 m
- Cota da peça fixa frontal 519,00 m
- Nível da área externa de jusante (coroamento)..... 525,50 m

12.14.1.3. Ponte Rolante

Na casa de força será instalada uma ponte rolante com capacidade de 650 kN, cuja finalidade principal é o descarregamento, o transporte e a montagem das turbinas, dos geradores e dos equipamentos auxiliares. Após a entrada em operação das unidades geradoras, a ponte será utilizada nas operações de manutenção dos equipamentos principais.

A ponte rolante deslocar-se-á sobre o caminho de rolamento apoiado sobre vigas de concreto engastadas nas paredes laterais da casa de força.

A ponte rolante será dotada de gancho auxiliar com capacidade de 100 kN.

O vão entre eixos dos trilhos será de 17,5 m. O curso do gancho será de 19,0 m.

As características principais da ponte rolante são as seguintes:

- Capacidade de gancho principal 650 kN (*)
- Capacidade de gancho auxiliar 100 kN (*)
- Vão entre eixos dos trilhos 17,50 m
- Comprimento do caminho de rolamento 45,00 m
- Curso dos ganchos 19,00 m
- Cota da máxima elevação dos ganchos 534,50 m
- Velocidade de translação da ponte
 - máxima 10,00 m/min
 - mínima 1,00 m/min
- Velocidade de direção do carro
 - máxima 10,00 m/min
 - mínima 1,00 m/min
- Velocidade de elevação do gancho principal
 - máxima 1,50 m/min
 - mínima 0,10 m/min
- Velocidade de elevação do gancho auxiliar
 - máxima 5,00 m/min
 - mínima 0,50 m/min

* Valor a ser confirmado pelo fabricante, quando do projeto executivo.

12.14.1.4. Talha Elétrica

Na área externa de jusante estará instalada uma talha elétrica com a finalidade de movimentar as comportas ensecadeiras dos tubos de sucção.

Esta talha elétrica será dotada de trole motorizado e se movimentará em uma monovia fixada a uma viga de concreto.

O curso do gancho permitirá a movimentação da comporta ensecadeira dentro da ranhura, bem como retirá-la e colocá-la sobre um veículo.

Os movimentos de translação e elevação motorizados serão acionados por meio de uma botoeira pendente, por um operador que se deslocará na área externa de jusante.

As operações de descida e subida da comporta serão sempre realizadas com pressões equilibradas, entre montante e jusante, e com o auxílio da viga pescadora.

As características principais da talha elétrica são as seguintes:

- Capacidade da talha 30 kN (*)
- Curso do gancho 17 m
- Velocidade de elevação 5,0 m/min
- Velocidade de translação 15,0 m/min
- Extensão da monovia 45 m

* Valor a ser confirmado pelo fabricante, quando do projeto executivo.

12.15. Sistemas de Utilidades

12.15.1. Sistema de Esvaziamento e Enchimento

O sistema de esvaziamento e enchimento terá por finalidade esvaziar e encher completamente o conduto forçado, caixa espiral e tubo de sucção das unidades geradoras.

A **Ilustração 86** apresenta a concepção desse sistema.

- **Enchimento do conduto forçado**

O enchimento do circuito será feito por meio de duas válvulas "by-pass" instaladas na comporta ensecadeira da tomada d'água, com diâmetro de DN 200 mm, que possibilitarão o equilíbrio de pressões hidráulicas.

Alternativamente, o enchimento poderá ser executado por meio da operação de "cracking" da comporta vago.

- **Enchimento do tubo de sucção**

O enchimento do tubo de sucção será feito através de válvulas "by-pass" instaladas nas comportas ensecadeiras de jusante.

A comporta ensecadeira da casa de força será dotada de duas válvulas de equilíbrio de pressões (válvula "by-pass"), com diâmetro de DN 150 mm que, quando acionadas pelo peso próprio da viga pescadora, possibilitarão a entrada da água do canal de fuga no tubo de sucção vazio, promovendo-se assim o enchimento deste.

- **Esvaziamento do circuito de adução**

O esvaziamento do circuito será feito por gravidade até o nível de jusante. A água contida no circuito, abaixo do nível de jusante, será recalçada para fora da usina, por meio de conjunto eletrobomba, no poço de esgotamento com acesso pela plataforma de jusante.

- **Esvaziamento da caixa espiral e do tubo de sucção**

Após o fechamento da comporta da tomada d'água, a água contida no conduto de adução, caixa espiral e tubo de sucção escoará para o canal de fuga, por gravidade, até se equilibrar com o nível de jusante.

Após o fechamento da comporta ensecadeira do tubo de sucção, a água restante será bombeada para o canal de fuga.

O poço de bombeamento para o esvaziamento das unidades será localizado na parte de jusante da casa de força e, por isso, não será pressurizado. A cota de fundo do poço será na El. 513,20 m, com acesso pela plataforma situada na El. 525,50 m.

Serão implantadas duas bombas submersíveis para o esgotamento das unidades, sendo uma de reserva. O tempo de esvaziamento será de aproximadamente oito (8) horas.

As características técnicas das bombas serão as seguintes:

- Tipo.....submersível
- Quantidade 02
- Vazão 80 m³/h
- Altura manométrica 18 m.c.a.
- Potência estimada do motor7,5 kW

12.15.2. Sistema de Água de Resfriamento e de Serviço

O sistema de água de resfriamento, de vedação e de serviço tem por finalidade fornecer água para o resfriamento dos equipamentos da casa de força, por meio dos respectivos trocadores de calor, água para as vedações dos eixos das turbinas e água de serviço para os diversos sistemas e instalações da casa de força e área de montagem.

Tem como equipamentos principais dois filtros de água instalados no piso das unidades geradoras (nível 516,00 m).

O critério de projeto estabeleceu que cada filtro terá 100% de capacidade adicional de reserva, para suprir a necessidade de água na eventual falha ou manutenção de um dos filtros.

A **Ilustração 85** apresenta a concepção desse sistema.

As características técnicas dos filtros são as seguintes:

- Tipo..... Limpeza Automática
- Vazão Unitária 300 m³/h
- Pressão de Trabalho65 m.c.a.
- Malha de Filtragem0,8 mm

12.15.3. Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem tem a finalidade de coletar e conduzir para o canal de fuga todas as águas de percolação e infiltração provenientes dos condutos blindados de adução e dos ambientes interiores da casa de força, bem como as águas provenientes de descargas dos equipamentos, tais como lavagem dos filtros, vazamentos de tubulações e limpeza de pisos.

Este sistema possuirá um poço de bombeamento localizado no piso da casa de força (El. 516,00 m), com nível de fundo na El. 513,20 m, com uma área útil de 8,4 m² (3,00 x 2,80 m).

Serão instaladas duas bombas de recalque, sendo uma de reserva. A bomba de reserva poderá entrar em operação nas condições excepcionais em que a vazão afluyente ao poço for superior à prevista.

Os critérios de projeto estabelecem que cada bomba terá 100% de capacidade adicional de reserva, tendo em vista a importância deste sistema na segurança da usina.

A **Ilustração 84** apresenta a concepção desse sistema.

As características técnicas de cada bomba serão as seguintes:

- Tipo.....submersível
- Quantidade 02

- Vazão 60 m³/h
- Altura manométrica 18 mca.
- Potência estimada do motor 5,5 kW

12.15.4. Sistema de Ar Comprimido de Serviço

O sistema de ar comprimido de serviço terá por finalidade produzir, armazenar e suprir as necessidades de ar comprimido da casa de força e da área de montagem, para limpeza de tubulações, equipamentos e superfícies, operação de ferramentas pneumáticas, alimentação de instrumentos, alimentação de ar para o sistema de freio do gerador, para os filtros do sistema de água de resfriamento, e para as vedações de parada dos eixos das turbinas.

Este sistema será constituído de dois (02) compressores, sendo um de reserva, um reservatório de ar, e uma rede de tubulações de distribuição.

Nos pontos baixos da rede de ar comprimido serão instalados purgadores de condensado para manter o ar seco.

A **Ilustração 87** apresenta a concepção desse sistema.

As características técnicas dos equipamentos são as seguintes:

- Compressor de Ar
 - Quantidade 2
 - Tipo alternativo, com reservatório acoplado
 - Descarga Livre Efetiva 30 pcm
 - Pressão de Descarga 7,0 bar
 - Potência do Motor Estimada 5,5 kW
- Reservatório de Ar
 - Tipo Cilindro vertical
 - Capacidade 350 l (0,35 m³)

12.15.5. Sistema de Ventilação

A ventilação da casa de força e área de montagem, incluindo galerias, será do tipo natural.

12.15.6. Sistemas de Água Potável e Esgoto Sanitário

• Água Potável

O projeto do sistema visa captar, armazenar e distribuir água potável para as instalações hidrossanitárias da casa de força.

Está projetada uma estação de tratamento de água tipo compacta. A água tratada será bombeada para caixa d'água elevada, localizada na parte externa da casa de força. A caixa possuirá uma capacidade total de 3.000 l (3 m³), suficiente para dois dias de consumo.

A estação de tratamento com capacidade de 1 m³/h, terá as seguintes funções:

- Dosagem de produtos químicos;
- Mistura rápida;
- Flocculação mecânica;

- Decantação com módulos tubulares;
- Filtração;
- Bombeamento de água tratada.

- **Esgoto Sanitário**

O projeto do sistema tem por finalidade oferecer as condições de higiene aos funcionários e eventuais visitantes, através da coleta, tratamento e despejos do esgoto sanitário.

As quantidades, dimensões e localizações dos sanitários, copa e vestiário serão determinadas por requisitos arquitetônicos.

Os dejetos provenientes dos aparelhos sanitários serão descarregados para a fossa séptica e recalcados para área externa da Casa de Força. O lodo digerido efluente da fossa passará por filtro anaeróbico antes de ser lançado no canal da fuga.

12.15.7. Sistema de Proteção Contra Incêndios

Os sistemas de proteção contra incêndio têm por finalidade proteger, detectar e combater incêndio em equipamentos e ambientes da usina sujeitos à ocorrência de sinistro.

A usina disporá dos seguintes sistemas de proteção contra incêndio:

- **Sistema de Hidrantes para Proteção Contra Incêndio**

O sistema será do tipo fixo pressurizado por conjuntos moto-bombas centrífugas e entrará em funcionamento abrindo-se manualmente qualquer hidrante.

Os hidrantes serão instalados na área de montagem e na área externa ao edifício de acesso, para combater eventuais incêndios e dar proteção à saída de pessoal de dentro do edifício.

- **Sistema de Extintores para Proteção Geral das Instalações**

O sistema será constituído basicamente de extintores portáteis do tipo CO₂ e pó químico seco (PQS).

Os extintores de CO₂ serão destinados a proteger os equipamentos elétrico/eletrônicos, e os de pó químico para proteger locais e/ou equipamentos que contenham produtos inflamáveis.

O dimensionamento do sistema e a distribuição adequada das unidades extintoras serão feitos por ocasião do projeto executivo da usina.

12.15.8. Sistema de Medições Hidráulicas

O sistema de medições hidráulicas possuirá os seguintes instrumentos de medição, conforme mostrado na **Ilustração 88**.

- **Medições dos Níveis de Água da Tomada d'Água e a Jusante da Usina**

Será instalado um medidor de nível tipo limnómetro de boia em local próximo a tomada d'água para medição de variações de níveis do reservatório. Outro medidor do mesmo tipo será instalado a jusante, próximo a saída d'água no canal de fuga.

- **Medição de Perda de Carga na Grade**

Será instalado detector de pressão diferencial na tomada d'água, para medição de perda de carga na grade.

- **Deteção de Equilíbrio de Pressão na Comporta Ensecadeira da Tomada d'Água**

Será instalado detector de pressão diferencial na tomada d'água para deteção de equilíbrio de pressões na comporta vagão.

- **Deteção de Equilíbrio de Pressão na Comporta de Emergência**

Será instalado detector de pressão diferencial na tomada d'água para deteção de equilíbrio de pressões na comporta vagão.

- **Medição de Vazão**

Serão instaladas tomadas de pressão em duas secções de cada turbina, para medição de vazão turbinada.

- **Medição de Pressão do Tubo de Sucção**

Serão instaladas duas (02) tomadas de pressão no tubo de sucção de cada turbina, para medição de pressão do tubo de sucção.

Será instalada uma (01) tomada de pressão em cada ramal do tubo de sucção de cada turbina próximo a extremidade, para medição de pressão.

- **Deteção de Equilíbrio de Pressão na Comporta Ensecadeira de Jusante**

Serão instalados detectores de pressão diferencial em cada uma das unidades geradoras para deteção de equilíbrio de pressão na comporta ensecadeira do tubo de sucção.

