

UHE BELO MONTE

7. SÍTIO PIMENTAL

7.1. CONCEPÇÃO GERAL DO PROJETO

O Sítio Pimental compreende o barramento principal do aproveitamento situado no rio Xingu, cerca de 40 km a jusante da cidade de Altamira. Nesta região o rio Xingu apresenta vários braços com a formação de algumas ilhas dentre as quais se destacam, da margem esquerda para a direita: Ilha do Forno, Ilha Pimental, Ilha Marciana, Ilha do Reinaldo (a jusante do barramento), Ilha do Meio (a montante do barramento) e Ilha da Serra (ver des. BEL-B-PM-DE-GER-000-0001).

Neste Sítio fica o conjunto de obras que efetivamente barra o rio Xingu, permitindo a formação do reservatório e a adução de água para o circuito principal de geração. Este Sítio compreende as seguintes estruturas:

- Barragem Lateral Esquerda
- Casa de Força Complementar
- Vertedouro
- Barragem de Concreto entre vertedouros
- Barragem de Ligação com a Ilha da Serra
- Barragem do Canal Direito
- Subestação
- Sistema de Transposição de Peixes
- Sistema de Transposição de Embarcações

As principais estruturas de concreto do Sítio Pimental são a Casa de Força Complementar e o Vertedouro, ambos dispostos sobre a calha principal do rio Xingu, entre a Ilha Marciana e a Ilha da Serra.

A Casa de Força Complementar possui 6 unidades geradoras tipo Bulbo com potência unitária de 38,85 MW totalizando uma potência instalada de 233,1 MW. Na lateral esquerda da Casa de Força é disposta a Área de Montagem que propicia também acesso ao interior da estrutura. Na lateral direita está previsto um bloco de ligação com o Vertedouro, sendo que neste bloco estão situados os poços de esgotamento e drenagem da Casa de Força. A Casa de Força e a Tomada de Água formam uma única estrutura.

O deck principal da Tomada de Água está situado na El. 100,00 e coincide com a crista das diversas estruturas do barramento. O deck de jusante fica na El. 97,50. A Subestação está localizada a jusante do barramento e à esquerda do Canal de Fuga, sendo formada por um aterro compactado onde se localizam os diversos equipamentos eletromecânicos desta estrutura. A plataforma apresenta dimensões de 126 m de comprimento e 112 m de largura, estando a plataforma do aterro na El. 97,50.

O Vertedouro está localizado à direita da Casa de Força Complementar e foi dimensionado para descarregar a cheia decamilenar com pico de 62.000 m³/s, com o

UHE BELO MONTE

reservatório na El. 97,50 (nível máximo maximorum). É provido de 20 vãos (subdivididos em dois grupos, um de 12 vãos e outro de 8 vãos) com 20,00 m de largura cada e crista na El. 75,20. Entre estes dois grupos de vãos do vertedouro é disposto um trecho de barragem de concreto com 80 m de extensão. O Vertedouro é controlado por comportas tipo segmento, sendo que a montante e a jusante estão previstas comportas ensecadeiras para manutenção. A dissipação da energia das vazões vertidas é feita por meio de uma bacia curta de dissipação. O Vertedouro possui duas pontes, uma a montante e outra a jusante. O tabuleiro da ponte de montante encontra-se na El. 100,00 sendo que o da ponte de jusante encontra-se na El. 98,00.

A barragem de Pimental é coroada na El. 100,00 e é formada por diversos tramos de barragem de terra e/ou enrocamento, adjacentes às estruturas da Casa de Força e do Vertedouro.

À esquerda da Casa de Força Complementar está a Barragem Lateral Esquerda, que se estende por cerca de 5,1 km, sendo que em grande parte se desenvolve por sobre a Ilha Pimental. Esta barragem apresenta seção homogênea de solo compactado com "cut-off" interceptando totalmente a camada aluvionar até o topo rochoso e sistema interno de drenagem composto por um filtro tipo chaminé ligado a um tapete drenante. No pé de jusante está prevista uma trincheira drenante com poços de alívio com a finalidade de reduzir subpressões e controlar a saída das águas de percolação pela fundação. A jusante deste trecho da barragem está previsto um acesso para a construção das estruturas principais durante a fase de desvio.

O barramento entre o Vertedouro e a Ilha da Serra, com uma extensão de 250 m, apresenta seção de enrocamento com núcleo argiloso junto à estrutura. No trecho restante, até o fechamento na ombreira, apresenta seção homogênea de terra, com sistema de drenagem interna composto de filtro tipo chaminé ligado a um tapete drenante horizontal e no pé de jusante uma trincheira drenante com poços de alívio.

A Barragem do Canal Direito, na calha principal do canal de mesmo nome, é de enrocamento com núcleo argiloso numa extensão de cerca de 710 m. As ensecadeiras de 2ª Fase no leito do rio têm seção de enrocamento com vedação externa em solo argiloso e são parcialmente incorporadas à barragem de enrocamento. Nas ombreiras, a barragem apresenta seção homogênea de terra, semelhante à seção acima descrita para a Barragem de Ligação com a Ilha da Serra.

O Sistema de Transposição de Peixes está localizado à esquerda da Casa de Força Complementar e compreende um canal de derivação que busca simular as condições naturais de escoamento no rio. Este canal possui uma extensão de cerca de 1 km com 6,0 m de largura de fundo e taludes internos de 2,0 H: 1,0 V. A entrada dos peixes está junto ao canal de fuga e é provida de uma estrutura de controle por comporta mitra para atração de peixes. A saída do dispositivo fica junto ao barramento (em posição afastada da Casa de Força) e é provida de estrutura de controle de fluxo e de monitoramento de peixes.

O Sítio Pimental também é provido de um sistema de transposição de pequenas embarcações.

UHE BELO MONTE

7.2. DESVIO DO RIO E SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA

Dos sítios que compõem a série de obras da UHE Belo Monte, apenas o Sítio Pimental está situado na calha do rio Xingu. Dessa forma, para as atividades de construção deste sítio, será necessário o desvio do rio, previsto para ser feito em duas fases principais.

Na 1ª fase o rio será desviado para a sua calha principal (Canal Direito), à direita da Ilha da Serra, sendo as atividades de construção protegidas por ensecadeiras. Durante a 2ª fase, o rio será desviado pelos 12 vãos do lado direito do Vertedouro, propiciando a construção da Barragem do Canal Direito, protegida por ensecadeiras para esta finalidade.

Durante a 1ª fase também serão desenvolvidas as atividades de construção localizadas na margem esquerda, na Ilha Pimental e no Canal Central, com o rio escoando pelo Canal Direito. Os desenhos BEL-B-PM-DE-ODR-100-0001 e 0002 mostram as ensecadeiras da margem esquerda, acesso entre a margem esquerda e canteiro e as ensecadeiras do Canal Central.

A seqüência construtiva para a 1ª fase consistirá em:

- Execução de acesso entre margem esquerda e canteiro com cota de coroamento na El. 95,50, correspondente a uma cheia anual de 50 anos de recorrência (37.014 m³/s);
- Fechamento do Canal Central no período seco com pré-ensecadeira na El. 84,00, dimensionada para vazão média mensal de agosto (1.584 m³/s), e alteamento das ensecadeiras de montante e jusante nas El. 96,50 e 94,00, respectivamente, protegidas para uma cheia anual de 100 anos de recorrência (40.262 m³/s) concluídas até início do período úmido;
- Com o Canal Central ensecado iniciam-se as atividades para a execução das estruturas do Vertedouro, Barragem de Concreto e Casa de Força Complementar compreendendo: esgotamento, escavações, Canais de Aproximação e de Restituição, tratamentos de fundação, concretagem e montagem eletromecânica;
- Após a construção da Barragem de Concreto entre os dois grupos de comportas do Vertedouro deverão ser construídas as ensecadeiras de montante e jusante, no Canal Central, paralelas ao fluxo;
- Para a construção da Barragem Lateral Esquerda, entre a Ilha do Forno e a Ilha Pimental, pode-se optar pela execução no primeiro período seco, paralelamente com o ensecamento do Canal Central, ou no segundo período seco, juntamente com outras atividades de construção. Para construção da Barragem Lateral Esquerda foi adotada ensecadeira para uma vazão de 17.221 m³/s correspondente a uma cheia de 100 anos no período entre julho e dezembro;
- Considerou-se a execução da Barragem Lateral Esquerda na Ilha Pimental em período seco, protegida por septos naturais, de forma que a mesma possa ser executada a seco, sem a necessidade de lançamento de ensecadeira por montante. A barragem de terra está protegida para uma cheia de 100 anos no período de agosto a novembro (5.320 m³/s);
- Concluídas as obras do grupo de 12 vãos do Vertedouro e da Barragem de Ligação com a Ilha da Serra, pode-se iniciar a remoção das ensecadeiras do Canal Central e o arranque das ensecadeiras no Canal Direito para início da 2ª fase de desvio do rio (ver desenhos BEL-B-PM-DE-ODR-100-0003 e 0004);

UHE BELO MONTE

Durante a segunda fase, o rio passará a escoar através dos 12 vãos do Vertedouro executados na primeira fase, permitindo assim a execução das obras da Barragem do Canal Direito. Para tanto serão removidas parcialmente as ensecadeiras de 1ª fase no Canal Central e lançadas as pré-ensecadeiras de montante e de jusante no Canal Direito, nas El. 87,00 e 86,00, respectivamente, protegidas para vazão média mensal do mês de junho (7.381 m³/s).

As ensecadeiras de segunda fase serão alteadas e coroadas nas El. 96,50 de montante e 93,50 de jusante protegidas para cheias de 100 anos de recorrência. Após a conclusão das atividades de construção da Casa de Força e dos 8 vãos restantes do Vertedouro as ensecadeiras de montante e jusante do Canal Central deverão ser removidas.

7.3. BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO

O barramento do Sítio Pimental tem comprimento de crista de cerca de 6.340 m e está coroado na El. 100,00. O nível máximo normal do reservatório está situado na El. 97,00. A largura da crista das barragens é de 7,50 m, constante em toda a extensão.

Neste Sítio estão localizados os aterros da Barragem do Canal Direito, Barragem de Ligação com a Ilha da Serra e Barragem Lateral Esquerda, assim como o Vertedouro e a Casa de Força Complementar. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-000-0001 mostra o arranjo geral deste sítio, destacando a posição das barragens e das Ilhas da Serra, Marciana, Pimental e do Forno, conforme descrição a seguir:

- Barragem do Canal Direito. Esta barragem, localizada entre a margem direita do Rio Xingu e a Ilha da Serra, tem seção de enrocamento com núcleo de material terroso. Nas margens a seção da barragem é de terra homogênea, tendo em vista a grande espessura da cobertura de solo de alteração de migmatito;
- Barragem de Ligação com a Ilha da Serra. Esta barragem, localizada entre o Vertedouro e a Ilha da Serra, tem seção de terra homogênea em sua maior extensão, passando a seção de enrocamento com núcleo de material terroso junto ao Vertedouro;

Barragem Lateral Esquerda. Esta barragem, localizada entre a Casa de Força Complementar e a margem esquerda, passando pelas Ilhas Marciana, Pimental e do Forno, tem seção em terra homogênea. Ao longo da barragem está prevista a execução de trincheira de vedação (cut-off) apoiada em maciço rochoso de migmatito ou sobre o solo alteração de migmatito/tremolitito, conforme indicado nos desenhos específicos. O objetivo do cut-off é de interceptar a camada aluvionar de permeabilidade elevada, relacionada à gênese do próprio material ou à existência de canalículos.

Todos os aterros das barragens de seção de terra homogênea são dotados de sistema interno de drenagem que é composto por filtro vertical de areia, tipo chaminé, ligado a um tapete drenante tipo sanduíche. Na saída da drenagem está prevista proteção com emprego de filtro invertido e enrocamento de proteção. No pé de jusante está prevista uma trincheira drenante com poços de alívio com a finalidade de reduzir subpressões e controlar a saída das águas de percolação pela fundação. A Tabela 7.1 apresenta as características básicas das barragens do Sítio Pimental.

UHE BELO MONTE

Tabela 7.1 - Características Básicas das Barragens do Sítio Pimental

Barragem	Seção	Talude de Montante	Talude de Jusante	Comprim. da Crista (m)	Altura da Barragem (m)
Barragem do Canal Direito - Leito do Rio	Enrocamento com núcleo de material terroso e seção homogênea	1,3H:1V 2,0H:1V	1,3H:1V 1,8H:1V (entre bermas)	740,00	34,00
Barragem de Ligação com a Ilha da Serra	Seção Homogênea e Enrocamento com núcleo de material terroso	1,3H:1V 2,0H:1V	1,3H:1V 1,8H:1V (entre bermas)	250,00	18,00
Barragem Lateral Esquerda - Ilha Marciana	Seção Homogênea	2,0H:1V	1,7H:1V (entre bermas)	970,00	14,00
Barragem Lateral Esquerda - Ilha Pimental	Seção Homogênea	2,0H:1V	1,8H:1V (entre bermas)	2900,00	13,00
Barragem Lateral Esquerda - Ilha do Forno	Seção Homogênea	2,0H:1V	1,8H:1V (entre bermas)	1230,00	14,00

7.3.1 Análises de Estabilidade das Barragens do Sítio Pimental

Um resumo das condições de estabilidade das Barragens Lateral Esquerda, de Ligação com a Ilha da Serra e do Canal Direito é apresentado neste item.

Para dimensionamento das estruturas de barramento, foram realizadas análises de estabilidade ao escorregamento dos taludes pelo método de equilíbrio limite, com estudos de percolação e estabilidade empregando os programas de computador SEEP/W, e SLOPE/W, respectivamente, ambos desenvolvidos pela Geo-Slope do Canadá.

Os casos de carregamento considerados nas análises de estabilidades dos taludes foram os de Final de Construção, Rebaixamento Rápido do Reservatório e o de Regime Permanente.

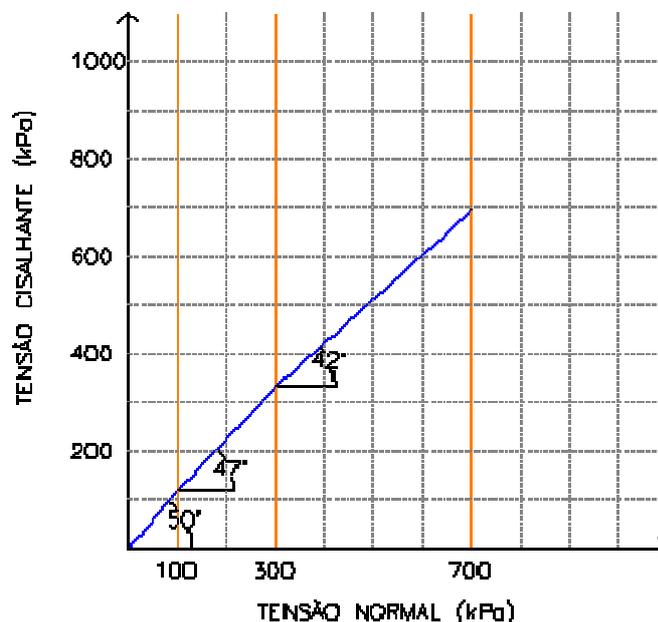
O caso de Rebaixamento Rápido é caracterizado pelo reservatório instantaneamente rebaixado ao nível da crista do vertedouro (EL. 75,20), não admitindo dissipação das poro-pressões no maciço terroso.

Os parâmetros geotécnicos dos materiais são apresentados, de forma condensada na Tabela 7.2. No item 4.5 do presente relatório são mostrados os resultados dos ensaios realizados nos Estudos de Viabilidade. A Figura 7.1 apresenta a envoltória de resistência do enrocamento compactado.

Tabela 7.2 – Parâmetros Geotécnicos dos Materiais

Material	γ_n (kN/m ³)	c' (KPa)	ϕ' (°)	k (cm/s)	kh/kv
Solo Compactado	18,5	20,0	29	$1,0 \times 10^{-05}$	10
Areia 3A	18,0	0	35	$1,0 \times 10^{-02}$	1
Transições	18,0	0	35	$5,0 \times 10^{-01}$	1
Enrocamento Compactado	21,0	Envoltória não linear de resistência – Figura 7.1		Drenagem Livre	
Enrocamento Lançado	21,0	0	45	Drenagem Livre	
Aluvião – argila siltosa	18,0	0	26,5	$7,5 \times 10^{-05}$	1
Aluvião – areia fina	18,0	0	29	$5,7 \times 10^{-01}$	1
Fundação – Solo de Alteração de Migmatito	19,5	10	27	$4,0 \times 10^{-05}$	4

Figura 7.1 – Envoltória de Resistência do Enrocamento Compactado



Com base nos critérios e parâmetros apresentados foram desenvolvidos os estudos de verificação de estabilidade dos taludes, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Resultados das Análises de Estabilidade das Barragens do Sítio Belo Monte

Seção	Caso de Carregamento	FS Mínimo	FS Obtido
Barragem Lateral Esquerda – Seção Homogênea	Regime permanente - Jusante	1,50	1,51
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,40
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,49
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,03
Barragem de Ligação com a Ilha da Serra – Seção Homogênea	Regime permanente - Jusante	1,50	1,54
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,66
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,77
	Rebaixamento rápido - montante	1,01	1,50
Barragem do Canal Direito – Seção de Terra Enrocamento	Regime permanente - Jusante	1,50	1,55
	Término de construção (Ru=0,10) - Montante	1,30	1,93
	Término de construção (Ru=0,10) - Jusante	1,30	1,64
	Rebaixamento rápido - montante	>1,01	1,54

7.4. VERTEDOURO

O Vertedouro situado no Sítio Pimental possui vinte vãos de 20,00 m e é subdividido em 2 conjuntos com 8 comportas e 12 comportas respectivamente. A separação entre os dois conjuntos de comportas é feita por um trecho de barramento em concreto com 80,0 m de extensão. Esta estrutura possui crista na El. 75,20, perfil vertente do tipo “Creager”, e foi dimensionado para extravasar a cheia de 62.000 m³/s com nível do reservatório na El. 97,50.

