

SUMÁRIO

APÊNDICE 4.1	Parâmetros Geotécnicos Considerados nos Estudos de Estabilidade das Obras de Terra e Enrocamento no Sítio Pimental	3
APÊNDICE 4.2	Condições, Tratamentos de Fundação e Resultados dos Estudos de Estabilidade das Estruturas de Concreto no Sítio Pimental.....	5
APÊNDICE 4.3	Equipamentos Eletromecânicos Principais e Auxiliares das Estruturas de Concreto no Sítio Pimental.....	13
APÊNDICE 4.4	Condicionantes e Dimensionamento dos Canteiros no Sítio Pimental.....	26
APÊNDICE 4.5	Estudos de Estabilidade para os Diques do Compartimento Ambiental “Reservatório dos Canais”	37
APÊNDICE 4.6	Condições, Tratamentos de Fundação e Resultados dos Estudos de Estabilidade do Vertedouro Complementar e dos Muros no Sítio Bela Vista	41
APÊNDICE 4.7	Equipamentos Eletromecânicos Principais e Auxiliares do Vertedouro Complementar	48
APÊNDICE 4.8	Condicionantes e Dimensionamento dos Canteiros no Compartimento Ambiental “Reservatório dos Canais”	53
APÊNDICE 4.9	Estudos de Estabilidade das Obras de Terra e Enrocamento no Compartimento Ambiental “Trecho de Restituição de Vazões”	63
APÊNDICE 4.10	Condições, Tratamentos de Fundação e Resultados dos Estudos de Estabilidade das Estruturas de Concreto no Compartimento Ambiental “Trecho de Restituição de Vazões”	69
APÊNDICE 4.11	Equipamentos Eletromecânicos Principais e Auxiliares das Estruturas de Concreto no Compartimento Ambiental “Trecho de Testituição de Vazões”	74
APÊNDICE 4.12	Condicionantes e Dimensionamento do Canteiro no Compartimento Ambiental “Trecho de Restituição de Vazões”	91
APÊNDICE 4.13	Configuração Básica e Equipamentos Principais da Subestação Xingu...	101
APÊNDICE 4.14	Detalhamento do Planejamento Construtivo para o AHE Belo Monte ...	105

LISTA DOS QUADROS

Quadro 4-1-1	- Parâmetros de Resistência Adotados nas Análises de Estabilidade para as Obras de Terra e Enrocamento no Sítio Pimental.....	4
Quadro 4-2-1	- Coeficientes de Segurança Obtidos para o Vertedouro Principal - Vão Central	8
Quadro 4-2-2	- Coeficientes de Segurança Obtidos para o Vertedouro Principal – Vão Lateral.....	9
Quadro 4-2-3	- Coeficientes de Segurança Obtidos para a Tomada d’ Água/Casa de Força Complementar.....	10
Quadro 4-2-4	- Coeficientes de Segurança Obtidos para a Área de Montagem – Análise no Sentido do Fluxo	10
Quadro 4-2-5	- Coeficientes de Segurança Obtidos para a Área de Montagem – Análise no Sentido Transversal ao Fluxo	11
Quadro 4-2-6	- Coeficientes de Segurança Obtidos para o Muro Ala Direito (MAD)	12
Quadro 4-2-7	- Coeficientes de Segurança Obtidos para o Muro Lateral Direito (MLD)	12
Quadro 4-2-8	- Coeficientes de Segurança Obtidos para os Muros Divisores (MDs)	12
Quadro 4.4-1	- Quantitativos de Escavação Comum para a Implantação do AHE Belo Monte	28
Quadro 4.4-2	- Quantitativos de Escavação em Rocha para a Implantação do AHE Belo Monte	29

Quadro 4.4-3 - Quantitativos de Concreto para a Implantação do AHE Belo Monte.....	30
Quadro 4.4-4 - Quantitativos de Montagem para a Implantação do AHE Belo Monte	31
Quadro 4.4-5 - Quantitativos de Montagem para a Implantação do AHE Belo Monte	32
Quadro 4-5-1 - Fatores de Segurança Admissíveis Considerados nas Análises de Estabilidade dos Diques.....	38
Quadro 4-5-2 - Parâmetros Adotados na Verificação da Estabilidade dos Diques Materiais de Aterro	39
Quadro 4-5-3 - Parâmetros Adotados na Verificação da Estabilidade dos Diques Materiais de Fundação	39
Quadro 4-5-4 - Fatores de Segurança Mínimos Obtidos para os Diques	40
Quadro 4-6-1 - Fatores de Segurança e Tensões Vão Central – Contato Concreto-Rocha de Fundação	43
Quadro 4-6-2 - Fatores de Segurança e Tensões - Vão Central – Plano 1	43
Quadro 4-6-3 - Fatores de Segurança e Tensões - Vão Central – Plano 2	44
Quadro 4-6-4 - Fatores de Segurança e Tensões Vão Lateral - Contato Concreto-Rocha de Fundação	44
Quadro 4-6-5 - Fatores de Segurança e Tensões - Muros Ala Direito e Esquerdo	45
Quadro 4-6-6 - Fatores de Segurança e Tensões Muros Laterais Direito 1 e Esquerdo 1.....	46
Quadro 4-6-7 - Fatores de Segurança e Tensões - Muros Laterais Direito 2 e Esquerdo 2	46
Quadro 4-6-8 - Fatores de Segurança e Tensões Muros Laterais Direito 3 e Esquerdo 3.....	47
Quadro 4-6-9 - Fatores de Segurança e Tensões - Muros Laterais Direito 4 e Esquerdo 4	47
Quadro 4-9-1 - Parâmetros de Resistência Utilizados para Barragens do Sítio Belo Monte ...	66
Quadro 4-9-2 - Coeficientes de Permeabilidade dos Materiais	67
Quadro 4-9-3 - Fatores de Segurança das Barragens do Sítio Belo Monte.....	68
Quadro 4-10-1 - Tomada d'Água - Fatores de Segurança.....	71
Quadro 4-10-2 - Casa de Força - Fatores de Segurança	72
Quadro 4-10-3 - Muro de Transição - Fatores de Segurança	73
Quadro 4-12-1 - Consumo Máximo Mensal e Estoque de Agregados – Sítio Belo Monte	97
Quadro 4-14-1 - Vazões de Projeto para o Desvio do Rio Xingu	111
Quadro 4-14-2 - Canais de Adução - Quantitativos por Trecho.....	118

LISTA DAS FIGURAS

Figura 4-13-1 - Diagrama Unifilar Simplificado da SE Xingu	103
--	-----

APÊNDICE 4.1

Parâmetros Geotécnicos Considerados nos Estudos de Estabilidade das Obras de Terra e Enrocamento no Sítio Pimental

Apresenta-se, neste Apêndice ao Capítulo 4, a abordagem detalhada a respeito dos parâmetros geotécnicos considerados, nos Estudos de Viabilidade, para os estudos de estabilidade das obras de terra e enrocamento previstas para o Sítio Pimental.

Tendo em vista as pequenas alturas das barragens de terra do Barramento Sítio Pimental e os solos de fundação com características similares aos estudados na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade (estudos procedidos para as barragens e diques dos sítos Belo Monte e Bela Vista), foram adotadas configurações de seções transversais similares às adotadas naquela Etapa, com os mesmos taludes e posicionamento de bermas, de filtros etc, apenas com as adequações geométricas demandadas no novo projeto.

O **Quadro 4-1-1**, a seguir, informa os principais parâmetros que nortearam os estudos de estabilidade na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade.

Quadro 4-1-1
Parâmetros de Resistência Adotados nas Análises de Estabilidade para as Obras de Terra e Enrocamento no Sítio Pimental

Materiais	Densidade (tf/m ³)		Resistência		Pressão Neutra	
	Natural	Saturado	Coesão (tf/m ²)	Ângulo de Atrito Ø (°)	Situação de Final de Construção	Situação de Regime de Operação
Aterros (vide nota)						
- Solo compactado	1,97	2,05	1,1	27,8	B = 5%	Rede de Fluxo
- Solo lançado dentro d'água	-	1,9	0,5	25	-	Rede de Fluxo
- Enrocamento Fundações	2,1	2,2	0	45	Pressão Estática	Pressão Estática
- Solo residual de migmatito	-	1,8	0	29	Lençol Freático	Rede de Fluxo

Nota: Foi considerado o solo de alteração de migmatito por ser o material representativo das áreas de empréstimo do Sítio Pimental. Os solos aluvionares não foram ensaiados no estado compactado.

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

APÊNDICE 4.2

Condições, Tratamentos de Fundação e Resultados dos Estudos de Estabilidade das Estruturas de Concreto no Sítio Pimental

1) VERTEDOURO PRINCIPAL

1.1) Condições e Tratamentos de Fundação

Recomenda-se o acompanhamento da leitura deste item à luz dos **Desenhos BEL-V-10-190-0053, BEL-V-10-190-0066 e BEL-V-10-100-0051 (Respectivamente Apêndices 4.15, 4.18 e 4.19 – Volume 3)**.

As estruturas de concreto, constituídas pelo conjunto Vertedouro, Tomada d'Água/Casa de Força Complementar e Muros, com comprimento total de crista de 566 m e altura máxima de 35 m, estão localizadas no leito do rio Xingu, entre as Ilhas da Serra e da Marciana. Serão assentadas integralmente sobre os migmatitos do Complexo Xingu.

O migmatito desta região possui foliação com direção principal de N50°W/ 75°SW, sendo o paleossoma formado por um hornblenda-biotita gnaiss de cor cinza escuro, foliado, de granulação fina e o neossoma um metagranito de cor branco-rosado, de granulação média a grossa. Estes litotipos que compõem o migmatito, juntamente com a foliação, não apresentam influência relevante na anisotropia do maciço. Ensaios de compressão simples realizados em testemunhos de sondagens corroboram que não há influência dessa anisotropia na resistência da rocha.

O fraturamento do maciço apresenta-se, de forma geral, isotrópico. Quando caracterizado nos afloramentos dos “pedrais”, apresenta cinco famílias de juntas subverticais (com mergulho superior à 70°), com predomínio de direções NNE, NNW e ENE. Complementarmente, quando identificado nas sondagens rotativas verticais, é composto por seis famílias de juntas predominantemente subhorizontais a inclinadas com baixo grau (com mergulho até 30°), com direções preferenciais NNE, ENE, NNW e WNW. As juntas observadas nas sondagens apresentam-se, de modo geral, rugosas e levemente onduladas, com paredes em contato rocha/rocha. Eventualmente ocorrem com as paredes oxidadas ou cobertas por película argilosa amarelada/esverdeada e, mais raramente, preenchidas com calcita. De maneira geral, os espaçamentos observados entre as juntas conferem ao maciço rochoso um padrão de fraturamento considerado como pouco a medianamente fraturado (F2/F3), indicando ser adequado como fundação às estruturas de concreto. Ressalta-se, entretanto, que o fraturamento subvertical poderá acarretar instabilizações nos taludes laterais durante as escavações.

A análise das investigações da campanha de sísmica de reflexão identificou que, localizadamente, em subsuperfície, ocorre uma anomalia geológica no leito do rio, nas imediações das estruturas de concreto, formada por um bolsão de material decomposto que se encontra subjacente ao pacote aluvionar. A presença desta anomalia foi confirmada com a execução de sondagens rotativas.

Na região foram identificados, ainda, bancos submersos de areia, com granulometria fina a grossa, com espessuras de até 10 m e grande continuidade espacial.

Em termos hidrogeotécnicos, o maciço apresenta-se permeável apenas nos primeiros 10 m de profundidade, destacando-se a família de juntas subhorizontais como a principal via de percolação. Na campanha de investigações realizadas foram identificadas, como descritas anteriormente, feições subhorizontais com permeabilidades mais elevadas. Entretanto, há ainda que se definir, em etapas posteriores dos estudos de engenharia, a existência ou não de continuidade lateral dessas feições e/ou a presença disseminada ao longo das estruturas.

Considerando as similaridades relativas às características geológicas e petrográficas existentes entre os maciços rochosos migmatíticos dos Sítios Pimental e Belo Monte, foram adotados os mesmos parâmetros de resistência e deformabilidade para os dois locais, que visaram a formulação do modelo geomecânico do maciço. Desta forma, com os ensaios realizados em testemunhos de sondagens do Sítio Belo Monte, adotando-se a teoria de Hoek (1983), e usando-se a classificação de Bieniavsky (1976), obteve-se a envoltória de $\tau = 0,37 + \sigma' \text{tg } 54^\circ$, em MPa. Para deformabilidade, foi adotado o módulo de deformação $E = 35 \text{ GPa}$ e para coeficiente de Poisson o valor de $\nu = 0,25$.

Especificamente para o Vertedouro Principal, o perfil da linha de escavação foi ditado mais pela geometria do perfil vertente e demais elementos de drenagem que pela condições geológico-geotécnicas de fundação. Em apenas alguns pontos localizados foi prevista a execução de concretagens adicionais onde a rocha de qualidade encontra-se pouco mais profunda.

O tratamento da fundação é constituído por cortina de injeção até a cota 43,0 m e por linha de furos de drenagem que atingem a cota 46,0 m, executados a partir da galeria de montante, que tem piso na cota 69,0 m. Na galeria de jusante, com piso na cota 66,5 m, deverá ser executada apenas a linha de drenagem.

As injeções serão executadas em duas linhas, com inclinação de 10° e 30° para montante, com furos espaçados de 3 m, devendo ser realizadas, inicialmente, a linha de furos de montante – inclinação de 30° – com o dobro do espaçamento e, somente se necessário, os demais. A linha de jusante – inclinação de 10° – é eventual e somente será executada caso tenha ocorrido elevada absorção na linha de montante.

O sistema de drenagem é constituído por uma única linha de furos verticais com o espaçamento de 3 m.

Está prevista a drenagem superficial sob a laje da Bacia de Dissipação, constituída de uma malha de meias-canais interligadas, com saída para a galeria de jusante, na cota 66,6 m. A laje será ancorada através de uma malha de chumbadores espaçados de 3 m, nos dois sentidos, tendo cada chumbador um comprimento de 2 m a partir do topo rochoso.

1.2) Estudos de Estabilidade

A estrutura do Vertedouro Principal teve sua estabilidade verificada quanto ao tombamento, à flutuação e ao deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões na sua fundação. O bloco extremo direito, que faz a ligação com a barragem de terra na margem direita, aqui denominado vão lateral do Vertedouro Principal, teve a estabilidade verificada transversalmente ao fluxo, recebendo as cargas do núcleo argiloso e as da saia de enrocamento que constituem a barragem como um todo.

Os resultados das verificações estão resumidos nos **Quadros 4-2-1** e **4-2-2**, tendo sido consideradas as seguintes condições de carregamento da estrutura e observando-se que foram obtidos, para todas as situações de análise, fatores de segurança superiores àqueles considerados nos critérios de projeto como minimamente admissíveis, em acordo com valores consagrados pela prática nacional e internacional da engenharia de barragens:

- Caso de Carregamento Normal (CCN) – corresponde à combinação de ações que apresentem grande probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura, durante a operação normal e em condições hidrológicas normais;

- Caso de Carregamento Excepcional (CCE) – corresponde a uma situação de combinação de ações com baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura; esta condição de carregamento considera a ocorrência de uma ação excepcional, tal como condição hidrológica excepcional, com ações correspondentes à condição normal de carregamento;
- Caso de Carregamento Limite (CCL) – corresponde a uma situação de combinação de ações com muito baixa probabilidade de ocorrência ao longo da vida útil da estrutura; esta combinação considera a ocorrência de uma ou mais ações excepcionais, tais como defeitos no sistema de drenagem e efeitos sísmicos, com ações correspondentes à condição de carregamento normal; e
- Caso de Carregamento de Construção (CCC) – corresponde a todas as combinações de ações que apresentam probabilidade de ocorrência durante a execução da obra, como carregamentos anormais durante o transporte de equipamentos, estruturas executadas parcialmente ou estruturas que recebem parte dos esforços permanentes durante a construção, e ocorrem durante períodos curtos em relação à sua vida útil.

Quadro 4-2-1

Coeficientes de Segurança Obtidos para o Vertedouro Principal - Vão Central

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	2,17	3,08	4,04
CCE	2,58	8,01	4,32
CCL1	1,26	4,22	1,50
CCL2	2,27	5,41	4,40

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-133	-267	95	73	48	-267	262	-52
CCE	-232	-348	61	42	6	-348	340	-142
CCL1	-44	-176	89	67	53	-176	171	6
CCL2	-141	-357	105	70	38	-357	342	-66

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, ELETROBRÁS/ ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-2-2
Coeficientes de Segurança Obtidos para o Vertedouro Principal – Vão Lateral

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	1,80	2,96	3,95
CCC	2,56	4,23	-
CCL1	1,54	3,80	3,58
CCL2	2,27	5,41	4,40

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-252	-422	173	112	-252	-422	173	112
CCC	-228	-557	194	75	-228	-557	194	75
CCL1	-140	-236	161	126	-140	-236	161	126
CCL2	-134	-503	228	94	-134	-503	228	94

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

2) TOMADA D'ÁGUA/CASA DE FORÇA COMPLEMENTAR/ÁREA DE MONTAGEM

2.1) Condições e Tratamentos de Fundação

Recomenda-se o acompanhamento da leitura deste item à luz dos **Desenhos BEL-V10-190-0053, BEL-V10-190-0066 e BEL-V10-100-0051 (Respectivamente Apêndices 4.15, 4.18 e 4.19 – Volume 3)**.

No local da Tomada d'Água, da Casa de Força Complementar e da Área de Montagem, o maciço rochoso apresenta boas características geomecânicas para suporte da estrutura, sendo representado como maciço rochoso classe II. Foram considerados os mesmos parâmetros geomecânicos adotados para o maciço de fundação da estrutura do Vertedouro Principal (vide item 1.1).

O projeto da Tomada d'Água/Casa de Força Complementar prevê uma cortina de injeção executada na extremidade de montante da galeria de montante na cota 64,2 m. As injeções serão executadas em 2 linhas, com inclinação de 10° e 30° para montante, com furos a cada 3,0 m, que deverão atingir a cota 43,0 m. Será executada, inicialmente, a linha de furos de montante – 30° de inclinação – com o dobro do espaçamento, e, somente se necessários, os demais. A linha de jusante, com 10° de inclinação, é eventual e somente será executada caso tenha ocorrido elevada absorção na linha de montante.

A galeria de jusante – elevação 64,0 m – possuirá um sistema de drenagem profunda, constituído por furos espaçados de 3 m que atingirão a cota 46,0 m. A água captada nessa galeria será direcionada ao poço de drenagem do Vertedouro Principal – elevação 56,5 m.

2.2) Estudos de Estabilidade

As estruturas da Tomada d'Água/Casa de Força Complementar e da Área de Montagem foram verificadas quanto ao tombamento, à flutuação e ao deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões na sua fundação. A Área de Montagem teve sua segurança verificada também no sentido transversal ao fluxo, onde esta recebe os esforços da barragem de terra e do pátio de manobras. Os resultados destas verificações encontram-se sintetizados nos **Quadros 4-2-3, 4-2-4 e 4-2-5**, obedecendo aos mesmos critérios mencionados anteriormente para o Vertedouro Principal (item 1.2). Observa-se que também para o conjunto Tomada d'Água/Casa de Força Complementar e Área de Montagem foram obtidos, para todas as situações de análise, fatores de segurança superiores àqueles considerados nos critérios de projeto como minimamente admissíveis, em acordo com valores consagrados pela prática nacional e internacional da engenharia de barragens.

Quadro 4-2-3

Coefficientes de Segurança Obtidos para a Tomada d'Água/Casa de Força Complementar

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	2,48	5,06	3,78
CCE	2,52	15,62	3,42
CCL1	1,38	7,85	1,62
CCL2	2,38	7,93	3,69

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-191	-456	83	83	-191	-456	83	83
CCE	-283	-403	35	35	-283	-403	35	35
CCL1	-53	-312	61	61	-53	-312	61	61
CCL2	-184	-493	85	85	-184	-493	85	85

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-2-4

Coefficientes de Segurança Obtidos para a Área de Montagem – Análise no Sentido do Fluxo

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	2,79	7,37	3,00
CCC	2,06	14,20	1,88
CCL1	1,48	11,63	1,58
CCL2	2,31	9,55	2,34

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-164	-200	41	26	-164	-200	41	26
CCC	-86	-170	53	19	-86	-170	53	19
CCL1	-68	-132	35	9	-68	-132	35	9
CCL2	-146	-157	46	42	-146	-157	46	42

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-2-5

Coeficientes de Segurança Obtidos para a Área de Montagem – Análise no Sentido Transversal ao Fluxo

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	1,78	3,66	2,06
CCC	1,28	3,04	1,47
CCL1	1,34	4,81	1,49
CCL2	1,45	4,44	1,73

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-83	-145	-61	-61	-83	-145	-61	-61
CCC	-12	-130	-85	-85	-12	-130	-85	-85
CCL1	-34	-110	-69	-69	-34	-110	-69	-69
CCL2	-31	-150	-80	-80	-31	-150	-80	-80

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

3) MUROS

3.1) Condições e Tratamentos de Fundação

Recomenda-se o acompanhamento da leitura deste item à luz dos **Desenhos BEL-V10-190-0053, BEL-V10-190-0066 e BEL-V10-100-0051 (Respectivamente Apêndices 4.15, 4.18 e 4.19 – Volume 3)**.

As condições de fundação dos muros são idênticas àquelas do Vertedouro Principal. Por esta razão, para o maciço rochoso de fundação dos muros foram utilizados os mesmos parâmetros geomecânicos adotados para o Vertedouro Principal, ou seja, maciço rochoso classe II, com ângulo de atrito interno de 54° e coesão de 370,0 kN/m².

O tratamento das fundações dos muros será um tratamento superficial simples e sem injeções.

3.2) Estudos de Estabilidade

As estruturas do MAD, do MLD e dos muros divisores tiveram sua estabilidade verificada quanto ao tombamento, flutuação e deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões em sua fundação.

Os resultados destas verificações encontram-se sintetizados nos **Quadros 4-2-6, 4-2-7 e 4-2-8**, obedecendo aos mesmos critérios mencionados anteriormente para o Vertedouro Principal (item 1.2). Observa-se que também foram obtidos, para todas as situações de análise, fatores de segurança superiores àqueles considerados nos critérios de projeto como minimamente admissíveis, em acordo com valores consagrados pela prática nacional e internacional da engenharia de barragens.

Quadro 4-2-6

Coefficientes de Segurança Obtidos para o Muro Ala Direito (MAD)

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	1,66	8,05	1,83
CCE	6,08	8,79	-
CCL	1,41	7,85	1,78

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-148	-243	39	39	-148	-243	39	39
CCE	-242	-412	63	63	-242	-412	63	63
CCL	14	-316	62	62	14	-316	62	62

FONTE: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-2-7

Coefficientes de Segurança Obtidos para o Muro Lateral Direito (MLD)

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	1,89	89,76	2,60
CCE	1,46	37,34	1,99
CCL	1,66	21,89	2,52

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-1	-476	4	4	-1	-476	4	4
CCE	6	-430	11	11	6	-430	11	11
CCL	60	-514	23	23	60	-514	23	23

FONTE: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-2-8

Coefficientes de Segurança Obtidos para os Muros Divisores (MDs)

QUADRO RESUMO – FATORES DE SEGURANÇA			
CASO	FS TOMBAMENTO	FS DESLIZAMENTO	FS FLUTUAÇÃO
CCN	2,40	5,69	5,68
CCE	1,42	7,74	2,49
CCL	1,89	6,67	5,51

QUADRO RESUMO – TENSÕES (kN/m ²)								
CASO	VERTICAL		HORIZONTAL		NORMAL		TANGENCIAL	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
CCN	-112	-556	-75	-75	-112	-556	-75	-75
CCE	55	-563	-56	-56	55	-563	-56	-56
CCL	32	-676	-95	-95	32	-676	-95	-95

FONTE: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte, – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

APÊNDICE 4.3

Equipamentos Eletromecânicos Principais e Auxiliares das Estruturas de Concreto no Sítio Pimental

1) VERTEDOIRO PRINCIPAL

1.1) Equipamentos Eletromecânicos Principais

- Comportas de Segmento

Para controle das vazões durante as cheias, são previstas 17 comportas de segmento tipo superfície. Cada comporta é constituída, basicamente, por um paramento suportado por vigas horizontais e verticais, braços e mancais autolubrificantes. O acionamento é feito por dois servomotores de simples efeito alimentados por uma central hidráulica. As operações de fechamento serão realizadas pela ação do peso próprio das comportas, sob quaisquer condições de vazão.

As características principais das comportas são:

- Tipo.....	segmento de superfície
- Acionamento.....	hidráulico
- Quantidade.....	17
- Vão livre (m)	20
- Altura livre (m).....	18,15
- Raio (m).....	21,00
- Nível máximo normal de montante (m)	97,37
- Cota da soleira (m)	79,52
- Peso estimado da comporta (kN).....	2.300,00
- Peso estimado do mecanismo de acionamento (kN)	120,00
- Peso estimado das Peças Fixas (kN)	52,00

- Comportas Ensecadeiras de Montante

Para garantir o ensecamento a montante das comportas de superfície, são previstos 2 jogos de comportas ensecadeiras, permitindo a manutenção simultânea de 2 vãos. As comportas ensecadeiras deslizam em ranhuras verticais localizadas a montante das comportas do Vertedouro.

Cada comporta é composta de 7 painéis que trabalham apoiados um sobre o outro, com vedação localizada a jusante. As comportas ensecadeiras operam em condições de equilíbrio de pressões e são manuseadas pelo pórtilo rolante do Vertedouro Principal através de viga pescadora. A armazenagem dos painéis será feita nas próprias ranhuras por meio de dispositivos de calagem.

As características técnicas principais das comportas ensecadeiras de montante são:

- Tipo.....	ensecadeira
- Quantidade.....	2
- N ° de elementos por comporta.....	7
- Número de peças fixas.....	17
- Vão livre (m)	20,00
- Altura total (m)	18,70
- Cota da soleira (m)	79,12
- Nível d'água máximo normal de montante (m).....	97,37
- Peso estimado de cada elemento (kN).....	340,00
- Peso estimado de cada conjunto de peças fixas (kN)	159,00
- Peso estimado da viga pescadora (kN)	35,00

- Comportas Ensecadeiras de Jusante

Para garantir o ensecamento a jusante das comportas do Vertedouro Principal, na região de sua soleira estão previstos 2 jogos de comportas ensecadeiras, permitindo a manutenção de 2 vãos simultaneamente.

Cada comporta é composta de 4 painéis, que trabalham apoiados uns sobre os outros. As comportas ensecadeiras operam em condições de equilíbrio de pressões e são manuseadas pelo pórtico rolante de jusante do Vertedouro Principal através de viga pescadora. A armazenagem dos painéis é feita nas próprias ranhuras por meio de dispositivos de calagem.

As características técnicas principais das comportas ensecadeiras de jusante são:

- Tipo.....	ensecadeira
- Quantidade.....	2
- N ° de elementos por comporta.....	4
- Número de peças fixas.....	17
- Vão livre (m)	20,00
- Altura total (m)	11,60
- Cota da soleira (m)	70,83
- Nível d'água mínimo de jusante (m)	82,00
- Peso estimado de cada elemento (kN).....	307,00
- Peso estimado de cada conjunto de peças fixas (kN)	191,00
- Peso estimado da viga pescadora (kN)	30,00

- Pórtico Rolante de Montante

Para instalação, retirada e estocagem das comportas ensecadeiras de montante será utilizado o pórtico rolante da Tomada d'Água Complementar, que irá operar em toda a extensão do Vertedouro Principal.

- Pórtico Rolante de Jusante

Para instalação, retirada e estocagem das comportas ensecadeiras de jusante será utilizado o pórtico rolante do tubo de sucção da Casa de Força Complementar, que operará em toda a extensão do Vertedouro Principal.

2 TOMADA D'ÁGUA/CASA DE FORÇA COMPLEMENTAR/ÁREA DE MONTAGEM

2.1 Arranjo dos Equipamentos Eletromecânicos

O arranjo básico preliminar dos equipamentos eletromecânicos foi baseado em usinas existentes que operam com unidades geradoras do tipo Bulbo. Para atendimento à movimentação de cargas e montagem dos equipamentos é prevista a utilização de 2 pontes rolantes e os acessos verticais existentes entre os blocos acessando, a partir da elevação 86,0 m, os pisos 81,0 m e 65,0 m. Ao longo da Casa de Força Complementar estão previstas 4 galerias para instalação de equipamentos, com acessos pelas extremidades através de escada e elevador (pelo Muro de Transição e pela Área de Montagem). Existe, ainda, um poço de escada entre os blocos 1 e 2 ligando as galerias mecânicas inferior e superior.