12.16. Equipamentos e Sistemas Elétricos Principais

No interior da Casa de Força os equipamentos eletromecânicos serão dispostos conforme mostrado nas **Ilustrações 81 a 82**.

Assim, acoplado a cada gerador será instalado um cubículo de surto e de fechamento do neutro, e os equipamentos ligados à excitação do mesmo.

Os demais cubículos com disjuntores de saída, do transformador elevador e de alimentação dos serviços auxiliares, bem como os sistemas auxiliares elétricos gerais (corrente alternada e corrente contínua), serão distribuídos nas áreas disponíveis da Casa de Força e no anexo à Área de Montagem.

A Sala de Controle Centralizada (Estação de Operação, Painéis de Proteção e Medição e de Comunicação) estará em área própria reservada com acesso pela Área de Montagem. Nesta mesma área será instalado o grupo gerador diesel de emergência.

O transformador elevador trifásico ficará localizado no interior da Subestação Elevadora, juntamente com os equipamentos de manobra, os transformadores para instrumentos e para-raios, conforme mostrado nas **Ilustrações 95 e 96**.

Na **Ilustração 89** é apresentado o Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção e Medição concebido para a Casa de Força da PCH Cumbuco, e na **Ilustração 90** o Diagrama Unifilar para a Subestação Elevadora associada.

A configuração do sistema elétrico contempla dois geradores síncronos de 9.445 kVA, acionados por turbinas hidráulicas do tipo Francis.

Os geradores serão conectados aos seus respectivos cubículos de surto e de fechamento de neutro, e destes interligados ao conjunto de cubículos nos correspondentes cubículos disjuntores. Um seccionador próprio será conectado ao transformador elevador trifásico 13,8-138 kV, por meio de cabos isolados.

Do mesmo conjunto de cubículos serão alimentados os transformadores de serviços auxiliares, por meio de seccionadores com fusíveis incorporados.

As características elétricas obtidas no pré-dimensionamento para os equipamentos elétricos principais são apresentadas nos itens seguintes.

12.16.1. Geradores

O gerador síncrono, de eixo horizontal, potência de 9.445 kVA, será instalado em maciço de concreto, com sistema de resfriamento a ar, com sistema de excitação brushless e com reguladores de tensão do tipo digital.

A proteção contra surtos de tensão para o gerador, compreendendo para-raios e capacitores, e o fechamento de neutro, com os transformadores de corrente e o transformador de distribuição monofásico, para fins de limitação da corrente do neutro, serão realizados por meio de cubículo acoplado ao gerador.

As características técnicas principais dos geradores serão as seguintes:

- Tipo.....síncrono, eixo horizontal
- Quantidade 2
- Potência nominal.....9.445 kVA
- Tensão nominal 13.800 V
- Número de fases 3
- Fator de potência..... 0,90
- Frequência nominal 60 Hz
- Velocidade Síncrona Nominal257,14 rpm
- Rendimento médio..... 97%
- Tipo de acionamentosem multiplicador de velocidade
- Sistema de resfriamento preferencial.....ar
- Temperaturas de funcionamento:
 - 80°C no enrolamento do estator na potência nominal
 - 40°C ambiente
- Classe de IsolamentoF
- Resistências de aquecimento 1 conjunto
- Supervisão de temperatura do estator2 RTD's/fase
- Supervisão de temperatura dos mancais 2 RTD's
- Supervisão de temperatura do óleo dos mancais2 RTD's
- Termômetros para supervisão e proteção dos mancais..... 2 unidades
- Resistência para desumidificação 3 unidades
- Valores de reatância (síncrona, transitória e subtransitória) a ser confirmado pelo fabricante na fase do projeto executivo;
- Aterramento do neutro por meio de transformador de aterramento;
- Sistema de excitação sem escovas "Brushless" com excitatriz estática e com transformador de excitação do tipo seco.

12.16.1.1. Sistema de Excitação

Cada gerador deverá ser fornecido com o sistema de excitação do tipo "Brushless" com diodos rotativos, alternador de excitação, diretamente acoplado ao gerador, equipamento de

excitação, inclusive transformador de excitação, dispositivos de desexcitação e de escorvamento do campo e regulador de tensão. O fornecimento deve incluir todos os equipamentos necessários para perfeito funcionamento em todas as condições de operação.

O equipamento de excitação e regulação de tensão deve ser do tipo com componentes de estado sólido e circuitos integrados, proporcionando uma regulação automática de tensão, de ação muito rápida, nos bornes do gerador, em todas as condições de carga.

O sistema de excitação deve possuir todas as características necessárias de modo a se ter uma excitação adequada em condições permanentes, bem como durante as possíveis perturbações transitórias, ajudando assim na operação estável dos geradores em paralelo.

12.16.2. Cubículos de Média Tensão

Os cubículos de média tensão serão blindados, tipo *metal-clad*, equipados com todos os componentes e ligações internas necessárias para a pronta operação, completos com disjuntores, TC's, TP's e demais componentes. As siglas dos equipamentos estão mostradas na **Ilustração 89**.

Estão previstos os seguintes cubículos:

- Cubículo de Proteção Contra Surtos e de Fechamento do Neutro do Gerador 1 ... +1CSN
- Cubículo de Proteção Contra Surtos e de Fechamento do Neutro do Gerador 2 ... +2CSN
- Cubículo de Saída do Gerador 1+1CDU
- Cubículo de Saída do Gerador 2.....+2CDU
- Cubículo de Alimentação do Transformador Elevador+CSTE
- Cubículo da Chave Seccionadora para Serviços Auxiliares 1 +CSA1
- Cubículo da Chave Seccionadora para Serviços Auxiliares 2 +CSA2

12.16.2.1. Características Principais

- Cubículos de Proteção Contra Surtos e de Fechamento do Neutro
 - Quantidade 02
 - Tensão Nominal (eficaz) 17,5 kV
 - Frequência nominal..... 60 Hz
 - Corrente nominal em regime contínuo..... 1.250 A
 - Nível Básico de Isolamento110 kV
 - Tensão de ensaio a 60 Hz.....34 kV
 - Corrente de curta duração por 1s (eficaz)25 kA
- Cubículos de Saída dos Geradores
 - Quantidade 02
 - Tensão Nominal (eficaz) 17,5 kV
 - Frequência nominal..... 60 Hz
 - Corrente nominal em regime contínuo..... 1.250 A
 - Nível Básico de Isolamento110 kV
 - Tensão de ensaio a 60 Hz.....34 kV
 - Corrente de curta duração por 1s (eficaz)25 kA

- Cubículo de Alimentação do Transformador Elevador
 - Quantidade 01
 - Tensão Nominal (eficaz) 17,5 kV
 - Frequência nominal..... 60 Hz
 - Corrente nominal em regime contínuo..... 2.000 A
 - Nível Básico de Isolamento 110 kV
 - Tensão de ensaio a 60 Hz..... 34 kV
 - Corrente de curta duração por 1s (eficaz) 25 kA
- Cubículos dos Seccionadores para Serviços Auxiliares
 - Quantidade 02
 - Tensão Nominal (eficaz) 17,5 kV
 - Frequência nominal..... 60 Hz
 - Corrente nominal em regime contínuo..... 400 A
 - Nível Básico de Isolamento 110 kV
 - Tensão de ensaio a 60Hz 34 kV
 - Corrente de curta duração por 1s (eficaz) 25 kA

12.16.3. Transformador Elevador

O transformador elevador será trifásico, com dois enrolamentos, adequado para instalação externa, imerso em óleo mineral isolante, com tanque de expansão e comutador de derivações sem tensão.

As características técnicas dos transformadores serão as seguintes:

- Tipo trifásico
- Quantidade 01
- Potência nominal 16/20 MVA
- Tensão primária 13,8 kV
- Tensão secundária 138 kV ($\pm 2 \times 2,5\%$)
- Frequência Nominal..... 60 Hz
- Reatância indutiva a 75 °C..... 10%
- Ligação YNd1
- Método de resfriamento ONAN/ONAF
- Comutador de taps em vazio
- Classe de isolação F

12.16.4. Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC)

O Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDCD) da usina e subestação será concebido conforme a Arquitetura Geral Simplificada, mostrado na **Ilustração 93**.

Resumidamente, este sistema será responsável pela integração dos diversos equipamentos assegurando um nível de operacionalidade conjunta e harmônica, realizando as funções de

comando, controle e proteção, assim como, a monitoração e o registro sequencial dos eventos inerentes.

São pré-requisitos do SDSC: a confiabilidade, a modularidade, a intercomunicabilidade e a robustez. Portanto, deverá ser assegurada a completa compatibilidade lógica e operacional entre os equipamentos que integrem o sistema de automação.

O comando, o controle e a supervisão da usina serão executados normalmente a partir da Estação de Operação localizada no interior da Casa de Força ou ainda pelos painéis de proteção e controle de cada unidade. Adicionalmente, prevê-se para o SDSC a capacidade de executar as mesmas funções a partir do Centro de Operação Remota (COR), fora do presente escopo, por meio de comunicação em protocolo aberto com o Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).

Este sistema possibilitará a operação a partir de três níveis, assim definidos:

- Nível 1: Unidades de aquisição de dados e controle (UACs) que deverão ser constituídas por módulos funcionais, tais como processadores e interfaces com o processo e comunicação;
- Nível 2: Corresponde às funções centralizadas da usina, de comando, supervisão e controle. O conjunto de equipamentos do nível 2 deverá estar totalmente interconectado por meio de rede digital de comunicação de alta velocidade;
- Nível 3: Corresponde às funções centralizadas no COR. O conjunto de equipamentos do nível 3 deverá estar totalmente interconectado por meio de rede digital de comunicação (fora do presente escopo).

Os equipamentos que compõem o SDSC, incluindo os reguladores eletrônicos de velocidade e de tensão, serão instalados na Sala de Controle em ambiente climatizado.

12.16.4.1. Descrição dos Painéis dos Sistemas do SDSC

Na **Ilustração 93** são apresentados os painéis que compõem o SDSC, que serão instalados na Sala de Controle.

Os painéis previstos são os seguintes:

- Painel de Controle e Proteção da Unidade Geradora 01 +1PCPU
- Painel de Controle e Proteção da Unidade Geradora 02 +2PCPU
- Painel de Controle e Proteção do Transf. Elevador e Serv. Auxiliares +PCPTE
- Painel de Controle e Proteção da LT PCH Entre Rios/PCH Cumbuco +PCPL1
- Painel de Controle e Proteção da LT PCH Cumbuco/PCH Geól. Lucimar +PCPL2
- Painel de Medição de Faturamento PCH CumbucoPMF-CUM
- Painel de Medição de Faturamento PCH Entre Rios..... PMF-ER
- Quadro de Distribuição Corrente Alternada – Subestação 138 kV +QDA-SE
- Quadro de Distribuição Corrente Alternada – Tomada d Água.....+QDA-TA
- Painel de Telecom+PTC-01
- Painel de Segurança Eletrônica+PSE-01

O quantitativo de painéis poderá sofrer variações em função do tipo de equipamento oferecido pelos Fabricantes.

12.16.5. Sistema de Proteção

Na **Ilustração 89** é apresentado o Diagrama Unifilar do Sistema de Proteção e Medição concebido para a Casa de Força da PCH Cumbuco, e na **Ilustração 90** o Diagrama Unifilar para a respectiva Subestação Elevadora.

O sistema de proteção elétrica dos geradores, do transformador elevador e da linha de transmissão será baseado em relés numéricos "stand alone", usualmente utilizados para proteção desses equipamentos. Os relés de proteção serão instalados nos painéis de controle e proteção de cada unidade, conforme mostrado nas **Ilustrações 89 e 90**.

As proteções deverão apresentar como pré-requisitos básicos: a seletividade, a superposição das áreas protegidas (sem zonas de sombra) e retaguarda.

Os equipamentos deverão apresentar interfaces padronizadas e protocolos de comunicação abertos, dando-se preferência para a comunicação pelo protocolo MODBUS ou IEC865-101 ou DNP3.0, com possibilidade de parametrização local por meio de botões frontais ou via software; e desejável possibilidade de parametrização remota, por meio de linha discada.