O paramento de montante da soleira possui declividade de 1,5:1,0H e ogiva com perfil hidrodinâmico. A jusante, tem-se um perfil tipo “Creager”, seguido de uma bacia de dissipação de energia na El. 67,00 e com cerca de 50,00 m de comprimento, com a função de conter o ressalto hidráulico para a vazão centenária (Q = 40309 m³/s), considerando um nível d’água normal do reservatório na El. 97,00. A concordância geométrica entre o perfil “Creager” e a bacia de dissipação é feita por um raio de 13,00 m. O canal de aproximação do Vertedouro possui aproximadamente 185 m de comprimento e cota na El. 66,00. A aproximação do trecho do Vertedouro com 12 vãos possui uma largura de 289,5 m enquanto que o trecho com 8 vãos possui uma largura de cerca de 191,5 m.

Após a bacia de dissipação os canais de restituição apresentam largura variável, se estendendo por cerca de 312 m com um trecho inicial de cerca de 100 m na El. 66,70, seguido de um trecho em rampa com declividade de 2,5%. O canal de restituição do trecho do Vertedouro com 12 vãos tem largura inicial de 298,5 e largura final de cerca de 380 m. O canal de restituição do trecho com 8 vãos tem largura inicial de 200,5 m e largura final de 290 m.

Os blocos centrais do Vertedouro apresentam dois semi-vãos (junta de contração entre blocos no eixo dos vãos). Os vãos estarão equipados com comportas ensecadeiras a montante e jusante. Estas comportas serão instaladas através de

UHE BELO MONTE

pórticos rolantes que se movimentarão sobre as pontes de montante e de jusante, respectivamente nas El. 100,00 e na El.98,00.

A ponte de montante, além de caminho para o pórtico rolante, comum para o Vertedouro e a Tomada de Água, também conta com uma pista de rolamento. Da mesma forma, a ponte de jusante contará com pista de rolamento, e caminho para pórtico rolante, sendo que este último será exclusivo do Vertedouro. A necessidade de se prever comportas ensecadeiras a jusante do Vertedouro se deve ao fato de que o nível de água mínimo a jusante estará acima da elevação da crista da soleira vertente.

Junto à fundação do Vertedouro, a montante da estrutura, está prevista uma galeria longitudinal para injeção e drenagem.

Foi desenvolvida análise de estabilidade de um bloco típico. Além dos casos normal, excepcionais de sismo e enchente, fez-se uma análise do bloco para o caso temporário, sem água entre as comportas ensecadeiras fechadas e submetido a pressão hidrostática no nível normal. Os resultados das análises de estabilidade são apresentados na Tabela 7;4.

Tabela 7.4 – Resultados das Análises de Estabilidade das Barragens do Sítio Belo Monte

Carregamentos	FS tombamento	FS deslizamento	FS flutuação
Caso Normal	1,60 > 1,5	2,31 > 1,0	2,29 > 1,3
Caso Excepcional Enchente	1,62 > 1,2	20,32 > 1,0	2,07 > 1,1
Caso Excepcional Sismo	1,47 > 1,2	2,47 > 1,0	2,26 > 1,1
Caso Excepcional Galerias Inoperantes	1,22 > 1,2	2,59 > 1,0	1,39 > 1,1
Caso Temporário Comportas fechadas	1,32 > 1,2	1,69 > 1,0	1,79 > 1,1

Para todos os casos Normal, Excepcional Enchente e Excepcional Galerias Inoperantes não há junta trativa na fundação. Para o Caso Temporário e Excepcional Sismo há abertura de junta trativa a montante que estabiliza com 2,60 m < 4,92 m (80% do alinhamento da drenagem). A máxima tensão comprimida encontrada foi de 0,42 MPa (caso CCN)

7.5. CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA

A Casa de Força Complementar possui 6 unidades geradoras tipo Bulbo com potência unitária de 38,85 MW.

A Casa de Força possuirá três blocos de 38,10 m, cada um dos quais abrigando duas unidades geradoras. À direita, conta com uma extensão provida por um bloco de ligação com o Vertedouro, de 10,50 m. perfazendo um total de 124,80 m na direção transversal ao fluxo

Sendo um aproveitamento de baixa queda, a Tomada de Água e a Casa de Força formam uma estrutura única.

UHE BELO MONTE

Em uma unidade típica, a Tomada de Água configura a parte de montante da estrutura, que conduz água à turbina e onde se encontram as grades de proteção e comportas ensecadeiras de montante. Sua crista (deck de montante) encontra-se na El. 100,00. A soleira da entrada situa-se na El. 65,84 m. Cada unidade geradora é composta por dois portais de entrada, com 5,64 m de largura cada um, separados por um pilar com 2,15 m de largura e forma hidrodinâmica. A altura da passagem hidráulica é de 26,88 m na região das grades e de 14,32 m na aproximação ao bulbo da turbina. No sentido do fluxo, a passagem hidráulica apresenta um comprimento de 19,42 m junto ao piso. A entrada de cada unidade é dotada de grades de proteção de 27,87 m de altura por 15,02 m de largura, que transiciona para dois vãos controlados por comportas ensecadeira com dimensões de 5,64 m de largura x 17,20 m de altura.

A seção transversal típica da Casa de Força pode ser subdividida em nave central e região das galerias. A nave central apresenta um vão de 17,40 m, estando o piso principal na El. 64,38 m. O grupo gerador do tipo Bulbo está localizado abaixo do piso da nave central, com linha de centro do rotor na El. 73,00 m. A interligação entre as diversas unidades é efetuada na parte inferior da Casa de Força por uma galeria situada na El. 81,30 m, coincidente com o piso do poço da turbina. A parte de jusante da Casa de Força compreende a região das galerias, dispostas sobre o tubo de sucção, com o deck de jusante na El. 97,50 m. A Casa de Força apresenta 2 galerias que se estendem por todas as unidades e abrigam os diversos equipamentos necessários para a operação das unidades. No sentido do fluxo estas galerias possuem um comprimento de 17,00 m. A galeria inferior, com piso na El. 81,30 m é a galeria mecânica e seu pé-direito é de 6,35 m. Acima da galeria mecânica dispõe-se a galeria elétrica, com uma altura de 7,20 m e piso na El. 88,50 m. O comprimento do tubo de sucção, entre a linha de centro das pás do rotor e a saída é de 33,76 m. O trecho inicial do tubo de sucção apresenta-se como uma expansão cônica cujo diâmetro final é de cerca de 10,48 m. Em seguida, o tubo de sucção configura-se numa transição, da seção circular de 10,48 m de diâmetro para a seção quadrada, com 14,14 m de lado e piso na El. 65,93 m na saída. A comporta vagão de emergência secciona o tubo de sucção em uma posição intermediária e é operada por cilindro hidráulico.

Para o esvaziamento de cada tubo de sucção e caixa espiral está previsto, ao lado do poço de drenagem, um poço de esgotamento localizado adjacente à Casa de Força, na Área de Montagem

Tanto no deck de montante, na El. 100,00, como no deck de jusante, na El. 97,50 haverá uma pista de acesso permanente, com trilhos para movimentação de pórtico rolante.

A Área de Montagem está situada à esquerda da Casa de Força e é composta por uma área de serviço, com 45,25 m de comprimento, mais uma área de descarga, com 10,50 m, perfazendo um total de 55,75 m.

O acesso dos equipamentos para a Casa de Força se dará pela extremidade esquerda hidráulica da área de montagem, no piso externo, na El. 97,50, sendo que no interior da Casa de Força os diversos equipamentos serão manobrados por ponte rolante.

Junto à fundação da Tomada de Água, a montante da estrutura, está prevista uma galeria longitudinal de injeção e de drenagem na El. 60,34 m.

UHE BELO MONTE

O Canal de Adução à Tomada de Água será escavado em rocha sã, com largura de 114,30 m e extensão de 77,50 m, com o fundo variando da El. 78,70 m na extremidade de montante à El. 64,34 m junto da Tomada de Água

De forma a não exercer controle sobre as vazões turbinadas, o canal de fuga, com 108,66 m de largura de fundo, será escavado na El. 65,93 m, subindo então em rampa de 1(V):5,0(H) até a El. 76,00 m.

Foi desenvolvida uma análise de estabilidade para o conjunto Tomada de Água / Casa de Força segundo os Critérios de Projeto Civil para Usinas Hidrelétricas, desenvolvidos pela Eletrobrás. Os valores dos coeficientes de segurança encontrados estão apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Resultados das Análises de Estabilidade das Barragens do Sítio Belo Monte

Carregamentos	FS Tombamento	FS Deslizamento	FS Flutuação
Caso Normal	1,77 > 1,5	2,94 > 1*	1,95 > 1,3
Caso Excepcional Sismo	1,72 > 1,2	2,86 > 1*	1,99 > 1,1
Caso Excepcional Galerias Inoperantes	1,52 > 1,2	4,40 > 1*	1,69 > 1,1

*Os fatores de minoração de resistência ao atrito e a coesão são os definidos pelos Critérios de Projeto Civil (item 7.4.1).

Para todos os casos analisados não há junta tratativa na fundação. A máxima tensão comprimida encontrada foi de 0,35 MPa (caso CCC)

7.6. EQUIPAMENTOS MECÂNICOS PRINCIPAIS

7.6.1 Vertedouro

O Vertedouro estará localizado à direita da Casa de Força, e será dimensionada para descarregar a cheia decamilenar de 61.890 m³/s, considerando o reservatório com o nível d'água máximo maximorum, elevação 97,50 m.

O extravasamento da cheia decamilenar será garantido pelos 20 vãos do Vertedouro, cada um deles com 20 metros de largura. O controle das cheias será efetuado por comportas segmento, operadas por cilindros hidráulicos, sendo que a montante e a jusante contará com comportas ensecadeiras para manutenção. A dissipação da energia das vazões vertidas é efetuada através de uma bacia curta de dissipação.

Equipamentos Hidromecânicos

a) Comportas Ensecadeiras de Montante do Vertedouro

As comportas ensecadeiras de montante destinam-se ao ensecamento e manutenção dos 20 vãos do Vertedouro, possibilitando acesso à manutenção das comportas segmento.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de jusante.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Cada comporta ensecadeira será formada por painéis iguais e intercambiáveis exceto o painel superior que será dotado de válvula “by-pass”.

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora montada no gancho do pórtico rolante do Vertedouro. As operações de instalação e retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido por intermédio de duas válvulas “by-pass”, instaladas no painel superior da comporta, as quais serão acionadas pelo peso próprio da viga pescadora.

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta através de dispositivos de calagem.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de superfície
- Operação pórtico rolante
- Paramento e plano de vedação jusante
- Número de vãos do Vertedouro 20
- Número total de jogos de peças fixas 20
- Número de comportas 2
- Número de painéis por comporta 7
- Número total de painéis de comporta 14
- Número de jogos de dispositivos de calagem 20
- Número de vigas pescadoras..... 01
- Vão livre..... 20,00 m
- Elevação da soleira da comporta EL. 75,20 m
- Elevação do piso de operação do Vertedouro EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m

b) Comportas Segmento do Vertedouro

O Vertedouro do Sítio Pimental conta com vinte vãos onde serão instaladas comportas do tipo segmento de superfície.

O acionamento de cada comporta será efetuado por dois cilindros óleo-hidráulicos de simples efeito à tração, comandados e controlados localmente através da sala das centrais óleo-hidráulicas, localizadas nos pilares comuns a cada duas comportas e remotamente da sala de comando da Usina.

Os equipamentos de acionamento, comando e controle local das comportas serão agrupados para duas comportas adjacentes e localizadas numa câmara do pilar comum as duas comportas.

A operação de fechamento deverá ser realizada sob a ação do peso próprio da comporta, sob quaisquer condições de vazão.

UHE BELO MONTE

Para inspeção e manutenção da comporta segmento, haverá uma comporta ensecadeira que se instalará a montante da mesma para garantir o represamento, e, para se manter a comporta segmento na posição de abertura total para fins de manutenção, liberando-se os cilindros óleo-hidráulicos dos esforços de acionamento, haverá dispositivos de calagem, dispostos no topo das peças fixas da comporta.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de Comportasegmento de superfície
- Operação cilindro hidráulico de simples efeito
- Número de vãos do Vertedouro 20
- Número total de jogos de peças fixas 20
- Número de comportas 20
- Vão livre 20,00 m
- Raio da Comporta..... 21,00 m
- Elevação da soleira da comporta 74,30 m
- Elevação do piso de operação 97,80 m
- Elevação do NA máximo maximorum 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal 97,00 m
- Velocidade na abertura 0,25 m/min. (Ajustável)
- Velocidade no fechamento..... 0,25 m/min. (Ajustável)

c) Comportas Ensecadeiras de Jusante do Vertedouro

As comporta ensecadeiras de jusante destinam-se ao ensecamento e manutenção dos 20 vãos do Vertedouro, pelo lado jusante, possibilitando acesso à manutenção das comportas segmento.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de montante.

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora oriunda da comporta ensecadeira de montante Vertedouro, acoplada ao gancho de um guindaste móvel operando na ponte de jusante.

As operações de instalação e retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido pela comporta segmento a montante.

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta através de dispositivos de calagem.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de superfície
- Operação guindaste móvel

UHE BELO MONTE

- Paramento e plano de vedação montante
- Número de vãos do Vertedouro 20
- Número total de jogos de peças fixas 20
- Número de comportas 2
- Número de painéis por comporta 7
- Número total de painéis de comporta 14
- Número de jogos de dispositivos de calagem 20
- Vão livre..... 20,00 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. 67,00 m
- Elevação da ponte jusante do Vertedouro EL. 98,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum a jusante EL. 95,44 m
- Elevação do NA máximo normal de jusante EL. 83,64 m

Equipamentos de Levantamento

a) Pórtico Rolante do Vertedouro – Montante

O pórtico rolante do Vertedouro – Montante será utilizado para colocar e retirar os painéis da comporta ensecadeira de montante do Vertedouro e movimentar as grelhas de fechamento das ranhuras de operação da comporta.

O pórtico rolante será do tipo guincho fixo, totalmente coberto, abrigando os mecanismos do guincho. O mecanismo do guincho será do tipo suspensão através de um moitão e equipado com olhal, contendo um furo para acoplamento na viga pescadora

O pórtico rolante deslocar-se-á sobre trilhos instalados na elevação 100,00 m, percorrendo em linha reta toda a estrutura do Vertedouro.

As características principais do pórtico rolante são as indicadas abaixo:

- Quantidade 01
- Capacidade nominal do gancho principal..... 500 kN
- Extensão do caminho de rolamento 490 m
- Elevação do trilho EL. 100,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos 4,30 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 106,44 m
- Curso de elevação do gancho principal 30,00 m
- Velocidades do gancho principal..... 2,0/0,2 m/min
- Velocidades de translação do pórtico..... 10,0/2,0 m/min

UHE BELO MONTE

b) Pórtico Rolante do Vertedouro – Jusante

O pórtico rolante do Vertedouro – Jusante será utilizado para colocar e retirar os painéis da comporta ensecadeira de montante do Vertedouro e movimentar as grelhas de fechamento das ranhuras de operação da comporta.

O pórtico rolante será do tipo guincho fixo, totalmente coberto, abrigando os mecanismos do guincho. O mecanismo do guincho será do tipo suspensão através de um moitão e equipado com olhal, contendo um furo para acoplamento na viga pescadora

O pórtico rolante deslocar-se-á sobre trilhos instalados na elevação 98,00 m, percorrendo em linha reta toda a estrutura do Vertedouro.

As características principais do pórtico rolante são as indicadas abaixo:

- Quantidade 01
- Capacidade nominal do gancho principal..... 360 kN
- Extensão do caminho de rolamento 490 m
- Elevação do trilho EL. 98,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos 4,30 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 104,40 m
- Curso de elevação do gancho principal 35,00 m
- Velocidades do gancho principal..... 2,0/0,2 m/min
- Velocidades de translação do pórtico..... 10,0/2,0 m/min

7.6.2 Tomada de Água

O paramento de montante da Tomada de Água / Casa de Força Complementar terá inclinação de 1,0 V: 0,15 H e será dotado de grades na entrada nas unidades. A montante haverá comportas ensecadeiras estocadas nas ranhuras e na área de montagem. Tanto as grades como as comportas ensecadeiras serão operadas através de pórtico rolante. A jusante existirão comportas vagão operadas por cilindros hidráulicos, mas com manutenção realizada através de pórtico rolante. Tanto por montante quanto por jusante a ponte contará com trilhos para o pórtico rolante e uma pista de acesso permanente.

Equipamentos Hidromecânicos

a) Grades da Tomada de Água

A entrada da Tomada de Água é dotada de grades de proteção do tipo móvel, montadas sobre guias fixadas à face inclinada da estrutura.

Com o propósito de limitar o vão livres das grades, a Tomada de Água estará dividida em dois vãos através de um pilar central em concreto.

Cada adução será constituída de painéis empilhados, sendo um superior e os demais inferiores, todos iguais e intercambiáveis.

UHE BELO MONTE

Os painéis superiores serão providos de uma transição, na sua parte superior, que permita a passagem do rastelo da máquina limpa-grades de suas guias para as barra dos painéis das grades. Os painéis inferiores serão intercambiáveis.

Os painéis de grades devem ser projetados para proteger a turbina da entrada de detritos que possam danificar rotor, distribuidores e revestimento. O manuseio dos painéis das grades é realizado por meio do gancho do pórtico rolante, com auxílio de uma viga pescadora.

As características principais das grades são as indicadas abaixo:

- Tipo de grades removível
- Operação pórtico rolante
- Número de Tomadas de Água 06
- Número de vãos por Tomadas de Água 02
- Número total de vãos 12
- Número total de jogos de peças fixas 12
- Número de painéis de grade por vão 15
- Número total de painéis de grade 180
- Número de jogos de peças fixas para o poço de estocagem 01
- Número de vigas pescadoras 01
- Pressão máxima de projeto 30 kPa
- Espaçamento entre linhas de centro das barras verticais 150 mm
- Vão livre 7060 mm
- Altura livre (medida na vertical) 26876 mm
- Inclinação do paramento 1,0 V : 0,15 H
- Elevação da soleira da grade EL. 65,84 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m

b) Comportas Ensecadeiras da Tomada de Água

As comporta ensecadeiras da Tomada de Água destinam-se ao ensecamento e manutenção das unidades geradoras e das comportas vagão.

