

UHE BELO MONTE

4. LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES E ESTUDOS BÁSICOS EFETUADOS

4.1. CARTOGRÁFICOS

4.1.1 Estudos Anteriores

Os primeiros levantamentos cartográficos que subsidiaram os estudos exploratórios dos recursos hídricos para a geração de energia elétrica da bacia do rio Xingu, foram iniciados na fase de Inventário, em 1975.

No início da Primeira Etapa dos Estudos de Viabilidade, os elementos cartográficos disponíveis, oriundos da fase de Inventário, apesar de limitações de precisão devidamente consideradas, eram os seguintes:

- mosaicos e cartas planialtimétricas do Projeto Radam Brasil - RADAM, na escala de 1:250.000;
- fichas de descrição das referências de nível (RN) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Trecho Altamira - Belo Monte;
- fichas de descrição e itinerário de estações Doppler;
- fotografias aéreas da bacia do rio Xingu, na escala de 1:60.000, obtidas em parte pela empresa Geofoto, em agosto de 1976 e parte pela Aerosul, em agosto de 1977;
- restituição aerofotogramétrica na escala de 1:25.000, com curvas de nível equidistantes de 10m, executada pela Aerosul, de dezembro de 1976 a outubro de 1977;
- cartas topográficas elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG, nas escalas de 1:250.000 e 1:100.000;
- cartas topográficas elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, nas escalas de 1:100.000 e 1:250.000.

Foram desenvolvidos ainda naquela etapa, os levantamentos geodésicos e topográficos descritos a seguir:

- Serviços Geodésicos de Precisão, que consistiu basicamente de uma poligonal eletrônica planialtimétrica de apoio básico, com pouco mais de 51 km, controlada por azimutes astronômicos, servindo basicamente para apoiar os trabalhos executados no sítio Belo Monte e na área dos canais de adução à usina. Os serviços foram referidos planimetricamente ao vértice HV-517 e altimetricamente à RN-934G, ambos situados na Rodovia Transamazônica. O cálculo das coordenadas foi executado no Sistema UTM e sistemas locais, tendo como pontos de origem, os vértices da poligonal.
- Base Cartográfica do Reservatório, constituída de mapas aerofotogramétricos na escala de 1:25.000, executados na fase dos Estudos de Inventário, abrangendo com 80 folhas, uma área de 11.440 km². Os vôos de cobertura aerofotogramétrica, na escala de 1:60.000, foram executados pelas empresas Geofoto e Aerofoto

UHE BELO MONTE

Cruzeiro S/A. Os serviços de aerotriangulação e restituição fotogramétrica foram executados pela empresa Aerosul S/A – Fotogrametria Sul do Brasil.

- Nivelamento Geométrico Entre Altamira e o Sítio Belo Monte desenvolvido ao longo da Rodovia Transamazônica, a partir da RN-933C até a RN-934G, ambas do IBGE, numa extensão de 56 km. Todas as referências de nível encontradas no trecho foram ocupadas, possibilitando a obtenção de fechamentos parciais.
- Levantamentos Topográficos Diversos:
 - Levantamento topográfico do Sítio Belo Monte, composto por poligonais eletrônicas e seções taqueométricas estabelecidas a cada 40 m, amarradas nas referidas poligonais. Foram obtidas plantas na escala de 1:2.000, com curvas de nível equidistantes de 1 m, tendo sido utilizado um sistema topográfico local, sem prejuízo das precisões pretendidas.
 - Levantamentos topográficos dos diques de Belo Monte e Bela Vista, executados através de seções taqueométricas, seções essas apoiadas em elementos topográficos, com o objetivo de levantar os locais de fuga e de implantação dos diques. Foram desenvolvidos ainda, estudos para implantação de estrada de acesso ao sítio Bela Vista. Foram elaboradas plantas na escala de 1:5000, com curvas de nível equidistantes de 2 m. A articulação das folhas referentes a esses serviços podem ser visualizados nas ilustrações 26 e 30.
 - Levantamento topográfico para estudos dos Canais de Adução, constituído de uma poligonal com aproximadamente 22 km de extensão, desenvolvida pelos vales a oeste da estrada de acesso ao sítio Bela Vista. Complementando o levantamento, foram executadas seções transversais, em um total de aproximadamente 25 km. As poligonais e seções transversais foram executadas por processo taqueométrico e apoiadas nos vértices K2, K8 e K12 da poligonal de apoio básico. O total de linhas levantadas foi de aproximadamente 51 km.
 - Apoio topográfico à Geologia e à Hidrologia, em que as amarrações para os levantamentos geológicos consistiram em poligonais e seções taqueométricas, apoiadas nas poligonais eletrônicas.
 - Levantamentos taqueométricos para escolha do local de implantação da vila residencial, constituídos de poligonais e seções topográficas, linhas exploratórias, etc, totalizando cerca de 35 km no entorno da cidade de Altamira. Esses serviços foram apoiados na poligonal básica.
 - Apoio à sísmica subaquática e batimetria, nos Sítios Belo Monte e Bela Vista, composta de duas poligonais. Foram implantadas estações nas margens esquerda e direita do rio Xingu. Foram obtidas plantas na escala de 1:2.000, com curvas de nível equidistantes de 1 m. Foi utilizado um sistema topográfico local, sem prejuízo das precisões pretendidas.
 - Apoio topográfico ao Primeiro Divisor nos Canais de Adução, constituído de uma poligonal eletrônica, apoiada na poligonal geodésica, que se estendeu até a área de localização do primeiro divisor dos Canais de Adução. Os trabalhos foram complementados por linhas de nivelamento taqueométrico, executadas ao longo do divisor dos canais de adução. Essas linhas serviram de base para

UHE BELO MONTE

o levantamento de seções transversais, nos trechos onde foram identificadas as selas topográficas.

Os Estudos Cartográficos, executados na Segunda Etapa dos Estudos de Viabilidade da UHE Belo Monte, abrangeram, com maior destaque, os seguintes itens:

- Levantamento aerofotogramétrico da cidade de Altamira;
- Base cartográfica dos Canais de Derivação;
- Estabelecimento de pontos de apoio planimétrico;
- Estabelecimento de pontos de apoio altimétrico;
- Transporte de coordenadas planialtimétricas para a margem direita do rio Xingu;
- Levantamentos topobatimétricos na área do reservatório, subsidiando a elaboração de dados cartográficos para os Estudos de Viabilidade da UHE Belo Monte. Esses levantamentos contemplaram, entre outros: a identificação de possíveis pontos de fuga, dimensionamento de diques, investigações de possíveis interferências do reservatório, áreas de estudos das alternativas dos eixos dos Vertedouros Principal e Complementar, barramentos, traçado dos Canais de Derivação, controles hidráulicos nos Canais de Adução e apoio às equipes de geologia e hidrologia.
- Restituição estereofotogramétrica da área do Sítio Pimental, na escala 1:2.000, vôo 1:8000, executada pela Topocart;

Como complementação aos Estudos de Viabilidade, foram encaminhados à ANEEL dados relativos a detalhamentos formulados para avaliações do EIA/RIMA na região dos canais de derivação, que compuseram a restituição em escala 1:10.000, representada por curvas de nível com espaçamento de 5 metros.

Todos os levantamentos executados nos estudos anteriores foram amarrados à rede básica do IBGE, calculados no sistema de Projeção UTM – Universal Transversa de Mercator e referidos ao sistema de referência: South American Datum - SAD-69 cujo Datum planimétrico é o Chuá –MG e Datum Vertical é o marégrafo de Imituba - SC.

Os produtos cartográficos obtidos, as metodologias empregadas, bem como as análises e críticas dos resultados alcançados dos levantamentos acima relacionados, são parte integrante dos Estudos Cartográficos – Apêndice 1 – Relatório Final dos Estudos de Viabilidade.

4.1.2 Considerações Gerais

A Base Cartográfica para os Estudos Básicos da UHE Belo Monte foi gerada, por meio de uma compilação de várias fontes de dados cartográficos georeferenciados: levantamentos topográficos, batimétricos e aerofotogramétricos, formando-se assim um mosaico cartográfico heterogêneo, porém, com um nível de precisão e integridade que atende às necessidades do Projeto em questão. Estas fontes de dados são provenientes de estudos anteriores de Inventário e Viabilidade e são partes integrantes dos Estudos Cartográficos – Apêndice 1 – Relatório Final dos Estudos de Viabilidade, como já mencionado no item 2.3.1 deste relatório técnico.

UHE BELO MONTE

Apesar da Base Cartográfica ter sido elaborada pela junção de diferentes métodos de levantamentos, tais como restituição estereofotogramétrica, levantamentos topográficos e batimétricos, com escalas de representações e precisões relativas variadas, o mesmo se encontra referenciado ao sistema de Referência SAD 69 – South American Datum e representada no Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator).

Além do material cartográfico já descrito no item 2.3.1, a Base Cartográfica elaborada para os estudos atuais, também recebeu a restituição aerofotogramétrica na escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros entre as curvas de nível, da área do reservatório da UHE Belo monte, realizada pela empresa Topocart realizada entre 2002 e 2004) e obtida a partir de fotografias aéreas provenientes da cobertura aerofotogramétrica na escala 1:30.000.

4.1.3 Apoio Básico

O esquema referente ao Apoio Básico existente na região em estudo, pode ser visualizado no desenho de número BEL-B-GR-DE-GER-110-0020 - Geral – Apoio Cartográfico Básico – Planta e também foi realizado para os Estudos de Viabilidade.

4.1.4 Elaboração da Base Cartográfica

A seguir, são apresentados e numerados, conforme constam no desenho BEL-B-GR-DE-GER-110-0021 - Geral - Base Topográfica - Planta e nos 14 desenhos de detalhes das diversas áreas estudadas, as fontes de onde foram compilados os levantamentos cartográficos que geraram o referido desenho, bem como o número dos desenhos, estão descritos abaixo:

Sítio Pimental

A Base Cartográfica da região do Sítio Pimental, está representada no Desenho de número BEL-B-PM-DE-GER-110-0023 – Sítio Pimental – Base Cartográfica - Planta e foi elaborada através da junção dos levantamentos abaixo relacionados:

- Restituição estereofotogramétrica da área do Sítio Pimental, na escala 1:2.000, vôo 1:8000, executada pela Topocart;
- Levantamento topográfico executado pela empresa Tramontella, levantamento topobatimétrico executado pela empresa Master e levantamento batimétrico executado pela empresa Geowork;
- Restituição estereofotogramétrica na escala 1:25.000, com curvas de nível de 5 em 5 metros, executada pela Aerosul S.A. em 1976/1977.

Sítio Belo Monte

A Base Cartográfica da região do Sítio Belo Monte, está representada no Desenho de número BEL-B-BM-DE-GER-110-0022 – Sítio Belo Monte – Base Cartográfica - Planta e foi elaborada através da junção dos levantamentos abaixo relacionados:

- Restituição estereofotogramétrica executada pela Topocart na escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros entre as curvas de nível, da área do reservatório do UHE Belo Monte, obtida a partir de fotografias aéreas do vôo na escala 1:30.000 (vôo de 2002 e complementado em 2004).

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Levantamento topográfico/batimétrico do Sítio Belo Monte na escala 1:2.000 com curvas de nível de 1 em 1 metro, realizados pela CNEC/ELN em 1986. A vetorização das curvas foi feita por digitalização semi-automática programa AutoCAD 3D Civil a partir de imagens (mapas) escaneados (JPEG) e georeferenciados, fornecidos em meio analógico pela Eletronorte;
- Levantamento topográfico na escala 1:2.000, com equidistância de curvas de nível de 1 metro, executada pelo CNEC / ELN -1986;
- Batimetria obtida a partir de Levantamento Topográfico na escala 1:2.000, realizados na Viabilidade, executada pelo CNEC/ELN -1986.

Canais e Reservatório Intermediário

A Base Cartográfica da região dos Canais e Reservatório Intermediário está representada nos Desenhos de números: BEL-B-CA-DE-GER-110-0041 Canal de Transposição Paquiçamba – Ticaruca – Base Cartográfica - Planta, BEL-B-CA-DE-GER-110-0044 Canal de Transposição Cobal – Santo Antonio – Base Cartográfica – Planta e foi elaborada através da junção dos levantamentos abaixo relacionados:

- Restituição estereofotogramétrica executada pela Topocart na escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros entre curvas de nível, da área do reservatório do UHE Belo Monte, obtida a partir de fotografias aéreas do vôo na escala 1:30.000 (vôo de 2002 e complementado em 2004);
- Restituição estereofotogramétrica da área do Sítio Pimental, na escala 1:2.000, vôo 1:8000, executada pela Topocart;
- Restituição estereofotogramétrica na escala 1:25.000 executada pela Aerosul S.A. em 1976/1977, ajustada pela empresa Oficina do Mapa Ltda em função do levantamento executado pela empresa Master Planejamentos Ltda.

Levantamentos executados pela empresa Máster Planejamentos Ltda.

- Levantamento topográfico na escala 1:2.000, com equidistância de curvas de nível de 1 metro, executada pelo CNEC/ELN - 1986;
- Levantamento topográfico/batimétrico do Sítio Belo Monte na escala 1:2.000 com curvas de nível de 1 em 1 metro, realizados pela CNEC/ELN em 1986. A vetorização das curvas foi feita por digitalização semi-automática programa AutoCAD 3D Civil a partir de imagens (mapas) escaneados (JPEG) e georeferenciados, fornecidos em meio analógico pela Eletronorte;
- Levantamento topográfico dos sítios dos diques na escala 1:5.000, com curvas de nível de 1 em 1 metro, realizados pela CNEC/ELN na Viabilidade de 1986. A vetorização das curvas foi feita por digitalização em tela pelo programa AutoCAD a partir de imagens (mapas) escaneados (JPEG) e georeferenciados, fornecidos em meio analógico pela Eletronorte;
- Levantamento topográfico executado pela empresa Tramontella, levantamento topobatimétrico executado pela empresa Master e levantamento batimétrico executado pela empresa Geowork;
- Base cartográfica da área dos diques 26 ao 29 obtida a partir da restituição estereofotogramétrica na escala 1:25.000, curvas de nível de 5 em 5 metro,

UHE BELO MONTE

executada pela Aerosul em 1976/1977, e levantamento topobatimétrico executado pela empresa Master;

- Levantamentos Topográficos, executados pela ELN e pela empresa Máster;

O Canal de Derivação, por sua vez, está representado no desenho de número: BEL-B-CA-DE-GER-110-0050 - Canal de Derivação – Base Cartográfica - Planta e as Seções Topobatimétricas realizadas na região do referido canal, representadas nos desenhos de números: BEL-B-CA-DE-GER-110-0051 - Canal de Derivação – Locação das Seções Topobatimétricas - Planta e BEL-B-CA-DE-GER-110-0052 – Perfis das Seções Topobatimétricas e BEL-B-CA-DE-GER-110-0053 – Perfis das Seções Topobatimétricas.

Diques

A Base Cartográfica da região dos Diques está representada nos Desenhos de números BEL-B-DQ-DE-GER-110-0030 – Diques –Base Cartográfica – Planta e BEL-B-DQ-DE-GER-110-0031 – Diques –Base Cartográfica – Planta e foi elaborada através da junção dos levantamentos abaixo relacionados:

- Restituição estereofotogramétrica executada pela Topocart na escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros entre as curvas de nível, da área do reservatório do UHE Belo Monte, obtida a partir de fotografias aéreas do vôo na escala 1:30.000 (vôo de 2002 e complementado em 2004);

Levantamentos executados pela Master Planejamento Ltda.

- Levantamento topográfico na escala 1:2.000, com equidistância de curvas de nível de 1 metro, executada pelo CNEC e pela empresa Máster Planejamentos Ltda;
- Restituição estereofotogramétrica na escala 1:25.000 executada pela Aerosul S.A. em 1976/1977, ajustada em função de pontos topográficos determinados pela empresa Master Planejamentos Ltda;
- Levantamento topográfico/batimétrico do Sítio Belo Monte na escala 1:2.000 com curvas de nível de 1 em 1 metro, realizados pela CNEC/ELN em 1986. A vetorização das curvas foi feita por digitalização semi-automática programa AutoCAD 3D Civil a partir de imagens (mapas) escaneados (JPEG) e georeferenciados, fornecidos em meio analógico pela Eletronorte;
- Base cartográfica da área dos diques 26 ao 29 obtida a partir da restituição estereofotogramétrica na escala 1:25.000, executada pela Aerosul em 1976/1977, ajustada por levantamento executado pela empresa Master;
- Levantamento topográfico dos sítios dos diques na escala 1:5.000, com curvas de nível com equidistância de 1 metro, realizados pela CNEC/ELN na Viabilidade de 1986. A vetorização das curvas foi feita por digitalização em tela pelo programa AutoCAD a partir de imagens (mapas) escaneados (JPEG) e georeferenciados, fornecidos em meio analógico pela Eletronorte;
- Restituição estereofotogramétrica na escala 1:25.000 executada pela Aerosul S.A. em 1976/1977, ajustada pela empresa Oficina do Mapa Ltda em função do levantamento executado pela empresa Master Planejamentos Ltda(região dos canais de derivação).

UHE BELO MONTE

- Batimetria obtida a partir de levantamento topográfico na escala 1:2.000 realizada na Viabilidade, executada pelo CNEC/ELN - 1986.
- Levantamentos Topográficos, executados pela ELN e pela empresa Máster;

Reservatório

A Base Cartográfica da região do Reservatório está representada no Desenho BEL-B-GR-DE-GER-000-0003 – Planta Geral do Reservatório – Planta e foi elaborada através da junção dos levantamentos abaixo relacionados:

- Restituição estereofotogramétrica da área do Sítio Pimental, na escala 1:2.000, vôo 1:8000, executada pela Topocart;
- Levantamento topográfico executado pela empresa Tramontella, levantamento topobatimétrico executado pela empresa Master e levantamento batimétrico executado pela empresa Geowork;
- Restituição estereofotogramétrica executada pela Topocart na escala 1:10.000, com curvas de nível com equidistância de 5 metros, da área do reservatório do UHE Belo Monte, obtida a partir de fotografias aéreas do sobrevôo na escala 1:30.000 (vôo de 2002 e complementado em 2004).

4.2. HIDROMETEOROLÓGICOS

4.2.1 Caracterização Geral da Bacia do Rio Xingu

A bacia hidrográfica do rio Xingu situa-se nas regiões norte e centro-oeste do país, com áreas nos estados do Mato Grosso e Pará. Limita-se ao Sul e a Leste com a bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a Oeste com a bacia hidrográfica do rio Tapajós e a Sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Paraguai.

Parte integrante da bacia hidrográfica do rio Amazonas, a bacia do rio Xingu caracteriza-se como uma das mais expressivas, em termos de área, da Amazônia brasileira.

Para uma maior praticidade ao estudo, dividiu-se a bacia hidrográfica do rio Xingu em três grandes compartimentos que são:

- Baixo Xingu: constituído por uma zona de ria a jusante do sítio Belo Monte;
- Médio Xingu: área constituída pela Volta Grande estendendo-se a montante da cachoeira de Von Martius; e
- Alto Xingu: formado pelo conjunto dos rios formadores do rio Xingu e as cabeceiras extremas.

As principais vias de acesso por terra à área da bacia hidrográfica do rio Xingu são as rodovias federais BR 163, BR 230 (Transamazônica) e BR 158, e as rodovias estaduais PA 279, PA 235 e PA 287. Tais rodovias permitem o acesso às principais cidades da região, tais como: Senador José Porfírio, Vitória do Xingu, Altamira e São Félix do Xingu. As cidades de Altamira e São Félix do Xingu dispõem de aeroportos e são servidas por linhas aéreas regionais.

UHE BELO MONTE

Do total da área que constitui a bacia hidrográfica do rio Xingu, cerca de 18% é composto por Unidades de Conservação (UC's) e quase 10 % encontra-se na categoria de proteção integral, sendo o restante de uso sustentável. Já as Terras Indígenas (TI's) ocupam aproximadamente 39 % do total da área da bacia, entre elas o Parque Nacional do Xingu.

Na região denominada Alto Xingu, no estado do Mato Grosso, verificam-se ações antrópicas sobre o ambiente, consubstanciadas desde os anos 70 por meio de diferentes e crescentes frentes de ocupação, gerando áreas desmatadas.

Como pode ser observado na Figura 4.2 as frentes de ocupação caminham, a grosso modo, de fora da bacia hidrográfica para o seu interior. Ainda que no Médio Xingu a preservação ambiental mostre-se mais atuante, devido ao conjunto formado pelas Unidades de Conservação e Terras Indígenas, verifica-se que essas áreas protegidas também já sofrem pressões vindas de diferentes frentes, em especial àquelas que se dirigem à UC Terra do Meio, localizada entre os rios Tapajós e Xingu.

Em referência à região denominada Baixo Xingu, esta se apresenta sujeita aos efeitos dos movimentos de ocupação e desmatamento relacionados à Rodovia Transamazônica.

UHE BELO MONTE

Figura 4.1 - Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu

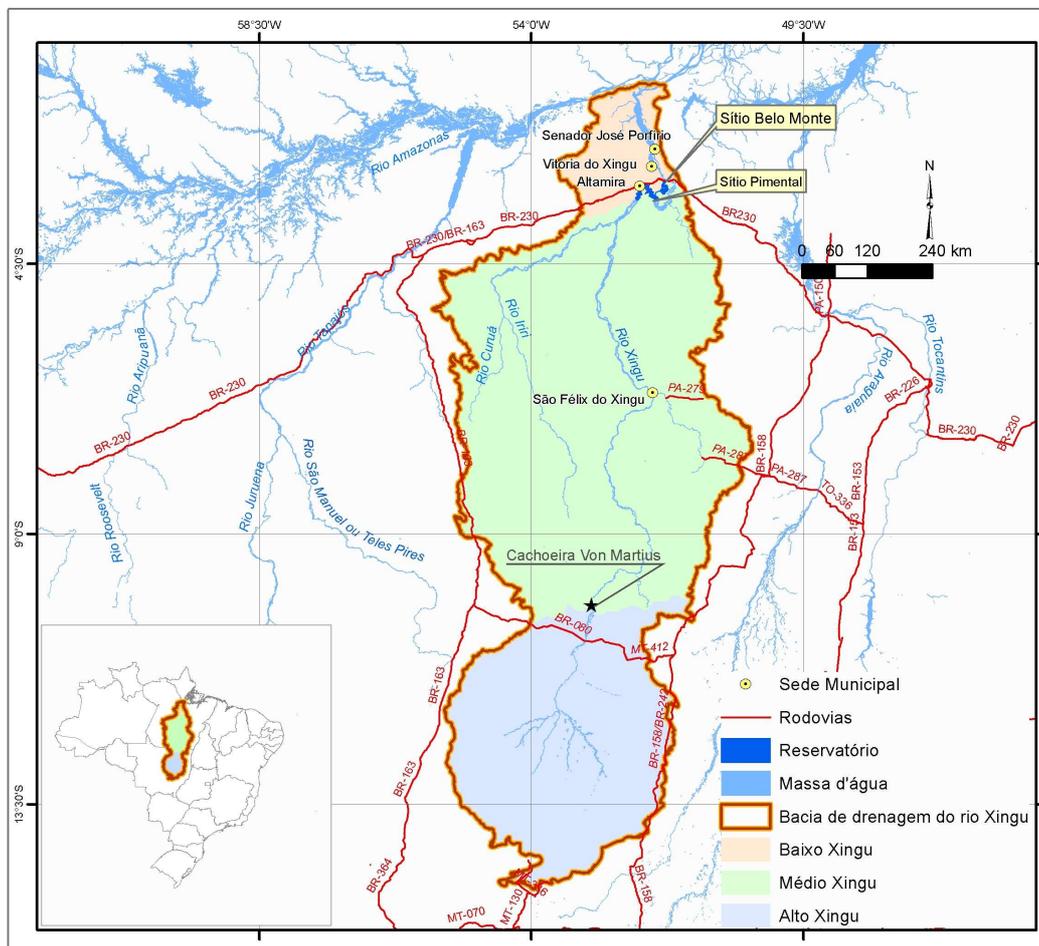
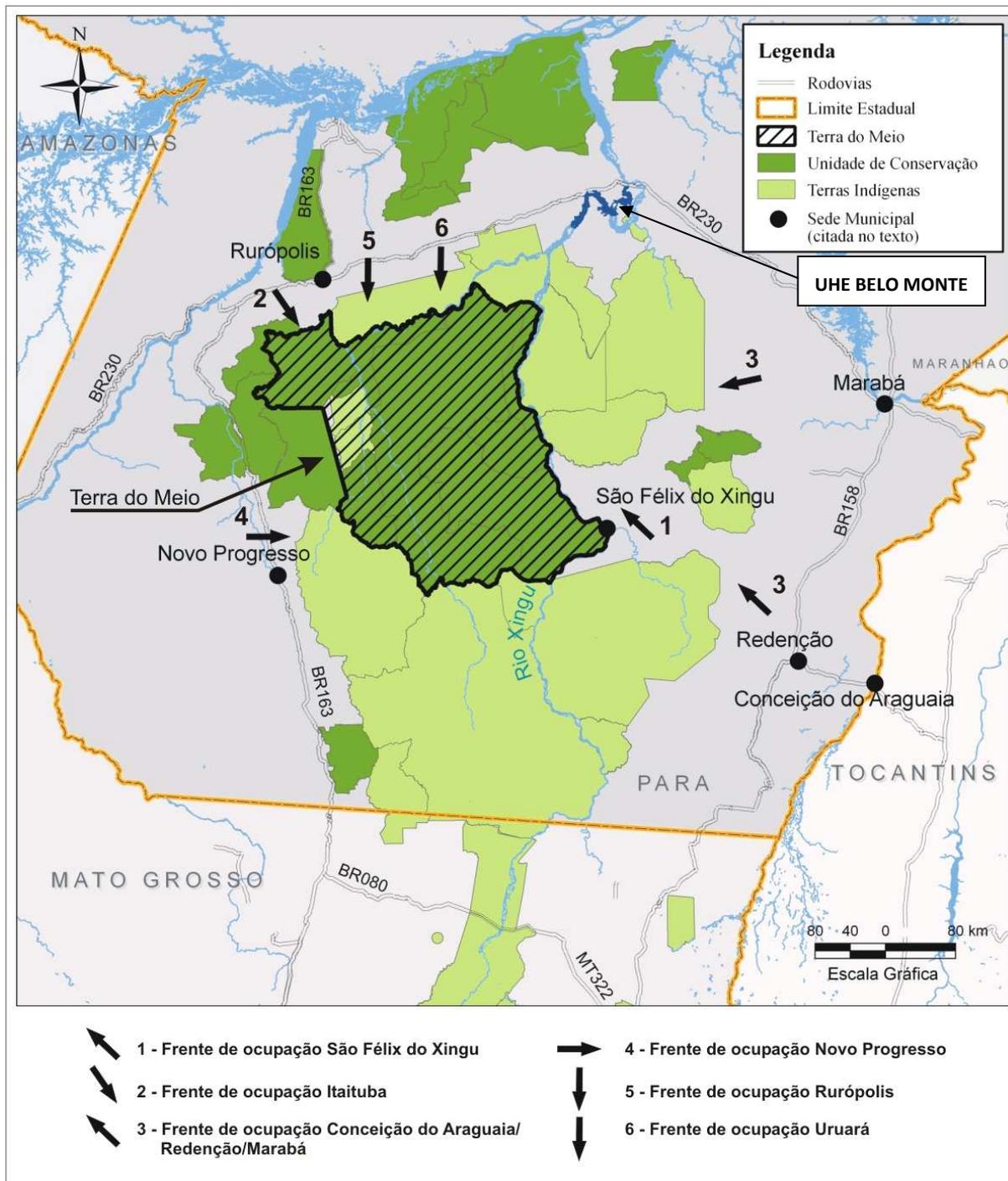


Figura 4.2 - Frentes de Ocupação no Entorno da Terra do Meio



Fonte: RIMA AHE Belo Monte (Leme, 2009)

UHE BELO MONTE

4.2.2 Caracterização Fisiográfica da Bacia

A bacia do rio Xingu está inserida na região hidrográfica 1- Amazônica (CNRH – Res 32/2003), na sub-bacia 18, segundo a codificação do extinto DNAEE, ainda amplamente utilizada pela ANA. Está compreendida entre a foz do rio Xingu, exclusive, e a foz do rio Amazonas. Possui como principal formador o rio Culuene, cujas nascentes situam-se nos contrafortes da Serra Azul, na elevação de 800 m, aproximadamente, no estado do Mato Grosso. O rio Culuene recebe as águas do rio Sete de Setembro, pela margem direita, onde passa a se denominar rio Xingu desenvolvendo-se no sentido Sul-Norte até sua foz no rio Amazonas (BEL-B-GR-DE-GER-111-0002).

Ao longo de seus 1.815 km de extensão, compreendendo as latitudes 1°00' e 15°00' S e longitudes 50°00' e 56°00' W, o rio Xingu possui o ito tributários principais, de montante para jusante, a saber: pela margem direita, Suiá-Miçu, Liberdade, Fresco e Bacajá; pela margem esquerda, Ronuro, Curuá, Maniçauá-Miçu e Iriri.

A bacia hidrográfica do Xingu apresenta uma forma bastante alongada, com coeficiente de forma (Kf) de 0,150, baixa densidade de drenagem (Dd) - 280 m/km² - e coeficiente de compacidade (Kc) de 1,94, indicando maior irregularidade na forma da bacia. Dessa forma, as cheias da área norte e da área sul têm comportamentos distintos, destacando-se a influência do abatimento das cheias devido ao efeito de acumulação das áreas permeáveis das cabeceiras.

A região denominada Alto Xingu, à exceção das cabeceiras, caracteriza-se por apresentar baixas declividades, percorrendo extensa planície, com trajetos sinuosos e formando lagos e braços mortos.

A região do Médio Xingu apresenta declividade média de 0,15 m/km, a qual se eleva no trecho denominado Volta Grande do Xingu, com valor de 0,60 m/km. No fim desse trecho o rio se alarga consideravelmente, apresentando baixa declividade até a sua foz, região do Baixo Xingu, sofrendo, inclusive, os efeitos do remanso provocados pelo rio Amazonas.

Do ponto de vista geomorfológico, o corpo central da bacia hidrográfica do rio Xingu, compreendendo o Médio Xingu, estende-se por terrenos antigos, pré-cambrianos, pertencentes ao embasamento cristalino, que provocam o rápido escoamento das precipitações com pouco armazenamento. Na região do Alto Xingu, abrangendo cerca de 1/3 da área da bacia, predominam os terrenos sedimentares e as baixas declividades. Já o Baixo Xingu apresenta um trecho de vale escavado em rochas sedimentares, com perfis transversais bem marcados.

A vegetação da bacia hidrografia do rio Xingu caracteriza-se por um contínuo de formações naturais, principalmente florestais, em sua maior parte a floresta equatorial apresentando dois subtipos definidos: as matas da planície de inundação, denominada floresta densa, e as matas de terra firme, denominada floresta aberta.

A distribuição florestal das regiões da bacia hidrográfica do rio Xingu apresenta-se bem definidas, como apresentado a seguir:

UHE BELO MONTE

- Baixo Xingu: do rio Bacajá até a Serra dos Carajás, predomina a floresta densa, sendo que parte de sua área apresenta-se ocupada pela floresta aberta;
- Médio Xingu: densamente ocupado pela floresta aberta; e
- Alto Xingu: tem como vegetação predominante o cerrado, a qual também se apresenta na porção sudeste da bacia.

4.2.3 Caracterização Climatológica da Bacia

A classificação climática expressa as condições médias da atmosfera terrestre. Estas condições, apesar de apresentar variações diárias, mensais e sazonais, são representadas por faixas climáticas que se mantêm razoavelmente uniforme, dentro de um padrão médio de oscilação.

Utilizando a classificação de Köppen, a qual está embasada fundamentalmente na temperatura, na precipitação e na distribuição de valores de temperatura e precipitação durante as estações do ano, foram identificadas para a área da bacia hidrográfica do rio Xingu os sub-climas Am3, Am4 no Médio e Baixo Xingu, e Aw3 e Aw4 no alto curso. Essa classificação indica clima tropical úmido de monção para a região do baixo curso, incluindo a área do empreendimento, e clima tropical úmido com temporada seca no inverno para o alto curso.