Preveem-se as seguintes funções, segundo o padrão ANSI:

- Proteção das Unidades Geradoras:
 - Proteção de subtensão (27)
 - Relé de Verificação de Sincronismo (25)
 - Proteção de Potência Reversa (32)
 - Proteção de Perda de Excitação (40)
 - Proteção de Corrente de Sequência Negativa (46)
 - Proteção de Sobrecorrente Instantânea (50)
 - Proteção de Sobrecorrente Instantânea de Neutro (50N)
 - Proteção de Sobrecorrente Temporizada (51)
 - Proteção de Sobrecorrente Temporizada de Neutro (51N)
 - Proteção de Sobrecorrente com Restrição de Tensão (51V)
 - Proteção de Sobretensão (59)
 - Proteção de Sobretensão de Neutro (59N)
 - Proteção de Falha Disjuntor (50BF)
 - Proteção de Terra do Estator (64)
 - Proteção de Sub e Sobrefrequência (81)
 - Relé de Bloqueio do Gerador (86)
 - Proteção Diferencial do Gerador (87G)
- Proteção do Transformador Elevador:
 - Relé de Pressão da Válvula de Segurança (20VS)
 - Relé de Temperatura do Óleo (26)
 - Relé de Temperatura do Enrolamento (49)
 - Proteção de Sobrecorrente Instantânea (50)
 - Proteção de Sobrecorrente Instantânea de Neutro (50N)
 - Proteção de Sobrecorrente Temporizada (51)
 - Proteção de Sobrecorrente Temporizada de Neutro (51N)

- Proteção de Falha Disjuntor (50BF)
- Relé de Pressão de Gás – Bochholz (63)
- Relé de Nível de Óleo (71)
- Relé de Bloqueio do Transformador (86)
- Proteção Diferencial do Transformador (87T)
- Proteção da Linha de Transmissão 138 kV:
 - Relé de distância (21)
 - Relé de sincronismo (25)
 - Relé de Subtensão (27)
 - Relé de Sobrecorrente Instantânea (50)
 - Relé de Sobrecorrente Temporizada (51)
 - Relé de Sobretensão (59)
 - Relé de Direcional de Sobrecorrente (67)

A proteção de distância (21) deverá ser sensível a todos os tipos de faltas entre fases e entre fase e terra. Deverá ter no mínimo três zonas de proteção e elementos direcionais de partida.

Será previsto ainda um relé para detecção de falta à terra na barra do cubículo de média tensão, função 59N, para o caso de alimentação da barra por meio do sistema interligado e de um relé de sincronização e de verificação de sincronismo dos geradores e a barra do cubículo de média tensão, função 25.

12.16.6. Subsistema de Medição e Supervisão

Os medidores das grandezas elétricas serão digitais e possuirão interfaces de comunicação com o Subsistema Supervisivo. Este subsistema irá monitorar também os sinais analógicos e digitais vitais nos equipamentos da usina e da subestação, condicioná-los para leitura remota por meio de interfaces padrão Ethernet ou RS485, quando cabíveis, e promover o seu registro e a elaboração de relatórios gerenciais no computador de comando e supervisão do subsistema. A determinação dos pontos e quantidades monitoradas será objeto do projeto executivo.

As medições de faturamento serão efetuadas por sistemas dedicados e instalados nas subestações das PCHs Cumbuco e Geóloga Lucimar. Para estas medições prevêem as interfaces de comunicação requisitadas pela CCEE/ONS.

12.16.7. Sistema de Segurança Eletrônica

O monitoramento de área e a supervisão de segurança da usina serão feitos por televisão em circuito fechado CFTV, com câmeras distribuídas para observação das áreas a serem supervisionadas.

Está previsto monitorar os acessos, para prevenção de entrada indevida de pessoas nas áreas restritas, a situação das chaves seccionadoras da subestação, entre outros pontos.

O monitoramento será constituído por uma central de transmissão e rastreamento das câmeras e o equipamento de geração de vídeo e som.

12.16.8. Sistema de Telecomunicações

A configuração do sistema de telecomunicações está indicada no diagrama de blocos incluído nos desenhos anexos a este relatório (**Ilustração 94**).

As comunicações da usina com a rede pública serão atendidas por um PABX convencional, com troncos independentes e ramais na estação de operação, na sala de média tensão e próximo às unidades geradoras.

As comunicações internas por telefones convencionais cobrem as galerias mecânica e elétrica e outras dependências da casa de força e estão estendidas às estruturas civis do sistema de adução, com telefones na tomada de água.

Será instalado um sistema de comunicação via OPGW, instalado na linha de transmissão, com funções de teleproteção, de tráfego de dados e voz entre a subestação da PCH Cumbuco e a subestação da PCH Geóloga Lucimar.

O sistema terá capacidade para atender a transferência em tempo real dos dados de operação e supervisão da usina gerados pelo SDSC.

12.16.9. Serviços Auxiliares em Corrente Alternada

12.16.9.1. Configuração do Sistema

O Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Alternada terá a configuração apresentada no diagrama unifilar mostrado na **Ilustração 91**.

O sistema será composto por dois cubículos (+CSA1/2) derivados do conjunto de cubículos de MT, que alimentam seus respectivos Transformadores de Serviços Auxiliares (TSA-01/02) e destes o Quadro Geral de Serviços Auxiliares em Corrente Alternada (QDA-01).

Será previsto ainda, como fonte de emergência, um Grupo Gerador Diesel de Emergência (GGD-CF), que também alimentará o mesmo quadro geral (QDA-01) com potência adequada para o atendimento aos serviços auxiliares prioritários da Casa de Força, Tomada d'Água e Subestação.

A partir do Quadro Geral de Serviços Auxiliares (QDA-01), serão alimentados: o Quadro de Distribuição (QDA-TA) da Tomada D'Água, o Quadro de Distribuição (QDA-SE) da Subestação, o e as demais cargas em corrente alternada da Casa de Força.

Será adotado o nível de tensão de 380/220 V \pm 10%, trifásico, 4 fios, solidamente aterrado para alimentação de todos os motores de potência, tomadas de força trifásicas e alimentação primária do sistema de iluminação.

Para as cargas monofásicas dos resistores de aquecimento e das iluminações internas dos quadros elétricos e das tomadas de força será utilizada tensão de 220 V (F+N).

12.16.9.2. Critérios de Operação

As alimentações desde o conjunto de cubículos e do Grupo Gerador Diesel de Emergência (GGD-CF) até o Quadro Geral de Serviços Auxiliares em Corrente Alternada (QDA-01) serão feitas radialmente, não sendo permitida a operação em paralelo de qualquer uma das fontes previstas.

Em condições normais de operação uma das fontes provenientes dos transformadores de serviços auxiliares alimentará o quadro geral (QDA-01). Na ocorrência da falta de uma delas deverá ocorrer a comutação automática da outra.

Quando ocorrer a falta simultânea destas fontes entrará automaticamente em operação a fonte proveniente do Gerador Diesel (GGD-CF).

12.16.9.3. Descrição dos Quadros Auxiliares em Corrente Alternada

Na **Ilustração 91** são apresentados os quadros que compõem os Serviços em Corrente Alternada.

Os quadros previstos são os seguintes:

- Quadro Geral de Serviços Auxiliares em Corrente Alternada QDA-01
- Quadro de Distribuição em Corrente Alternada – Tomada d Água..... QDA-TA
- Quadro de Distribuição em Corrente Alternada – Subestação QDA-SE
- Quadro de Iluminação e Tomadas QLT-CF
- Quadro de Tomadas de Força QTF-CF

12.16.9.4. Transformadores de Serviços Auxiliares

Será previsto o fornecimento de dois Transformadores de Serviços Auxiliares instalados na Sala de MT e terão as principais características:

- Quantidade 02
- Potência nominal..... 225 kVA
- Tipo..... seco
- Ligação delta-estrela..... Dyn1
- Frequência nominal 60 Hz
- Tensão nominal no enrolamento primário..... 13.800 V
- Tensão máxima 15.000 V
- Tensão nominal no enrolamento secundário 380 V ($\pm 2 \times 2,5\%$)
- Comutador de taps em vazio

12.16.9.5. Gerador Diesel de Emergência

Para atender, em emergência, as cargas com maior probabilidade de funcionamento quando a usina e a subestação estiverem sob colapso total de energia, será instalado um Grupo Gerador Diesel de Emergência (GGD-CF) de corrente alternada.

A potência do grupo deverá ser suficiente para alimentação dos motores e outros equipamentos acionados por energia elétrica, em corrente alternada, dos quais a usina não pode prescindir em caso de falha no sistema elétrico.

O sistema de resfriamento do motor deverá ser a ar/água, com radiador. O gerador síncrono será trifásico, 380/220V, 60Hz e terá sistema de excitação com regulador automático de tensão.

Um tanque de combustível, para uso diário, terá capacidade tal que permita o funcionamento ininterrupto do grupo, sob carga nominal, por um período superior a 8 (oito) horas.

12.16.10. Serviços Auxiliares em Corrente Contínua

12.16.10.1. Configuração do Sistema

O Sistema de Serviços Auxiliares de Corrente Contínua terá a configuração apresentada no diagrama unifilar simplificado mostrado na **Ilustração 92**.

O Quadro Geral de Serviços Auxiliares em Corrente Contínua (QDC-01) será alimentado por dois Carregadores de Baterias (CB-01/02), e destes as suas respectivas Baterias de Acumuladores (BAT-01/02).

A partir do Quadro Geral de Serviços Auxiliares (QDC-01) serão alimentados os Quadros de Distribuição: o Quadro de Distribuição (QDC-TA) da Tomada d'Água, o Quadro de Distribuição (QDC-SE) da Subestação, e as demais cargas em corrente contínua da Casa de Força.

Será adotado o nível de tensão de 125 V \pm 10% para todas as cargas.

12.16.10.2. Critérios de Operação

Em condições normais de operação, uma das fontes provenientes dos Carregadores de Baterias (CB-01/02) alimentará o quadro geral (QDC-01). Na ocorrência da falta de uma delas deverá ocorrer a comutação automática da outra.

12.16.10.3. Descrição dos Quadros Auxiliares em Corrente Contínua

Na **Ilustração 92** são apresentados os quadros que compõem os Serviços em Corrente Contínua.

Os quadros previstos são os seguintes:

- Quadro Geral de Serviços Auxiliares em Corrente Contínua QDC-01
- Quadro de Distribuição em Corrente Contínua – Tomada d'Água QDC-TA
- Quadro de Distribuição em Corrente Contínua – Subestação QDC-SE

12.16.10.4. Carregadores de Baterias

Os carregadores de baterias (CB-01 e CB-02) serão do tipo estático, constituídos por retificadores de silício, alimentados em 380/220 V, a partir do Quadro Geral de Serviços Auxiliares em Corrente Alternada (QDA-01), com um alimentador independente para cada carregador.

Os carregadores de baterias terão como ciclo de serviço seu funcionamento com todas as unidades operando normalmente, ou seja, o mesmo ciclo de serviço usado para dimensionamento da bateria que considera todas as unidades funcionando normalmente.

- Quantidade 02
- Tensão de entrada nominal 380 Vca a 4 fios \pm 10%
- Tensão de saída nominal 125 Vcc \pm 0,5%
- Tensão de flutuação 132 Vcc
- Tensão de equalização 144 Vcc
- Corrente nominal 35 A
- Frequência de entrada 60 Hz +/- 5%
- Limitação de corrente em % da potência nominal 150%

12.16.10.5. Baterias de Acumuladores

Os Bancos de Baterias de Acumuladores (BAT-01/02) serão formados por elementos do tipo selado, para sistema com tensão de 125 V (+10% a -20%).

- Quantidade 02
- Tensão nominal de serviço 125 Vcc (+10% a -20%)

- Capacidade em (Ah) do banco 100 Ah

12.16.11. Sistema de Iluminação e Tomadas

12.16.11.1. Iluminação Normal

A iluminação normal será projetada de tal modo a possibilitar a livre circulação pelas diversas áreas da usina e permitir o bom desempenho, com segurança, de todas as atividades normais do pessoal de operação e manutenção.

Os níveis médios mínimos de iluminância a serem adotados para a iluminação normal estarão de acordo com as normas brasileiras pertinentes, dentre as quais, a NBR 5413 – Iluminância de Interiores e NBR 510 – Iluminação Pública. As instalações elétricas serão concebidas de acordo com a NBR – 5410 Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

Na iluminação normal, serão empregados os seguintes tipos de luminárias:

- Luminárias equipadas com lâmpadas do tipo fluorescente, destinadas a áreas internas com pé direito baixo e médio, tais como, galerias, escritórios, sala de controle, oficinas, depósitos, instalações sanitárias, escadas de acesso, etc. Estas luminárias serão adequadas ao ambiente do local, ambiente normal ou com presença de umidade, gases ou vapores ou com risco de explosão;
- Luminárias equipadas com lâmpadas a vapor de sódio, destinadas a áreas internas com pé direito elevado, tais como, a sala de máquinas;
- Luminárias equipadas com lâmpadas a vapor de sódio destinadas a áreas externas, tais como, plataforma dos transformadores e canal de fuga, vias e acessos, plataformas do pórtico na tomada d'água e pátio da subestação.