A comporta ensecadeira será metálica de construção soldada, possuindo paramento e plano de vedação voltados para o lado de jusante.

Cada comporta ensecadeira será formada por painéis iguais e intercambiáveis exceto o painel superior que será dotado de válvula "by-pass".

Os painéis serão manobrados com o auxílio da viga pescadora montada no gancho do pórtico rolante da Tomada de Água. As operações de instalação e

UHE BELO MONTE

retirada dos painéis nas ranhuras serão realizadas sob equilíbrio de pressões hidráulicas. Para a retirada dos painéis, o equilíbrio de pressões será conseguido por intermédio de duas válvulas “by-pass”, instaladas no painel superior da comporta, as quais serão acionadas pelo peso próprio da viga pescadora.

Em cada ranhura de operação será estocado um painel de comporta. Os demais painéis e a viga pescadora serão estocados em poço de armazenamento.

As características principais das comportas são as indicadas abaixo:

- Tipo de comporta ensecadeira de fundo
- Operação.....pórtico rolante
- Paramento e plano de vedaçãojusante
- Número de Tomadas de Água 06
- Número de vãos por Tomada de Água 02
- Número total de vãos..... 12
- Número total de jogos de peças fixas 12
- Número de comportas 04
- Número de painéis por comporta 08
- Número total de painéis de comporta 32
- Número de jogos de peças fixas para o poço de estocagem 02
- Número de jogos de dispositivos de calagem 12
- Número de vigas pescadoras..... 01
- Vão livre..... 5640 mm
- Altura livre.....17200 mm
- Elevação da soleira da comporta EL. 65,84 m
- Elevação do piso de operação EL. 100,00 m
- Elevação do NA máximo maximorum EL. 97,50 m
- Elevação do NA máximo normal EL. 97,00 m

Equipamentos de Levantamento

a) Pórtico Rolante e Máquina limpa-grades da Tomada de Água

A Tomada de Água do Sítio Pimental será equipada com um pórtico rolante para os serviços de operação, montagem e manutenção dos painéis das comportas ensecadeiras e painéis das grades. Este pórtico rolante também será equipado com um mecanismo completo capaz de fazer a limpeza das grades de proteção da Tomada de Água.

O pórtico rolante e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso desabrigado, comandado através de cabina fechada e equipado com um carro

UHE BELO MONTE

guincho, totalmente coberto, para abrigar os mecanismos do guincho e da direção do carro.

Será equipado com uma talha elétrica móvel, destinada a colocar e retirar os painéis de grade da Tomada de Água, com o auxílio de uma viga pescadora.

O mecanismo completo para limpeza das grades será adaptado à estrutura do pórtico rolante. O ciclo de limpeza será automático com a remoção dos detritos realizados durante o curso de subida do rastelo. Esses detritos serão recolhidos em uma vagoneta basculante.

O pórtico rolante deslocar-se-á sobre trilhos fixados na elevação 100,00 m, permitindo sua movimentação em linha reta ao longo da Tomada de Água.

As características principais do pórtico rolante são as indicadas abaixo:

- Quantidade 01
- Capacidade nominal do gancho principal..... 100 kN
- Extensão do caminho de rolamento 180 m
- Elevação do trilho EL. 100,00 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos 4,80 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 107,00 m
- Curso de elevação do gancho principal 40,00 m
- Velocidades do gancho principal..... 2,0/0,2 m/min
- Capacidade do guincho do rastelo limpa grades 15 kN
- Capacidade volumétrica do rastelo 1,0 m³
- Velocidades de translação do carro 10,0/2,0 m/min
- Velocidades de translação do pórtico..... 3,0/0,6 m/min

7.6.3 Casa de Força

Turbinas

As turbinas hidráulicas serão do tipo Bulbo de dupla regulação, eixo horizontal, com rotor Kaplan, com capacidade de produzir 40,05 MW, quando trabalhando sob queda líquida de 10,80 m com o distribuidor totalmente aberto. A rotação nominal será de 92,31 rpm, que corresponde à rotação síncrona de um gerador de 78 pólos.

A faixa normal de operação será de aproximadamente 30% até 100% da carga máxima, sob a respectiva altura de queda, podendo ser esperado um funcionamento estável, dentro dos limites de cavitação garantidos, o que deverá ser demonstrado por ensaio de modelo reduzido específico para a turbina.

Todas as partes da turbina serão projetadas para resistir com segurança aos esforços máximos resultantes de operação contínua, incluindo os transitórios e a eventual ocorrência de velocidade de disparo, conforme for garantido pelo Fabricante, a partir dos ensaios de modelo reduzido e com margem de segurança suficiente para prever as diferenças de comportamento do protótipo em campo.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

A velocidade de fechamento do distribuidor será ajustada, de modo que, após uma rejeição de plena carga, a sobrepressão máxima nas passagens da água, não seja superior a 25% e a sobrevelocidade alcance, no máximo, 60% acima da velocidade nominal.

a) Dados básicos

- Tipo..... Bulbo
- Número de unidades geradoras..... 06
- Potência de cada unidade geradora..... 38,85 MW
- Potência nominal no eixo de cada turbina..... 40,05 MW
- Capacidade total instalada na usina..... 233,1 MW
- Queda líquida de referência 10,80 m
- Velocidade síncrona sugerida 92,31 rpm
- Rendimento da turbina na potência máxima 94,0%

b) Regulador de velocidade

O sistema de regulação será constituído por reguladores digitais com controle tipo PID (proporcional-integral-derivativo) para regulação da frequência e/ou da potência fornecida pela unidade, possuindo para isso, transdutores de posição das palhetas diretrizes e das pás Kaplan, e transdutor de velocidade da unidade. O sistema incluirá unidades de entrada/saída, fontes de energia, chaves de controle e os acessórios necessários a um sistema digital deste tipo.

Os mecanismos de movimentação das palhetas diretrizes do distribuidor e das pás do rotor Kaplan terão resistência suficiente para suportar todos os esforços oriundos de quaisquer condições de operação, inclusive os originados de falhas de dispositivos de controle automático.

Cada servomotor será de acionamento hidráulico, convencional, de dupla ação, equipado com dispositivo de amortecimento para o final do seu curso.

- Garantias da regulação:
 - sobrevelocidade em rejeição plena de carga: 60%
 - sobrepressão em rejeição plena de carga: 25%

Equipamentos Hidromecânicos

a) Comportas Vagão do Tubo de Sucção

As seis unidades serão protegidas, cada uma, por comporta do tipo vagão para fechamento de emergência do Tubo de Sucção sob quaisquer condições de vazão da turbina e de nível d'água a montante e a jusante.

Cada comporta será manobrada por servomotor óleo-hidráulico de simples efeito, operada localmente através da sala das centrais óleo-hidráulicas e remotamente da sala de comando da Usina, sendo prevista uma central óleo-hidráulica para as

UHE BELO MONTE

duas comportas. A central óleo-hidráulica será dotada de dois grupos moto-bombas de duplo estágio, sendo um reserva do outro.

A comporta consistirá estruturalmente de painéis interligados formando um todo. Possuirá chapa estanque e plano de vedação voltados para montante, no entanto, além de vedar na direção montante/jusante, vedará também na direção jusante/montante no caso de inspeção e manutenção da turbina

A comporta será montada em partes, no interior da câmara de operação, com o auxílio do pórtico rolante do Tubo de Sucção. Para tanto se previu dispositivos de calagem instalados no interior do poço da comporta.

As características principais das comportas vagão são as indicadas abaixo:

- Tipo de comportavagão
- Tipo de acionamento..... mecanismo oleodinâmico
- Paramento e plano de vedação montante
- Número de Tubos de Sucção 06
- Número de vãos por Tubo de Sucção 01
- Número total de vãos 06
- Número total de jogos de peças fixas 06
- Número de comportas vagão 06
- Número de pares de dispositivos de calagem da comporta vagão..... 06
- Número de vigas de apoio dos mecanismos oleodinâmicos. 06
- Vão livre..... 12,55 m
- Altura livre..... 12,55 m
- Elevação da soleira da comporta EL. 66,87 m
- Elevação do piso de operação EL. 97,50 m
- Elevação da sala da central óleo-hidráulica EL. 97,50 m
- Altura do “cracking” da comporta EL. 150 mm
- Elevação do NA máximo maximorum de jusante EL. 95,44 m
- Elevação do NA máximo normal de jusante..... EL. 83,64 m
- Elevação do NA mínimo normal..... EL. 81,93 m

Equipamentos de Levantamento

a) Ponte Rolante da Casa de Força

A Casa de Força será equipada com uma ponte rolante, com finalidade inicialmente na fase de construção e montagem da Usina, de auxiliar o içamento e transporte dos conjuntos mais pesados das turbinas e geradores, bem como de auxiliar as montagens parciais desses equipamentos. Posteriormente, durante a

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

fase de operação da Usina, será utilizada na manutenção geral dos equipamentos contidos na Casa de Força.

A ponte rolante e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso abrigado, acionada por motores elétricos e equipada com um gancho principal com capacidade estimada de 850 kN, a ser confirmada pela equipamento com maior carga. O rotor do gerador montado será a peça mais pesada a ser içada e transportada pela ponte rolante. Esse içamento poderá ser feito com auxílio de dispositivos especiais acoplados no gancho principal e no rotor do gerador.

O comando de cada ponte será através de cabina aberta fixa sob o passadiço na extremidade da ponte rolante.

O guincho auxiliar será utilizado no auxílio de pequenas montagens e principalmente na descida de peças e equipamentos através de aberturas específicas.

As características principais da ponte rolante são as indicadas abaixo:

- Quantidade 01
- Capacidade nominal do gancho principal 850 kN
- Capacidade nominal do gancho auxiliar 100 kN
- Comprimento do caminho de rolamento 176,00 m
- Elevação topo da viga de rolamento 106,50 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos 17,90 m
- Elevação máxima do gancho principal EL.104,80 m
- Curso de elevação do gancho principal 42,00 m
- Velocidades do guincho principal EL.2,0/0,2 m
- Elevação máxima do gancho auxiliar EL.102,50 m
- Curso de elevação do gancho auxiliar 45,00 m
- Velocidades do gancho auxiliar 10,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação do carro 5,0/1,0 m/min
- Velocidades de translação da ponte 15,0/3,0 m/min

b) Pórtico Rolante da Casa de Força

O pórtico rolante do Tubo de Sucção será utilizado para auxiliar a montagem e desmontagem das comportas de emergência e de seus respectivos servomotores de acionamento, bem como movimentar as grelhas metálicas de fechamento das ranhuras de operação das comportas.

O pórtico rolante e os seus acessórios deverão ser projetados e construídos para uso desabrigado, comandado através de cabina fechada e equipado com um carro guincho, totalmente coberto, para abrigar os mecanismos do guincho e da direção do carro.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

O caminho de rolamento do pórtico estará instalado na elevação 97,50 m, percorrendo em linha reto todo o pátio de jusante da Usina, em uma extensão aproximada de 180,00 m.

As características principais do pórtico rolante são as indicadas abaixo:

- Quantidade 01
- Capacidade nominal do gancho principal..... 37 kN
- Extensão do caminho de rolamento 180,00 m
- Elevação do trilho EL. 97,50 m
- Vão entre as linhas de centro dos trilhos 5,60 m
- Elevação máxima do gancho principal EL. 103,70 m
- Curso de elevação do gancho principal 35,00 m
- Velocidades do gancho principal..... 2,0/0,2 m/min
- Velocidades de translação do carro 10,0/0,2 m/min
- Velocidades de translação do pórtico..... 3,0/0,6 m/min

7.7. SISTEMAS AUXILIARES MECÂNICOS

7.7.1 Sistema de Água de Resfriamento e de Serviço

O sistema de água de resfriamento terá a função de fornecer água filtrada para os radiadores de ar dos geradores, trocadores de calor dos mancais das Unidades, trocadores de calor dos reguladores das turbinas, selo do eixo das turbinas, como também, para o Sistema de Água de Serviço, que por sua vez atenderá ao Sistema de Água Tratada (com ETA).

O sistema será composto basicamente de seis filtros de limpeza automática, doze bombas centrífugas, instrumentação de controle, quadros elétricos, acessórios de tubulação e redes de distribuição.

A captação de água bruta será feita a montante na Tomada de Água, isto é, captará água no reservatório e bombeará de acordo com as necessidades de pressão dos equipamentos, distribuindo a todos os pontos de utilização. A tomada de água de resfriamento será provida de grelha para proteção contra entrada de detritos. A tubulação de captação possuirá uma tomada para injeção de ar comprimido para desobstruir a grelha, composta de uma válvula de isolamento obrigatoriamente do tipo gaveta, válvula de retenção e tomada tipo engate rápido com diâmetro de $\frac{3}{4}$ ". Após a tomada para injeção de ar comprimido para desobstruir a grelha, existirá também uma válvula de isolamento obrigatoriamente do tipo gaveta motorizada para bloqueio. As demais válvulas de bloqueio a montante e jusante do filtro, dentre outras, poderão ser do tipo borboleta.

O sistema possuirá um filtro de limpeza automática por contra fluxo, sem interrupção do fluxo, para cada Unidade.

Os filtros de água serão dotados de malha de filtragem de 760 micrometros, no máximo.

UHE BELO MONTE

A tubulação de entrada de cada filtro será provida de um indicador de pressão e uma válvula de bloqueio e a de saída será provida de uma válvula de bloqueio, um indicador de pressão, uma válvula de retenção e um indicador de temperatura. Os filtros serão interligados entre si através de um coletor de água de resfriamento.

Antes do filtro automático será previsto um sistema de bombeamento independente (com duas bombas centrífugas, sendo uma de reserva), para cada Unidade, para garantir de forma segura a vazão e a pressão necessárias à operação do sistema.

A válvula do ramal de distribuição da água de resfriamento em cada Unidade será do tipo borboleta motorizada, comandada automaticamente pela sequência de partida e parada da Unidade e terá, também, comando remoto de abertura e fechamento através do Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Usina.

O circuito de água de resfriamento de cada um dos equipamentos terá válvula de isolamento e indicador de pressão na entrada e na saída e, dispositivo para o controle de vazão e indicador de temperatura na saída.

O ramal de água para os radiadores de ar do gerador será dotado de uma válvula de bloqueio do tipo borboleta, um indicador de pressão e um indicador de temperatura; o ramal de saída será dotado de um medidor de vazão, uma válvula de retenção, um indicador de pressão, um indicador de temperatura e uma válvula borboleta para controle de vazão. Os ramais que alimentam os demais trocadores de calor terão a mesma dotação acima, porém com válvulas de bloqueio do tipo gaveta se o DN for até 2 ½" ou de válvulas de bloqueio do tipo borboleta se o DN for igual ou superior a 3".

O ramal que alimentará a vedação do eixo será dotado duas bombas (uma de reserva) de pressurização de válvulas de bloqueio do tipo gaveta, hidrociclone com descarga automática por diferencial de pressão, chaves de fluxo e uma válvula globo para controle de vazão em cada Unidade.

A água após passar pelos trocadores de calor dos mancais, dos reguladores das turbinas e pelos radiadores de ar dos geradores, será descarregada no Canal de Fuga.

A água excedente da vedação do eixo será drenada e encaminhada ao poço de drenagem.

O automatismo dos filtros será feito através do painel do respectivo equipamento, que através de pressão diferencial ou relé de tempo pré-ajustado, processará a autolimpeza através de elementos filtrantes, do tipo cartucho permanente, com acionamento eletromecânico ou ar comprimido, podendo ter válvula de retrolavagem operada por solenóide. A descarga do filtro será coletada pelo Sistema de Drenagem da Casa de Força.

7.7.2 Sistema de Esvaziamento e Enchimento das Unidades

O sistema de esvaziamento e enchimento das unidades terá a função de esvaziar ou encher o circuito hidráulico das Unidades Geradoras.

O sistema será constituído basicamente de uma Sala de Bombas de Esvaziamento, um poço de esvaziamento, duas bombas verticais tipo turbina, tubulação de esvaziamento das Unidades, tubulação de descarga das bombas, quadros elétricos, acessórios e instrumentação de controle.

UHE BELO MONTE

O tempo para o esvaziamento total de cada unidade será de seis horas com o nível de água de jusante no máximo. O esvaziamento total será feito até o ponto mais baixo do tubo de sucção e da adução.

O poço de esvaziamento será dotado de todos os elementos necessários a operar com segurança, ou seja: será estanque, não permitindo entrada de água na sala das bombas. O poço de esvaziamento será interligado ao poço de drenagem e possuirá um respiro. O acesso ao poço será feito através de uma porta de visita com tampa estanque, localizada na Sala de Bombas de Esvaziamento. A descida ao fundo do poço será feita através de escada de marinheiro, provida de guarda-corpo. Será dotado ainda de conjunto de tubulações e acessórios (válvulas, conexões, suportes, instrumentos, controles, etc.), quadros elétricos de alimentação e controle e, fiação elétrica.

A água acumulada no poço será descarregada por bombeamento no Canal de Fuga acima do nível máximo maximorum de jusante.

Na tubulação de descarga de cada bomba terá uma válvula para admissão de ar, um indicador de pressão, uma válvula de retenção, uma válvula borboleta e um tubo com válvula gaveta para drenagem da linha.

A Adução e Tubo de Sucção serão dotados de tubulações para o esvaziamento da Unidade.

Em cada uma destas tubulações haverá uma válvula de isolamento do tipo gaveta motorizada que será instalada em um nicho específico para este fim. Estas tubulações se interligam a uma tubulação coletora que encaminha toda água drenada até o poço de esvaziamento. Esta tubulação coletora será dotada de uma válvula de retenção do tipo flap em sua extremidade dentro do poço.

Todas as tomadas de captação serão providas de grelha para proteção contra entrada de detritos. Cada tubulação de esvaziamento da Unidade possuirá uma tomada para injeção de ar comprimido para desobstruir a grelha, composta de uma válvula de isolamento do tipo gaveta, válvula de retenção e engate rápido com diâmetro de $\frac{3}{4}$ ".