Na ponte de jusante, área externa (elevação 96,55 m), localizam-se os transformadores elevadores das unidades 1/2, 3/4, 5/6, e 7, o transformador reserva, o pórtico de jusante e a sala dos grupos diesel geradores de emergência. No pátio de manobras, junto ao portão principal da Área de Montagem, serão alocadas a caixa separadora de óleo e a fossa séptica.

A Área de Montagem, na elevação 81,0 m (extensão da galeria mecânica), abriga os motores das bombas de esgotamento e drenagem, a estação de tratamento de água, a elevatória de esgotos, as bombas de incêndio, as oficinas e o almoxarifado. A sala dos ventiladores localiza-se na elevação 91,0 m.

2.2 Equipamentos Eletromecânicos Principais

- Grades da Tomada d'Água

As grades são previstas para evitar a passagem de detritos que, por suas dimensões, possam danificar as turbinas hidráulicas da usina. Estão instaladas nas entradas da Tomada d'Água e são do tipo removível, deslocando-se através de guias de aço, por ocasião de sua colocação ou retirada.

Cada entrada possui 2 aberturas, separadas por 1 pilar e, em cada uma delas, serão instalados painéis de grades, constituídos por 4 elementos iguais e intercambiáveis e mais um elemento superior, provido de uma rampa inclinada para troca de posição das guias das rodas do rastejo da máquina limpa-grades. Os elementos têm 5,5 m de largura por 4,3 m de altura (exceto painel superior, que tem 3,4 m de altura).

As operações de colocação e retirada dos elementos das grades serão feitas através de uma viga pescadora acoplada ao gancho auxiliar do pórtico rolante.

As características técnicas principais das grades são:

- Tipo.....	removível
- Quantidade de aberturas	14
- Quantidade de elementos por painel.....	5
- Quantidade de vigas pescadoras	1
- Cota da soleira das grades (m).....	68,50
- Cota do topo das grades (m).....	88,70
- Espaçamento entre barras verticais (mm).....	150,00
- Inclinação do parâmetro com a vertical (graus)	11,31
- Peso de cada elemento de painel (kN).....	61,00
- Peso total de cada painel de grades (kN).....	305,00
- Peso das peças fixas de cada abertura (kN).....	68,00

- Máquina Limpa-Grades

Uma máquina limpa-grades será responsável pela remoção dos detritos acumulados na frente das grades de proteção, como toras de madeira, aguapés e outros. Seu modo de operação pode ser automático, para um ciclo de limpeza completo dos painéis, ou sob comando do operador da máquina.

Os detritos recolhidos pela máquina limpa-grades serão depositados em uma vagoneta basculante, solidária à máquina, que os transportará e descarregará em local previsto para esse fim.

As operações de limpeza dos painéis de grade serão realizadas por um rastelo que se movimentará sobre o paramento e sobre as grades, suspenso por um guincho instalado na parte superior da máquina. O rastelo desce aberto empurrando os detritos para baixo, até a soleira, quando então se fecha, trazendo o material para cima, para descarregá-lo na vagoneta.

Para a remoção dos detritos flutuantes, a máquina limpa-grades possui uma lança giratória com talha elétrica e um dispositivo de pesca, girando ao redor de uma das pernas do lado montante da estrutura da máquina.

A máquina limpa-grades desloca-se sobre trilhos instalados em vigas de concreto, na elevação 100,0 m, sendo o trilho de jusante comum ao pórtico rolante da Tomada d'Água.

As características técnicas principais da máquina limpa-grades são:

- Tipo.....	de ciclo automático
- Quantidade.....	1

- Capacidade volumétrica do rastelo (m ³).....	1,00
- Capacidade nominal do guincho pesca-toras (kN).....	20,00
- Distância entre as linhas de centro dos trilhos (m).....	3,00
- Capacidade volumétrica da vagoneta (m ³).....	3,00
- Curso do rastelo no plano do paramento (m).....	31,00
- Curso do guincho pesca-toras (m).....	10,00
- Extensão do caminho de rolamento (m).....	120,00
- Peso da máquina limpa-grades (m).....	260,00
- Peso do caminho de rolamento (somente trilhos de montante).....	50,00

- Comportas Ensecadeiras de Montante

Para garantir o ensecamento do circuito de adução, estão previstos 2 jogos de comportas ensecadeiras, permitindo a manutenção simultânea de 2 unidades.

As comportas ensecadeiras deslizam em ranhuras verticais que abrigam guias de aço embutidas no concreto, para receber os esforços da barra deslizante da comporta e transmiti-los para a estrutura de concreto. Cada comporta ensecadeira é composta por 4 elementos que trabalham apoiados um sobre o outro, sendo que as vedações localizam-se no lado de jusante.

As comportas ensecadeiras operam em condições de equilíbrio de pressões e são manuseadas pelo pórtico rolante da Tomada d'Água, através de uma viga pescadora.

O enchimento da câmara entre a comporta de emergência e a comporta ensecadeira, para a equalização da pressão, será realizado através de válvulas *by pass* no elemento superior, acionadas pela ação do peso da viga pescadora.

A armazenagem das comportas ensecadeiras será feita em poços de estocagem localizados na Área de Montagem.

As características técnicas das comportas ensecadeiras são:

- Tipo.....	ensecadeira
- Quantidade.....	2
- Número de elementos por comporta.....	4
- Número de jogos de peças fixas.....	7
- Vão livre (m).....	9,80
- Altura livre (m).....	13,60
- Cota da soleira (m).....	67,00
- Nível d'água máximo normal (m).....	97,00
- Peso estimado de cada elemento (kN).....	238,00

- Peso de cada comporta (kN).....952,00
- Peso da viga pescadora (kN)25,00
- Peso de cada jogo de peças fixas (kN)78,00

- Pórtico Rolante

Para a instalação e retirada dos elementos das comportas ensecadeiras da Tomada d'Água/Vertedouro Principal e dos elementos dos painéis de grades está previsto um pórtico rolante operando ao longo da Tomada d'Água e do Vertedouro Principal, provido de um guincho principal de 500,0 kN de capacidade, para o manuseio das comportas ensecadeiras, e de um guincho auxiliar de 100,0 kN de capacidade, para o manuseio das grades.

A alimentação elétrica é feita através de um sistema de barramento rígido, constituído por quatro barras de perfil de aço com cabeça de cobre, instalado ao longo da Tomada d'Água e comum também às máquinas limpa-grades.

As características técnicas principais do pórtico rolante são:

- Quantidade.....1
- Capacidade nominal de levantamento
 - ✓ Guincho principal (kN).....500,00
 - ✓ Guincho auxiliar (kN).....100,00
- Distância entre as linhas de centro dos trilhos (m).....6,60
- Curso de levantamento
 - ✓ Guincho principal (m)36,00
 - ✓ Guincho auxiliar (m)38,00
- Extensão do caminho de rolamento (m)550,00
- Peso do pórtico rolante (kN).....520,00
- Peso do caminho de rolamento e da linha de alimentação elétrica (kN).....660,00

- Turbinas Hidráulicas

A Casa de Força Complementar deverá operar aproveitando as vazões a serem obrigatoriamente mantidas a jusante do barramento principal. A partir das orientações preliminares com relação às vazões mínimas mensais apontadas pelos estudos ambientais e das simulações dos estudos energéticos, obteve-se como resultado uma potência total instalada de 181,3 MW e queda líquida nominal de 11,4 m. Esses dados conduziram à avaliação de alternativas com máquinas do tipo Kaplan e Bulbo.

Inicialmente foram feitos estudos considerando máquinas de potência unitária de 13,0 MW sob queda de 11,4 m.c.a e engolimento de 127,0 m³/s, permitindo uma grande flexibilidade para modulação das vazões mínimas mensais. Esses estudos apontaram o arranjo com turbina tipo Bulbo como solução mais econômica, apresentando custos totais aproximadamente 20% menores, quando comparados com a alternativa Kaplan com eixo vertical.

Posteriormente, acompanhando a evolução dos estudos ambientais quanto à modulação mensal das descargas e partindo dos dados das simulações energéticas, optou-se por turbinas hidráulicas do tipo Bulbo com dupla regulação, em número de 7, com potência nominal unitária de 26,4 MW quando trabalhando sob queda líquida nominal de 11,4 m.c.a e uma vazão aproximada de 253,0 m³/s com abertura plena do distribuidor.

É previsto um sistema de monitoramento da turbina, dotado de autodiagnóstico, com a finalidade de otimizar a manutenção, evitando paradas não programadas, e permitir o acompanhamento *on line* das unidades, remotamente, em tempo real.

As características das turbinas hidráulicas são:

- Número de turbinas	7
- Tipo.....	Bulbo
- Potência nominal (MW)	26,40
- Queda líquida nominal (m.c.a)	11,40
- Vazão aproximada sob queda nominal (m ³ /s)	253,00
- Queda líquida máxima (m.c.a)	15,05
- Queda líquida mínima (m.c.a)	4,00
- Rotação síncrona (rpm)	109,09
- Rotação específica sob condições nominais (kW-m, rpm)	846,00
- Diâmetro de saída do rotor (m)	5,45
- Cota da linha de centro do rotor (m)	73,00
- Altura de sucção da turbina (m.c.a).....	-8,80
- Peso do rotor (kN)	700,00
- Peso de cada turbina (kN).....	3.000,00
- Peso total do fornecimento (kN).....	21.000,00

- Pontes Rolantes da Casa de Força Complementar

A Casa de Força Complementar está equipada com 2 pontes rolantes. Cada uma possui um carro com um guincho principal de capacidade nominal 550,0 kN e um auxiliar com capacidade nominal 100,0 kN.

As 2 pontes rolantes, trabalhando acopladas mecanicamente e com o movimento sincronizado dos guinchos de 550,0 kN, podem movimentar o rotor do gerador totalmente montado, que pesa aproximadamente 925,0 kN. Para se conseguir uma boa operacionalidade das pontes

rolantes, os movimentos de translação dos carros-guincho, deslocamento das pontes e elevação dos guinchos principais são dotados de duas velocidades: uma lenta, para o manuseio das cargas mais pesadas, e outra rápida, para menores cargas.

A estrutura da ponte será constituída basicamente por duas vigas principais que, além de servirem de apoio para o caminho de rolamento dos carros-guincho, constituem-se também em salas elétricas, onde estão instalados os painéis de controle das pontes rolantes.

As pontes rolantes são alimentadas em alta tensão, sendo a transformação para baixa tensão efetuada à entrada de seus respectivos circuitos elétricos.

As características técnicas principais das pontes rolantes são:

- Quantidade.....2
 - Capacidade nominal de levantamento
 - ✓ Guincho principal (kN).....550,00
 - ✓ Guincho auxiliar (kN).....100,00
 - Capacidade nominal das pontes acopladas (kN)1.100,00
 - Distância entre as linhas de centro dos trilhos (m).....13,00
 - Curso de levantamento
 - ✓ Guincho principal (m)41,00
 - ✓ Guincho auxiliar (m)41,00
 - Extensão do caminho de rolamento (m).....130,00
 - Peso de cada ponte rolante (kN)440,00
 - Peso do caminho de rolamento e da linha de alimentação elétrica (kN).....156,00
- Comporta de Emergência

Cada uma das 7 unidades geradoras é protegida a jusante por uma comporta do tipo vagão, com vedação a montante, para fechamento de emergência da Tomada d'Água, sob quaisquer condições de nível e vazão.

A jusante, na elevação 91,0 m, encontram-se as salas para instalação das centrais hidráulicas de acionamento das comportas, uma para cada 2 blocos. Cada comporta é manobrada por um servomotor de simples efeito, comandado por uma central óleo-hidráulica localizada na sala entre as unidades. Cada central óleo-hidráulica pode, por sua vez, comandar qualquer um dos servomotores de acionamento das comportas adjacentes a cada sala. O fechamento é feito somente sob a ação do peso próprio da comporta, sob quaisquer condições de nível d'água e vazão.

As características técnicas principais das comportas de emergência são:

- Tipo.....	Vagão
- Quantidade.....	7
- Quantidade de jogos de peças fixas	7
- Vão livre (m)	9,50
- Altura livre (m).....	9,15
- Nível d'água máximo normal (m)	97,00
- Cota da soleira (m)	69,65
- Peso da comporta (kN)	715,00
- Peso de cada jogo de peças fixas (KN).....	229,00

- Pórtico Rolante dos Tubos de Sucção

Para instalação e retirada das comportas enseadeiras a jusante do Vertedouro Principal e dos tubos de sucção, bem como para montagem e manutenção das comportas de emergência, está previsto um pórtico rolante operando na plataforma de jusante em toda a extensão das unidades geradoras e do Vertedouro Principal, provido de um guincho móvel de capacidade nominal 750,0 kN. O mecanismo de levantamento está instalado sobre uma estrutura que se apóia rigidamente sobre quatro pernas e protegido por uma cobertura metálica de janelas envidraçadas.

A energização do pórtico rolante é obtida através de um sistema de barramentos rígidos, constituídos por quatro barras construídas de perfis de aço com cabeça de cobre, instaladas a jusante e ao longo das unidades geradoras.

As características técnicas principais do pórtico rolante são:

- Quantidade.....	1
- Capacidade nominal de levantamento (kN).....	750,00
- Distância entre as linhas de centro dos trilhos (m).....	6,60
- Curso aproximado de levantamento(m)	35,00
- Extensão do caminho de rolamento (m).....	550,00
- Peso do pórtico rolante (kN).....	800,00
- Peso do caminho de rolamento e da linha de alimentação elétrica(kN).....	660,00

- Comportas Ensecadeiras dos Tubos de Sucção

Para garantir o ensecamento dos tubos de sucção a jusante da comporta de emergência estão previstos dois jogos de comportas ensecadeiras, permitindo, desta forma, a manutenção da comporta de emergência de 2 unidades.

Cada comporta ensecadeira é composta por 3 elementos, que trabalharão simplesmente apoiados um sobre o outro, sendo que as vedações localizam-se no lado de montante.

As comportas ensecadeiras operam em equilíbrio de pressões e são manuseadas pelo pórtico rolante dos tubos de sucção, através de uma viga pescadora.

O enchimento dos tubos de sucção, para a equalização de pressão, é realizado por meio das válvulas *by pass* do elemento superior, acionadas pela ação do peso próprio da viga pescadora.

A armazenagem dos elementos das comportas ensecadeiras é feita nas próprias ranhuras, através de dispositivos de calagem.

As características técnicas principais das comportas ensecadeiras são:

- Número de Comportas.....	2
- Número de elementos por comporta	3
- Número de jogos de peças fixas	7
- Vão livre (m)	10,00
- Altura livre (m).....	8,40
- Cota da soleira (m)	69,57
- Nível d'água máximo (m).....	93,40
- Peso de cada comporta (kN).....	603,00
- Peso de cada elemento (kN)	201,00
- peso de cada jogo de peças fixas (kN)	42,00

- Geradores

Os geradores são do tipo síncrono, de eixo horizontal (bulbo), auto-ventilados e com refrigeração a ar/água. As demais características são:

- Potência nominal (mva).....	27,40
- Tensão nominal (valor de referência) (kV)	13,80
- Fator de potência nominal	0,95 (indutivo)
- Frequência nominal (Hz).....	60,00
- Fases	3

- Ligação do enrolamento do rotor.....	estrela
- Rotação síncrona (rpm)	109,09
- Velocidade de disparo (rpm)	281,00
- Sentido de rotação	horário
- Elevação de temperatura dos enrolamentos acima da máxima temperatura ambiente (graus C)	80,00
- Classe de isolamento das bobinas do estator e rotor	F
- Sistema de excitação.....	estático
- Efeito de inércia, GD2 (kN.m ²)	2.931,00
- Peso do rotor (kN)	925,00
- Diâmetro do rotor (m).....	3,75
- Diâmetro do estator (m).....	5,96
- altura do rotor (m).....	1,74

Os geradores são ligados aos transformadores elevadores através de barramentos blindados de fases isoladas, com derivações para o sistema de excitação, serviços auxiliares e equipamentos terminais de linha e de neutro.

- Transformadores Elevadores

Os transformadores elevadores são trifásicos, com óleo isolante, ligação primária em triângulo e secundária em estrela, neutro acessível diretamente aterrado por reator e sistema de resfriamento por circulação forçada do líquido isolante e do ar (dois estágios), tipo OFAF. As demais características são:

- Potência nominal (MVA)	58,00
- Tensão nominal (alta tensão) (kV)	230,00
- Tensão nominal (baixa tensão) (kV)	13,80
- Freqüência nominal (Hz)	60,00
- Elevação de temperatura, ponto mais quente acima da temperatura ambiente de 40° C (graus C)	80,00
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (crista) (kV)	110,00
- Tensão suportável nominal à freqüência industrial durante 1 minuto (eficaz) (kV)	170,00
- Tensão suportável nominal de impulso de manobra (crista) (kV).....	425,00
- Tensão suportável de impulso atmosférico (crista) (kV)...	550,00
- Nível de isolamento do terminal do neutro (crista) (kV)...	25,00
- Tensão suportável à renúncia industrial durante 1 minuto (kV)	270,00

- Peso total estimado (com óleo) (kN)650,00

2.3) Sistemas Auxiliares

Além dos sistemas de controle ambiental intrínseco, outros sistemas auxiliares são previstos para o conjunto Tomada d'gua/Casa de Força Complementar e Área de Montagem, a saber:

- Sistema de Esvaziamento e Enchimento: tem a função de esvaziar o circuito hidráulico de cada unidade geradora e é constituído por um poço localizado na área de montagem, 3 bombas centrífugas verticais, tubulações e instrumentação.
- Sistema de Ar Comprimido de Serviço: tem a função de fornecer ar comprimido para o sistema de frenagem dos geradores, filtros automáticos do sistema de água de resfriamento, ferramentas pneumáticas, sistema anti-incêndio dos transformadores, instrumentação pneumática, limpeza de grelhas e tubulações em geral.
- Sistema de Água Nebulizada Anti-incêndio: tem a função de fornecer água para combate a incêndio nos transformadores principais por meio de nebulização. Quando ocorrer um sinistro, o sistema será acionado automaticamente, pelo rompimento das cápsulas localizadas junto aos transformadores. Isto provocará a abertura da válvula de dilúvio correspondente e o acionamento automático das bombas. Simultaneamente, será acionado um alarme na sala de comando.
- Sistema de Hidrantes: tem a função de proporcionar as condições adequadas para combate a incêndio por meio de uma rede de hidrantes distribuídos nas diversas áreas da usina. A captação da água é feita em derivação do sistema de água nebulizada, utilizando o mesmo conjunto de bombas.
- Sistema Elétrico de Corrente Alternada: possui elevados níveis de confiabilidade operacional, com alimentação proveniente de derivações dos barramentos principais das unidades geradoras 1, 2, 5 e 6. A fonte de emergência será proveniente de 2 geradores diesel de 375,0 kVA cada um, com capacidade suficiente para suprir, simultaneamente, as demandas máximas das cargas essenciais dos serviços gerais da usina e da demanda máxima para partida e operação de uma unidade geradora.
- Sistema Elétrico em Corrente Contínua: apresenta aspectos técnicos suficientes para atender às cargas relativas às unidades geradoras, serviços gerais da usina e da Subestação, levando em consideração a distribuição equilibrada das cargas, confiabilidade com a seqüência de entrada em operação dos equipamentos consumidores e eventual perda. As baterias do sistema, com tensão 125,0 Vcc cada uma, são dimensionadas para assumir a totalidade das cargas, em regime de descarga final de 5 horas.

APÊNDICE 4.4

Condicionantes e Dimensionamento dos Canteiros no Sítio Pimental

1) CONDICIONANTES

1.1) Obras a serem Construídas

Os canteiros de obras do Sítio Pimental foram concebidos para fornecer o apoio necessário à construção das estruturas previstas neste sítio que, resumidamente, são as seguintes - vide **Desenho BEL-V-10-100-0084**.

- Barragem do Canal Direito;
- Barragem de Ligação com a Ilha da Serra;
- Barragem de Terra Lateral Esquerda;
- Vertedouro Principal;
- Tomada d'Água/Casa de Força Complementar;
- Ponte de acesso ao canteiro; e
- Ensecadeiras.

Há que se observar que a ponte de acesso ao canteiro tem comprimento total de 400 m sobre a calha do rio Xingu na margem esquerda, objetivando propiciar a comunicação do canteiro de obras com a margem esquerda, onde estarão os acessos às obras do empreendimento, alojamentos e demais infra-estruturas.

Esta ponte tem caráter provisório e poderá ser desmontada após a conclusão da obra, já que se disporá de via de acesso e serviço a ser construída ao longo da barragem.

1.2) Quantitativos Totais por Estruturas

Em acordo com os quantitativos trimestrais apresentados nos **Quadros 4.4-1 a 4.4-5**, por estrutura foram utilizados os seguintes valores para fins de dimensionamento dos canteiros:

- Estruturas de Concreto (m³)
 - Vertedouro Principal com 17 vãos 226.500
 - Tomada d'Água/Casa de Força Auxiliar 86.000
 - Ponte de Acesso 1.800
- Obras de Escavação Comum (m³)
 - Vertedouro Principal 240.000
 - Barragens 339.000
 - Ensecadeiras 355.000

- Obras de Escavação em Rocha (m³)
 - Vertedouro Principal 1.155.000
 - Tomada d'Água/Casa de Força Complementar 33.000

- Obras de Terra/Enrocamento (m³)
 - Barragem Lateral Esquerda 916.000
 - Barragem Lateral Direita 3.681.000
 - Ensecadeiras 5.025.000
 - Remoção de Ensecadeiras 2.580.000

- Montagem Eletromecânica (KN)
 - Montagem 81.000
 - Fabricação 8.000

Quadro 4.4-1

Quantitativos de Escavação Comum para a Implantação do AHE Belo Monte

Trimestres	Sítio	Sítio	Sítio	Sítio	Total
	Belo Monte	Bela Vista	Ilha Pimental	Canais	
	m3x1000	m3x1000	m3x1000	m3x1000	m3x1000
1	0	0	0	0	0
2	996	0	44	2.091	3.131
3	4.645	1.908	72	11.501	18.126
4	4.737	1.846	273	11.501	18.356
5	1.280	129	0	1.046	2.455
6	968	239	0	1.568	2.775
7	4.053	2.111	0	12.546	18.711
8	3.313	2.145	0	12.546	18.004
9	312	130	0	1.046	1.488
10	625	189	53	1.568	2.435
11	1.562	2.372	131	12.546	16.611
12	1.562	2.074	79	11.501	15.214
13	312	116	0	1.046	1.474
14	625	206	0	1.568	2.399
15	1.562	1.994	0	11.501	15.056
16	1.249	1.984	280	10.978	14.491
17	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
TOTAL	27.800	17.443	932	104.550	150.725

FONTE: Viabilidade Técnica e Econômica - CHE Belo Monte – ELETRONORTE – 2001

Quadro 4.4-2
Quantitativos de Escavação em Rocha para a Implantação do AHE Belo Monte

Trimestres	Sítio Belo Monte	Sítio Bela Vista	Sítio Ilha Pimental	Sítio Canais	Total
	m3 X 1000	M3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000
1	140	0	0	0	140
2	0	0	163	0	163
3	1.244	0	88	0	1.332
4	1.941	0	709	0	2.650
5	1.790	0	247	2.182	4.219
6	1.228	0	231	2.182	3.641
7	1.360	0	0	2.737	4.096
8	1.360	0	0	3.809	5.169
9	906	122	0	2.182	3.211
10	725	52	0	2.182	2.960
11	634	0	0	4.364	4.998
12	634	0	0	4.364	4.998
13	544	0	0	2.182	2.726
14	453	0	0	2.182	2.635
15	181	0	0	4.364	4.545
16	0	0	0	4.364	4.364
17	54	20	0	2.182	2.256
18	190	60	0	2.182	2.432
19	244	160	0	2.182	2.586
20	54	160	0	0	214
21	0	0	0	0	0
TOTAL	13.684	575	1.437	43.640	59.336

FONTE: Viabilidade Técnica e Econômica - CHE Belo Monte – ELETRONORTE – 2001

Quadro 4.4-3
Quantitativos de Concreto para a Implantação do AHE Belo Monte

Trimestres	Sítio	Sítio	Sítio	Sítio	Total
	Belo Monte	Bela Vista	Ilha Pimental	Canais	
	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	2	0	2
4	0	0	0	0	0
5	76	0	0	0	76
6	128	0	33	0	161
7	162	0	42	0	204
8	185	0	48	0	233
9	225	0	48	57	329
10	220	0	42	57	318
11	220	8	33	111	373
12	216	8	29	111	365
13	217	8	27	111	363
14	211	8	12	111	342
15	200	8	0	111	319
16	175	8	0	111	295
17	175	8	0	83	266
18	138	8	0	83	229
19	115	0	0	83	198
20	59	0	0	83	142
21	13	0	0	0	13
TOTAL	2.737	63	314	1.113	4.228

FONTE: Viabilidade Técnica e Econômica - CHE Belo Monte – ELETRONORTE – 2001

Quadro 4.4-4
Quantitativos de Montagem para a Implantação do AHE Belo Monte

Trimestres	Sítio	Sítio	Sítio	Sítio	Total
	Belo Monte	Bela Vista	Ilha Pimental	Canais	
	Kn x 1000	Kn x 1000	Kn x 1000	Kn x 1000	Kn x 1000
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	3	0	0	0	3
10	29	0	1	0	30
11	33	0	1	0	34
12	45	0	23	0	68
13	51	0	21	0	71
14	52	0	15	0	68
15	57	0	1	0	59
16	57	3	1	0	62
17	54	6	1	0	62
18	54	6	1	0	61
19	45	3	4	0	51
20	50	0	6	0	55
21	40	0	3	0	43
TOTAL	570	18	81	0	669

FONTE: Viabilidade Técnica e Econômica - CHE Belo Monte – ELETRONORTE – 2001

Quadro 4.4-5
Quantitativos de Montagem para a Implantação do AHE Belo Monte

Trimestres	Sítio	Sítio	Sítio	Sítio	Total
	Belo Monte	Bela Vista	Ilha Pimental	Canais	
	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000	m3 X 1000
1	0	0	0	0	0
2	0	0	1.222	0	1.222
3	761	0	2.138	0	2.898
4	761	0	2.420	0	3.181
5	0	0	35	0	35
6	221	0	70	0	292
7	4.171	1.866	815	0	6.852
8	4.350	2.153	815	124	7.442
9	180	144	70	99	493
10	230	144	105	99	578
11	4.411	2.153	352	381	7.297
12	4.353	3.353	281	429	8.416
13	193	264	70	390	917
14	192	335	306	390	1.223
15	6.405	3.241	1.021	429	11.096
16	5.987	2.188	1.326	379	9.881
17	155	264	89	261	769
18	155	335	116	305	911
19	3.111	1.917	532	320	5.879
20	3.123	1.198	416	291	5.026
21	118	0	0	0	118
TOTAL	38.876	19.555	12.199	3.895	74.524

FONTE: Viabilidade Técnica e Econômica - CHE Belo Monte – ELETRONORTE – 2001

1.3) Picos Mensais de Produção

• Obras Civis (m ³)	
- Lançamento de Concreto	10.000
- Solo Compactado/Enrocamentos	177.000
- Escavação Comum	28.000
- Escavação de Rocha	236.000
• Montagem Eletromecânica (kN)	
- Montagem	3.600
- Fabricação	400

1.4) Esquema Construtivo

Foram levadas em consideração as etapas de construção, métodos executivos, cronogramas e estudos de origem e destino dos materiais principais propostos nos Estudos de Viabilidade.

1.5) Fontes de Materiais

- Solo

Áreas de empréstimo identificadas como solo de alteração de migmatito e solo aluvionar argiloso, conforme constante do **Desenho BEL-V-10-100-0025 (Apêndice 4.22 - Volume 3)**.

- Rocha

Escavações obrigatórias na área ensecada no Vertedouro Principal.

- Pedreiras

Uma situada na margem direita; uma situada na área ensecada do Vertedouro Principal; na ilha Pimental sob o decafe da área de empréstimo IV; e outras pedreiras no leito e na margem esquerda do rio, conforme constante do **Desenho BEL-V-10-100-0029 (Apêndice 4.23 - Volume 3)**.

- Areia

Depósitos fluviais dispersos no trecho do rio a montante do eixo, na própria escavação comum obrigatória do Vertedouro Principal e na Ilha Pimental sob decafe da área de empréstimo IV, conforme constante do **Desenho BEL-V-10-100-0029 (Apêndice 4.23 - Volume 3)**.

1.6) Nível Máximo do Rio durante a Construção

- 90,0 m a montante do Vertedouro Principal, durante todo o período de construção; e
- 84,0 m no trecho de montante da Barragem do Canal Direito durante o tratamento de fundação no primeiro ano de obra, e 92,0 m no período anterior ao fechamento do rio no último ano.