O comando local da iluminação será feito por meio de interruptores junto aos acessos. Em áreas especiais, serão previstos interruptores convenientemente distribuídos.

Em áreas externas, a iluminação será comandada por dispositivos fotoelétricos e de maneira centralizada por chaves de comando manual local. O acionamento será feito por contatores.

12.16.11.2. Iluminação de Emergência

A iluminação de emergência será projetada de modo a possibilitar o escoamento de pessoal e manter níveis de iluminância adequados nas áreas mais críticas de operação, nos períodos de falta da iluminação normal.

Os níveis de iluminância serão compatíveis para estabelecer um balizamento das passagens e áreas de circulação, mantendo um nível mínimo de iluminância que possibilite a circulação e, principalmente, a saída de pessoal dos locais de menor segurança.

Poderão ser empregados sistemas autônomos de iluminação de emergência, compostos por alojamento, carregador, bateria de níquel cádmio, inversor e lâmpadas fluorescentes compactas.

12.16.11.3. Tomadas

A seguir estão definidos os tipos de tomadas a serem empregadas e instaladas onde necessário:

- Tomadas monofásicas, tipo universal, 16 A, 220 Vca, 60 Hz, 2 polos + terra, instaladas a 0,30 m do piso acabado nas galerias elétricas;
- Conjunto de tomadas montado em caixa de material plástico resistente, composto por uma tomada monofásica, tipo universal, 16 A, 220 Vca, 60 Hz, 2 polos + terra, e uma

tomada trifásica, 30 A, 380 Vca, 60 Hz, 3 polos + terra, instalado a 0,90 m do piso das unidades geradoras;

- Conjunto de tomadas em caixa de alumínio com tampa mola, composto por uma tomada monofásica, tipo universal, 16 A, 220 Vca, 60Hz, 2 polos + terra, e uma tomada trifásica, 30 A, 380 Vca, 60 Hz, 3 polos + terra, instalado a 0,90 m do piso acabado em áreas externas;
- Tomadas trifásicas, 60 A, 380 Vca, 60 Hz, 3 polos + terra, instaladas a 0,90 m do piso das unidades geradoras, área de montagem, pátio da subestação e na tomada d'água.

As tomadas para uso externo serão apropriadas para tal, com blindagem em caixa de alumínio fundido com tampa mola e vedação.

Aquelas destinadas a áreas internas serão instaladas em caixas de ligação aparentes em alumínio, instaladas diretamente em parede.

12.16.12. Sistema de Vias Para Cabos e Condutores

12.16.12.1. Sistema de Vias Para Cabos

O projeto do sistema de vias de cabos será executado numa fase inicial do projeto da obra, permitindo, assim, que sejam tomadas as devidas providências, como a inclusão no projeto civil de blackouts, canaletas, eletrodutos embutidos, perfilados embutidos, etc.

Os cabos serão instalados em leitos metálicos, em canaletas, em eletrodutos, em bancos de dutos ou em galerias.

Os leitos para cabos ou bandejas serão utilizados extensivamente em toda Usina, principalmente na casa de força, fixadas em perfilados embutidos nas paredes, teto e no fundo de canaletas.

Os eletrodutos rígidos serão utilizados, em sua maioria, para instalação dos circuitos de iluminação, telefonia e na derivação a partir dos leitos para os equipamentos de controle, instrumentação e na alimentação de motores. Nos casos em que os equipamentos estiverem sujeitos a vibração serão utilizados eletrodutos flexíveis.

As dimensões das canaletas e galerias serão definidas conforme a necessidade, sendo que as mesmas deverão possuir sistema de drenagem.

Os bancos de dutos deverão ser envelopados em concreto, quando em áreas sujeitas a trânsito de veículos, ou areia, utilizando-se eletrodutos rígidos ou flexíveis, respectivamente, adequadamente espaçados, devendo proporcionar a segregação dos circuitos de diferente natureza, o mesmo ocorrendo com as caixas de passagem.

Na sala de controle poderá ser utilizado piso elevado e, neste caso, as vias de cabos deverão ser constituídas de leitos, eletrocalhas ou eletrodutos aparentes.

O sistema de vias de cabos no pátio da subestação será composto de canaletas e eletrodutos, convenientemente distribuídos em toda a área da subestação.

12.16.12.2. Condutores

No dimensionamento da seção dos cabos para iluminação serão considerados queda de tensão máxima, conforme norma NBR-5410, os critérios de capacidade de condução de corrente, de curto circuito e o de coordenação com a proteção.

Para instalação em eletrodutos, serão utilizados cabos com isolamento de 750 V e para instalação em canaletas e leitos 0,6/1 kV.

A seção mínima dos condutores a ser empregada será de 2,5 mm².

12.16.13. Sistema de Aterramento e de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

O sistema será concebido de tal modo que atenda, primordialmente, às seguintes finalidades:

- Estabelecer uma ligação entre a terra e as carcaças de equipamentos, cubículos, estruturas metálicas, etc., visando a proteção de pessoas durante a ocorrência de uma falta de fase para terra;
- Possibilitar uma baixa resistência de aterramento para os sistemas elétricos, contribuindo para um melhor desempenho dos relés de terra;
- Propiciar um controle adequado das tensões de passo e de toque, na subestação, durante os curtos-circuitos fase-terra;
- Oferecer proteção contra as descargas diretas de origem atmosférica, seu escoamento e a equalização de potencial, garantindo a integridade das instalações e equipamentos, bem como a segurança pessoal. O SPDA será projetado conforme norma NBR-5419, na sua última revisão.

A fim de superar as dificuldades causadas pela alta resistividade do terreno e atingir as finalidades do sistema de aterramento, o mesmo deverá contar dos seguintes componentes:

- Malhas de aterramento embutidas e de conexão de estruturas e equipamentos na Casa de Força, na Tomada d' Água e no Vertedouro;
- Malha de aterramento da subestação;
- Malha auxiliar (se necessário);
- Condutores de interligação entre malhas.

Além de suportar as correntes de curto-circuito, os cabos deverão ser robustos o bastante para não sofrerem danos, devido a eventuais ações mecânicas que possam ocorrer durante a construção ou durante a vida útil dos mesmos. Deste modo, os cabos das malhas enterradas ou embutidas terão seção mínima de 95 mm².

Os cabos das derivações para aterramento dos equipamentos e estruturas serão dimensionados também para suportarem a corrente de curto-circuito a que ficarão expostos. A seção mínima recomendável para estes cabos, por razões mecânicas, é 35 mm².

Todas as emendas, junções ou conexões inacessíveis (embutidas no concreto ou enterradas) deverão ser feitas, exclusivamente, por soldas exotérmicas.

As conexões acessíveis serão feitas por meio de conectores aparafusados. No percurso exposto dos cabos de aterramento, os mesmos deverão ser presos firmemente às estruturas e/ou equipamentos, por meio de conectores adicionais e/ou braçadeiras, em quantidades adequadas, de acordo com o comprimento do cabo.

12.16.14. Subestação Elevadora

A subestação de 138 kV da usina terá configuração de barras simples, conforme mostrado nas **Ilustrações 95 e 96**. Será constituída de um vão de transformação, um vão de saída de linha de transmissão em 138 kV para a subestação da PCH Entre Rios e um vão de saída para a subestação da PCH Geóloga Lucimar.

A tensão de transmissão de 138 kV é a utilizada pela distribuidora na região, assim como os equipamentos de alta tensão da subestação como transformador elevador, disjuntor, seccionadores, transformadores de medição e para-raios.

A alimentação do transformador será realizada por meio de cabos isolados de 13,8 kV, provenientes das unidades geradoras passando pelo conjunto de cubículos

Os equipamentos de alta tensão serão de classe de isolamento 145 kV, próprios para instalação ao ar livre, categoria adequada para sistemas de transmissão.

O disjuntor será de acionamento tripolar, isolamento interno e câmara de extinção a gás SF₆, trifásico montado sobre estrutura metálica.

Os seccionadores, de isolamento do disjuntor, serão de abertura central e de montagem horizontal, providos de acionamento tripolar manual. O seccionador para a função By-Pass, será de abertura central e de montagem vertical, provido de acionamentos manual e motorizado. Um dos seccionadores de isolamento do disjuntor deverá ser equipado com lâmina de aterramento.

Os transformadores de corrente e de potencial serão especificados com núcleos de categoria para proteção, dando cobertura à medição. Para as Medições de Faturamento serão instalados transformadores exclusivos.

As distâncias entre equipamentos no pátio e o dimensionamento das vias internas deverão possibilitar o acesso aos equipamentos e o trânsito de pessoas e veículos para montagem, manutenção e ensaios.

Os sistemas de serviços auxiliares da subestação serão dispostos nos quadros de distribuição QDA-SE e QDC-SE, respectivamente para a corrente alternada e contínua, e serão localizados junto à área de montagem da casa de força.

As proteções do transformador e das linhas de transmissão serão dispostas nos painéis de controle e proteção +PCPTE, +PCPL1 e +PCPL2, e serão localizados junto à sala de controle.

Os barramentos e condutores serão dimensionados para operar na potência máxima de transmissão sem atingir o limite térmico, nas condições mais adversas que possam ocorrer, com capacidade para suportar o curto circuito do Sistema Interligado pelo tempo mais longo de atuação das proteções.

As instalações da subestação, além das obras e estruturas civis, compreenderão estruturas metálicas ou estruturas de concreto pré-formado de suporte dos equipamentos, condutores aéreos do barramento, isoladores de ancoragem, condutores e conectores dos barramentos.

Toda a área da subestação terá instalações de aterramento, iluminação, canaletas e dutos de distribuição de cabos de força e de controle.

A subestação será protegida contra descargas de origem atmosférica e sobretensões por surtos de tensão por um sistema de cabos para-raios e blindagens contra surtos.

As características principais da subestação na fase do projeto básico da usina estão indicadas em seguida.

- Potência nominal do sistema de barras 51,25 MVA
- Configuração de barra Simples
- Tipo de disjuntor Extinção e isolamento a gás SF₆
- Quantidade de disjuntor 3
- Quantidade de seccionadores 5
- Transformadores de corrente 15
- Transformadores de potencial indutivo 16
- Para-raios tipo estação 9

12.16.15. Linha de Transmissão

O traçado preliminar da Linha de Transmissão será conforme o mostrado na **Ilustração 97**, onde a inserção da energia gerada no Sistema Elétrico será feita na SE Primavera Rural da CEMAT, passando pela subestação da PCH Geóloga Lucimar, por meio de uma linha de transmissão em 138 kV, circuito simples, com aproximadamente 4,5 km de extensão.

Os critérios para a definição dos parâmetros da linha de transmissão na fase do projeto deverão ser os utilizados pela distribuidora local, coincidindo com os usuais das linhas de transmissão da CEMAT para conexão neste nível de potência de geração. Deverão ser contemplados os requisitos indicados em seguida para condições de tempo bom:

- Sistema de proteção adequado ao fluxo de potência;
- Potência máxima transmitida de 51,25 MVA sob fator de potência 0,90, compatível com a potência aparente da usina;
- Garantia de preservação do limite térmico dos condutores e isoladores, mesmo com temperatura ambiente máxima e velocidade de ar mínima;
- Capacidade de suportar o curto circuito do Sistema Interligado pelo tempo regulado de atuação das proteções.

O resumo dos critérios básicos para o projeto da linha de transmissão são os seguintes:

- Comprimento4,5 km
- Tensão nominal de isolamento145 kV
- ConfiguraçãoTrifásica com circuito simples
- Potência máxima transmitida 51,25 MVA
- Corrente nominal 215 A
- Tipo de condutores aéreos 336,4 MCM
- Tipo de cabo guarda A 3/8

13. COMPONENTE AMBIENTAL

Para a obtenção da Licença Ambiental Prévia – LP de Pequenas Centrais Hidrelétricas devem ser realizados estudos das alternativas locais dos barramentos, indicando os critérios utilizados e a escolha da melhor localização em termos ambientais e econômicos e, ainda, descrição da futura obra (barramentos, casas de força, circuitos de adução, canteiro de obras e cronograma). Também é necessário apresentar estudos do meio físico e do meio biótico (geologia, geomorfologia, recursos hídricos, vegetação, fauna, características socioeconômicas), bem como a avaliação dos impactos decorrentes da implantação dos empreendimentos.

Para a obtenção da Licença Ambiental de Instalação – LI de Pequenas Centrais Hidrelétricas, conforme a Resolução CONAMA 279/2001, deve ser apresentado o detalhamento dos Programas Ambientais, comumente denominados de Plano de Controle Ambiental – PCA ou Plano Básico Ambiental – PBA, que apresenta e detalha todos os programas de monitoramento ambiental que deverão ser executados durante a implantação do empreendimento, a fim de mitigar os possíveis impactos identificados durante os estudos.