Para a análise dos elementos climatológicos, para a área em estudo, utilizou-se como fonte de dados a publicação Normais Climatológicas (1961 – 1990) do Departamento Nacional de Meteorologia, de 1992.

A Tabela 4.1 apresenta os dados característicos das estações climatológicas utilizadas para a caracterização da região, sendo a localização em função da área de drenagem do rio Xingu apresentada na Figura 4.3.

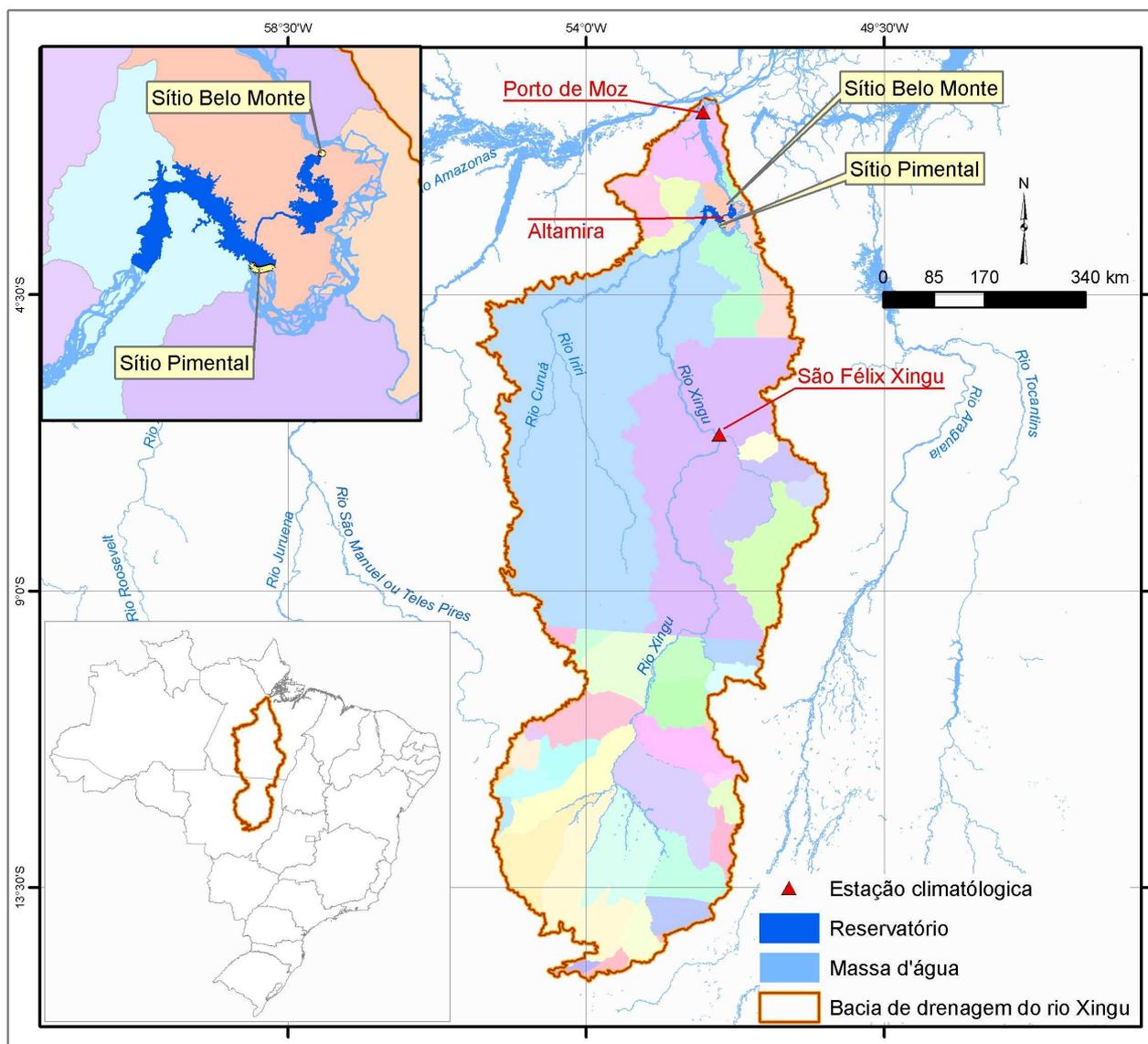
Tabela 4.1 - Estações Climatológicas Utilizadas

Código	Nome	Latitude	Longitude	Período de observação
82353	Altamira	3°12'	52°12'	1967 - 1990
82184	Porto de Moz	1°44'	52°14'	1966 - 1990
82668	São Félix do Xingu	6°38'	51°59'	1973 - 1990

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

UHE BELO MONTE

Figura 4.3 - Localização das Estações Climatológicas Utilizadas



Temperatura

No médio e baixo curso do rio Xingu, a temperatura apresenta uma distribuição espacial regular com médias mensais variando entre 25,4 °C a 27 °C, como apresentado na Tabela 4.2 e na Figura 4.4.

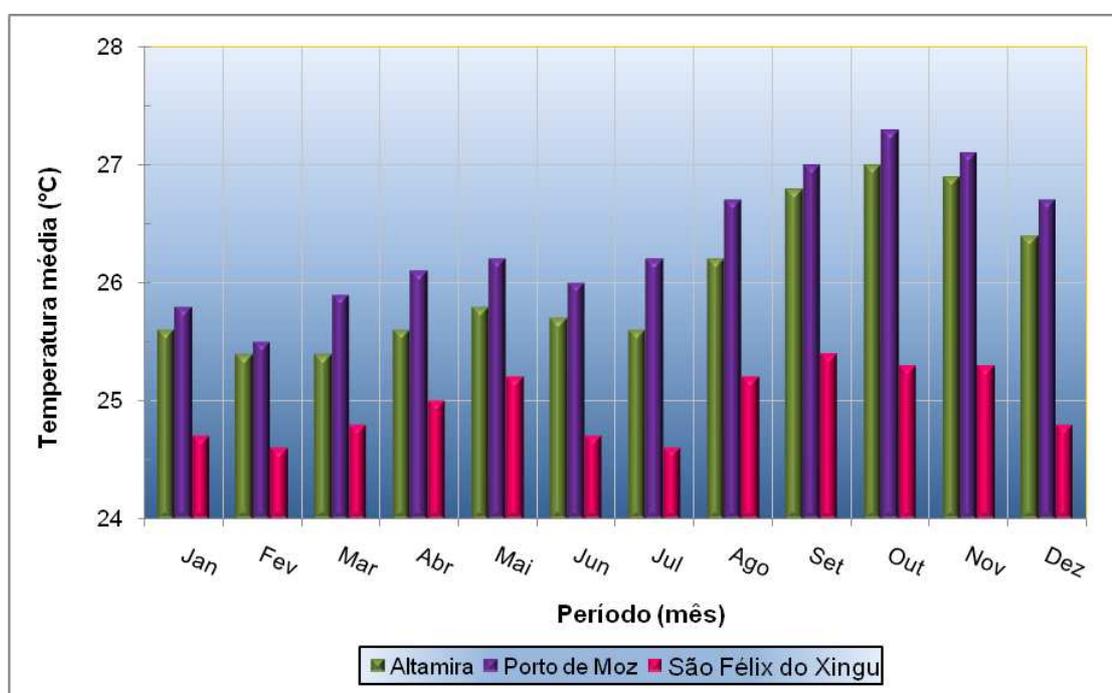
UHE BELO MONTE

Tabela 4.2 - Temperaturas Médias Mensais (°C)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	25,6	25,4	25,4	25,6	25,8	25,7	25,6	26,2	26,8	27,0	26,9	26,4
Porto de Moz	25,8	25,5	25,9	26,1	26,2	26,0	26,2	26,7	27,0	27,3	27,1	26,7
São Félix do Xingu	24,7	24,6	24,8	25,0	25,2	24,7	24,6	25,2	25,4	25,3	25,3	24,8
Média	25,4	25,2	25,4	25,6	25,7	25,5	25,5	26,0	26,4	26,5	26,4	26,0

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.4 - Temperaturas Médias Mensais (°C)



Em relação às temperaturas máximas, de acordo com o apresentado na Tabela 4.3, as maiores temperaturas observadas ocorrem no período de agosto a dezembro. Porém, essas não são excessivas devido à forte umidade e a intensa nebulosidade, sendo que, a área onde são registradas as maiores temperaturas encontra-se ao leste da bacia hidrográfica do rio Xingu, podendo as máximas absolutas chegar à marca dos 39 °C, como pode ser observado na Figura 4.5.

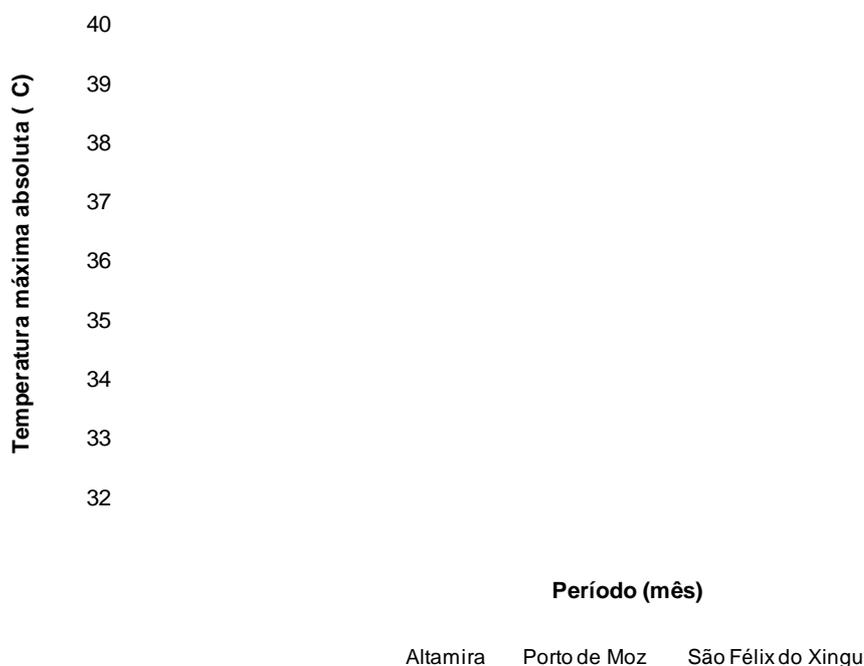
UHE BELO MONTE

Tabela 4.3 - Temperaturas Máximas Mensais (°C)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	30,2	29,9	29,9	30,1	30,5	30,9	31,2	32,0	32,4	32,4	31,8	31,2
Porto de Moz	31,0	30,5	30,7	30,8	30,9	31,2	31,6	32,5	32,8	33,2	32,8	32,2
São Félix do Xingu	30,6	30,6	30,8	31,2	31,8	32,1	32,8	33,4	33,0	32,2	32,0	31,0
Máxima	31,0	30,6	30,8	31,2	31,8	32,1	32,8	33,4	33,0	33,2	32,8	32,2

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.5 - Temperaturas Máximas Absolutas (°C)



Em relação aos meses mais frios (junho a setembro) a temperatura mínima não fica abaixo dos 17 °C na região da UHE Belo Monte (Tabela 4.4). Somente em casos particulares, em função da presença da massa de ar polar continental, as mínimas absolutas podem chegar aos 8,6 °C (Figura 4.6). Nota-se a ocorrência das menores temperaturas ao sul da área da bacia hidrográfica do rio Xingu, já as maiores mínimas são registradas na porção norte, em torno de 22 °C.

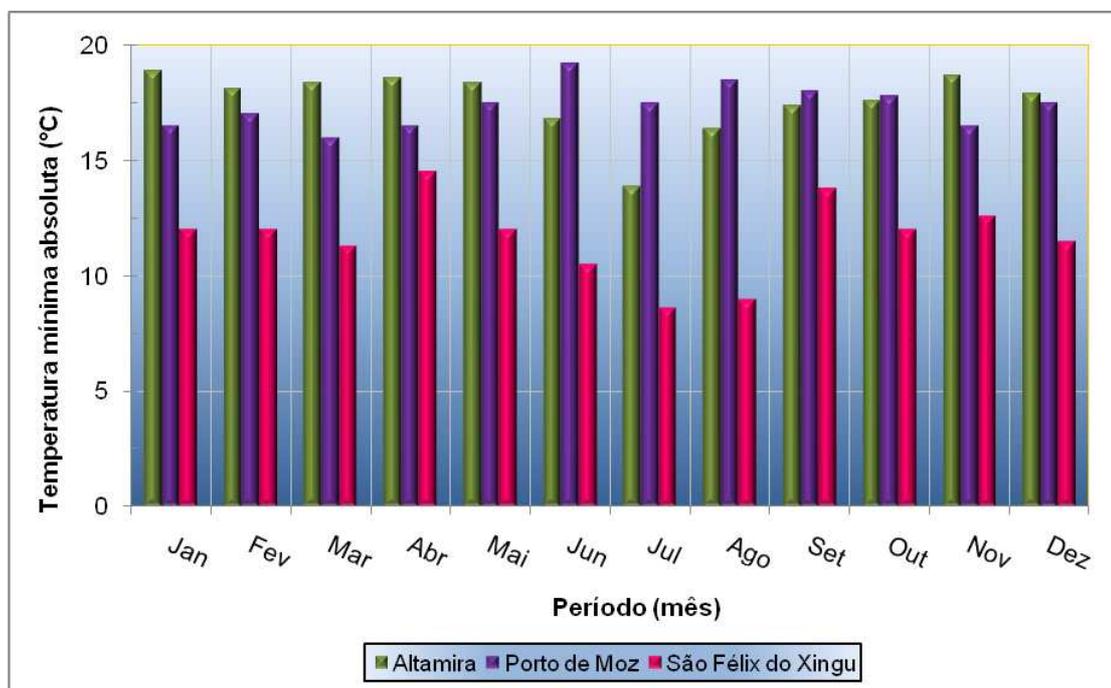
UHE BELO MONTE

Tabela 4.4 - Temperaturas Mínimas Mensais (°C)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	22,0	22,0	22,3	22,3	22,3	21,5	20,8	21,1	21,8	22,2	22,5	22,4
Porto de Moz	22,1	22,1	22,3	22,4	22,5	22,4	22,0	22,3	22,5	22,7	22,7	22,7
São Félix do Xingu	19,6	19,8	19,8	20,2	19,7	18,3	17,4	18,0	19,2	19,6	19,8	19,6
Mínima	19,6	19,8	19,8	20,2	19,7	18,3	17,4	18,0	19,2	19,6	19,8	19,6

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

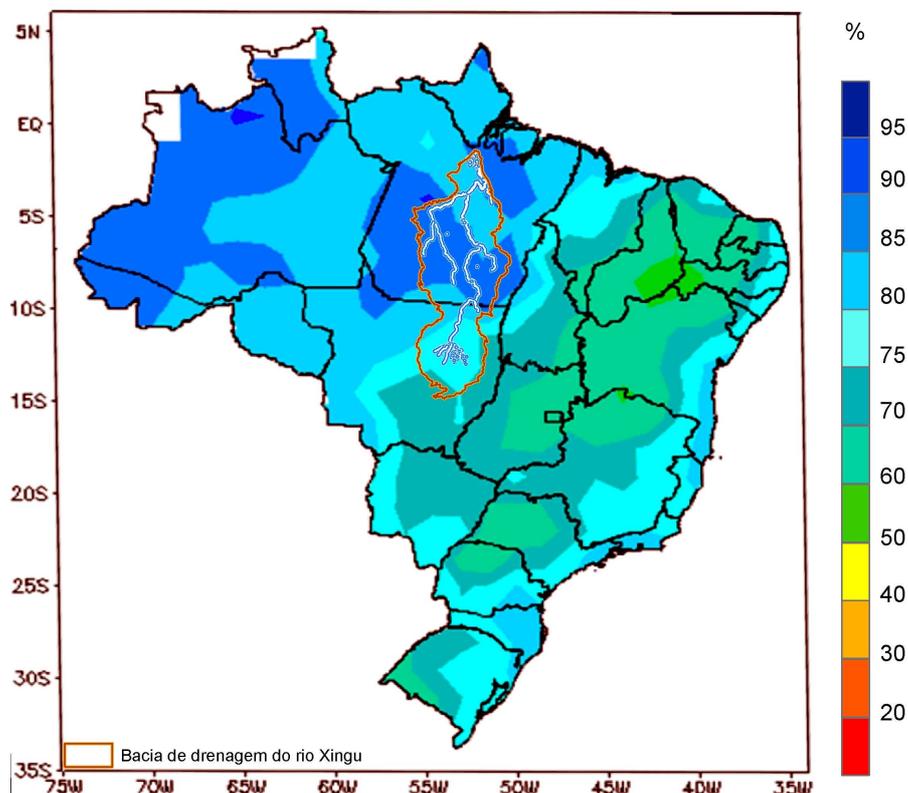
Figura 4.6 - Temperaturas Mínimas Absolutas (°C)



Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa anual para a área da bacia hidrográfica do rio Xingu, de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a partir de consulta realizada no site <http://www.inmet.gov.br>, em julho de 2010, é estável, possuindo um padrão considerado elevado durante todo o ano, variando entre 80% e 90%, como mostra a Figura 4.7.

Figura 4.7 - Mapa Brasileiro da Umidade Relativa do Ar (%)



De acordo com os dados extraídos das estações climatológicas de Altamira, Porto de Moz e São Félix do Xingu (Tabela 4.5), a umidade relativa do ar não difere das informações observadas no mapa da Figura 4.8, apresentando valores significativamente elevados, com a média de 85 %.

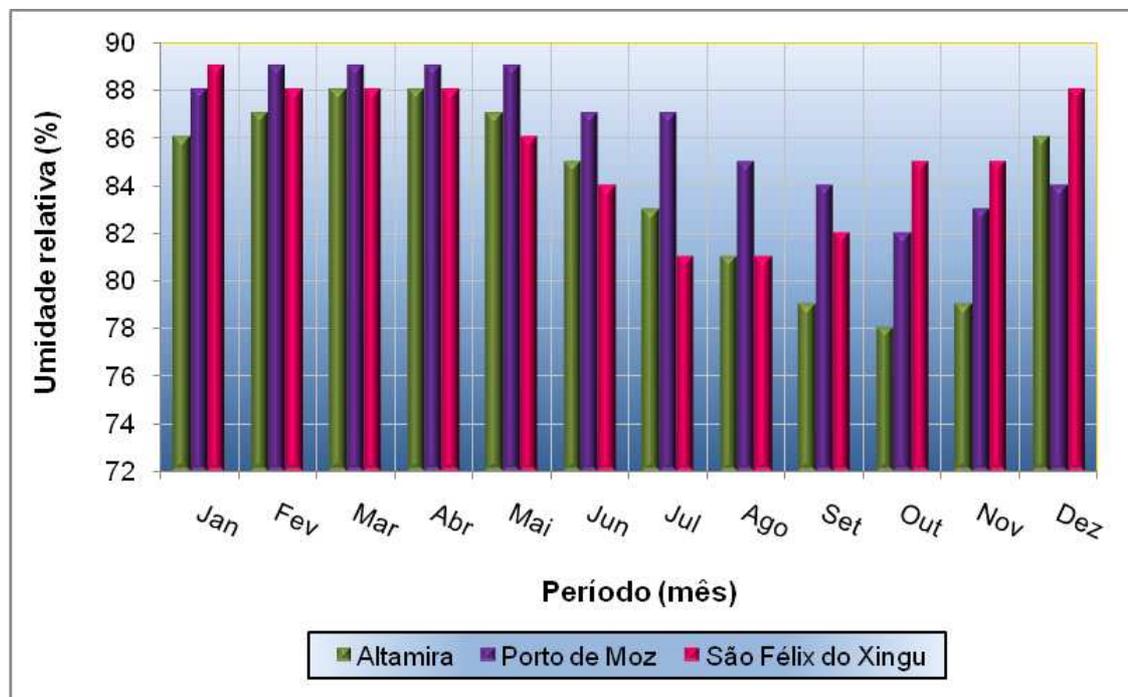
Caracterizando o trecho inferior da bacia, observa-se nos postos Altamira e Porto de Moz o crescimento da umidade relativa a partir de novembro até maio, conforme pode ser observado na Figura 4.8.

Tabela 4.5 - Umidade Relativa (%)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	86	87	88	88	87	85	83	81	79	78	79	86
Porto de Moz	88	89	89	89	89	87	87	85	84	82	83	84
São Félix do Xingu	89	88	88	88	86	84	81	81	82	85	85	88
Média	88	88	88	88	87	85	84	82	82	82	82	86

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.8 - Umidade Relativa do Ar (%)



Evaporação

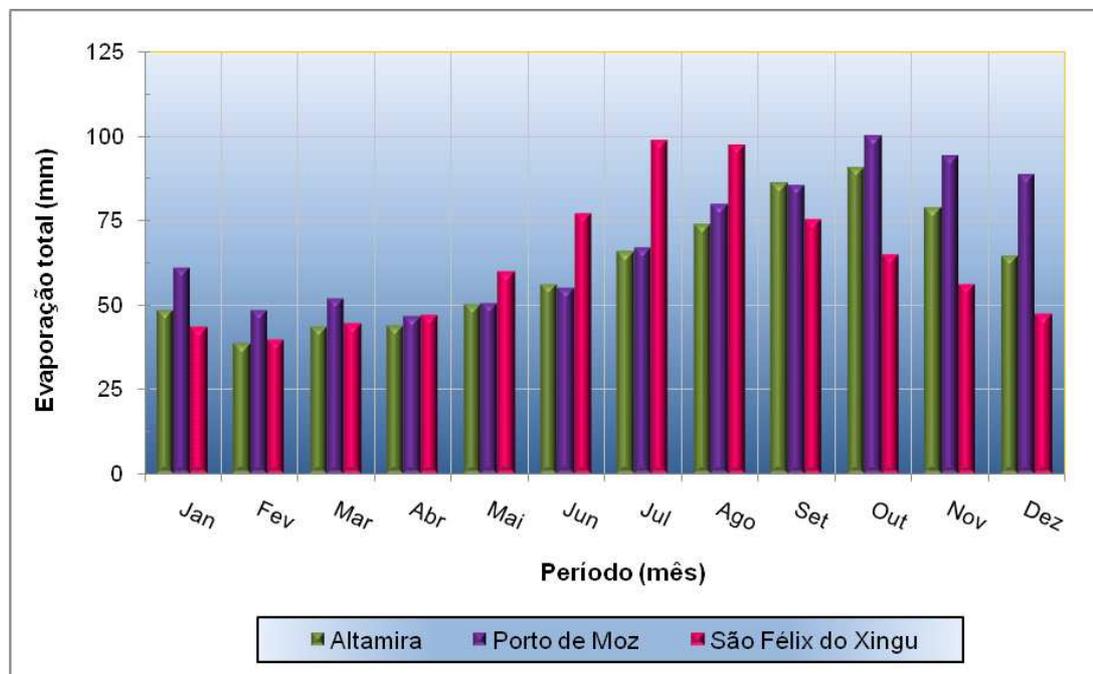
Os dados de precipitação total disponíveis nas estações climatológicas estudadas estão apresentados na Tabela 4.6 e na Figura 4.9.

Tabela 4.6 - Evaporação Total (mm)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	48,2	38,5	43,2	43,6	49,8	56,0	65,6	73,5	85,8	90,6	78,5	64,4
Porto de Moz	60,9	48,1	51,8	46,5	50,4	54,8	66,7	79,6	85,3	100	93,8	88,4
São Félix do Xingu	43,3	39,5	44,2	46,9	59,7	76,9	98,6	97,1	75,1	64,7	55,8	47,1
Média	50,8	42,0	46,4	45,7	53,3	62,6	77,0	83,4	82,1	85,1	76,0	66,6

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.9 - Evaporação Total (mm)



De acordo com os dados obtidos, verifica-se uma evaporação moderada nos trechos médio e inferior da sub-bacia 18. Os menores valores em Altamira e Porto de Moz ocorrem entre os meses de fevereiro e abril. Os maiores valores ocorrem, para a primeira estação, entre setembro e novembro, enquanto em Porto de Moz o período de maior evaporação total está entre os meses de outubro a dezembro.

Insolação Total

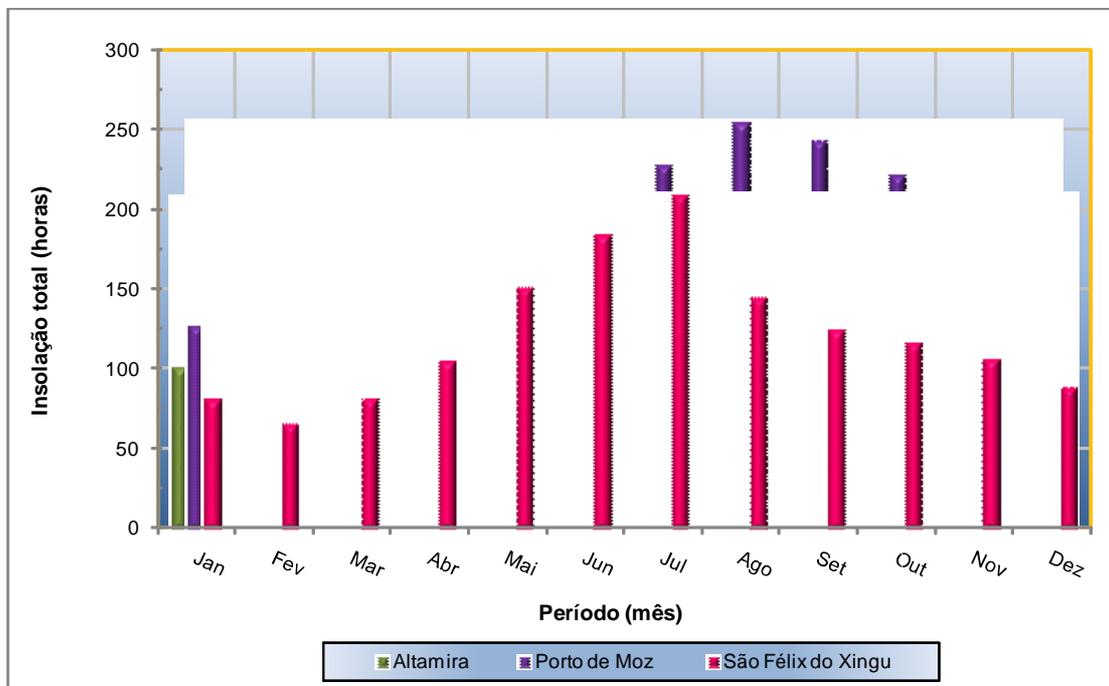
Os dados de insolação total disponíveis nas estações climatológicas estudadas estão apresentados na Tabela 4.7 e na Figura 4.10.

Tabela 4.7 - Insolação Total (horas e décimos)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	101,2	80,6	92,7	101,8	144,2	164,8	207,2	205,8	164,4	134,3	93,2	98,4
Porto de Moz	127,8	103,2	118,8	129,6	168,6	191,2	228,1	254,7	243,1	221,9	168,5	146,6
São Félix do Xingu	82,3	66,6	81,6	105,6	151,0	184,4	209,4	145,3	125,7	116,9	106,8	88,8
Média	103,8	83,5	97,7	112,3	154,6	180,1	214,9	201,9	177,7	157,7	122,8	111,3

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.10 - Insolação Total (horas)



Verifica-se aumento da insolação entre os meses de março e agosto, com variação de 92,7 e 118,8 a 205,8 e 254,7 em Altamira e Porto de Moz, respectivamente.

Nebulosidade

Nebulosidade representa os totais de cobertura do céu expressos em oitavas de cobertura. Os dados de nebulosidade disponíveis nas estações climatológicas estudadas estão apresentados na Tabela 4.8 e graficamente na Figura 4.11.

O período do ano que apresenta climatologicamente a maior cobertura de nuvens corresponde aos meses de dezembro a maio, ocasionando fortes chuvas à tarde e ao entardecer, coincidindo com o período de cheias da bacia hidrográfica do rio Xingu.

O trecho inferior da bacia apresenta índices altos durante todo o ano com índices entre 5,0 e 7,0 décimos.