1.7) Acesso aos Canteiros (Desenho Bel-V-10-100-0024 - Apêndice 4.3 – Volume 3)

Pelo Travessão 27 km ou pela continuação do Travessão 55 km e chegando ao canteiro por meio da ponte de serviço a ser construída sobre o canal na margem esquerda.

1.8) Outros Condicionantes

- Para a estimativa da capacidade horária dos pátios de produção foi adotado o regime de 500 horas totais de operação mensal.
- Declividades máximas adotadas para as vias de serviço: 7%.
- Foi mantido um afastamento mínimo de 100 m das áreas de escavação a fogo em relação às instalações físicas do canteiro.
- Pico de mão-de-obra para as obras de construção civil e montagem eletromecânica estimado em aproximadamente 1.300 pessoas.
- Traço médio do concreto obtido pela média ponderada dos traços propostos para diferentes diâmetros máximos de agregados, tendo como peso os volumes de concreto previstos para cada traço (kg/m^3):

Cimento	137
Pozolana	51
Areia	710
Brita 1	642
Brita 2	590
Brita 3	47

2) DIMENSIONAMENTO DOS CANTEIROS

2.1 Pátio de Concreto (Canteiro Principal na Ilha Marciana)

São as seguintes as distâncias aproximadas, pelas estradas de serviço propostas, do Pátio de Concreto às principais estruturas (ponto médio): Vertedouro Principal - 1,0 km; Tomada d'Água/Casa de Força Complementar – 0,6 km; Barragem do Canal Direito – 2,6 km.

O pátio de concreto deverá atender ao consumo máximo mensal de 10.000 m^3 , sendo sua operação mensal efetiva de 350 horas, com um coeficiente de eficiência de 70% e, conseqüentemente, uma capacidade nominal de $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Prevendo-se capacidade adicional para o atendimento do consumo de concreto do pátio de pré-moldados, foi prevista a adoção de uma central dosadora/misturadora tipo torre equipada com 3 betoneiras de 3 m³ cada e silos verticais para um mínimo de 4 tipos de agregados, cuja capacidade nominal é 50 m³/h.

Para a estimativa da capacidade mínima necessária de estocagem de aglomerantes, foi adotada a autonomia de 20 dias, de onde, para o mês de pico de lançamento, resulta uma capacidade mínima de estocagem de 1.000 t de cimento e 350 t de pozolana.

Admitiu-se que o fornecimento de cimento e pozolana será efetuado em *containers* plásticos de 1,5 t, supondo-se a estocagem distribuída parte em silos metálicos (80%) e parte nos próprios *containers*.

2.2) Pátio de Areia

O volume total estimado de areia nos depósitos identificados no Sítio Pimental é superior a 2.500.000 m³. Segundo os testes efetuados com amostras obtidas destes depósitos, a areia se mostra limpa, com granulometria média a fina e adequada para o concreto e filtro.

Admitiu-se, portanto, que a areia para concreto seja produzida mediante dragagem e bombeamento do material para a margem do rio sem lavagem ou classificação adicional. Da margem do rio a areia será transportada em caminhões, parte para a central de concreto e parte para a formação de estoques para filtro.

Foi considerado que, para a produção de areia nos volumes requeridos pelo concreto e uma porcentagem de 20% de rejeito, a dragagem mínima deverá ser da ordem de 10.000 t mensais.

2.3) Pátio de Britagem

Observa-se que os primeiros lançamentos de transições para a Ensecadeira da Margem Direita ocorrem ainda antes da conclusão dos serviços de instalação do Canteiro. Considerou-se, portanto, que o fornecimento de materiais britados para transições deverá ser obtido através dos finos de escavação de rocha da pedreira 1.

Admitiu-se, para fins de dimensionamento da instalação, uma capacidade adicional de 20% como margem de segurança para a produção das frações mais críticas resultantes da britagem.

Para o nível de produção estabelecido em 20.000 t mensais, e considerando uma produção mensal de 500 horas, se tem que a capacidade nominal da instalação, no britador primário, deverá ser igual a 80 t/h.

Para uma central deste porte foi prevista a instalação de um britador primário e a formação de uma pilha intermediária para regularizar o fluxo para a rebitagem. Foi proposta, como critério para estocagem dos agregados, uma capacidade mínima de 15 dias de consumo no pico, concentrada em pilhas no pátio de britagem. O pulmão poderá conter um volume adicional correspondente a 5 dias da produção máxima total, ou seja, 4.000 m³.

2.4) Central de Ar Comprimido

Adotou-se para ar comprimido centralizar a produção em 4 compressores elétricos estacionários de grande porte instalados numa central única adequadamente posicionada, tendo esta uma capacidade de 11.590 pcm.

2.5) Canteiro de Montagem Eletromecânica

No Sítio Pimental os serviços de montagem eletromecânica não se restringem apenas à instalação de comportas, painéis de vedação e guindastes do Vertedouro Principal e da Tomada d'Água Complementar, mas na instalação de 7 turbinas bulbo de 25,9 MW da Casa de Força Complementar.

Admitindo-se uma fabricação local reduzida, em virtude de aquisições substanciais de pré-fabricados, prevê-se que as instalações industriais sejam de pequenas dimensões e com limitado número de equipamentos.

Dentro da área estimada para as oficinas são previstas seções para usinagem, caldeiraria, estruturas e manutenção mecânica, incluindo-se uma área adicional de 5.000 m² para almoxarifado, sendo 2.500 m² edificada.

APÊNDICE 4.5

Estudos de Estabilidade para os Diques do Compartimento Ambiental “Reservatório dos Canais”

Apresenta-se, neste Apêndice, uma abordagem detalhada dos critérios considerados para as análises de estabilidade dos diques, bem como os parâmetros geotécnicos utilizados e os resultados auferidos.

A metodologia adotada na verificação dos coeficientes de segurança para os diques foi baseada nos cálculos pelo método de Spencer, em termos de pressões efetivas, utilizando-se recursos computadorizados com busca automática da superfície crítica da ruptura.

Os coeficientes de segurança mínimos adotados nos critérios de projeto para os diversos casos de solicitação são aqueles indicados no **Quadro 4-5-1**.

Quadro 4-5-1

Fatores de Segurança Admissíveis Considerados nas Análises de Estabilidade dos Diques

Situação de Carregamento	Fator de Segurança Admissível (FS)
Final de Construção	FS \geq 1,2
Operação (N.A. 96,0 m)	FS \geq 1,5
Rebaixamento Rápido Excepcional	FS $>$ 1,0

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte- – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Cabe ressaltar que a condição de rebaixamento excepcional considerada difere para os diques situados no Sítio Bela Vista daqueles localizados próximos ao Sítio Belo Monte. No primeiro caso, o limite possível é ditado pela cota da soleira do Vertedouro Complementar (76,0 m), e, no segundo, pela cota da soleira da Tomada d'Água Principal (67,0 m).

Os parâmetros de resistência e de pressão neutra adotados, para os diversos materiais de interesse, na verificação dos coeficientes de segurança, bem como suas massas específicas, são apresentados nos **Quadros 4-5-2 e 4-5-3**.

Os coeficientes de segurança mínimos obtidos das análises efetuadas para diferentes condições de fundação e alturas típicas dos diques são apresentadas no **Quadro 4-5-4**. Da análise das superfícies críticas encontradas constata-se que, para as condições de final de construção e de operação, a fundação é o elemento condicionante da estabilidade, fator definidor, portanto, dos critérios e dos tratamentos de fundação prescritos no subitem c anteriormente abordado. Há que se observar, ainda, que todos os coeficientes de segurança obtidos são superiores aos valores mínimos estabelecidos como admissíveis para as diferentes condições de carregamento.

Quadro 4-5-2
Parâmetros Adotados na Verificação da Estabilidade dos Diques
Materiais de Aterro

Materiais	Parâmetro			
	c' kg/cm ²	Ø (°)	ϕ Saturado g/cm ³	Pressão Neutra (B)
Solos Compactados	0,20	29	2,02	Rebaixamento Rápido: B = 40%
				Final de Construção B = variável 5 a 20%

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte- – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-5-3
Parâmetros Adotados na Verificação da Estabilidade dos Diques
Materiais de Fundação

Materiais	Parâmetro			
	c' kg/cm ²	Ø (°)	ϕ Saturado g/cm ³	Pressão Neutra (B)
Aluvião	0,00	30	3,60	Operação:
Coluvião Mg/Gr/Gn	0,15	25	1,75	Linha Freática na
RS Mg/Gr/Gn	0,30	29	1,90	Fundação – B = 8%
SA Mg/Gr/Gn	0,15	28	1,80	(gradiente)
Rocha Mg/Gr/Gn	4,00	50	2,70	Linha Freática no
Colúvio Ar-Dm	0,0	28	1,96	Maciço – B = 5%
Colúvio Fo	1,0	29,5	1,70	(gradiente)
SA Ar-Dm	0,0	35,0	2,10	
SA Fo (Resist. Pico)	0,5	18,0	2,10	
SA Fo (Resist. Resid.)	0,0	11,0	2,10	

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade - CHE - Belo Monte -ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-5-4
Fatores de Segurança Mínimos Obtidos para os Diques

Diques H máx.	Condições de Carregamento			
	Operação (Jusante)	Rebaixamento Rápido (Montante)	Final de Construção	
			Montante	Jusante
H até 10 m	1,64	1,35	1,93	1,72
H até 30 m	1,49	1,14	1,56	1,76
H até 70 m	1,54	1,03	1,58	1,75
(excepcional) Arenito	1,83	1,10	1,55	1,86
H até 40 m				
(excepcional) Aluvião				
H = 21 m	1,54	1,05	—	—
H = 63 m	1,77	1,1	—	—
(excepcional) Folhelho				
H = 40 m	1,58	1,63	—	—
(Residual)	1,97	1,03	—	—

NOTA: A altura H até 10 m, por exemplo, representa não só os diques de altura até 10 m, mas também o trecho superior dos diques de maior altura.

FONTE: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

APÊNDICE 4.6

Condições, Tratamentos de Fundação e Resultados dos Estudos de Estabilidade do Vertedouro Complementar e dos Muros no Sítio Bela Vista

1) VERTEDOURO COMPLEMENTAR

1.1) Condições e Tratamento de Fundação

O local previsto para implantação do Vertedouro Complementar é constituído, predominantemente, por rochas com boas características para fundação de estrutura de concreto (vide seções geológico-geotécnicas constantes dos **Desenhos BEL-V-33-190-0086 (Apêndice 4.50 – Volume 3 e BEL-V-33-190-0087 (Apêndice 4.49 – Volume 3)**). Assim, as fundações tiveram as cotas finais baseadas em critérios de concepção da estrutura e não nas suas características geológico-geotécnicas. Dessa maneira, as escavações de projeto são as mínimas obrigatórias para atender às necessidades das estruturas, não tendo sido levadas em conta particularidades localizadas.

A envoltória resistente determinada para a fundação e considerada no cálculo de estabilidade tem a seguinte expressão: $\tau = 0,37 + \sigma_n \cdot \text{tg} 54^\circ$ (MPa). Devido ao fato de as sondagens neste sítio não terem atingido grandes profundidades abaixo das cotas mínimas de fundação do Vertedouro Complementar, foi suposta a existência eventual de juntas de alívio logo abaixo destas cotas mínimas de fundação, com a seguinte envoltória resistente: $\tau = 0,075 + \sigma_n \cdot \text{tg} 41^\circ$ (MPa). Tais parâmetros foram definidos para juntas de alívio com presença de material alterado identificadas no Sítio Bela Vista na 1ª Etapa de Estudos de Viabilidade, e sua presença na região do Vertedouro Complementar corresponde à hipótese bastante conservadora.

Para a deformabilidade do maciço, foram adotados os valores de $E = 16 \text{ GPa}$ e $\nu = 0,25$. Esses valores foram obtidos a partir da concepção do modelo geomecânico do maciço rochoso, sendo compatíveis com dados constantes na bibliografia especializada para materiais semelhantes.

O tratamento da fundação é constituído por cortina de injeção até a cota 30 m e linha de drenagem até a cota 33,0 m, executadas a partir da galeria na cota 66,0 m a montante da estrutura (vide **Desenho BEL-V-33-101-0058 - Apêndice 4.47 – Volume 3**). As injeções serão executadas em duas linhas com inclinação de 10° e 30° para montante, com furos espaçados de 3 m, devendo ser executada inicialmente a linha de furos de montante com o dobro do espaçamento e, somente se necessário, os demais. A linha de jusante é eventual e somente será executada caso tenha ocorrido elevada absorção na linha de montante. O sistema de drenagem é constituído por uma única linha de furos com o espaçamento de 3 m.

1.2) Estudos de Estabilidade

A estrutura do Vertedouro Complementar teve sua estabilidade verificada quanto ao tombamento e à flutuação no plano de contato concreto-rocha de fundação, sendo a estabilidade ao deslizamento analisada em dois possíveis planos de descontinuidade do maciço. Os blocos extremos direito e esquerdo do Vertedouro Complementar que fazem a ligação com a Barragem Lateral Direita e Esquerda, respectivamente, aqui denominados vãos laterais do vertedouro, tiveram a estabilidade verificada transversalmente ao fluxo, recebendo as cargas do núcleo argiloso e as da saia de enrocamento que constituem a barragem como um todo.

Os resultados das verificações de estabilidade estão resumidos nos **Quadros 4-6-1 a 4-6-4** e obedecem aos mesmos critérios descritos anteriormente para o Vertedouro Principal, no Sítio Pimental (**Apêndice 4-2**).

Quadro 4-6-1

Fatores de Segurança e Tensões Vão Central – Contato Concreto-Rocha de Fundação

Quadro Resumo – Fatores de Segurança		
Caso	FS Tomb.	FS Flut.
CCN	1,57	3,19
CCC	1,50	2,87
CCL1	1,50	2,91
CCL2	1,43	3,09

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCN	-89	-360	181	127	-34	-360	291	-47
CCC	-72	-369	186	127	-28	-369	292	-34
CCL1	-77	-352	183	128	-26	-352	285	-36
CCL2	-38	-391	204	135	-12	-391	302	-5

CCN - Condição de Carregamento Normal

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL1 - Condição de Carregamento Limite 1

CCL2 - Condição de Carregamento Limite 2

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-2

Fatores de Segurança e Tensões - Vão Central – Plano 1

Quadro Resumo – Fatores de Segurança	
Caso	FS Desl.
CCN	1,57
CCC	1,50
CCL1	1,50
CCL2	1,43

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCN	-86	-466	208	154	-86	-466	239	154
CCC	-67	-476	211	153	-67	-476	239	153
CCL1	-72	-458	210	155	-72	-458	238	155
CCL2	-22	-505	236	168	-22	-505	255	168

CCN - Condição de Carregamento Normal

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL1 - Condição de Carregamento Limite 1

CCL2 - Condição de Carregamento Limite 2

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-3

Fatores de Segurança e Tensões - Vão Central – Plano 2

Quadro Resumo – Fatores de Segurança

Caso	FS Desl.
CCN	0,94
CCC	1,16
CCL1	1,31
CCL2	1,16

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCN	-87	-494	219	150	-49	-463	230	230
CCC	-68	-503	215	143	-32	-472	224	224
CCL1	-72	-486	221	152	-35	-454	230	230
CCL2	-18	-537	250	163	22	-503	249	249

CCN - Condição de Carregamento Normal

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL1 - Condição de Carregamento Limite 1

CCL2 - Condição de Carregamento Limite 2

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-4

Fatores de Segurança e Tensões
Vão Lateral - Contato Concreto-Rocha de Fundação

Quadro Resumo – Fatores de Segurança

Caso	Fs Tomb.	Fs Desl.	Fs Flut.
CCN	1,83	2,51	3,13
CCC	8,26	7,89	-
CCL1	1,81	3,86	3,04
CCL2	1,64	3,28	3,04

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCN	-124	-603	208	55	-124	-603	208	55
CCC	-455	-528	100	76	-455	-528	100	76
CCL1	-124	-592	207	58	-124	-592	207	58
CCL2	-15	-689	251	36	-15	-689	251	36

CCN - Condição de Carregamento Normal

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL1 - Condição de Carregamento Limite 1

CCL2 - Condição de Carregamento Limite 2

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

2) MUROS

2.1) Condições e Tratamento de Fundação

As condições de fundação dos Muros são semelhantes às do Vertedouro Complementar. Por esta razão, para o maciço rochoso de fundação dos muros foram utilizados os mesmos parâmetros geomecânicos adotados para o Vertedouro Complementar, ou seja, maciço rochoso classe II, que possui ângulo de atrito interno de 54° e coesão de 370,0 kN/m².

O tratamento das fundações dos muros será um tratamento superficial simples e sem injeções.

2.2 Estudos de Estabilidade

As estruturas dos Muros tiveram sua estabilidade verificada quanto ao tombamento, flutuação e ao deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões em sua fundação. Os resultados de tais verificações encontram-se sintetizados nos **Quadros 4-6-5 a 4-6-9**. A metodologia adotada nos cálculos é a mesma descrita no item relativo ao Vertedouro Principal.

Quadro 4-6-5
Fatores de Segurança e Tensões - Muros Ala Direito e Esquerdo

Quadro Resumo – Fatores de Segurança			
Caso	Fs Tomb.	Fs Desl.	Fs Flut.
CCN	1,62	6,59	1,84
CCC	5,08	8,22	-
CCL	1,37	6,49	1,79

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)								
Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCN	-149	-324	55	55	-149	-324	55	55
CCC	-244	-547	89	89	-244	-547	89	89
CCL	63	-421	84	84	63	-421	84	84

CCN - Condição de Carregamento Normal

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL - Condição de Carregamento Limite

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-6

Fatores de Segurança e Tensões Muros Laterais Direito 1 e Esquerdo 1

Quadro Resumo – Fatores de Segurança			
Caso	Fs Tomb.	Fs Desl.	Fs Flut.
CCN	4,39	8,52	-
CCC	2,58	9,37	7,35
CCL	3,04	10,60	-

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCN	-11	-302	-33	-33	-11	-302	-33	-33
CCC	24	-285	-36	-36	24	-285	-36	-36
CCL	55	-339	-42	-42	55	-339	-42	-42

CCN - Condição de Carregamento Normal

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL - Condição de Carregamento Limite

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-7

Fatores de Segurança e Tensões - Muros Laterais Direito 2 e Esquerdo 2

Quadro Resumo – Fatores de Segurança			
Caso	Fs Tomb.	Fs Desl.	Fs Flut.
CCE	3,99	31,74	9,04
CCL	8,32	79,72	-

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCE	-1	-158	-8	-8	-1	-158	-8	-8
CCL	-5	-165	-3	-3	-5	-165	-3	-3

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL - Condição de Carregamento Limite

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte- – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-8

Fatores de Segurança e Tensões Muros Laterais Direito 3 e Esquerdo 3

Quadro Resumo – Fatores de Segurança

Caso	Fs Tomb.	Fs Desl.	Fs Flut.
CCE	1,48	9,35	3,00
CCL	10,27	58,20	-

Quadro Resumo – Tensões (kN/m²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCE	80	-292	-28	-28	80	-292	-28	-28
CCL	0	-281	-6	-6	0	-281	-6	-6

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL - Condição de Carregamento Limite

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte- – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-6-9

Fatores de Segurança e Tensões - Muros Laterais Direito 4 e Esquerdo 4

Quadro Resumo – Fatores de Segurança

Caso	Fs Tomb.	Fs Desl.	Fs Flut.
CCE	1,42	8,09	2,53
CCL	13,65	47,69	-

Quadro Resumo – Tensões (Kn/M²)

Caso	Vertical		Horizontal		Normal		Tangencial	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
CCE	97	-383	-37	-37	97	-383	-37	-37
CCL	-26	-381	-10	-10	-26	-381	-10	-10

CCE - Condição de Carregamento Excepcional

CCL - Condição de Carregamento Limite

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade CHE - Belo Monte - ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

APÊNDICE 4.7

Equipamentos Eletromecânicos Principais e Auxiliares do Vertedouro Complementar

1) ARRANJO DOS EQUIPAMENTOS ELETROME CÂNICOS

O Vertedouro Complementar é composto por uma estrutura isolada com 4 comportas de segmento, comporta ensecadeira, pórtico rolante e equipamentos auxiliares necessários ao seu funcionamento. Sua concepção é para operação remota, apresentando uma sala de comando local no pilar extremo direito, duas salas para as centrais oleodinâmicas nos pilares divisórios dos vãos 1/2 e 3/4, e a sala do grupo diesel gerador no pilar extremo esquerdo, todos na elevação 99,0 m com acesso pela ponte de montante.

2) EQUIPAMENTOS ELETROME CÂNICOS PRINCIPAIS

- Comportas de Segmento

Para controle das vazões durante as cheias, são previstas 4 comportas de segmento tipo superfície. Cada comporta é constituída, basicamente, por um paramento suportado por vigas horizontais e verticais, braços e mancais autolubrificantes. A movimentação é feita por dois servomotores simples efeito alimentados por centrais hidráulicas abrigadas em salas dispostas alternadamente nos pilares divisórios dos vãos 1/2 e 3/4, elevação 99,0 m. Cada sala abrigará uma central que comandará qualquer uma das comportas adjacentes. As operações de fechamento serão realizadas somente pela ação do peso próprio das comportas, sob quaisquer condições de vazão.

As características principais das comportas são:

- Tipo	Segmento, de superfície
- Acionamento	hidráulico
- Quantidade	4
- Vão livre (m)	20,0
- Altura livre (m)	22,2
- Raio (m)	19,5
- Nível máximo normal de montante (m)	97,0
- Cota da soleira (m)	75,4
- Peso estimado da comporta (kN)	3.050,0
- Peso estimado do mecanismo de acionamento (kN)	200,0
- Peso estimado das Peças Fixas (kN)	61,0

- Comportas Ensecadeiras de Montante

Para garantir o ensecamento a montante das comportas de superfície, está prevista uma comporta ensecadeira composta de oito painéis que trabalham apoiados um sobre o outro, com vedação localiza-se a jusante.

As comportas ensecadeiras operam em condições de equilíbrio de pressões e são manuseadas pelo pórtilo rolante do Vertedouro Complementar, por meio de viga pescadora. A armazenagem dos painéis será feita nas próprias ranhuras e em vãos adicionais localizados entre as ranhuras e as comportas de segmento, sempre por meio de dispositivos de calagem.

As características técnicas principais das comportas ensecadeiras de montante são:

- Tipo	ensecadeira
- Quantidade	1
- Nº de elementos por comporta	8
- Número de jogos de peças fixas	4
- Vão livre (m)	20,0
- Altura total (m)	21,4
- Cota da soleira (m)	76,0
- Nível d'água máximo normal de montante (m)	97,0
- Peso estimado de cada elemento (kN)	372,0
- Peso estimado de cada conjunto de peças fixas (kN)	242,0
- Peso estimado da viga pescadora (kN)	40,0

- Pórtilo Rolante de Montante

Para instalação, retirada e estocagem das comportas ensecadeiras de montante, foi previsto um pórtilo rolante operando em toda a extensão do Vertedouro Complementar, provido de um guincho móvel de capacidade nominal de 550 kN, ao qual se acopla uma viga pescadora para manuseio dessas comportas.

O pórtilo rolante constitui-se de um conjunto estrutural com 4 pernas rígidas interligadas na extremidade inferior no sentido paralelo aos dos trilhos e apoios articulados sobre os truques, de modo a equalizar as cargas sobre as rodas. Os trilhos de rolamento estão instalados em vigas de concreto na elevação 99,0 m. A alimentação elétrica é feita através de um sistema de barramento rígido constituído de 4 perfis de cobre.

As características principais do pórtilo rolante são:

- Quantidade	1
- Capacidade nominal (kN)	550,0
- Distância entre linhas de centro dos trilhos (m)	8,7
- Altura livre com relação ao topo do boleto (m)	6,5
- Curso vertical do gancho (m)	27,0
- Extensão do caminho de rolamento (m)	105,0
- Peso estimado (kN)	580,0
- Peso do trilhos, barramentos elétricos e peças fixas (kN)	120,0

- Sistema de Proteção, Controle e Supervisão

A arquitetura funcional do Sistema de Proteção Controle e Supervisão - (SPCS) do AHE Belo Monte apresenta níveis hierárquicos distribuídos como local e centralizado, com interfaces de controle e supervisão do Vertedouro Complementar.

Em princípio, o controle e supervisão central do Vertedouro Complementar será através do Centro de Controle das Usinas - COU - do AHE Belo Monte, composto de interfaces e recursos de comunicação entre os níveis de controle.

Para o comando local do Vertedouro Complementar existirão redes compostas de Unidades de Controle Local Digital UCD, com todos os recursos de *hardware* e *softwares* de processamento para as funções de comando, controle, intertravamentos, ações de manobras, supervisão, processamento de dados, automatismo de ação, interface homem máquina, interface de comunicação etc.

Para os demais equipamentos do Vertedouro Complementar (grupo diesel de emergência, sistemas auxiliares eletromecânicos de CA, CC e sistemas auxiliares gerais), existirão redes de comunicação e interfaces compostas de UCDs e PLCs distribuídos e dedicados, com todos os recursos de processamento para desempenhar as funções descritas no parágrafo anterior.

Durante uma falha, a operação, reconfiguração e transferência das fontes dos serviços auxiliares elétricos serão automáticos, mesmo em perda total das alimentações principais (*black-out*).

O sistema de corrente contínua será composto de fontes ininterruptas de energia com capacidade e recursos para alimentar o sistema de iluminação de emergência e controle do Vertedouro Complementar.

3 SERVIÇOS AUXILIARES

- Sistema de Drenagem

Esse sistema destina-se a recolher as águas provenientes da infiltração pelas paredes da galeria de drenagem, pelas fundações e, eventualmente, pela ruptura parcial de vedajuntas.

Observa-se que o nível máximo normal de jusante no Vertedouro Complementar é 63,3 m, fato que viabiliza a drenagem da galeria por gravidade. Entretanto, o nível máximo de jusante pode, no caso de uma cheia decamilenar, alcançar 68,5 m, que é superior ao piso da galeria. Visando garantir a integridade da galeria para qualquer nível d'água a jusante, optou-se pela instalação de poço e bombas submersíveis, com opção de drenagem por gravidade através de extravasor e válvulas de retenção e bloqueio, na elevação 65,5 m.

O sistema é composto de canaletas, poço de drenagem equipado com duas bombas submersíveis, sendo uma reserva, tubulações, quadro de comando local e instrumentação de medição e controle. As bombas, com vazão nominal de 45 m³/h e motor com potência estimada em 3,0 kW, são acionadas automaticamente por chaves de nível. A bomba reserva entra automaticamente em funcionamento em caso de falha da principal ou quando o nível d'água no poço atingir o máximo operacional. Nos dois casos, será acionado o alarme de nível d'água elevado. Se a chave de nível que desliga a bomba não atuar, será acionado um alarme

(nível baixo) e novamente comandado o desligamento da bomba. O recalque das bombas é lançado a jusante do Vertedouro Complementar, na cota 69,5 m.

O poço situa-se a jusante, próximo ao acesso da galeria de drenagem no muro da margem direita do Vertedouro Complementar, sendo a cota de fundo 61,5 m, enquanto a sala de equipamentos elétricos está no nível 69,0 m. A contribuição foi estimada em 30,0 m³/h e o volume de retenção é suficiente para um tempo superior a 30 minutos sem operação das bombas.

- Sistema de Ventilação

O sistema de ventilação da galeria de drenagem visa renovar o ar ao longo desta e é constituído por um ventilador axial de insuflamento, um exaustor, grelha e dutos embutidos.

O ventilador será instalado no pilar extremo esquerdo, cota 99,0 m, junto à sala do grupo diesel gerador, sendo o ar insuflado na extremidade esquerda da galeria de drenagem (cota 68,0 m) através de duto embutido no concreto. O ventilador tem vazão de 3.500,0 m³/h (suficiente para cinco trocas de ar por hora) e motor com potência estimada em 0,7 kW. A exaustão é feita por um ventilador axial localizado próximo ao acesso à galeria de drenagem (muro esquerdo, cota 68,5 m) com vazão estimada em 2.500 m³/h e motor de 0,25 kW.

- Sistemas Elétricos de Corrente Contínua (CC) e de Corrente Alternada (CA)

O sistema elétrico de corrente alternada, destinado a alimentar os equipamentos eletromecânicos e demais cargas do Vertedouro Complementar, é suprido por uma subestação compacta constituída por 2 transformadores abaixadores de características 250 kVA, 13.800/440V, ONAN, padrão distribuição secundária. A alimentação primária vem de uma subestação 34,5/13,8 kV localizada a aproximadamente 300 m do Vertedouro Complementar, junto à estrada de acesso pelo lado esquerdo (vide **Desenho BEL-V-10-100-0022 - (Apêndice 4.51 – Volume 3)**). Para garantir o fornecimento de energia em caso de falta da alimentação principal, será instalado um grupo diesel gerador de 75 kVA abrigado em uma sala localizada no muro esquerdo, cota 99,0 m.