O poço de esvaziamento será equipado com chaves controladoras de nível para acionamento das bombas, alarmes (local e remoto) e duas bombas verticais do tipo turbina. As bases das chaves de nível e das bombas terão montagem estanque, para não permitir que a Sala de Bombas de Esvaziamento seja inundada, caso o nível da água no poço atinja a laje de apoio das bombas.

Todos os sinais de alarmes serão enviados ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Usina.

O controle manual do sistema, para teste e manutenção, será feito através de quadro local e o controle automático através de CCM, onde estarão alojados os demarradores para acionamento dos motores e onde serão feitos: o automatismo, a supervisão e a interface com o Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Usina.

O enchimento de cada Unidade Geradora será feito através de válvula na comporta ensecadeira ou com pequena abertura da comporta vagão.

UHE BELO MONTE

7.7.3 Sistema de Drenagem da Casa de Força

O sistema de drenagem terá a finalidade de coletar e conduzir para o canal de fuga todas as águas despejadas no interior da Casa de Força, provenientes de percolação, infiltração, descarga de equipamentos, vazamentos de tubulação, limpeza de pisos água e água de drenagem da galeria da tomada d'água.

O sistema de drenagem será composto basicamente de uma Sala de Bombas de Drenagem, poço de drenagem, caixa separadora de água/óleo lubrificante, três bombas verticais tipo turbina, instrumentação de controle, quadro elétrico, rede de drenagem dos pisos e tubulação de descarga das bombas.

Todas as águas vertidas dentro da Casa de Força serão coletadas em canaletas e através de tubulações serão conduzidas por gravidade para um poço de drenagem (passando antes pela caixa separadora de óleo), de onde então será bombeada diretamente para o Canal de Fuga.

O poço será equipado com três bombas verticais tipo turbina, completas, e com todos os seus acessórios, sendo: uma principal, uma de apoio e uma de reserva.

O poço de drenagem será interligado ao poço de esvaziamento através de tubulação dotada de válvula de gaveta e válvula de retenção do tipo flap, com a finalidade de em caso de necessidade ser auxiliado, na drenagem, pelas bombas de esvaziamento.

Cada conjunto moto bomba possuirá na descarga um indicador de pressão, uma válvula de retenção, uma válvula borboleta e um tubo com válvula gaveta para drenagem da linha.

O poço será provido de uma chave de nível para cada conjunto moto-bomba, uma chave de nível com contatos suficientes para atuar nos alarmes de nível baixo, nível alto e nível muito alto e um indicador de nível com sonda piezelétrica.

O controle do sistema será feito através de quadro elétrico local, chaves de nível (acionamento das bombas) e chave de nível para alarmes.

Deverá ser previsto funcionamento em forma de revezamento dos conjuntos moto-bombas.

O controle manual do sistema, para teste e manutenção, será feito através de quadro local e o controle automático através de CCM, onde estarão alojados os demarradores para acionamento dos motores e onde serão feitos: o automatismo, a supervisão e a interface com o Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Usina. Todos os sinais de alarmes serão enviados ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).

7.7.4 Sistema de Ar Comprimido de Serviço

O sistema de ar comprimido de serviço terá o objetivo de fornecer ar sob pressão para ferramentas pneumáticas, tomadas de serviço, limpeza de tubulações, sistema de frenagem do gerador, operação de equipamentos e etc.

O sistema de ar comprimido de serviço será constituído basicamente de dois compressores de ar, um reservatório de ar e de uma rede de distribuição de ar comprimido na Casa de Força e instrumentação.

UHE BELO MONTE

O sistema terá dois compressores rotativos, tipo parafuso, iguais, sendo um de reserva (mas podem operar juntos), resfriados a ar, acionados por motores elétricos, controlados por regulador eletrônico e com secador de ar integrado;

O reservatório de ar será dotado de conexões roscadas ou flangeadas de entrada e saída de ar e de conexões roscadas para indicador de pressão, válvula de segurança, uma conexão reserva e dreno com purgador automático de condensado. A tubulação de entrada de ar será dotada de uma válvula de retenção e uma válvula gaveta ou esfera e a tubulação de saída de ar será dotada de válvula gaveta ou esfera.

A rede de distribuição consistirá de uma tubulação principal, ramais e sub-ramais que distribuem ar para os pontos de consumo e tomadas de serviço na Casa de Força. Todos os ramais horizontais ou verticais possuirão válvulas para isolamento. Todas as tomadas de serviço possuirão válvulas esfera e engates rápido de DN 20 mm (3/4").

Nos pontos baixos da rede de ar comprimido serão previstos purgadores de condensado e nos trechos horizontais os purgadores serão instalados no máximo a cada 25 metros.

A alimentação de força dos compressores será suprida por quadro elétrico específico, que alimentará o sistema de controle de cada compressor.

O painel de controle de cada compressor propiciará as seguintes condições operacionais do sistema: ajuste da pressão máxima e mínima do sistema; ajuste da pressão de partida e parada de cada compressor e indicações de falhas.

O funcionamento dos compressores será previsto para que seja efetuado rodízio de operação, havendo a possibilidade de os dois compressores operarem simultaneamente. A seleção do compressor N° 1 ou do N° 2 para funcionar como principal será feita pela rotina de operação. A partida dos compressores é feita automática ou manualmente, dependendo da posição da chave seletora. Na posição de partida manual, cada compressor somente é ligado e desligado através da botoeira liga-desliga.

Um transmissor de pressão com indicação local tipo manométrica monitora a pressão no sistema.

As informações de pressão e alarme serão enviadas ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).

7.7.5 Sistema de Água Potável

O sistema de água potável terá por finalidade produzir, armazenar e distribuir por gravidade água potável para todos os pontos de consumo, nas vazões e pressões requeridas nas instalações sanitárias, copas, torneiras de serviço e para usos gerais na Casa de Força.

O sistema será composto por uma estação de tratamento de água (ETA), do tipo compacta pressurizada, completa, com capacidade de 1,0 a 3,0 m³/h; dois reservatórios elevados, equipamentos, válvulas, instrumentação, quadro de controle e rede de distribuição para os pontos de consumo.

Os reservatórios serão interligados entre si e possuirão tubo extravasor, tubo de saída provido de válvula gaveta e chave de nível. Quando houver manutenção em um dos

UHE BELO MONTE

reservatórios, a chave de nível também atuará de forma a assegurar o abastecimento de água sem interrupção.

A estação de tratamento de água (ETA) do tipo compacta pressurizada, completa, incluirá componentes para todo o processo, compreendendo: sistema de dosagem com bombas dosadoras, bombas de transferência (caso aplicável); tinas, coagulação mediante aplicação de sulfato de alumínio, carbonato de sódio, etc; misturador hidráulico para mistura dos produtos químicos; clarificação com separação e remoção dos sólidos em suspensão e flocos decantáveis (caso aplicável); filtração de leito múltiplo, com material filtrante; desinfecção mediante aplicação de hipoclorito de sódio; filtragem final em leito de carvão ativado (caso aplicável); correção final de pH, mediante aplicação de carbonato de sódio; KIT completo para análise da água no processo de tratamento.

O controle da ETA será feito através do quadro de controle local, capaz de executar todas as funções inerentes ao processo automaticamente (supervisão dos níveis dos reservatórios elevado, retrolavagem, bombas dosadoras, bombas de transferência, caso aplicável, misturadores), permitir o comando manual / automático e indicar as sinalizações necessárias.

O quadro de controle da ETA disporá de botão de partida e parada manual através de botoeiras e operação automática através do controlador de nível instalado nos reservatórios.

A chave de nível dos reservatórios enviará sinal local e remoto indicando ETA ligada, com informação de válvula solenóide aberta e ETA desligada com informação de válvula solenóide fechada. Os sinais serão enviados ao Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC).

Os demarradores para proteção dos circuitos de alimentação, bem como, os instrumentos necessários à supervisão e ao controle de operação da ETA, ficarão alojados no Quadro de Controle da ETA.

7.7.6 Sistema de Coleta e Separação de Água e Óleo Isolante

O sistema de coleta e separação de água/óleo isolante terá a finalidade de captar, separar da água e recolher todo o óleo isolante que vazar de um transformador elevador, por ocasião de um sinistro.

O sistema consistirá de uma bacia de contenção de óleo isolante sob cada um dos transformadores, uma tubulação coletora que drena estas bacias, um tanque separador onde o óleo é separado da água e recolhido para posterior aproveitamento e um dreno que descarrega à jusante, no canal de fuga, a água separada do óleo.

7.7.7 Sistema de Tratamento de Óleo Lubrificante

O sistema terá a finalidade de tratar o óleo lubrificante utilizado nos mancais das unidades geradoras e nos reguladores de velocidade das turbinas. Este sistema fará a filtragem do óleo para retirada de partículas sólidas e de água nele existente.

O sistema consistirá de um filtro prensa móvel, dotado de mangotes com engates rápidos para acoplamento com os equipamentos e uma tubulação para transferência do óleo até um caminhão posicionado na área externa da Casa de Força, dois tanque móveis sobre rodas e uma bomba móvel de transferência.

UHE BELO MONTE

7.7.8 Sistema de Medição de Nível

O sistema terá por objetivo processar as seguintes medições: de nível de montante; de perda de carga na grade, equilíbrio de pressão nas comportas da Tomada de Água; de nível de jusante e equilíbrio de pressão nas comportas do Tubo de Sucção.

Medição de Nível de Montante

A medição de nível de água de montante será feita na Tomada de Água, por uma sonda de nível para medição de pressão hidrostática do tipo piezométrica (MHI 1), com leitura contínua de nível no indicador/controlador local e no Sistema Digital de Supervisão e Controle da Usina (SDSC) na Sala de Controle da Casa de Força.

Medição de Perda de Carga nas Grades e Equilíbrio de Pressão nas Comportas Ensecadeiras da Tomada de Água

A medição da perda de carga nas Grades da Tomada de Água ou de equalização de pressão nas comportas será feita por comparação dos níveis de montante e de jusante das grades/comportas por seis sondas de nível (MHI 2 a 7) para medição de pressão hidrostática do tipo piezométrica, com leitura contínua de nível no indicador/controlador local e no Sistema Digital de Supervisão e Controle. As sondas (MHI 2 a 7) acionam os alarmes de perda de carga nas grades, quando a diferença de nível indicada nestas sondas, posicionadas a jusante das comportas ensecadeiras, em relação ao nível indicado na sonda (MHI 1) for de 1,0 mca (calculada para 30% de obstrução nas grades com a vazão nominal). Elas, também, indicam o equilíbrio de pressão nas comportas, após o enchimento do circuito hidráulico. A medição de nível feita por estas sondas é comparada com a medição de nível de montante na sonda (MHI 1).

Medição de Nível de Jusante

A medição de nível de água de jusante será feita no Canal de Fuga por uma sonda de nível para medição de pressão hidrostática do tipo piezométrica (MHI 8), com leitura contínua de nível no indicador/controlador local e no Sistema Digital de Supervisão e Controle.

Medição de Equilíbrio de Pressão nas Comportas Vagão dos Tubos de Sucção

A medição de equalização de pressão nas Comportas Vagão do Tubo de Sucção de cada Unidade (MHI 9 a 14), monitora o nível de água a montante das comportas com leitura contínua no indicador/controlador local e no Sistema Digital de Supervisão e Controle e indicam o equilíbrio de pressão nas comportas, após o enchimento do tubo de sucção. A medição é feita através de uma sonda de profundidade com sensor tipo piezométrico, instalada em cada Unidade. A medição de nível feita por estas sondas é comparada com a medição de nível de jusante na sonda (MHI 8).

7.7.9 Sistema de Esgoto Sanitário

O sistema de esgoto sanitário terá por finalidade captar as águas servidas provenientes dos sanitários da Casa de Força, fazer um tratamento biológico em uma estação de tratamento de esgoto compacta e dispor o efluente tratado no canal de fuga. O sistema será constituído por uma rede coletora de esgoto, uma estação de bombeamento de esgoto (EBE), uma estação de tratamento de esgoto (ETE), caixas

UHE BELO MONTE

de inspeção e uma tubulação que transporta o efluente tratado até o canal de fuga. O sistema tem capacidade para atender até 20 pessoas por dia (pessoal de operação, manutenção e visitantes) com um consumo de 100 l/pessoa/dia, perfazendo um total de 2.000 l/dia.

7.7.10 Sistemas de Proteção Contra Incêndio

Sistema de Proteção Contra Incêndio nos Transformadores

O sistema de proteção contra incêndio nos transformadores (Water Spray System – Sistema de Água Nebulizada) terá por finalidade o combate contra eventuais incêndios, atuando automaticamente através de detectores ou por interferência de operadores.

O sistema será constituído basicamente de uma tomada de água na parede de montante da Casa de Força, duas bombas centrífugas, sendo uma de reserva, que garantem a vazão e a pressão necessária à operação do sistema, duas bombas “jockey”, sendo uma de reserva, para manter a rede pressurizada, dois ramais, com filtro “T”, para nebulização dos transformadores principais e uma rede de detecção a água em cada transformador.

Cada ramal atende um transformador e possui uma válvula dilúvio, um motor de alarme hidráulico e uma tubulação em forma de anel, ao longo da qual, são distribuídos bicos projetores de alta velocidade. Esta tubulação permanece seca sendo conectada a jusante da válvula dilúvio que possui água sob pressão a montante. A válvula dilúvio quando acionada libera o fluxo de água para os anéis nebulizadores acionando, também, o motor de alarme hidráulico. A montante da válvula dilúvio é instalada uma válvula de bloqueio que permite manobras necessárias à operação e testes do sistema.

Uma rede de detecção composta por tubulação com detectores térmicos distribuídos ao redor dos transformadores é pressurizada com água e conectada ao piloto da válvula dilúvio.

Os motores das bombas serão alimentados, também, pelo gerador diesel de emergência.

O sistema terá capacidade nominal para atender um transformador de cada vez por ocasião de um sinistro e atender uma rede de hidrantes, simultaneamente.

Sistema de Água de Combate a Incêndio por Hidrantes

O sistema terá por finalidade fazer a proteção geral da edificação da Casa de Força, sendo, constituído por uma rede de hidrantes com mangueiras e tem como origem um ramal derivado do sistema de água de combate a incêndio nos transformadores. Este ramal se localiza a jusante das bombas de incêndio.

O sistema terá capacidade para atender dois hidrantes de 30 m³/h (500 l/min e risco classe B), é operado manualmente e será pressurizado pela bomba de incêndio.

Junto a cada hidrante existirá um armário com quatro mangueiras de 15 m cada e dois esguichos para jato sólido.

Uma chave de fluxo dará alarme quando o hidrante entra em operação e liga a bomba de incêndio.

UHE BELO MONTE

Sistema de Extintores de Combate a Incêndio

A proteção contra incêndio das áreas e salas na Casa de Força será feita por meio de extintores portáteis de água pressurizada, de CO₂ e de pó químico em conformidade com as recomendações da ABNT.

A Estação de Tratamento de Água e Sala do Gerador Diesel, também, serão protegidas por extintores portáteis de CO₂ e de pó químico, em conformidade com as recomendações da ABNT.

7.7.11 Sistema de Água de Serviço

O sistema de água de serviço será derivado do sistema de água de resfriamento e será composto, basicamente, de uma rede de distribuição que abastecerá os pontos de utilização.

Esta rede de distribuição terá ramais e sub-ramais que distribuem a água para os pontos de consumo e tomadas de serviço da Casa de Força. Todos os ramais secundários horizontais ou verticais que atendem pontos de consumo possuirão válvulas para isolamento. Todas as tomadas de serviço possuirão válvula tipo globo e engate rápido com diâmetro de $\frac{3}{4}$ ".

7.7.12 Sistema de Ventilação

O Sistema de Ventilação terá por finalidade assegurar condições adequadas aos ocupantes e equipamentos, através do suprimento de ar filtrado e da exaustão do ar de ambientes específicos, ocasionando renovação, dissipação do calor gerado e a remoção ou diluição de poluentes conforme o caso.

O Sistema de Ventilação será constituído de Sistemas de Insuflamento e Exaustão.

Os Sistemas de Insuflamento da Casa de Força serão divididos em 3 (três) sub-sistemas, um para cada 2 Unidades, tendo cada sistema a sua respectiva Sala de Máquinas dos Ventiladores (ver fluxograma).

Para a Área de Montagem será previsto 1 (um) Sistema de Insuflamento, com sua respectiva Sala de Máquinas dos Ventiladores (ver fluxograma).

Para os Sistemas de Insuflamento, haverá a captação de ar em área externa através de venezianas, sendo este ar previamente filtrado por painel de elementos filtrantes até entrar na Sala de Máquinas dos Ventiladores. Por meio de Ventiladores Centrifugos de Dupla Aspiração (2x50%) o ar será encaminhado para os diversos ambientes a serem beneficiados, através de rede de dutos. A distribuição de ar será efetuada por meio de grelhas dispostas ao longo dos dutos, em pontos que proporcionem adequado beneficiamento dos ambientes. Todo o ar insuflado será naturalmente movimentado, através de aberturas e escadas, no sentido de alcançar o exterior, através venezianas instaladas próximas à cobertura da Casa de Força e Área de Montagem. O interior da Casa de Força e Área de Montagem será mantido ligeiramente pressurizado.

Os ambientes que requerem renovação de ar serão providos de Sistemas de Exaustão. Serão utilizados exaustores específicos, sendo a descarga dos mesmos efetuadas na atmosfera, no Pátio dos Transformadores. Os principais ambientes que requerem exaustão são: Galeria de Drenagem, Sala de Baterias, ETA (Estação de Tratamento de Água), Sala de Bombeamento de Esgoto, Sanitários e Copa.

UHE BELO MONTE

Os Ventiladores de Insuflamento e de Exaustão serão acionados em painel elétrico local, via operador, devendo ter operação contínua. Os Ventiladores/ Exaustores serão dotados de chaves de fluxo nas respectivas descargas de ar, para indicação remota de falta de fluxo. A fim de medir o diferencial de pressão, que permita a definição de necessidade de troca dos elementos filtrantes do painel de filtros de ar, deverá ser provido junto aos mesmos um manômetro diferencial, tipo de coluna inclinada, para indicação local e com dispositivo de alarme.