UHE BELO MONTE

Tabela 4.8 - Nebulosidade (décimos)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	6,9	7,2	7,2	6,9	6,4	5,4	5,4	5,2	5,5	5,9	6,1	6,9
Porto de Moz	6,4	6,7	6,7	6,6	6,2	5,8	5,3	5,1	5,2	5,1	5,5	5,9
São Félix do Xingu	7,1	7,2	7,0	6,6	5,4	3,8	3,6	5,3	6,3	6,6	6,8	7,1
Média	6,8	7,0	7,0	6,7	6,0	5,0	4,8	5,2	5,7	5,9	6,1	6,6

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.11 - Estações Climatológicas - Nebulosidade (décimos)

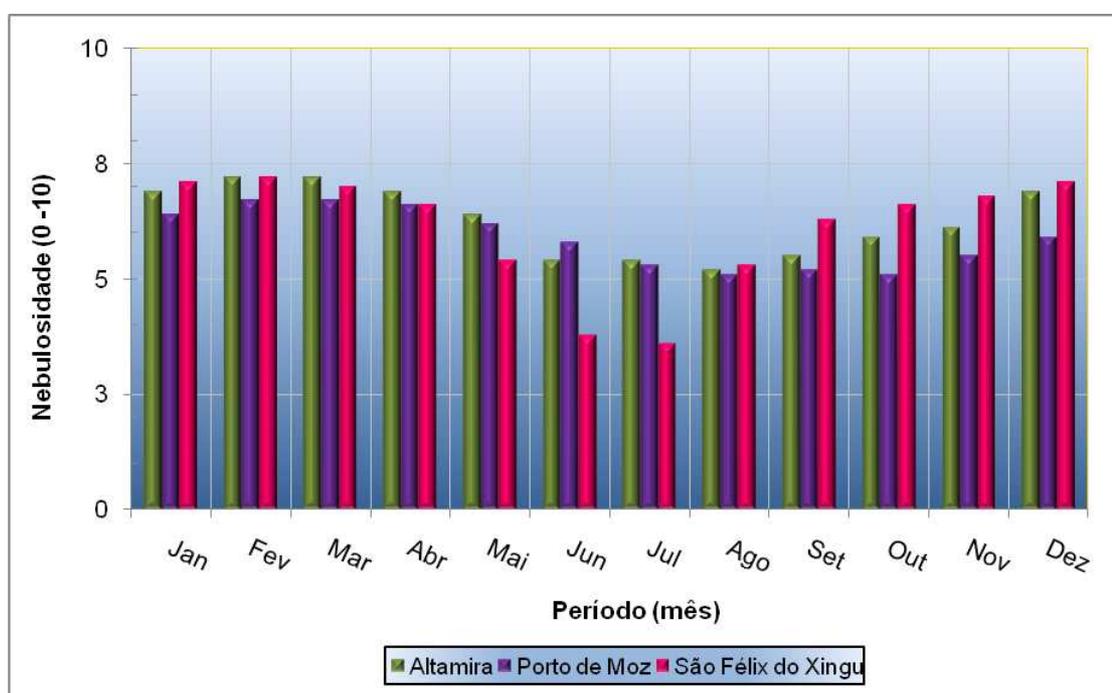
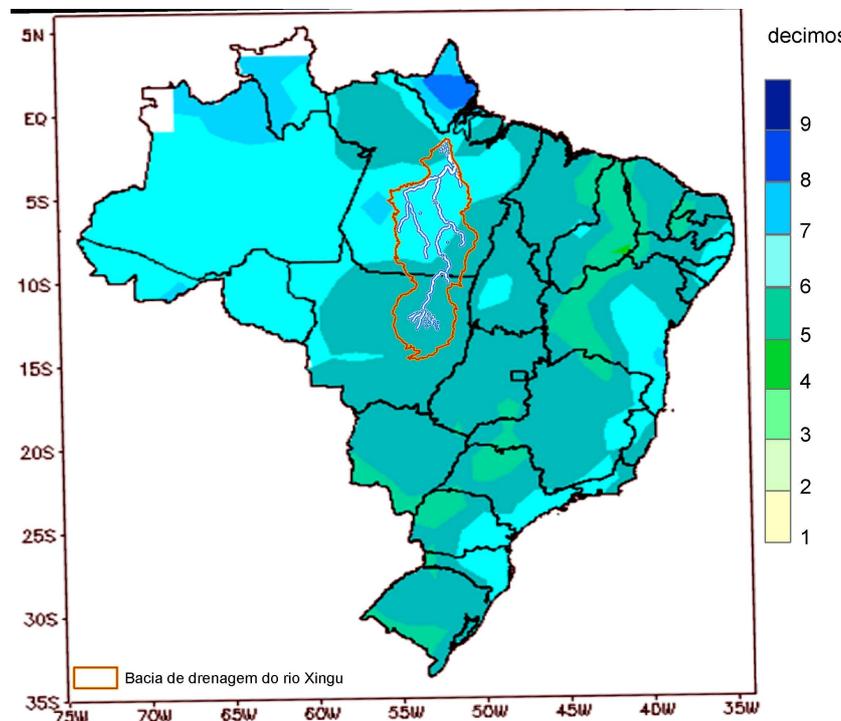


Figura 4.12 - Nebulosidade (décimos)



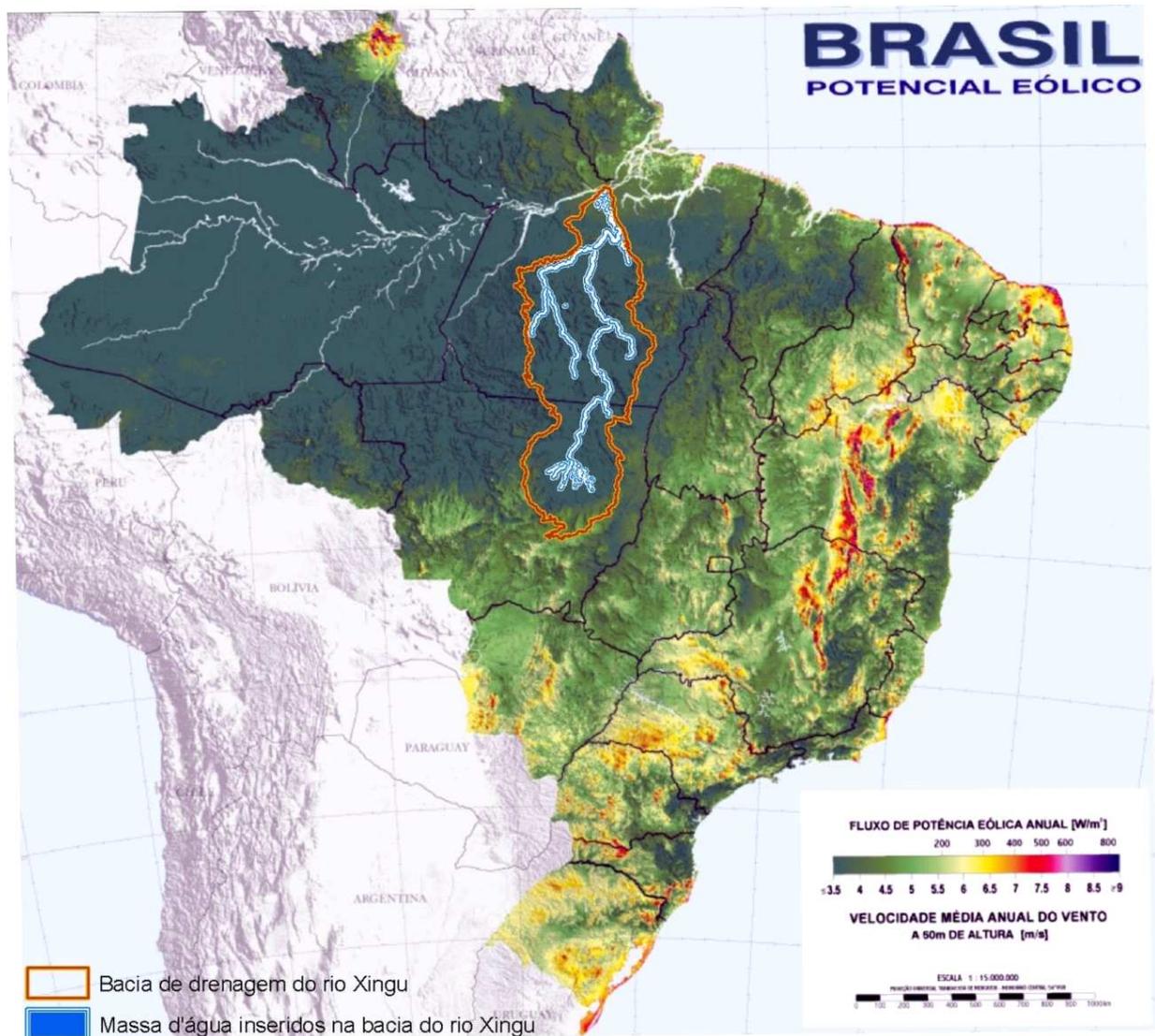
Vento

A distribuição geral dos ventos no Brasil é controlada pelos aspectos da circulação geral planetária da atmosfera próxima. Dentre esses aspectos o que influencia a região onde está inserida a bacia hidrográfica do rio Xingu é a faixa de baixas pressões da Depressão Equatorial. A depressão equatorial é uma zona de pequenos gradientes de pressão e ventos fracos.

Para a análise referente ao regime dos ventos, para a área em estudo, utilizou-se como fonte de dados a publicação Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, de 2001.

As velocidades médias anuais dos ventos na área de influência da bacia hidrográfica do rio Xingu a 50 m de altura apresentam-se entre a faixa de 3,5 a 5,0 m/s, como mostra a Figura 4.13.

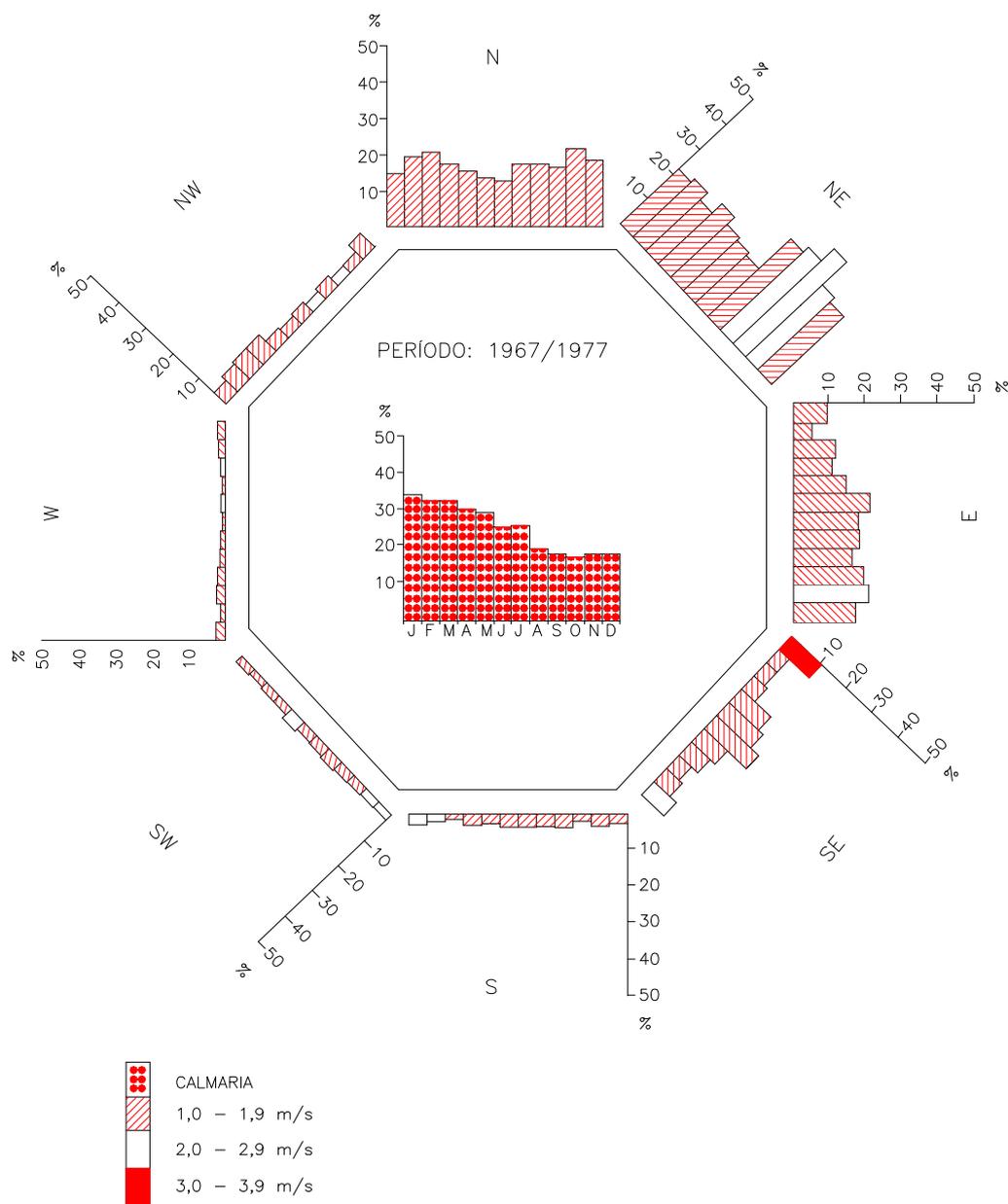
Figura 4.13 - Velocidade Média Anual dos Ventos



Na localidade de Altamira predomina ventos da direção Nordeste variando entre 1,0 m/s e 3,0 m/s.

A Figura 4.14 apresenta o gráfico de circulação dos ventos, na estação Altamira, com as suas respectivas durações e direções.

Figura 4.14 - Vento na Estação Altamira



Precipitação

Os dados de precipitação total disponíveis nas estações climatológicas estudadas estão apresentados na Figura 4.15 e na Tabela 4.9.

UHE BELO MONTE

Tabela 4.9 - Precipitação Total (mm)

Estação Climatológica	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamira	301,5	303,5	293,8	316,7	215,5	110,2	78,6	33,4	39,3	47,8	78,5	169,1
Porto de Moz	230,1	267,8	349,0	366,6	335,1	247,1	177,3	87,6	77,6	52,8	79,7	108,7
São Félix do Xingu	290,7	321,7	310,3	260,0	101,6	43,9	17,5	56,7	99,4	164,2	170,4	230,4
Média	274,1	297,7	317,7	314,4	217,4	133,7	91,1	59,2	72,1	88,3	109,5	169,4

FONTE: Normais Climatológicas – 1961 a 1990 (DNMET, 1992)

Figura 4.15 - Precipitação Total (mm)

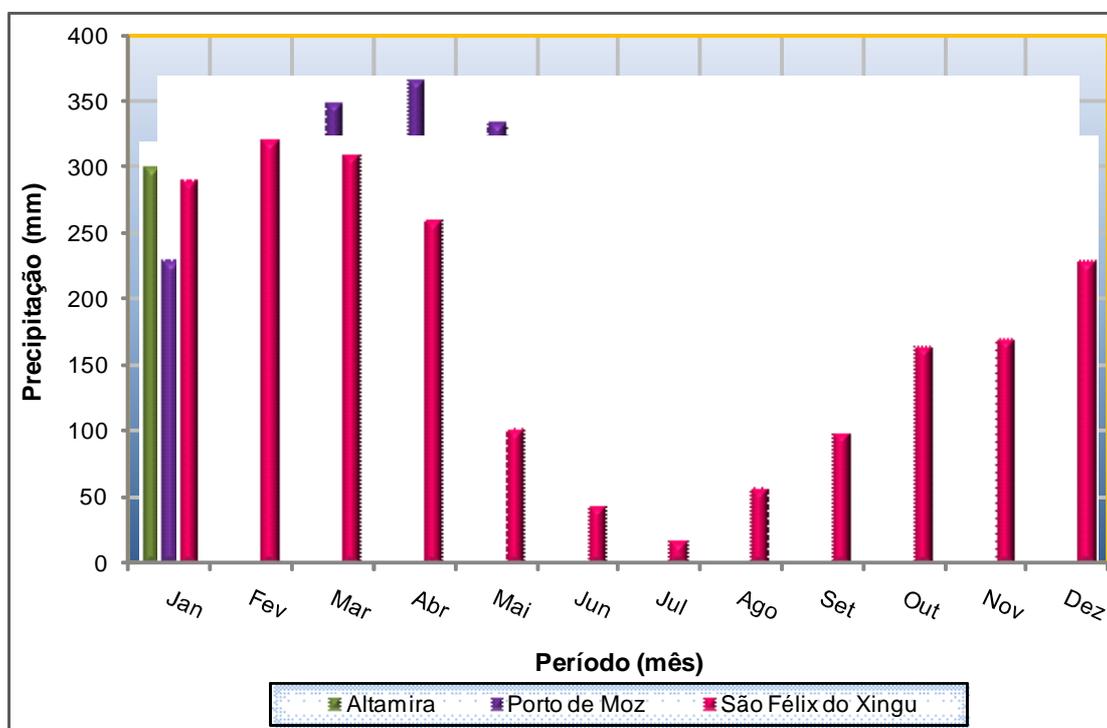
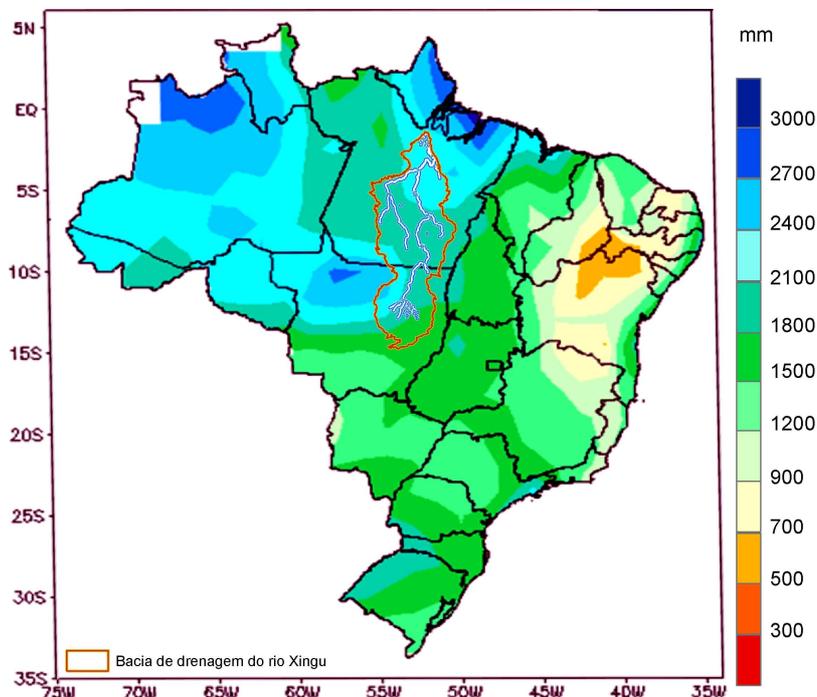


Figura 4.16 - Precipitação Acumulada (mm)



Observa-se que os trechos médio e baixo da bacia apresentam uma sazonalidade bem definida, com o período mais chuvoso compreendendo os meses de dezembro a maio. A região nordeste da região caracteriza-se como a mais chuvosa, com valores anuais entre 2.100 mm e 2.400 mm.

4.2.4 Caracterização do Regime Fluvial

As condições climáticas da bacia hidrográfica do rio Xingu apresentam diferenças que variam de sul para norte, as quais se refletem no regime hidrológico. Na região denominada médio Xingu, o período de chuva corresponde aos meses de outubro a maio, e o período seco aos meses de junho a setembro. Na região do alto Xingu o período chuvoso ocorre entre os meses de dezembro e abril e o período seco de julho a novembro. Já no baixo Xingu, região de Porto de Moz, o período de chuva se dá nos meses de março a maio, e o período seco de agosto a dezembro.

Essa situação mostra um deslocamento das chuvas de sul para norte, o qual se inicia em outubro (São Felix do Xingu) se estendendo para norte, até o mês de maio (Porto de Moz), provocando uma defasagem de até dois meses no período chuvoso, o que favorece a ocorrência de grandes deflúvios nos trechos do médio e baixo Xingu, que ocorrem entre fevereiro e abril na região de São Felix do Xingu, e entre março e maio na região de Altamira.

Merece citação o grande acúmulo na própria calha do rio e nas baixadas marginais adjacentes, causando grandes efeitos sobre o amortecimento das cheias e seu tempo de trânsito ao longo da calha principal do rio Xingu.

UHE BELO MONTE

A análise das características fluviométricas também permite verificar diversificações que se denotam com o desenvolvimento natural da bacia. Logo, na região do Alto Xingu, o rio corre em seções pouco encaixadas, portanto, à medida que o rio se desenvolve, observa-se a existência de meandros, causando, eventualmente, a formação de lagoas nas margens.

Na região superior do médio Xingu pode-se delimitar uma zona de transição, denotada pelo surgimento de acentuadas ombreiras em certos pontos, intercalados com a presença, ainda dominante, de margens baixas. Esta zona de transição é principalmente notada com o aparecimento de vegetação de grande porte. Na altura da cidade de São Félix do Xingu, com a topografia mais acentuada, o rio segue seu curso vencendo pequenas corredeiras, formando vários braços e ilhas e apresentando grandes variações de volume entre as épocas de cheia e de estiagem.

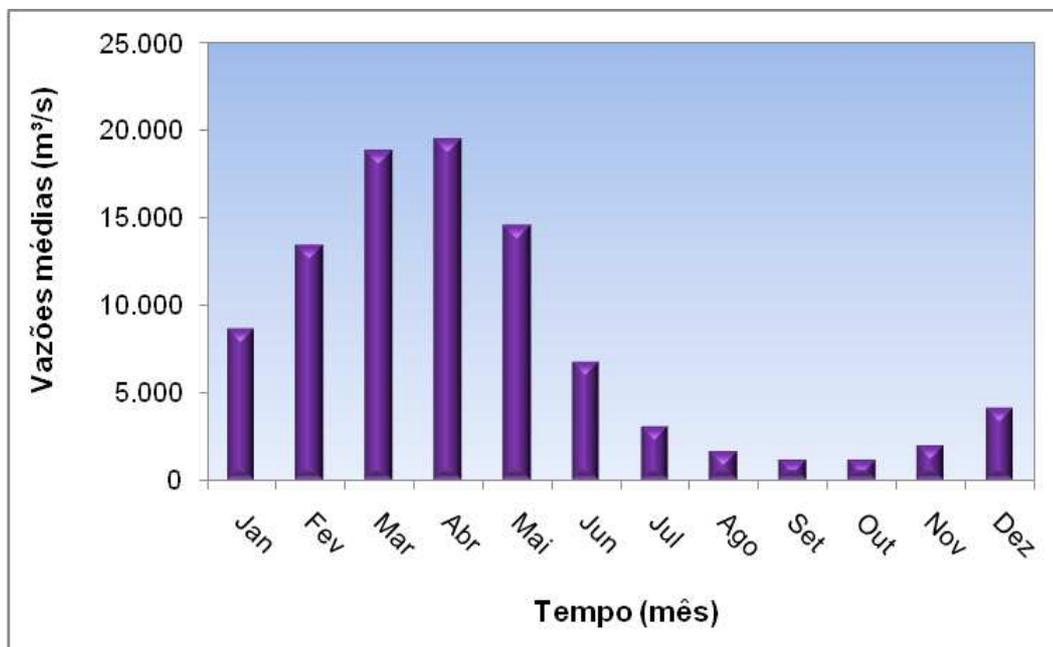
Já na região inferior do médio Xingu, onde recebe o seu principal afluente, o rio Iriri, os efeitos de retenção dos deflúvios nas baixadas marginais adjacentes são mais acentuados, ocasionando retardo e atenuação das descargas na época de enchente e acréscimos nas vazões na época da vazante.

No baixo Xingu, nas imediações da cidade de Altamira, está localizada a área mais importante da bacia, em termos de aproveitamento hidrelétrico. Neste ponto, o rio Xingu sofre uma acentuada deflexão, formando a chamada Volta Grande, trecho de grandes corredeiras, com um desnível de 85 m em 160 km de comprimento.

Em uma análise geral, o rendimento específico da bacia hidrográfica do rio Xingu é crescente das nascentes à foz variando entre 14 e 18 l/s.km², verificando-se os mais altos valores na parte Oeste, nos rios Iriri e Curuá. Em Altamira, a contribuição específica média anual gira em torno de 17,6 l/s.km². O rio Xingu caracteriza-se por variações significativas de volume escoado entre épocas chuvosas e de estiagem. As descargas mínimas são da ordem de 10% da vazão média de longo período, enquanto as cheias chegam a atingir valores quatro vezes superiores à média.

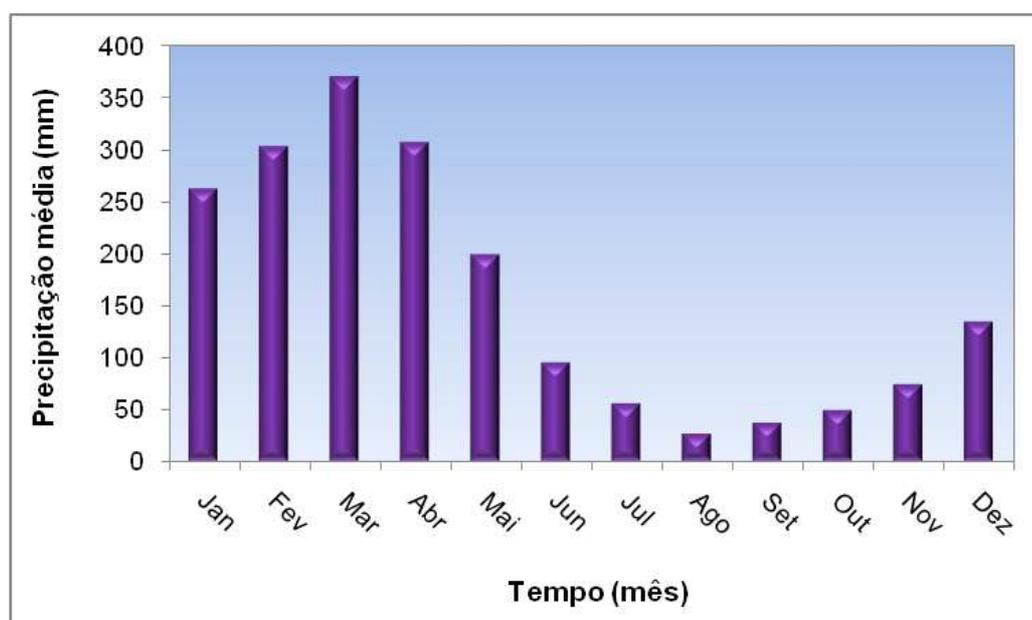
A Figura 4.17 apresenta o hidrograma de vazões médias mensais observadas no período histórico de 1971 a 2007, no posto fluviométrico Altamira (código:18850000).

Figura 4.17 - Estação Fluviométrica Altamira - Hidrograma de Vazões Médias Mensais



Na Figura 4.18 consta o gráfico das precipitações médias mensais observadas na estação pluviométrica Altamira (código: 00352001), registradas entre o período de maio de 1928 a julho de 2009.

Figura 4.18 - Estação Pluviométrica Altamira - Hidrograma de Precipitação Média Mensal



Série de Vazões Médias Mensais

Em outubro de 2009 a Agência Nacional de Águas – ANA, por meio da Resolução nº740, tornou pública a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH) para o aproveitamento hidrelétrico Belo Monte com a finalidade de garantir a disponibilidade hídrica necessária à viabilidade do empreendimento. A Tabela 4.10 apresenta as vazões naturais afluentes constantes do Anexo I da referida resolução.

A Eletrobrás recomenda que a série de vazões médias mensais contemple o período de 1931 até dois anos antes da conclusão do estudo. Dessa forma, realizou-se o prolongamento da série publicada pela ANA na DRDH para o ano de 2008. A complementação dos dados de vazões médias mensais foi realizada por meio dos dados observados no posto fluviométrico de Altamira. Os meses de outubro e dezembro de 2008 apresentam falhas de observação no posto, em função disso, os dados foram preenchidos utilizando a média mensal desses meses.

A análise da série de vazões médias mensais em referência chama a atenção para alguns valores elevados se comparados com os demais do histórico. Os meses de março e abril do período gerado pelo modelo chuva-vazão (janeiro de 1931 a junho de 1968) apresentam valores de médias mensais maiores que vazões máximas diárias observadas no posto Altamira.

De acordo com a base de dados da estação fluviométrica Altamira, que dispõe de aproximadamente 40 anos de operação, não há registro de vazões máximas diárias observadas superiores a 32.330 m³/s. Assim, a série em questão poderia ser verificada em alguns meses do histórico.

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Tabela 4.10 - Série de Vazões Médias Mensais Naturais Afluentes UHE Belo Monte (m³/s)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1931	6.720	15.603	15.024	28.377	21.385	11.156	3.204	1.615	1.063	1.531	2.414	4.409	9.375
1932	8.288	10.831	20.099	15.360	8.821	3.947	2.854	1.707	1.348	1.353	1.737	3.461	6.651
1933	5.586	13.325	16.684	19.387	16.123	6.687	2.589	1.242	846	1.233	2.173	3.482	7.446
1934	5.542	11.151	16.869	31.431	19.243	8.035	2.668	1.394	1.036	1.191	1.555	4.514	8.719
1935	12.456	14.571	18.767	32.162	18.893	12.845	3.215	1.653	1.143	678	1.496	4.709	10.216
1936	11.863	18.970	14.371	18.281	10.131	4.395	1.883	1.250	1.016	761	1.428	4.175	7.377
1937	4.365	5.908	10.586	20.528	11.789	5.276	2.947	1.763	1.392	1.272	1.633	3.254	5.893
1938	8.511	10.827	11.769	31.154	21.481	10.025	2.645	1.475	1.177	1.254	2.444	2.511	8.773
1939	14.508	19.005	21.863	19.728	11.199	6.848	3.631	1.789	1.276	1.201	1.966	5.070	9.007
1940	9.770	17.682	19.653	22.773	24.638	13.201	3.582	1.575	967	870	1.977	2.810	9.958
1941	6.375	8.629	15.461	22.046	12.661	5.666	2.106	1.259	995	1.565	2.010	4.004	6.898
1942	3.098	8.614	11.771	14.644	11.300	6.263	2.674	1.312	775	696	2.750	4.161	5.672
1943	12.879	22.803	42.442	12.371	10.528	4.674	2.589	1.559	834	888	1.835	3.518	9.743
1944	4.887	11.255	14.595	22.642	18.829	7.809	2.744	1.317	896	1.343	2.367	3.793	7.706
1945	6.312	14.656	14.112	35.764	26.952	14.061	2.694	1.358	894	1.171	1.846	3.370	10.266
1946	4.117	11.114	19.633	13.384	11.693	4.171	4.358	2.484	1.524	690	1.744	2.454	6.447
1947	8.182	14.766	17.296	35.119	23.249	11.207	2.547	1.221	872	1.709	1.968	4.532	10.222
1948	8.610	16.725	26.205	22.290	13.647	5.698	2.765	1.444	1.073	914	1.193	3.463	8.669
1949	15.085	19.731	23.408	12.747	11.413	4.727	3.122	1.729	1.262	997	1.793	3.179	8.266
1950	5.744	13.217	15.070	29.324	24.549	11.974	2.430	1.182	683	859	1.386	3.292	9.143
1951	7.424	9.566	14.444	9.564	8.404	4.309	3.368	1.666	1.218	1.006	1.583	3.401	5.496
1952	5.002	10.942	10.867	29.924	21.274	8.043	2.930	1.634	1.239	1.399	1.564	2.309	8.094
1953	6.801	15.791	15.205	31.488	23.729	12.380	2.914	1.469	967	1.886	2.973	5.430	10.086
1954	5.693	10.079	18.760	18.050	15.361	6.820	2.777	1.672	895	655	1.353	2.594	7.059
1955	7.872	14.756	15.835	25.487	27.575	14.775	2.884	1.268	778	1.047	2.377	3.378	9.836
1956	7.411	16.212	16.102	25.055	17.812	6.734	4.153	2.316	1.756	1.784	1.995	2.944	8.690
1957	15.483	18.112	23.328	29.031	17.053	11.594	2.722	1.399	967	584	1.290	4.058	10.468
1958	4.644	9.676	16.982	40.610	19.158	8.236	2.486	1.547	1.213	1.044	1.520	3.850	9.247
1959	8.384	13.447	22.444	22.341	17.334	7.857	3.218	1.612	1.129	614	1.174	3.778	8.611
1960	3.253	8.734	12.361	22.708	17.523	9.711	2.561	1.257	742	791	3.127	4.732	7.292
1961	7.448	20.711	28.301	11.301	8.721	4.833	2.889	1.417	837	482	1.906	2.884	7.644
1962	4.882	7.737	13.485	23.178	12.269	4.470	2.030	1.964	1.007	921	1.930	4.178	6.504
1963	8.472	10.916	16.482	13.775	12.105	6.207	2.683	1.327	970	716	1.127	2.422	6.434
1964	17.033	21.543	25.668	35.135	19.944	12.195	2.863	1.411	1.007	1.091	1.785	4.604	12.023
1965	6.208	14.334	16.126	27.236	16.080	6.931	2.764	1.705	1.450	1.084	1.544	3.875	8.278
1966	3.345	7.978	9.989	20.185	16.786	6.962	3.059	1.468	999	1.280	2.255	3.614	6.493
1967	6.377	8.354	9.610	41.621	23.626	14.447	2.518	1.240	885	798	1.307	3.370	9.513
1968	4.570	6.993	12.623	25.799	13.656	4.976	2.183	1.050	684	698	1.033	4.028	6.524
1969	7.112	10.120	14.059	15.284	12.068	5.015	1.854	915	425	380	560	1.176	5.747
1970	3.774	9.204	18.001	14.636	13.213	4.561	2.063	1.176	698	496	1.213	1.764	5.900
1971	2.522	6.337	9.585	14.133	11.270	6.045	2.682	1.315	752	693	2.650	4.144	5.177
1972	5.532	11.920	16.523	16.925	14.544	5.837	2.689	1.290	850	641	1.093	1.810	6.638
1973	4.338	6.938	14.297	19.675	17.302	7.434	3.667	2.209	1.144	1.422	2.841	5.631	7.242
1974	7.474	15.200	21.604	27.573	25.985	13.431	4.446	2.061	1.448	1.352	1.418	4.054	10.504

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1975	7.372	15.322	19.342	20.860	18.047	8.518	3.845	1.870	1.046	735	1.148	2.817	8.410
1976	6.406	10.941	15.398	14.931	11.247	5.523	2.475	1.193	795	988	2.224	5.082	6.434
1977	9.206	15.586	18.518	17.358	19.405	10.062	4.498	1.977	1.175	1.503	3.303	4.850	8.953
1978	15.681	16.107	25.621	22.801	17.479	9.427	4.180	2.360	1.437	1.465	1.962	3.935	10.205
1979	8.666	18.303	24.556	18.009	11.234	5.105	2.416	1.451	1.394	1.455	1.986	3.348	8.160
1980	8.258	15.542	30.200	21.559	10.510	4.372	2.271	1.413	1.072	1.119	1.576	4.126	8.502
1981	10.348	15.479	12.535	16.897	9.676	4.062	2.105	1.398	1.100	965	1.754	5.296	6.801
1982	10.087	23.290	28.311	21.711	17.471	7.184	3.378	1.843	1.317	1.854	1.989	2.725	10.097
1983	6.258	15.094	16.609	16.910	7.538	3.707	2.037	1.355	1.068	1.189	2.343	3.938	6.504
1984	6.847	9.563	13.533	19.397	19.100	7.517	3.087	1.581	1.303	1.375	2.562	3.386	7.438
1985	9.688	22.569	24.857	22.859	23.251	9.520	4.061	2.132	1.333	1.348	2.673	6.761	10.921
1986	16.328	18.760	22.578	20.716	14.760	6.667	3.309	1.844	1.426	2.146	4.047	4.294	9.740
1987	7.062	8.633	17.126	17.850	10.593	4.587	2.264	1.354	1.035	1.167	1.450	2.985	6.342
1988	7.200	10.431	19.275	20.819	16.692	7.321	3.284	1.645	1.114	1.156	2.142	7.120	8.183
1989	13.358	14.113	20.126	21.904	13.296	8.748	4.448	2.287	1.530	1.408	3.006	9.778	9.500
1990	17.948	13.564	22.254	18.137	10.799	5.292	2.757	1.874	1.250	1.357	1.878	2.861	8.331
1991	7.597	15.933	16.984	23.195	18.062	9.119	3.692	1.861	1.185	1.231	1.878	3.543	8.690
1992	6.751	14.080	17.538	19.152	11.683	4.874	2.352	1.451	1.193	1.501	2.069	5.364	7.334
1993	9.233	11.123	19.537	16.090	11.027	4.930	2.372	1.419	1.312	1.348	1.814	2.994	6.933
1994	11.106	18.103	23.477	22.538	15.418	7.193	4.402	2.111	1.458	1.357	1.512	3.598	9.356
1995	12.016	17.631	20.361	21.050	21.479	12.182	4.723	2.260	1.366	1.201	1.509	4.312	10.008
1996	10.460	12.357	16.231	18.060	16.710	6.697	2.940	1.629	1.150	1.128	1.965	3.600	7.744
1997	7.373	15.086	16.017	22.807	16.755	6.131	2.873	1.603	1.176	1.183	1.280	1.952	7.853
1998	3.731	5.668	9.887	9.843	6.605	2.880	1.421	911	710	717	1.383	3.653	3.951
1999	6.886	8.013	13.396	12.449	11.303	5.610	2.231	1.104	781	904	1.378	3.057	5.593
2000	10.644	15.970	22.007	22.075	13.606	5.428	2.838	1.674	1.177	1.533	2.664	6.322	8.828
2001	11.305	13.377	17.037	18.497	10.850	6.421	3.051	1.503	1.038	1.003	1.588	4.234	7.492
2002	11.562	12.412	12.067	13.079	7.567	4.375	1.835	1.161	810	879	1.396	1.986	5.761
2003	1.132	3.960	13.079	19.204	10.503	3.703	2.361	2.284	1.133	1.144	2.320	5.188	5.501
2004	7.981	13.031	28.219	27.700	14.720	6.698	3.306	1.894	1.368	1.313	2.446	3.699	9.365
2005	6.774	12.311	20.619	22.893	14.483	5.852	2.705	1.413	1.015	1.104	1.394	4.184	7.896
2006	11.102	13.229	19.592	25.123	24.596	11.794	4.113	2.048	1.172	1.238	2.660	3.889	10.046
2007	6.026	13.276	20.884	17.281	9.933	4.876	2.269	1.444	959	871	1.053	2.259	6.761
2008	4.793	11.485	19.666	24.123	16.431	6.854	2.773	1.506	1.071	1.116	1.236	3.835	4.793
Mínima	1.132	3.960	9.585	9.564	6.605	2.880	1.421	911	425	380	560	1.176	3.217
Máxim	17.948	23.290	42.442	41.621	27.575	14.775	4.723	2.484	1.756	2.146	4.047	9.778	16.049
Média	8.092	13.273	18.151	21.642	15.566	7.381	2.927	1.584	1.085	1.116	1.884	3.835	8.045

NOTAS:

	Dados extraídos do Anexo I da Resolução ANA nº 740 de 06 de outubro de 2009
	Dados obtidos a partir dos dados observados no posto Altamira
	Dados obtidos a partir das vazões médias mensais do período de 1931 a 2007

UHE BELO MONTE

Curva de Permanência

A partir da série de vazões médias mensais naturais afluentes ao empreendimento, apresentada na Tabela 4.10, realizou-se os estudos de permanência dos valores, visando determinar, para cada vazão, a frequência com que ela é igualada ou superada.