Já o sistema elétrico de corrente contínua para alimentação da iluminação de emergência e do sistema de controle (quando aplicável) é proveniente de um sistema ininterrupto de energia.

APÊNDICE 4.8

Condiciones e Dimensionamento dos Canteiros no Compartimento Ambiental “Reservatório dos Canais”

1) CANTEIRO DO SÍTIO DOS CANAIS DE DERIVAÇÃO

1.1) Condicionantes

- Quantitativos Totais por Estruturas

Em acordo com os quantitativos trimestrais estimados nos Estudos de Viabilidade, por estrutura foram utilizados os seguintes valores para fins de dimensionamento do canteiro:

- Escavação comum:

✓ Canal de Derivação Esquerdo (m ³)	42.100.000
✓ Canal de Derivação Direito (m ³)	35.650.000
✓ Canal de Derivação Trecho da Junca (m ³)	26.800.000

- Escavação rocha:

✓ Canal de Derivação Esquerdo (m ³)	16.650.000
✓ Canal de Derivação Direito (m ³)	21.450.000
✓ Canal de Derivação Trecho da Junção (m ³)	5.540.000

- Concreto:

✓ Canal de Derivação Esquerdo (m ³)	417.000
✓ Canal de Derivação Direito (m ³)	412.000
✓ Canal de Derivação Trecho da Junção (m ³)	284.000

- Enrocamento:

✓ Canal de Derivação Esquerdo (m ³)	1.250.000
✓ Canal de Derivação Direito (m ³)	1.240.000
✓ Canal de Derivação Trecho da Junção (m ³)	850.000

- Transições:

✓ Canal de Derivação Esquerdo (m ³)	210.000
✓ Canal de Derivação Direito (m ³)	205.000
✓ Canal de Derivação Trecho da Junção (m ³)	140.000

- Picos Mensais de Produção (obras civis):
 - ✓ Lançamento de Concreto (m³) 37.000
 - ✓ Enrocamento /Transições (m³) 130.000
 - ✓ Escavação Comum (m³) 500.000
 - ✓ Escavação de Rocha (m³) 1.250.000
- Fontes de Materiais e Bota-Fora
 - Rocha: escavações obrigatórias.
 - Areia: depósitos situados no rio Xingu, na margem direita, em frente aos Canais de Derivação.
 - Os bota-fora dos materiais escavados comum e rocha estarão localizados nas áreas ao lado e entre os Canais de Derivação e dentro do reservatório dos canais. Estima-se de 20 a 30 m a altura destes bota-fora nas pilhas dos materiais e a distância média de transporte deverá ser de 1,5 km aproximadamente (vide **Desenho BEL-V-30-100-0018 - Apêndice 4.57 – Volume 3**).
 - Acesso aos canteiros (vide **Desenho BEL-V-10-100-0022 - (Apêndice 4.51 – Volume 3)**): o acesso de materiais, equipamentos e mão-de-obra será feito pelo Travessão km 27.
- Outros Condicionantes
 - Para a estimativa da capacidade horária dos pátios de produção foi adotado um regime mensal de 500 horas totais de operação.
 - Declividade máxima adotada para as vias de serviço: 7%.
 - O pico de mão-de-obra para as obras de construção civil e montagem Eletromecânica é estimado em aproximadamente 6.200 pessoas.
 - Traço médio do concreto: obtido pela média ponderada dos traços propostos para diferentes diâmetros máximos de agregados

1.2) Dimensionamento do Canteiro

- Pátio de Concreto

O volume total de concreto necessário à execução das estruturas foi estimado em aproximadamente 1.100.000 m³, apresentando um pico máximo mensal de 37.100 m³.

Procurando-se minimizar as distâncias de transporte, o pátio de concreto será posicionado nas proximidades dos principais canais, cujas distâncias são:

✓ Canal de Derivação Esquerdo (km)	3
✓ Canal de Derivação Direito (km)	7
✓ Canal de Derivação Trecho da Junção (km)	7

Considerando-se que o histograma de lançamento apresenta um pico relativamente longo, optou-se por dimensionar a central de concreto para um patamar de maior duração, com uma margem adicional de 20% para cobrir os meses de pico. Assim, foi obtida uma capacidade nominal para a central de 105 m³/h, sendo proposta a instalação de duas centrais (dosadoras/misturadoras tipo torre) com capacidade nominal de 70 m³/h cada, também podendo ser prevista a pulverização de centrais de concretos para diminuir as distâncias de transporte, ficando este novo planejamento a cargo do construtor.

Para a determinação da capacidade dos estoques de aglomerantes foi adotado o critério de estocagem para 20 dias de consumo, de onde, para o mês de pico, foram obtidos os seguintes quantitativos relativos ao estoque mínimo de cimento:

✓ Consumo médio (kg/m ³)	320
✓ Consumo mensal (t)	11.800
✓ Capacidade mínima de estoque (t)	8.000

Admitiu-se que o fornecimento de cimento será feito em *containers* plásticos de 1,5 t, supondo a sua estocagem em silos metálicos.

- Pátio de Areia

O consumo de areia previsto para o conjunto das obras no Sítio dos Canais de Derivação alcança um total aproximado de 800.000 t, a ser utilizada como material para filtros e como agregado fino para concreto.

Como fonte de areia foi pesquisada e delimitada uma jazida existente no leito do rio, situada 6 km a jusante do Canal de Derivação Direito, com volume estimado de mais de 500.000 m³. As análises realizadas com amostras destas jazidas indicaram a presença de uma areia limpa, com granulometria de média a fina e aparentemente homogênea.

A extração do material deverá ser feita por meio de dragagem, com carregamento e transporte por caminhões para locais de descarga nas proximidades do canteiro.

Para o dimensionamento do pátio de areia, considerando a proposta de beneficiamento apenas dos volumes requeridos pelo concreto, foi obtida a capacidade horária nominal de 60 t/h.

Prevê-se para o pátio uma instalação de beneficiamento composta por uma torre de peneiramento, classificação, lavagem e desaguamento de areia, alimentada por transportador de correia. O transporte de areia lavada para o pátio de concreto foi proposto também por correia. Supondo-se a operação contínua do pátio, garantida pelos estoques reguladores de material dragado, adotou-se para a capacidade de estoque de areia lavada para concreto um volume correspondente ao consumo de 15 dias no mês de pico, ou seja, 13.000 t.

Este volume foi distribuído em pilhas no pátio de areia e no de concreto.

- Pátio de Britagem

Pelas especificações atuais são os seguintes os materiais britados previstos para as obras do Sítio Canal de Derivação:

- Concreto: Britas B1, B2 e B3
- Transições:
 - ✓ grossa: mistura de agregados distribuídos na faixa granulométrica 3 mm a 40 mm,
 - ✓ fina: agregado distribuído numa faixa com limites extremos entre 0,40 mm e 4,75 mm, aproximadamente.

Prevê-se que a transição fina, basicamente uma areia grossa e média, seja produzida por britagem de rocha, face à excessiva finura da areia natural encontrada no local.

Visando ampliar o período de utilização da capacidade plena da central, em troca da manutenção de estoques reguladores de pedra britada, optou-se, nos Estudos de Viabilidade, por dimensionar o equipamento para uma produção inferior ao pico de consumo total. Adotou-se uma capacidade de produção de 30.000 t mensais, o que garante o suprimento integral dos agregados para concreto no pico e requer uma estocagem mínima de 15 dias de materiais para transição, da ordem de 15.000 t.

Admitindo-se para fins de dimensionamento da central de britagem uma capacidade adicional de 20% como segurança à produção das frações mais críticas e utilizando os coeficientes recomendados por fabricantes de equipamentos, resultou a capacidade nominal da instalação (no britador primário) de 80 t/h.

Prevê-se que os agregados para concreto sejam integralmente estocados no pátio de britagem. Para as transições, face às grandes distâncias de transporte ao local de aplicação, os estoques necessários serão empilhados próximos às frentes de lançamento. O pulmão poderá conter um volume adicional correspondente a 5 dias de produção plena, ou seja, 5.000 t.

- Central de Ar Comprimido

A produção de ar comprimido no canteiro de obras do Sítio dos Canais de Derivação destina-se, na sua maior parte, à escavação de rocha, à concretagem e ao tratamento de fundações.

Observa-se que no Sítio dos Canais de Derivação a totalidade dos serviços de escavação de rocha e concretagem distribui-se num raio médio de 7 km do canteiro. Optou-se, então, em pulverizar os compressores a diesel próximos às áreas de serviços.

Analisando-se os histogramas de lançamento de concreto e escavação de rocha, e estimando-se os respectivos consumos de ar comprimido, foi adotado o consumo específico igual a 80 pcm por m³/h de concreto produzido (já incluídas as perdas). Para um pico horário de 55 m³/h (55 m³/h x coeficiente de eficiência) resulta um consumo de 4.400 pcm.

Em resumo, a central de ar comprimido deverá ter a seguinte capacidade de produção:

✓ escavação em rocha (pcm)	35.000
✓ concreto/montagem/fundações/pátios (pcm)	4.400
✓ perdas (15% sobre 35.000) (pcm)	5.250
✓ consumo total (pcm)	44.650

Poderão ser adotados 90 compressores móveis de aproximadamente 500 pcm.

- Demais Áreas

Na determinação das dimensões das demais áreas do canteiro total e edificada foi utilizado como regra geral o critério estimativo. São as seguintes áreas dimensionadas:

	Edificada	Lote
✓ Pátio de Armação (m ²)	1.200	5.000
✓ Escritórios Principais (m ²)	700	2.200
✓ Pátios de Abastecimento e Lubrificação (m ²)	200	1.500
✓ Oficina Mecânica (civil) (m ²)	500	1.000

2) CANTEIRO DO SÍTIO DIQUES/CANAIS DE ADUÇÃO/BELA VISTA

2.1) Condicionantes

- Quantitativos das Obras

- Estruturas de concreto:

✓ Vertedouro Complementar (m ³)	47.200
✓ Muros (m ³)	16.300

- Obras de Escavação Comum

✓ Canais de Transposição (adução p/ Tomada D'Água CTPT 1, CTPT 2, CTPT 3, CTCC, CTTC) (m ³)	13.280.000
✓ Diques 10 A a 20 (m ³)	708.000
✓ Diques 23 a 29 (m ³)	195.000
✓ Vertedouro Complementar (m ³)	1.259.000
✓ Outras escavações (m ³)	2.000.000

- Obras de Escavação em Rocha
 - ✓ Vertedouro Complementar (m³) 175.000
 - ✓ Canal de Transposição CTPT1 (m³) 400.000
- Obras de Terra/Enrocamento:
 - ✓ Barragem Lateral Esquerda (m³) 211.000
 - ✓ Barragem Lateral Direita (m³) 187.000
 - ✓ Diques da ME do sítio Bela Vista (m³) 6.703.000
 - ✓ Diques da MD do sítio Bela Vista (m³) 1.641.000
- Montagem Eletromecânica:
 - ✓ Montagem (kN) 17.000
 - ✓ Fabricação (kN) 2.000
- Picos Mensais de Produção:
- Obras Civas:
 - ✓ Lançamento de Concreto (m³) 2.700
 - ✓ Solo Compactado/Enrocamentos (m³) 494.000
 - ✓ Escavação Comum (m³) 704.000
 - ✓ Escavação de Rocha (m³) 17.000
- Montagem Eletromecânica:
 - ✓ Montagem (kN) 2.000
 - ✓ Fabricação (kN) 200
- Fontes de Materiais
 - Solos: áreas de empréstimos identificadas nos estudos de seqüência construtiva
 - Rocha: escavações obrigatórias e pedreiras localizadas no leito do rio Xingu
 - Areia: depósitos situados no leito do rio, constituídos de areia média a fina, aparentemente homogênea.

A origem e destino dos materiais terrosos e pétreos no Sítio Bela Vista estão mostrados no **Desenho BEL-V-10-100-0026 (Apêndice 4.31 – Volume 3)**

- Acesso à Obra

O acesso de materiais, equipamentos e mão-de-obra será feito pelo Travessão km 55, conforme indicado no **Desenho BEL-V-10-100-0024 (Apêndice 4.3 – Volume 3)**.

- Outros Condicionantes

- Para a estimativa da capacidade horária dos pátios de produção foi adotado um regime mensal de 500 horas totais de operação.
- Declividade máxima adotada para as vias de serviço: 7%.
- O pico de mão-de-obra neste sítio para as obras de construção civil e montagem Eletromecânica é estimado em aproximadamente 1.180 pessoas.
- Traço médio do concreto - obtido pela média ponderada dos traços propostos para diferentes diâmetros máximos de agregados.

2.2 Dimensionamento do Canteiro

- Pátio de Concreto

O volume total de concreto necessário à execução das estruturas foi estimado em aproximadamente 64.000 m³, apresentando um pico máximo mensal de 2.700 m³.

Procurando-se minimizar as distâncias de transporte, o pátio de concreto foi posicionado nas proximidades das principais estruturas (Vertedouro Complementar e muros).

Considerando-se que o histograma de lançamento apresenta um pico relativamente acentuado, optou-se por dimensionar a central de concreto para um patamar intermediário de maior duração, com uma margem adicional de 20% para cobrir os meses de pico, obtendo-se uma capacidade nominal para a central de 10 m³/h. Assim, foi proposta a instalação de uma central (dosadora/misturadora tipo torre) com capacidade nominal de 15 m³/h.

Para a determinação da capacidade dos estoques de aglomerantes foi adotado o critério de estocagem para 20 dias de consumo. Admitiu-se que o fornecimento de cimento e Pozolana seja feito em *containers* plásticos de 1,5 t, e supondo a estocagem em silos metálicos.

- Pátio de Areia

O consumo de areia previsto para o conjunto das obras no sítio em questão alcança um total aproximado de 110.000 t, a ser utilizado como material para filtros e como agregado fino para concreto. Como fonte de areia foi pesquisada e delimitada uma jazida existente no leito do rio, situada a 2 km a jusante do Vertedouro Complementar, com volume estimado de mais de 500.000 m³.

As análises realizadas com amostras destas jazidas indicam as mesmas características das jazidas do Sítio dos Canais de Derivação.

A extração do material será feita por meio de dragagem e carregamento e transporte por caminhões para locais de descarga nas proximidades do canteiro e diques. A utilização em filtros do material bruto transportado será diretamente destes estoques.

Para o dimensionamento do pátio de areia obteve-se a capacidade horária nominal de 10 t/h.

As características da instalação de beneficiamento são idênticas às do Sítio dos Canais de Derivação. Supondo-se a operação contínua do pátio, garantida pelos estoques reguladores de material dragado, adotou-se para a capacidade de estoque de areia lavada para concreto um volume correspondente ao consumo de 15 dias no mês de pico, ou seja, 1.000 t. Este volume foi distribuído em pilhas no pátio de areia e no de concreto.

- Pátio de Britagem

As especificações e os critérios utilizados para dimensionamento foram os mesmos utilizados para o Sítio dos Canais de Derivação.

Visando ampliar o período de utilização da capacidade plena da central, em troca da manutenção de estoques reguladores de pedra britada, optou-se por dimensionar o equipamento para uma produção inferior ao pico de consumo total. Adotou-se uma capacidade de produção de 10.000 t mensais, o que garante o suprimento integral dos agregados para concreto no pico e requer uma estocagem mínima de 15 dias de materiais para transição, da ordem de 5.000 t.

Admitindo-se para fins de dimensionamento da central de britagem uma capacidade adicional de 20% como segurança à produção das frações mais críticas e utilizando os coeficientes recomendados por fabricantes de equipamentos, resultou a capacidade nominal da instalação (no britador primário) de 25 t/h.

Previu-se que os agregados para concreto sejam integralmente estocados no pátio de britagem. Para as transições, face às grandes distâncias de transporte ao local de aplicação os estoques necessários, estas serão empilhadas próximos às frentes de lançamento. O pulmão poderá conter um volume adicional correspondente a 5 dias de produção plena, ou seja, 3.000 t ou 2.000 m³.

- Central de Ar Comprimido

A produção de ar comprimido no canteiro de obras destina-se, na sua maior parte, à escavação de rocha, à concretagem, ao tratamento de fundações e aos serviços de montagem. Em quantidades menores requer-se ar comprimido também para as instalações do canteiro.

Observa-se que no Sítio Bela Vista a totalidade dos serviços de escavação de rocha e concretagem distribui-se numa área relativamente restrita. Optou-se por concentrar numa central única equipada com compressores elétricos. A central deverá ser posicionada nas vizinhanças da central de concreto.

Analisou-se os histogramas de lançamento de concreto e escavação de rocha e foram estimados os respectivos consumos de ar comprimido. Baseado nisto, foi adotado o consumo específico igual a 80 pcm por m³/h de concreto produzido (já incluídas as perdas). Para um pico horário de 10 m³/h (10 m³/h x coeficiente de eficiência) resulta um consumo de 800 pcm. Poderá ser adotado uma central com um compressor estacionário de aproximadamente 2.000 pcm.

- Canteiro de Montagem Eletromecânica

Este canteiro destina-se a fornecer a infra-estrutura de apoio aos serviços de montagem dos equipamentos eletromecânicos do Vertedouro Complementar.

Para a concepção básica deste canteiro, foram obtidas as áreas finais resumidas a seguir:

- Fabricação/Pintura/Manutenção

	Edificada	Lote
✓ oficina usinagem/caldeiraria/estruturas (m ²)	150	300
✓ oficina de manutenção (m ²)	50	200
✓ pátio sucata/pré-montados (m ²)		1.000
✓ estoque de matéria prima (m ²)		250
✓ galpão de pintura/pátio de jato e pintura (m ²)	50	500

- Estocagem de Materiais e Equipamentos

	Edificada	Lote
✓ almoxarifados gerais (m ²)	200	500
✓ pátios de estocagem (área comportas) (m ²)		3.000

Estas áreas foram agrupadas num canteiro único próximo à entrada principal.

- Demais Áreas

	Edificada	Lote
✓ Pátio de Armação (m ²)	100	1.000
✓ Escritórios Principais (m ²)	400	1.500
✓ Pátios de Abastecimento e Lubrificação (m ²)	40	1.500
✓ Oficina Mecânica (civil) (m ²)	200	1.000

APÊNDICE 4.9

Estudos de Estabilidade das Obras de Terra e Enrocamento no Compartimento Ambiental “Trecho de Restituição de Vazões”

Neste Apêndice apresenta-se uma abordagem detalhada dos estudos de estabilidade realizados, no âmbito dos Estudos de Viabilidade, para as obras de terra e enrocamento previstas para o compartimento ambiental “TRV”.

Os critérios gerais de projeto definidos nos Estudos de Viabilidade fixaram os fatores de segurança mínimos aceitáveis para os taludes de montante e de jusante das barragens para três condições básicas de solicitação, a saber: Final de Construção – F.S. igual a 1,30; Regime Permanente de Operação (para análise de estabilidade do talude de jusante – F.S. igual a 1,50; e Rebaixamento Rápido (para análise de estabilidade do talude de montante) – F.S. igual a 1,10. Ressalta-se que tais fatores admissíveis vêm ao encontro daqueles adotados na prática corrente nacional e intencional de engenharia de barragens. Observa-se ainda que esses fatores de segurança nos cálculos efetuados pressupõem o conhecimento dos parâmetros de resistência dos materiais de construção definidos em ensaios de laboratório.

Três casos particularmente merecem ressalva nas barragens do Sítio Belo Monte:

- Consideração de rebaixamentos de montante além das cotas normais de operação, condicionados por níveis mínimos fixados em função da soleira da Tomada d'Água Principal. Para esta condição "excepcional" (rebaixamento limite), considerou-se o FS igual a 1,0 como aceitável.
- Estudos de estabilidade nos quais a resistência residual do material de fundação (caso específico de folhelho/ritmito) foi considerada em análises de verificação. Para esta condição extrema, F.S. igual a 1,20 e F.S. igual a 1,30 para final de construção e regime permanente de operação, respectivamente, foram considerados satisfatórios, sempre que o F.S. para resistência de pico fosse superior a 1,50. Este critério justifica-se, principalmente, pelas incertezas que se tem no comportamento "tensão versus deformação" das seções concebidas para estes trechos.
- A análise de estabilidade envolveu superfícies de ruptura contidas em enrocamentos. A resistência ao cisalhamento dos enrocamentos foi definida por uma envoltória bilinear, daí podendo resultar valores de F.S. inferiores aos especificados, mas que na realidade são aparentes, uma vez que é fato reconhecido que a envoltória de enrocamentos é curva, com valores significativamente maiores para níveis baixos de tensão. Por essa razão, o valor de F.S. igual a 1,30 foi aceito para qualquer tipo de solicitação nos enrocamentos.

Todas as análises de estabilidade foram processadas avaliando, em acordo com o mais adequado para cada tipo de verificação, tanto potenciais superfícies circulares como não circulares de ruptura. Superfícies não circulares foram verificadas em todos os casos em que a fundação continha planos de menor resistência, condicionados à foliação da rocha matriz, e nos casos em que havia grande contraste de resistência entre materiais distintos.

Considerando-se o grande número de seções a analisar, muitas das quais de seção-tipo semelhante e apoiadas em fundação semelhante, optou-se por estudar os casos considerados mais críticos: maiores alturas e condições topográficas e geológicas desfavoráveis, extrapolando-se suas conclusões para os demais.

No **Quadro 4-9-1** são apresentados os parâmetros de resistência e pressão neutra dos diversos materiais de interesse na verificação dos fatores de segurança, bem como os valores dos pesos específicos. Estes parâmetros de resistência e pressão neutra foram obtidos a partir de ensaios

de laboratório. As pressões neutras para o caso de rebaixamento rápido foram consideradas a partir de redes de fluxo. Para a condição de regime permanente de operação do talude de jusante, foram consideradas linhas piezométricas para o filtro com gradientes de 5% a 7%, e linhas piezométricas para o fluxo pelas fundações obtidas pela rede de fluxo. A rede de fluxo forneceu também pressões neutras do aterro a montante do filtro vertical ou inclinado. Na condição de final de construção, o lençol freático foi considerado na superfície do terreno de fundação, tanto nas áreas de baixada como nas ombreiras.

No **Quadro 4-9-2** estão indicados os coeficientes de permeabilidade horizontal e vertical dos aterros compactados e dos materiais de fundação e no **Quadro 4-9-3** é apresentado o resumo dos estudos de estabilidade, em cada uma das obras.

Quadro 4-9-1
Parâmetros de Resistência Utilizados para Barragens do Sítio Belo Monte

Materiais	Densidade (tf/m ³)		Resistência		Pressão Neutra	
	Natural	Saturado	Coesão (tf/m ²)	Ø (graus)	Final de Construção	Regime de Operação
Aterros						
Solo compactado p/BLE e BLD (1)	1,9	2,0	4	26	B = 0 e 5%	Rede
Solo compactado p/BSA e Diques 6A, 6B, 6C (2)	2,0	2,05			B = 0 e 5%	
			9	18,4	B = 10 a 20%	
			1	28	—	Pressão estática
Enrocamento	2,1	2,2	0	45	—	Pressão estática
(3)			40	31		
Fundação						
Solos de rocha cristalina						
p/ Diques 6A, 6B, 6C, BLD e BSA	—	1,8	0	29	L. Freático	Rede
p/BLE				27	L. Freático	Rede
(4)						
Solos de folhelho/ritmito						
resistência de pico	—	1,9	1	18	L. Freático	Rede
resistência residual	—	1,8	0,5	11		
Rochas folhelho/ritmito	—	2,2	0		L. Freático	Rede

Notas: (1) Solo de alteração de granito-gnaiss das áreas D e F

(2) Solo de alteração de granito-gnaiss da Área A

(3) Valores provenientes de pesquisa bibliográfica

(4) Para BLE, BLD e BSA

Fonte: Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-9-2
Coeficientes de Permeabilidade dos Materiais

Materiais	σ_v (tf/m²)	K_h (cm/s)	K_v (cm/s)
Aterro			
Solo Compactado		$1,2 \times 10^{-6}$	3×10^{-7}
Filtro de Areia		1×10^{-2}	1×10^{-2}
Fundação			
Solos de Migmatito	$\sigma_v = 0$ tf/m ²	$1,2 \times 10^{-3}$	6×10^{-4}
	$0 < \sigma_v \leq 50$ tf/m ²	4×10^{-4}	1×10^{-4}
	$\sigma_v > 50$ tf/m ²	4×10^{-5}	1×10^{-5}
Aluvião		5×10^{-5}	5×10^{-5}
Solos de folhelhos/ritmito			
Para BLD	$\sigma_v \leq 30$ tf/m ²	4×10^{-5}	1×10^{-5}
	$\sigma_v > 30$ tf/m ²	$1,2 \times 10^{-6}$	3×10^{-7}
Para BSA	$\sigma_v \leq 40$ tf/m ²	8×10^{-5}	2×10^{-5}
	$\sigma_v > 40$ tf/m ²	8×10^{-6}	2×10^{-6}
Para BLE		4×10^{-5}	1×10^{-5}
Rocha Cristalina (20 m superficial)			
Para BLE		4×10^{-5}	1×10^{-5}
Para BSA e Diques 6A, 6B, 6C		1×10^{-3}	1×10^{-3}
Rocha folhelho/ritmito			
Para BLD, BLE e BSA		4×10^{-4}	1×10^{-4}

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

Quadro 4-9-3
Fatores de Segurança das Barragens do Sítio Belo Monte

Barragens	Seção	Condições		Tipo de Ruptura (Sup. de escorreg.)
		Final de Montante	Reg. Permanen. Jusante	
Barragem Lateral Direita		1,24**	1,45***	Circular**/Planar***
Barragem Lateral Esquerda	Baixada	1,46	1,76	Planar
	Ombreira	1,2*	1,3*	Planar
Barragem de Santo Antônio	Ombreira	1,22****	1,3****	Planar
	Baixada	1,55	1,51	Planar
	Ombreira Esquerda	1,23****	1,26****	Planar

Notas

- * Fatores de segurança extrapolados de outras seções análogas analisadas
- ** Superfície crítica circular
- *** Superfície crítica planar
- **** Na Barragem de Santo Antônio: FS calculados com τ residual - BLD, BLE ombreira, BSA Ombreira Direita e Ombreira Esquerda

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

APÊNDICE 4.10

Condições, Tratamentos de Fundação e Resultados dos Estudos de Estabilidade das Estruturas de Concreto no Compartimento Ambiental “Trecho de Restituição de Vazões”

1) TOMADA D'ÁGUA PRINCIPAL/CONDUTOS FORÇADOS

1.1) Condições e Tratamento de Fundação

Conforme pode ser depreendido a partir do mapa geológico apresentado no **Desenho BEL-V-10-190-0062 (Apêndice 4.64 - Volume 3)**, o local é constituído, predominantemente, por rochas migmatíticas com boas características para fundação de estrutura de concreto. As cotas de escavação foram estabelecidas buscando-se fundar os blocos de concreto em maciço são (A1) com baixo grau de fraturamento (F1/F2), de forma que a fundação seja constituída por maciço de resistência elevada e módulo de deformabilidade compatível com a estrutura (vide seção longitudinal apresentada no **Desenho BEL-V-10-100-0074 - (Apêndice 4.60 - Volume 3)**). Foi também levada em conta a permeabilidade do maciço para definição do critério de tratamento profundo da fundação.

Respeitando os aspectos geomecânicos e para facilidade de construção, modulou-se a escavação por blocos com fundação variável desde a cota 41,0 m, no extremo direito, até 28,5 m junto ao Muro de Transição Esquerdo, na linha de montante e, igualmente, na linha de jusante, desde a cota 38,5 m até 28,5 m.

Estudos da compartimentação do maciço revelam ser este relativamente isotrópico quanto às discontinuidades, não se ajustando ao modelo de Barton (1976) para análise de superfícies de deslizamento. Assim, os parâmetros de resistência para qualquer superfície de análise foram calculados segundo o modelo de Hoek (1983), que o resultou na expressão $\tau = 0,5 + \sigma \operatorname{tg} 53^\circ$ (MPa). O maciço da fundação apresenta, ainda, zonas cataclásadas localizadas, de espessuras métricas e submétricas, com maior grau de fraturamento (F4), mas com atitudes que não desfavorecem a estabilidade dos blocos da Tomada d'Água. Para a deformabilidade do maciço foi adotado o módulo $E = 35 \text{ GPa}$, com base na velocidade média de propagação de onda compressiva, $V_p = 6.000 \text{ m/s}$, obtida para o maciço através de sísmica de refração. Para o coeficiente de Poisson foi adotado o valor de $\nu = 0,25$. Estes valores são considerados válidos para toda a fundação da Tomada d'Água, embora a compartimentação do maciço mostre uma incidência de juntas subhorizontais a inclinadas para jusante nos primeiros oito blocos junto ao Muro de Transição Direito.