7.7.13 Sistema de Ar Condicionado

Os Sistemas de Ar condicionado terão por finalidade a retirada de calor para propiciar funcionamento adequado de equipamentos e condições de conforto na Sala de Comando, Sala de Telecomunicações, e Sala de Técnicos da Usina.

Nos ambientes a serem beneficiados serão instalados Condicionadores de Ar do tipo "Mini-Split".

A unidade condensadora de cada Condicionador será instalada externamente e interligada a respectiva unidade evaporadora, instalada internamente, através de tubulação de cobre.

Os Condicionadores deverão ser providos de entrada de ar exterior de renovação e de sistema de aquecimento.

7.8. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS PRINCIPAIS

7.8.1 Gerador

Os geradores serão trifásicos, síncronos, acionados por turbinas hidráulicas tipo bulbo com rotor Kaplan, de eixo horizontal e serão fornecidos com todos os acessórios, instrumentos e dispositivos necessários ao seu funcionamento.

A conexão do estator dos geradores será em estrela com neutro acessível e será aterrado por meio de transformador de distribuição monofásico, com resistor no secundário. O fechamento do neutro será feito dentro do bulbo.

A refrigeração dos geradores será feita pela circulação do ar em circuito fechado obtida por meio de motoventiladores. O ar frio será forçado pelo motoventilador, dirigido às partes vitais dos geradores com auxílio de guias de ar e retornando aos trocadores de calor ar-água.

A água de refrigeração será mantida em circulação através de motobombas, localizadas no piso da Casa de Força nas proximidades do duto de acesso ao bulbo.

Os geradores serão ligados em paralelo, dois a dois, na tensão de geração, através de disjuntores específicos para esta finalidade aos enrolamentos de baixa tensão dos transformadores elevadores.

Os terminais de saída de linha de cada gerador serão ligados ao disjuntor de gerador através de barramento blindado, com derivações para o cubículo de proteção contra surtos de tensão e para o transformador de excitação.

UHE BELO MONTE

Características Principais dos Geradores

- Potência nominal.....43,17 MVA
- Fator de potência nominal 0,90
- Tensão nominal..... 13.800 V
- Variação de tensão +/- 5%
- Frequência nominal..... 60 Hz
- Rotação nominal 92,31 rpm
- Classe de temperatura de isolamento (rotor e estator) F
- Temperatura máxima do enrolamento do estator (medida por RTD), com potência nominal e fator de potência nominal..... 123 °C
(Nota: considerando uma temperatura ambiente de 40 °C, água de resfriamento a 30 °C e um trocador de calor fora de serviço)
- Temperatura máxima do enrolamento do rotor (medida por RTD), com potência nominal e fator de potência nominal..... 130 °C
(Nota: considerando uma temperatura ambiente de 40 °C, água de resfriamento a 30 °C e um trocador de calor fora de serviço)
- Constante de inércia (gerador + turbina) 1,4 kW/s/kVA
- Sequência de fases..... A, B, C
- Ruído audível, na potência nominal e a 1 m acima da tampa do gerador.....85 dB
- Reatância subtransitória não saturada (X''_{du}) 0,32 pu
- Reatância síncrona não saturada..... 1,2 pu
- Eficiência, com carga nominal e fator de potência nominal 97,0 %

Cada gerador será equipado com um sistema de excitação independente, do tipo estático, capaz de funcionar sem distúrbios sob qualquer condição de carregamento do gerador.

A alimentação de potência dos retificadores será feita através de transformador trifásico a seco, apropriado para sistemas de excitação, ligado diretamente aos terminais do gerador, através de barramentos blindados de fases isoladas.

O regulador de tensão será automático, do tipo digital, baseado em microprocessadores, com ação de controle efetuada numericamente, e adequado para operar normalmente integrado, através de canais de comunicação digital, aos níveis superiores do Sistema Digital de Supervisão e Controle (SDSC) da Usina.

O sistema de excitação e regulação de tensão atenderá todos os requisitos especificados nos Procedimentos de Rede do ONS.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Cada gerador será ligado a um cubículo contendo 3 (três) conjuntos de capacitores e pára raios para proteção contra surtos atmosféricos originados no sistema de transmissão e transferidos aos geradores através dos acoplamentos magnético e capacitivo dos transformadores elevadores. Será também instalado nesse cubículo 3 (três) transformadores de potencial com dois enrolamentos secundários.

O aterramento de cada gerador será do tipo alta impedância, através de transformador de distribuição monofásico seco, com resistor de carga no secundário, montados em cubículo metálico instalado próximo ao gerador.

7.8.2 Cubículo do Disjuntor do Gerador

O cubículo do disjuntor do gerador conterá um disjuntor trifásico isolado a SF6, que fará a interligação, através de barramento blindado de fases isoladas, entre o gerador e o transformador elevador.

Além do disjuntor propriamente dito, serão instalados, no cubículo, os seguintes equipamentos:

- 01 (um) seccionador 13,8 kV (lado do transformador elevador) para isolar o disjuntor do barramento blindado;
- 02 (duas) chaves de aterramento 13,8 kV, sendo uma no lado do gerador e outra no lado do transformador;
- 03 (três) pára-raios no lado do transformador;
- 03 (três) capacitores para proteção contra surtos de tensão no lado do transformador;
- 03 (três) transformadores de corrente no lado do transformador, com quatro núcleos;
- 03 (três) transformadores de corrente no lado do gerador, com dois núcleos;
- 03 (três) transformadores de potencial no lado do transformador, com dois enrolamentos secundários;
- 03 (três) transformadores de potencial no lado do gerador, com um enrolamento secundário;
- 01 (um) cubículo de controle.

O disjuntor do gerador deverá obedecer às recomendações da norma ANSI / IEEE C37.013 - "IEEE Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers rated on a Symmetrical Current Basis".

Características Principais do Disjuntor do Gerador

- Classe de tensão..... 15 kV
- Tensão suportável nominal à frequência industrial, 1 minuto..... 34 kV
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (valor de crista) 110 kV
- Corrente nominal..... 3150 A
- Corrente suportável nominal de curta duração, 1 segundo (valor eficaz) 50 kA
- Corrente suportável nominal de curta duração (valor de crista)..... 130 kA

UHE BELO MONTE

- Tensão nominal do motor..... 125 Vcc
- Ciclo de manobras:
 - Corrente de carga CO – 3 min – CO
 - Corrente de curto-circuito..... CO – 30 min – CO
- Tipo de operação tripolar

7.8.3 Barramento Blindado de Fases Isoladas

Os barramentos blindados de fases isoladas interligarão os terminais de fase do gerador ao disjuntor de gerador e farão o paralelismo de cada dois geradores para conexão ao primário do transformador elevador, que será instalado ao tempo.

Os barramentos blindados, no trecho entre o gerador e o disjuntor do gerador, terão derivações para conexão ao cubículo de proteção contra surtos e ao transformador de excitação do gerador.

Os barramentos blindados, no trecho após o disjuntor do gerador, ou seja, no trecho de paralelismo de dois geradores, terão derivações para conexão ao reator limitador de corrente para alimentação dos serviços auxiliares elétricos.

Os barramentos blindados serão trifásicos com invólucro metálico, não magnético, eletricamente contínuo e resfriados por ventilação natural.

Os barramentos blindados serão dimensionados para suportar os esforços mecânicos e os efeitos térmicos provenientes das correntes de curto-circuito.

Características Principais dos Barramentos Blindados de Fases Isoladas

- Tensão nominal..... 13,8 kV
- Tensão máxima de operação 15,5 kV
- Tensão suportável nominal à frequência industrial - 1 minuto 34 kV
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico 110 kV
- Frequência nominal..... 60 Hz
- Tipo..... fases isoladas
- Resfriamento..... ar natural
- Grau de proteção IP 54
- Barramento Principal de cada Gerador:
 - Corrente nominal 2000 A
 - Capacidade de corrente simétrica..... 50 kA rms
- Barramento Principal de Paralelismo de dois Geradores e Derivação Reator:
 - Corrente nominal 4000 A
 - Corrente de curto-circuito 50 kA rms

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

7.8.4 Transformador Elevador

Os transformadores elevadores serão trifásicos, imersos em óleo isolante, com os enrolamentos de baixa tensão ligados em triângulo e os de alta tensão em estrela com neutro acessível e solidamente aterrado, refrigerados por meio de circulação natural de óleo com circulação natural de ar (ONAN) e com circulação forçada de ar (ONAF), adequados para instalação ao tempo.

Os terminais do enrolamento de baixa tensão serão ligados ao gerador através de barramento blindado de fases isoladas e os terminais do enrolamento de alta tensão, em 230 kV, serão conectados, através de linha aérea, a uma subestação situada próxima à Casa de Força.

A Usina contará com um transformador para cada duas unidades.

Características Principais do Transformador Elevador

- Potência nominal..... 86,33 MVA
- Número de transformadores..... 3 (três)
- Método de resfriamento..... ONAN / ONAF
- Frequência nominal..... 60 Hz
- Tensão nominal do enrolamento primário..... 13,8 kV
- Tensão nominal do enrolamento secundário 230 kV +/- 2 x 2,5%
- Grupo de ligação Ynd1
- Impedância..... 12% (*)
(*) A ser confirmado durante o projeto executivo.
- Nível de isolamento no enrolamento primário:
 - Tensão máxima de operação 13,8 kV
 - Tensão suportável nominal de impulso atmosférico 110 kV
- Nível de isolamento no enrolamento secundário:
 - Tensão máxima de operação 245 kV
 - Tensão suportável nominal de impulso atmosférico 950 kV
- Temperaturas:
 - Elevação máxima de temperatura do enrolamento (ponto mais quente) 80°C
 - Elevação média de temperatura do enrolamento (método da variação da resistência) 65°C
 - Elevação máxima de temperatura do óleo (topo)..... 65°C
 - O transformador será projetado para fornecer a sua potência nominal com um radiador fora de serviço

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

7.9. SISTEMAS AUXILIARES ELÉTRICOS

7.9.1 Casa de Força e Vertedouro

Considerações Gerais

Os serviços auxiliares elétricos da Casa de Força e Vertedouro serão constituídos por sistemas de corrente alternada em média tensão - 13,8 kV, em baixa tensão - 460 V e 220/127 V e em corrente contínua - 125 V. Um conjunto completo de equipamentos e subsistemas será utilizado para fornecer energia a todas as cargas elétricas da planta e para prover meios para a proteção pessoal e geral das instalações. Todas as instalações elétricas serão ser projetadas conforme normas ABNT.

As fontes de alimentação dos serviços auxiliares em corrente alternada da usina serão formadas a partir de derivações feitas a cada dois geradores. Adicionalmente, como fontes alternativas, serão consideradas alimentações provenientes de grupos geradores de emergência e de fonte externa em 13,8 kV.

A alimentação em corrente contínua será obtida a partir de conjuntos de bancos de baterias e de retificadores / carregadores.

A distribuição de energia elétrica será feita, segundo a tensão nominal de utilização, através dos sistemas relacionados a seguir:

- 13,8 kV, +/-5%, 60 Hz, trifásico, 3 fios, aterrado através de alta impedância no neutro dos geradores, para alimentação primária do sistema;
- 460 Vca, +/-10%, sistema trifásico a 3 fios, 60 Hz, ligação estrela com neutro aterrado, para alimentação de motores e demais cargas
- 220/127 Vca, +/-10%, sistema trifásico a 4 fios, 60 Hz, eficazmente aterrado, para alimentação do sistema de iluminação, tomadas e resistências de aquecimento;
- 125 Vcc, +10%, -20%, a 2 fios, não aterrado, para alimentação das funções principais de controle e proteção dos equipamentos de geração, sistema digital de supervisão e controle – SDSC, equipamentos de serviços auxiliares e iluminação de emergência;

Sistema ininterruptível de energia (UPS), com entrada em 125 Vcc e saída em 120 Vca, com comutador estático de bypass, para alimentação de todos os equipamentos associados aos sistemas de controle e supervisão em corrente alternada, e demais equipamentos que não puderem ser alimentados diretamente em 125 Vcc;

A concepção dos serviços auxiliares elétricos é apresentada nos desenhos BEL-B-PM-DE-GER-320-0001 - Casa de Força / Vertedouro - Serviços Auxiliares CA - Diagrama Unifilar Simplificado e BEL-B-PM-DE-GER-325-0001 - Casa de Força / Vertedouro - Serviços Auxiliares CC - Diagrama Unifilar Simplificado.

Sistema de Corrente Alternada em 13,8kV

Este sistema será composto por reatores limitadores de corrente, disjuntores específicos para os serviços auxiliares em 13,8 kV interligados à geração a partir de derivação nos barramentos principais de fases isoladas de interligação dos geradores

UHE BELO MONTE

com os transformadores elevadores e fonte externa proveniente do setor de 13,8 kV da Subestação de 230-69-13,8 kV.

a) Reatores Limitadores de Corrente

Deverão ser previstos reatores limitadores de corrente (RLC's), dimensionados para limitar a corrente de curto circuito nas saídas para alimentação dos serviços auxiliares em 13,8 kV, de modo a utilizar disjuntores com capacidade de interrupção de 25 kA.

A interligação dos reatores limitadores de corrente será feita por barramento blindado de fases isoladas através de derivação nos barramentos blindados de paralelismo de dois geradores e por meio de cabos isolados de média tensão aos disjuntores de serviços auxiliares.

Os reatores limitadores de corrente serão monofásicos, a seco, resfriamento natural e serão instalados em cubículos metálicos com fases segregadas.

Características Principais do Reator Limitador de Corrente:

- Impedância nominal..... 0,238 Ω / fase (*)
- Aplicação Sistema com neutro aterrado por alta impedância
- Classe de isolamento..... 15 kV
- Corrente nominal 630 A (*)
- Número de fases..... 1
- Freqüência..... 60 Hz
- Nível de isolamento (crista)..... 110 kV

(*) A ser confirmado durante o projeto executivo.

b) Disjuntores de Serviços Auxiliares

A interligação dos reatores limitadores de corrente e da fonte externa em 13,8 kV aos transformadores de serviços auxiliares deverá ser prevista através de disjuntores de serviços auxiliares em 13,8 kV (CSA's), instalados em cubículos.

Os disjuntores serão interligados aos reatores limitadores de corrente, à fonte externa e aos respectivos transformadores de serviços auxiliares, por meio de cabos isolados de média tensão.

Os disjuntores serão previstos com comando remoto e contatos de supervisão e alarme para anúncio no SDSC.

Características Principais do Disjuntor de Serviços Auxiliares:

- Execução Metal-Clad
- Corrente nominal 1250 A
- Tensão nominal 13,8 kV
- Tensão máxima de operação..... 17,5 kV
- Tensão suportável nominal à freqüência industrial, 1 min 34 kV

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Tensão suportável nominal impulso atmosférico..... 110 kV
- Freqüência nominal 60 Hz
- Capacidade de curto-circuito simétrico, 1 s..... 25 kA

c) Transformadores Principais de Serviços Auxiliares

Deverão ser previstos transformadores principais de serviços auxiliares (TSA's), distribuídos ao longo da Casa de Força, dimensionados de forma a atender as cargas relativas a cada conjunto de três unidades geradoras e as cargas gerais associadas.

Os transformadores serão do tipo seco, moldados em resina epóxi, resfriamento natural, trifásicos, relação de transformação 13.800-460 V, 60 Hz, grupo de ligação Dyn1, com neutro solidamente aterrado, instalados em cubículos metálicos para proteção contra contatos diretos ou acidentais.

A interligação entre o secundário de cada transformador e o respectivo painel de Distribuição será efetuada com barramento blindado de fases segregadas.

Características Principais do Transformador de Serviços Auxiliares:

- Potência nominal 2000 kVA (*)
- Método de resfriamento Ar Natural (AN)
- Freqüência nominal 60 Hz
- Tensão nominal do enrolamento de alta tensão..... 13,8 kV +/- 2 x 2,5%
- Tensão nominal do enrolamento de baixa tensão..... 460 V
- Níveis de isolamento:
- Enrolamento de Baixa Tensão
 - Tensão máxima de operação 0,6 kV
 - Tensão suportável a freqüência industrial - 1min. 4,0 kV
- Enrolamento de Alta Tensão
 - Tensão máxima de operação 15 kV
 - Tensão suportável a freqüência industrial – 1min. 34 kV
 - Tensão suportável nominal impulso atmosférico 110 kV

(*) A ser confirmado durante o Projeto Executivo.

Sistema de Corrente Alternada em 460 V

Este sistema atenderá as cargas elétricas dos serviços auxiliares da Usina a partir dos transformadores de serviços auxiliares 13.800-460 V, instalados na Casa de Força, ligados à tensão de geração como descrito no item anterior e a partir de fonte externa em 13,8 kV, em caso de desligamento da Casa de Força.

UHE BELO MONTE

a) Sistema de Distribuição Normal

Cada Transformador de Serviços Auxiliares (TSA) irá alimentar um Quadro de Distribuição Geral, denominado QDG.

O QDG será responsável pela alimentação dos painéis CCMU's (cargas da unidade), QDSG's (cargas gerais), CCMVE's (cargas de ventilação) e QDVT's (cargas dos vertedouros).

O painel CCMU será constituído de barra simples alimentado por três fontes, a saber:

- de forma redundante a partir dos QDG1 e QDG2, com transferência automática entre as fontes, executada no próprio CCM;
- a partir do barramento do QDE em caso da partida da usina por qualquer unidade geradora, através de operação manual.

Os painéis QDSG e CCMVE serão constituídos de barra simples e serão alimentados de forma redundante a partir dos QDG1 e QDG2, com transferência automática entre as fontes, executada nos próprios painéis.

Os quadros QDVT1 e QDVT2 serão constituídos de barra simples, alimentados de forma redundante a partir dos QDG1, QDG2 e do grupo gerador diesel associado, instalado no Vertedouro, com transferência automática entre as fontes, executada no próprio quadro.

O intertravamento entre as fontes deverá ser elétrico, realizado no próprio quadro e possuir redundância na UAC dos Serviços Auxiliares.

b) Sistema de Distribuição de Emergência

Na Casa de Força deverá ser previsto um Quadro de Distribuição de Cargas Essenciais, denominado QDE, constituído por um barramento, alimentado de forma redundante a partir de cada barra dos QDG1 e QDG2 e, em emergência a partir do grupo diesel gerador associado, instalado na Casa de Força.