Esta curva foi obtida considerando o critério de Kimball, que determina o arranjo, em ordem decrescente, das vazões médias mensais do período histórico, atribuindo-se a cada valor uma porcentagem calculada pela relação entre o seu número de ordem e o número total de valores da série acrescido de 1.

A Figura 4.19 apresenta a curva de permanência das vazões médias mensais da UHE Belo Monte, sendo os seus valores característicos apresentados na Tabela 4.11.

Figura 4.19 - Curva de Permanência de Vazões Médias Mensais

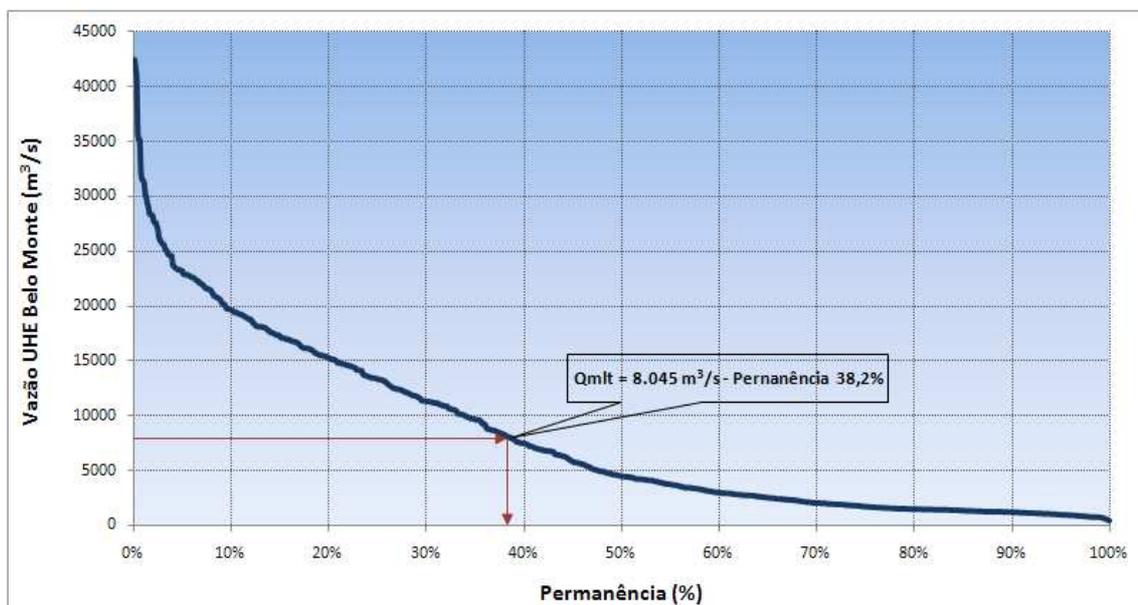


Tabela 4.11 - Valores Característicos da Curva de Permanência

Permanência	Vazão (m ³ /s)	Permanência	Vazão (m ³ /s)
5 %	22.888	55 %	3.676
10 %	19.576	60 %	2.932
15 %	17.093	65 %	2.455
20 %	15.202	70 %	1.985
25 %	13.281	75 %	1.642
30 %	11.257	80 %	1.420
35 %	9.584	85 %	1.280
38,2 %	mlt = 8.054	90 %	1.143
40 %	7.403	95 %	911
45 %	5.728	100 %	380
50 %	4.428		

UHE BELO MONTE

Conforme pode ser observado na Tabela 4.12, a vazão média de longo termo ($Q_{mlt} = 8.054 \text{ m}^3/\text{s}$) para o local da UHE Belo Monte é igualada ou superada durante 38,2 % do tempo. Observa-se a garantia que em 95% do tempo tem-se uma vazão superior a $911 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vazões no Trecho de Vazão Reduzida (TVR)

Na data de 06 de outubro de 2009 a Agência nacional de Águas – ANA, por meio da Resolução nº 740, tornou pública a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH) para o empreendimento UHE Belo Monte. A Tabela 4.12 apresenta as vazões médias a serem mantidas no trecho de vazão reduzida, constantes do Anexo III da referida resolução.

Tabela 4.12 - Vazões Médias no TVR* (m^3/s)

Hidrograma	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
A	1.100	1.600	2.500	4.000	1.800	1.200	1.000	900	750	700	800	900
B	1.100	1.600	4.000	8.000	4.000	2.000	1.200	900	750	700	800	900

*Trecho de vazão reduzida

4.2.5 Vazão de Usos Consuntivos

A já citada Resolução ANA nº 740 define as vazões médias destinadas ao atendimento de outros usos consuntivos, conforme Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Vazões de Usos Consuntivos a Montante da UHE Belo Monte (m^3/s)

Ano	Consumo
2009	4,5
2019	6,5
2029	8,5
2039	10,6
2049	11,8

NOTA: Dados extraídos da Resolução nº 740, 06 de outubro de 2009, Anexo II

4.2.6 Análise de Frequência de Cheias

A bacia hidrográfica do rio Xingu apresenta postos fluviométricos com períodos de observação extensos quando comparados a outras bacias brasileiras. Para os estudos de vazões máximas da UHE Belo Monte foi utilizado como posto base estação fluviométrica Altamira, localizada no rio Xingu.

UHE BELO MONTE

O posto Altamira foi instalado em maio de 1928, apresentando leituras de régua até abril de 1959 com algumas falhas de observação. Em junho de 1968, novo posto foi instalado na cidade sem, contudo, manter a mesma referência de nível do posto anterior. Apesar dos esforços desenvolvidos no sentido de aproveitar todas as informações de cotas diárias observadas no primeiro período, não foi possível recuperar a amarração entre os zeros das régua dos dois postos. Dessa forma, foram utilizados apenas os dados observados a partir de julho de 1968.

As medições de descarga líquida se iniciaram em abril de 1971 e acumularam mais de 420 medições, permitindo traçar uma curva-chave consistente para o posto e, conseqüentemente, montar um histórico de vazões médias diárias a partir de meados de 1968.

O eixo de barramento do sítio Pimental fica cerca de 40 km a jusante da cidade de Altamira. Ressalta-se que a diferença entre as áreas de drenagem desses dois locais é inexpressiva (menor que 0,3%), permitindo assumir que as vazões no local do barramento são as mesmas observadas no posto Altamira.

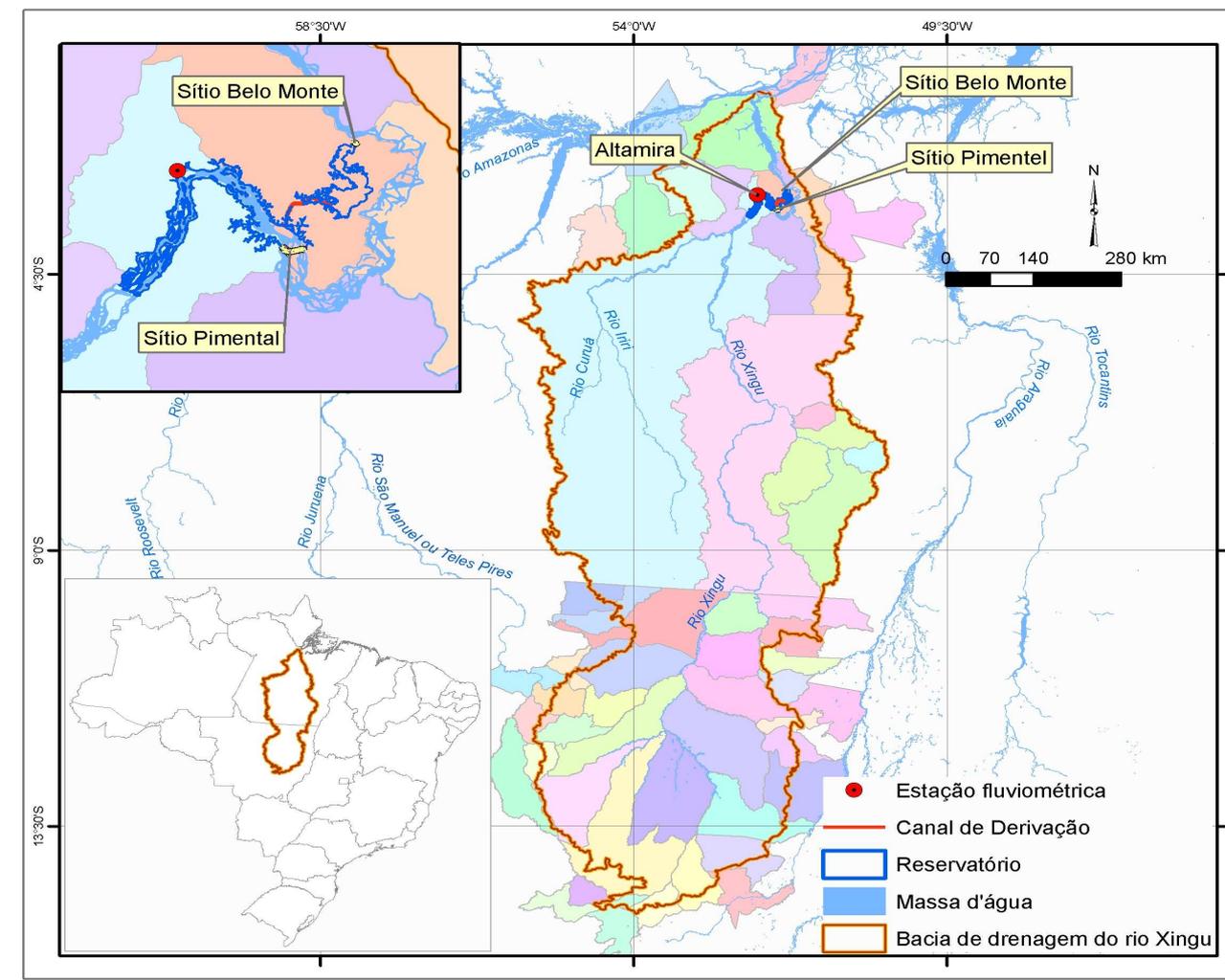
A Tabela 4.14 apresenta os dados característicos da estação fluviométrica utilizada para a geração dos valores de vazões máximas. A localização da estação fluviométrica na bacia hidrográfica do rio Xingu encontra-se na Figura 4.20.

Tabela 4.14 - Dados da Estação Fluviométrica Altamira

Código	Nome	Rio	Responsável	Latitude	Longitude
18850000	Altamira	Xingu	ANA	03° 12' 53"	52° 12' 44"

FONTE: <http://hidroweb.ana.gov.br/>

Figura 4.20 - Localização da Estação Fluviométrica Utilizada



Vazões Máximas – Período Completo

A partir da série de vazões observadas na estação fluviométrica de Altamira foi possível constatar que o ano hidrológico do rio Xingu no posto inicia-se em outubro e termina em setembro do ano seguinte. Definido o ano hidrológico, obteve-se a série de vazões máximas diárias observadas e consistidas para o período 1969-2007 na estação fluviométrica Altamira (Tabela 4.15).

**Tabela 4.15 - Vazões Máximas Anuais Observadas
Estação Fluviométrica Altamira (m³/s)**

Ano	Vazão (m ³ /s)
1969	17.553
1970	20.198
1971	15.633
1972	19.116
1973	22.121
1974	30.160
1975	22.969
1976	16.833
1977	21.520
1978	28.655
1979	24.994
1980	32.330
1981	17.794
1982	31.210
1983	19.056
1984	22.422
1985	26.338
1986	23.844
1987	20.258
1988	21.941

Ano	Vazão (m ³ /s)
1989	23.970
1990	24.354
1991	25.634
1992	19.957
1993	20.847
1994	24.994
1995	23.592
1996	20.979
1997	24.162
1998	12.627
1999	16.533
2000	26.274
2001	20.258
2002	15.039
2003	20.979
2004	30.370
2005	25.762
2006	27.298
2007	21.466

Porém, com o intuito de verificar a consistência da série de máximas observadas, também foi considerada nos estudos estatísticos a série de vazões máximas anuais sintéticas calculadas nos estudos de viabilidade de 2002 para a estação fluviométrica de Altamira.

Nos estudos de viabilidade foi realizado um estudo de regressão linear para a geração de uma série sintética de vazões máximas do período de 1931 a 1968. Constatou-se no estudo de viabilidade que o pico da cheia mostra uma forte correlação com a vazão média do mês correspondente. O coeficiente de correlação linear encontrado para a regressão adotada foi de 0,9858. Por essa regressão, a estimativa do pico da máxima cheia registrada em março de 1980, correspondente a 32.330 m³/s, apresentou desvio menor que 0,03 %.

No presente estudo, optou-se por manter a sistemática da viabilidade que adotou a série de vazões máximas da estação fluviométrica de Altamira estendida para o período de 1931 a 2007, conforme apresentado na Tabela 4.16.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.16 - Vazões Máximas Anuais (m³/s)
 Estação Fluviométrica Altamira – 1931 a 2007**

Ano	Vazão (m ³ /s)	Ano	Vazão (m ³ /s)	Ano	Vazão (m ³ /s)
1931	27.772	1957	27.084	1983	19.056
1932	19.214	1958	28.130	1984	22.422
1933	20.508	1959	22.836	1985	26.338
1934	26.316	1960	21.646	1986	23.844
1935	29.904	1961	23.394	1987	20.258
1936	21.959	1962	19.432	1988	21.941
1937	17.428	1963	17.796	1989	23.970
1938	26.691	1964	31.371	1990	24.354
1939	26.282	1965	23.985	1991	25.634
1940	28.564	1966	19.188	1992	19.957
1941	19.662	1967	29.454	1993	20.847
1942	16.090	1968	20.169	1994	24.994
1943	29.919	1969	17.553	1995	23.592
1944	23.190	1970	20.198	1996	20.979
1945	31.357	1971	15.633	1997	24.162
1946	17.328	1972	19.116	1998	12.627
1947	30.879	1973	22.121	1999	16.533
1948	24.898	1974	30.160	2000	26.274
1949	24.981	1975	22.969	2001	20.258
1950	28.273	1976	16.833	2002	15.039
1951	15.839	1977	21.520	2003	20.979
1952	24.717	1978	28.655	2004	30.370
1953	29.672	1979	24.994	2005	25.762
1954	19.638	1980	32.330	2006	27.298
1955	29.980	1981	17.794	2007	21.466
1956	23.729	1982	31.210		

Com base nesta série de valores máximos foram realizadas análises estatísticas utilizando distribuição de Gumbel, Exponencial de dois Parâmetros, Log-Pearson, Pearson e Log Normal para gerar os valores de vazões de cheias de projeto da UHE Belo Monte.

A Tabela 4.17 apresenta as vazões máximas obtidas após o ajuste das cinco distribuições citadas para a estação fluviométrica Altamira.

**Tabela 4.17 - Resumo das Distribuições Estatísticas
Estação Fluviométrica Altamira**

Vazões de projeto (m ³ /s)					
TR (anos)	Gumbel	Exponencial	Log-Pearson	Pearson	Log Normal
2	22.598	21.930	23.455	23.353	23.353
5	26.740	26.224	27.964	27.307	27.307
10	29.483	29.472	30.572	29.383	29.383
25	32.949	33.766	33.551	31.603	31.603
50	35.520	37.014	35.587	33.040	33.040
100	38.072	40.262	37.494	34.335	34.335
500	43.970	47.804	41.582	36.962	36.962
1000	46.505	51.052	43.236	37.973	37.974
10000	54.923	61.842	48.416	40.981	40.981

A Figura 4.21 apresenta o gráfico com os diversos ajustes estatísticos realizados para a série de vazões máximas e a Tabela 4.18 os indicadores estatísticos dos cálculos das vazões de projeto da UHE Belo Monte.

Figura 4.21 – Ajuste Estatístico

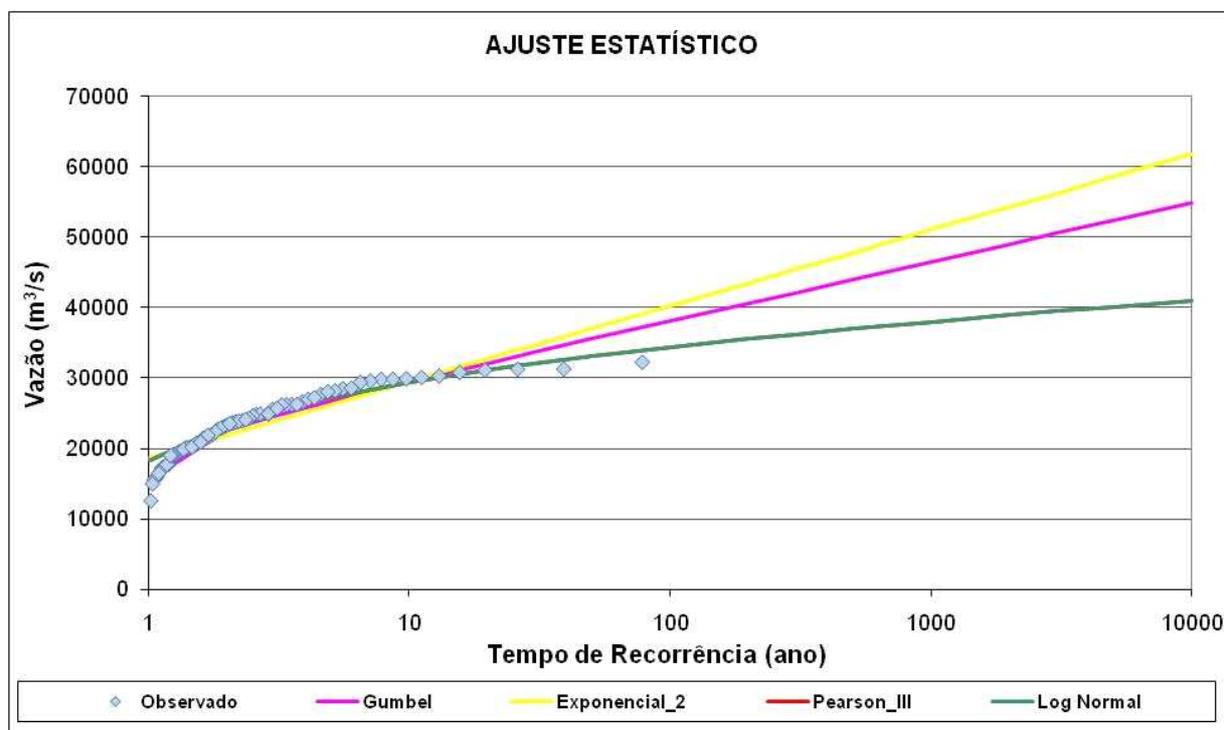


Tabela 4.18 - Indicadores Estatísticos da Série de Vazões Máximas UHE Belo Monte

Indicadores Estatísticos da Amostra	
Total de Anos	77
Máximo	32.330 m ³ /s
Mínimo	12.627 m ³ /s
Média	23.368 m ³ /s
Variância	21959613
Desvio Padrão	4686,1
Assimetria	0,018
$\beta_0 =$	18681,6
$\beta_1 =$	4686,1
$\alpha =$	3655,1
$\mu =$	21258,7

A Figura 4.21 mostra que a distribuição Log-Normal foi a que melhor aderiu aos valores observados.

Entretanto, considerando que os valores de cheia associados ao tempo de recorrência obtidos no presente estudo para a distribuição Exponencial estão bastante similares e consistentes com os correspondentes valores apresentados nos Estudos de Viabilidade de 2002, para o Projeto Básico ANEEL será utilizada a mesma distribuição estatística definida para os Estudos de Viabilidade mencionados.

Especificamente, a cheia para 10.000 anos de recorrência corresponde à vazão de 62.000 m³/s, consistente com a cheia definida nos Estudos de Viabilidade e nos demais documentos que compuseram o Edital do Leilão da UHE Belo Monte, incluindo os valores citados na Resolução nº 740 da ANA.

A Tabela 4.19 apresenta os valores das vazões, correspondentes a cada tempo de recorrência (anos), adotada para o Projeto Básico da UHE Belo Monte.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.19 - UHE Belo Monte – Cheias Máximas Anuais

Tempo de Recorrência (anos)	Vazões de Projeto (m³/s)
2	21.930
5	26.224
10	29.472
15	31.372
20	32.720
25	33.766
50	37.014
100	40.262
500	47.804
1.000	51.052
10.000	61.842

Como citado anteriormente, a cheia decamilenar resultou muito próxima à cheia de 62.000 m³/s definida no edital para dimensionamento do Vertedouro da UHE Belo Monte. Sendo assim, e por ser uma condicionante do edital, o Vertedouro foi dimensionamento para descarregar 62.000 m³/s na El.97,50 (Nível Máximo Maximorum).

Estudo da Cheia Máxima Provável

Na primeira etapa dos Estudos de Viabilidade da UHE Belo Monte, desenvolvidos na década de 1980, foram realizados estudos de precipitação máxima provável - PMP e de vazão máxima provável - VMP.

Os referidos estudos levaram em consideração informações hidrometeorológicas disponíveis na bacia do rio Xingu, e também nas bacias vizinhas, particularmente nas bacias dos rios Tocantins e Araguaia.

O evento meteorológico de 1980 foi o mais crítico que se tem registro sobre a região da Amazônia Meridional brasileira. A partir desse evento crítico, foram definidos os diversos parâmetros modeladores maximizantes, tendo-se selecionado, dentre as diversas alternativas de PMP formuladas, aquela que conduziu a maior valor de vazão de ponta.

Dessa forma, foi calculado o pico da cheia máxima provável de 72.278 m³/s para a estação Altamira, cuja área de drenagem praticamente coincide com a área de drenagem no sítio Pimental. Esse valor foi utilizado para verificação da capacidade de descarga do vertedouro em condições excepcionais.

Vazões Máximas – Período de Estiagem

Para dimensionamento das estruturas de desvio, além das cheias anuais foram calculadas as vazões de cheia para diversos períodos do ano. Para o cálculo dessas vazões foi utilizada a série histórica de vazões máximas observadas no posto Altamira. O posto apresenta dados de leituras de régua diárias para o período de 1969 até

UHE BELO MONTE

2007, isto é, acumula um histórico de 38 anos de operação. Além disso, apresenta também cerca de 420 medições de descarga líquida. Isso permitiu o estabelecimento de uma curva-chave confiável para o posto de Altamira.

Para elaboração dos estudos estatísticos foram considerados somente os dados dos períodos que não apresentam falhas de observação. Os valores de vazão inconsistentes também não foram considerados nos estudos de cheias.

Às séries obtidas foram efetuados os ajustes das distribuições de Gumbel e Exponencial de Dois Parâmetros. Em cada caso foram adotados os resultados que apresentaram a melhor aderência à distribuição empírica. Também foram avaliados os valores do coeficiente de assimetria das séries que, de acordo com orientação da ELETROBRÁS, quando inferior a 1,5 indicam distribuição de Gumbel e quando superior a 1,5 indicam distribuição Exponencial.

Os resultados dos ajustes estatísticos realizados para os diversos períodos são apresentados nas Tabelas 4.20 a 4.26. A Tabela 4.27 apresenta o resumo das vazões de projeto para os diversos períodos considerados.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.20 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
 Período de Junho a Janeiro**

Indicadores Estatísticos	
Tot. Anos	36
Máximo	20078,00
Mínimo	6608,00
Média	13081,58
Variância	13848733,51
Dv. Padrão	3721,39
Assimetria	0,30
> Usar Dist. Gumbel	
\bar{Q}	9360,19
\bar{Q}	3721,39
\bar{Q}	2902,68
\bar{Q}	11406,74

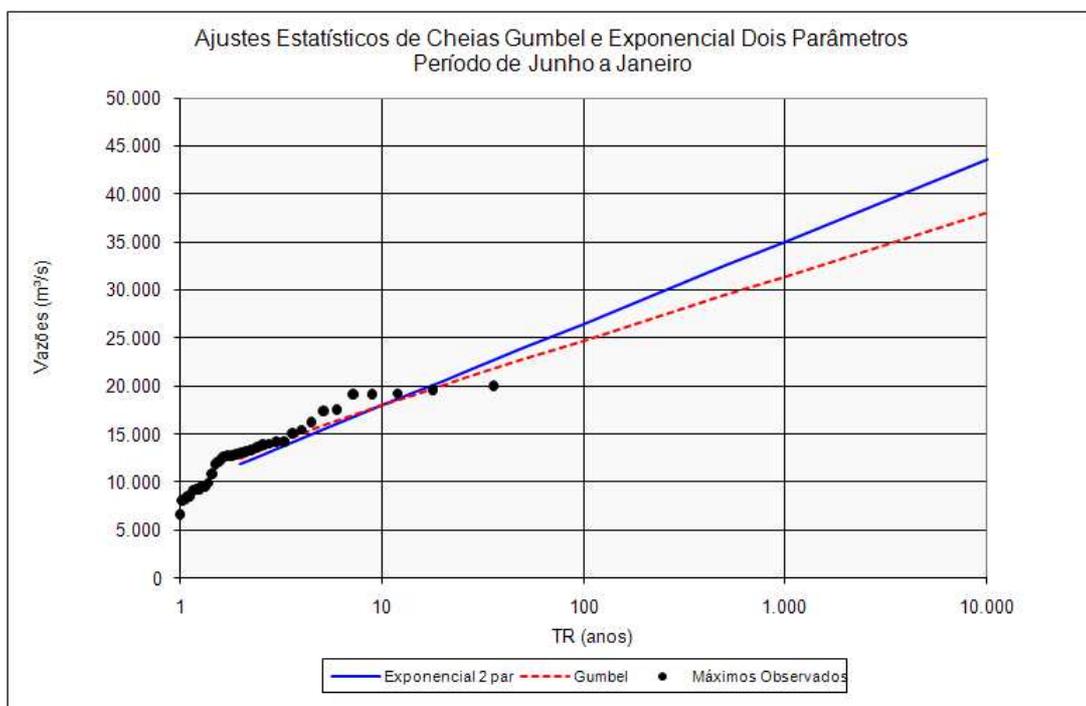
Período Jun-Jan	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR
1971-1972	8488	20078	9,91	20,078	1	36,00
1972-1973	8210	19597	9,88	19,597	2	18,00
1973-1974	12780	19236	9,86	19,236	3	12,00
1974-1975	19597	19116	9,86	19,116	4	9,00
1975-1976	12576	19116	9,86	19,116	5	7,20
1976-1977	11862	17553	9,77	17,553	6	6,00
1977-1978	19116	17433	9,77	17,433	7	5,14
1978-1979	12780	16233	9,69	16,233	8	4,50
1979-1980	12219	15454	9,65	15,454	9	4,00
1980-1981	14184	15039	9,62	15,039	10	3,60
1981-1982	17433	14236	9,56	14,236	11	3,27
1982-1983	10893	14184	9,56	14,184	12	3,00
1983-1984	8120	13976	9,55	13,976	13	2,77
1984-1985	19116	13924	9,54	13,924	14	2,57
1985-1986	17553	13664	9,52	13,664	15	2,40
1986-1987	9528	13300	9,50	13,300	16	2,25
1987-1988	9288	13196	9,49	13,196	17	2,12
1988-1989	14236	13040	9,48	13,040	18	2,00
1989-1990	19236	12884	9,46	12,884	19	1,89
1990-1991	13664	12780	9,46	12,780	20	1,80
1991-1992	13924	12780	9,46	12,780	21	1,71
1992-1993	9924	12576	9,44	12,576	22	1,64
1993-1994	15454	12219	9,41	12,219	23	1,57
1994-1995	16233	11862	9,38	11,862	24	1,50
1995-1996	13040	10893	9,30	10,893	25	1,44
1996-1997	13196	9924	9,20	9,924	26	1,38
1997-1998	9240	9528	9,16	9,528	27	1,33
1998-1999	8488	9528	9,16	9,528	28	1,29
1999-2000	13976	9288	9,14	9,288	29	1,24
2000-2001	13300	9240	9,13	9,240	30	1,20
2001-2002	15039	9146	9,12	9,146	31	1,16
2002-2003	9146	8488	9,05	8,488	32	1,13
2004-2005	9528	8488	9,05	8,488	33	1,09
2005-2006	12884	8210	9,01	8,210	34	1,06
2006-2007	20078	8120	9,00	8,120	35	1,03
2007-2008	6608	6608	8,80	6,608	36	1,00

TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
2	11.940	12.471
2,33	12.508	13.086
5	15.350	15.761
10	17.929	17.939
15	19.438	19.168
20	20.508	20.028
25	21.339	20.691
50	23.918	22.733
100	26.498	24.760
500	32.487	29.443
1000	35.067	31.456
10000	43.635	38.141

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 par.: $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR - 1}{TR}\right)$



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.21 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
Período de Julho a Janeiro**

Indicadores Estatísticos	
Tot. Anos	36
Máximo	19236,00
Mínimo	2873,00
Média	11658,72
Variância	17717211,63
Dv. Padrão	4209,18
Assimetria	0,07
> Usar Dist. Gumbel	
\bar{Q}	7449,54
\bar{Q}^2	4209,18
\bar{Q}	3283,16
\bar{Q}	9764,34