No caso do empreendimento em questão, o licenciamento está sendo conduzido segundo os preceitos legais para os estudos ambientais por meio da elaboração de um EIA/RIMA, que se diferencia dos demais licenciamentos pela forma de condução inicial, havendo divulgação para a sociedade local por meio do Relatório de Impacto do Meio Ambiente – RIMA, e do seu caráter político institucional, uma vez que é disponibilizado à Secretaria do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA.

Após aprovação do empreendimento por meio do EIA/RIMA e emissão da Licença Prévia pela equipe técnica da SEMA-MT, será submetido ao referendado do CONSEMA e da Assembleia Legislativa do Estado de Mato Grosso.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 01, de 1986, o estudo de impacto ambiental deverá contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, identificando e avaliando, sistematicamente, os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade, definindo os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual está localizado o empreendimento.

O estudo elaborado está subdividido em volumes, conforme estrutura a seguir, apenas para facilitar o manuseio dos dados e compreensão das análises realizadas. Entretanto, os estudos foram elaborados de forma integrada por equipes multidisciplinares.

No **Volume I** são apresentados os dados do empreendedor, a equipe de engenharia, os critérios e a análise das alternativas de localização, a escolha das alternativas que geram os menores impactos ambientais, a caracterização das alternativas de aproveitamento hidroelétrico selecionadas e as etapas previstas para a construção.

No **Volume II** são abordados aspectos do meio físico, incluindo a geologia, geomorfologia, pedologia, clima, recursos hídricos (dados fluviométricos, estudos hidrológicos, estudo de vazão, curvas chave, área de drenagem, hidrossedimentologia e qualidade da água) e espeleologia.

No **Volume III** são caracterizados e analisados o meio biótico e os ecossistemas naturais, com destaque para a vegetação (fisionomias, famílias e espécies identificadas), uso e ocupação dos solos e caracterização da fauna existente na região e na área de influência dos empreendimentos (avifauna, mastofauna, herpetofauna e ictiofauna).

No **Volume IV** são apresentados e avaliados os aspectos socioeconômicos e arqueológicos da área de estudo, destacando o meio socioeconômico, com ênfase na dinâmica populacional, nos usos agropecuários que ocorrem na região, nos aspectos produtivos (lavouras permanentes, temporárias e produção pecuária), nos aspectos sociais (educação, saúde, saneamento básico

e segurança pública) e nos setores de indústria, comércio, serviços e energia. Na arqueologia são abordados aspectos históricos da colonização da região, metodologia adotada e os resultados dos trabalhos de campo. Neste volume também é apresentado dados referente à terra indígena existente próximo aos aproveitamentos.

No **Volume V** é tratada a análise dos impactos ambientais decorrentes da implantação do aproveitamento hidroelétrico, iniciando pela metodologia e critérios adotados, descrição dos impactos sobre o meio biótico (vegetação, avifauna, mastofauna, herpetofauna e ictiofauna), meio físico, socioeconômico e arqueológico. Também é apresentada a síntese dos planos e programas de acompanhamento e monitoramento dos impactos, bem como do plano de exploração florestal e desmatamento.

No **Volume VI** é incluído o projeto básicos de engenharia, mapas e demais documentos relativos ao empreendimento.

No **Volume VII** é apresentado o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), iniciando com os dados do empreendedor e a síntese da descrição do projeto técnico e a sequência construtiva e de enchimento do reservatório. Também são incluídos os mapas da área de estudo, a metodologia dos estudos ambientais e a síntese dos resultados obtidos e a avaliação dos impactos ambientais.

Os referidos estudos foram elaborados conjuntamente para as PCH's Entre Rios (rio das Mortes), Cumbuco (rio Cumbuco) e PCH Geóloga Lucimar Gomes (rio Cumbuco), sendo integralmente apresentados no **Volume 3 – Tomo IV** deste relatório de Projeto Básico.

14. INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DE ABASTECIMENTO

O sítio de implantação da PCH Cumbuco está localizado próximo às cidades de Santo Antônio do Leste, Primavera do Leste e Paranatinga, ambas no estado de Mato Grosso.

No entanto, o local de implantação da usina não possui infraestrutura estabelecida, sendo seu acesso local previsto por caminhos internos às propriedades.

No âmbito da obra deverão ser projetados e construídos os acessos aos locais de implantação das estruturas do empreendimento, levando-se em consideração as frentes de serviço, as dependências administrativas e o canteiro de obras.

As obras de infraestrutura têm como objetivo principal dar suporte à construção do aproveitamento de acordo com o cronograma. Para tanto, será necessária a construção de estradas de serviço, canteiro de obras e instalações administrativas e industriais, tais como almoxarifado, escritórios e central de concreto.

14.1. Acessos

Analisando os principais acessos por imagens de satélite, pela topografia executada e após confirmação por meio de inspeções de campo, constata-se a existência de uma estrutura viária em terra interligando os locais das principais estruturas civis, que deverá ser aproveitada e ampliada.

O local previsto para o barramento apresenta-se, do ponto de vista de disponibilidade de acessos, relativamente complicado. Sendo assim, deverão ser previstas aberturas de novos acessos para a construção das obras do barramento e avanço do canal de adução, que está localizado dentro de área com mata ainda preservada.

Na área do circuito de geração (câmara de carga/tomada d'água/conduto forçado/casa de força/canal de fuga) os acessos existentes poderão ser aproveitados, necessitando apenas de algumas melhorias.

A Figura 14-1 apresenta uma imagem geral do sítio previsto para implantação da futura PCH Cumbuco, dando ênfase às estradas não pavimentadas já construídas e que poderão ser utilizadas como futuros acessos às obras.

Para acesso à área do canteiro proposto e alojamento, à direita da casa de força, são previstas pequenas intervenções com novos acessos, a partir dos existentes em suas proximidades.

A distância aproximada entre o início do canal de adução e o circuito de geração é de 4 km, considerando o traçado aproximado de uma estrada já construída na margem direita do rio Cumbuco, adjacente à mata nativa, que poderá ser utilizada como interligação dos dois pontos aqui referidos.

A Figura 14-2 apresenta um detalhe esquemático do futuro canteiro de obras proposto para a construção da usina.



Figura 14-1: PCH Cumbuco – Acessos ao sítio de implantação (Fonte: Google Earth – Imagem 2016)

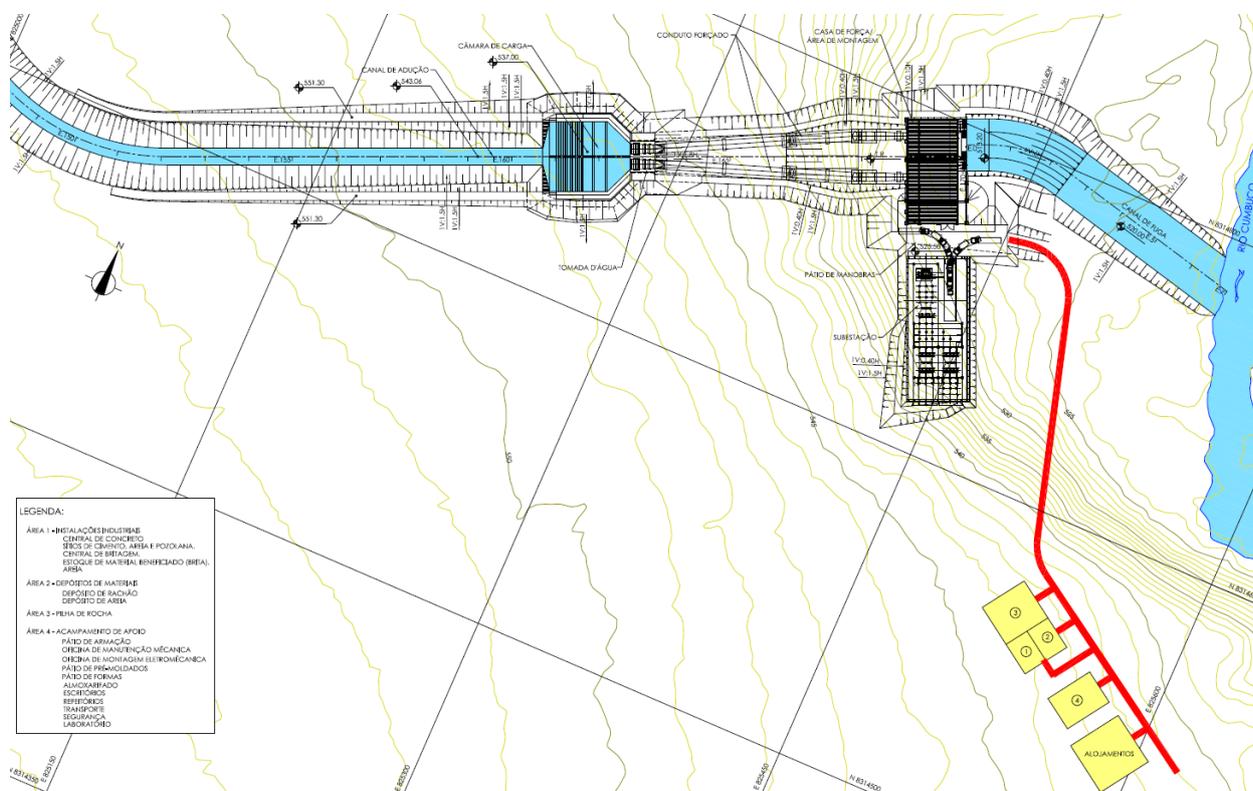


Figura 14-2: PCH Cumbuco – Canteiro de obras proposto

O acesso à casa de força foi previsto por um trecho de estrada a ser construída ligando o canteiro de obras e a estrutura de geração, com aproximadamente 250 m de extensão, conforme pode ser visto na Figura 14-2.

14.2. Logística

A logística é a área da gestão responsável por prover recursos, equipamentos e informações para a execução de todas as atividades de uma obra. Entre as atividades da logística está o transporte, a movimentação de materiais, o armazenamento, a produção de materiais de construção e gerenciamento de informações.

Em termos quantitativos, uma parte dos materiais de construção e de consumo poderá ser adquirida diretamente no município de Primavera do Leste/MT, o qual possui razoável infraestrutura urbana, comércio e serviços. Um pouco mais distante, há as opções dos municípios de Rondonópolis/MT e da capital do estado, Cuiabá/MT.

Os principais materiais a serem transportados para a obra são o cimento; os produtos siderúrgicos, tais como chapas, perfis e barras de aço para construção e os diversos equipamentos eletromecânicos da usina.

As principais alternativas para o fornecimento de cimento ao canteiro de obras são:

VOTORANTIM

- CUIABÁ/MT – Rodovia MT-401 km 14,4, Fazenda Bela Vista; Bairro: Zona Rural; Distrito do Aguaçu; Cuiabá/MT; CEP: 78.018-000; Fone: (65) 3637-6766;
- NOBRES/MT – Rodovia BR-163/364 km 480,5; Bairro: Pinhal; Nobres/MT; CEP: 78.460-000; Fone: (65) 3376-4417.

O suprimento de produtos siderúrgicos poderá ser realizado a partir da cidade de Cuiabá/MT, indicando como potenciais fornecedores para a obra as indústrias de aços GERDAU e ARCELORMITTAL.

O transporte do cimento e dos produtos siderúrgicos deverá ser efetuado por via rodoviária, até o local do aproveitamento, transitando-se por estradas ora pavimentadas, ora sem pavimentação.

Os equipamentos eletromecânicos poderão ser adquiridos a partir do parque industrial de São Paulo, Santa Catarina ou Paraná, e também serão transportados por via terrestre.

A implantação das obras da PCH Cumbuco, tomando-se por base as informações disponíveis, os dados de projeto, os materiais de construção e os estudos de planejamento desenvolvidos, requer recursos convencionais, tanto dos equipamentos quanto de mão-de-obra para o desenvolvimento dos trabalhos das obras civis, e de fácil mobilização.

Quanto à rocha para produção de agregados de concreto, deverão ser utilizadas as rochas oriundas de pedreiras comerciais e/ou de jazidas a serem oportunamente mapeadas e exploradas.

A areia natural, necessária para complementar o traço de concreto, será adquirida em exploração comercial existente na cidade de Poxoréo, localizada a aproximadamente 120 km do local da obra.

Onde possível e a critério do empreiteiro, desde que previamente aprovado pela empresa responsável pelo Projeto Executivo, poderão ser utilizadas peças em concreto pré-moldado.

A energia elétrica utilizada para a construção das obras será obtida por meio de geradores portáteis movidos a óleo diesel e ou por meio de suprimento do sistema elétrico de baixa tensão (13,8 kV) existente na região.