O QDE, em condições normais de operação, receberá alimentação independente a partir de cada QDG e em condições de emergência a partir do grupo diesel gerador.

O QDE será responsável pela alimentação do CCMDE (sistemas de drenagem e esvaziamento das unidades) e demais cargas essenciais necessárias à operação das unidades.

Os CCMU's (sistemas auxiliares da unidade) serão alimentados pelo QDE, por meio de operação manual, selecionando-se a unidade geradora em caso de partida.

Os painéis CCMDE serão constituídos de barra simples e serão alimentados de forma redundante a partir do QDE com transferência automática entre as fontes executada nos próprios quadros.

O intertravamento entre as fontes deverá ser elétrico, realizado no próprio quadro e possuir redundância na UAC dos Serviços Auxiliares.

UHE BELO MONTE

c) Grupos Diesel Geradores de Emergência

As cargas de emergência da Usina e do Vertedouro serão atendidas, em caso de perda das fontes normais de alimentação, por dois Grupos Diesel Geradores de Emergência (GECF e GEVT) ligados ao Quadro de Distribuição de Emergência (QDE) e aos Quadros de Distribuição do Vertedouro (QDVT's).

Cada grupo gerador de emergência deverá ser monitorado por uma Unidade de Supervisão e Controle local com as funções básicas de partida, parada, sincronismo, tomada de carga e com todas as proteções requeridas para a função de fonte alternativa.

Deverão ser previstas a partida e a parada do grupo diesel gerador, no modo automático.

O grupo diesel gerador, de eixo horizontal terá acionamento direto por motor diesel ligado por meio de luva elástica, montado sobre uma única base rígida de aço - skid, dotada de isoladores de vibração e apropriada para instalação sobre base de concreto.

O motor diesel será do tipo estacionário, de 4 tempos, resfriado a água no circuito primário e a ar no circuito secundário, com partida elétrica;

Para cada gerador será previsto um tanque diário de combustível junto ao grupo gerador e um tanque semanal externo para armazenamento de combustível.

Características Principais dos Grupos Geradores Diesel:

	Casa de Força	Vertedouro
Potência nominal	700 kVA (*)	500 kVA (*)
Freqüência nominal	60 Hz	60 Hz
Tensão nominal	460 V	460 V
Fator de potência	0,8	0,8

(*) A ser confirmado durante o projeto executivo.

Sistema de Corrente Contínua em 125 V

O sistema de corrente contínua em 125 V deverá alimentar as cargas vinculadas à segurança da Usina; tais como os sistemas de supervisão, controle, proteção e iluminação de emergência.

O sistema será constituído por dois bancos de baterias e dois retificadores/carregadores, operando em regime de flutuação, com capacidade para alimentar todas as cargas referentes ao conjunto de oito unidades geradoras.

Cada conjunto bateria-carregador alimentará o barramento do Quadro Principal de Corrente Contínua (QCC) e cada um deles alimentará, de forma redundante, os barramentos dos Quadros de Corrente Contínua das Unidades (QCCU's), os Quadros de Corrente Contínua de Cargas Gerais (QCCG's) e o Quadro de Corrente Contínua do Vertedouro (QCCVT).

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

As baterias de acumuladores serão do tipo chumbo-ácido, para sistema com tensão nominal de 125 V e faixa de variação de +10% a -20% e serão instaladas em salas apropriadas, montadas sobre estantes.

Os retificadores/carregadores de baterias serão do tipo estático, constituídos por retificadores de silício, dotados de regulação automática e manual de tensão de saída, alimentados em 460 V, 3F, 60 Hz.

Características Principais das Baterias

- Capacidade nominal..... 1500 Ah (*)
- Número de elementos 60
- Regime nominal de descarga 5 h
- Tensão final de descarga 1,75 V/el

(*) A ser confirmado durante o Projeto Executivo.

Características Principais dos Retificadores/Carregadores:

- Tipo Estático
- Tensão nominal de entrada..... 460 Vca
- Numero de fases 3
- Freqüência 60 Hz
- Tensão nominal de saída 125 Vcc
- Corrente nominal..... 450 A (*)

(*) A ser confirmado durante o Projeto Executivo.

7.9.2 Subestação Pimental 230-69 kV

A configuração dos Serviços Auxiliares da Subestação Pimental seguirá em linhas gerais o apresentado no desenho: BEL-B-PM-DE-SUB-320-0001 - Diagrama Unifilar Geral de Serviços Auxiliares.

Equipamentos Principais

a) Sistema de Corrente Alternada

a.1) Cubículos de Média Tensão:

- Tensão nominal: 15 kV;
- Corrente nominal: 1300 A;
- Freqüência nominal: 60 Hz;
- Capacidade de curto-circuito: 21 kA.

UHE BELO MONTE

a.2) Transformadores 13,8-0,380-0,220kV

- Potência nominal: a ser definida no detalhamento do projeto executivo;
- Tensão primária nominal: 13,8 kV;
- Tensão secundária nominal: 380/220 V;
- Freqüência: 60 Hz;
- Nível básico de isolamento: 95 kV;
- Ligação: Triângulo – estrela.

a.3) Características do Grupo Gerador

- Potência nominal: a ser definida no detalhamento do projeto executivo;
- Tensão nominal: 380/220 V;
- Freqüência: 60 Hz;
- Operação em condições de emergência durante a indisponibilidade dos transformadores 13,8-0,380-0,220 kV.

a.4) Quadro de Serviços auxiliares de Corrente Alternada

- Tensão nominal: 380/220 V;
- Freqüência: 60 Hz;
- Barramento a ser dimensionado no projeto executivo

A seguir é apresentada uma descrição sucinta com as características funcionais que em suma atenderão a todas as condições preconizadas pelo Edital de leilão - ANEEL.

Operação dos Quadros

O Quadro de Serviços Auxiliares de Corrente Alternada – QSACA deverá ser dotado de dois barramentos distintos sendo um para cargas essenciais e outro para cargas não essenciais. Definem-se como cargas essenciais aquelas indispensáveis ao funcionamento, segurança e restabelecimento da subestação.

A partir do QSACA localizado na Casa de Comando, é feita a distribuição radial, através de circuitos para os demais subquadros da Subestação. A lógica de operação automática dos quadros permite a operação nas modalidades descritas a seguir:

- Todos os quadros têm operação manual/automática, local e remota;
- A lógica do automatismo prevê a transferência de barras na falta de tensões consideradas normais e, também a transferência de barras no caso de operação em condições de emergência e o retorno às condições normais;
- A operação manual local é liberada de todos os bloqueios permitindo o chaveamento dos disjuntores através das botoeiras liga – desliga;

UHE BELO MONTE

- A operação remota dos quadros, comandada através do Sistema de Proteção, Supervisão e Controle Digital - SPCS da Subestação, que permite a operação automática ou manual.

A distribuição do sistema 380 V obedece aos seguintes critérios:

Cargas ligadas a Barra de carga essencial

- Equipamentos do pátio de 230 kV e 69 kV (seccionadores, disjuntores, transformadores de potência e demais equipamentos de pátio);
- Carregadores de baterias (casa de comando);
- Sistema antiincêndio;
- Iluminação da casa de comando e suplementar do pátio e das vias de acesso;
- 40% do sistema de ar condicionado da casa de comando;
- Cargas especiais.

Cargas ligadas a Barra de cargas não essencial

- Iluminação principal do pátio onde se encontram os barramentos principais;
- Iluminação normal das vias de acesso
- As tomadas de tratamento de óleo dos transformadores;
- 60% do sistema de ar condicionado da casa de comando;
- Cargas diversas;
- Iluminação e aquecimento dos painéis de controle e equipamentos de pátio;
- Tomadas do pátio.

b) Sistema de Corrente Contínua

O sistema de 125Vcc está configurado de forma simplificada no Diagrama Unifilar Geral de Serviços Auxiliares acima referenciado. É suprido por dois conjuntos de baterias e dois retificadores ligados, respectivamente, às Barras A e B do quadro principal QSACC. A partir deste é feita a distribuição radial para as cargas vitais da subestação, as quais são redundantes.

Considerando as características operacionais dos diversos equipamentos de proteção e controle, bem como a iluminação de emergência ligados ao sistema de corrente contínua, o sistema prevê as seguintes tensões limite:

- Tensão máxima: $125 + 10\%$;
- Tensão mínima: $125 - 20\%$.

Os retificadores, baterias e quadro de distribuição principal são interligados através de disjuntores motorizados permitindo chaveamentos, e considerando as diversas condições de falhas de retificadores.

Características dos conjuntos de Baterias

- Tipo: chumbo ácidas;

UHE BELO MONTE

- Tensão nominal: 125 V;
- Capacidade nominal: [1] Ah/10h;
- Número de elementos: 60;
- Tensão final por elemento: 1,75 V.
- [1] – a ser definido no detalhamento do projeto executivo

Características dos Retificadores Carregadores

- Tensão nominal: 125 V;
- Tensão de alimentação: 380 V;
- Corrente nominal: [1] A.
- [1] – a ser definido no detalhamento do projeto executivo

Operação dos Quadros

O sistema de 125 Vcc, através do quadro QSACC, além de atender a todo sistema de controle e proteção dos equipamentos e serviços auxiliares da subestação supre o sistema de iluminação de emergência para a casa de comando e casa do diesel.

O QSACC é constituído de barramentos distintos (Barra A e Barra B) e têm operação manual /automática, local e remota. Cada barramento recebe alimentação de um retificador e uma bateria operando independentemente e suas cargas são redundantes.

A operação manual local é liberada de todos os bloqueios permitindo o chaveamento dos disjuntores através das botoeiras liga – desliga.

A operação do quadro, comandada através do Sistema de Proteção, Supervisão e Controle Digital - SPCS da Subestação permite a operação automática ou manual.

7.9.3 Instalações Elétricas

a) Sistema de aterramento e proteção contra descargas atmosféricas

O sistema de aterramento será dimensionado para manter as tensões de passo, toque e malha dentro dos limites admissíveis para a segurança pessoal, e para prover caminhos para circulação de correntes de falha à terra de maneira a minimizar danos pelos efeitos térmicos ou pelas sobretensões geradas.

O sistema de aterramento da usina é composto por:

- Sistema de aterramento embutido e enterrado

Consiste no conjunto de condutores embutidos no concreto ou enterrados diretamente no solo onde são ligados os equipamentos, estruturas metálicas que devem ser aterradas e os neutros dos diversos circuitos elétricos existentes. Sua função é prover um caminho de retorno de correntes de falha aos neutros de suas fontes e prover meios de dissipação à terra de correntes de falha com neutro remoto ou correntes de surto, além de formar um plano equipotencial para toda a usina.

UHE BELO MONTE

As barras de aço das paredes e pisos de concreto são consideradas como parte do sistema de aterramento. Com a finalidade de evitar a circulação de altas correntes pelas barras de aço, uma malha de baixa densidade formada por cabos de cobre é embutida no concreto dos pisos da Casa de Força, criando um caminho preferencial para a circulação das correntes de falha. Esta malha é firmemente conectada às barras de aço, garantindo a formação de uma malha única cobre + aço.

Nas subestações o sistema de aterramento é composto por uma malha de cabos de cobre dispostos horizontalmente enterrada em toda a extensão da subestação. Hastes verticais serão conectadas aos cabos horizontais em todo o perímetro da malha e próximas a para-raios.

Uma malha de cobre densa é embutida no concreto nos locais onde são instalados painéis ou outros equipamentos eletrônicos sensíveis. Nas subestações, uma malha densa é instalada junto aos equipamentos de manobra de operação manual (seccionadoras), para maior segurança do operador.

As malhas individuais de cada setor são interligadas por, no mínimo, dois cabos de cobre para garantir o mesmo potencial em todas as áreas e para reduzir a resistência equivalente total do sistema de aterramento.

- Sistema de aterramento exposto

Conjunto de cabos de cobre que conectam os equipamentos elétricos e estruturas ao sistema embutido e enterrado.

O sistema exposto é formado, também, por condutores instalados nas vias de cabos (leitões, eletrocalhas, dutos) acompanhando os cabos dos circuitos de força, com finalidade de proporcionar um caminho de retorno para correntes de sequência zero de baixa impedância próximo aos cabos de fase, reduzindo ruídos, interferências e circulação de correntes espúrias pela usina.

- Sistema de aterramento aéreo

Conjunto de condutores, captos e acessórios destinados à proteção dos equipamentos e estruturas contra descargas atmosféricas.

Este sistema é conectado ao sistema embutido e enterrado por meio de cabos de cobre ou pelas barras de aço das estruturas de concreto das edificações.

O arranjo do sistema de proteção contra descargas atmosféricas é projetado com base nos requisitos nas normas ABNT ou IEC. De maneira particular, o sub-sistema de aterramento aéreo (captos) terá sua configuração determinada com a utilização do método eletrogeométrico.

As conexões e emendas de todos os condutores de cobre enterrados ou embutidos serão feitas pelo processo exotérmico. Os cabos de cobre embutidos são conectados às barras de aço das estruturas do concreto por meio de braçadeiras aparafusadas. As conexões expostas são efetuadas com conectores de pressão (aparafusados).

b) Sistema de vias de cabos

UHE BELO MONTE

O sistema de vias de cabos é constituído por todos os meios e materiais utilizados para a instalação de cabos isolados, independentemente de sua aplicação (cabos de força, média e baixa tensão, cabos de comando, comunicações, fibras-ópticas, etc.).

As vias de cabos utilizadas são, por ordem preferencial:

- Leitões de cabos.
- Eletrocalhas fechadas.
- Perfis metálicos com tampa.
- Conduítes metálicos.
- Bancos de dutos.
- Canaletas.

A passagem de cabos de um piso a outro será feita através de *block-outs* no piso.

Os tipos de vias e seu arranjo são definidos de modo a evitar interferências entre diferentes circuitos, assegurando uma adequada compatibilidade eletromagnética.

- Sistema de cabos isolados

Os seguintes tipos de cabos serão utilizados:

- Cabos para circuitos de força, classe 8,7/15 kV

Cabos formados por fios de cobre eletrolítico nus, têmpera mole, isolamento em EPR ou XLPE, cobertura de PVC.

- Cabos para circuitos de força, classe 0,6/1,0 kV

Cabos unipolares, com condutor de cobre eletrolítico, têmpera mole, classe de encordoamento 4 ou 5, isolação em PVC 70°C e cobertura externa em PVC.

- Cabos para circuitos de iluminação e tomadas, classe 750 V

Cabos unipolares, com condutor de cobre eletrolítico, têmpera mole, classe de encordoamento 4 ou 5, isolação em PVC 70°C sem cobertura externa.

- Cabos para circuitos de controle, classe 1,0 kV

Cabos para condução de sinais analógicos de baixa tensão, como circuitos secundários de TC e TP, sinais aquisitados por cartões de entradas digitais de PLCs, contatos de relés convencionais e de proteção, terão classe de isolamento de 1,0 kV, com blindagem coletiva de fita de cobre.

- Cabos para instrumentação, classe 300 V;

Os cabos para a condução de sinais analógicos de extra baixa tensão, como por exemplo, transmissores ou transdutores (4 a 20 mA) e RTDs, são denominados de "instrumentação para sinais analógicos". Estes cabos terão classe de isolamento 300 V, formação em pares ou ternos torcidos com passo inferior a 100 mm, com blindagem por par ou por terno

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

e blindagem coletiva, ambas de fita de poliéster aluminizada e fio de dreno de cobre, estanhado.

Para condução de sinais binários, serão empregados cabos multicondutores, blindados com fita de poliéster aluminizado.

- Cabos para comunicações

Os cabos para interligação entre painéis modulares de sistema de cabeamento estruturado, central telefônica, DG e estruturas serão próprios para redes telefônicas internas ou externas, com condutores de cobre, estanhados e isolados em PVC.

Os cabos do sistema de cabeamento estruturado serão do tipo STP, categoria 6, classe D, conforme ISO/IEC 11801. A formação será de 4 pares torcidos com blindagem por par e blindagem coletiva, ambas de fita de poliéster aluminizada.

Os fios telefônicos serão do tipo FI, constituídos por dois condutores de cobre estanhado de 0,6 mm de diâmetro, isolados com PVC.

- Cabos de fibras ópticas.

Os cabos de fibra óptica serão do tipo multimodo ou monomodo, conforme aplicação, totalmente dielétricos, dotados de capa externa com boa resistência mecânica e à abrasão.

- Sistema de iluminação e tomadas

O sistema de iluminação atenderá a todas as áreas internas das estruturas civis principais e auxiliares, tais como barragem, Tomada de Água, vertedouro, etc., bem como os pátios externos e as vias de acesso, estendendo-se até os limites dos portões principais do empreendimento. O sistema de tomadas inclui tomadas trifásicas e monofásicas 220/127 V instaladas nas paredes das áreas construídas.

Os equipamentos de iluminação são definidos e distribuídos de maneira a obter os melhores resultados luminotécnicos, de acordo com os níveis de iluminamento recomendados pelas normas técnicas da ABNT.

O sistema de iluminação é dividido em:

- Iluminação normal

É a iluminação geral e principal da usina, alimentada pela fonte principal e alternativa do sistema de serviços auxiliares CA (transformadores auxiliares). No caso de falha no sistema CA esses circuitos de iluminação são desligados.

A iluminação normal representa aproximadamente 70% dos níveis de iluminamento requeridos.

- Iluminação essencial

Os circuitos de iluminação essencial são normalmente alimentados pela fonte principal e alternativa. Em caso de falha nessas fontes, os circuitos

UHE BELO MONTE

essenciais são alimentados pelos grupos geradores de emergência, através das barras essenciais dos painéis de distribuição.

A iluminação essencial representa aproximadamente 30% dos níveis de iluminação.

- Iluminação de emergência (rotas de fuga)

A iluminação de emergência tem por objetivo prover iluminação e balizamento necessários para garantir uma evacuação segura quando os circuitos de iluminação normal e essencial estiverem desligados. Para isto, em todas as áreas da usina serão instalados módulos de iluminação autônomos com lâmpadas fluorescentes ou halógenas, com bateria interna, alimentados a partir dos circuitos essenciais do sistema de tomadas. Esses módulos apresentarão uma autonomia mínima de 2,5 horas, ativadas automaticamente na ausência de tensão CA de alimentação, permanecendo apagadas durante a operação normal do sistema de iluminação.