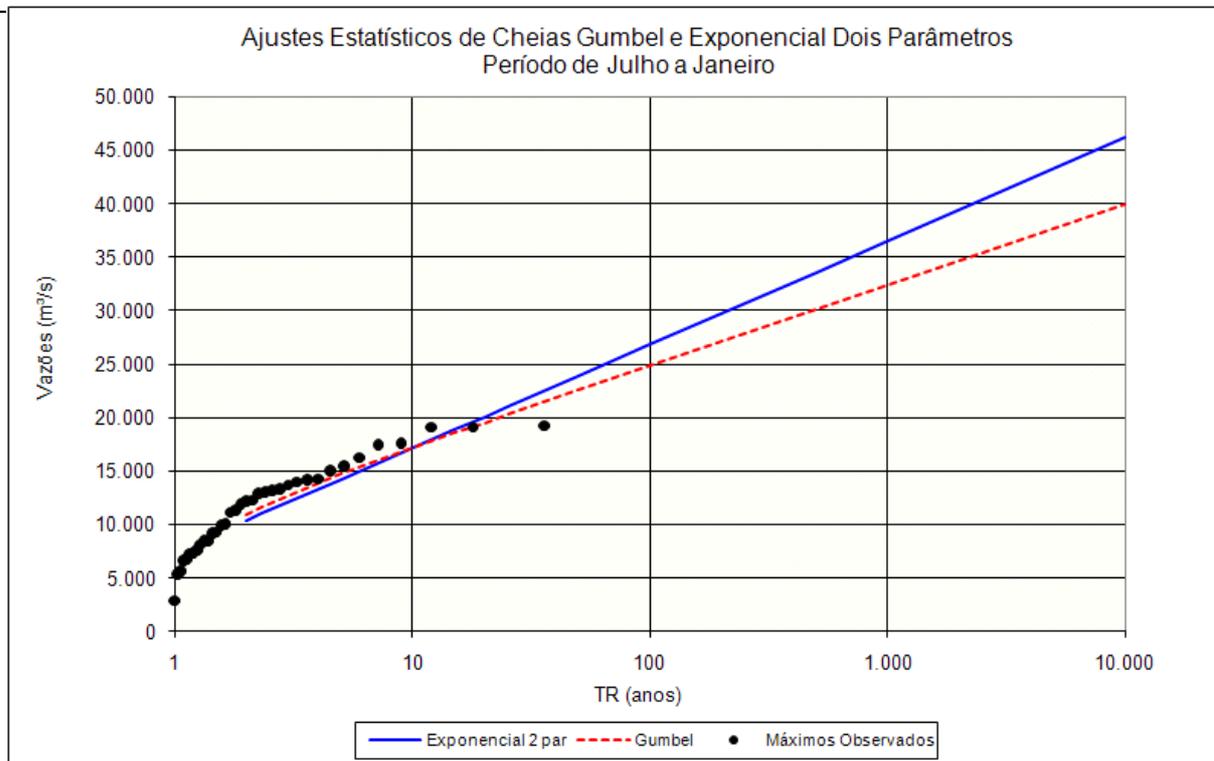
Período Jul-Jan	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR
1971-1972	8.488	2.873	7,96	19.236	1	36,00
1972-1973	5.680	5.393	8,59	19.116	2	18,00
1973-1974	11.148	5.680	8,64	19.116	3	12,00
1974-1975	11.301	6.608	8,80	17.553	4	9,00
1975-1976	7.400	6.784	8,82	17.433	5	7,20
1976-1977	11.862	7.268	8,89	16.233	6	6,00
1977-1978	19.116	7.400	8,91	15.454	7	5,14
1978-1979	12.270	7.670	8,95	15.039	8	4,50
1979-1980	12.219	8.120	9,00	14.236	9	4,00
1980-1981	14.184	8.488	9,05	14.184	10	3,60
1981-1982	17.433	8.488	9,05	13.976	11	3,27
1982-1983	7.268	9.193	9,13	13.664	12	3,00
1983-1984	8.120	9.288	9,14	13.300	13	2,77
1984-1985	19.116	9.924	9,20	13.196	14	2,57
1985-1986	17.553	10.077	9,22	13.040	15	2,40
1986-1987	7.670	11.148	9,32	12.884	16	2,25
1987-1988	9.288	11.301	9,33	12.270	17	2,12
1988-1989	14.236	11.862	9,38	12.219	18	2,00
1989-1990	19.236	12.219	9,41	11.862	19	1,89
1990-1991	13.664	12.270	9,41	11.301	20	1,80
1991-1992	10.077	12.884	9,46	11.148	21	1,71
1992-1993	9.924	13.040	9,48	10.077	22	1,64
1993-1994	15.454	13.196	9,49	9.924	23	1,57
1994-1995	16.233	13.300	9,50	9.288	24	1,50
1995-1996	13.040	13.664	9,52	9.193	25	1,44
1996-1997	13.196	13.976	9,55	8.488	26	1,38
1997-1998	5.393	14.184	9,56	8.488	27	1,33
1998-1999	8.488	14.236	9,56	8.120	28	1,29
1999-2000	13.976	15.039	9,62	7.670	29	1,24
2000-2001	13.300	15.454	9,65	7.400	30	1,20
2001-2002	15.039	16.233	9,69	7.268	31	1,16
2002-2003	2.873	17.433	9,77	6.784	32	1,13
2004-2005	9.193	17.553	9,77	6.608	33	1,09
2005-2006	12.884	19.116	9,86	5.680	34	1,06
2006-2007	6.784	19.116	9,86	5.393	35	1,03
2007-2008	6.608	19.236	9,86	2.873	36	1,00

TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
2	10.367	10.968
2,33	11.010	11.664
5	14.224	14.689
10	17.142	17.153
15	18.848	18.543
20	20.059	19.516
25	20.998	20.266
50	23.916	22.575
100	26.834	24.867
500	33.608	30.165
1000	36.526	32.442
10000	46.218	40.003

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 parâmetros: $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR-1}{TR}\right)$



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.22 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
 Período de Junho a Dezembro**

Indicadores Estatísticos	
Tot. Anos	36
Máximo	20078,00
Mínimo	4394,00
Média	10209,28
Variância	14391177,81
Dv. Padrão	3793,57
Assimetria	1,06
> Usar Dist. Gumbel	
9 □	6415,71
9 □	3793,57
9	2958,99
9	8501,94

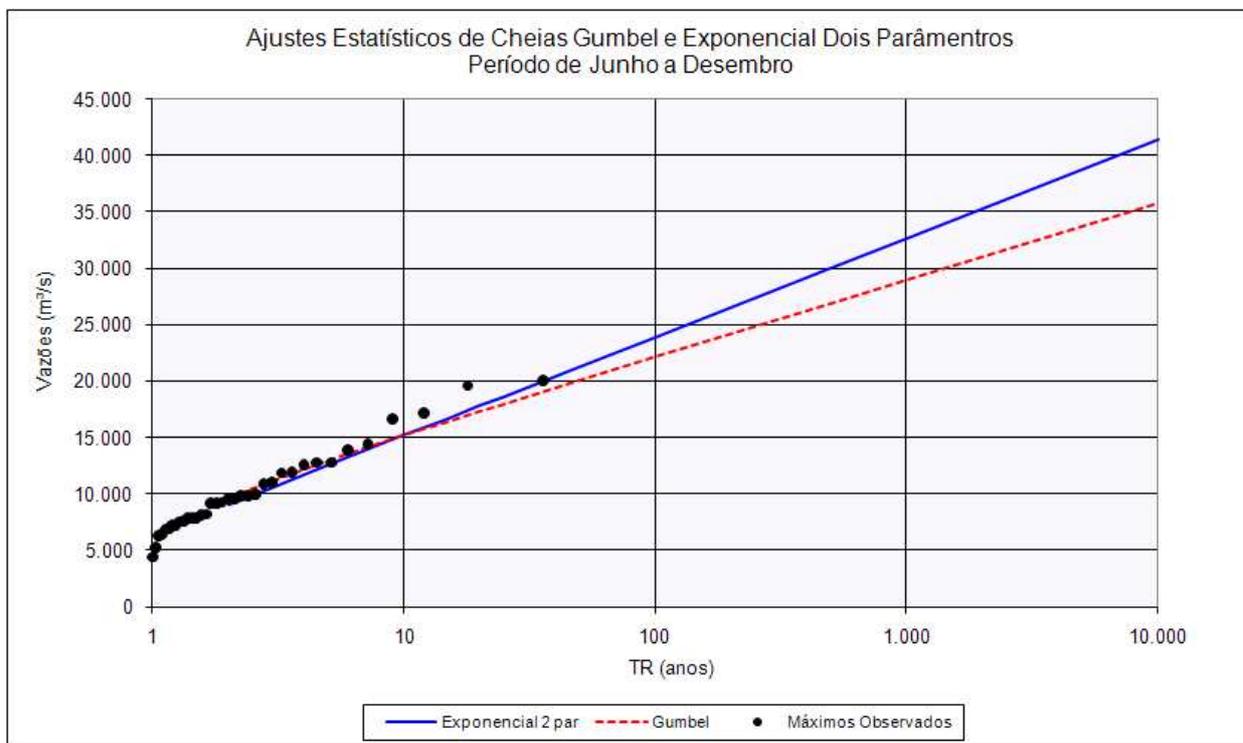
Período Jun-Dez	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR
1971	7.180,00	4394,00	8,39	20.078,00	1	36,00
1972	8.210,00	5270,00	8,57	19.597,00	2	18,00
1973	12.780,00	6305,00	8,75	17.133,00	3	12,00
1974	19.597,00	6434,00	8,77	16.653,00	4	9,00
1975	12.576,00	6828,00	8,83	14.456,00	5	7,20
1976	7.850,00	6960,00	8,85	13.924,00	6	6,00
1977	14.456,00	7180,00	8,88	12.780,00	7	5,14
1978	12.780,00	7180,00	8,88	12.780,00	8	4,50
1979	7.580,00	7535,00	8,93	12.576,00	9	4,00
1980	7.180,00	7580,00	8,93	11.913,00	10	3,60
1981	6.305,00	7850,00	8,97	11.862,00	11	3,27
1982	10.893,00	7850,00	8,97	11.046,00	12	3,00
1983	5.270,00	7895,00	8,97	10.893,00	13	2,77
1984	11.913,00	8165,00	9,01	9.924,00	14	2,57
1985	16.653,00	8210,00	9,01	9.873,00	15	2,40
1986	9.528,00	9146,00	9,12	9.822,00	16	2,25
1987	6.828,00	9146,00	9,12	9.528,00	17	2,12
1988	11.862,00	9240,00	9,13	9.528,00	18	2,00
1989	17.133,00	9528,00	9,16	9.240,00	19	1,89
1990	7.895,00	9528,00	9,16	9.146,00	20	1,80
1991	13.924,00	9822,00	9,19	9.146,00	21	1,71
1992	7.850,00	9873,00	9,20	8.210,00	22	1,64
1993	7.535,00	9924,00	9,20	8.165,00	23	1,57
1994	9.924,00	10893,00	9,30	7.895,00	24	1,50
1995	6.960,00	11046,00	9,31	7.850,00	25	1,44
1996	9.873,00	11862,00	9,38	7.850,00	26	1,38
1997	9.240,00	11913,00	9,39	7.580,00	27	1,33
1998	4.394,00	12576,00	9,44	7.535,00	28	1,29
1999	9.822,00	12780,00	9,46	7.180,00	29	1,24
2000	11.046,00	12780,00	9,46	7.180,00	30	1,20
2001	8.165,00	13924,00	9,54	6.960,00	31	1,16
2002	9.146,00	14456,00	9,58	6.828,00	32	1,13
2004	9.528,00	16653,00	9,72	6.434,00	33	1,09
2005	9.146,00	17133,00	9,75	6.305,00	34	1,06
2006	20.078,00	19597,00	9,88	5.270,00	35	1,03
2007	6.434,00	20078,00	9,91	4.394,00	36	1,00

TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
2	9.045	9.586
2,33	9.625	10.214
5	12.521	12.940
10	15.151	15.161
15	16.689	16.414
20	17.780	17.291
25	18.627	17.966
50	21.256	20.048
100	23.886	22.114
500	29.991	26.888
1000	32.621	28.940
10000	41.356	35.755

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 par. $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR - 1}{TR}\right)$



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.23 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
 Período de Julho a Dezembro**

Indicadores Estatísticos	
Tot. Anos	36
Máximo	17133,00
Mínimo	2873,00
Média	6381,14
Variância	9040220,81
Dv. Padrão	3006,70
Assimetria	1,95
> Usar Dist. Exp. de 2 Par.	
9 □	3374,44
9 □	3006,70
9	2345,22
9	5027,95

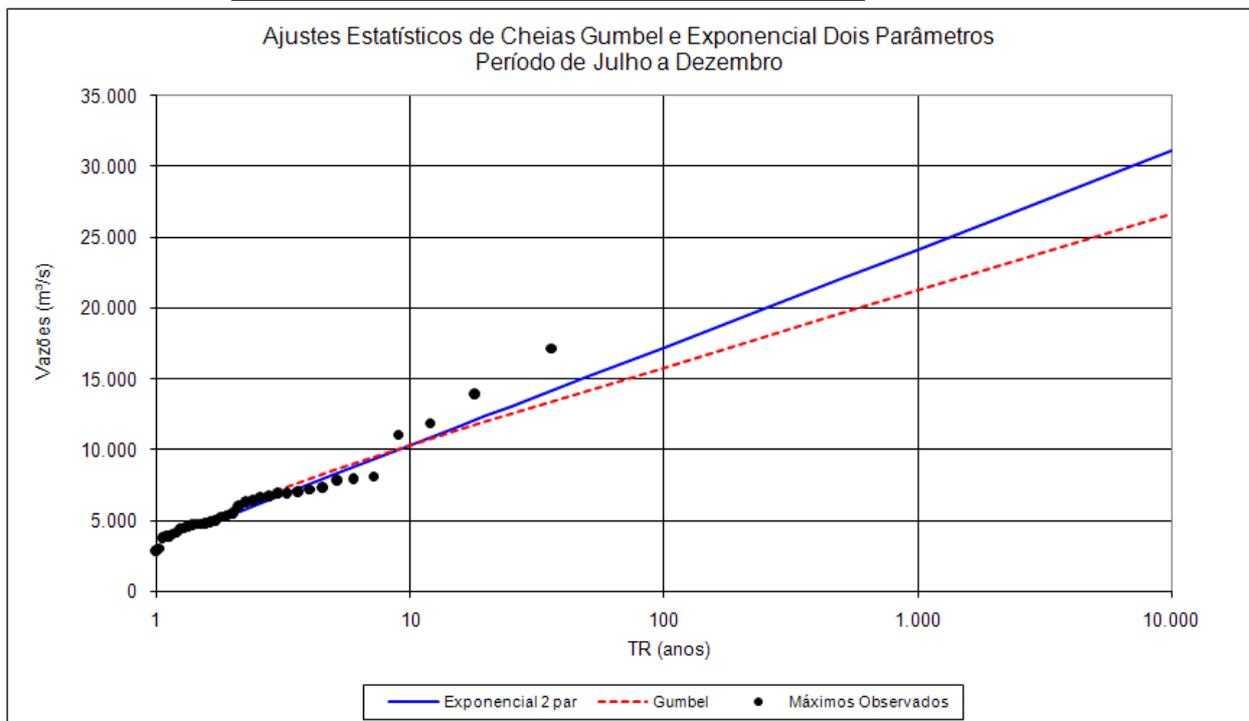
Período Jul-Dez	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR
1971	4.752	2873	7,96	17.133	1	36,00
1972	3.884	3020	8,01	13.924	2	18,00
1973	7.312	3784	8,24	11.862	3	12,00
1974	6.960	3884	8,26	11.046	4	9,00
1975	4.937	3918	8,27	8.120	5	7,20
1976	6.652	4054	8,31	7.940	6	6,00
1977	8.120	4156	8,33	7.850	7	5,14
1978	7.048	4394	8,39	7.312	8	4,50
1979	4.462	4462	8,40	7.180	9	4,00
1980	7.180	4604	8,43	7.048	10	3,60
1981	6.305	4678	8,45	6.960	11	3,27
1982	4.604	4752	8,47	6.960	12	3,00
1983	5.270	4752	8,47	6.740	13	2,77
1984	4.678	4789	8,47	6.652	14	2,57
1985	13.924	4937	8,50	6.434	15	2,40
1986	5.011	5011	8,52	6.305	16	2,25
1987	4.156	5270	8,57	6.049	17	2,12
1988	11.862	5352	8,59	5.516	18	2,00
1989	17.133	5516	8,62	5.352	19	1,89
1990	3.784	6049	8,71	5.270	20	1,80
1991	5.352	6305	8,75	5.011	21	1,71
1992	7.850	6434	8,77	4.937	22	1,64
1993	5.516	6652	8,80	4.789	23	1,57
1994	6.434	6740	8,82	4.752	24	1,50
1995	6.960	6960	8,85	4.752	25	1,44
1996	4.054	6960	8,85	4.678	26	1,38
1997	3.918	7048	8,86	4.604	27	1,33
1998	4.394	7180	8,88	4.462	28	1,29
1999	4.752	7312	8,90	4.394	29	1,24
2000	11.046	7850	8,97	4.156	30	1,20
2001	6.740	7940	8,98	4.054	31	1,16
2002	2.873	8120	9,00	3.918	32	1,13
2004	4.789	11046	9,31	3.884	33	1,09
2005	7.940	11862	9,38	3.784	34	1,06
2006	6.049	13924	9,54	3.020	35	1,03
2007	3.020	17133	9,75	2.873	36	1,00

TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
2	5.459	5.887
2,33	5.918	6.385
5	8.214	8.546
10	10.298	10.306
15	11.517	11.298
20	12.382	11.994
25	13.053	12.529
50	15.137	14.179
100	17.221	15.816
500	22.060	19.600
1000	24.144	21.227
10000	31.067	26.628

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 par. $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR - 1}{TR}\right)$



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.24 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
 Período de Agosto a Dezembro**

Indicadores Estatísticos	
Tot. Anos	36
Máximo	17133,00
Mínimo	2873,00
Média	6179,08
Variância	9482901,51
Dv. Padrão	3079,43
Assimetria	1,96
> Usar Dist. Exp. de 2 Par.	
\bar{q} □	3099,65
\bar{q} □	3079,43
\bar{q}	2401,96
\bar{q}	4793,15

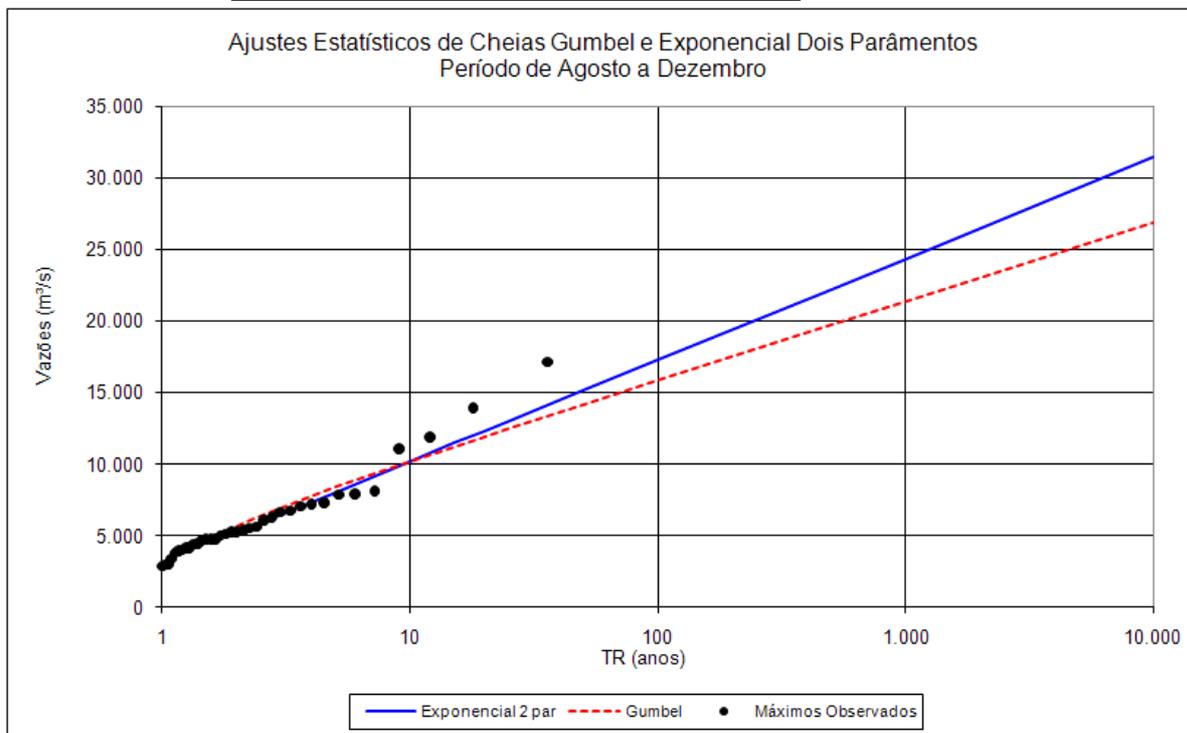
Período Ago-Dez	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR
1971	4.752	2873	7,96	17.133	1	36,00
1972	3.020	2960	7,99	13.924	2	18,00
1973	7.312	3020	8,01	11.862	3	12,00
1974	5.639	3392	8,13	11.046	4	9,00
1975	3.952	3784	8,24	8.120	5	7,20
1976	6.652	3952	8,28	7.940	6	6,00
1977	8.120	3986	8,29	7.850	7	5,14
1978	7.048	4156	8,33	7.312	8	4,50
1979	4.462	4156	8,33	7.180	9	4,00
1980	7.180	4394	8,39	7.048	10	3,60
1981	6.305	4462	8,40	6.740	11	3,27
1982	4.156	4678	8,45	6.652	12	3,00
1983	5.270	4752	8,47	6.305	13	2,77
1984	4.678	4752	8,47	6.049	14	2,57
1985	13.924	4789	8,47	5.639	15	2,40
1986	5.011	5011	8,52	5.516	16	2,25
1987	4.156	5122	8,54	5.352	17	2,12
1988	11.862	5270	8,57	5.270	18	2,00
1989	17.133	5270	8,57	5.270	19	1,89
1990	3.784	5352	8,59	5.122	20	1,80
1991	5.352	5516	8,62	5.011	21	1,71
1992	7.850	5639	8,64	4.789	22	1,64
1993	5.516	6049	8,71	4.752	23	1,57
1994	5.122	6305	8,75	4.752	24	1,50
1995	6.049	6652	8,80	4.678	25	1,44
1996	3.986	6740	8,82	4.462	26	1,38
1997	3.392	7048	8,86	4.394	27	1,33
1998	4.394	7180	8,88	4.156	28	1,29
1999	4.752	7312	8,90	4.156	29	1,24
2000	11.046	7850	8,97	3.986	30	1,20
2001	6.740	7940	8,98	3.952	31	1,16
2002	2.873	8120	9,00	3.784	32	1,13
2004	4.789	11046	9,31	3.392	33	1,09
2005	7.940	11862	9,38	3.020	34	1,06
2006	5.270	13924	9,54	2.960	35	1,03
2007	2.960	17133	9,75	2.873	36	1,00

TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
2	5.234	5.674
2,33	5.704	6.183
5	8.056	8.396
10	10.190	10.198
15	11.439	11.215
20	12.325	11.927
25	13.012	12.476
50	15.146	14.165
100	17.281	15.843
500	22.237	19.718
1000	24.372	21.384
10000	31.462	26.916

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 par.: $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR - 1}{TR}\right)$



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

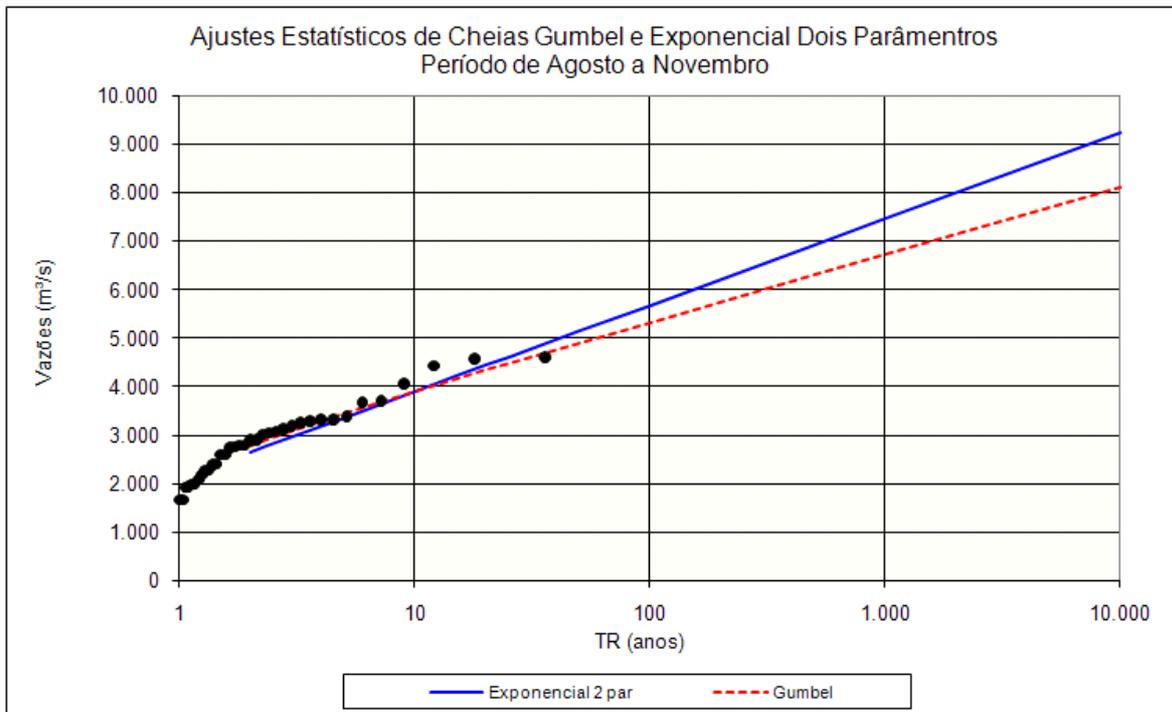
**Tabela 4.25 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
 Período de Agosto a Novembro**

Indicadores Estatísticos	Período Ago-Nov	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR	TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
Tot. Anos	36							2	2.653	2.763
Máximo	4604,00							2,33	2.771	2.891
Mínimo	1670,00							5	3.362	3.448
Média	2890,33							10	3.899	3.901
Variância	599266,11							15	4.213	4.156
Dv. Padrão	774,12							20	4.435	4.335
Assimetria	0,53							25	4.608	4.473
> Usar Dist. Gumbel								50	5.145	4.898
9 □	2116,21							100	5.681	5.320
9 □	774,12							500	6.927	6.294
9	603,82							1000	7.464	6.713
9	2541,93							10000	9.246	8.103
1971		4.428,00	1670,00	7,42	4.604,00	1	36,00			
1972		1.670,00	1670,00	7,42	4.567,00	2	18,00			
1973		3.392,00	1926,00	7,56	4.428,00	3	12,00			
1974		2.790,00	1949,00	7,58	4.054,00	4	9,00			
1975		2.735,00	1995,00	7,60	3.718,00	5	7,20			
1976		3.328,00	1995,00	7,60	3.685,00	6	6,00			
1977		4.054,00	2087,00	7,64	3.392,00	7	5,14			
1978		3.080,00	2185,00	7,69	3.328,00	8	4,50			
1979		3.140,00	2260,00	7,72	3.328,00	9	4,00			
1980		2.763,00	2285,00	7,73	3.296,00	10	3,60			
1981		2.900,00	2387,00	7,78	3.264,00	11	3,27			
1982		2.387,00	2413,00	7,79	3.200,00	12	3,00			
1983		2.900,00	2599,00	7,86	3.140,00	13	2,77			
1984		3.296,00	2599,00	7,86	3.080,00	14	2,57			
1985		3.328,00	2735,00	7,91	3.050,00	15	2,40			
1986		4.604,00	2763,00	7,92	3.020,00	16	2,25			
1987		2.185,00	2790,00	7,93	2.900,00	17	2,12			
1988		3.020,00	2790,00	7,93	2.900,00	18	2,00			
1989		4.567,00	2900,00	7,97	2.790,00	19	1,89			
1990		2.413,00	2900,00	7,97	2.790,00	20	1,80			
1991		2.599,00	3020,00	8,01	2.763,00	21	1,71			
1992		2.599,00	3050,00	8,02	2.735,00	22	1,64			
1993		2.087,00	3080,00	8,03	2.599,00	23	1,57			
1994		2.790,00	3140,00	8,05	2.599,00	24	1,50			
1995		3.050,00	3200,00	8,07	2.413,00	25	1,44			
1996		3.264,00	3264,00	8,09	2.387,00	26	1,38			
1997		1.995,00	3296,00	8,10	2.285,00	27	1,33			
1998		2.260,00	3328,00	8,11	2.260,00	28	1,29			
1999		2.285,00	3328,00	8,11	2.185,00	29	1,24			
2000		3.718,00	3392,00	8,13	2.087,00	30	1,20			
2001		1.995,00	3685,00	8,21	1.995,00	31	1,16			
2002		1.670,00	3718,00	8,22	1.995,00	32	1,13			
2004		3.200,00	4054,00	8,31	1.949,00	33	1,09			
2005		1.949,00	4428,00	8,40	1.926,00	34	1,06			
2006		3.685,00	4567,00	8,43	1.670,00	35	1,03			
2007		1.926,00	4604,00	8,43	1.670,00	36	1,00			

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 par.: $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR-1}{TR}\right)$



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.26 - Ajustes Estatísticos de Cheias Gumbel e Exponencial Dois Parâmetros
 Período de Julho a Novembro**

Indicadores Estatísticos	
Tot. Anos	36
Máximo	7048,00
Mínimo	2260,00
Média	4382,11
Variância	1877273,93
Dv. Padrão	1370,14
Assimetria	0,59
> Usar Dist. Gumbel	
\bar{Q}	3011,97
\bar{Q}^2	1370,14
\bar{Q}	1068,71
\bar{Q}	3765,47

Período Jul-Nov	Qmáx	Vazão Ordenada	Logaritmo	Vazão Decrescente	Nº de Ordem	TR
1971	7.048	2.260	7,72	7.048	1	36,00
1972	6.960	2.572	7,85	6.960	2	18,00
1973	6.960	2.900	7,97	6.960	3	12,00
1974	6.828	2.900	7,97	6.828	4	9,00
1975	6.434	2.930	7,98	6.434	5	7,20
1976	6.049	3.020	8,01	6.049	6	6,00
1977	5.885	3.110	8,04	5.885	7	5,14
1978	5.680	3.140	8,05	5.680	8	4,50
1979	5.270	3.200	8,07	5.270	9	4,00
1980	5.196	3.264	8,09	5.196	10	3,60
1981	4.937	3.296	8,10	4.937	11	3,27
1982	4.826	3.360	8,12	4.826	12	3,00
1983	4.604	3.553	8,18	4.604	13	2,77
1984	4.604	3.718	8,22	4.604	14	2,57
1985	4.530	3.718	8,22	4.530	15	2,40
1986	4.428	3.884	8,26	4.428	16	2,25
1987	4.394	3.918	8,27	4.394	17	2,12
1988	4.326	4.054	8,31	4.326	18	2,00
1989	4.054	4.326	8,37	4.054	19	1,89
1990	3.918	4.394	8,39	3.918	20	1,80
1991	3.884	4.428	8,40	3.884	21	1,71
1992	3.718	4.530	8,42	3.718	22	1,64
1993	3.718	4.604	8,43	3.718	23	1,57
1994	3.553	4.604	8,43	3.553	24	1,50
1995	3.360	4.826	8,48	3.360	25	1,44
1996	3.296	4.937	8,50	3.296	26	1,38
1997	3.264	5.196	8,56	3.264	27	1,33
1998	3.200	5.270	8,57	3.200	28	1,29
1999	3.140	5.680	8,64	3.140	29	1,24
2000	3.110	5.885	8,68	3.110	30	1,20
2001	3.020	6.049	8,71	3.020	31	1,16
2002	2.930	6.434	8,77	2.930	32	1,13
2004	2.900	6.828	8,83	2.900	33	1,09
2005	2.900	6.960	8,85	2.900	34	1,06
2006	2.572	6.960	8,85	2.572	35	1,03
2007	2.260	7.048	8,86	2.260	36	1,00