Como pode ser observado no corte transversal típico apresentado no **Desenho BEL-V-10-101-0035 (Apêndice 4.71 - Volume 3)**, está prevista uma cortina de injeções a partir da galeria da Tomada d'Água, constituída de duas linhas inclinadas para montante de 19° e 23° até a cota -10,0 m. As injeções terão espaçamento de 3 m e inclinação lateral de 20° para o lado da ombreira esquerda da estrutura, de modo a interceptar as famílias de juntas de direção N-S, que mergulham para o MTD. A linha de furos de jusante deve ser executada inicialmente com o dobro do espaçamento fixado, sendo os furos intermediários executados quando necessário. A linha de montante é eventual e somente será executada quando for constatada elevada absorção nos furos adjacentes da linha de jusante. A cortina prossegue sob os muros direito e esquerdo, indo até os núcleos das barragens de ligação, onde serão executados os leques de compatibilização.

A drenagem profunda compõe-se de um sistema de duas linhas de furos verticais. A linha superior interliga a galeria existente na estrutura com a abóbada do túnel escavado na rocha de fundação que corre paralelamente à galeria, aproximadamente na cota 16,0 m. A linha dos furos inferiores liga o piso do túnel à cota 0,0 m. Todos esses furos são espaçados de 3 m. O túnel foi introduzido no projeto por ser um elemento drenante contínuo, de grande capacidade

de vazão por gravidade, eliminando a situação de bombeamento inoperante na condição de carregamento limite. Os furos superiores que o comunicam à galeria interceptam todas as fraturas subhorizontais acima do seu teto e o próprio túnel intercepta as fraturas subverticais. A drenagem nestes furos, por ser descendente, gera uma auto-limpeza, eliminando em grande parte a necessidade de limpeza de manutenção.

Para os furos abertos a partir do piso do túnel, a pressão máxima nos drenos é definida pela cota 16,0 m. O túnel possui caimentos longitudinais para encaminhamento por gravidade das águas por ele coletadas, que escoam para céu aberto por meio de três galerias situadas em cada extremo e no meio da estrutura da Tomada d'Água.

Em função do sistema de fraturamento observado nas sondagens, foi também definido um sistema de drenagem superficial, constituído por linhas de meias-canais, implantado sobre o concreto de regularização e interligado à rocha por meio de furos verticais. As meias-canais estão distribuídas perpendicularmente ao eixo longitudinal e interligadas à galeria, com espaçamento de 6,6 m.

1.2) Estudos de Estabilidade

A estrutura da Tomada d'Água foi verificada quanto à flutuação e ao deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões na sua base. Os resultados destas verificações são mostrados no **Quadro 4-10-1**, observando-se que todos mostram-se superiores àqueles limites considerados como minimamente admissíveis.

Quadro 4.-10-1
Tomada d'Água - Fatores de Segurança

Estrutura	Bloco	Verificação- Carregamento	Flutuação		Deslizamento		Tensões de Compressão na Base (MPa) Montantes/Jusante
			FS CAL	FS PROJ	FS CAL	FS PROJ	
Tomada D'Água	1 Fund. Cota 28,5 m	CCC	—	—	—	—	1,26 - 0,42
		CCN	18,1	1,5	2,2	1,0	0,48 - 1,28
		CCE	9,2	1,3	2,3	1,0	0,31 - 1,35

CCN - Caso de Carregamento Normal

CCE - Caso de Carregamento Excepcional

CCC - Caso de Carregamento de Construção

FS CAL - Coeficiente de Segurança Calculado

FS PROJ - Coeficiente de Segurança dos Critérios de Projeto

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

2) CASA DE FORÇA PRINCIPAL

2.1) Condições e Tratamento de Fundação

Conforme pode ser observado no mapa geológico apresentado no **Desenho BEL-V-10-190-0062 (Apêndice 4.64 - Volume 3)**, no local da Casa de Força Principal o maciço rochoso, abaixo da cota -32,0 m, apresenta boas características geomecânicas para suporte da estrutura, sendo representado por rocha migmatítica pouco fraturada (F1/F2) e sã (A1), que foi investigada por sondagens até a cota -40,0 m. Foram considerados os mesmos parâmetros geomecânicos adotados para o maciço de fundação da estrutura da Tomada d'Água Principal.

O projeto prevê uma linha de injeções executada na extremidade de jusante da laje de concreto do tubo de sucção, visando minimizar o afluxo de água aos dois sistemas de drenagem previstos: o superficial e o profundo.

O sistema de drenagem superficial é constituído por linhas de meias-canas dispostas perpendicularmente ao eixo longitudinal, implantadas sobre o concreto de regularização da fundação e interligadas à rocha por furos verticais de 3 m de profundidade, espaçados de 3 m. As meias-canas possuem espaçamento de 5,5 m e escoam para a galeria situada no pé de montante da Casa de Força Principal. Esta galeria possui um sistema de drenagem profundo, constituído por furos espaçados de 3 m que atingem a cota 45,0 m. A água de drenagem captada nessa galeria é recolhida através de poços e bombeada para o Canal de Fuga, com saída prevista na cota 13,7 m.

As águas pluviais e as decorrentes da drenagem da Tomada d'Água Principal que seguem para o pátio a montante da Casa de Força Principal (cota 15,0 m) serão captadas por meio de uma calha e escoadas por gravidade até o Canal de Fuga.

2.2 Estudos de Estabilidade

A estrutura da Casa de Força Principal foi verificada quanto à flutuação e ao deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões na sua base. Os resultados destas verificações encontram-se no **Quadro 4-10-2**, observando-se que todos apresentam-se superiores aos valores adotados como minimamente admissíveis para as diferentes condições de carregamento.

Quadro 4-10-2
Casa de Força - Fatores de Segurança

Estrutura	Verificação- Carregamento	Flutuação		Deslizamento		Tensões de Compressão na Base (MPa) Montante/Jusante
		FS CAL	FS PROJ	FS CAL	FS PROJ	
	CCN	3,5	1,5	—	1,0	0,85 - 0,32
Casa de Força	CCE	2,6	1,3	—	1,0	0,82 - 0,18
	CCL	1,7	1,1	6,9	1,0	0,17 - 0,40
	CCC	2,0	1,1	—	1,0	0,54 - 0,03

CCN - Caso de Carregamento Normal

CCE - Caso de Carregamento Excepcional

CCL - Caso de Carregamento Limite

CCC - Caso de Carregamento de Construção

FS CAL - Coeficiente de Segurança Calculado

FS PROJ - Coeficiente de Segurança dos Critérios de Projeto

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

3) MUROS DE CONCRETO

3.1) Condições e Tratamento de Fundação

Conforme indicado no mapa geológico local constante do **Desenho BEL-V-10-190-0062 (Apêndice 4.64 - Volume 3)**, o MTE apresenta nas suas fundações rocha com características geomecânicas similares às da Tomada d'Água Principal. No local do MTD ocorrem ritmitos acima da cota 46,0 m, razão pela qual o projeto prevê a remoção integral do ritmito pouco coerente (C3) a medianamente coerente (C2), até atingir o maciço migmatítico com grau de alteração A1/A2 (vide planta de escavação no **Desenho BEL-V-12-100-0082 - Apêndice 4.68 - Volume 3**). Com isto ficam reduzidas as deformações de fundação, cujos parâmetros de deformabilidade são os mesmos da Tomada d'Água.

Estando os muros fundados em condições semelhantes às da Tomada d'Água Principal, os projetos dos sistemas de injeção e de drenagem superficial e profunda tiveram a mesma concepção adotada para aquela estrutura.

3.2 Estudos de Estabilidade

Os blocos do MTD e MTE tiveram sua estabilidade verificada quanto à flutuação e ao deslizamento, tendo sido também calculadas as tensões na sua base. A verificação de estabilidade foi efetuada considerando os blocos alinhados interligados entre si, como um bloco único. Os resultados das verificações encontram-se sintetizados no **Quadro 4-10-3**.

Quadro 4-10-3
Muro de Transição - Fatores de Segurança

Estrutura	Bloco	Verificação- Carregamento	Flutuação		Deslizamento		Tensões de Compressão na Base (MPa) Montante/Jusante
			FS CAL	FS PROJ	FS CAL	FS PROJ	
MTD	1	CCC	—	—	—	—	1,92 - 0,00
		CCN	7,0	1,5	8,0	1,0	1,32 - 0,02
		CCE	6,8	1,3	6,8	1,0	1,10 - 0,14
	e	CCC	—	—	7,0	1,0	1,46 - 0,22
		CCN	6,4	1,5	2,2	1,0	1,15 - 0,33
		CCE	6,2	1,3	2,4	1,0	1,27 - 0,17
MTE	1, 2	CCC	—	—	6,2	1,0	1,66 - 0,62
		CCN	6,1	1,5	2,0	1,0	1,76 - 0,23
		CCE	6,0	1,5	2,2	1,0	1,92 - 0,02
	4	CCC	—	—	—	—	1,99 - 0,00
		CCN	6,1	1,5	4,5	1,0	1,03 - 0,42
		CCE	6,0	1,3	4,2	1,0	0,76 - 0,59

CCN - Caso de Carregamento Normal

CCE - Caso de Carregamento Excepcional

CCC - Caso de Carregamento de Construção

FS CAL - Coeficiente de Segurança Calculado

FS PROJ - Coeficiente de Segurança dos Critérios de Projeto

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE, 2002

APÊNDICE 4.11

Equipamentos Eletromecânicos Principais e Auxiliares das Estruturas de Concreto no Compartimento Ambiental “Trecho de Testituição de Vazões”

1) TOMADA D'ÁGUA PRINCIPAL/CONDUTOS FORÇADOS

1.1) Equipamentos Mecânicos Principais e Auxiliares (Desenho BEL-V-18-200-0001)

- Grades

As grades são previstas para evitar a passagem de detritos que, por suas dimensões, possam danificar as turbinas hidráulicas da Casa de Força Principal. Elas são instaladas nas entradas da Tomada d'Água e são do tipo removível, deslocando-se através de guias de aço, por ocasião de sua colocação ou retirada. Cada entrada possui três aberturas, separadas por dois pilares e, em cada uma delas, serão instalados painéis de grades, constituídos por seis elementos iguais e intercambiáveis e mais um elemento superior, provido de uma rampa inclinada para troca de posição das guias das rodas do rastelo da máquina limpa-grades. Os elementos intercambiáveis têm 5,5 m de largura por 4,2 m de altura, enquanto o elemento superior tem altura de 4,8 m. Os elementos das grades são constituídos, estruturalmente, por barras verticais de aço, igualmente espaçadas, suportadas a intervalos regulares por barras horizontais apoiadas nas extremidades em vigas de cabeceira, que transmitem os esforços atuantes no painel para as guias de aço embutidas na estrutura de concreto. As operações de colocação e retirada dos elementos das grades serão feitas através de uma viga pescadora acoplada ao gancho auxiliar do pórtico rolante.

As características técnicas principais das grades são:

- tipo	removível
- quantidade de aberturas	60
- quantidade de elementos por painel	7
- quantidade de vigas pescadoras	1
- cota da soleira das grades (m)	61,55
- cota do topo das grades (m)	91,50
- espaçamento entre barras verticais (mm)	150,00
- inclinação do paramento com a vertical (graus)	11,31
- peso de cada elemento de painel (kN)	60,00
- peso total de cada painel de grades (kN)	410,00
- peso das peças fixas de cada abertura (kN)	100,00

- Limpa-grades

Duas máquinas limpa-grades são responsáveis pela remoção dos detritos acumulados na frente das grades de proteção, como toras de madeira, aguapés e outros detritos. Seu modo de operação pode ser automático, para um ciclo de limpeza completo dos painéis, ou sob comando do operador da máquina.

Os detritos recolhidos pelas máquinas limpa-grades serão depositados em uma vagoneta basculante, solidária à máquina, que os transportará e descarregará em local previsto para esse fim. As operações de limpeza dos painéis de grade serão realizadas por um rastelo que se

movimentará sobre o paramento e sobre as grades, suspenso por um guincho instalado na parte superior da máquina. O rastelo desce aberto empurrando os detritos para baixo, até a soleira, quando então se fecha, trazendo o material para cima, para descarregá-lo na vagoneta.

Para a remoção dos detritos flutuantes, as máquinas limpa-grades possuem uma lança giratória com talha elétrica e um dispositivo de pesca, girando ao redor de uma das pernas do lado montante da estrutura da máquina.

O guincho de levantamento do rastelo está instalado sobre uma estrutura apoiada rigidamente sobre quatro pernas e protegido por uma cobertura metálica provida de janelas envidraçadas. Em suas extremidades inferiores, paralelamente aos trilhos de rolamento, as pernas são interligadas por vigas de cabeceira, nas quais alojam-se as rodas de translação da máquina.

As máquinas limpa-grades deslocam-se sobre trilhos instalados em vigas de concreto, na elevação 99,0 m, sendo o trilho de montante comum ao pórtico rolante da Tomada d'Água. A alimentação elétrica é feita através de um sistema de barramento rígido, constituído por quatro barras de perfil de aço com cabeça de cobre, instalado ao longo da Tomada d'Água e comum também ao pórtico rolante da Tomada d'Água.

As características técnicas principais das máquinas limpa-grades são:

- tipo	de ciclo automático
- quantidade	2
- capacidade volumétrica do rastelo (m ³)	1
- capacidade nominal do guincho pesca-toras (kN)	20,0
- distância entre as linhas de centro dos trilhos (m)	4,6
- capacidade volumétrica da vagoneta (m ³)	6,0
- curso do rastelo no plano do paramento (m)	43,0
- curso do guincho pesca-toras (m)	16,0
- extensão do caminho de rolamento (m)	678,0
- peso da máquina limpa-grades (kN)	260,0
- peso do caminho de rolamento (somente trilhos de jusante) (kN)	300,0
- peso das peças fixas de uma abertura (kN)	100,0

- Comportas Ensecadeiras

Para garantir o ensecamento de um trecho do circuito de adução, a partir da comporta de emergência, são previstos dois jogos de comportas ensecadeiras, permitindo a manutenção simultânea de duas unidades.

As comportas ensecadeiras deslizam em ranhuras verticais, localizadas a montante das comportas de emergência e que abrigam guias de aço embutidas no concreto, para receber os esforços da barra deslizante da comporta e transmití-los para a estrutura de concreto.

Cada comporta ensecadeira é composta por quatro elementos de seções diferentes, que trabalham simplesmente apoiados um sobre o outro. Os elementos são constituídos por uma chapa plana a jusante, reforçada por vigas horizontais e verticais. O contato com as guias de deslizamento é estabelecido através de barras de bronze e as vedações localizam-se no lado de jusante.

As comportas ensecadeiras operam em condições de equilíbrio de pressões, manuseadas pelo pórtico rolante da Tomada d'Água, através de uma viga pescadora. O enchimento da câmara entre a comporta de emergência e a comporta ensecadeira, para a equalização da pressão, é realizado através das válvulas *by pass* no elemento superior, acionadas pela ação do peso da viga pescadora. A armazenagem das comportas ensecadeiras é feita nas próprias ranhuras, através de dispositivos e calagem.

As características técnicas das comportas ensecadeiras são:

- tipo	ensecadeira
- quantidade	2
- número de elementos por comporta	4
- número de jogos de peças fixas	20
- vão livre (m)	9,60
- Altura livre (m)	15,43
- Cota da soleira (m)	64,55
- Nível d'água máximo normal (m)	96,00
- peso do elemento mais pesado (kN)	280,00
- peso de cada comporta (kN)	1.080,00
- peso da viga pescadora (kN)	40,00
- peso de cada jogo de peças fixas (kN)	140,00

- Comportas de Emergência

Cada uma das 20 unidades geradoras é protegida por uma comporta do tipo vagão, com vedação a montante, para fechamento de emergência da Tomada d'Água, sob quaisquer condições de nível e vazão. As comportas são constituídas por elementos sobrepostos e unidos entre si por ligações parafusadas e os elementos constituídos por chapa de face plana a montante, reforçada por vigas verticais e horizontais. Estas descarregam os esforços sobre as vigas de cabeceira, onde se localizam as rodas que transmitem o esforço hidráulico da comporta para as guias de aço embutidas na estrutura de concreto.

Na cota 94,0 m encontram-se as salas para instalação das centrais hidráulicas de acionamento das comportas, uma para cada dois blocos, e quatro salas previstas para a instalação de equipamentos elétricos. Cada comporta é manobrada por um servomotor de simples efeito, comandado por uma central óleo-hidráulica localizada numa sala, entre as unidades. Cada central óleo-hidráulica pode, por sua vez, comandar qualquer um dos servomotores de

acionamento das comportas adjacentes a cada sala. O fechamento é feito somente sob a ação do peso da comporta, sob quaisquer condições de nível d'água e vazão. O enchimento do conduto forçado é feito por *cracking* da comporta.

As características técnicas principais das comportas de emergência são:

- tipo	vagão
- Quantidade	20
- Quantidade de jogos de peças fixas	20
- Vão livre (m)	9,60
- Altura livre (m)	14,30
- Nível d'água máximo normal (m)	96,00
- Cota da soleira (m)	64,45
- Peso da comporta (kN)	1.400,00
- peso de cada jogo de peças fixas (kN)	260,00

- Pórtico Rolante

Para a montagem, a instalação e a retirada das comportas de emergência, dos elementos das comportas ensecadeiras e dos elementos dos painéis de grades está previsto um pórtico rolante operando ao longo da Tomada d'Água, provido de um guincho principal de 1.600 kN de capacidade, para o manuseio das comportas, e de um guincho auxiliar de 100 kN de capacidade, para o manuseio das grades. Os dois guinchos são instalados sobre a estrutura de um carro móvel sobre as vigas principais da estrutura do pórtico, transversalmente ao caminho de rolamento. O quadro superior da estrutura do pórtico, constituído pelas vigas principais e vigas de interligação lateral, apóia-se sobre as quatro pernas, completando-se o conjunto estrutural com a ligação inferior das pernas, no sentido paralelo ao dos trilhos. Os apoios da estrutura sobre os truques são articulados, de modo a equalizar as cargas sobre as rodas e a abertura entre as pernas do lado montante suficiente para permitir a passagem dos elementos dos painéis de grade do balanço para o meio do vão. Os trilhos de rolamento do pórtico são instalados em vigas de concreto, na cota 99,0 m, sendo o trilho do lado montante comum também às máquinas limpa-grades.

A alimentação elétrica é feita através de um sistema de barramento rígido, constituído por quatro barras de perfil de aço com cabeça de cobre, instalado ao longo da Tomada d'Água Principal e comum também às máquinas limpa-grades.

As características técnicas principais do pórtico rolante são:

- quantidade	1
- capacidade nominal de levantamento	
✓ guincho principal (kN)	1.600,0
✓ guincho auxiliar (kN)	100,0

- distância entre as linhas de centro dos trilhos (m)	9
- curso de levantamento	
✓ guincho principal (m)	48,0
✓ guincho auxiliar (m)	51,0
- extensão do caminho de rolamento (m)	678,0
- peso do pórtico rolante (kN)	1.700,0
• Condutos Forçados	

Os 20 condutos forçados que alimentam as turbinas hidráulicas têm, no seu trecho inicial, uma inclinação de 32° 21'28" em relação à horizontal. No seu segundo trecho, essa inclinação passa a ser de 45°. Na transição entre esses dois trechos, assim como na ligação com a respectiva caixa espiral, os condutos são curvos, com um raio igual a 33,6 m.

Os condutos forçados serão de chapas de aço calandradas, com comprimento total de 112 m cada um. A curva de transição entre o primeiro e o segundo trechos retos estará apoiada sobre um bloco de concreto e, logo a jusante desse bloco, está prevista uma junta de expansão, permitindo a absorção de deslocamentos longitudinais devidos à expansão ou contração térmicas, e de pequenas deflexões transversais devidas aos esforços dinâmicos na curva citada.

O diâmetro interno previsto para os condutos é de 11,2 m, que na curva final se reduz gradualmente até a junção com a caixa espiral.

Os condutos estão dimensionados para resistir à pressão interna máxima, sendo a sobrepressão máxima estimada de 20,8% a 24,1%, considerando-se um tempo de fechamento, a ser confirmado no Projeto Básico de Engenharia, de 7 a 8 segundos.

As características técnicas principais dos condutos forçados são:

- tipo	auto-portante
- quantidade	20
- diâmetro interno (m)	11,20
- comprimento total do conduto (m)	112,00
- curvas	
✓ raio (m)	33,60
✓ ângulo de curva superior (graus)	12,64
✓ ângulo da curva inferior (graus)	45,00
- massa de cada conduto forçado (t)	1.415,00

• Sistema de Ar Comprimido

Este sistema tem como finalidade fornecer ar comprimido para a utilização em ferramentas pneumáticas, limpeza e pintura. O sistema é composto basicamente por um compressor do tipo parafuso com capacidade de 2,1 m³ /min, pressão de 700 kPa, potência de 15,0 kW,

dotado de um reservatório de 2,0 m³, e complementado por uma rede de tubulação, com os seus diversos dispositivos e acessórios.

O sistema fornece o ar comprimido para a crista da barragem, distribuindo-o em três pontos em toda a extensão da mesma. Além destes pontos, são servidas por ar comprimido as salas das centrais hidráulicas localizadas entre as unidades, totalizando 10 pontos de abastecimento neste nível. As câmaras de acesso às comportas, localizadas entre as unidades, na elevação 65,0 m, também possuem tomadas de ar comprimido.

2) CASA DE FORÇA PRINCIPAL/ÁREA DE MONTAGEM/EDIFÍCIO DE COMANDO

2.1) Equipamentos Eletromecânicos Principais (Desenho BEL-V-20-101-0003 - Apêndice 4.72 - Volume 3)

- Turbinas Hidráulicas

As turbinas hidráulicas são do tipo Francis de eixo vertical, em número de 20, com potência nominal de 560 MW, quando trabalhando sob queda líquida nominal de 87,5 m, e uma vazão aproximada de 695,0 m³/s com abertura plena do distribuidor. A rotação nominal é de 85,71 rpm, correspondente à rotação síncrona de um gerador de 84 pólos. A rotação específica, neste caso, é de 240 (kW, m, rpm), correspondente a um coeficiente característico do estado da arte "K" de 2.245, valor este compatível com o atual estágio de desenvolvimento tecnológico das turbinas hidráulicas, corroborado pelas últimas realizações no campo de fabricação de grandes turbinas Francis.

A fim de garantir um ótimo comportamento operacional, sem desgaste além dos limites previsíveis e admissíveis devido à cavitação, foram adotados valores seguros para a calagem das turbinas.

Será previsto um sistema de monitoramento da turbina, dotado de autodiagnóstico, com a finalidade de otimizar a manutenção, evitando paradas não programadas, e permitir o acompanhamento *on line* das unidades, remotamente, em tempo real.

As características das turbinas hidráulicas são:

- número de turbinas	20
- tipo	Francis/eixo vertical
- potência nominal (MW)	560,0
- queda líquida nominal (m)	87,5
- vazão aproximada sob queda nominal (m ³ /s)	695,0
- queda líquida máxima (m)	94,12
- queda líquida mínima (m)	82,68
- rotação síncrona (rpm)	85,71
- rotação específica sob condições nominais (kW,m,rpm)	240,0
- diâmetro de saída do rotor (m)	8,4

- cota da linha de centro do distribuidor (m)	-3,0
- peso do rotor (kN)	2.700,0
- peso de cada turbina (kN)	20.000,0
- peso total do fornecimento (kN)	400.000,0

- Pontes Rolantes da Casa de Força Principal

A Casa de Força Principal está equipada com duas pontes rolantes. Cada ponte rolante possui dois carros, sendo que em um deles existe um guincho principal e um auxiliar; no outro, apenas um guincho.

No arranjo físico das pontes rolantes, os dois carros são montados em posições invertidas, de maneira que o percurso transversal pela Casa de Força Principal que o guincho de 320,0 kN de uma das pontes rolantes não puder atingir seja coberto pelo respectivo guincho da outra ponte rolante, propiciando assim a possibilidade de operação na maior área possível da Casa de Força.

As duas pontes rolantes, trabalhando acopladas mecanicamente e com o movimento sincronizado dos quatro guinchos de 5.000 kN, podem movimentar o rotor do gerador totalmente montado, que pesa aproximadamente 16.000 kN.

As pontes rolantes são alimentadas em alta tensão, sendo a transformação para baixa tensão efetuada à entrada de seus respectivos circuitos elétricos.

As características técnicas principais das pontes rolantes são:

- quantidade	2
- capacidade nominal de levantamento	
✓ guincho principal (kN)	5.000,0
✓ guincho auxiliar (kN)	320,0
✓ capacidade nominal das pontes rolantes operando acopladas (kN)	20.000,0
- distância entre as linhas de centro dos trilhos (m)	29,0
- curso de levantamento	
✓ guincho principal (m)	35,0
✓ guincho auxiliar (m)	55,0
✓ extensão do caminho de rolamento (m)	812,0
- peso de cada ponte rolante (kN)	4.800,0
- peso do caminho de rolamento e da linha de alimentação elétrica (kN)	4.800,0

- Ponte Rolante da Galeria da Subestação em SF6

Na galeria da Subestação em SF6 existe uma ponte rolante equipada com um único guincho, de capacidade nominal 100 kN, destinada à movimentação dos equipamentos da Subestação.

Basicamente, ela é constituída por um carro-guincho que se desloca sobre duas vigas principais do tipo caixão, na cota 38,0 m. A alimentação elétrica da ponte rolante se faz através de um sistema de barramento rígido, constituído por quatro barras de perfis de aço com cabeça de cobre, instalados ao longo da galeria a jusante.

As características técnicas principais da ponte rolante são:

- quantidade	1
- capacidade nominal de levantamento (kN)	100,0
- distância entre as linhas de centro dos trilhos (m)	14,5
- curso de levantamento (m)	11,0
- extensão do caminho de rolamento (m)	675,0
- peso da ponte rolante (kN)	180,0
- peso do caminho de rolamento e da linha de alimentação elétrica (kN)	800,0

- Pórtico Rolante dos Tubos de Sucção

Para instalação e retirada das comportas ensecadeiras dos tubos de sucção existe um pórtico rolante operando na plataforma de jusante da Casa de Força Principal, em toda a extensão das unidades geradoras, provido de um guincho fixo de capacidade nominal 630 kN, com dois pontos de suspensão, aos quais se acopla a viga pescadora de manuseio das comportas. O pórtico rolante tem capacidade para levantar ou abaixar um elemento da comporta, em condição de equilíbrio de pressões. O mecanismo de levantamento está instalado sobre uma estrutura que se apoia rigidamente sobre quatro pernas e protegido por uma cobertura metálica de janelas envidraçadas. Os trilhos de rolamento do pórtico rolante estão instalados em vigas de concreto, cujos topos se encontram na cota 15,5 m.

A energização do pórtico rolante é obtida através de um sistema de barramentos rígidos, constituídos por quatro barras construídas de perfis de aço com cabeça de cobre, instaladas a jusante e ao longo das unidades geradoras.

As características técnicas principais do pórtico rolante são:

- quantidade	1
- capacidade nominal de levantamento (kN)	630,0
- distancia entre as linhas de centro dos trilhos (m)	4,5
- curso de levantamento (m)	40,0
- altura máxima dos guinchos da viga pescadora acima dos trilhos (m)	6,3
- extensão do caminho de rolamento (m)	700,0

- peso do pórtico rolante (kN) 550,0
- peso do caminho de rolamento e da linha de alimentação elétrica (kN) 840,0
- Comportas Ensecadeiras dos Tubos de Sucção

Para garantir o ensecamento dos tubos de sucção estão previstas quatro comportas ensecadeiras, permitindo, desta forma, a manutenção simultânea de duas unidades, pois os tubos de sucção são subdivididos por um septo central, o que requer duas comportas para o fechamento de cada unidade.

As comportas ensecadeiras deslizam em ranhuras verticais localizadas à saída dos tubos de sucção, que abrigam guias de aço embutidas no concreto, para receber os esforços da barra deslizante da comporta e transmiti-los para a estrutura de concreto.

Cada comporta ensecadeira é composta por dois elementos intercambiáveis, que trabalharão simplesmente apoiados um sobre o outro. As vedações localizam-se no lado de montante.

As comportas ensecadeiras operam em equilíbrio de pressões e são manuseadas pelo pórtico rolante dos tubos de sucção, através de uma viga pescadora. O enchimento dos tubos de sucção, para a equalização de pressão, é realizado através das válvulas *by pass* do elemento superior, acionadas pela ação do peso próprio da viga pescadora.