7.10. SUBESTAÇÃO

A subestação Pimental 230/69/13,8 kV será do tipo convencional, ao tempo, composta pelos setores 230, 69 e 13,8 kV e instalações complementares.

Os documentos abaixo, disponibilizados em anexo, caracterizam de forma geral a subestação apresentando os princípios básicos a serem seguidos na elaboração do Projeto Pré-Executivo.

- BEL-B-PM-DE-SUB-300-0001 - Planta de Localização
- BEL-B-PM-DE-SUB-300-0002 - Diagrama Unifilar Simplificado
- BEL-B-PM-DE-SUB-300-0003 - Arranjo - Planta
- BEL-B-PM-DE-SUB-300-0004 - Arranjo – Seções AA, BB e CC
- BEL-B-PM-DE-SUB-300-0005 - Arranjo – Seções DD, EE, FF e GG

A área escolhida para a implantação da SE esta detalhada na planta de Localização acima mencionada e será de, aproximadamente, 22.000 m² (100m x 220m). A posição escolhida é orientativa e deverá ser confirmada no Projeto Básico Consolidado.

A implantação da subestação será feita em duas etapas. Na primeira etapa serão instalados os setores de 69 kV e 13,8 kV com a função específica de alimentar as cargas necessárias para atender as obras do Sítio Pimental.

Nesta primeira etapa, contudo, será implantada a infraestrutura completa para toda subestação (edificações, drenagem, malha de terra, dutos e canaletas e etc.), para causar o menor impacto na expansão futura da subestação.

A segunda etapa será implementada de acordo com o cronograma do empreendimento para estar concluída com a entrada da primeira unidade da Casa de Força Complementar do Sítio Pimental, chegando assim à configuração final da subestação.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

A caracterização de cada setor da subestação é mostrada a seguir.

a) Setor de 230 kV

O setor de 230 kV terá configuração de Barra Dupla a 4 Chaves, constituída por 6 (seis) vãos, sendo 1 (um) vão de linha longa, 3 (três) vãos de máquina, 1 (um) vão de transformação e 1 (um) vão de interligação de barras.

Equipamentos Principais

- Transformador trifásico 230/69 kV 12,5 MVA (potência a ser confirmada no Projeto Básico Consolidado), isolado em óleo mineral, ventilação natural (ONAN) e forçada (ONAF), equipado com conservador de óleo e comutador de tap sem carga, instalação ao tempo, NBI 950 kV, conexão Dyn1.
- (5) - Chave seccionadora tripolar, máxima tensão de operação 245 kV, tensão nominal 230 kV, NBI 950 kV, corrente nominal 2000 A, corrente momentânea de 50 kA, corrente durante 1 segundo de 40 kA, montagem horizontal, abertura vertical, equipada COM lâmina de terra. A chave deverá ser dotada de conjuntos de acionamento motorizado tanto para as lâminas principais como para lâmina de terra.
- (10) - Chave seccionadora tripolar, máxima tensão de operação 245 kV, tensão nominal 230 kV, NBI 950 kV, corrente nominal 2000 A, corrente momentânea de 50 kA, corrente durante 1 segundo de 40 kA, montagem vertical tipo semi-pantográfica vertical, SEM lâmina de terra. A chave deverá ser dotada de conjuntos de acionamento motorizado para as lâminas principais.
- (7) - Chave seccionadora tripolar, máxima tensão de operação 245 kV, tensão nominal 230 kV, NBI 950 kV, corrente nominal 2000 A, corrente momentânea de 50 kA, corrente durante 1 segundo de 40 kA, montagem horizontal, abertura vertical, equipada SEM lâmina de terra. A chave deverá ser dotada de conjuntos de acionamento motorizado para as lâminas principais.
- (3) - Transformador de potencial monofásico, 245 kV, de relação $230000/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3}V$, classe 0,3P100, 0,6P100, 0,6P100 950kV de NBI.
- (6) - Transformador de potencial monofásico, 245 kV, de relação $230000/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3}V$, classe 0,3P100, 0,6P100, 950kV de NBI.
- (15) – Pára-raios monopolar para sistema de 230 kV, frequência nominal 60 Hz, tipo construtivo ZnO, corrente nominal de descarga de 10kA com neutro aterrado, dotado de com contador de descargas;
- (6) - Disjuntor tripolar SF6, 245 kV, 60 Hz, corrente nominal de 2000 A, capacidade de interrupção de 50 kA (60 Hz, 2 ciclos), tensão de controle de 125 Vcc, NBI de 950 kV, tensão suportável nominal a frequência industrial durante 1 minuto, a seco e sob chuva: 395kV, eficaz. Valores nominais de tensão de restabelecimento, faltas quilométricas e discordância de fases: Conforme NBR 7118.
- (6) - Transformador de corrente com 5 núcleos, sendo 3 para serviços de proteção classe 10B400, 1 enrolamento secundário exclusivo para medição de

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

faturamento, de classe 0,3C50 e 1 para serviços de medição, com classe 0,3C50 relação 1200/800/600/400-5-5-5-5A, 245 kV, 40 kA, 950 kV de NBI.

- (9) - Transformador de corrente com 4 núcleos, sendo 3 para serviços de proteção classe 10B400, e 1 para serviços de medição operacional, com classe 0,3C50 relação 1200/800/600/400-5-5-5-5A, 245 kV, 40 kA, 950 kV de NBI.
- (3) - Transformador de corrente com 2 núcleos para serviços de proteção classe 10B400, relação 1200/800/600/400-5-5A, 245 kV, 40 kA, 950 kV de NBI.

Os dados característicos e dimensionais dos equipamentos são orientativos e deverão ser confirmados no Projeto Básico Consolidado.

b) Setor de 69 kV

O setor de 69 kV terá configuração de Barra Principal e Barra de Transferência, constituída por 4 (quatro) vãos, sendo 1 (um) vão de linha de interligação à SE Canal de Derivação, 1 (um) vão de transformação 230/69 kV, 1 (um) vão de transformação 69/13,8 kV e 1 (um) de interligação de barras.

Equipamentos Principais:

- (1) Transformador trifásico 69/13,8 kV 2,5MVA (potência a ser confirmada no Projeto Básico Consolidado), isolado em óleo mineral, ventilação natural (ONAN) e forçada (ONAF), equipado com conservador de óleo e comutador de tap sem carga, instalação ao tempo, NBI 350 kV, conexão Dyn1. Em função da instalação as buchas de baixa deverão estar acondicionadas em caixa de ligação estanque com tampas flangeadas.
- (3) - Chave seccionadora tripolar, máxima tensão de operação 72,5 kV, tensão nominal 69 kV, NBI 350 kV, corrente nominal 1250 A, corrente momentânea de 50 kA, corrente durante 1 segundo de 31,5kA, montagem horizontal, abertura vertical, equipada COM lâmina de terra. A chave deverá ser dotada de conjuntos de acionamento motorizado tanto para as lâminas principais como para lâmina de terra.
- (8) - Chave seccionadora tripolar, máxima tensão de operação 72,5 kV, tensão nominal 69 kV, NBI 350 kV, corrente nominal 1250 A, corrente momentânea de 50 kA, corrente durante 1 segundo de 31,5kA, montagem horizontal, abertura vertical, equipada SEM lâmina de terra. A chave deverá ser dotada de conjunto de acionamento motorizado para as lâminas principais.
- (6) - Transformador de potencial indutivo, 72,5 kV, de relação $69000/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3} - 115/115/\sqrt{3}V$, classe 0,3P100/0,6P100, 350 kV de NBI. O equipamento apresentado é orientativo devendo o seu quantitativo, tipo, nº de enrolamentos e classe de precisão ser confirmados no Projeto Básico Consolidado.
- (9) – Pára-raio monopolar para sistema de 69 kV, frequência nominal 60 Hz, tipo construtivo ZnO, corrente nominal de descarga de 10kA, dotado de contador de descargas.

UHE BELO MONTE

- (4) - Disjuntor tripolar SF6, 72,5 kV, 60 Hz, corrente nominal de 2000 A, capacidade de interrupção de 40 kA (60 Hz, 2 ciclos), tensão de controle de 125 Vcc, NBI de 350 kV, tensão suportável nominal a frequência industrial durante 1 minuto, a seco e sob chuva: 135 kV, eficaz. Valores nominais de tensão de restabelecimento, faltas quilométricas e discordância de fases: Conforme NBR 7118.
- (9) - Transformador de corrente com 3 núcleos, sendo 2 para serviços de proteção classe 10B400 e 1 para serviços de medição operacional, com classe 0,3C50 relação 250-5-5-5A (RM), 145 kV, 31,5 kA, 350 kV de NBI

Os dados característicos e dimensionais dos equipamentos são orientativos e deverão ser confirmados no Projeto Básico Consolidado.

c) Setor de 13,8 kV

O Setor de 13,8 kV será constituído por cubículos blindados próprios para instalação ao tempo, dotados de todos os equipamentos (DJ, TPs, TCs, PRs, Relés de Proteção, Medidores e Dispositivos de Comando Local) necessários a proteção e manobra.

A alimentação do conjunto de cubículos, que deriva do transformador de 69/13,8 kV deverá ser feita por cabos isolados a partir da caixas de ligação do transformador, que acondiciona suas as buchas de 13,8 kV, tornando a instalação totalmente estanque.

Da mesma forma, todos os alimentadores que derivarão dos cubículos para suprir suas respectivas cargas serão constituídos por cabos isolados.

Os alimentadores 1 e 2, que alimentam as cargas dos acampamentos e canteiros de obra, serão conectados às redes áreas, cujo primeiro poste será locado próximo a cerca da subestação.

O alimentador 3 irá alimentar o Transformador de Serviços Auxiliares 1 (TSA1) da subestação.

O alimentador 4 (2ª etapa) se interligará com os Serviços Auxiliares da CF Complementar do Sítio Pimental, operando como fonte alternativa para essas instalações.

Complementando as instalações de 13,8 kV da subestação será implementado na 2ª etapa um quinto circuito de 13,8 kV, oriundo da CF Complementar do Sítio Pimental para alimentar o Transformador de Serviços Auxiliares 2 (TSA2) da subestação, a fim de aumentar a confiabilidade dos Serviços Auxiliares da subestação.

7.11. SISTEMA DE SUPERVISÃO, CONTROLE E PROTEÇÃO

7.11.1 Sistema Digital de Supervisão e Controle

Considerações Gerais

O Sítio Pimental será projetado com recursos para permitir operação não atendida, ou seja, de modo que possa ser controlado e supervisionado a partir de um sítio externo.

UHE BELO MONTE

Todos os equipamentos e sistemas principais serão dotados de instrumentos que permitam a supervisão contínua do estado operacional e a detecção de condições anormais. Desta forma, será possível implementar automatismos para garantir a continuidade dos serviços e prover o operador com as informações necessárias para tomar decisões corretas. Além disto, a instrumentação deverá detectar, na medida possível, a “causa primeira” da condição anormal, de modo que as equipes de manutenção com a especialização adequada possam ser acionadas prontamente.

No âmbito da própria usina, haverá níveis de controle local e centralizado; os modos de controle serão manual e automático.

Arquitetura do Sistema

O sistema de supervisão e controle da usina (SDSC) será composto por equipamentos digitais e convencionais (a relés).

O sistema digital, estruturado em rede hierárquica distribuída, será baseado em equipamentos microprocessados. O sistema convencional será utilizado essencialmente para as funções de segurança e como retaguarda.

A configuração será baseada em elementos da linha de produtos de automação, tais como controladores lógicos programáveis (CLPs), redes de comunicação, servidores de base de dados e estações de operação adequados para o ambiente de usinas e subestações. *Softwares* básicos e aplicativos deverão propiciar alto nível de confiabilidade e segurança de operação.

O controle e a supervisão da usina, da subestação e do vertedouro serão efetuados normalmente a partir da sala de controle central. Desse local poderão ser operadas as unidades geradoras, as comportas de emergência, os sistemas auxiliares, a subestação e o vertedouro. O sistema instalado na usina irá se comunicar também com o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, com o Centro de Operação Regional (COR) e com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE. Conversores de protocolo serão utilizados conforme necessidade.

Está prevista uma comunicação com a UHE Belo Monte, de modo que o Sítio Pimental possa ser supervisionado e comandado a partir da sala de controle de Belo Monte. Para este fim, haverá integração entre as redes de controle de ambas as usinas, através do sistema de telecomunicações. Deste modo, poderão ser controlados não só as unidades geradoras, a subestação e os sistemas auxiliares, como também as comportas do vertedouro localizado neste sítio.

Os equipamentos do SDSC terão sincronização do relógio calendário a partir de central horária que receberá sinais do sistema GPS.

Estão previstos os seguintes níveis hierárquicos de controle principais:

- Nível 4 (Externo);
- Nível 3 (UHE Belo Monte);
- Nível 2 (Central);
- Nível 1 (Local);
- Nível 0 (junto aos equipamentos).

UHE BELO MONTE

O nível 4 corresponde ao ONS, que, através de canais de telecomunicação redundantes, receberá os dados da usina e poderá efetuar comandos pertinentes às suas atribuições (como controle da geração) e ao COR.

O nível 3 corresponde à sala de controle central da UHE Belo Monte, que, através da rede de comunicação, controlará e supervisionará remotamente este sítio.

O nível 2 será constituído pelas estações de operação, estação de engenharia, servidores de base de dados e processadores de comunicação. Nesse nível serão possíveis o controle e supervisão geral da usina, da subestação e do vertedouro, a comunicação com os centros de operação do sistema, os comandos de partida manual e automática, sincronização, paradas normal e de emergência, controles de carga e de tensão, etc. Para os servidores de dados históricos será provido um sistema de “cluster”, com meios para inserção de discos rígidos a quente.

O nível 1 será constituído pelos CLPs, dotados de dispositivo de interface humano - máquina. Os CLPs irão se comunicar com o nível 2 através de redes locais (LANs). A operação nesse nível ocorrerá em caso de indisponibilidade do nível central ou em situações de testes. O alcance das ações de controle, nesse caso, será limitado aos equipamentos vinculados a cada CLP, que fará interface com o processo (equipamentos e sistemas supervisionados / controlados), para coletar dados e para efetuar comandos, através de redes de comunicação digital e através de conexão fio a fio (“hard-wired”). A quantidade de CLPs e de módulos de entrada / saída distribuídos será determinada com base em critérios funcionais e geográficos.

Como regra geral, os equipamentos e sistemas que constituem o “processo” terão meios próprios para controle através de painéis instalados junto a eles (nível 0), seja para efetuar suas próprias lógicas e automatismos, como no caso dos reguladores de velocidade e de tensão, seja para fins de manutenção, testes e para permitir comandos locais em caso de perda de comunicação com os níveis superiores.

A arquitetura orientativa do sistema é apresentada no desenho BEL-B-PM-DE-GER-330-0001 – Sistema de Supervisão e Controle– Arquitetura Geral.

Filosofia de partida e de paradas normal e de emergência, e de operação da usina e da subestação

A subestação da usina Pimental será do tipo convencional, externa, com 3 níveis de tensão, 230kV, 69kV e 13,8kV. O setor de 230kV possuirá esquema de manobra em barra dupla, composta de 3 vãos de chegada de cada segmento de 2 geradores, 1 vão de saída de LT para Altamira, 1 vão de saída para o setor de 69kV e 1 vão de interligação de barras e, o setor de 69kV possuirá esquema de manobra em barra principal e barra de transferência, composta de de 1 vão de chegada do setor de 230kV, 1 vão de LT para a SE Canal Derivação, 1 vão de interligação de barras e 1 vão de saída para o setor de 13,8kV.

A partida e parada de cada unidade geradora poderá ser feita nos modos automático e manual.

Os seguintes “estados estáveis” são considerados para cada unidade: máquina parada, máquina pronta para partir, máquina em vazio não excitada, máquina pronta para sincronizar e máquina acoplada. A transição de um estado estável para outro será feita através de uma sequência de comandos.

UHE BELO MONTE

No modo automático, o operador apenas seleciona o estado estável desejado e efetua um único comando para execução da sequência correspondente; no modo manual, o operador comanda a execução da sequência passo a passo.

Em condições normais, as máquinas operarão no modo automático, ficando o modo manual para uso em caso de testes e manutenção.

As paradas de emergência serão sempre automáticas.

A operação da subestação, com as barras interligadas ou não, bem como a quantidade de unidades geradoras em operação, será determinada, em cada ocasião, pelas conveniências do sistema elétrico.

Modos de parada de emergência

As paradas de emergência são as paradas não programadas, que ocorrem por atuação dos dispositivos de proteção. São previstos os seguintes modos de parada:

- parada de emergência mecânica: parada total, sem sobrevelocidade, e sem fechamento da comporta de emergência;
- parada de emergência hidráulica: parada total, com rejeição de carga, e com fechamento da comporta de emergência;
- parada de emergência elétrica: parada total, com rejeição de carga, e sem fechamento da comporta de emergência;
- parada parcial (a máquina fica rodando à velocidade nominal desexcitada) sem sobrevelocidade;
- parada parcial com rejeição de carga.

As paradas de emergência serão comandadas de modo concorrente pelo sistema de controle digital e por um sistema convencional, com lógica a relés. Deste modo, ficará garantida a parada segura das unidades geradoras, mesmo em caso de falha do SDSC.

Por outro lado, atuando diretamente nos painéis de controle junto aos equipamentos, a partida da unidade geradora será possível mesmo em caso de indisponibilidade do respectivo CLP.

Se a unidade estiver em operação e ocorrer falha do respectivo CLP, ela continuará em operação no ponto em que se encontrava antes da falha, mantendo-se ativos todos os elementos de proteção; a carga poderá ser controlada, neste caso, por atuação direta nos reguladores de velocidade e tensão. O operador poderá comandar parada de emergência, se assim decidir.

Critérios básicos que nortearão a elaboração das Especificações Técnicas

As especificações técnicas do sistema de supervisão e controle serão elaboradas mediante interações com as equipes de engenharia do consórcio de empresas concessionárias do empreendimento, visando consolidar os critérios a serem utilizados.