TR do Ajuste	Exponencial 2 parâmetros*	Gumbel**
2	3.962	4.157
2,33	4.171	4.384
5	5.217	5.368
10	6.167	6.170
15	6.722	6.623
20	7.117	6.940
25	7.422	7.184
50	8.372	7.935
100	9.322	8.682
500	11.527	10.406
1000	12.477	11.147
10000	15.631	13.609

Fórmulas Utilizadas:

*Exponencial 2 par. $Q = \beta_0 - \beta_1 \times \ln\left(\frac{1}{TR}\right)$

**Gumbel: $Q = \mu - \alpha \times \ln\left(\frac{TR-1}{TR}\right)$

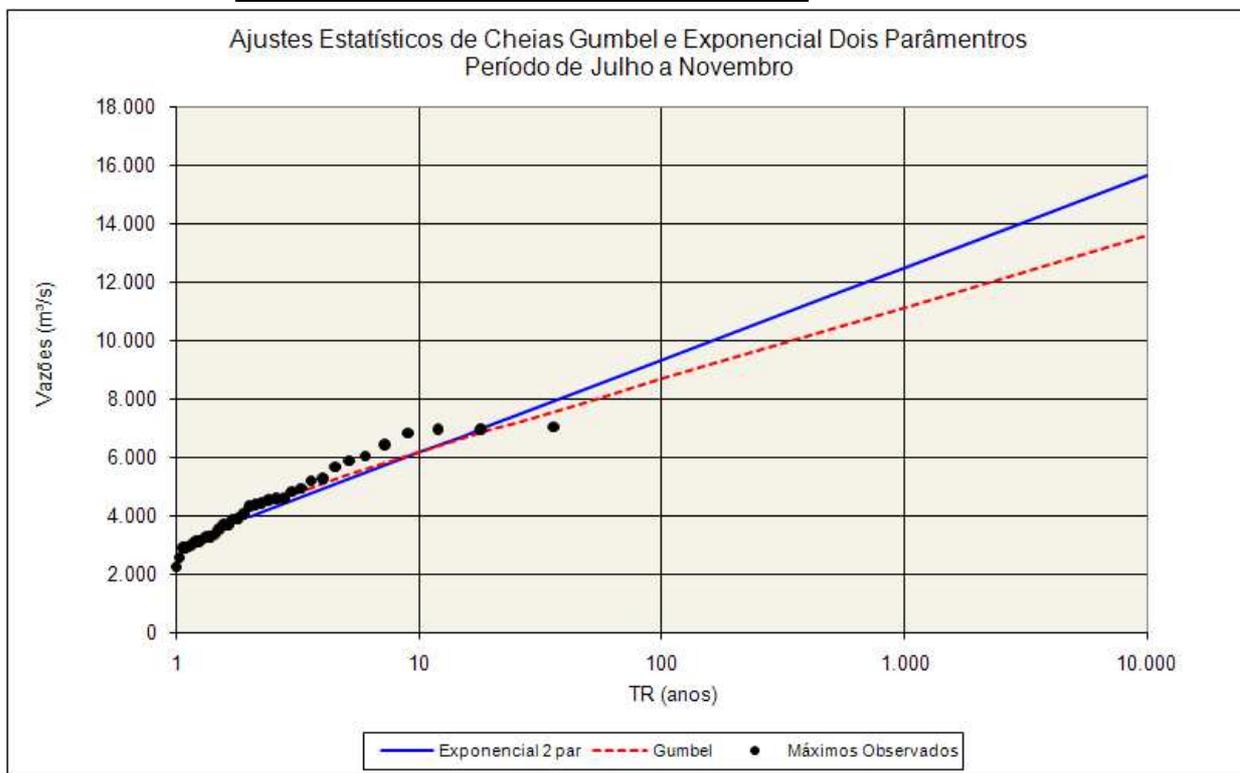


Tabela 4.27 - Vazão de Projeto no Período de Estiagem

TR (anos)	Jun-Jan	Jul-Jan	Jun-Dez	Jul-Dez	Jul-Nov	Ago-Dez	Ago-Nov
2	12.471	10.968	9.586	5.459	4.157	5.234	2.763
5	15.761	14.689	12.940	8.214	5.368	8.056	3.448
10	17.939	17.153	15.161	10.298	6.170	10.190	3.901
15	19.168	18.543	16.414	11.517	6.623	11.439	4.156
20	20.028	19.516	17.291	12.382	6.940	12.325	4.335
25	20.691	20.266	17.966	13.053	7.184	13.012	4.473
50	22.733	22.575	20.048	15.137	7.935	15.146	4.898
100	24.760	24.867	22.114	17.221	8.682	17.281	5.320
500	29.443	30.165	26.888	22.060	10.406	22.237	6.294
1.000	31.456	32.442	28.940	24.144	11.147	24.372	6.713

Vazões Máximas Sítio Belo Monte

A existência de um afluente de porte considerável no trecho do rio Xingu entre o Sítio Pimental e o Sítio Belo Monte faz com que a área de drenagem neste último seja da ordem de 7% maior do que a área de drenagem no Sítio Pimental. Com isso as cheias para dimensionamento das estruturas de desvio e cota do deck da Casa de Força Principal devem considerar este acréscimo de área, sendo determinadas por esta mesma proporção em relação aos valores apresentados na Tabela 4.19 – Cheias Máximas Anuais e na Tabela 4.27 - Vazões de Projeto no Período de Estiagem.

4.2.7 Estudos Sedimentológicos

Os estudos sedimentológicos buscaram estimar o deflúvio sólido médio afluente na região do eixo do barramento, no sítio Pimental, e avaliar a vida útil do aproveitamento Belo Monte. Os desdobramentos relativos à estimativa de transporte sólido são apresentados nesta seção. A vida útil do aproveitamento é analisada no item Reservatório – Vida Útil.

Para determinação da descarga sólida partiu-se, inicialmente, de uma análise da evolução dos estudos sedimentológicos das etapas anteriores ao projeto básico. Em seguida, foram selecionados os dados representativos para compor uma curva-chave de sedimentos para a estação fluviométrica Altamira (18850000).

A partir da curva-chave de sedimentos e do histórico de vazões líquidas médias da estação Altamira, gerou-se uma série de descargas sólidas em suspensão, por meio do qual se obteve o valor médio de deflúvio sólido de sedimentos em suspensão.

UHE BELO MONTE

Estimativas da composição granulométrica de estudos anteriores e valores de descarga sólida total obtidos a partir dos dados da estação Altamira, permitiram avaliar o deflúvio sólido total para estação. Os resultados foram transferidos para a região do eixo por correlação direta de área de drenagem entre a estação e o local do eixo do barramento, no sítio Pimental.

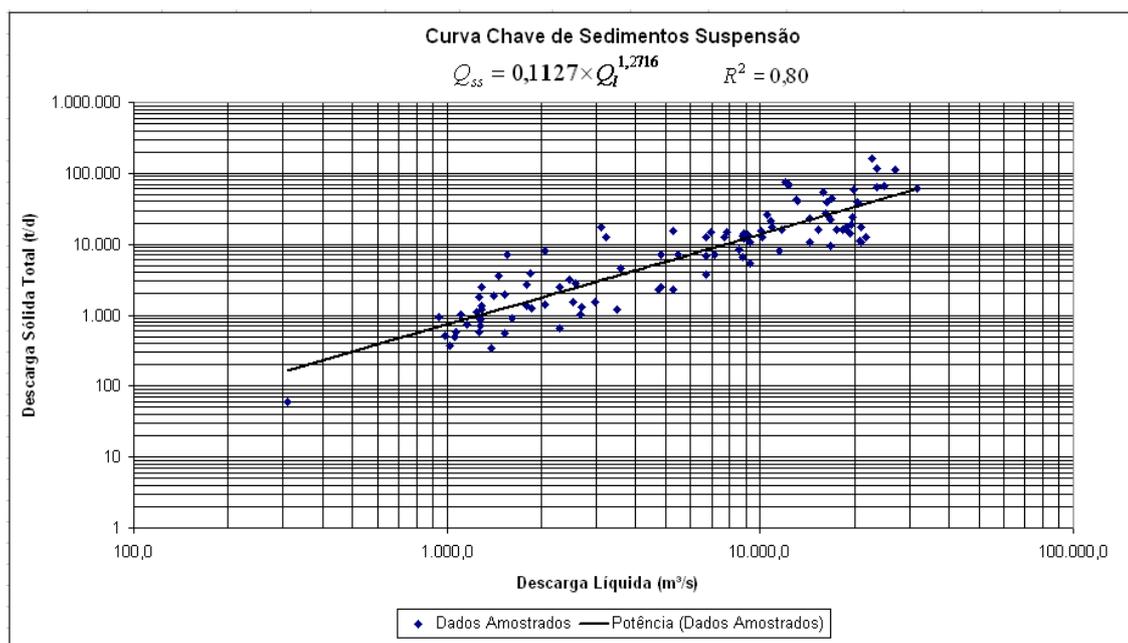
Curva-chave de Sedimentos

A curva-chave de sedimentos apresenta uma equação que relaciona a vazão líquida e a descarga sólida. A curva-chave pode relacionar a vazão líquida com valores de descarga sólida em suspensão, de arraste ou total. Considerando a disponibilidade de dados para o caso em estudo, optou-se pelo traçado da curva-chave para descarga sólida em suspensão com posterior acréscimo da descarga sólida não medida para obtenção do deflúvio sólido total médio.

Para composição da curva-chave de sedimentos em suspensão, na região da estação Altamira, buscou-se a reunião dos dados apresentados na Revisão dos Estudos de Viabilidade e àqueles apresentados pela Agência Nacional de Águas – ANA no site: <http://hidroweb.ana.gov.br/>, para a estação 18850000 – Altamira. Essa comunhão de dados permitiu um período de abrangência compreendido entre os anos de 1984 a 2009.

Com a reunião dos dados da estação Altamira, disponibilizados no Hidroweb e aqueles advindos da campanha de campo da primeira fase dos Estudos de Viabilidade, foi possível abranger o intervalo de vazão líquida entre 309 m³/s e 31.638 m³/s, totalizando 108 dados para composição da curva-chave de sedimentos. Seis dados foram desconsiderados a fim de se melhorar o ajuste da curva. A regressão utilizada foi a de potência, a Figura 4.22 apresenta a curva-chave obtida.

Figura 4.22 - Curva-chave de Sedimentos em Suspensão - Altamira



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Deflúvio Sólido Médio Afluyente

A partir da curva-chave de sedimentos em suspensão para a estação Altamira e da série de vazões líquidas médias disponibilizada no Hidroweb Tabela 4.28), gerou-se uma série de descargas sólidas em suspensão para essa localidade, conforme apresentado na Tabela 4.29.

Tabela 4.28 - Série de Vazões Líquidas (m³/s)– Altamira

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1971	2.516	6.320	9.561	14.097	11.241	6.029	2.675	1.312	750	691	2.643	4.133	5.164
1972	5.518	11.889	16.481	16.882	14.507	5.822	2.682	1.286	848	639	1.090	1.805	6.621
1973	4.327	6.920	14.261	19.624	17.258	7.415	3.658	2.203	1.141	1.418	2.834	5.617	7.223
1974	7.455	15.161	21.549	27.502	25.919	13.396	4.434	2.056	1.444	1.348	1.415	4.044	10.477
1975	7.353	15.283	19.293	20.807	18.000	8.496	3.836	1.865	1.043	733	1.145	2.810	8.389
1976	6.389	10.913	15.358	14.893	11.218	5.508	2.469	1.190	793	985	2.218	5.069	6.417
1977	9.182	15.546	18.470	17.313	19.355	10.036	4.486	1.972	1.172	1.499	3.294	4.838	8.930
1978	15.641	16.065	25.555	22.743	17.434	9.402	4.169	2.353	1.433	1.461	1.957	3.924	10.178
1979	8.644	18.255	24.493	17.963	11.205	5.092	2.409	1.447	1.390	1.451	1.981	3.339	8.139
1980	8.237	15.502	30.122	21.504	10.483	4.361	2.264	1.409	1.069	1.116	1.571	4.115	8.479
1981	10.321	15.439	12.503	16.853	9.651	4.051	2.099	1.394	1.096	962	1.749	5.282	6.783
1982	10.061	23.230	28.238	21.655	17.426	7.165	3.369	1.838	1.313	1.848	1.984	2.718	10.070
1983	6.242	15.055	16.566	16.866	7.518	3.697	2.031	1.351	1.064	1.186	2.337	3.927	6.487
1984	6.829	9.538	13.498	19.347	19.051	7.497	3.079	1.576	1.299	1.371	2.555	3.377	7.418
1985	9.663	22.511	24.793	22.800	23.191	9.495	4.050	2.126	1.328	1.344	2.666	6.743	10.893
1986	16.286	18.712	22.519	20.663	14.722	6.649	3.300	1.839	1.421	2.140	4.036	4.283	9.714
1987	7.043	8.610	17.081	17.804	10.565	4.575	2.257	1.350	1.032	1.163	1.446	2.977	6.325
1988	7.181	10.404	19.225	20.765	16.648	7.302	3.275	1.640	1.111	1.153	2.136	7.102	8.162
1989	13.323	14.077	20.074	21.847	13.261	8.725	4.436	2.280	1.525	1.404	2.998	9.752	9.475
1990	17.902	13.529	22.197	18.090	10.771	5.277	2.750	1.868	1.246	1.353	1.873	2.853	8.309
1991	7.577	15.891	16.940	23.135	18.015	9.095	3.682	1.855	1.182	1.227	1.872	3.534	8.667
1992	6.733	14.043	17.492	19.102	11.653	4.860	2.346	1.446	1.190	1.496	2.063	5.350	7.315
1993	9.209	11.094	19.486	16.048	10.998	4.917	2.365	1.414	1.307	1.344	1.809	2.985	6.915
1994	11.077	18.056	23.417	22.479	15.377	7.173	4.390	2.105	1.453	1.353	1.507	3.588	9.331
1995	11.984	17.585	20.309	20.995	21.423	12.150	4.710	2.253	1.362	1.197	1.504	4.300	9.981
1996	10.432	12.325	16.189	18.013	16.666	6.679	2.932	1.624	1.146	1.125	1.959	3.590	7.723
1997	7.353	15.047	15.976	22.748	16.711	6.114	2.865	1.598	1.172	1.179	1.276	1.946	7.832
1998	3.720	5.653	9.861	9.817	6.587	2.872	1.417	908	708	715	1.378	3.643	3.940
1999	6.867	7.992	13.361	12.416	11.274	5.594	2.225	1.100	778	901	1.373	3.049	5.578
2000	10.616	15.929	21.950	22.018	13.570	5.413	2.830	1.668	1.173	1.528	2.656	6.305	8.805
2001	11.276	13.342	16.993	18.449	10.821	6.403	3.042	1.498	1.034	1.000	1.584	4.223	7.472
2002	11.531	12.380	12.036	13.045	7.547	4.362	1.830	1.157	807	876	1.391	1.980	5.745
2003	1.128	3.949	13.045	19.154	10.476	3.693	2.354	2.277	1.129	1.140	2.313	5.174	5.486
2004	7.960	12.997	28.146	27.629	14.682	6.680	3.296	1.888	1.363	1.309	2.439	3.688	9.340
2005	6.756	12.278	20.565	22.833	14.444	5.836	2.697	1.408	1.012	1.100	1.390	4.172	7.874
2006	11.073	13.194	19.541	25.057	24.532	11.763	4.102	2.041	1.168	1.234	2.652	3.878	10.020
2007	6.009	13.241	20.830	17.253	9.917	4.870	2.267	1.442	956	868	1.050	2.257	6.747
2008	4.780	11.454	19.614	24.059	16.387	6.836	2.766	1.502	1.068	1.212	1.233	4.118	7.919
Média	8.687	13.458	18.864	19.465	14.436	6.715	3.056	1.677	1.148	1.212	2.004	4.118	7.904
Máxima	17.902	23.230	30.122	27.629	25.919	13.396	4.710	2.353	1.525	2.140	4.036	9.752	7.976
Minima	1.128	3.949	9.561	9.817	6.587	2.872	1.417	908	708	639	1.050	1.805	8.011

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.29 - Série de Descarga Sólida Média em Suspensão – Altamira

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd (t/ano)
1971	2.378	7.672	12.988	21.279	15.956	7.226	2.571	1.039	510	460	2.532	4.471	2.405.414
1972	6.456	17.135	25.956	26.762	22.069	6.912	2.580	1.013	597	416	821	1.559	3.415.044
1973	4.739	8.610	21.594	32.407	27.522	9.401	3.828	2.009	870	1.147	2.767	6.604	3.695.535
1974	9.465	23.342	36.501	49.776	46.162	19.943	4.889	1.840	1.174	1.076	1.144	4.349	6.072.971
1975	9.301	23.581	31.713	34.911	29.035	11.177	4.066	1.625	776	496	874	2.737	4.571.388
1976	7.779	15.366	23.728	22.819	15.915	6.441	2.322	918	548	722	2.026	5.796	3.174.865
1977	12.337	24.098	30.003	27.634	31.843	13.814	4.962	1.745	900	1.231	3.350	5.462	4.786.900
1978	24.286	25.126	45.339	39.092	27.879	12.714	4.520	2.184	1.163	1.191	1.728	4.185	5.761.137
1979	11.425	29.559	42.957	28.960	15.891	5.829	2.250	1.177	1.118	1.181	1.755	3.408	4.425.960
1980	10.745	24.012	55.882	36.405	14.601	4.787	2.080	1.138	801	846	1.307	4.446	4.776.862
1981	14.314	23.888	18.268	26.703	13.143	4.358	1.889	1.122	827	700	1.498	6.107	3.431.546
1982	13.857	40.160	51.476	36.730	27.863	8.999	3.447	1.595	1.040	1.606	1.758	2.624	5.814.363
1983	7.552	23.135	26.126	26.730	9.567	3.880	1.811	1.079	796	914	2.165	4.189	3.283.295
1984	8.466	12.948	20.136	31.826	31.208	9.533	3.075	1.312	1.026	1.099	2.425	3.458	3.848.079
1985	13.164	38.586	43.627	39.217	40.074	12.874	4.357	1.920	1.055	1.072	2.560	8.331	6.291.263
1986	25.566	30.504	38.603	34.604	22.486	8.184	3.358	1.596	1.150	1.936	4.338	4.678	5.383.827
1987	8.805	11.368	27.164	28.634	14.746	5.087	2.071	1.078	766	891	1.176	2.946	3.185.587
1988	9.025	14.461	31.571	34.821	26.291	9.219	3.326	1.380	841	882	1.931	8.899	4.338.841
1989	19.805	21.241	33.354	37.145	19.688	11.561	4.891	2.098	1.258	1.133	2.972	13.319	5.124.125
1990	28.835	20.195	37.903	29.220	15.113	6.100	2.663	1.629	973	1.081	1.634	2.791	4.505.771
1991	9.663	24.780	26.879	39.951	29.066	12.188	3.860	1.614	910	954	1.633	3.664	4.719.512
1992	8.315	21.176	27.997	31.314	16.703	5.494	2.176	1.176	918	1.228	1.848	6.207	3.788.461
1993	12.383	15.691	32.117	25.092	15.519	5.576	2.198	1.143	1.034	1.072	1.563	2.956	3.538.785
1994	15.661	29.150	40.571	38.516	23.766	9.012	4.827	1.896	1.183	1.081	1.239	3.735	5.190.222
1995	17.309	28.187	33.852	35.312	36.230	17.615	5.279	2.067	1.090	925	1.236	4.702	5.590.668
1996	14.510	17.938	25.373	29.062	26.327	8.231	2.889	1.363	875	855	1.730	3.738	4.042.076
1997	9.301	23.119	24.949	39.103	26.418	7.356	2.805	1.335	900	907	1.003	1.716	4.225.241
1998	3.910	6.658	13.508	13.431	8.087	2.814	1.146	651	474	480	1.106	3.808	1.705.576
1999	8.526	10.340	19.877	18.106	16.016	6.569	2.034	831	535	644	1.101	3.037	2.664.989
2000	14.837	24.856	37.367	37.515	20.273	6.300	2.762	1.410	901	1.261	2.548	7.649	4.796.069
2001	16.019	19.841	26.986	29.960	15.202	7.800	3.028	1.230	768	736	1.320	4.595	3.877.639
2002	16.481	18.040	17.405	19.281	9.614	4.788	1.587	886	560	622	1.119	1.754	2.802.453
2003	858	4.219	19.281	31.423	14.588	3.874	2.185	2.095	858	869	2.137	5.949	2.686.895
2004	10.288	19.191	51.263	50.068	22.408	8.232	3.353	1.651	1.091	1.036	2.286	3.868	5.314.833
2005	8.351	17.851	34.395	39.289	21.947	6.933	2.598	1.137	747	831	1.118	4.524	4.249.873
2006	15.654	19.561	32.232	44.218	43.044	16.904	4.428	1.823	896	961	2.543	4.123	5.669.280
2007	7.195	19.650	34.960	27.512	13.606	5.508	2.083	1.172	695	615	783	2.071	3.523.742
2008	5.379	16.342	32.386	41.991	25.768	8.477	2.683	1.234	800	940	960	4.450	4.301.188
Méd	11.656	20.305	31.218	32.548	22.411	8.466	3.076	1.427	880	950	1.790	4.550	4.236.323
Máx	28.835	40.160	55.882	50.068	46.162	19.943	5.279	2.184	1.258	1.936	4.338	13.319	20.396.959
Min	858	4.219	12.988	13.431	8.087	2.814	1.146	651	474	416	783	1.559	4.902.493

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

O valor médio de descarga sólida em suspensão estimado para Altamira foi de 4.236.323 t/ano. Nos Estudos de Viabilidade assumiu-se um percentual de 30%, correspondente ao transporte sólido não medido, que inclui a descarga sólida de arraste mais os sedimentos da zona não amostrada.

Os valores de descarga sólida não medida obtida a partir dos dados do Hidroweb para a estação Altamira apresenta um valor médio da ordem de 40% (ver Tabela 4.30).

Assim, tomando a média entre os dois valores, adota-se o percentual de 35% para a descarga sólida não medida. O percentual de descarga sólida em suspensão seria de 65%, o que permite estimar a descarga sólida total para a estação de Altamira na ordem de 6.517.420 t/ano.

A proximidade entre a estação Altamira e a região do eixo do aproveitamento Belo Monte, permite assumir que o valor de deflúvio sólido na estação de Altamira seria representativo para o eixo do aproveitamento. De qualquer forma, transportando o valor do deflúvio médio total em Altamira por simples correlação por área de drenagem para a região do eixo do sítio Pimental, têm-se uma descarga sólida total média de 6.539.563 t/ano. A Tabela 4.31 resume os resultados obtidos.

Tabela 4.30 - Descarga Sólida – Dados Hidroweb

Data da Medição da Vazão Líquida	Vazão (m³/s)	Concentração Média (mg/l)	Vazão Sólida em Suspensão (t/dia)	Vazão Sólida Total (Colby) (t/dia)	Vazão Sólida Não Medida (t/dia)	Vazão Sólida Não Medida (%)
13/12/1997	2.059	40,7	7.244	8.147	903	11,08%
14/8/1998	944	9,8	802	930	128	13,76%
18/11/1998	1.157	6	604	724	120	16,57%
25/1/1999	8.532	5	3.686	8.332	4.646	55,76%
19/4/1999	11.533	2,4	2.421	7.933	5.512	69,48%
25/10/1999	1.283	5	554	701	147	20,97%
16/1/2000	10.782	12,7	11.850	21.433	9.583	44,71%
19/4/2000	20.421	9,1	16.038	38.959	22.921	58,83%
31/7/2000	3.587	9,9	3.068	4.641	1.573	33,89%
25/10/2000	1.108	9,5	910	1.036	126	12,16%
23/1/2001	13.083	21,4	24.167	43.105	18.938	43,93%
18/7/2001	2.671	2,6	602	1.002	400	39,92%
26/10/2001	1.105	9,7	924	1.041	117	11,24%
28/1/2002	16.863	14,9	21.709	44.575	22.866	51,30%
3/5/2002	8.780	3,7	2.814	6.549	3.735	57,03%
19/8/2002	1.625	0,1	10	46	36	78,26%
9/12/2002	2.351	8,4	1.706	56.601	54.895	96,99%
11/11/2003	2.573	9,8	2.167	2.855	688	24,10%
13/7/2005	3.484	2	602	1.211	609	50,29%
29/11/2005	1.792	7	1.084	1.360	276	20,29%
31/3/2006	31.638	8,2	22.442	60.831	38.389	63,11%
23/8/2006	1.862	6,1	981	1.256	275	21,89%
23/10/2006	1.387	1,9	233	338	105	31,07%
1/2/2007	6.963	15,3	9.192	14.736	5.544	37,62%

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Data da Medição da Vazão Líquida	Vazão (m³/s)	Concentração Média (mg/l)	Vazão Sólida em Suspensão (t/dia)	Vazão Sólida Total (Colby) (t/dia)	Vazão Sólida Não Medida (t/dia)	Vazão Sólida Não Medida (%)
22/11/2007	1.070	5,3	494	572	78	13,64%
22/2/2008	16.355	13,8	19.444	39.769	20.325	51,11%
13/5/2008	20.682	8,6	15.427	37.314	21.887	58,66%
2/10/2008	309	2,1	55	59	4	6,78%
12/6/2009	16.153	7,4	10.385	26.967	16.582	61,49%
4/1/1984	5.283	29,4	13.411	15.482	2.071	13,38%
28/2/1984	12.194	44,1	46.462	72.999	26.537	36,35%
20/3/1984	12.316	40,4	43.022	69.099	26.077	37,74%
2/5/1984	24.983	13,4	28.816	66.363	37.547	56,58%
5/6/1984	10.059	7,7	6.666	15.677	9.011	57,48%
27/7/1984	2.256	104,1	20.291	22.177	1.886	8,50%
22/8/1984	1.433	98	12.133	12.955	822	6,35%
16/10/1984	1.560	46,8	6.308	7.053	745	10,56%
14/11/1984	3.212	37	10.257	12.781	2.524	19,75%
27/2/1985	22.798	47,2	92.874	163.689	70.815	43,26%
22/3/1985	27.035	23,2	54.238	114.160	59.922	52,49%
2/4/1985	23.693	30,6	62.538	115.289	52.751	45,76%
4/5/1985	23.543	12,2	24.857	64.042	39.185	61,19%
5/6/1985	11.995	46,9	48.554	76.006	27.452	36,12%
20/8/1985	1.839	20,7	3.286	3.953	667	16,87%
11/10/1985	919	139,2	11.053	11.441	388	3,39%
25/11/1985	3.105	54,4	14.581	17.417	2.836	16,28%
23/3/1992	16.482	6,6	9.356	24.740	15.384	62,18%
23/2/1993	15.904	20	27.482	54.989	27.507	50,02%
16/9/1993	1.341	4,6	535	26.112	25.577	97,95%
21/3/1995	19.877	16	27.478	59.522	32.044	53,84%
12/7/1995	4.831	10,6	4.424	7.215	2.791	38,68%
1/11/1995	1.293	9,1	1.021	1.197	176	14,70%
25/1/1996	13.167	19,9	22.650	40.950	18.300	44,69%
22/6/1996	5.467	9,3	4.398	7.170	2.772	38,66%
6/11/1996	1.524	12,3	1.624	1.914	290	15,15%
					Média	38,07%

Tabela 4.31 - Resumos de Descarga Sólida

Estação Altamira		Belo Monte	
Parâmetro	Valor Estimado	Parâmetro	Valor Estimado
Q (m³/s)	7.904	Q (m³/s)	8.046
Qss (t/dia)	11.606	Qss (t/dia)	11.646
Qss (t/ano)	4.236.323	Qss (t/ano)	4.250.716
Qst (t/dia)	17.856	Qst (t/dia)	17.917
Qst (t/ano)	6.517.420	Qst (t/ano)	6.539.563
Área de Drenagem (km²)	446.203	Área de Drenagem (km²)	447.719
Q esp. (l/(s km²))	17,71	Q esp. (l/(s km²))	17,97
Qss esp. (t/(ano km²))	9,49	Qss esp. (t/(ano km²))	9,49
Qst esp. (t/(ano km²))	14,61	Qst esp. (t/(ano km²))	14,61
Css (mg/L)	17,00	Css (mg/L)	16,75

4.2.8 Reservatório

Curvas Cota x Área x Volume

As áreas em projeção correspondentes às diferentes cotas do espelho d'água do reservatório foram obtidas a partir de restituição aerofotogramétrica da região. Os volumes para cada intervalo de elevação foram obtidos por meio da equação para o volume de tronco de pirâmides.

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_i + A_{i+1} + \sqrt{(A_i \cdot A_{i+1})})$$

onde,

V – Volume entre duas curvas de nível

h- Diferença entre duas cotas de curva de nível

A_i – Área da superfície plana na cota i

A_{i+1} – Área da superfície plana na cota i+1

A Tabela 4.32 apresenta os pontos notáveis da curva Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Belo Monte e a Figura 4.23 apresenta o gráfico.

Tabela 4.32 - Curva Cota x Área e Cota x Volume – UHE Belo Monte

Cota(m)	Área (km ²)	Volume (10 ⁶ m ³)
60	4,8	96,2
65	12,8	138,5
70	20,8	221,6
75	25,6	337,2
80	52,8	529,0
85	150,8	1.017,0
90	281,5	2.080,8
95	433,3	3.854,1
97	516,0	4.802,3
100	663,2	6.566,4

Figura 4.23 - Curva Cota x Área e Cota x Volume – UHE Belo Monte

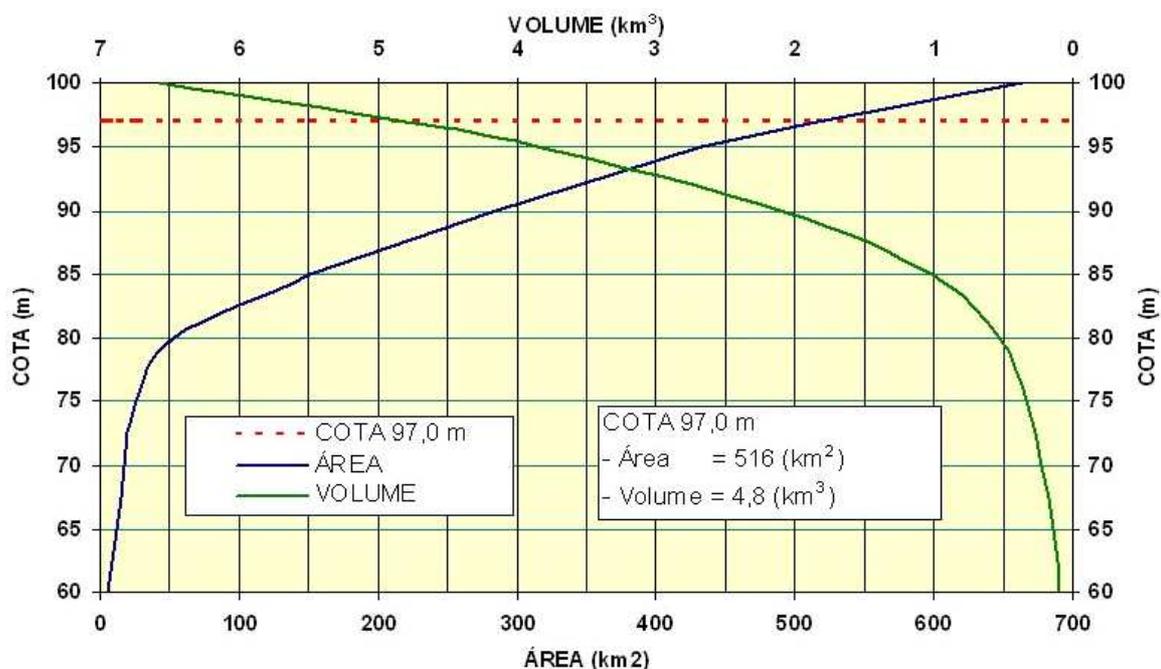


Tabela 4.33 - Polinômios Característicos (PCA, PVC)

	A0	A1	A2	A3	A4
PVC	7,7375740E+01	9,3580760E-03	-2,0985530E-06	2,7902820E-10	-1,4706120E-14
PCA	2,0366490E+05	-9,2695630E+03	1,5784300E+02	-1,1938410E+00	3,3936620E-03

PVC: Polinômio Volume x Cota

PCA: Polinômio Cota x Área

Polinômio: $y = A0 + A1 \cdot X + A2 \cdot X^2 + A3 \cdot X^3 + A4 \cdot X^4$

UHE BELO MONTE

Tempo de Enchimento

Para a UHE Belo Monte avaliou-se o enchimento do reservatório principal, referente ao barramento do sítio Pimental, até a EI 97,0 (Nível Máximo Normal), cujo volume é da ordem de 2.510 milhões de m³.