A armazenagem dos elementos das comportas ensecadeiras é feita nas próprias ranhuras, através de dispositivos de calagem.

As características técnicas principais das comportas ensecadeiras são:

- número de comportas 4
- número de elementos por comporta 2
- número de jogos de peças fixas 40
- vão livre (m) 11,0
- altura livre (m) 10,5
- cota da soleira (m) -23,3
- nível d'água máximo (m) 12,1
- peso de cada comporta (kN) 940,0
- peso de cada elemento (kN) 470,0
- peso de cada jogo de peças fixas (kn) 110,0

- Geradores

O gerador é do tipo síncrono, de eixo vertical, instalado em poço de concreto, auto-ventilado, com refrigeração a ar/água, mancal de guia superior localizado acima do rotor do gerador e mancal de escora e de guia combinados, localizados abaixo do rotor do gerador, apoiados em estrutura cônica repousando sobre a tampa da turbina.

As demais características dos geradores são:

- potência nominal (MVA)	649,00
- tensão nominal (valor de referência) (kV)	19,00
- fator de potência nominal	0,85
- frequência nominal (Hz)	60,00
- fases	3
- ligação do enrolamento do rotor	estrela
- rotação síncrona (rpm)	85,71
- velocidade de disparo (rpm)	161,00
- sentido de rotação	horário
- elevação de temperatura dos enrolamentos acima da máxima temperatura ambiente (graus C)	80,00
- classe de isolamento das bobinas do estator e rotor	F
- sistema de excitação	estático
- efeito de inércia, GD^2 (kN.m ²)	2.840.000
- peso do rotor (kN)	15.700,00
- diâmetro do rotor (m)	17,80
- diâmetro do estator (m)	21,00
- altura do rotor (m)	2,80

O processo de montagem do gerador está assim previsto:

- O estator será empilhado na Área de Montagem e levado para a câmara do gerador, onde será bobinado.
- O rotor será completamente montado na Área de Montagem.

O sistema de excitação estático será alimentado por um banco de transformadores monofásicos secos, ligados aos barramentos principais de fases isoladas.

- Barramentos Blindados de Fases Isoladas

Os geradores são ligados aos transformadores elevadores através de barramentos blindados de fases isoladas, com derivações para o sistema de excitação, serviços auxiliares e equipamentos terminais de linha e de neutro.

Os barramentos têm as seguintes características:

- tensão nominal (kV)	19,0
- tensão máxima (kV)	25,8
- frequência nominal (Hz)	60,0
- corrente nominal dos barramentos	
✓ principal (A)	22.500,0
✓ derivação (A)	2.000,0
- corrente de curto-circuito assimétrica (eficaz)	
✓ principal (kA)	230,0
✓ derivação (Ka)	400,0
- elevação de temperatura acima da máxima temperatura ambiente de 40° C	
✓ condutor (graus C)	65
✓ blindagem (graus C)	30
- resfriamento ventilação forçada	
- nível de isolamento	
✓ tensão suportável nominal de impulso atmosférico (crista) (kV)	25,0
✓ tensão suportável nominal à frequência industrial 1 minuto (eficaz) (kV)	50,0

- Transformadores Elevadores

Os transformadores elevadores são do tipo trifásico, com óleo isolante, com ligação primária em triângulo e secundária em estrela, com neutro acessível diretamente aterrado e o sistema de resfriamento por circulação forçada do líquido isolante e com resfriamento a água (OFWF). As demais características são:

- potência nominal (MVA)	649,0
- tensão nominal (alta tensão) (kV)	500,0
- tensão nominal (baixa tensão) (kV)	19,0
- frequência nominal (Hz)	60,0
- elevação de temperatura, ponto mais quente acima da temperatura ambiente de 40° C (graus C)	65,0
- nível de isolamento do enrolamento de baixa tensão	
✓ tensão suportável nominal de impulso atmosférico (crista) (kV)	125,0
✓ tensão suportável nominal à frequência industrial durante 1 minuto (eficaz) (kV)	50,0

- nível de isolamento do enrolamento de alta tensão	
✓ tensão suportável nominal de impulso de manobra (crista) (kV)	1.175,0
✓ tensão suportável de impulso atmosférico (crista) (kV)	1.425,0
- nível de isolamento do terminal do neutro (crista) (kV)	110,0
- tensão suportável à renúncia industrial durante 1 minuto (kV)	34,0
- dimensões:	
✓ comprimento (m)	5,9
✓ largura(m)	11,0
✓ altura (m)	7,6
✓ peso total (com óleo) (kN)	4.000,0

2.2) Sistemas Auxiliares

- Sistema de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS)

A arquitetura funcional do Sistema de Proteção Controle e Supervisão - (SPCS) é um sistema composto de níveis hierárquicos distribuídos, como local e centralizado (SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*), com recursos e interfaces para nível hierárquico superior remoto (COR), sendo totalmente de tecnologia e recursos digitais e distribuído, com aplicação para fins de proteção, controle, medição e supervisão. Os subsistemas associados são:

- Subsistema de Controle e Supervisão Central - COU
- Subsistema de Supervisão Central
- Subsistema de Controle e Supervisão Local – UCDs
- Controle Individual Localíssimo dos equipamento principais e auxiliares
- Subsistema de Proteção – UPDs

- Proteções das Unidades Geradoras, Serviços Auxiliares Elétricos e das Subestações

O subsistema de proteção dos equipamentos das Unidades Geradoras, Serviços Auxiliares Elétricos e Subestações será composto de por cadeias redundantes - primária e secundária de tecnologia digital -, integrada através redes de cabos ópticos, largamente utilizado nas hidrelétricas e subestações, com recurso para análise e parametrizações via controle remoto, por rede via *internet*.

- Proteções das Linhas de 500 kV

A fim de assegurar a estabilidade do sistema e minimizar os danos no caso de ocorrência de falhas numa linha de transmissão e para maior confiabilidade, as funções de proteções das linhas serão compostas de enlace e cadeias redundantes - primária e secundária de tecnologia

digital, por cada vão de saída, com os recursos e todas as funções de teleproteções, sincronismo, transferências, religamentos automáticos e interface via cabo OPGW.

- Sistema de Monitoramento e Diagnóstico (SMD)

O sistema de monitoramento deverá ter uma arquitetura funcional de tecnologia e recursos digital, distribuído, com operação *on line* e contínua, que abranja os geradores, turbinas, transformadores e os conjuntos GIS e auxiliares eletromecânicos. Essa arquitetura visa permitir o monitoramento das unidades em tempo real e o diagnóstico de falha por análise de tendências das diversas grandezas monitoradas.

- Sistema de Telecomunicações

O subsistema de telecomunicações será composto de equipamentos de tecnologia digital, integrados através de redes de cabos ópticos, largamente utilizados nas hidrelétricas e subestações, e de todos os recursos de *hardware* e *software* necessários ao subsistema e à integração com os demais sítios, compreendendo: sistema completo de telecomunicações; sistema de busca pessoa; sistema de sonorização; sistema de circuito interno fechado de TV; sistema de controle de acesso ao AHE Belo Monte; cabos e links de fibra ótica; rede de comunicação interna e via externa (rede corporativa); recursos de software, hardware e serviços.

- Sistema de Óleo Lubrificante

Este sistema é destinado a armazenar, purificar e transferir o óleo lubrificante para os mancais guia superior, combinado guia-escora e guia inferior das unidades, bem como dos reguladores das turbinas, livres de partículas sólidas e de água.

O sistema é constituído por dois tanques de óleo limpo, dois de óleo sujo, um purificador móvel sobre rodas, duas bombas de engrenagem para transferência de óleo, sendo uma fixa e outra móvel, e uma rede de tubulações para distribuição e conexão com engate rápido. A central de óleo lubrificante está localizada na elevação 15,5 m, ao lado do Canal de Fuga, em frente à Área de Montagem. Cada tanque de óleo terá capacidade de 45 m³. O purificador do tipo centrífugo, incluindo filtro, pré-aquecedor, bombas de sucção e recalque e instrumentação, tem a capacidade estimada de 7,5 m³/h.

- Sistema de Óleo Isolante

Este sistema tem a função de armazenar, purificar e transferir, para os transformadores principais e auxiliares, óleo isolante isento de água, sólidos em suspensão e gases dissolvidos.

O sistema é constituído por dois tanques de óleo limpo, dois tanques de óleo sujo, um purificador móvel sobre rodas, duas bombas de engrenagem para transferência de óleo, sendo uma fixa e outra móvel, e uma rede tubulações para distribuição e conexão com engate rápido. Cada tanque de óleo tem capacidade de 45 m³. A central de óleo isolante ficará situada na elevação 15,5 m, ao lado do Canal de Fuga e em frente à Área de Montagem. O purificador tem as funções de aquecimento, filtragem, desgaseificação e desumidificação a vácuo, com potência de 150 kW.

- Sistema de Esvaziamento e Enchimento

Este sistema tem a função de esvaziar ou encher o conduto forçado, a caixa espiral e o tubo de sucção de cada unidade geradora. O tubo de sucção poderá ser esvaziado parcial ou totalmente. O sistema de esvaziamento será constituído por dois poços localizados entre os blocos das unidades 5 e 6 e 15 e 16, cada qual composto por quatro bombas centrífugas verticais, tubulações e instrumentação.

O conduto forçado e a caixa espiral serão esvaziados através do tubo de sucção, o qual será drenado para um tubo coletor que percorrerá a Casa de Força Principal até atingir os poços, de onde as bombas recalcarão a água. Os recalques das bombas serão interligados a uma tubulação que descarregará a jusante, acima do nível máximo maximorum. Está prevista a utilização de uma bomba portátil para ensecar os poços.

O fundo dos poços está na elevação -42,0 m e as salas dos motores das bombas na elevação -10,0 m. As bombas estão dimensionadas para uma vazão de 800,0 m³/h, altura manométrica de 54 m.c.a. e uma potência de motor de 220 kW.

O enchimento do tubo de sucção e caixa espiral será feito por meio de válvulas, situadas em cada elemento superior das comportas ensecadeiras do tubo de sucção. O enchimento do conduto forçado, após a equalização com o nível do Canal de Fuga, será feito por intermédio de *cracking* da comporta de emergência. A comporta permanecerá nesta posição até o enchimento do conduto forçado, com o qual será obtido o equilíbrio de pressões entre os lados montante e jusante da comporta. Após a equalização, a comporta poderá ser totalmente aberta.

- Sistema de Ar Condicionado do Edifício de Comando

O sistema de ar condicionado terá a função de manter o Edifício de Comando e algumas salas da Área de Montagem nas condições exigidas pelos fabricantes de equipamentos, além de propiciar conforto aos usuários.

Os condicionadores são do tipo *self-contained*, com condensadores resfriados à água, localizados em salas de máquinas situadas no mesmo pavimento que os ambientes atendidos. As torres de resfriamento e as bombas centrífugas de água de condensação estarão localizadas na cobertura da torre de utilidades do Edifício de Comando. São previstas duas torres de resfriamento, com 50% de capacidade cada, e duas bombas de água, sendo uma de reserva.

A capacidade total do sistema foi estimada em 142,5 TR, e a potência, em 218 kW. O sistema que atenderá ao Centro de Processamento de Dados CPD tem um condicionador de reserva.

A tomada de ar externo será feita de um poço, que serve também para passagem de tubulações de água de condensação. O ar insuflado e o de retorno serão conduzidos por dutos, sendo que a distribuição do ar de insuflamento será feita por difusores quadrados e o de retorno, por grelhas. O controle de temperatura se dará por meio de um termostato localizado no retorno do ar dentro da sala de máquinas, o qual atuará sobre os compressores de cada condicionador. O sistema do CPD possuirá também um umidistato, que atuará sobre os compressores, além de outro termostato, que controlará as resistências de reaquecimento.

- Sistema de Ar Comprimido de Serviço

Este sistema tem a função de fornecer ar comprimido para o sistema de frenagem dos geradores, filtros automáticos do sistema de água de resfriamento, ferramentas pneumáticas, sistema anti-incêndio dos transformadores e dos tanques de óleo lubrificante e isolante, instrumentação pneumática, limpeza de grelhas e tubulações em geral.

O sistema é constituído por três compressores reservatórios localizados na elevação -2,0 m do bloco da unidade 9, além de uma rede de distribuição e quadros de comando e controle.

Os compressores são do tipo estacionário de parafuso, com vazão de 12,4 m³/min, pressão de trabalho de 800 kpa e potência unitária de 130 kW. Em condições normais de operação, o compressor principal deverá atender às necessidades da Usina; se a demanda ultrapassar sua capacidade, o compressor secundário entrará em operação e, se houver um eventual consumo extra, maior do que a capacidade desses dois compressores, o compressor de reserva será acionado manualmente. Cada reservatório tem capacidade de 8,0 m³. Além desses três, cada gerador tem seu respectivo reservatório destinado ao sistema de frenagem.

- Sistema Elétrico de C.A.

O sistema elétrico dos serviços de C.A. possui elevada confiabilidade operacional e tem a seguinte configuração:

- Modulação: o sistema é dividido em dois módulos em função do agrupamento das cargas relativas a um determinado número de unidades geradoras.
- Fonte de Alimentação: as fontes de alimentação disponíveis são:
 - ✓ oito fontes normais, provenientes de derivações dos barramentos principais das unidades geradoras 1, 3, 5 e 7, suprimindo as cargas relativas ao primeiro módulo e 9, 11, 13 e 15, suprimindo as cargas relativas ao segundo módulo. Cada uma das fontes está dimensionada para suprir, sozinha, a demanda máxima de todas as cargas correspondentes a um módulo.
 - ✓ duas fontes alternativas provenientes da Subestação de Belo Monte, cada uma delas dimensionada para suprir, simultaneamente, as demandas máximas das cargas gerais da usina e a demanda máxima para partida e operação de uma unidade geradora; e
 - ✓ duas fontes de emergência provenientes de dois geradores diesel, cada um com capacidade para suprir, simultaneamente, as demandas máximas das cargas essenciais dos serviços gerais da Casa de Força Principal, das cargas essenciais da Subestação blindada em SF₆, das cargas essenciais da Tomada d'Água Principal e da demanda máxima para partida e operação de uma unidade geradora.
- Tensões utilizadas: a distribuição da energia do sistema elétrico de serviços auxiliares é feita em dois níveis de tensão - média tensão (13,8 kV) e baixa tensão (460 V).
- Operação em condições normais e de emergência: em condições normais de operação da usina, cada módulo será alimentado por duas fontes normais não paralelas, com seus

circuitos de distribuição arrançados de forma a permitir que uma fonte substitua a outra quando houver falta de tensão em uma delas, através de lógica de transferência automática na entrada dos centros de controle e motores, próximos às cargas. Na ocorrência de indisponibilidade por tempo prolongado para manutenção ou reparo de uma, ou mesmo das duas fontes normais em operação, duas outras fontes estarão disponíveis para as substituições, restabelecendo a configuração normal do módulo. Dispõe-se ainda de duas fontes alternativas para substituição das fontes normais. Em condições de emergência, isto é, quando não houver disponibilidade das fontes normais e alternativas, o suprimento de energia aos serviços auxiliares poderá ser feito através do grupo gerador diesel.

- Confiabilidade: o sistema elétrico de serviços auxiliares é de alta confiabilidade, apresentando, nos diversos casos estudados, os índices a seguir:
 - ✓ Disponibilidade: índice que espelha a probabilidade do sistema fornecer energia às cargas. Valores encontrados: 99,80% a 99,94%;
 - ✓ Probabilidade de falta de tensão: índice que espelha a probabilidade de falta de tensão no sistema por falta das suas fontes de tensão. Valor encontrado: $5,291 \times 10^{-8}$;
 - ✓ Duração média do tempo de falha: índice que permite avaliar o tempo médio gasto para reparar a falha. Valores encontrados: 6,028 horas/falha a 15,365 horas/falha; e
 - ✓ Interrupção anual: índice que traduz o valor médio de tempo de interrupção por ano. Valores encontrados: 5,563 horas/ano a 17,349 horas/ano.
- Sistema Elétrico em C.C.

A concepção básica do sistema de serviços auxiliares de C.C. da Casa de Força Principal apresenta os seguintes aspectos técnicos: modulação do sistema C.C. com previsão de implantação de cinco módulos independentes para atender às cargas relativas às unidades geradoras, serviços gerais da Usina e da Subestação em SF₆, levando em consideração a distribuição equilibrada das cargas entre os módulos; confiabilidade com a seqüência de entrada em operação dos equipamentos consumidores e eventual perda do módulo inteiro.

A duplicidade de alimentação de cada módulo, tanto para o quadro principal de distribuição C.C. como para os quadros de distribuição das unidades, dos serviços gerais da Usina e da Subestação em SF₆, proporciona maior confiabilidade e flexibilidade de operação do sistema.

As baterias do sistema serão do tipo chumbo-ácida, tensão 125 Vcc, cada uma dimensionada para assumir a totalidade das cargas de cada módulo, em regime de descarga final de 5 horas. Cada módulo possui um carregador reserva com chave reversível para poder substituir qualquer um dos carregadores principais.

APÊNDICE 4.12

Condicionantes e Dimensionamento do Canteiro no Compartimento Ambiental “Trecho de Restituição de Vazões”

1) CONDICIONANTES

1.1) Quantidades de Serviços Utilizadas para Dimensionamento do Canteiro

Nos estudos de seqüência construtiva constantes dos Estudos de Viabilidade foram consideradas as seguintes quantidades totais dos serviços principais para a concepção e dimensionamento do canteiro:

- Estrutura de concreto
 - Tomada d'Água (m³) 1.237.800
 - Casa de Força (m³) 1.171.000
 - Muros (m³) 351.900
 - Área de Montagem (m³) 32.300

- Obras de Escavação Comum
 - Tomada d'Água/Casa de Força (m³) 1.564.000
 - Barragem Lateral Esquerda (m³) 704.000
 - Barragem Lateral Direita (m³) 502.000
 - Muros (m³) 94.000
 - Diques (m³) .855.000
 - Canal de Fuga (m³) 7.603.000
 - Barragem de Santo Antônio (m³) 1.210.000
 - Canais de Adução (CATA e CTCS) (m³) 14.192.000

- Obras de Escavação em Rocha
 - Tomada D'Água/Casa de Força (m³) 3.811.000
 - Barragem Lateral Esquerda (m³) 100.000
 - Barragem Lateral Direita (m³) 105.000
 - Canal de Fuga (m³) 9.064.000
 - Canal de Adução e Muros (m³) 604.000

- Obras de Aterro/Enrocamento
 - Barragem de Santo Antônio (m³) 16.049.000
 - Barragem Lateral Esquerda (m³) 7.953.000
 - Barragem Lateral Direita (m³) 1.354.000
 - Diques (m³) 10.800.000
 - Enscadeiras do Canal de Fuga (m³) 1.521.000

- Remoção de Ensecadeiras (m ³)	1.721.000
• Montagem Eletromecânica	
- Montagem (kN)	1.250.000
- Fabricação (kN)	125.000
- Picos Mensais de Produção:	
• Obras Civis	
- Lançamento de Concreto (m ³)	75.000
- Escavação Comum (m ³)	1.550.000
- Escavação de Rocha (m ³)	647.000
- Solo/Enrocamento Compactado (m ³)	2.100.000
• Montagem Eletromecânica	
- Montagem (kN)	19.000
- Fabricação (kN)	2.600

1.2) Fontes de Materiais

- Solos: Áreas de empréstimos identificadas no estudo de origem e destino de materiais terrosos;
- Rocha: Pedreiras e escavações obrigatórias identificadas no estudo de origem e destino de materiais pétreos; e
- Areia: Jazidas situadas no leito do rio, constituídas de areia média a fina, aparentemente homogênea, e material aluvionar de escavações obrigatórias.

1.3) Outras Condicionantes

- Devido às condições topográficas favoráveis no que se refere à prevenção contra inundações, todas as áreas do canteiro foram posicionadas em elevação acima da cota da cheia milenar ou em áreas ensecadas.
- O acesso de materiais, equipamentos e mão-de-obra será feito pelo trecho da rodovia Transamazônica situado a oeste das obras (margem esquerda do Canal de Fuga).
- Para a estimativa da capacidade horária dos pátios de produção foi adotado um regime mensal de 500 horas totais de operação.
- Declividade máxima adotada para as vias de serviço: 7%
- O pico de mão-de-obra no canteiro do Sítio Belo Monte para as obras de construção civil e montagem eletromecânica é estimado em aproximadamente 10.100 pessoas.
- O traço médio do concreto obtido pela média ponderada dos traços propostos para diferentes diâmetros máximos de agregados.

2) DIMENSIONAMENTO DO CANTEIRO

2.1) Pátio de Concreto

O volume total de concreto necessário à execução das estruturas é estimado em aproximadamente, 2.800.000 m³, apresentando um pico máximo mensal de 75.000 m³.

As especificações atuais, com base nos volumes e características das estruturas, prevêm o emprego de concreto refrigerado.

Procurando-se minimizar as distâncias de transporte, o pátio de concreto foi posicionado nas proximidades das principais estruturas. As distâncias aproximadas a serem percorridas desde o pátio de concreto até o ponto central das estruturas principais são: 0,9 km até a Tomada d'Água Principal e 1,8 km até a Casa de Força Principal. A maior distância observada para acesso à Casa de Força Principal se deve, principalmente, à extensão da rampa de descida até a cota de assentamento dos guindastes de concretagem.

Considerando-se que o histograma de lançamento apresenta um pico acentuado por um curto período, optou-se por dimensionar a central de concreto para um patamar intermediário de maior duração, com uma margem adicional de 20% para cobrir os meses de pico, obtendo-se uma capacidade nominal para a central de 210 m³/h.

Propõe-se a instalação de duas centrais dosadoras/misturadoras tipo torre, cada uma com capacidade nominal de 120,0 m³/h, dotada de silos verticais para agregados, sistema de dosagem, três misturadores bicônicos de 3,0 m³ e devidamente equipada para a produção de concreto refrigerado. Para a determinação da capacidade dos estoques de aglomerantes foi adotado o critério de estocagem para 20 dias de consumo, admitindo-se que o fornecimento de cimento e Pozolana seja feito em *containers* plásticos de 1,5 t e supondo a estocagem distribuída parte em silos metálicos (80%) e parte nos próprios *containers*.

Há que se ressaltar que é prevista, em função dos volumes de concreto estrutural requerido, a utilização de concreto refrigerado na execução das estruturas, sendo que o concreto rolado será utilizado sem refrigeração. Considerando-se que as variações térmicas na região não são muito acentuadas, adotou-se uma temperatura de lançamento do concreto de 15°C. Para este nível de temperatura final optou-se por um sistema de refrigeração em dois estágios: resfriamento do agregado por aspersão de água gelada; e refrigeração do concreto pelo uso de gelo e água gelada no amassamento. Adotou-se que a aspersão de agregado graúdo se faça com água gelada a 2°C sobre correia transportadora dentro de galeria termicamente isolada, na extremidade da qual serão instalados desaguadores adequados. O resfriamento posterior do concreto será feito pela adição de gelo em escamas a -5°C e de água gelada a 2°C, dentro da central de concreto.

Propõe-se a instalação junto à central de concreto de unidade de produção de gelo e água gelada. Prevê-se para a produção de gelo a necessidade de 10 máquinas com capacidade de 1.000 kg/h cada.

As instalações de resfriamento de agregados graúdos, incluindo compressores, condensadores, evaporadores de imersão e os tanques de resfriamento e sedimentação, serão localizados junto à galeria de refrigeração, no pátio de Britagem.

2.2) Pátio de Areia

O consumo de areia previsto para o conjunto das obras no Sítio Belo Monte alcança um total aproximado de 4.484.000 t, a ser utilizado como material para filtros e como agregado fino para concreto.

Como fontes de areia foram pesquisadas e delimitadas três jazidas existentes no leito do rio (vide **Desenho BEL-V-10-100-0026 - Apêndice 4.31 - Volume 3**):

- Jazida I: situada 5 km a montante do Canal de Fuga, com volume estimado em 5.000.000 m³;
- Jazida II: situada em frente à desembocadura do Canal de Fuga nas proximidades da sua ala esquerda, com volume cubado de 1.600.000 m³; e
- Jazida III: situada 14,0 km a jusante do barramento.

As análises realizadas com amostras dessas jazidas indicam a presença de uma areia limpa, com granulometria de média a fina e aparentemente homogênea. Não foi observada diferença significativa entre os materiais das três jazidas.

Em conseqüência dessas características e da relativa flexibilidade nas especificações de materiais para filtros, admitiu-se a adequabilidade da areia natural para este fim, sem beneficiamento por lavagem ou peneiramento.

Assim sendo, na concepção do sistema de produção de areia foram adotadas as seguintes proposições:

- aproveitamento prioritário das Jazidas I e II situadas mais próximas do canteiro, cujos volumes são suficientes para o suprimento das necessidades totais da obra;
- extração do material por meio de dragagem e transporte em barcaças para locais de descarga nas proximidades do canteiro;
- formação, nestes locais, de estoques de material bruto acima da cota máxima de cheia do rio. Com base em observações locais, estipulou-se que as operações de dragagem não são viáveis durante o período de cheias, de fevereiro a maio. Estes estoques deverão, portanto, armazenar grandes volumes de modo a regularizar o fornecimento da areia;
- utilização em filtros do material bruto transportado diretamente desses estoques; e
- carregamento e transporte por caminhões até o pátio de areia do material bruto destinado à produção de areia classificada para concreto.

Para o dimensionamento do pátio de areia, considerando a proposta de beneficiamento apenas dos volumes requeridos pelo concreto, obteve-se a capacidade horária nominal de 214 t/h.

Prevê-se para o pátio uma instalação de beneficiamento composta por uma torre de peneiramento, classificação, lavagem e desaguamento de areia, alimentada por transportador de correia. O transporte de areia lavada para o pátio de concreto foi proposto também por correia. Supondo-se a operação contínua do pátio, garantida pelos estoques reguladores de

material dragado, adotou-se para a capacidade de estoque de areia lavada para concreto um volume correspondente ao consumo de 15 dias no mês de pico, ou seja, 25.000 t. Este volume foi distribuído em pilhas no pátio de areia e no de concreto.

Estima-se que o volume máximo dos estoques reguladores de material bruto necessário ao atendimento contínuo do consumo de areia para concreto e filtros é da ordem de 290.000 t. Este volume deverá ser armazenado em uma ou mais áreas de estocagem a serem implantadas na margem do rio e, na medida do possível, próximas ao pátio de areia e aos pontos de maior consumo.

2.3) Pátio de Britagem

Pelas especificações atuais são os seguintes os materiais britados previstos para as obras do barramento no Sítio Belo Monte:

- Concreto: Britas B1, B2 e B3
- Transições:
 - ✓ grossa: mistura de agregados distribuídos na faixa granulométrica 3,0 mm a 40,0 mm; e
 - ✓ fina: agregado distribuído numa faixa com limites extremos entre 0,40 mm e 4,75 mm, aproximadamente.

Prevê-se que a transição fina, basicamente uma areia grossa e média, seja produzida por britagem de rocha, face à excessiva finura da areia natural encontrada no local.

O consumo de brita previsto para o conjunto das obras no Sítio Belo Monte alcança um total aproximado de 5.500.000 t, a ser utilizado como material para transições e como agregado fino para concreto.

Visando ampliar o período de utilização da capacidade plena da central, em troca da manutenção de estoques reguladores de pedra britada, optou-se por dimensionar o equipamento para uma produção inferior ao pico de consumo total. Adotou-se uma capacidade de produção de 115.000 t mensais, o que garante o suprimento integral dos agregados para concreto no pico e requer uma estocagem mínima aceitável de materiais para transição da ordem de 80.000 t.

Admitindo-se para fins de dimensionamento da central de britagem uma capacidade adicional de 20% como segurança à produção das frações mais críticas e utilizando os coeficientes recomendados por fabricantes de equipamentos, resultou a capacidade nominal da instalação (no britador primário) de 476 t/h. Para este nível de produção, foi proposta a implantação de duas linhas independentes de peneiramento e britagem, operando em paralelo, com capacidade nominal de 240 t/h cada.

Arranjos preliminares elaborados com base em curvas médias de distribuição granulométrica dos materiais britados indicam que a produção dos agregados especificados poderá ser atendida por 3 estágios de britagem.

Para o dimensionamento das pilhas de estoque de materiais britados, impôs-se uma capacidade mínima de 15 dias de consumo no mês de pico. Prevê-se que os agregados para

concreto sejam integralmente estocados no pátio de britagem. Para as transições, face aos grandes volumes de estoque necessários, supôs-se o empilhamento próximo às frentes de lançamento.

Para agregados de concreto as capacidades mínimas das pilhas são apresentadas no **Quadro 4-12-1**, adotando-se a densidade de 1,60 t/ m³ para o granito britado.