A Engenharia do Proprietário deverá gerenciar as interfaces que ocorrerão entre as atividades do empreiteiro das obras civis e as do empreiteiro de montagem dos equipamentos eletromecânicos.

A água necessária para abastecimento dos canteiros será proveniente de poços profundos, nascentes locais ou do abastecimento de água local. Caso sejam necessárias, serão previstas estações de tratamento de água (ETA's) compactas para tratamento da água não industrial.

Especial atenção será dada à coleta e ao tratamento das águas servidas, visando impedir a poluição do rio Cumbuco por dejetos industriais ou residenciais.

As estradas de serviço serão encascalhadas e regadas periodicamente, impedindo, deste modo, a formação prejudicial de nuvens de poeira causada pelo tráfego.

14.3. Canteiro e Alojamentos

14.3.1. Canteiro de Obras

O canteiro de obras possui uma localização estratégica, proporcionando uma boa distribuição dos materiais para a obra. Está situado na margem direita do rio, em região próxima à estrutura da tomada d'água e da casa de força. Este canteiro terá a função primordial de atender todas as escavações e concretagem das estruturas da usina e será composto por instalações industriais, depósito de materiais e acampamento de apoio, conforme indicado na Figura 14-2.

Adicionalmente, terá instalações apropriadas para o recebimento e montagens dos equipamentos eletromecânicos, dispendo de central de concreto, almoxarifado e oficina mecânica de apoio.

14.3.2. Alojamentos

A acomodação do pessoal envolvido com a construção da obra será em alojamentos construídos na margem direita, próxima ao canteiro. Além dos alojamentos, estão previstos escritórios, cozinha e refeitório, enfermaria, área de lazer, chaperia e outros.

Com base no volume de trabalho necessário à implantação das obras e na experiência em obras anteriores, estima-se que o número de trabalhadores envolvidos na construção será da ordem de 200 pessoas no período máximo e 50 pessoas no período mínimo.

Na **Ilustração 98** é apresentado o desenho da localização do canteiro e dos alojamentos.

15. CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

A PCH Cumbuco deverá ser construída em 23 meses, com os seguintes marcos principais:

- Início efetivo das obras.....abril do Ano 01
- Desvio do rio junho do Ano 02
- Início do enchimento do reservatóriodezembro do Ano 02
- Entrada em operação comercial da 1ª unidadejaneiro do Ano 03
- Entrada em operação comercial da 2ª unidade março do Ano 03

A **Ilustração 99** apresenta, de forma sucinta, o cronograma das principais atividades a serem desenvolvidas e os desembolsos anuais previstos para a construção.

De posse do cronograma físico-financeiro, com os respectivos desembolsos mensais, foram estimados os juros durante a construção (JDC) do aproveitamento, que valeram **9,78%**, inseridos no Orçamento Padrão Eletrobrás – OPE.

As figuras seguintes apresentam os histogramas de consumo de concreto, escavações obrigatórias e de aterro para a execução do empreendimento.

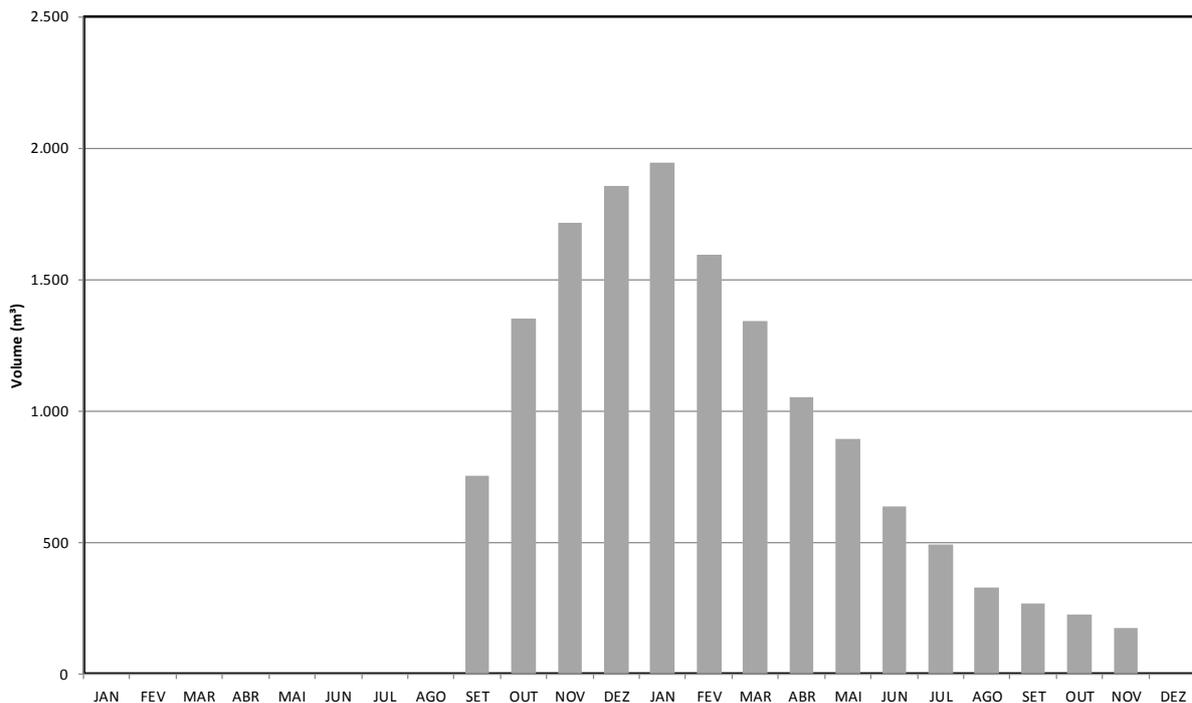


Figura 15-1: Histograma de consumo de concreto estrutural

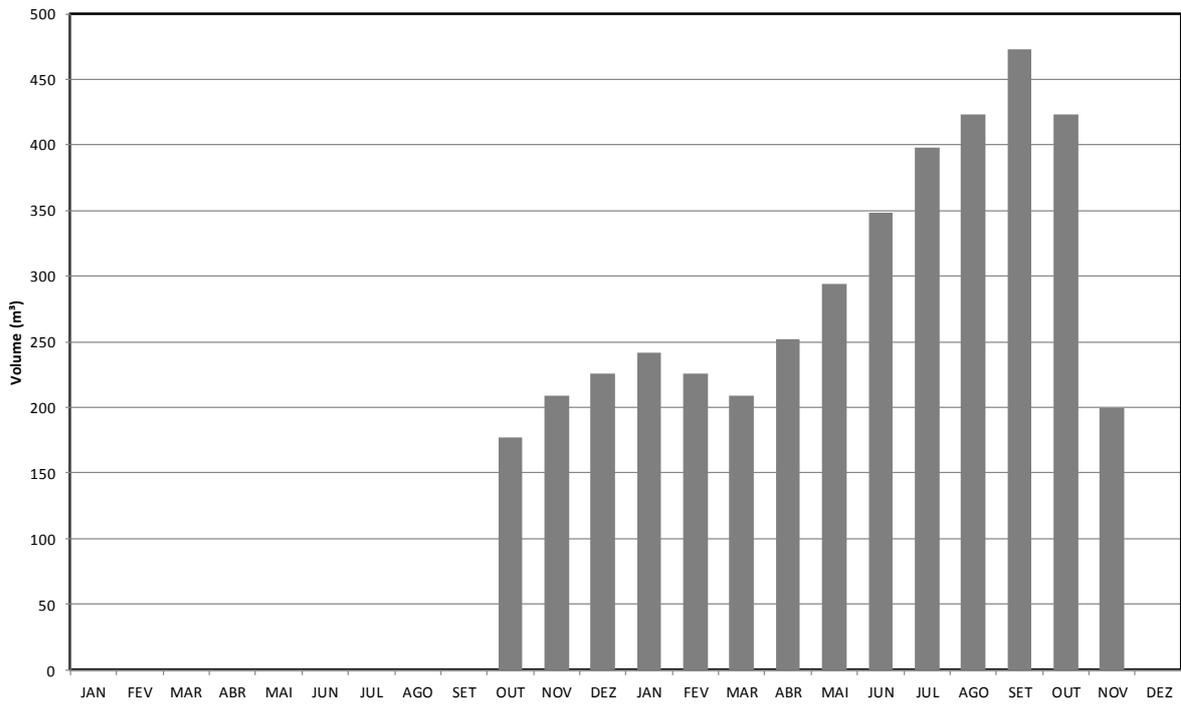


Figura 15-2: Histograma de consumo de concreto massa

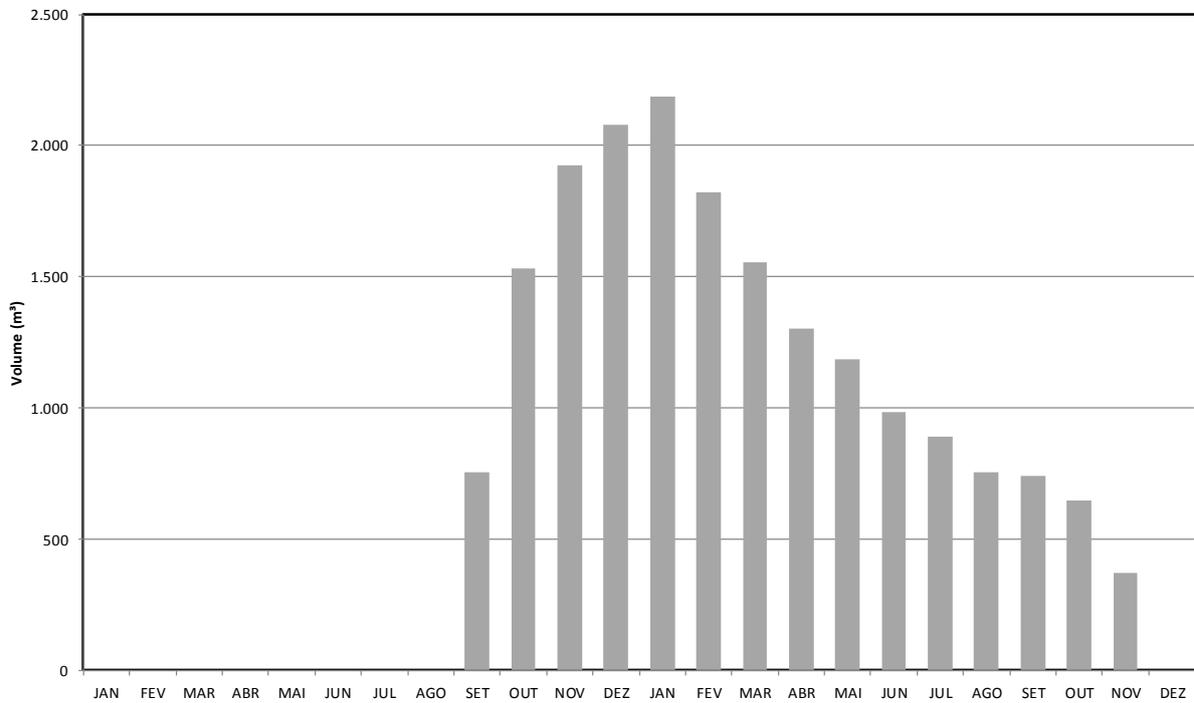


Figura 15-3: Histograma de consumo de concreto (total)