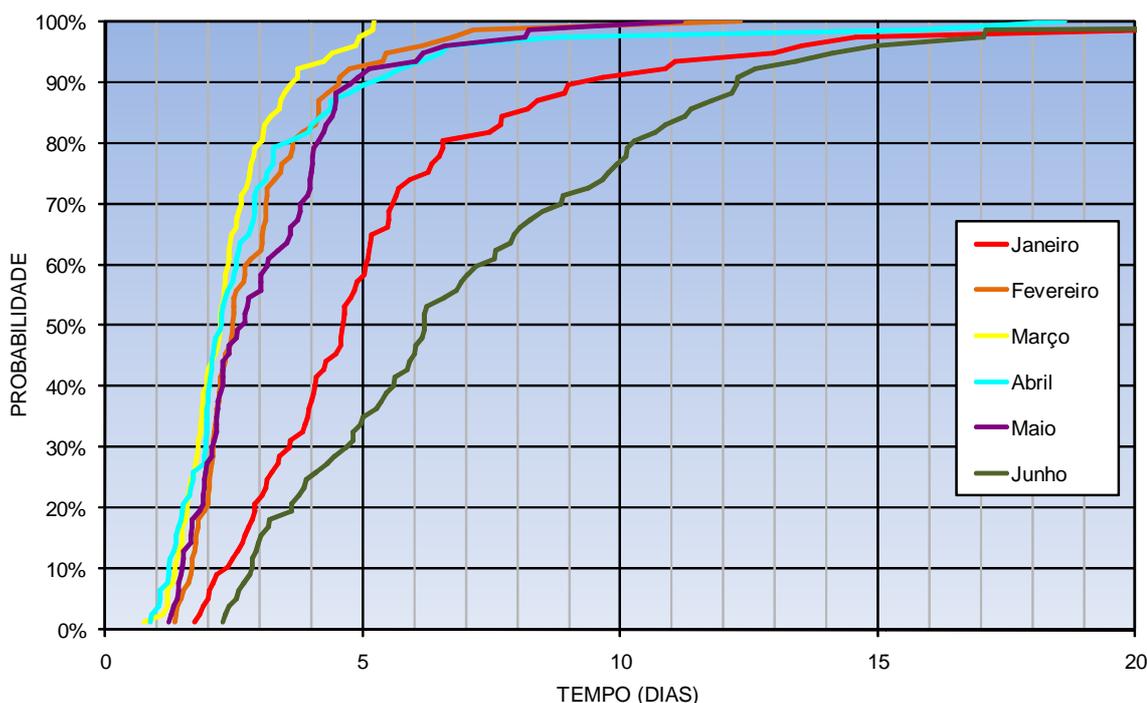
Para a realização deste estudo utilizou-se a série de vazões médias mensais publicada apresentada na Tabela 4.10, compreendendo o período de 1931 a 2008, descontando-se as vazões médias a serem mantidas no trecho de vazão reduzida (Tabela 4.12 – Hidrograma B), bem como a vazão destinada aos usos consuntivos a montante igual a 4,5 m³/s. A partir das novas vazões médias mensais obteve-se o tempo, em dias, para o enchimento do reservatório para as permanências de 10%, 50% e 95% (Tabela 4.34).

Tabela 4.34 – Reservatório Principal - Tempos de Enchimento até EI.97,0 (Dias)

Perman.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
10%	2,4	1,7	1,3	1,2	1,5	2,9	9,9	23,7	43,1	33,0	15,5	38,0
50%	4,6	2,5	2,2	2,3	2,7	6,2	18,6	58,6	67,4	45,6	28,2	45,8
95%	13,0	5,4	4,4	6,5	6,2	14,1	40,0	126,0	98,6	73,1	44,1	63,2

Por determinação da ANA, conforme disposição do art. 5º, inciso IV, da Resolução nº 740, de 2009, o início do reservatório deverá ocorrer entre os meses de janeiro a junho. A Figura 4.24 apresenta graficamente o tempo de enchimento para esses meses.

Figura 4.24 - Tempos de Enchimento do Reservatório Principal– Janeiro a Junho



UHE BELO MONTE

O enchimento do Reservatório Intermediário deverá ocorrer um ano após a conclusão do enchimento do Reservatório Principal. Considerando que este reservatório possui um volume da ordem de 2.230 milhões de m³, o que corresponde a 89% do volume total do Reservatório Principal, os tempos de enchimento do Reservatório Intermediário podem ser avaliados aplicando-se esta relação aos valores apresentados na Tabela 4.34.

Vida Útil

O estudo de vida útil teve como objetivo avaliar o assoreamento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Belo Monte e estimar o tempo necessário para os depósitos de sedimentos atingirem a cota da soleira da tomada d'água, sugerindo-se medidas preventivas para garantir a vida útil de cerca de 100 anos.

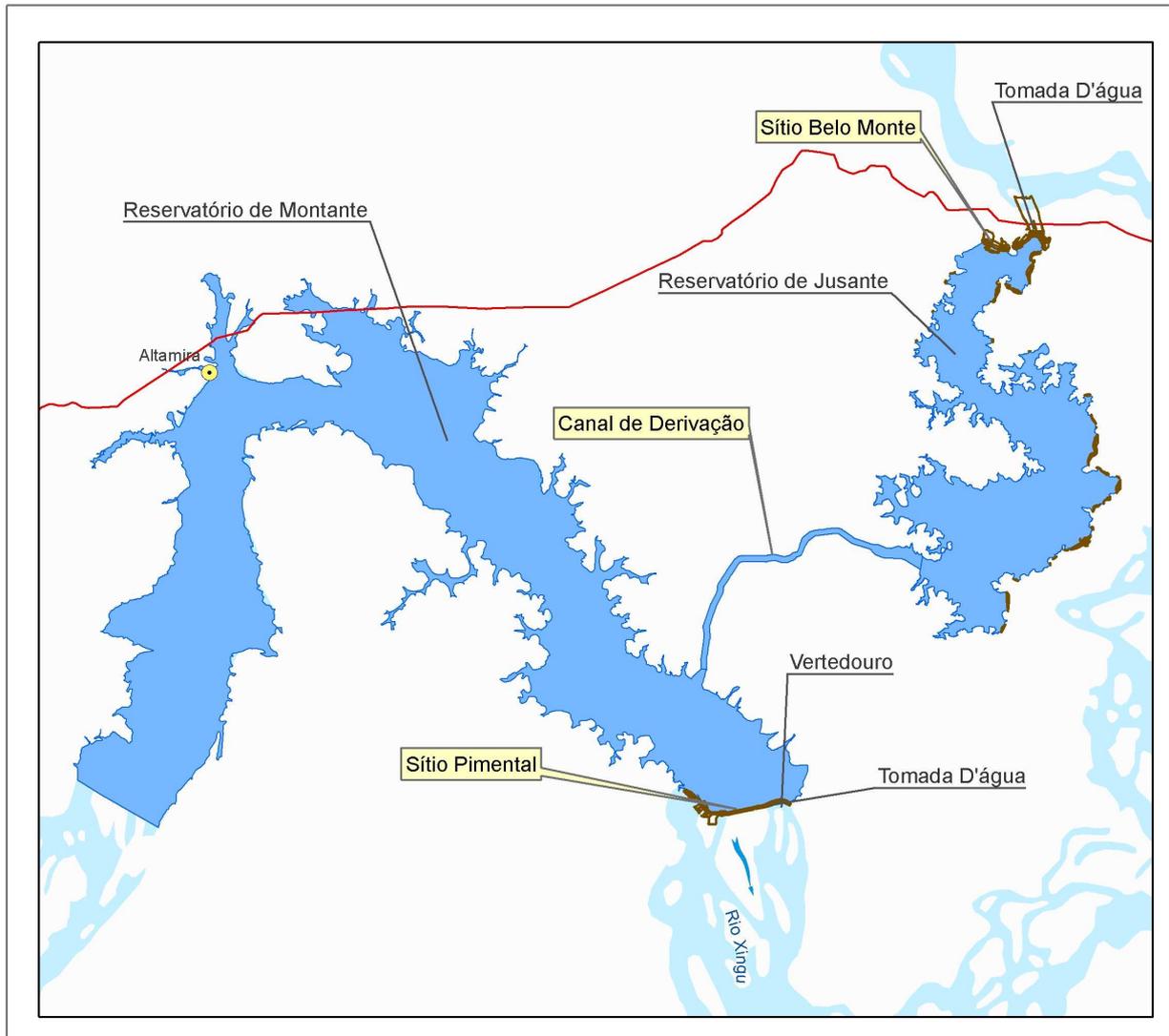
a) Características Gerais do reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte

O arranjo da Usina Hidrelétrica Belo Monte apresenta uma configuração peculiar que permite a consideração de dois volumes de reservação. O primeiro reservatório, de maior volume, é formado pela ocorrência do barramento principal situado no Sítio Pimental. Neste eixo há a presença do Vertedouro, com vãos controlados por comportas do tipo segmento assentadas sobre ogivas rebaixadas. A cota do canal de aproximação está na elevação 66,00 m e a cota da crista da ogiva é fixada na elevação 75,20 m. Interligada ao vertedouro, por um muro de ligação, está a casa de força do sítio Pimental, com turbinas Bulbo. A tomada d'água é do tipo integrada à casa de força, possui cota de soleira na altura 65,84 m e canal de adução na entrada da tomada d'água arrasado, aproximadamente, na elevação 64,34 m.

Interligando o reservatório principal ao segundo volume de reservação há um canal de derivação de cerca de 16,5 km de extensão. O canal será segmentado em vários trechos com larguras e cotas de fundo variáveis ao longo do seu desenvolvimento. Na parte de montante do canal, junto ao rio Xingu, a cota de fundo do canal está situada na elevação de 87 m.

O segundo reservatório é barrado pelo eixo situado no sítio Belo Monte, onde se localiza a Casa de Força Principal, com turbinas do tipo Francis. A Tomada de Água é do tipo gravidade e apresenta cota de soleira na elevação 64,50 m. A cota de fundo do canal de adução na entrada da Toma de Água é de aproximadamente 37 m.

Figura 4.25 - Croqui do Arranjo Geral da Usina Hidrelétrica Belo Monte



A Tabela 4.35 apresenta os valores adotados para as cotas características.

Tabela 4.35 - Cotas Características

Elemento	Cota (m)
N.A. máximo normal	97,00
Fundo Canal de Derivação	87,00
Soleira Vertedouro- sítio Pimental	75,20
Soleira Tomada D'água- sítio Pimental	65,84
Soleira Tomada D'água- sítio Belo Monte	64,50
Fundo Reservatório Principal	65,00
Fundo Reservatório Intermediário	30,00

Conforme adotado nos Estudos de Viabilidade, o reservatório com maior volume de reservação, delimitado pelo eixo do sítio Pimental será designado reservatório de montante Rm. O Reservatório Intermediário, com menor volume, será denominado reservatório de jusante Rj.

Ainda conforme considerado na revisão dos estudos de Viabilidade, a vazão média derivada para os canais que conduzirão o fluxo para o Reservatório Intermediário, em direção à Casa de Força do sítio Belo Monte, será tomada como 70% do valor total que chega ao reservatório de montante, enquanto 30% seguirá em direção à Tomada de Água do sítio Pimental, que manterá a vazão sanitária na alça que configura a chamada volta grande do rio Xingu.

O volume total que engloba ambos os reservatórios foi adotado conforme curva cota x área x volume apresentada no item Reservatório – Cota x Área x Volume. Para os reservatórios separadamente foram calculados volumes de forma independente a partir das curvas de nível da restituição aerofotogramétrica com o software ARC-GIZ.

b) Aspectos Metodológicos

As metodologias tradicionais empregadas em estudos de assoreamento de reservatórios não consideram todas as particularidades do reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte. Dessa forma, a análise desenvolvida buscou adequar as metodologias tradicionais às características do reservatório em questão, de forma similar à abordagem realizada na Revisão dos Estudos de Viabilidade.

Foram incluídas considerações a respeito da Tomada de Água da Casa de Força do sítio Pimental. A análise considerou, também, parâmetros tais como a descarga sólida total, o peso específico dos sedimentos e a eficiência de retenção variável ao longo do tempo.

A avaliação concebeu abordagens similares àquelas tomadas na Revisão dos Estudos de Viabilidade, com alguns ajustes, resultando em duas hipóteses:

Hipótese 1: Os volumes de ambos os reservatórios foram sobrepostos, considerando-se um único volume de reservação. Dessa forma, a eficiência de

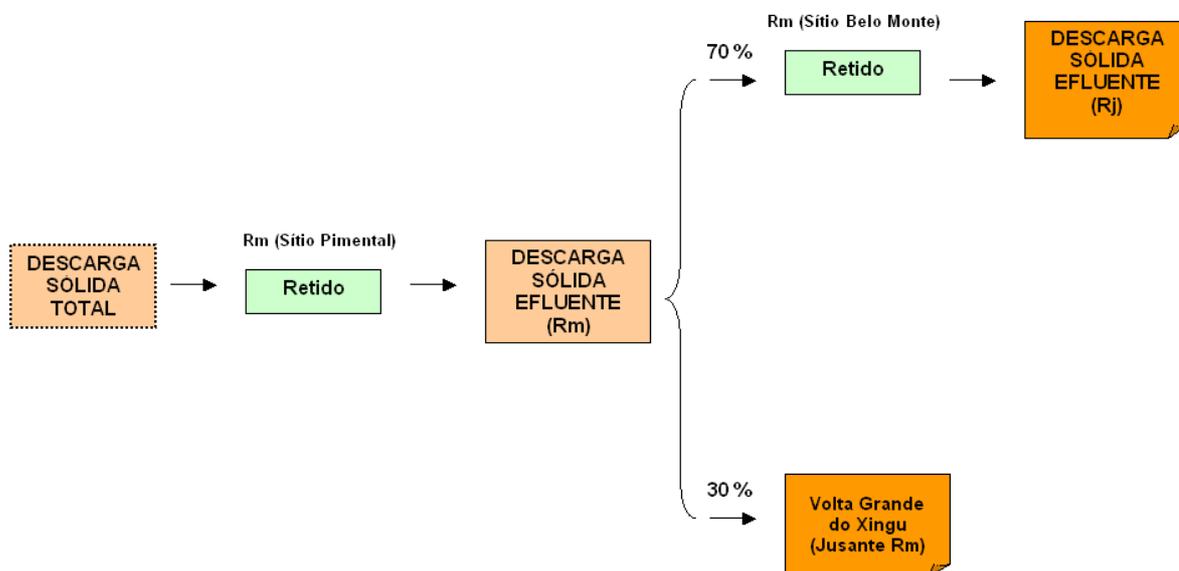
NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

retenção é admitida única para o conjunto e estima-se o tempo para que os sedimentos atinjam às respectivas cotas de soleira das tomadas d'água de ambos os sítios.

Hipótese 2: São considerados dois volumes de reservação. Supõe-se que o reservatório de montante retenha, inicialmente, uma parcela do aporte de sedimentos afluente em função da eficiência de retenção desse reservatório (ER_m). Os sedimentos efluentes são distribuídos proporcionalmente em função das duas vazões que saem do reservatório de montante. Uma parte segue para jusante, no sentido da volta grande do rio Xingu, a partir da vazão sanitária liberada pelas turbinas na Casa de Força do sítio Pimental ou, eventualmente, pela operação do Vertedouro. A outra parte é captada do reservatório de montante, a partir da vazão que escoo pelo Canal de Derivação em direção ao reservatório de jusante. As parcelas de distribuição adotadas foram de 30% e 70%, respectivamente. Assim, o percentual de 70% do efluente de descarga sólida do primeiro reservatório irá compor a descarga sólida afluente do reservatório de jusante do sítio Belo Monte. Os sedimentos retidos no segundo reservatório são então estimados a partir da eficiência de retenção do reservatório de jusante. O esquema acima descrito se encontra na Figura 4.26.

Figura 4.26 - Esquema Hipótese 2



Ressalta-se que devido à cota de base do canal de derivação estar na elevação 87,00 m, uma parte considerável do volume de reservação de montante poderá sofrer sedimentação até atingir esta cota, o que, de certa forma, contribui como uma soleira natural de proteção para tomada d'água de jusante.

c) Composição Granulométrica

No presente estudo não houve coleta de dados sedimentométricos em campo. Utilizou-se a distribuição granulométrica apresentada na Revisão de Estudos de Viabilidade, que se baseou em análises granulométricas de materiais coletados em campanhas de campo realizadas entre os anos de 1987 e 1989.

Tabela 4.36 - Composição Granulométrica

Composição Granulométrica	
Argila	41%
Silte	54%
Areia	5%

d) Taxa de Crescimento da Descarga Sólida

Para o estudo, será adotada uma taxa de crescimento médio anual R de 0,70%, o que levará ao dobro do deflúvio sólido médio anual estimado em um período de 100 anos.

e) Peso Específico dos Sedimentos

O peso específico aparente γ_{ap} dos depósitos foi considerado variável ao longo do tempo sendo determinado a partir do método de Lara e Pemberton.

f) Eficiência de Retenção

A eficiência de retenção E_r , foi obtida a partir da curva de Brune. Para considerar a variação da eficiência de retenção ao longo do tempo, o Software SEDIMENT (Anderson Braga & Newton Carvalho) foi utilizado.

g) Estimativa do Volume de Sedimentos Retidos

A estimativa do volume de sedimentos depositados é dada pela equação:

$$S = \frac{D_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}}$$

Onde:

S = volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);

D_{st} = deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (t/ano);

E_r = eficiência de retenção do sedimento afluente ao reservatório (% e fração); e

γ_{ap} = peso específico aparente médio dos depósitos (t/m³).

Os valores de D_{st}, E_r e γ_{ap} são variáveis com o tempo. A descarga sólida varia com o aumento da erosão na bacia; a eficiência de retenção diminui à medida que aumentam os depósitos de sedimentos no reservatório, e o peso específico

UHE BELO MONTE

aparente médio, por sua vez, se altera com a compactação. O Software SEDIMENT (Anderson Braga & Newton Carvalho) foi utilizado para consideração desses parâmetros variáveis ao longo do tempo.

h) Estimativa da Altura do Depósito no Pé da Barragem e Vida Útil

Para avaliação dos depósitos no pé da Barragem, utilizou-se, o método de Borland & Miller (1958), também conhecido por “Método Empírico de Redução de Área” e tradicionalmente empregado no Brasil para estudos desta natureza. Ressalta-se, porém, que as curvas de referência para os tipos de reservatório apresentadas para este método foram desenvolvidas por meio de resultados empíricos, obtidos a partir de levantamentos em 30 reservatórios norte americanos e, portanto, podem não representar adequadamente as condições peculiares do reservatório de Belo Monte. Sugere-se que os resultados apresentados sejam confirmados futuramente, contrapondo-se outras abordagens metodológicas.

i) Resultados

A seguir, são apresentados os resultados para as duas hipóteses consideradas. Ressalta-se que a soleira da tomada d’água do sítio Pimental, por estar na elevação 65,84 m, encontra-se próxima à cota definida como volume zero para o reservatório de montante e, portanto, estaria vulnerável ao assoreamento logo no início da simulação.

j) Hipótese 1

A Tabela 4.37 apresenta os resultados de saída do software Sediment para a primeira hipótese que considerou o volume total, incluindo ambos os reservatórios. Os resultados para esta hipótese indicam que 5% do volume total do reservatório estaria assoreado em um tempo aproximado de 70 anos.

No pé da Barragem, a Metodologia de Borland & Miller indica que em 110 anos os depósitos atingiriam a elevação aproximada na cota 65 m, próxima ao limite da soleira da tomada do sítio Belo Monte.

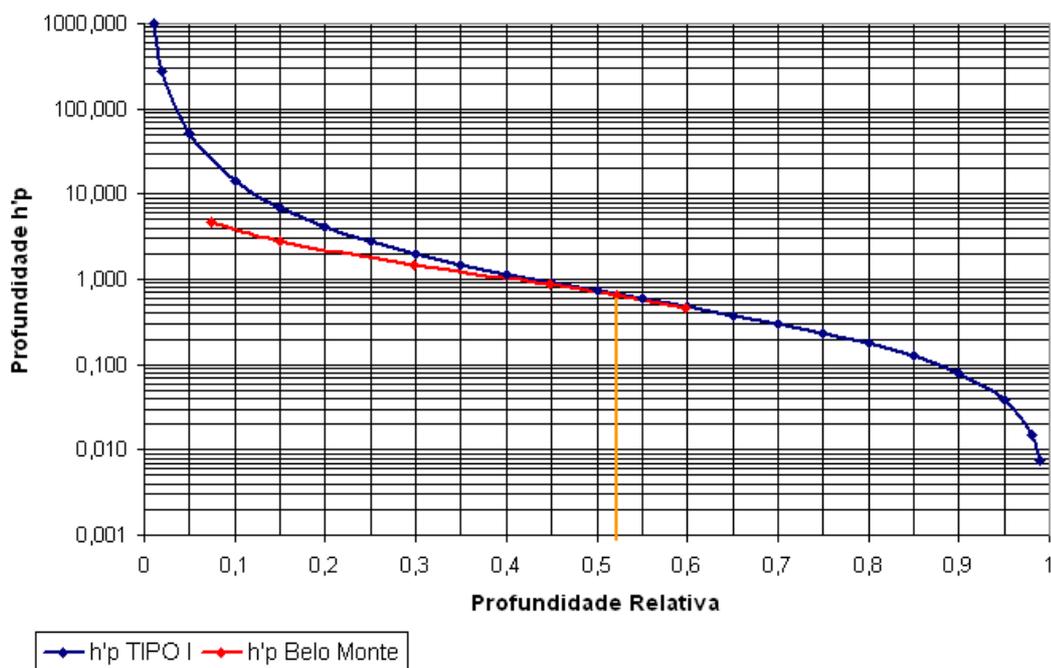
A Figura 4.27 apresenta o gráfico para determinação da altura de depósito no pé da barragem para um período de 110 anos. O valor da profundidade relativa obtida é próximo a 0,52. Considerando a profundidade total do reservatório de 67 (97-30) m, a altura do depósito corresponderia a 34,84 m. Tomando a cota 30 m como fundo do reservatório de jusante a cota atingida seria de aproximadamente 65 m.

UHE BELO MONTE

Tabela 4.37 - Resultados para a Hipótese 1

Tempo (anos)	Vsól. depos. (hm³)	Vsól. Efluente (hm³)	Er (%)	Gama ap.(t/m³)	Qsól. Afluente (t/ano) x 10³	Qsól. Efluente (t/ano) x 10³	Vs depos./ Vtotal reserv.
5	16,87	22,371	47,53	0,941	6.771,82	3.553,14	0,004
10	32,857	40,033	47,44	0,983	7.012,18	3.685,36	0,007
15	48,87	57,857	47,36	1,008	7.261,06	3.822,53	0,01
20	65,097	76,015	47,27	1,026	7.518,78	3.964,91	0,014
25	81,632	94,6	47,18	1,04	7.785,65	4.112,73	0,017
30	98,532	113,679	47,08	1,052	8.061,99	4.266,23	0,021
35	115,841	133,303	46,99	1,062	8.348,14	4.425,67	0,024
40	133,592	153,516	46,89	1,071	8.644,44	4.591,30	0,028
45	151,816	174,358	46,79	1,078	8.951,26	4.763,38	0,032
50	170,54	195,865	46,68	1,085	9.268,97	4.942,20	0,036
55	189,787	218,075	46,57	1,091	9.597,96	5.128,02	0,04
60	209,582	241,024	46,46	1,097	9.938,63	5.321,17	0,044
65	229,948	264,746	46,34	1,102	10.291,38	5.521,95	0,048
70	250,906	289,28	46,22	1,107	10.656,66	5.730,70	0,052
75	272,478	314,661	46,10	1,112	11.034,90	5.947,76	0,057
80	294,687	340,928	45,97	1,116	11.426,57	6.173,50	0,061
85	317,552	368,119	45,84	1,12	11.832,14	6.408,30	0,066
90	341,097	396,275	45,70	1,123	12.252,10	6.652,55	0,071
95	365,343	425,437	45,56	1,127	12.686,97	6.906,68	0,076
100	390,311	455,649	45,41	1,13	13.137,27	7.171,14	0,081
150	684,587	826,292	43,62	1,157	18.619,96	10.498,78	0,143
200	1075,48	1365,644	41,02	1,176	26.390,78	15.566,10	0,224

Figura 4.27 - Gráfico para determinação da altura de depósito no pé da barragem para 110 anos



UHE BELO MONTE

k) Hipótese 2

As Tabelas 4.38 e a 4.39 apresentam os resultados de saída do software Sediment para a segunda hipótese que considerou os volumes separados de ambos os reservatórios. Os resultados para esta hipótese indicam que 5% do volume total do reservatório de montante estaria assoreado em um tempo aproximado de 85 anos, enquanto o reservatório de jusante atingiria este percentual em 95 anos.

Tabela 4.38 - Reservatório Montante- Hipótese 2

Tempo (anos)	Vsól. depos. (hm ³)	Vsól. Efluente (hm ³)	Er (%)	Gama ap.(t/m ³)	Qsól. Afluente (t/ano) x 10 ³	Qsól. Efluente (t/ano) x 10 ³	Vs depos./ Vtotal reserv.
5	6,345	5,167	59,605	0,941	2.031,55	820,64	0,003
10	12,362	9,246	59,549	0,983	2.103,65	850,94	0,005
15	18,396	13,36	59,493	1,008	2.178,32	882,37	0,008
20	24,516	17,55	59,436	1,026	2.255,63	914,98	0,01
25	30,757	21,838	59,378	1,04	2.335,70	948,82	0,013
30	37,144	26,239	59,318	1,052	2.418,60	983,94	0,015
35	43,691	30,763	59,256	1,062	2.504,44	1.020,41	0,018
40	50,412	35,422	59,193	1,071	2.593,33	1.058,27	0,021
45	57,32	40,225	59,127	1,078	2.685,38	1.097,59	0,024
50	64,426	45,179	59,06	1,085	2.780,69	1.138,42	0,027
55	71,738	50,293	58,99	1,091	2.879,39	1.180,83	0,03
60	79,268	55,575	58,918	1,097	2.981,59	1.224,89	0,033
65	87,024	61,034	58,844	1,102	3.087,41	1.270,66	0,036
70	95,016	66,677	58,767	1,107	3.197,00	1.318,21	0,039
75	103,254	72,513	58,688	1,112	3.310,47	1.367,63	0,043
80	111,746	78,55	58,606	1,116	3.427,97	1.418,99	0,046
85	120,502	84,798	58,52	1,12	3.549,64	1.472,38	0,05
90	129,531	91,264	58,432	1,123	3.675,63	1.527,87	0,053
95	138,844	97,958	58,341	1,127	3.806,09	1.585,57	0,057
100	148,45	104,891	58,247	1,13	3.941,18	1.645,57	0,061
150	262,917	189,697	57,089	1,157	5.585,99	2.396,99	0,108
200	419,001	312,367	55,408	1,176	7.917,23	3.530,42	0,173
250	629,894	492,941	52,917	1,191	11.221,40	5.283,39	0,26
300	909,079	764,745	48,986	1,203	15.904,52	8.113,57	0,375

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.39 - Reservatório Jusante - Hipótese 2

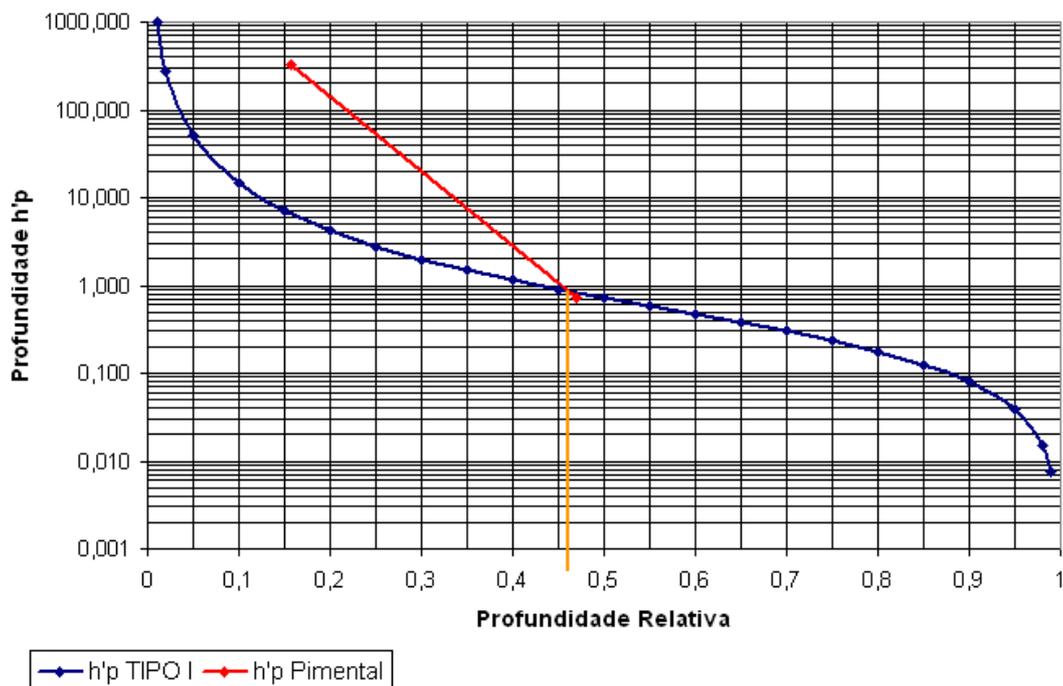
Tempo (anos)	Vsól. depos. (hm³)	Vsól. Efluente (hm³)	Er (%)	Gama ap.(t/m³)	Qsól. Afluente (t/ano) x 10³	Qsól. Efluente (t/ano) x 10³	Vs depos./ Vtotal reserv.
5	5,707	10,934	38,546	0,941	2.825,20	1.736,20	0,002
10	11,117	19,559	38,488	0,983	2.925,48	1.799,53	0,005
15	16,538	28,257	38,429	1,008	3.029,32	1.865,17	0,007
20	22,033	37,111	38,37	1,026	3.136,84	1.933,23	0,009
25	27,634	46,166	38,31	1,04	3.248,17	2.003,81	0,012
30	33,362	55,455	38,247	1,052	3.363,46	2.077,02	0,014
35	39,229	65,002	38,184	1,062	3.482,84	2.152,97	0,017
40	45,25	74,827	38,118	1,071	3.606,46	2.231,75	0,019
45	51,433	84,949	38,051	1,078	3.734,47	2.313,48	0,022
50	57,788	95,386	37,981	1,085	3.867,02	2.398,29	0,024
55	64,324	106,154	37,909	1,091	4.004,27	2.486,29	0,027
60	71,049	117,27	37,835	1,097	4.146,40	2.577,61	0,03
65	77,971	128,75	37,759	1,102	4.293,57	2.672,38	0,033
70	85,098	140,611	37,68	1,107	4.445,96	2.770,74	0,036
75	92,438	152,869	37,598	1,112	4.603,76	2.872,84	0,039
80	99,998	165,542	37,514	1,116	4.767,16	2.978,83	0,042
85	107,786	178,647	37,426	1,12	4.936,37	3.088,86	0,045
90	115,81	192,202	37,336	1,123	5.111,58	3.203,10	0,049
95	124,078	206,226	37,243	1,127	5.293,00	3.321,72	0,052
100	132,598	220,737	37,147	1,13	5.480,87	3.444,91	0,056
150	233,467	397,385	35,977	1,157	7.768,25	4.973,48	0,098
200	368,98	650,084	34,315	1,176	11.010,23	7.232,04	0,155
250	548,124	1.016,12	31,938	1,191	15.605,23	10.621,30	0,231
300	777,765	1.553,73	28,523	1,203	22.117,89	15.809,18	0,327

No pé da Barragem de montante, no eixo do sítio Pimental, a Metodologia de Borland & Miller indicou que em 100 anos, a cota atingida pelos depósitos seria de aproximadamente 80 m.