Quadro 4-12-1
Consumo Máximo Mensal e Estoque de Agregados – Sítio Belo Monte

Brita	Consumo Máximo Mensal (t)	Estoque	
		(t)	(m ³)
B1	45.800	22.900	14.400
B2	42.000	21.000	13.200
B3	6.900	3.500	2.200

Fonte: Estudos de Estudos de Viabilidade – CHE – Belo Monte – ELETRONORTE, 2002

O pulmão poderá conter um volume adicional correspondente a 5 dias de produção plena, ou seja, 16.000 t ou 10.000 m³.

2.4) Central de Ar Comprimido

A produção de ar comprimido no canteiro de obras destina-se, na sua maior parte, à escavação de rocha, à concretagem, ao tratamento de fundações e aos serviços de montagem.

Observa-se que, no Sítio Belo Monte, a totalidade dos serviços de escavação de rocha e concretagem distribui-se numa área relativamente restrita, abrangendo as estruturas de concreto e o Canal de Fuga. Optou-se, portanto, por concentrar toda a produção de ar comprimido numa central única equipada com compressores elétricos. A central foi posicionada nas vizinhanças da central de concreto.

Analisaram-se os histogramas de lançamento de concreto e escavação de rocha apresentados neste EIA, foram estimados os respectivos consumos de ar comprimido. Em resumo, a central de ar comprimido deverá ter a seguinte capacidade de produção:

- escavação em rocha (pcm) 17.325
- concreto/montagem/fundações/pátios (pcm) 19.200
- perdas (15% sobre 17.325) (pcm) 2.599
- consumo total (pcm) 39.124

Poderá ser utilizada uma central com 10 compressores estacionários de, aproximadamente, 4.200 pcm cada.

2.5) Canteiro de Montagem Eletromecânica

Este canteiro destina-se a fornecer a infra-estrutura de apoio aos serviços de montagem das turbinas, geradores, transformadores, condutos forçados e demais equipamentos eletromecânicos da Casa de Força Principal e Tomada d'Água Principal.

Para a concepção básica deste canteiro, foi adotado, em linhas gerais, o esquema utilizado em Tucuruí, onde todos os serviços de apoio, estocagem, fabricação, pré-montagem, manutenção e administração foram centralizados em um canteiro único. Para o dimensionamento das principais áreas constituintes deste canteiro foram também utilizados como referência os arranjos das UHE's Água Vermelha, Lajeado e Tucuruí.

Dos estudos relativos à instalação dos equipamentos são aproximadamente os seguintes os índices de produção previstos para o Sítio Belo Monte:

• Fabricação média mensal (kN)	2.000
• montagem máxima mensal (kN)	20.000
• Unidade geradoras montadas por ano (unid)	4

Nesta obra prevalece a tendência adotada em Tucuruí de se reduzir a fabricação local mediante a aquisição de maiores quantidades de pré-fabricados. Para fins de dimensionamento, adotou-se que a fabricação no canteiro seja igual a 50% da fabricação total estimada, resultando uma fabricação local de 130 t/mês.

Utilizando-se estes índices de produção segundo os critérios já expostos, foram estimadas as áreas do canteiro a partir das obras usadas como referência, conforme explicitado a seguir:

- Fabricação/Pintura/Manutenção	Edificada	Lote
✓ oficina de Usinagem (m ²)	530	830
✓ oficina de caldeiraria (m ²)	530	830
✓ oficina de estruturas (m ²)	530	830
✓ oficina de manutenção (m ²)	410	810
✓ pátio de sucata (m ²)		1.500
✓ estoque de matéria prima (m ²)		2.800
✓ pátio de pré-montagem (m ²)		2.200
✓ pátio de peças pré-montadas (m ²)		8.400
✓ galpão e pátio de pintura (m ²)	400	6.000

- Estocagem de Materiais e Equipamentos		
✓ almoxarifados gerais (m ²)		7.500
✓ depósito de inflamáveis (m ²)	600	3.000
✓ pátios de estocagem (m ²)		60.000

Estas áreas foram agrupadas num único canteiro de obras segregado das demais áreas do canteiro civil e posicionado próximo à entrada principal.

2.6) Demais Áreas

Na determinação das dimensões das demais áreas do canteiro - total e edificada - foi utilizado, como regra geral, o critério estimativo, segundo o qual as dimensões obtidas para o Sítio Belo Monte foram extrapoladas de canteiros similares com base nos parâmetros mais aplicáveis a cada caso. Foram adotados, como referência, os canteiros das obras das UHEs Água Vermelha, Tucuruí e o projetado para a UHE Santa Isabel.

Quanto à estimativa da quantidade e tipo dos equipamentos instalados nas demais áreas (para fins de incorporação dos seus custos de montagem), a referência utilizada foi o projeto elaborado para o canteiro da UHE Água Vermelha.

Na medida em que dados adicionais foram disponíveis, as dimensões e equipamentos obtidos por extrapolação foram devidamente ajustados às necessidades específicas do Sítio Belo Monte. São as seguintes as principais áreas dimensionadas e os respectivos critérios utilizados:

- Pátio de Armação
 - As dimensões das áreas de estoque de ferro bruto foram avaliadas para a autonomia de um mês de produção no pico do concreto, com um consumo específico de 35,0 kg de aço por m³ de concreto.
 - As áreas de corte, de transferência e de dobramento foram estimadas com base em arranjo padrão proposto por fabricantes de centrais de armação.
 - Escritórios Principais: As áreas edificadas foram estabelecidas a partir da mão-de-obra prevista, estimando-se o número de pessoas locada nos escritórios.
 - Foram adotados os coeficientes médios de ocupação:
 - ✓ 10 m²/pessoa, para escritórios do Empreendedor e Fiscalização;
 - ✓ m²/pessoa, para escritório dos empreiteiros civil e de montagem.
 - Incluem-se neste dimensionamento os escritórios das seguintes entidades: empreendedor; fiscalização, empreiteiro civil (central e campo); e empreiteiro de montagem (central e campo).

- Pátios de Abastecimento e Lubrificação
 - As áreas destinadas à estocagem de combustíveis e lubrificantes foram estimadas para uma capacidade de reserva de 20 dias de consumo no pico dos trabalhos.
 - Arranjo do pátio foi elaborado para o atendimento às necessidades de estocagem de combustível e circulação de máquinas pesadas.
- Oficina Mecânica (civil)

O total da área edificada foi extrapolado de outros canteiros e ajustado com base no número de boxes necessários, considerando-se 15% da frota de máquinas em manutenção simultânea. Deste total, estimou-se que 40% utilizam os boxes de serviços.

APÊNDICE 4.13

Configuração Básica e Equipamentos Principais da Subestação Xingu

1) CARACTERÍSTICAS GERAIS

1.1) Localização Aproximada e Área Prevista

As características da Subestação (SE) Xingu foram apresentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através do Estudo de Viabilidade, Engenharia, Ambiental e Características Existentes, conforme observado no Edital do Leilão nº 004/2008 (Lotes A, B e C).

Dentro deste material, mais especificamente no Relatório R4 de Implantação (Características e Requisitos Básicos das Instalações), são descritas as especificações da Subestação Xingu 500/13,8kV.

A localização da Subestação (SE) Xingu está prevista nas proximidades da Volta Grande do rio Xingu, à margem direita e próxima à travessia da LT Tucuruí / Altamira – 230kV, em área a ser definida pela empresa ganhadora da licitação, levando em consideração as instalações relacionadas no citado relatório.

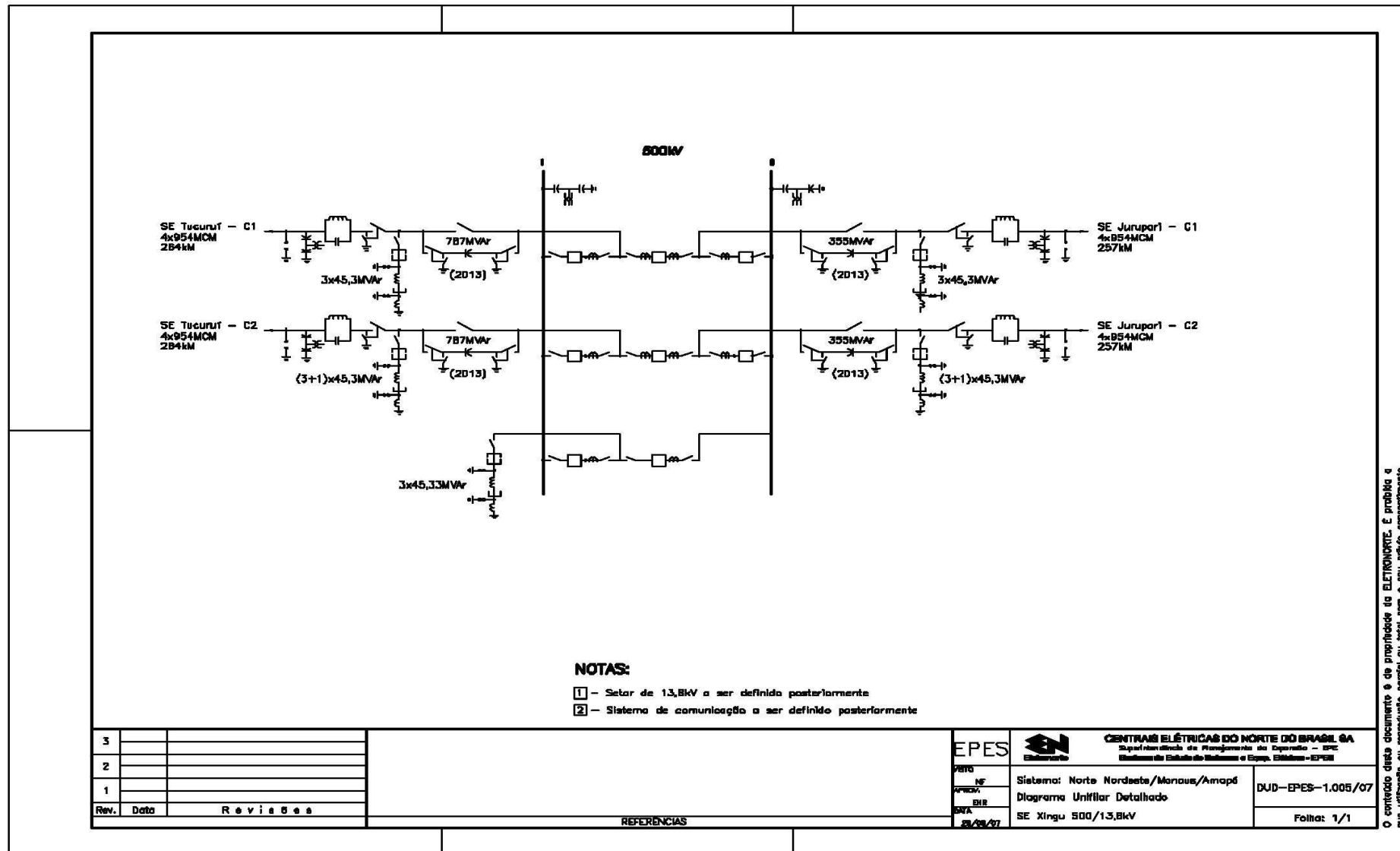
1.2 Configuração Básica da SE Xingu – 500/13,8kV

O arranjo proposto no Relatório R4 é do tipo “Disjuntor e Meio”, no setor de 500kV e setor 13,8 kV, com previsão dos seguintes vãos, conforme o Diagrama Unifilar Detalhado apresentado na **Figura 4-13-1**:

- 04 (quatro) entradas de linha em 500kV – Tucuruí C1/C2 e Jurupari C1/C2;
- 12 (doze) (+2R) reatores monofásicos 500kV, 45,33MVAR – LTJurupari C1/C2 e LT Tucuruí C1/C2;
- 03 (três) reatores monofásicos de barra 500kV, 45,33MVAR;
- 03 (três) interligações de barra;
- 1 (uma) conexão para reator de barra;
- 04 (quatro) conexões para reatores de linha; e
- equipamentos de 13,8 kV associados aos serviços auxiliares a ser definido.

Deverá ainda ser previsto espaço para os seguintes vãos e equipamentos futuros:

- 02 (duas) entradas de linha em 500kV;
- 02 (duas) interligações de barra;
- 02 (duas) compensações série de 70% - 787,0 MVAR – LT Tucuruí C1 / C2;
- 02 (duas) compensações série de 36% - 355,0 MVAR – LT JurupariC1 / C2.



O conteúdo deste documento é de propriedade da ELETRONORTE. É proibida a sua utilização ou reprodução parcial ou total sem o seu prévio consentimento.

Figura 4-13-1 - Diagrama Unifilar Simplificado da SE Xingu

1.3) Características dos Equipamentos Principais

Os equipamentos deverão atender às normas nacionais (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT) e internacionais em vigor e utilizadas no Setor Elétrico. Dentre essas normas, o Relatório R4 cita as seguintes:

- Disjuntores: Normas ABNT NBR 6146 / 6323 / 6940 / 7038 / 7118 / 10443 / 10478 / 11003 / 11388 /, IEC 56, ANSI, NEMA, ASTM, AWS, ISO e ASME.
- Seccionadores com e sem Lâmina de Terra: Normas ABNT NBR 5032 / 6323 / 6882 / 6935 / 7571 / 10443 / 10478 / 11003 / 11388, IEC 62271-102, ANSI, NEMA, ASTM, AWS, ISO e ASME.
- Pára-Raios: Norma ABNT NBR 5032 / 5286 / 538 / 5424 / 5470 / 6323 / 6936 / 6939 / 7876, TC 37 WG-4, IEC 99-4, ANSI, IEEE, NEMA, ASTM, AWS, ISO e ASME).
- Transformador de Potencial Capacitivo: Normas ABNT NBR 5034 / 5286 / 5307 / 5389 / 6323 / 6546 / 6820 / 6855 / 6939 / 7876 / 8125 / 10022 / 10443 / 11003 / 11388, IEC-358, ANSI-C93.1, ANSI-C93.2, ANSI, NEMA ASTM, AWS, ASME e ISO).
- Transformador de Corrente: Normas ABNT NBR 5286 / 5307 / 6323 / 6821 / 6856 / 6939 / 10023 / 10443 / 11003 / 11388, IEC 44-1 / 44-4 / 44-6 / 185 / 186, ANSI, NEMA, ASTM, AWS, SO e ASME).
- Reatores de Derivação: Normas ABNT NBR 7569 / 5119 / 5475 / 6323 / 6936 / 7070 / 7277 / 10202, ANSI, IEC, IEEE, NEMA.
- Capacitor Série Fixo: Para o projeto, construção e ensaios dos equipamentos componentes dos bancos série, o R4 recomenda que sejam seguidas as prescrições das normas aplicáveis da ABNT, complementadas, quando necessários, pelas normas das seguintes instituições:
 - International Electrotechnical Commission (IEC);
 - American National Standards Institute (ANSI);
 - National Electric Manufacturers Association (NEMA); E
 - Outras normas reconhecidas internacionalmente

O Relatório publicado pela ANEEL cita, ainda, que os demais sistemas de serviços auxiliares deverão ser definidos pela empresa, visando o atendimento às necessidades da subestação, assim como os seguintes itens:

- Os estudos de sistema e de equipamentos necessários à implantação da SE;
- A definição dos Requisitos para o Sistema de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS); e
- A definição dos requisitos para o Sistema de Telecomunicações a ser implantado.

Todas estas definições e estudos devem respeitar os requisitos básicos exigidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

APÊNDICE 4.14

Detalhamento do Planejamento Construtivo Para o AHE Belo Monte

1) SERVIÇOS PRINCIPAIS

A seqüência construtiva e os prazos adotados nos Estudos de Viabilidade concluídos pela ELETROBRÁS/ELETRONORTE em 2002 levaram em conta os volumes de serviços a serem executados, bem como a melhor seqüência das atividades, de forma a manter o ritmo da produção e evitar a descontinuidade nos serviços. Neste Apêndice apresenta-se uma abordagem detalhada do referido planejamento, por tipo de serviço principal e por sítio construtivo, conforme previsto nos estudos supracitados.

1.1) Escavação Comum Obrigatória

Os prazos para execução dos serviços de escavação comum foram fixados de modo a se ajustarem ao reaproveitamento destes materiais para execução de aterro nas obras de barragens, diques, ensecadeiras e aterros para canteiros. O histograma dos serviços seguiu uma distribuição de acordo com a pluviometria ou condições de trabalhabilidade do material terroso.

Foi previsto um pico de material de escavação obrigatória comum de aproximadamente 5.720.000 m³ por mês em todo o empreendimento, sendo que, somente no sítio dos Canais de Derivação, o pico é de 4.180.000 m³/mês.

A seqüência construtiva e os prazos adotados levaram em conta o reaproveitamento das escavações em solo para aterros de barragens, diques e ensecadeiras, em percentuais de volume escavado discriminados a seguir:

- Para o Sítio Belo Monte:
 - Barragens de terra - 60%
 - Tomada d'Água - 46%
 - Casa de Força – 54%
 - Canal de Fuga – 79%
- Para o Sítio Pimental:
 - Barragem de terra – 70%
 - Vertedouro e Casa de Força Complementar – 90% (material para filtro e areia para concreto)
 - Decape de pedreira – 90%
- Para o Sítio Bela Vista:
 - Vertedouro Complementar e Canal de Adução – 90%

- Para o Sítio Canais de Derivação:
 - Todas as escavações obrigatórias comuns dos canais que se encontrarem a uma distância de transporte de até 2,5 km serão reaproveitadas em aterros de diques;
 - Devido à existência de matacões envolvidos em solo de alteração nas escavações obrigatórias comuns do Sítio dos Canais de Derivação, a execução da escavação foi planejada para ser feita com carregadeira tipo CAT 988 e caminhões basculantes fora de estrada CAT 769-B. Nas áreas de bota-fora, foi planejada a utilização de tratores de esteira tipo CAT D8 para espalhamento e compactação. Foi considerada uma frota para o mês de pico composta pelos seguintes equipamentos principais:
 - ✓ Trator de esteira tipo CAT D8 – 58 unidades (produção estimada 2.900 m³/dia – 20h/dia);
 - ✓ Carregadeira tipo CAT 988 – 48 unidades (produção estimada 3.500 m³/dia – 20h/dia);
 - ✓ Basculante tipo CAT 769-B – 240 unidades (produção estimada 700 m³/dia – 20 h/dia – 1,5 km).

Para o empreendimento como um todo, foi prevista uma frota, no mês de pico, composta pelos seguintes equipamentos principais:

- Trator de esteira tipo CAT D8 – 79 unidades (produção estimada 2.900 m³/dia – 20h/dia);
- Carregadeira tipo CAT 988 – 66 unidades (produção estimada 3.500 m³/dia – 20h/dia);
- Basculante tipo CAT 769-B – 330 unidades (produção estimada 700 m³/dia – 20 h/dia – 1,5 km).

1.2) Escavação em Rocha Obrigatória

Para a escavação de rocha dos canais de derivação, todo material escavado, até a distância de transporte de 10,5 km, foi considerado como sendo reaproveitado como proteção de talude e transição nos diques.

Na escavação do Canal de Fuga da Casa de Força Principal, grande parte do material deverá ser reaproveitado diretamente na seção de barragem. Do restante, parte irá para estoque intermediário e parte será utilizado como agregado de concreto.

Procurou-se manter, no planejamento, uma distância mínima de 300 metros entre a escavação a fogo e os serviços de concretagem.

Foi previsto um pico de material de escavação obrigatória de rocha para toda a obra de aproximadamente 1.370.000 m³/mês, sendo, somente no sítio dos Canais de Derivação, 920.000 m³/mês.

Para o Sítio dos Canais de Derivação foi prevista uma frota mensal no mês de pico dos seguintes equipamentos principais:

- Trator de esteira tipo CAT D9 – 17 unidades (produção estimada 2.200 m³/dia – 20h/dia);
- Carregadeira tipo CAT 992 – 13 unidades (produção estimada 3.000 m³/dia – 20h/dia);
- Basculante tipo CAT 772 – 95 unidades (produção estimada 400 m³/dia – 20 h/dia – 1,5 km).

Para a obra como um todo, foi prevista uma frota mensal no mês de pico com os seguintes equipamentos principais:

- Trator de esteira tipo CAT D9 – 26 unidades (produção estimada 2.200 m³/dia – 20h/dia);
- Carregadeira tipo CAT 992 – 20 unidades (produção estimada 3.000 m³/dia – 20h/dia);
- Basculante tipo CAT 772 – 100 unidades (produção estimada 400 m³/dia – 20 h/dia – 1,5 km).

1.3) Extração de Areia

O material aluvionar proveniente de escavação da área ensecada do Vertedouro Principal deverá ser utilizado como agregado fino de concreto e filtro para barragens e ensecadeiras no Sítio Pimental. Para os outros sítios, os materiais arenosos serão provenientes das dragagens das jazidas no leito do rio e transportados para as áreas de aproveitamento ou beneficiamento. Os finos da britagem de materiais pétreos ou finos de escavações poderão ser aplicados diretamente nas seções de barragens ou ser utilizados como agregado de concreto.

1.4) Aterro Lançado ou Compactado

O histograma de lançamento e/ou compactação de aterro segue, nos Estudos de Viabilidade, uma distribuição de acordo com o regime de chuvas da região e com a trabalhabilidade do material terroso. Foi previsto um pico de material de aterro lançado ou compactado para toda obra de, aproximadamente, 2.300.000 m³ por mês em todo empreendimento, sendo que no Sítio Belo Monte o pico deverá ser de 1.390.000 m³/mês, e no Sítio Bela Vista de 620.000 m³ por mês.

Para o total de aterro foi prevista uma frota mensal, no mês de pico, com os seguintes equipamentos principais:

- Motoniveladora tipo Warco 16 D – 8 unidades (produção estimada 12.000 m³/dia – 20h/dia);
- Carregadeira tipo CAT 988 – 26 unidades (produção estimada 3.500 m³/dia – 20h/dia);

- Basculante tipo CAT 769-B – 130 unidades (produção estimada 700 m³/dia – 20 h/dia – 1,5 km).

1.5) Enrocamento Lançado ou Compactado

O material rochoso lançado ou compactado acompanhará, nos casos possíveis, a escavação obrigatória de rocha a céu aberto ou de pedreira. As proteções a montante de diques e barragens deverão ser efetuadas com materiais provenientes de estoques. Também foi previsto o reaproveitamento de material proveniente da remoção de diversas enseadeiras.

Foi previsto um pico de material de enrocamento lançado ou compactado para toda obra de, aproximadamente, 3.700.000 m³ por mês, sendo que, no Sítio Belo Monte, o pico previsto é de 2.150.000 m³/mês e, no Sítio Bela Vista, de 1.100.000 m³ por mês.

1.6) Execução de Bota-Fora

Os grandes volumes de escavação em solo e em rocha a serem realizados nos Canais de Adução, notadamente para os Canais de Derivação Esquerdo, Direito e Trecho da Junção, exigirão cuidados especiais na sua disposição nos bota-fora, tendo em vista que constituirão novos elementos importantes na paisagem local.

Conforme apontado anteriormente, a localização dos bota-fora deverá buscar a minimização das distâncias de transporte e áreas de desapropriação, que refletem no custo direto da obra, assegurando, entretanto, uma obra ambientalmente adequada.

Os volumes de disposição estimados nos Estudos de Viabilidade são da ordem de 430x10⁶m³, superiores aos volumes de escavação local - 148x10⁶ m³ - (Canais de Derivação), indicando que as áreas finais desses bota-fora poderão ser minimizadas durante a fase de Projeto Básico de Engenharia e Projeto Básico Ambiental (PBA).

Lembra-se aqui que os critérios gerais adotados nesses estudos para a constituição dos bota-fora, e que deverão ser considerados e detalhados na etapa de Projeto Básico, correspondem a:

- Minimizar as distâncias de transporte;
- Reduzir as áreas de desmatamento àquelas estritamente necessárias à execução dos bota-fora;
- Reservar os volumes dos solos superficiais (“camada vegetal”) escavados em obras diversas para reutilização nas camadas superficiais dos bota-fora;
- Evitar o lançamento de aterros em drenagens atuais que impeçam a saída da água, resultando reservatórios isolados e sem renovação;
- Dar preferência para a criação de bota-fora na área localizada entre os dois Canais de Derivação, pela sua condição resultante de isolamento;
- Priorizar a preservação de áreas com vegetação nativa; e
- Criar relevo integrado à região, com cobertura vegetal e rede de drenagem apropriadas.

Sob o aspecto de engenharia, a disposição dos materiais e os acabamentos superficiais deverão garantir:

- Taludes estáveis, obtidos pela conjugação adequada de sua inclinação com as características de resistência ao cisalhamento dos materiais constituintes do bota-fora e da fundação, e com o novo regime hidrogeológico que será estabelecido no local;
- Superfície do terreno estável, onde os recalques superficiais apresentem tendências estabilizantes, em decorrência de camadas espalhadas em espessuras apropriadas;
- Núcleos dos bota-fora estáveis, obtidos pelo emprego de critérios de transicionamento granulométrico nas superposições de camadas de granulometria diferenciada, evitando-se processos de erosão interna;
- Criação de elementos na superfície (bacias de acumulação, canais de retenção e condução do escoamento superficial - “curvas de nível” – calhas protegidas com enrocamento nos pontos de acumulação nos novos talvegues, recorrendo-se a degraus nos locais com maiores declividades, etc.) que permitam a retenção, coleta e condução apropriada da água de escoamento superficial até as drenagens naturais ou o próprio canal de adução; e
- Cobertura vegetal que propicie estabilização superficial ao terreno, maior retenção da água pluvial, além de outros fatores socioambientais a serem definidos.

1.7) Concreto

Nos Estudos de Viabilidade foi programada uma defasagem de cerca de 2 meses entre os inícios de concretagem de blocos consecutivos, para todas as estruturas. Foram previstas 3 frentes de concretagem simultâneas nas estruturas do Sítio Belo Monte e duas frentes de serviços simultâneas na estrutura do Vertedouro Principal.

Foi previsto um pico de concretagem para toda obra de, aproximadamente, 125.000 m³ por mês, sendo 75.000 m³ por mês no sítio Belo Monte e 37.000 m³ por mês no sítio de Canais de Derivação.

Foi considerada necessidade de refrigeração do concreto apenas no sítio Belo Monte. No mesmo local, as concretagens até a cota 20 m serão executadas com esteiras transportadoras tipo “Rotex”. Para concretagens em cotas superiores, previu-se a utilização de guindastes tipo “Peiner” e guindastes móveis.

Na Casa de Força Principal foi planejada a construção de dois acessos para concretagem, por montante e por jusante. Na Tomada d’Água, foi planejado apenas um acesso, a montante. Já no Sítio Pimental foi previsto um acesso por montante, para cada estrutura – Vertedouro Principal e Tomada d’Água/Casa de Força Complementar.

No Vertedouro Complementar foi planejada a concretagem com utilização de esteira transportadora, guindastes “Peiner” e guindastes móveis. Já para os diversos muros, previu-se a utilização de esteira transportadora e guindastes móveis.

As obras dos Canais de Derivação, devido à extensão total do serviço de concretagem – 30 km – foram consideradas como se fossem obras de rodovias, com centrais dosadoras de

concreto, localizadas em pontos estratégicos, e transporte por caminhões betoneiras. Tanto as centrais dosadoras como as instalações de britagem e de ar comprimido poderão ser móveis para permitir maior flexibilidade operacional. O lançamento, o adensamento e o acabamento deverão ser executados por equipamentos para pavimentação de grande produção, que possibilitem executar faixas de até 40 metros de largura.

1.8) Montagem

Foram previstas montagens de equipamentos eletromecânicos em todos os sítios, exceto nos Canais de Derivação, com a utilização dos guindastes “Peiner” para auxiliar na montagem dos condutos forçados, comportas e turbinas/geradores dos 3 sítios. Para montagem das turbinas/geradores das duas Casas de Força - Principal e Complementar – seria necessário que suas respectivas áreas de montagem estivessem concluídas e com a ponte rolante funcionando.

Foi previsto um pico de montagem para toda obra de, aproximadamente, 23.500 kN por mês, sendo de 17.000 kN por mês no sítio Belo Monte.

2) SEQÜÊNCIA DE EXECUÇÃO

2.1) Sítio Pimental e Desvio do Rio

A seqüência construtiva das obras do Sítio Pimental foi concebida considerando que o desvio do rio Xingu deverá ser realizado em 2 fases (vide seqüência de desvio do rio no **Desenho BEL-V-10-100-0007 - Apêndice 4.77 - Volume 3**). Na primeira, que tem duração prevista de 38 meses, o rio escoará pelos canais esquerdo e direito, com o fluxo no canal central interrompido. Durante a segunda fase de desvio, com duração de 17 meses, o escoamento se dará pelos 17 vãos do Vertedouro Principal e pelo canal esquerdo do rio Xingu, estando o canal direito ensecado.