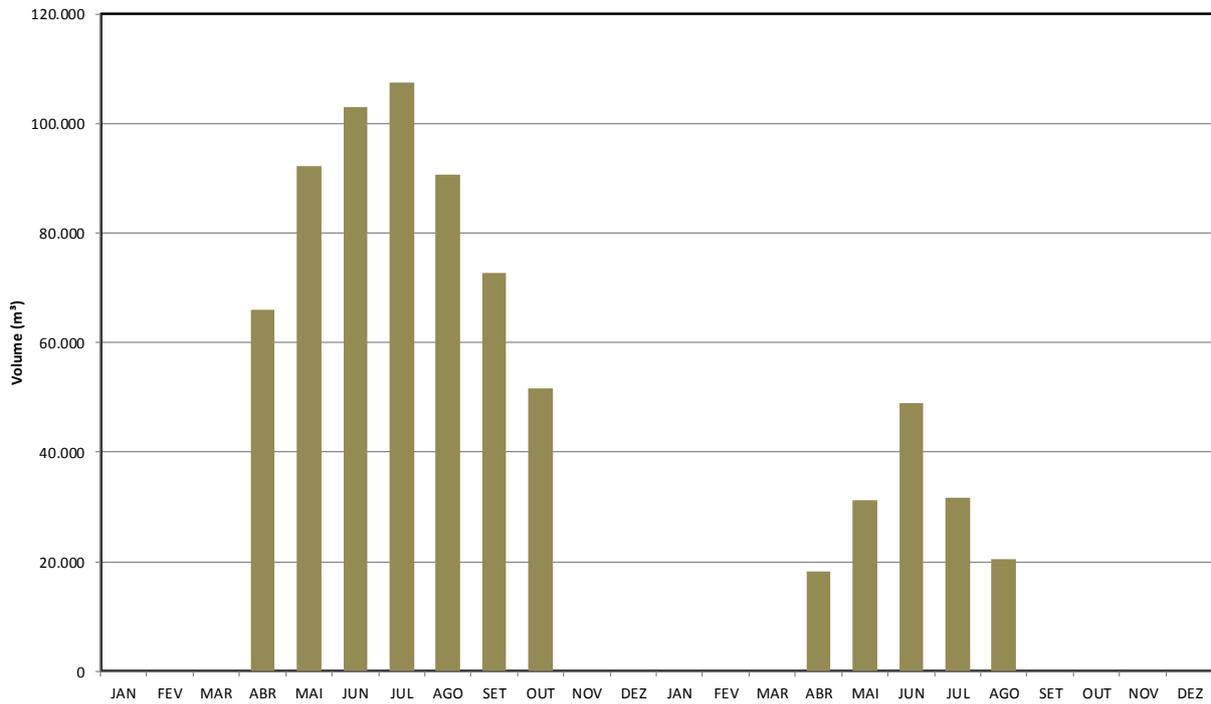


Figura 15-4: Histograma de escavação comum

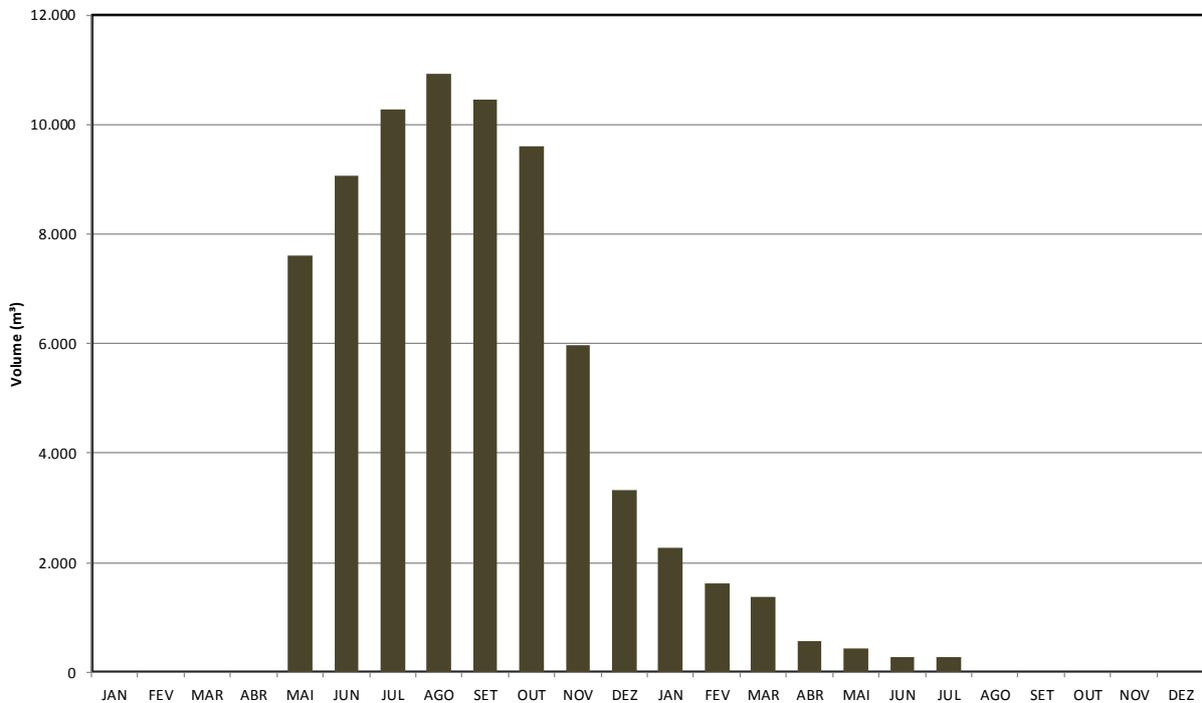


Figura 15-5: Histograma de escavação em rocha a céu aberto

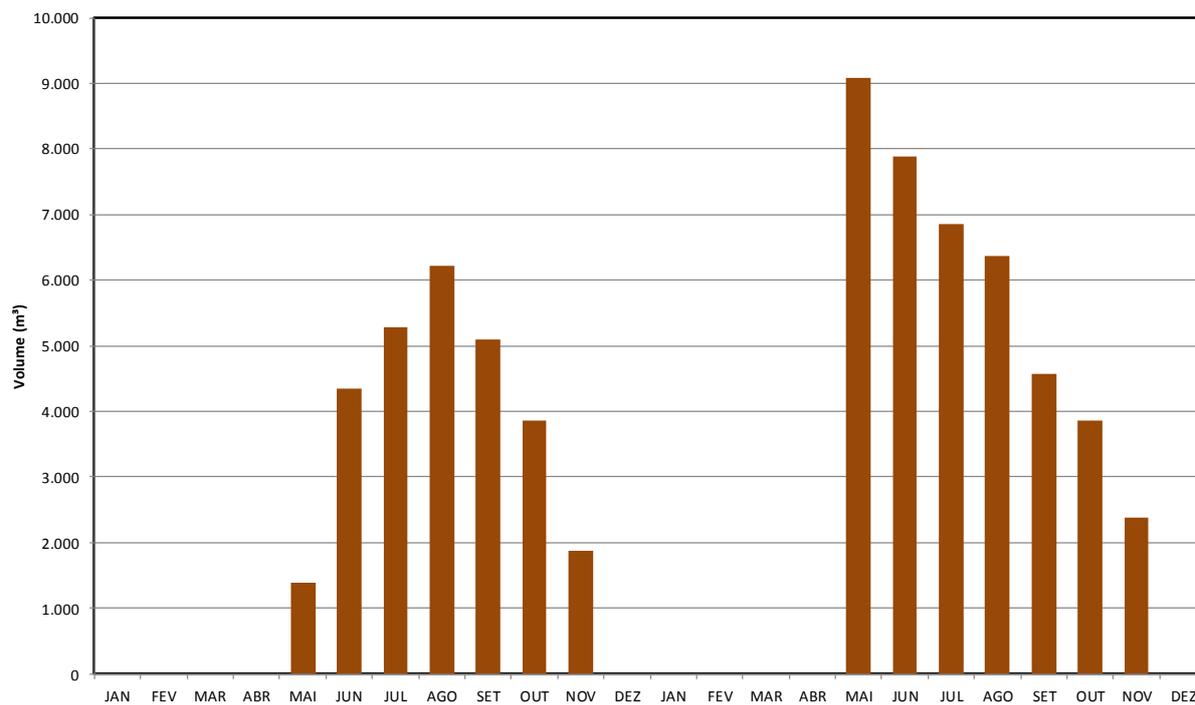


Figura 15-6: Histograma de aterro

16. ORÇAMENTO PADRÃO ELETROBRÁS

O custo de implantação da PCH Cumbuco foi determinado com a aplicação de preços unitários de materiais, serviços e equipamentos necessários à implantação do aproveitamento, de acordo com o Plano de Contas dos Orçamentos Padrão ELETROBRÁS.

Os preços unitários de obras civis, custos de equipamentos, custos indiretos e eventuais tiveram seus critérios apresentados no Capítulo 8.

Os Juros Durante a Construção foram estimados a partir do cronograma de desembolsos previstos para a construção do empreendimento, considerando-se o período de 21 meses para o início da geração comercial.

A Tabela 16-1 apresenta o resumo das quantidades de obras civis levantadas para a composição do orçamento final do empreendimento.

Tabela 16-1: Resumo das quantidades (obras civis)

Item	Quantidade	Un.
Concreto estrutural + Concreto massa	18.735	m³
Cimento	5.534	†
Concreto sem cimento (estrutural)	14.635	m³
Concreto massa	4.100	m³
Armadura	826	†
Concreto projetado	-	m³
Escavação		
Comum	734.047	m³
Em rocha a céu aberto	97.774	m³
Aterro	66.546	m³

Para a implantação do aproveitamento será necessário um volume de concreto da ordem de 19.000 m³, com uma relação de aproximadamente 1.100 m³/MW instalado, considerada adequada para o porte do empreendimento.

Os volumes de escavação em solo foram elevados, tendo em vista o extenso canal de adução, reponsável por aproximadamente 80% deste valor.

Os volumes de escavação em rocha, bem como os volumes de aterro, foram considerados normais para o porte da usina.

A Tabela 16-2 apresenta o resumo do OPE gerado para a PCH Cumbuco, contendo os custos de todas as contas envolvidas, formando o custo direto, os custos indiretos, os juros durante a construção e o custo total da obra.

Consideraram-se também os custos das obras da subestação e linha de transmissão.

Tabela 16-2: OPE – Resumo das Contas

Conta	Valor (R\$×10³)	Valor (US\$×10³)	% do Custo Direto	% do Custo Total
.10	5.319,36	1.357,67	6,33%	4,99%
.11	7.256,56	1.852,11	8,64%	6,81%

Conta	Valor (R\$x10³)	Valor (US\$x10³)	% do Custo Direto	% do Custo Total
.12	41.665,78	10.634,45	49,61%	39,11%
.13	22.776,75	5.813,36	27,12%	21,38%
.14	4.153,85	1.060,20	4,95%	3,90%
.15	2.806,23	716,24	3,34%	2,63%
.16				
Custo Direto	83.978,53	21.434,03	100,00%	78,83%
Custos Indiretos	7.781,51	1.986,09	9,27%	7,30%
Custo Total sem Juros	91.760,04	23.420,12		86,13%
JDC	8.974,13	2.290,49		7,76%
Custo Total	100.734,17	25.710,61		94,55%
Subestação	2.738,46	698,94		2,57%
Linha de transmissão	3.063,47	781,90		2,88%
Custo Total da Usina	106.536,10	27.191,45		100,0%

Os custos também podem ser divididos da seguinte forma:

Obras Civas:	41.501,08	38,95%
Equipamentos Eletromecânicos:	37.158,09	34,88%
Meio Ambiente:	5.319,36	4,99%
Outros Custos:		
Custo Direto Total:	83.978,53	78,83%
Custos Indiretos:	7.781,51	7,30%
Custo Total sem JDC:	91.760,04	86,13%
Custo Total com JDC:	100.734,17	94,55%
Sistema de Transmissão Associado:	5.801,93	5,45%
Custo Total com Sistema de Transmissão:	106.536,10	

O Orçamento Padrão ELETROBRÁS (OPE) da PCH Cumbuco é apresentado no Capítulo 20 deste relatório.

17. AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO EMPREENDIMENTO

A inclusão na matriz energética nacional da PCH Cumbuco, como fonte de geração de energia limpa, vem ao encontro das demandas por energia, atendendo, por consequência, aos requisitos básicos para a sustentação dos processos de crescimento e modernização da produção na região.

O arranjo geral do aproveitamento e as estruturas que o compõem correspondem a soluções convencionais de engenharia civil, empregadas em obras desta natureza no Brasil. Da mesma forma, os equipamentos eletromecânicos projetados possuem características amplamente dominadas na fabricação, transporte, operação e manutenção em nosso território.

O custo estimado para a implantação do aproveitamento, incluindo os juros durante a construção, foi de R\$ 106.536.100,00 (cento e seis milhões, quinhentos e trinta e seis mil, cem reais), referenciados a setembro de 2015. Esses custos incluem as obras da Usina, Subestação e Linha de Transmissão.

A avaliação econômica do empreendimento pode ser resumida da seguinte forma:

- Custo total da Usina, sem juros durante a construção R\$ 91.760.040,00
- Custo total da Usina, com juros durante a construção R\$ 100.734.170,00
- Custo do Sistema de Transmissão (SE + LT) R\$ 5.801.930,00
- Custo total da Usina R\$ 106.536.100,00
- Garantia Física Estimada..... 10,78 MW médios
- Custo de Operação e Manutenção (O&M) R\$ 1.133.190,00/ano
- Custo Total (com O&M) R\$ 115.800.530,00
- Taxa de Juros 12% ao ano
- Período da Autorização 35 anos
- Custo Total Anual R\$ 14.164.330,00
- Índice Custo/Benefício (ICB) R\$ 149,99/MWh
- Custo Índice 6.267 R\$/kW

O custo para implantação do empreendimento, que tem uma expectativa de Garantia Física estimada em 10,8 MW médios, proporcionada pelos 17,0 MW instalados, resultou num índice de mérito de 150 R\$/MWh e custo de instalação de 6.270 R\$/kW.