Além dos conceitos acima expressos, vários outros deverão ser considerados:

- Atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS.

UHE BELO MONTE

- Utilização do conceito de sistemas abertos do ponto de vista da estrutura de comunicação de dados. Isto visa à facilidade para substituir hardwares, modificar softwares, e expandir os recursos do sistema, sem necessidade de uma completa substituição de equipamentos. Deverão ser considerados os atributos de interconectividade de hardware, portabilidade de software e interoperabilidade entre os várias programas aplicativos. Neste sentido, serão adotados, tanto quanto possível, os preceitos na norma IEC 61850.
- Utilização do conceito de tolerância a falha (redundância), segundo o qual a falha de um único elemento não deve inviabilizar a operação do sistema. A aplicação deste conceito deve ser analisada em vários níveis, como: equipamentos auxiliares (bombas de óleo de mancais e outras); canais dos reguladores de velocidade e de tensão; CPUs; redes de comunicação de dados; servidores de base de dados, etc.
- Disponibilização de recursos de controle de retaguarda (backup) para as funções que são essenciais para a segurança da usina e para as funções que são necessárias para a operação das unidades geradoras sob condições de emergência. Em especial, as seguintes funções deverão ser consideradas: parada de emergência e partida de unidades geradoras; operação das comportas do vertedouro e das comportas de emergência; operação dos disjuntores e chaves isoladoras na subestação da usina; operação do sistema de drenagem da usina.
- Arquitetura modular do sistema de controle, para permitir a colocação em serviço, progressivamente, das 6 unidades geradoras, sem que a implantação de cada nova unidade prejudique as que já estão em funcionamento. O conceito será útil também para futura modernização do sistema de controle.
- Recursos de diagnóstico do software supervisor, de modo que, sempre que um comando não for efetuado, o operador seja informado das condições impeditivas.
- Requisito de disponibilidade global do SDSC.
- Requisito de desempenho do SDSC, fixando-se parâmetros mínimos a serem atingidos, como: tempo de implementação dos comandos; tempo desde a ocorrência de uma condição anormal até a apresentação da respectiva mensagem em tela; taxa de ocupação máxima dos processadores; tempo de resposta da IHM; tempo de atualização dos dados em tela; tempo de inicialização; resolução da estampa de tempo.
- Requisitos de compatibilidade eletromagnética, adequados ao ambiente de usinas e subestações.
- Requisitos de dimensionamento do estoque de peças sobressalentes.

7.11.2 Sistemas de Proteção

Considerações Gerais

Os Sistemas de Proteção elétrica das unidades geradoras e da subestação serão constituídos por relés multifunção, com processamento numérico, recursos para armazenamento de dados e oscilografia, e meios para monitoramento e parametrização remotos. Os eventos armazenados nos relés deverão possuir estampa

UHE BELO MONTE

de tempo com resolução de 1 ms, utilizando sinais produzidos por um gerador de hora padrão sincronizado a satélites do sistema GPS.

Os sistemas de proteção deverão atender aos requisitos dos Procedimentos de Rede do ONS.

Os relés de proteção deverão ser interligados através de uma rede de comunicação a uma estação de proteção e oscilografia (EPO), instalada na usina do Sítio Pimental. A partir dessa estação deverá ser possível aquisitar os eventos e registros oscilográficos armazenados nos relés da casa de força e da subestação, e, mediante senhas, alterar a parametrização dos mesmos. Essa rede será conectada à usina de Belo Monte, que terá acesso remoto aos relés da usina e da subestação do Sítio Pimental. Os dados deverão estar disponibilizados para análise também em um centro remoto (“off-site”) de estudos e engenharia.

Os relés de proteção deverão ser integrados, para produção de alarmes, registro sequencial de eventos, desencadeamento de sequências de desligamento, parada e bloqueio, ao sistema de supervisão e controle. Os sinais de desligamento, parada e bloqueio, produzidos pelos dispositivos de proteção deverão, entretanto, produzir seus efeitos independentemente do SDSC.

A arquitetura dos sistemas de proteção deverá seguir as recomendações da norma IEC 61850, sempre que aplicável.

Além das funções de proteção listadas a seguir, outras poderão ser adotadas (como proteção contra auto-excitação, esquemas de corte de geração, etc.) em função dos resultados de estudos do sistema elétrico.

A filosofia dos sistemas de proteção é apresentada nos desenhos BEL-B-PM-DE-CAF-335-0001 – Diagrama Unifilar de Proteção e Medição das Unidades 1 e 2 e BEL-B-PM-DE-SUB-335-0001 – Subestação - Diagrama Unifilar de Proteção e Medição.

Proteção das Unidades Geradoras

O sistema de proteção de cada unidade geradora constará de 2 conjuntos independentes, constituindo uma proteção primária e uma alternada, ligados a circuitos de corrente diferentes. Cada conjunto conterá as seguintes funções: proteção de distância (21), sobreexcitação (24), potência inversa (32), perda de excitação (40), sobrecorrente de sequência negativa (46), sobrecarga no estator (49), energização indevida (50/27), sub e sobretensão (27/59), desequilíbrio de tensão (60FL), falha de disjuntor (50BF), falta à terra no estator a 95% e 100% (64-1 e 64-2), sub e sobrefrequência (81) e diferencial do gerador (87G).

Serão fornecidos dispositivos de proteção para o sistema de excitação: sobrecorrente (50/51) e temperatura (49TEX) no transformador de excitação e proteção contra falta à terra no rotor (64R), sobrecorrente de campo (76), sobretensão de campo (59F), além de dispositivos para proteção intrínseca, como fusíveis para proteção das pontes de tiristores, limitadores de sobre e subexcitação, limitador de mínima excitação, etc.

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do gerador e da turbina, como: vibração, entreferro do gerador, sobretemperatura dos mancais, sobretemperatura do óleo, baixo nível de óleo, sobrevelocidade, falha do regulador de velocidade, etc.

A proteção deverá atuar sobre os circuitos de disparo do disjuntor da respectiva unidade geradora e em relés de bloqueio para a parada de emergência.

UHE BELO MONTE

Proteção dos Barramentos Blindados

O sistema de proteção dos barramentos blindados constará de um esquema de proteção para cada grupo de duas unidades geradoras e ramal de alimentação para os serviços auxiliares com função de tensão residual (64B).

A proteção deverá atuar sobre os circuitos de disparo dos disjuntores das unidades geradoras.

Proteção dos Transformadores Elevadores

O sistema de proteção dos transformadores elevadores constará de 2 conjuntos independentes, constituindo uma proteção primária e uma alternada, ligados a circuitos de corrente diferentes. Cada conjunto conterà as seguintes funções: diferencial (87T), diferencial de terra restrita (87NT) e sobrecorrente de neutro (51N).

As proteções principal e alternada deverão atuar sobre os dois circuitos de disparo dos disjuntores das unidades geradoras e do disjuntor de 230 kV do transformador elevador correspondente.

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do transformador elevador, como: detecção de gás, imagem térmica, alívio de pressão, nível de óleo, etc.

Proteção das Linhas Curtas

O sistema de proteção das linhas curtas constará de dois esquemas de proteção independentes, principal e alternada, ligados a circuitos de correntes distintos. Cada conjunto conterà as seguintes funções: diferencial (87L), diferencial de terra restrita (87NL) e sobrecorrente (50/51).

As proteções principal e alternada deverão atuar sobre os dois circuitos de disparo dos disjuntores das unidades geradoras e do disjuntor de 230 kV do transformador elevador correspondente.

Proteção das Barras e Proteção de Falha de Disjuntor da Subestação de 230kV

O sistema de proteção de barras será individual para cada vão conectado à barra. Será do tipo de sobrecorrente diferencial percentual (87B), distribuída. A comunicação da unidade central com as unidades periféricas será por fibras ópticas.

Será provido esquema de proteção para falha de disjuntor (50/62BF).

As proteções diferencial de barras e de falha de disjuntor provocarão abertura e bloqueio de fechamento dos disjuntores respectivos, além de transferência de disparo para a extremidade oposta da linha de transmissão respectiva e parada de emergência das unidades geradoras afetadas.

Sistema de Proteção da Linha de Transmissão para Altamira, em 230 kV

Para a linha de transmissão, haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção alternada. Cada sistema conterà pelo menos com as seguintes funções: proteção de distância (21/21N), direcional de sobrecorrente (67/67N), sub e sobretensão (27/59), desbalanço de tensão (60V), sobrecorrente de sequência negativa (46), religamento (79), verificação de sincronismo (25), proteção contra perda de sincronismo (78) e interface para teleproteção (85).

UHE BELO MONTE

Proteção do Transformador 230 - 69kV, na SE Pimental

Haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção de retaguarda, além das proteções intrínsecas do transformador.

O sistema principal conterà as seguintes funções: diferencial (87T), diferencial de terra restrita (87NT), sobrecorrente de fase e de neutro (50/51, 50/51N) e falha de disjuntor (50BF).

O sistema de retaguarda conterà as funções de sobrecorrente de fase (50/51).

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do transformador elevador, como: detecção de gás, imagem térmica, alívio de pressão, nível de óleo, etc.

Proteção da Linha de Transmissão para a SE Belo Monte / Canal Derivação, em 69 kV

Haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção de retaguarda.

O conjunto principal conterà as seguintes funções: distância (21/21N), sobrecorrente direcional de neutro (67N), sub e sobretensão (27/59), sobrecorrente de sequência negativa (46), sobrecorrente de fase e de neutro (50/51, 50/51N) religamento automático (79), sobre e subfrequência (81), desbalanço de tensão (60V), verificação de sincronismo (25), falha de disjuntor (50BF) e interface para teleproteção (85).

O conjunto de retaguarda conterà as funções de sobrecorrente direcional de fase e de neutro (67/67N).

Proteção do transformador 69 kV – 13,8 kV, na SE Pimental

Haverá um sistema de proteção principal e um sistema de proteção de retaguarda, além das proteções intrínsecas do transformador.

O sistema conterà as seguintes funções: sobrecorrente de fase e de neutro (50/51 e 50/51N) e falha de disjuntor (50BF).

Serão fornecidas as proteções intrínsecas do transformador, como: imagem térmica, alívio de pressão, nível de óleo, etc.

Teleproteção

Para a linha de transmissão de 230kV e a linha de 69 kV, pelo menos os seguintes esquemas de teleproteção serão providos: POTT (Permissive Over-reach Transfer Trip), PUTT (Permissive Under-reach Transfer Trip), DTT (Direct Transfer Trip), DCB (Directional Comparison Blocking), DCU (Directional Comparison Unblocking).

Para as funções de teleproteção, poderão ser usados tanto comunicação direta relé a relé como comunicação através de equipamentos de telecomunicações multiplexados. Em qualquer caso, os canais de teleproteção terão como suporte físico as fibras ópticas instaladas nos cabos OPGW das linhas de transmissão.

7.11.3 Sistema de Medição de Faturamento

O sistema de medição de energia será constituído de todos os instrumentos e dispositivos necessários para o atendimento aos requisitos estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS.

UHE BELO MONTE

Serão fornecidos os instrumentos para a medição de energia, estação central de coleta de dados e redes de comunicação.

Será medida continuamente a energia bruta de cada gerador; o ponto de medição de energia para faturamento será na subestação de Altamira.

Todos os medidores serão conectados de forma a constituir duas redes de comunicação: uma para conexão a uma Estação Central de Medição, a ser instalada sala de controle central de Pimental; outra disponibilizará os dados para a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, com canais independentes para para leitura e auditoria. Os dados deverão estar disponíveis também no escritório central do Proprietário. O sistema será provido com os dispositivos necessários para interface com o sistema de telecomunicações.

O sistema será sincronizado a partir dos sinais produzidos por geradores de hora padrão, com base no sistema GPS.

Serão medidas e registradas as energias e demandas para todos os possíveis sentidos do fluxo de potência ativa e reativa.

Os medidores, assim como as borneiras e blocos de testes dos circuitos de medição, possuirão garantia de inviolabilidade, através de colocação de lacres, eletrônicos e/ou mecânicos.

Os medidores deverão ser polifásicos, 3 elementos, 4 fios. Deverão atender aos requisitos metrológicos pertinentes à classe 0.2S da norma IEC-60687 para todos os sentidos de fluxo de energia. Deverão ser dotados de um sistema de preservação dos registros durante perdas de alimentação, armazenando os dados em memória não volátil.

Os medidores deverão ter certificado de conformidade de modelo aprovado, emitido pelo INMETRO.

7.11.4 Sistemas de Registro de Perturbações

Será provido um sistema de registro de perturbações para a usina, a subestação Pimental, do tipo "stand-alone" (ou seja, independente dos relés digitais), com meios de comunicação para acesso remoto aos dados.

Os registradores digitais de perturbações (RDPs) irão monitorar, continuamente, o sistema elétrico. Quando alguma variação da entrada exceder um limite especificado, o RDP correspondente gravará os sinais analógicos e os eventos lógicos que ocorreram antes, durante e depois da perturbação. O RDP continuará a gravação até o término da perturbação ou até que exceda o limite de tempo de operação ajustado para pós-falta.

Todos os RDPs serão ser interligados em rede e sincronizados a partir dos sinais produzidos por geradores de hora padrão, com base no sistema GPS.

Os dados gravados pelos RDPs serão transmitidos a uma estação de proteção e oscilografia (EPO) instalada na usina Pimental. Os mesmos dados deverão estar disponíveis também em um posto remoto. O sistema será provido com os dispositivos necessários para interface com o sistema de telecomunicações.

Todos os registros de longa e curta duração serão disponibilizados em arquivos de dados, na forma dos padrões COMTRADE ou ASCII.

UHE BELO MONTE

Cada RDP deverá ter integrada a funcionalidade de medição de sincrofasores, de acordo com a norma C37.138 - "Standard for Synchrophasors for Power Systems".

O sistema de registro digital de perturbações deverá atender aos requisitos do ONS, estabelecidos nos Procedimentos de Rede.

7.12. SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES

O Sistema de Transposição de Peixes está localizado à esquerda hidráulica da Casa de Força Complementar. Este sistema foi projetado para uma vazão de 20 m³/s, que resultará em tirante médio de 1,30 m.

A estrutura de controle da vazão e monitoramento (saída) do canal se situará na El. 100,0 e a cerca de 1000 m da Tomada de Água / Casa de Força Complementar. Esta estrutura será dotada de três comportas do tipo segmento, de fundo, instaladas em aberturas com 2,0 m de vão por 2,0 m de altura, as quais em posição de abertura parcial ou total permanecerão submersas, devido a um rebaixo côncavo na laje de fundo.

A estrutura de controle e monitoramento também possuirá ranhuras e guias, para colocação de comportas-ensecadeira (stop-logs) e painéis de telas ou grades. Estes últimos como dispositivos auxiliares no monitoramento ou manuseio de exemplares, direcionamento de peixes para as proximidades das janelas de observação.

O canal será concebido com seção trapezoidal com 6,0 m de base e taludes laterais de 1,0 V: 2,0 H e declividade de 0,00167 m/m e 60,0 m de extensão intercalados por trechos de 10,0 m em desnível de 1,0 m, constituído por degraus de 0,25 m de altura em patamares de 3,33 m de extensão constituídos de blocos de rocha de dimensões adequadas (grandes diâmetros). No trecho em degrau a largura da base do canal trapezoidal se reduzirá para 5,0 m de largura.

A estrutura de entrada estará situada na lateral esquerda do canal de fuga da Casa de Força Complementar na El. 81,0 (crista na El. 97,0) e possuirá 6,0 m de largura. Esta estrutura será dotada de comporta ensecadeira e comporta mitra, esta em diferentes aberturas poderá controlar a velocidade entre o desnível de água a montante e a jusante da estrutura de entrada do sistema de transposição de peixes.

7.13. SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE EMBARCAÇÕES

O Sistema de Transposição de Embarcações tem a finalidade de mitigar o impacto do Aproveitamento sobre a navegação de pequenas embarcações, permitindo o acesso das populações à jusante do sítio Pimental até Altamira e vice-versa.

O mecanismo de transposição de pequenas embarcações estará localizado na ombreira direita do barramento e será constituído por uma via permanente em plano inclinado, dividido em dois ramais: o ramal de montante ligando a crista do barramento com o reservatório e o ramal de jusante ligando a crista com o leito do rio. O desenho BEL-B-PM-DE-ACF-100-0001, apresenta o arranjo geral dessa solução, cujo funcionamento está descrito sucintamente, a seguir:

A embarcação será fixada em uma carreta, dimensionada para carga de 5.000 Kgf, que correrá sobre trilhos da via permanente, com bitola de 1m, içada por guincho ligado por cabo de aço até o sistema de elevação motorizado, instalado na casa de

UHE BELO MONTE

máquinas. O cabo de aço, quando totalmente desenvolvido ao longo da via, ficará apoiado em roletes de eixo horizontal, nos trechos de mudança vertical e por roletes de eixo vertical, nos trechos de curvas horizontais. Após passar pelo aparelho de mudança de via (AMV), o conjunto carreta/embarcação será baixado em segurança pelo mesmo sistema motorizado até o lado oposto do içamento.

Durante a construção das estruturas do Sítio Pimental será colocado em prática um procedimento provisório de transposição visando evitar solução de continuidade na movimentação das embarcações da região.

O sistema constará de dois atracadouros, sendo um à montante e outro à jusante do barramento, situados na margem direita do rio Xingu e localizados fora das áreas de segurança das obras e dos trechos do rio onde ocorrerão aumentos das velocidades, devido aos estreitamentos provocados pelas ensecadeiras.

Estes atracadouros serão formados por rampas direcionadas para o rio e escavadas no terreno natural, com topografia favorável e coerente com os níveis do rio previstos para as fases construtivas.

Uma carreta tipo prancha, que disporá inclusive de carretilha para puxar a embarcação, ficará incumbida de transladar as embarcações e ficará fazendo o trajeto entre os dois atracadouros, durante a luz do dia, através de uma via de ligação a ser aberta.

Em época de vazão baixa, quando as velocidades no canal de desvio forem compatíveis com as embarcações que circulam na região, não haverá necessidade de transposição.