O **Quadro 4-14-1** apresenta os valores das vazões de projeto para os diversos períodos, considerando as 2 fases de desvio do rio.

Quadro 4-14-1
Vazões de Projeto para o Desvio do Rio Xingu

FASE	Período de Cheias			Período de Águas Intermediárias e Baixas							
	T _{EXP} (anos)	T _R (anos)	Q _{PROJ} (m ³ /s)	Q _{PROJ} (m ³ /s)							
				jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan
1ª	3	~75	39.000	12.392	4.442	2.282	1.526	1.685	3.045	6.800	15.744
2ª	1	25	33.800	12.392	4.442	2.282	1.526	1.685	3.045	6.800	15.744

FONTE: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE – 2002

Nota: T_{EXP} = tempo de exposição; T_R = tempo de recorrência.

As obras do Sítio Pimental deverão ser iniciadas através de 2 frentes, logo nos primeiros meses do ano 1 de obra. Uma primeira frente será iniciada a partir da margem esquerda do rio Xingu, nas proximidades do eixo de barramento. A segunda frente partirá das Ilhas da Serra e do Reinaldo, posicionadas na parte central da calha do rio, que deverão ser alcançadas através de balsa. A abertura de uma frente nas ilhas citadas se justifica por se tratarem de ilhas que, contrariamente às demais da região, não ficarão totalmente submersas na hipótese da ocorrência de uma cheia de grande magnitude no ano 1 de obra. Além disso, ambas possuem pedreira em cota relativamente elevada – início de exploração acima da cota 90,0 m – com localização estratégica, margeando o canal central.

Os primeiros serviços relativos a este sítio deverão iniciar em outubro do ano “zero” e se estender até julho do ano 1 de obra. A mobilização do empreiteiro, a execução de acessos à margem esquerda – melhoria do existente e construção de novo, a partir do Sítio Bela Vista – a implantação da linha de transmissão e da subestação do canteiro e a instalação de canteiros e alojamentos provisórios na margem esquerda e nas Ilhas da Serra e do Reinaldo – são as atividades a serem desenvolvidas neste período. Ainda no primeiro semestre do ano 1 deverá começar a exploração de áreas de empréstimo de terra/rocha nas duas frentes do Sítio Pimental, bem como a dragagem das faixas de canais onde serão executadas as ensecadeiras.

Na segunda quinzena de junho, será executado o fechamento do canal esquerdo do rio, com 460 m de largura, da margem esquerda para a Ilha Pimental, através de 2 cordões de enrocamento – um a montante e outro a jusante da área a ser ensecada –, que deverão ter avanço simultâneo para dividir o desnível total na brecha final entre os dois. O volume destas ensecadeiras está estimado em 165.000 m³ e o material deverá ser proveniente de áreas de empréstimo nas proximidades. Após o fechamento e esgotamento da área ensecada, deverão ser iniciados a execução das fundações da ponte de serviço e o tratamento de fundação da Barragem do Canal Esquerdo. Esta última atividade, por não ser caminho crítico dos trabalhos na margem esquerda, poderá se estender até o final de novembro.

A ponte de serviço terá 400 m de vão total, com um par de pilares de concreto a cada 20 m, longarinas e transversinas de aço, totalizando 38 unidades, e tabuleiro de placas pré-moldadas de concreto. As vigas metálicas deverão ser fabricadas dentro do primeiro semestre desse primeiro ano de obra. Cada pilar da ponte de serviço será solidarizado ao terreno rochoso de fundação através de chumbadores, que penetrarão 3 m na rocha. A execução dos 570 chumbadores deverá durar cerca de 40 dias. Uma semana após o início da perfuração dos furos dos chumbadores, deverá ser iniciada a concretagem dos 38 pilares, que se estenderá por dois meses e meio, a partir de meados de julho. A montagem da superestrutura da ponte de serviço deverá ter início nos primeiros dias de setembro e deverá ser finalizada antes do final de novembro. Nesta data, deverá ser iniciada a remoção das ensecadeiras, uma vez que se contará com o canal esquerdo para a passagem da cheia de projeto de desvio. Os aterros dos encontros das pontes deverão ser executados em 60 dias, devendo estar concluídos no final de novembro.

No início de junho do ano 1 de obra, na frente de serviço iniciada nas Ilhas da Serra e do Reinaldo, deverá começar o lançamento da pré-ensecadeira que permitirá a travessia desta última para a Ilha Marciana, onde ficará posicionado o canteiro principal do sítio Pimental. Em 30 dias, é previsto que a travessia esteja concluída, o que permitirá o início da construção da ensecadeira do canteiro principal. Esta ensecadeira, executada sobre a Ilha Marciana, deverá estar coroada na cota 93,0 m até o final do primeiro ano, num volume estimado em

300.000 m³ de aterro compactado. Quinze dias após a chegada na Ilha Marciana deverá ser iniciado o fechamento do canal central, a partir da mesma ilha, em direção à Ilha da Serra e, simultaneamente, no sentido inverso. O avanço em 2 frentes permitirá que o fechamento esteja concluído até o final de agosto. A pré-ensecadeira de jusante, apesar de iniciada com uma defasagem de 15 dias do início da de montante, deverá ser concluída na mesma data. O volume total estimado das pré-ensecadeiras é de 400.000 m³.

Concluído o fechamento do canal central, deverá ser efetuado o esgotamento da área em uma semana, iniciando-se, em seguida, 2 serviços: escavação das fundações e dos canais de aproximação e restituição das estruturas de concreto do sítio Pimental e alteamento das ensecadeiras de montante e jusante. As escavações em rocha dentro da área ensecada, com volume estimado em 1.200.000 m³, deverão ter duração de 10 meses. Já o alteamento das ensecadeiras de montante e jusante, com material proveniente das Ilhas da Serra, do Reinaldo e Marciana, deverá estar concluído até final de dezembro, num volume total de 1.800.00 m³, incluindo as pré-ensecadeiras.

As Barragens de Ligação com a Ilha da Serra e de Terra Lateral Esquerda, esta última a menos do trecho do canal esquerdo, deverão ser executadas em 4 períodos secos a partir do segundo semestre do ano 1 de obra. Terão 3.500.000 m³ entre aterro compactado, transições e proteção de enrocamento, e serão coroadas na mesma cota – 100,0 m – das demais estruturas do sítio. Importante notar que, sobre a Ilha Pimental, a Barragem de Terra Lateral Esquerda será executada por trechos de tal forma que, em cada período seco, cada trecho iniciado terá que alcançar, no mínimo, a cota 93,0 m. Isto porque os serviços serão executados em área não ensecada, passível de ser inundada na hipótese da ocorrência da cheia de projeto de desvio.

O início de lançamento do concreto no Sítio Pimental está previsto para acontecer 8 meses após o início da escavação no local, ou seja, em maio do ano 2 de obra. Este prazo visa atender três objetivos: permitir a conclusão da central de concreto, garantir um volume suficiente para suprir com rocha esta central e assegurar uma distância mínima de 500 m entre as frentes de escavação e de concretagem. Os 225.000 m³ de concreto do Vertedouro Principal e 90.000 m³ da Tomada d'Água/Casa de Força/Área de Montagem Complementar deverão ser lançados em pouco mais de 25 meses, prevendo-se sua conclusão para meados do mês de junho do ano 4 de obra.

A montagem das comportas de segmento do Vertedouro Principal será iniciada no mês de dezembro do ano 3 de obra, quando os pilares dos primeiros blocos já terão atingido a cota do munhão e estarão em condições de receber os braços das comportas.

A conclusão da montagem das comportas do Vertedouro Principal deverá coincidir com o início da remoção das ensecadeiras de montante e jusante, prevista para o final do mês de julho do ano 4. Por esta época, a Tomada d'Água e a Casa de Força Complementar estarão em condição de terem suas comportas ensecadeiras baixadas.

Antes da abertura das ensecadeiras de 1ª fase de desvio, deverá ser efetuada a remoção, a seco, do cordão de enrocamento das pré-ensecadeiras. Tal serviço visa permitir que o material que não puder ser removido com retro-escavadeiras possa ser dragado, para que não permaneça nenhum obstáculo aos escoamentos de aproximação e de restituição das estruturas de concreto. O término da remoção das ensecadeiras de 1ª fase de desvio está previsto para a metade do mês de setembro do ano 4 de obra.

Em paralelo à remoção das ensecadeiras do canal central, deverá ter início a execução das pré-ensecadeiras de montante e jusante do canal direito, que serão parcialmente construídas com material proveniente das estruturas de ensecamento da 1ª fase de desvio. Concluído o fechamento do canal direito, no final do mês de agosto do ano 4 de obra, iniciar-se-á o esgotamento da área e, em sequência, o tratamento de fundação da barragem a ser erguida no local. Ainda durante o ano 4 de obra deverão ser alteadas as ensecadeiras de 2ª fase de desvio de montante e jusante, que representam um volume total de 1.100.000 m³. A execução da barragem mista do canal direito será realizada na estiagem do ano 5 de obra, estando seu coroamento previsto para o mês de dezembro, num volume total de 920.000 m³.

Na Casa de Força/Área de Montagem Complementar terão prosseguimento os serviços de montagem das primeiras unidades geradoras, iniciados em janeiro do ano 3 de obra, 9 meses após o lançamento do primeiro concreto na estrutura. O primeiro grupo gerador deverá estar em condições de iniciar seus testes em meados de janeiro do ano 5 de obra. Os demais grupos seguem a mesma programação de montagem, defasados a cada dois meses.

Os testes, não só do primeiro grupo gerador como também das segunda e terceira unidades, poderão ser realizados no quadrimestre fevereiro-maio, quando da passagem da cheia do ano 5 de obra. Durante este período, independente da vazão afluyente, o nível d'água a montante da Tomada d'Água Complementar poderá ser mantido em torno da cota 93,0 m pela adequada operação das comportas do Vertedouro Principal. Após a realização dos testes das 3 primeiras unidades, o nível d'água a montante das estruturas será rebaixado para cota ditada pelas vazões naturais afluentes ao Sítio Pimental.

Após a passagem da última cheia do período de desvio, será executado o ensecamento do canal esquerdo para permitir a execução da barragem de terra do local. A ensecadeira de montante desta etapa construtiva deverá ser alteada até a cota 92,0 m para permitir a entrada em operação das 4 primeiras máquinas em 31 de agosto. O trecho da Barragem de Terra Lateral Esquerda no canal esquerdo terá 350.000 m³ e será executado em 5 meses, de agosto a dezembro do quinto ano de obra.

A antecipação da geração na Casa de Força Complementar será possível porque todas as áreas, ainda em obra no início de setembro do ano 5, sejam no Sítio Pimental – canais esquerdo e direito – sejam nos Canais de Derivação estarão protegidas por estruturas coroadas em cota igual ou superior a 92,0 m. Com isto, será possível, com o fechamento parcial das comportas do Vertedouro Principal, iniciar o enchimento do trecho do reservatório formado pela calha natural do Xingu no final do mês de agosto e estabilizar o seu nível na cota 91,0 m. Este enchimento se fará rapidamente, estimando-se um tempo máximo de 5 dias, respeitada a defluência mínima para jusante. A geração dos grupos da Casa de Força Complementar até o enchimento completo do reservatório, que deverá se iniciar em janeiro do ano seguinte, será efetuada com 60% da queda de projeto das turbinas. Após a entrada em operação das 4 primeiras unidades, as demais manterão o cronograma de entrada em operação a cada 2 meses.

2.2) Sítio Bela Vista

Para início das obras no Sítio Bela Vista, incluindo o trecho de jusante dos Canais de Derivação, será necessária a execução de 30 km de novos acessos e de melhorias em outros 12 km existentes, a partir da Rodovia Transamazônica, à altura do Sítio Belo Monte. Os

serviços deverão ter início no mês de outubro do ano “zero”. Aproximadamente na mesma data, deverão ser também iniciadas as atividades de construção do canteiro/alojamento do sítio e da linha de transmissão entre os Sítios Belo Monte e Bela Vista.

O canteiro do Sítio Bela Vista será utilizado como apoio para uma série de obras localizadas em seu raio de influência. Assim, a estrada de acesso ao Sítio Pimental, a linha de transmissão para abastecimento dos canteiros dos 2 sítios, a escavação dos canais CTPT1 a CTPT3, CTTC e CTCC e a execução dos diques 10A a 20 e 23 a 28, apesar de não pertencerem ao Sítio Bela Vista, deverão ter sua base de apoio centrada neste sítio (vide **Desenho BEL-V-10-100-0069 - Apêndice 4.76 - Volume 3**).

As obras do Sítio Bela Vista, propriamente ditas, terão início no mês de julho do ano 1 de obra com a escavação de 3.260.000 m³ em solo referentes ao Vertedouro Complementar e ao seu canal de aproximação. A conclusão destes serviços está prevista para dezembro do ano 4 de obra. Em janeiro do ano 3 deverão ser iniciadas as escavações em rocha relativas à estrutura citada e à sua aproximação, que envolverão 175.000 m³. Em julho do terceiro ano, terão início os serviços de concretagem do Vertedouro Complementar e seus Muros Laterais, que deverão durar 2 anos, envolvendo o lançamento de 65.000 m³ de concreto. Em julho do ano 4 iniciar-se-á a execução das Barragens de Ligação Direita e Esquerda de fechamento da sela onde estará posicionado o Vertedouro Complementar, com duração prevista para 6 meses. O material para execução destas barragens, num total de 400.000 m³, bem como dos diques 23 a 27, que ficam a uma distância média de transporte de até 2 km e totalizam 1.000.000 m³, virá da escavação do Vertedouro Complementar e de seu canal de aproximação. A partir de outubro do ano 4 de obra deverá ser iniciada a montagem das 4 comportas de segmento do órgão extravasor, estendendo-se por 10 meses, até o final de julho do ano 5.

As demais obras que terão apoio no canteiro do Sítio Bela Vista foram programadas para execução entre setembro do ano 1 a dezembro do ano 5 de obra. Os volumes totais envolvidos serão 14.200.000 m³ de escavação comum, 400.000 m³ de escavação em rocha e 13.600.000 m³ de aterro compactado/enrocamento.

2.3) Sítio Belo Monte

Os serviços preliminares do Sítio Belo Monte – implantação do canteiro/alojamento, execução da subestação e de acessos – têm início previsto para outubro do ano “zero”.

As escavações em solo dever-se-ão iniciar em 6 frentes distintas, sendo quatro – Tomada d’Água, Casa de Força e Canal de Fuga Principais e Barragem do Santo Antônio – começando ao final do quadrimestre mais chuvoso – janeiro a abril – do ano 1 e duas – Barragens Laterais Direita e Esquerda – defasadas de 2 meses (vide arranjo geral das estruturas e infra-estrutura de apoio previstas para o Sítio Belo Monte no **Desenho BEL-V 10-100-0090 - Apêndice 4.78 - Volume 3**). Em novembro, deverão ser iniciadas as escavações relativas à fundação dos muros laterais da Tomada d’Água. À exceção da escavação referente ao Canal de Fuga, que deverá se estender até dezembro do ano 2 de obra, todas as demais terão que ser concluídas até dezembro do ano 1. O volume total estimado é de 11.680.000 m³, sendo dois terços correspondentes à escavação do Canal de Fuga.

As escavações em rocha da Tomada d’Água, envolvendo 1.000.000 m³, e da Casa de Força Principal, num total de 2.800.000 m³, deverão ser iniciadas em julho e agosto do ano 1 de

obra, respectivamente. As durações previstas para as atividades são 7 meses para a primeira e 10 meses para a segunda.

O início dos aterros do sítio está previsto para maio do ano 2 de obra em 3 locais: Barragem do Santo Antônio e Barragens Laterais Direita e Esquerda de fechamento do vale da Tomada d'Água Principal. A Barragem do Santo Antônio, com mais de 16.000.000 m³, deverá ser executada em 4 períodos secos, devendo estar concluída em dezembro do ano 5 de obra. Já a execução das Barragens Laterais Direita e Esquerda se estenderá por 2 e 3 períodos secos, respectivamente, sempre sendo coroadas em dezembro. A primeira tem volume estimado em 1.400.000 m³ e, a segunda, em 8.000.000 m³.

Para execução da Barragem do Santo Antônio e de outras barragens e diques que interrompem o fluxo natural de igarapés, será necessária a construção de galerias de desvio, posicionadas próximo ao talvegue, que permitirão a continuidade do escoamento em qualquer época do ano, sem que haja perigo da cota do aterro ser alcançada. Estas galerias estarão dotadas de estruturas de fechamento que serão utilizadas quando do enchimento do reservatório. Após fechadas, será efetuado o enchimento de parte do corpo das galerias com concreto.

A concretagem no Sítio Belo Monte iniciar-se-á em fevereiro do ano 2 de obra, no Muro de Transição Direito. Em março, maio e julho do mesmo ano terão início as concretagens na Tomada d'Água, Casa de Força e Área de Montagem Principais, respectivamente. Os serviços de concretagem somente terão início após a conclusão das escavações em rocha das respectivas estruturas. O planejamento construtivo prevê como sendo de 200 m a distância mínima entre a frente de escavação em rocha no Canal de Fuga e a concretagem na Casa de Força/Área de Montagem Principal. No caso da concretagem da Tomada d'Água em relação à frente de escavação na Casa de Força/Área de Montagem Principal, existirá, além da distância horizontal, diferença de nível que permitirá o desenvolvimento dos serviços de concretagem sem interferência das detonações.

A conclusão da concretagem do Muro de Transição Direito deverá ocorrer em outubro do ano 3 de obra, 2 meses antes da conclusão da Barragem Lateral Direita. No caso do Muro de Transição Esquerdo e da barragem correspondente, a antecedência da conclusão da concretagem do primeiro em relação à conclusão do aterro da segunda será de 5 meses: final de julho para final de dezembro, ambos do ano 4. O conjunto dos Muros de Transição tem volume estimado em 352.000 m³.

Em outubro do ano 5 de obra, 44 meses após o lançamento do primeiro concreto, deverá estar encerrada a concretagem dos 1.250.000 m³ da Tomada d'Água Principal. Já os mesmos serviços na Casa de Força Principal somente estarão concluídos em dezembro. Por esta ocasião, deverão ter sido lançados 1.180.000 m³ de concreto nesta estrutura.

Os primeiros serviços de montagem – guias, batentes, grades – da Tomada d'Água Principal terão início no último bimestre do ano 3 de obra, 20 meses depois de iniciada a concretagem da estrutura. Por seu turno, os condutos forçados começarão a ser montados em março do ano 4. No caso da Casa de Força Principal, o início da montagem eletromecânica do primeiro grupo gerador está previsto para março do ano 3, 10 meses após as primeiras concretagens na estrutura. A entrada em operação comercial deste primeiro grupo deverá ocorrer em 31 de março do ano 6. A montagem das unidades seguintes seguirá o mesmo ritmo, porém, sempre com defasagem de 3 meses em relação ao grupo anterior.

Da mesma forma que no Sítio Bela Vista, uma série de obras de terra/rocha relativas aos canais de adução e aos diques, que se encontrarão no raio de influência do Sítio Belo Monte, deverão utilizar seu canteiro como apoio. Essas obras, mais precisamente os diques 1 a 4, 6A a 6C e 7A a 7D, e os canais CATA e CTCS, envolvem escavações em solo e em rocha da ordem de 16.000.000 m³ e 550.000 m³, respectivamente, e aterro compactado de 10.150.000 m³, já incluídas transições, filtros e proteções (vide **Desenho BEL-V-10-100-0069 - Apêndice 4.76 - Volume 3**). Tais obras deverão ser iniciadas após o período chuvoso do ano 1 e se estenderão até o final do ano 5 de obra.

2.4) Canais de Adução

Os canais de adução representam uma série de obras que serão executadas, de forma descontínua, ao longo de 60 km de extensão, para permitir a adução da vazão máxima turbinada – 13.900 m³/s – desde a margem esquerda do rio Xingu, a montante do sítio Pimental, até a Tomada d'Água Principal, já no sítio Belo Monte. Destes 60 km de extensão, cerca de 28 km serão canais escavados e o restante composto de áreas inundadas na margem esquerda. Do trecho escavado, 60% será revestido com concreto. O trecho revestido se situa nos 17 km iniciais dos canais localizados dentro do estirão denominado Canais de Derivação (vide **Desenho BEL-V-30-100-0042 - Apêndice 4.24 - Volume 3**). Por seu turno, os Canais de Derivação, com 20 km de extensão, estão sub-divididos em 2 trechos: o primeiro, com 12 km de extensão, formado por 2 canais paralelos, denominados Canais de Derivação Direito e Esquerdo, totalmente revestidos; o segundo, formado por um canal único, denominado Canal de Derivação - Trecho da Junção, com 5 km dos seus 8 km revestido.

A execução dos canais de adução se configura em uma obra vultosa e singular, envolvendo quantitativos de grande magnitude. Serão escavados 130.000.000 m³ em solo e 45.000.000 m³ em rocha, lançados 1.113.000 m³ de concreto e utilizados 3.900.000 m³ de transições e enrocamento como base do trecho revestido. O **Quadro 4-14-2** discrimina os quantitativos relativos a cada trecho dos canais de adução, podendo os mesmos ser visualizados no **Desenho BEL-V-30-100-0042 - Apêndice 4.24 - Volume 3**).

Quadro 4-14-2
Canais de Adução - Quantitativos por Trecho

Trecho	Volume (10 ³ m ³)			
	Escavação Comum	Escavação Rocha	Concreto	Transições/Base
Canais Derivação	104.600	43.700	1.113	3.900
CTPT1	3.800	400	--	--
CTPT2	850	--	--	--
CTPT3	1.100	--	--	--
CTTC	2.100	--	--	--
CTCC	5.500	--	--	--
CTCS	12.500	550	--	--
CATA	1.700	--	--	--

Fonte: Estudos de Viabilidade CHE Belo Monte – ELETROBRÁS/ELETRONORTE – 2002

Pelo fato de não se tratar de uma única obra concentrada, o planejamento executivo dos canais considerou que ora existirão canteiros/alojamentos específicos, ainda que provisórios, para o trecho dos Canais de Derivação, ora será utilizada a infra-estrutura construtiva de sítios dos quais os trechos se situem perto.

No trecho de topografia natural mais elevada dos Canais de Derivação, entre o 8º e o 12º quilômetro, a maior parte da escavação deverá estar sob a influência do lençol freático local. Com isso, deverão ser executadas drenagens provisórias para os diversos períodos construtivos que incluirão, para a fase final de obra, um canal central, com cerca de 10 m de largura. Tal canal permitirá a concretagem do fundo dos Canais de Derivação a seco.

No trecho dos Canais de Derivação, onde se concentram quase 90% do volume total das obras dos canais de adução, os serviços terão início no mês de outubro do ano “zero”, com a melhoria de acessos – travessão do km 27 da Transamazônica – e a instalação de canteiros/alojamentos, além da execução de linha de transmissão para alimentação do canteiro. A partir de abril do ano 1 deverão ser iniciadas as escavações dos trechos com topografia natural mais elevada – acima da cota 98,0 m. No Canal-Trecho da Junção, onde a declividade longitudinal – ao longo do eixo do canal – é mais acentuada, as escavações e conseqüentes aterros em áreas de bota-fora prosseguirão até cotas mais baixas – em torno da cota 80,0 m. No ano 1, não serão realizadas escavações em rocha. Também não se espera a realização de grandes serviços abaixo do lençol freático. Estima-se que sejam escavados 35.000.000 m³ no ano 1, volume total que se repetirá, em média, nos 3 anos seguintes.

Passado o período chuvoso do ano 2, o ritmo normal dos serviços será retomado, abrindo-se três grandes frentes de escavação em rocha: uma, em torno da cota 76,0 m, no Canal-Trecho Junção, e outras duas nos Canais Direito e Esquerdo, com bancada na cota 87,0 m, aproximadamente. Em todas as três frentes, o avanço da escavação, no sentido longitudinal dos canais, se dará de jusante para montante, isto é, no sentido contrário ao futuro escoamento dos canais, objetivando garantir drenagem permanente da área em obra. No sentido transversal ao eixo dos canais, o avanço será efetuado em 2 etapas, de forma a sempre se

dispor de solo para cobrir as áreas de bota-fora de enrocamento. As escavações em solo prosseguirão, com realização de bota-fora em áreas pré-estabelecidas. Nos primeiros quilômetros dos Canais de Derivação Direito e Esquerdo, a escavação em solo alcançará cotas abaixo do nível d'água correspondente à passagem da cheia de projeto de desvio. Com isso, estes trechos iniciais dos canais deverão ficar submersos no período chuvoso. Para que as escavações em rocha, na parte mais central dos Canais Direito e Esquerdo, não sofram problema de continuidade, deverá ser deixado um septo de rocha/solo em cada canal, em local adequado.

A conclusão da escavação comum no Canal-Trecho Junção se dará ao final do ano 2. Por esta época, com cerca de 50% da escavação em rocha executada, deverá ser iniciado o lançamento de concreto, atividade que deverá se estender até o final do ano 3 neste trecho.

Previu-se a execução do revestimento dos taludes e fundo dos canais com a utilização de máquinas do tipo pavimentadoras, de forma a garantir alta produtividade, sem perda de qualidade do serviço – manutenção do greide, da espessura do revestimento e do padrão de acabamento da superfície. Em todo o trecho, a concretagem será efetuada primeiro nos taludes. As proteções de talude, acima do trecho revestido, ou seja, acima da cota 98,0 m, deverão ser executadas à medida em que as escavações em solo avançarem, de forma a não permitir que grandes áreas fiquem expostas ao intemperismo por longo tempo.

No ano 3, a escavação em rocha nos Canais Direito e Esquerdo prosseguirá com a execução de bancadas já nas cotas finais de escavação. Isto possibilitará que, na metade do ano 3, seja iniciada a concretagem nestes trechos. A conclusão das escavações deverá ocorrer no ano 5 de obra, sendo que, em torno de 90%, deverá estar realizada ao final do ano 4. A concretagem tem seu término previsto para o final do ano 5, possibilitando que seja liberado, em seguida, o fluxo d'água ao longo dos Canais de Derivação.

Para que as obras do quarto e quinto anos prossigam independente do regime fluviométrico do rio Xingu, na região de entrada dos Canais de Derivação Direito e Esquerdo serão construídas enscadeiras que deverão ser, por ocasião da conclusão das obras desses canais, ao final do ano 5, devidamente removidas, com a utilização de retroescavadeiras e dragas.

Os outros trechos dos canais de adução terão suas escavações iniciadas na estiagem do ano 1 de obra. O canal CATA estará concluído ao final do ano 2 de obra. Os canais CTPT1 e CTCS, que serão parcialmente escavados em rocha, serão concluídos no quarto trimestre do ano 5. Os demais canais têm sua conclusão prevista para dezembro do ano 4.

2.5) Diques

A execução dos diques de fechamento do reservatório a ser formado na margem esquerda do rio Xingu também adotará preferencialmente, como apoio, os canteiros dos sítios dos quais estejam mais próximos. Para alguns diques, haverá a necessidade de que sejam realizadas melhorias e/ou construídos acessos específicos. Todos os serviços preliminares terão início em outubro do ano “zero”.

Em junho do ano 1, após a passagem do período chuvoso, começarão as escavações nos locais de construção dos diques 1 a 4, envolvendo um total de 30.000 m³. Estes serviços estarão completados ainda no mesmo ano. As escavações referentes aos diques 6A a 7D, num total de

1.850.000 m³, serão realizadas na estiagem do ano seguinte. Durante a mesma estiagem, iniciarão as escavações de 900.000 m³ nas fundações dos diques 10A a 29.

A execução dos aterros dos diques se fará com utilização de material proveniente de escavações obrigatórias dos canais de adução, sempre que a distância média de transporte for inferior a 2 km.

Conforme mencionado anteriormente, para subida dos diques posicionados em vales de igarapés de maior porte, serão construídas galerias de desvio que, por ocasião do enchimento do reservatório, serão fechadas e parcialmente preenchidas com concreto.

Durante a estiagem do ano 2 deverão ser construídos os diques 1 a 4, num total de 45.000 m³ de aterro compactado e enrocamento de proteção. Na área de influência do Sítio Belo Monte serão executados, a partir de junho do ano 3, os diques 6A a 7D, envolvendo um volume de 10.100.000 m³. Todas essas estruturas estarão coroadas em dezembro do ano 5 de obra. O lançamento e a compactação de aterro nos diques 10A a 29 terão início ao final do período chuvoso do ano 2 de obra. Os 17.000.000 m³ serão lançados e compactados durante 4 estiagens, estando as estruturas prontas no último bimestre do ano 5 de obra.