Tendo como cenário atual tarifas no ACR para empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte, verifica-se boa possibilidade de implantação da PCH Cumbuco, tornando-o prioritário no planejamento de expansão da capacidade de geração brasileira.

Para as próximas fases dos estudos, recomenda-se que sejam iniciadas as tratativas com os fornecedores de equipamentos, objetivando a redução de custos do empreendimento.

18. FICHA TÉCNICA PADRÃO ANEEL

A ficha técnica da PCH Cumbuco, no padrão ANEEL, é apresentada a seguir.

19. PARTICIPANTES DOS ESTUDOS

Engº Danilo Jorge Santos	Gerente de Contrato, Responsável Técnico Geral, Estudos Energéticos, Dimensionamentos Eletromecânicos e Orçamentos
Engº Edson Benjamim Barbosa Filho	Responsável Técnico Geral, Estudos Geotécnicos, Dimensionamentos, Arranjos, Custos e Orçamentos
Engº Luciano Jorge Santos	Responsável Técnico Geral, Coordenação Geral, Estudos Hidráulicos, Dimensionamentos e Arranjos
Engª Camila Santos Bueno da Silva	Responsável Técnico Geral, Coordenação, Estudos Hidráulicos, Arranjos, Custos e Orçamentos
Engº Celso Rubens Vareta	Estudos Hidráulicos, Geotécnicos, Planejamento, Arranjos e Custos
Engº Joaquim Roriz da Silva	Estudos Hidrometeorológicos
Engº Rodrigo Gomes Otsuki	Estudos Hidráulicos, Arranjos, Custos e Orçamentos
Engº Leonardo Faria de Castro	Estudos Hidráulicos, Dimensionamentos, Arranjos, Custos e Orçamentos
Engª Gustavo Barros Rocha	Dimensionamentos, Arranjos e Custos
Geól. José Frederico Büll	Estudos Geológicos
Engº José Carlos de Araújo Silva	Estudos Elétricos e de Interligação
Engº Bruno Resende de Araújo	Estudos Elétricos e de Interligação
Engº Shinichi Ono	Estudos Geotécnicos
Engº Felipe Marçal Barbosa de Melo Gois	Estudos Geotécnicos
Proj. Heron Piassi Pimenta	Arranjos
Proj. Miguel Angel Pettengill	Arranjos
Proj. João Ricardo Xavier	Arranjos
Proj. Eduardo Henrique Araújo Cavalcante	Arranjos

Proj. Paulo César de Souza	Desenhos de Estruturas
Proj. Walter Yasuo Otsuki	Desenhos de Estruturas
Proj. Rodrigo César de Oliveira Santos	Desenhos de Estruturas
Proj. Nayguel Andrys	Desenhos
Proj. Iata Anderson Paes de Almeida	Desenhos
Aneclides Maria Marques	Administrativo e Qualidade
Sandra Sousa	Administrativo e Qualidade
SAI – Serviços Aéreos Industriais Ltda.	Perfilamento Laser
Vértice Topografia	Levantamentos topográficos complementares
Preserve D.D. Prestadora de Serviços Ltda.	Estudos Ambientais
NACON Sondagens	Investigações Geológico-Geotécnicas
Nacional Energia Ltda.	Serviços de Hidrometria

20. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Os seguintes desenhos complementam este memorial descritivo:

Ilustração e Descrição	Número
1. Mapa de Localização e Acessos	PR146/14-DE-40020
2. Perfil da Linha d'Água do Rio Cumbuco	PR146/14-DE-40021
3. Rio Cumbuco – Divisão de Queda	PR146/14-DE-40022
4. Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes – Localização dos Postos Fluviométricos	PR146/14-DE-40023
5. Áreas de Drenagem dos Postos Fluviométricos	PR146/14-DE-40024
6. Mapa de Isoeitas	PR146/14-DE-40025
7. Características Climatológicas	PR146/14-DE-40026
8. Características do Escoamento Fluvial	PR146/14-DE-40027
9. Mapa Geológico Regional	PR146/14-DE-40028
10. Mapa Geomorfológico Regional	PR146/14-DE-40029
11. Alternativas Estudadas	PR146/14-DE-40030
12. Arranjo Geral – Alternativa 1 – Planta	PR146/14-DE-40031
13. Arranjo Geral – Alternativa 1 – Detalhes FL.1/2	PR146/14-DE-40032
14. Arranjo Geral – Alternativa 1 – Detalhes FL.2/2	PR146/14-DE-40033
15. Arranjo Geral – Alternativa 2 – Planta	PR146/14-DE-40034
16. Arranjo Geral – Alternativa 2 – Detalhes FL.1/2	PR146/14-DE-40035
17. Arranjo Geral – Alternativa 2 – Detalhes FL.2/2	PR146/14-DE-40036
18. Arranjo Geral – Alternativa 3 – Planta	PR146/14-DE-40037
19. Arranjo Geral – Alternativa 3 – Detalhes FL.1/2	PR146/14-DE-40038
20. Arranjo Geral – Alternativa 3 – Detalhes FL.2/2	PR146/14-DE-40039
21. Estruturas do Barramento – Alternativa 1 – Seções Típicas	PR146/14-DE-40040
22. Estruturas do Barramento – Alternativa 2 – Seções Típicas	PR146/14-DE-40077
23. Estruturas do Barramento – Alternativa 3 – Seções Típicas	PR146/14-DE-40041
24. Circuito de Geração – Alternativas 1 e 3 – Seção Típica	PR146/14-DE-40042
25. Circuito de Geração – Alternativa 2 – Seção Típica	PR146/14-DE-40043
26. Mapa Geológico Local e Localização das Investigações Geológico-Geotécnicas – Fl. 1/2	PR146/14-DE-40044
27. Mapa Geológico Local e Localização das Investigações Geológico-Geotécnicas – Fl. 2/2	PR146/14-DE-40045
28. Seção Geológico-Geotécnica – Barramento	PR146/14-DE-40047
29. Seção Geológico-Geotécnica – Canal de Adução – FL.1/3	PR146/14-DE-40048
30. Seção Geológico-Geotécnica – Canal de Adução – FL.2/3	PR146/14-DE-40049
31. Seção Geológico-Geotécnica – Canal de Adução – FL.3/3	PR146/14-DE-40089
32. Seção Geológico-Geotécnica – Canal de Desvio	PR146/14-DE-40052
33. Seção Geológico-Geotécnica – Circuito de Geração	PR146/14-DE-40053
34. Sondagens – Mini-Logs – Detalhes	PR146/14-DE-40054
35. Áreas de Bota-Fora	PR146/14-DE-40056
36. Levantamento Planialtimétrico FL.1/3	PR146/14-DE-40057
37. Levantamento Planialtimétrico FL.2/3	PR146/14-DE-40058
38. Levantamento Planialtimétrico FL.3/3	PR146/14-DE-40059

Ilustração e Descrição	Número
39. Localização das Seções Topobatimétricas - Planta	PR146/14-DE-40060
40. Seção Topobatimétrica 01	PR146/14-DE-40061
41. Seção Topobatimétrica 02	PR146/14-DE-40062
42. Seção Topobatimétrica 03	PR146/14-DE-40063
43. Seção Topobatimétrica 04	PR146/14-DE-40064
44. Reservatório – Planta e Curvas Características	PR146/14-DE-40065
45. Estudos de Vento – Traçado do "Fetch"	PR146/14-DE-40066
46. Arranjo Geral – Planta	PR146/14-DE-40067
47. Estruturas de Barramento e Desvio – Planta	PR146/14-DE-40068
48. Circuito de Geração – Planta	PR146/14-DE-40069
49. Canal de adução – Planta FL.1/5	PR146/14-DE-40070
50. Canal de adução – Planta FL.2/5	PR146/14-DE-40071
51. Canal de adução – Planta FL.3/5	PR146/14-DE-40051
52. Canal de adução – Planta FL.4/5	PR146/14-DE-40091
53. Canal de adução – Planta FL.5/5	PR146/14-DE-40115
54. Sequência Construtiva das Obras Cíveis – Plantas	PR146/14-DE-40072
55. Elementos Geométricos para Locação das Estruturas – Planta – Fl. 1/2	PR146/14-DE-40073
56. Elementos Geométricos para Locação das Estruturas – Planta – Fl. 2/2	PR146/14-DE-40074
57. Locação das Estruturas de Concreto – Vertedouro, Barragem de Concreto e Tomada de Controle – Seções típicas	PR146/14-DE-40075
58. Desvio do Rio – Obras de Terra – Planta e Seções Típicas	PR146/14-DE-40076
59. Desvio do Rio – Obras de Concreto – Planta, Cortes e Detalhes	PR146/14-DE-40078
60. Desvio do Rio – Obras de Concreto – Perspectiva	PR146/14-DE-40079
61. Tomada d'Água de Controle – Plantas, Cortes e Seção Transversal	PR146/14-DE-40080
62. Barragem de Terra – Margens Direita e Esquerda – Seções Típicas	PR146/14-DE-40081
63. Seção Longitudinal Pelo Eixo de Barramento e Canal de Adução – Seções Típicas	PR146/14-DE-40082
64. Obras de Concreto – Câmara de Carga – Planta e Cortes	PR146/14-DE-40046
65. Obras de Concreto – Câmara de Carga – Perspectiva	PR146/14-DE-40050
66. Circuito de Geração – Planta	PR146/14-DE-40083
67. Circuito de Geração – Corte	PR146/14-DE-40084
68. Circuito de Geração – Escavação – Planta	PR146/14-DE-40085
69. Circuito de Geração – Escavação – Seções	PR146/14-DE-40088
70. Tomada d'Água – Plantas, Corte e Seção Transversal	PR146/14-DE-40086
71. Tomada d'Água – Perspectiva	PR146/14-DE-40087
72. Casa de Força – Planta El. 516,00 – 523,00 m	PR146/14-DE-40090
73. Casa de Força – Planta El. 526,00 m	PR146/14-DE-40092
74. Casa de Força – Planta Cobertura	PR146/14-DE-40093
75. Casa de Força – Corte A	PR146/14-DE-40094
76. Casa de Força – Corte B	PR146/14-DE-40095
77. Casa de Força – Corte C	PR146/14-DE-40096
78. Casa de Força – Corte D	PR146/14-DE-40097
79. Casa de Força – Corte E	PR146/14-DE-40098
80. Casa de Força – Perspectiva	PR146/14-DE-40099

Ilustração e Descrição	Número
81. Casa de Força – Seção Transversal – Arranjo Eletromecânico	PR146/14-DE-40100
82. Casa de Força – Arranjo Eletromecânico – Planta El. 516,00 – 523,00 m	PR146/14-DE-40101
83. Casa de Força – Arranjo Eletromecânico – Planta El. 526,00 m	PR146/14-DE-40102
84. Sistema de Drenagem – Fluxograma	PR146/14-DE-40103
85. Sistema de Água de Resfriamento e de Serviço – Fluxograma	PR146/14-DE-40104
86. Sistema de Esvaziamento e Enchimento – Fluxograma	PR146/14-DE-40105
87. Sistema de Ar Comprimido de Serviço – Fluxograma	PR146/14-DE-40106
88. Sistema de Medições Hidráulicas – Fluxograma	PR146/14-DE-40107
89. Sistema de Proteção e Medição – Diagrama Unifilar – Casa de Força	PR146/14-DE-40108
90. Sistema de Proteção e Medição – Diagrama Unifilar – Subestação	PR146/14-DE-40109
91. Serviços Auxiliares de CA – Diagrama Unifilar	PR146/14-DE-40110
92. Serviços Auxiliares de CC – Diagrama Unifilar	PR146/14-DE-40111
93. Sistema Digital de Supervisão e Controle – Arquitetura Geral Simplificada	PR146/14-DE-40112
94. Sistema de Telecomunicações – Diagrama de Blocos	PR146/14-DE-40113
95. Subestação Elevadora 138 kV – Arranjo Geral – Plantas	PR146/14-DE-40114
96. Subestação Elevadora 138 kV – Arranjo Geral – Cortes	PR146/14-DE-40115
97. Sistema Elétrico – Linha de Transmissão e Diagrama Unifilar Simplificado	PR146/14-DE-40116
98. Obras de Infraestrutura – Planta	PR146/14-DE-40117
99. Cronograma Físico-Financeiro	PR146/14-DE-40118

21. ANEXOS

Em anexo encontram-se os seguintes documentos:

- Orçamento Padrão Eletrobrás – OPE;
- Orçamento dos sistemas elétricos;
- Planilhas de perdas de cargas no circuito de adução.