Para eixo da barragem do sítio Belo Monte, os resultados indicaram que em 240 anos os depósitos atingiriam a cota aproximada de 53 m, garantindo vida útil superior a 240 anos para este reservatório uma vez que a soleira da tomada d'água deste sítio situa-se na elevação 64,50.

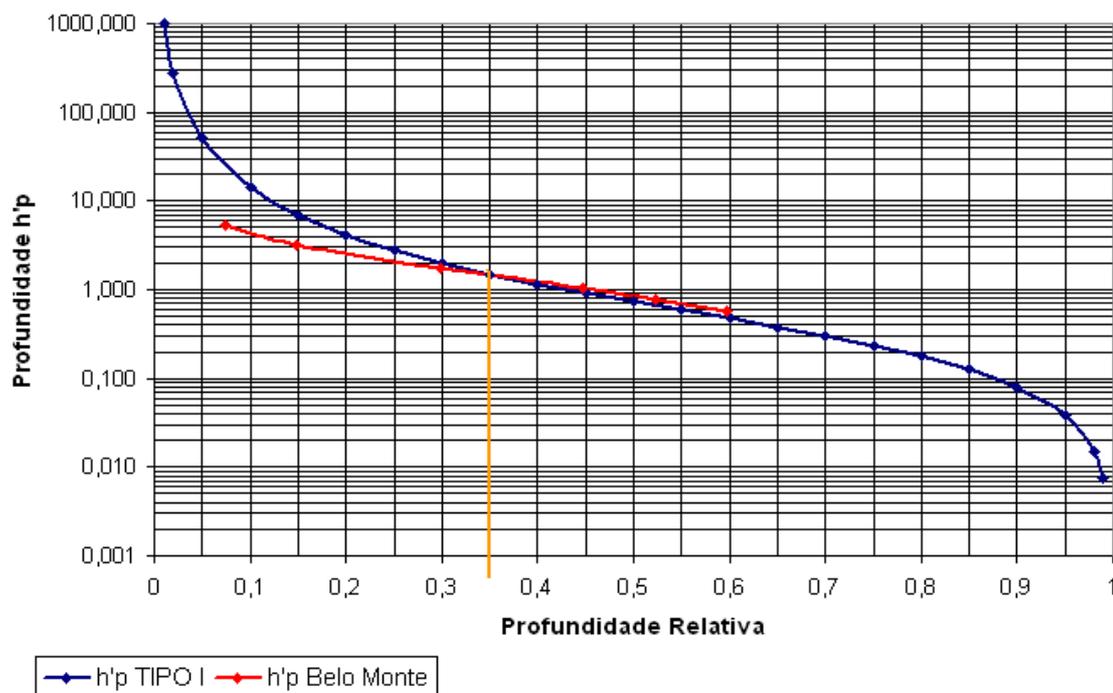
A Figura 4.28 apresenta o gráfico para determinação da altura de depósito no pé da barragem para um período de 100 anos, considerando o reservatório do sítio Pimental. O valor da profundidade relativa obtida é próximo a 0,46. Considerando a profundidade total do reservatório de 32 (97-65) m, a altura do depósito corresponderia a 14,32 m. Tomando a cota 65 m como fundo do reservatório de jusante, a cota atingida seria de aproximadamente 80 m.

Figura 4.28 - Gráfico para determinação da altura de depósito no pé da barragem- Sítio Pimental- reservatório de montante para 100 anos.



A Figura 4.29 apresenta o gráfico para determinação da altura de depósito no pé da barragem para um período de 240 anos, considerando o reservatório do sítio Belo Monte. O valor da profundidade relativa obtida é 0,35. Considerando a profundidade total do reservatório de 67 (97-30) m, a altura do depósito corresponderia a 23,45 m. Tomando a cota 30 m como fundo do reservatório de jusante, a cota atingida seria de aproximadamente 54 m.

Figura 4.29 - Gráfico para determinação da altura de depósito no pé da barragem- Sítio Pimental- reservatório de montante para 100 anos.



l) Conclusões

Os resultados obtidos por ambas as abordagens indicaram vida útil superior a 100 anos para o reservatório do sítio Belo Monte. A hipótese 1, mais conservadora, apresentou vida útil de 110 anos para esse reservatório. A hipótese 2 indicou vida útil superior a 240 anos.

O reservatório do sítio Pimental, como apresenta Tomada de Água com soleira praticamente na cota de volume nulo possuirá vida útil reduzida. Como medida de proteção, sugere-se a construção de um septo com elevação mínima de 81,00 m. O objetivo desse dispositivo será reter parcialmente os depósitos de sedimentos, direcionando-os para a estrutura vertente situada ao lado e garantindo vida útil próxima aos 100 anos.

UHE BELO MONTE

4.3. HIDRÁULICOS

4.3.1 Curvas Chave nos Locais de Interesse

Curva-chave em Altamira

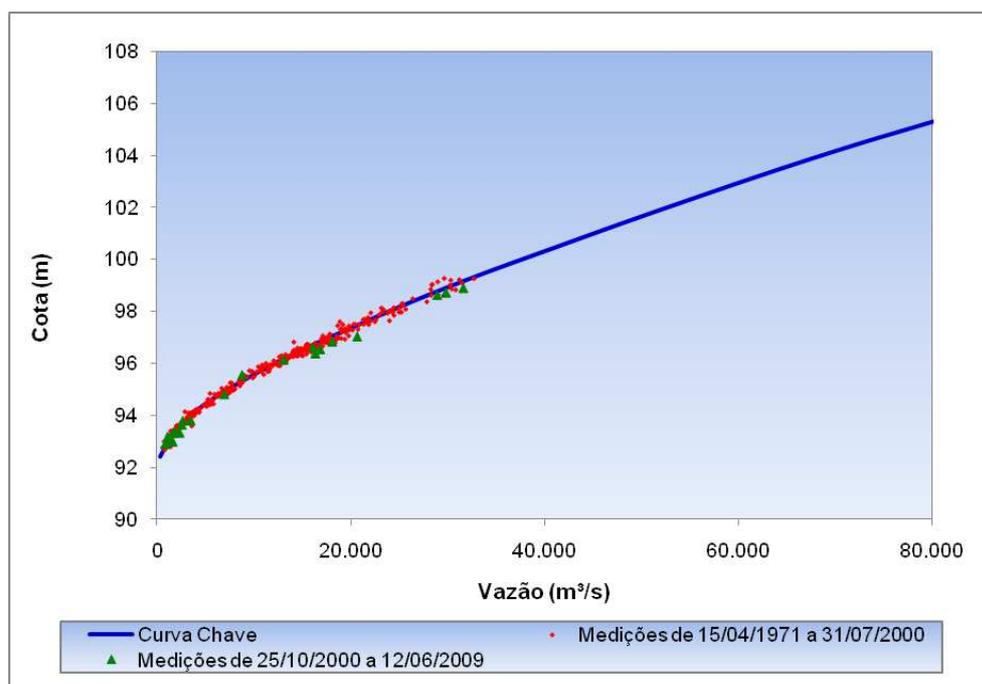
A estação fluviométrica de Altamira (18850000) possui um histórico de medições diretas de vazões que se estende de abril de 1971 até junho de 2009, com vazões medidas até 32.700 m³/s, o que permite definir uma curva-chave bastante confiável para este local.

Devido à proximidade da estação fluviométrica de Altamira em relação ao eixo do barramento do Sítio Pimental, a curva-chave estabelecida naquele local serviu como base para determinação da curva-chave a jusante das estruturas que compõem o eixo do barramento em Pimental, assumindo-se a equivalência entre as vazões dos mesmos.

Nos Estudos de Viabilidade realizados em 2002, a curva-chave na estação fluviométrica de Altamira havia sido definida com as medições de descarga realizadas até julho de 2000. Para a presente etapa dos estudos, foram incorporadas mais 23 novas medições, sendo a última realizada em junho de 2009. Observa-se na Figura 4.30 a consistência da curva-chave estabelecida nos Estudos de Viabilidade, tendo sido adotada esta mesma curva nos Estudos do Projeto Básico.

A curva-chave em Altamira está apresentada em forma gráfica no desenho BEL-B-GR-DE-GER-111-0003.

Figura 4.30 - Curva-chave na Estação Fluviométrica de Altamira



Curva-chave no Eixo do Barramento do Sítio Pimental

O posto fluviométrico Cana Verde I, adotado como base para definição da curva-chave a jusante do barramento do Sítio Pimental, está localizado na margem direita do rio Xingu, cerca de 1 km a montante do eixo do barramento. Este posto, instalado originalmente na fase dos estudos de Inventário como limnimétrico, apesar de desativado ao final da 1ª etapa dos Estudos de Viabilidade, conseguiu acumular 10 anos de leitura de régua média diária. Tal fato possibilitou o estabelecimento de uma correlação bem confiável entre as leituras de régua do posto e a estação fluviométrica de Altamira. Como a área de drenagem do posto é cerca de 0,1 % superior à área de drenagem do rio Xingu em Altamira, consideraram-se coincidentes os valores das vazões nas duas seções, o que permitiu definir a curva-chave no local do posto fluviométrico Cana Verde I.

A implantação do barramento no Sítio Pimental imporá uma nova distribuição do escoamento a jusante, uma vez que o Vertedouro e a Casa de Força Complementar restituirão as vazões vertidas e turbinadas em somente um dos canais da calha natural existentes no local.

Visando determinar as condições de escoamento nestas condições, por ocasião dos Estudos de Viabilidade, no período de janeiro a dezembro de 2001 foram realizadas medições de vazão nos diversos canais do rio Xingu junto ao posto fluviométrico Cana Verde I.

As medições de vazão realizadas possibilitaram individualizar a capacidade de descarga de cada canal do rio Xingu ao longo do eixo de barramento. Com dados de declividade da linha d'água medidos e a utilização de modelo hidrodinâmico, foi possível determinar a curva-chave a jusante das estruturas de concreto para a gama de vazões observadas. Estudos de extrapolação permitiram definir a relação cota x descarga para vazões excepcionais.

Uma vez que não se dispõe de informações adicionais que justifiquem revisar a curva-chave definida nos Estudos de Viabilidade, esta curva foi adotada como representativa dos níveis de água a jusante do barramento do Sítio Pimental. Para a fase de projeto Pré-Executivo estão sendo programadas campanhas adicionais de medição de vazão para confirmação desta curva-chave, que é representada na Tabela 4.40 e no desenho BEL-B-GR-DE-GER-111-0003.

Tabela 4.40 - Curva-Chave Sítio Pimental

Nível de Água (m)	Vazão (m³/s)	Nível de Água (m)	Vazão (m³/s)	Nível de Água (m)	Vazão (m³/s)
81,40	0	87,00	13290	93,00	44858
82,00	436	88,00	17463	94,00	51626
83,00	1345	89,00	21772	95,00	58636
84,00	3051	90,00	26825	96,00	66354
85,00	5934	91,00	32403	96,40	69704
86,00	9136	92,00	38568	96,80	73504

UHE BELO MONTE

Curva-chave no Canal de Fuga Principal

Na região prevista para o Canal de Fuga da Casa de Força principal, localizada no Sítio Belo Monte, foram instalados, na 1ª etapa dos Estudos de Viabilidade, os postos limnimétricos Boca de Santo Antônio I e Boca de Santo Antônio II.

A análise dos cotogramas desses postos revelou que, nessa região, os níveis do rio Xingu são influenciados tanto pelos níveis do rio Amazonas, situado 200 km a jusante, quanto pelo efeito de maré. Este efeito é mais sentido no período de águas baixas, (agosto a novembro), quando chega a alcançar uma variação de aproximadamente 1 m.

Para a definição da curva de descarga na região do Canal de Fuga, foram utilizados, durante a primeira fase dos Estudos de Viabilidade, os dados da estação fluviométrica de Altamira, bem como dos postos, Belo Monte, Boca de Santo Antônio I e Boca de Santo Antônio II, no período comum de janeiro de 1984 a maio de 1986. As curvas foram obtidas por correlação entre Altamira e Boca de Santo Antônio I, complementada por Belo Monte. Nessa correlação foi levado em consideração o efeito da maré e sua periodicidade.

Na 2ª fase dos Estudos de Viabilidade, objetivando colher melhores informações para melhor definir a influência nos níveis do rio Xingu devido aos níveis no rio Amazonas e relação ao efeito de maré, o posto Boca de Santo Antônio I, o qual era limnimétrico, foi reinstalado, recuperando seu histórico, como sendo um posto fluviométrico dotado de registrador contínuo de níveis d'água com discretização de 15 minutos.

O desenho BEL-B-GR-DE-GER-111-0003 apresenta as curvas-chave adotadas para o Canal de Fuga da Casa de Força Principal, incluindo a curva média e as envoltórias superior e inferior. A Tabela 4.41 apresenta a curva-média adotada.

Tabela 4.41 - Curva-Chave no Canal de Fuga da Casa de Força Principal

Nível de Água (m)	Vazão (m³/s)
2,84	0
3,00	1.340
4,00	7.175
5,00	12.148
6,00	16.767
7,00	22.458
8,00	29.135
9,00	36.770
10,00	45.384
11,00	54.996
12,00	65.624
12,60	72.495

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

4.3.2 Estudos de Remanso

Metodologia

Os estudos de remanso foram realizados pra identificar a influência do aproveitamento nos níveis d'água naturais do rio Xingu, sobretudo na cidade de Altamira e a montante desta. Os estudos de remanso no âmbito do Projeto Básico foram realizados no modelo matemático HEC-RAS versão 4.0 do U.S. Army, Corps of Engineers, baseado na consagrada metodologia do "Standard Step Method" e tiveram como base os estudos já realizados na etapa de Viabilidade da Eletronorte (2002) e nos Estudos de Impacto Ambiental elaborados pela Themag (2008).

Basicamente os estudos consistiram de levantamentos de dados disponíveis, montagem da base de dados no modelo matemático, ajuste para condições naturais do rio e cálculo do remanso.

Foram utilizados os seguintes dados básicos:

- Nove seções topobatimétricas, sendo quatro levantadas no âmbito dos estudos de viabilidade da Eletronorte (Taboca/Cana Verde II, BM 1, BM 2 e Bab 1B; duas obtidas dos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Xingu, elaborado pelo CNEC em 1980 (Bab 1A e Altamira) e três levantadas pela Topocart em 2008 (Nova 1, Nova 2 e Nova 3); e
- Dados fluviométricos disponíveis nos estudos de viabilidade (a partir da seção Bab 1B para jusante) e campanha complementar de março de 2008 para as seções a montante daquela.

Calibragem

De posse das informações das seções topobatimétricas foi montado o esquema topológico do rio Xingu no trecho do reservatório a ser criado pela UHE Belo Monte.

As distâncias entre as seções utilizadas são mostradas na Tabela 4.42. As distâncias acumuladas referem-se ao sentido para montante a partir do eixo de barramento no sítio Pimental.

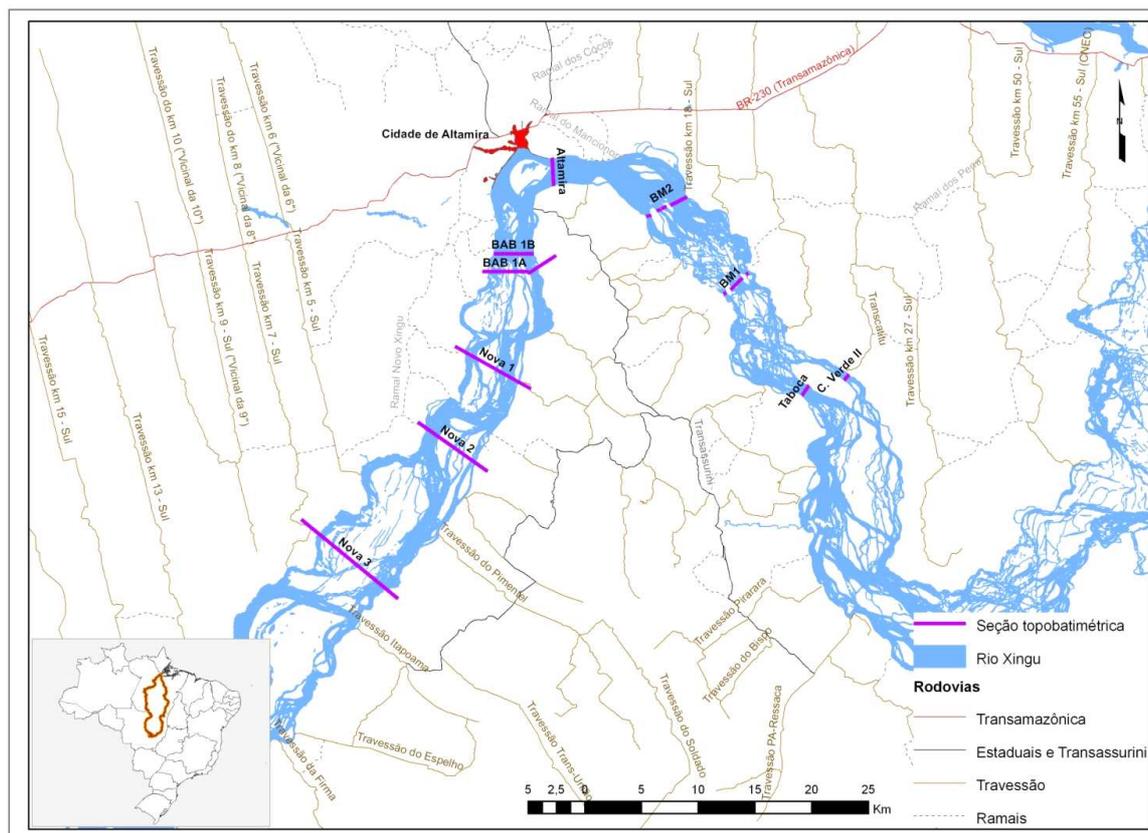
Tabela 4.42 - Seções Topobatimétricas Utilizadas

Nome da Seção	Distância p/ Jusante (m)	Distância Acumulada (m)
Nova 3	12.796	71.264
Nova 2	9.140	58.468
Nova 1	8.123	49.328
Bab 1A	1.584	41.205
Bab 1B	9.621	39.621
Altamira	9.000	30.000
BM 2	9.000	21.000
BM 1	12.000	12.000
Tab/Cana Verde II	0	0

UHE BELO MONTE

A Figura 4.31 mostra a localização das seções topobatimétricas utilizadas nos estudos de remanso.

Figura 4.31 - Localização das Seções Topobatimétricas Utilizadas



A calibração do modelo consistiu no ajuste dos coeficientes de rugosidade Manning de forma a reproduzir com razoável precisão os níveis d'água observados para determinadas vazões.

As seções a jusante da seção BAB 1B, inclusive, foram calibradas utilizando-se perfis instantâneos de linha d'água disponíveis abrangendo a faixa de vazões de 3.500 m³/s a 20.000 m³/s, dos quais foram selecionados quatro valores distribuídos nesse intervalo. No caso das seções a montante de BAB 1B, foram utilizadas as medições executadas durante o levantamento topobatimétrico das próprias seções.

Para refinar o processo de calibração foram interpoladas seções entre as consideradas, que ajudaram a alcançar a calibração que melhor representasse as condições naturais de escoamento no trecho estudado.

O processo de calibração seguiu os seguintes passos: Definiram-se os níveis d'água de jusante para condições naturais do rio Xingu; foram adotadas rugosidades de Manning iniciais para cada seção; foram representados níveis d'água observados para

UHE BELO MONTE

cada seção, para comparação com os valores a serem calculados; foi executado o modelo para cálculo dos níveis d'água; os níveis observados e calculados fora comparados; procedeu-se aos ajuste dos coeficientes de Manning; repetiu-se o cálculo e o ajuste dos coeficientes até que os níveis calculados se mostrassem satisfatoriamente próximos aos observados. A Tabela 4.43 mostra os resultados da calibração.

Tabela 4.43 - Resultados da Calibração do Modelo de Remanso

Seções	Distância Acumulada (m)	Vazão (m³)	NA obs (m)	NA calc (m)	Δh (m)	Coef. Manning n
Nova 3	71.264	1.125	97,20	97,14	0,06	0,029
		3.450		99,18		
		9.200	101,99	100,79	-0,19	
		12.300		101,20		
		19.800		102,18		
		30.250		103,25		
34.795	103,70					
Nova 2	58.468	1.125	94,81	94,67	0,14	0,045
		3.450		96,71		
		9.200	100,33	98,57	-0,13	
		12.300		99,20		
		19.800		100,46		
		30.250		101,89		
34.795	102,45					
Nova 1	49.328	1.125	93,98	93,92	0,06	0,051
		3.450		95,20		
		9.200	99,35	97,23	-0,11	
		12.300		97,98		
		19.800		99,46		
		30.250		101,00		
34.795	101,60					
Bab 1A	41.205	1.125		92,31		0,046
		3.450		93,87		
		9.200		95,74		
		12.300		96,45		
		19.800		97,84		
		30.250		99,43		
34.795	100,05					
Bab 1B	39.621	1.125	94,37	92,31	0,51	0,023
		3.450		93,86		
		9.200	96,62	95,71	0,27	
		12.300		96,41		
		19.800		97,79		
		30.250		99,36		
34.795	99,97	-0,25				

UHE BELO MONTE

Seções	Distância Acumulada (m)	Vazão (m³)	NA obs (m)	NA calc (m)	Δh (m)	Coef. Manning n
Altamira	30.000	1.125		92,27		0,040
		3.450	93,99	93,77	0,22	
		9.200	95,40	95,50	-0,1	
		12.300	96,02	96,15	-0,13	
		19.800	97,32	97,40	-0,08	
		30.250	98,93	98,80	0,13	
BM 2	21.000	1.125		92,17		0,032
		3.450	93,84	93,54	0,3	
		9.200	94,99	95,02	-0,03	
		12.300	95,46	95,55	-0,09	
		19.800	96,48	96,55	-0,07	
		30.250	97,32	97,68	-0,36	
BM 1	12.000	1.125		86,65		0,037
		3.450	88,95	88,56	0,39	
		9.200	90,35	90,41	-0,06	
		12.300	90,98	91,06	-0,08	
		19.800	92,26	92,30	-0,04	
		30.250	93,5	93,70	-0,2	
Tab/Cana Verde II	0	1.125		83,03		0,036
		3.450	84,47	84,47	0	
		9.200	86,13	86,13	0	
		12.300	86,83	86,83	0	
		19.800	88,32	88,32	0	
		30.250	89,66	89,66	0	
		34.795	90,2	90,20	0	

A Tabela 4.44 mostra, pelas diferenças entre níveis observados e calculados, um resultado satisfatório, principalmente para vazões maiores. Para faixas inferiores de vazão as maiores diferenças são justificadas pela existência de pontos de controle posicionados fora das seções levantadas – e que são significativos para níveis inferiores. Como o objetivo do estudo é o cálculo do remanso do futuro reservatório com níveis superiores aos das condições naturais e com ênfase em vazões de maior magnitude, considera-se que não há comprometimento dos estudos.

Resultados

Calibrado o modelo, procedeu-se o cálculo dos níveis d'água para várias vazões de interesse para condições naturais e considerando a existência do reservatório da UHE Belo Monte. Os resultados são apresentados na Tabela 4.44 e das Figuras 4.32 a 4.37 a seguir.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.44 - Resultados dos Estudos de Remanso- Condições Naturais e com Reservatório

Seção	Distância Acumulada (m)	MLT (8.046 m³/s)		TR=5 anos (26.224 m³/s)		TR=10 anos (29.472 m³/s)		TR=25 anos (33.766 m³/s)		TR=50 anos (37.014 m³/s)		TR=100 anos (40.262 m³/s)	
		NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)
Nova 3	71.264	100,61	100,61	102,85	102,90	103,17	103,23	103,60	103,67	103,92	103,99	104,24	104,31
Interpolada	68.705	99,80	99,80	102,37	102,45	102,74	102,82	103,21	103,30	103,56	103,65	103,90	104,00
Interpolada	66.146	98,65	98,92	101,96	102,08	102,38	102,49	102,90	103,02	103,28	103,39	103,65	103,76
Interpolada	63.586	98,48	98,78	101,74	101,88	102,17	102,30	102,70	102,83	103,09	103,21	103,47	103,59
Interpolada	61.027	98,38	98,69	101,57	101,72	101,99	102,14	102,53	102,67	102,93	103,06	103,30	103,44
Nova 2	58.468	98,29	98,62	101,37	101,53	101,79	101,95	102,33	102,48	102,72	102,87	103,10	103,24
Interpolada	56.183	98,10	98,47	101,13	101,32	101,56	101,74	102,10	102,27	102,50	102,66	102,88	103,04
Interpolada	53.898	97,68	98,23	100,94	101,16	101,38	101,58	101,94	102,13	102,34	102,52	102,73	102,91
Interpolada	51.613	97,08	97,96	100,70	100,95	101,15	101,39	101,72	101,94	102,14	102,34	102,53	102,72
Nova 1	49.328	96,92	97,86	100,45	100,73	100,90	101,16	101,47	101,71	101,88	102,10	102,28	102,49
Interpolada	46.620	96,57	97,69	99,94	100,30	100,39	100,72	100,96	101,26	101,38	101,65	101,77	102,03
Interpolada	43.913	95,63	97,44	99,21	99,73	99,68	100,15	100,28	100,69	100,71	101,08	101,13	101,47
Bab 1A	41.205	95,44	97,37	98,85	99,46	99,32	99,86	99,91	100,38	100,35	100,77	100,76	101,15
Bab 1B	39.621	95,41	97,36	98,79	99,41	99,25	99,80	99,84	100,32	100,27	100,70	100,68	101,07
Interpolada	37.216	95,38	97,35	98,72	99,35	99,18	99,74	99,76	100,25	100,18	100,63	100,59	100,99
Interpolada	34.811	95,34	97,33	98,62	99,27	99,07	99,65	99,64	100,15	100,06	100,52	100,46	100,88
Interpolada	32.405	95,29	97,31	98,48	99,16	98,92	99,53	99,47	100,01	99,88	100,36	100,27	100,71
Altamira	30.000	95,23	97,29	98,29	99,01	98,71	99,35	99,23	99,80	99,63	100,14	99,99	100,47
Interpolada	27.000	95,12	97,25	97,99	98,78	98,38	99,08	98,86	99,49	99,22	99,79	99,56	100,09
Interpolada	24.000	94,94	97,20	97,61	98,51	97,97	98,78	98,42	99,14	98,74	99,41	99,05	99,67

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

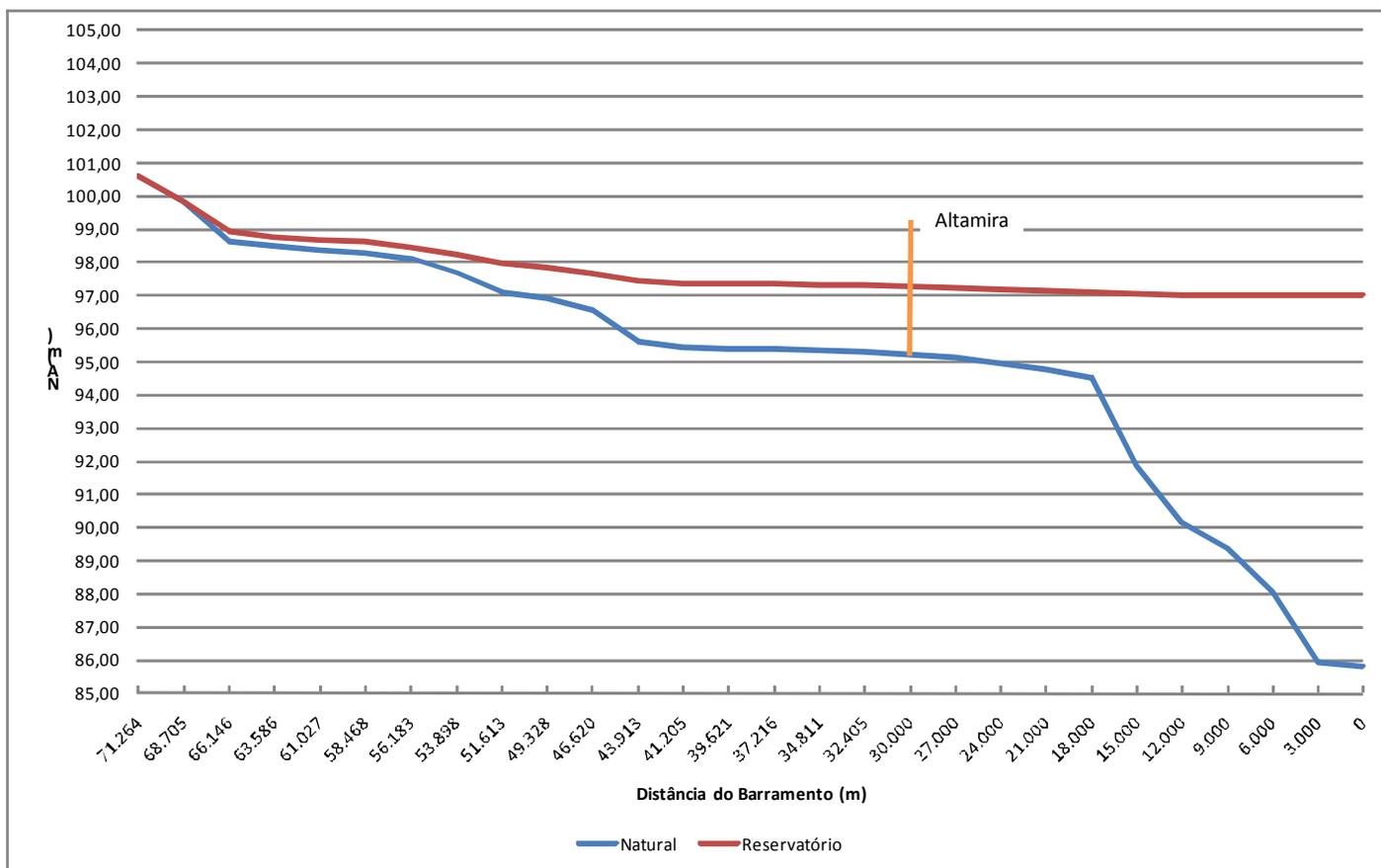
Seção	Distância Acumulada (m)	MLT (8.046 m³/s)		TR=5 anos (26.224 m³/s)		TR=10 anos (29.472 m³/s)		TR=25 anos (33.766 m³/s)		TR=50 anos (37.014 m³/s)		TR=100 anos (40.262 m³/s)	
		NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)	NA natural (m)	NA reserv. (m)
BM 2	21.000	94,79	97,16	97,27	98,30	97,60	98,54	98,02	98,86	98,33	99,11	98,63	99,35
Interpolada	18.000	94,53	97,12	96,69	97,98	96,99	98,18	97,37	98,45	97,65	98,66	97,92	98,87
Interpolada	15.000	91,83	97,05	94,40	97,50	94,78	97,62	95,25	97,79	95,58	97,93	95,91	98,08
BM 1	12.000	90,14	97,03	93,19	97,35	93,61	97,44	94,12	97,56	94,48	97,67	94,84	97,78
Interpolada	9.000	89,37	97,02	92,27	97,24	92,68	97,30	93,19	97,38	93,56	97,46	93,92	97,54
Interpolada	6.000	88,06	97,01	90,98	97,13	91,40	97,16	91,92	97,21	92,31	97,25	92,69	97,30
Interpolada	3.000	85,95	97,00	89,62	97,05	90,07	97,06	90,63	97,08	91,03	97,09	91,44	97,11
Tab/Cana Verde II	0	85,80	97,00	89,14	97,00	89,56	97,00	90,08	97,00	90,46	97,00	90,85	97,00

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Figura 4.32 - Vazão de 8.046 m³/s (Média de Longo Termo) – Perfis de Linha d'Água para Condições Naturais e com Reservatório

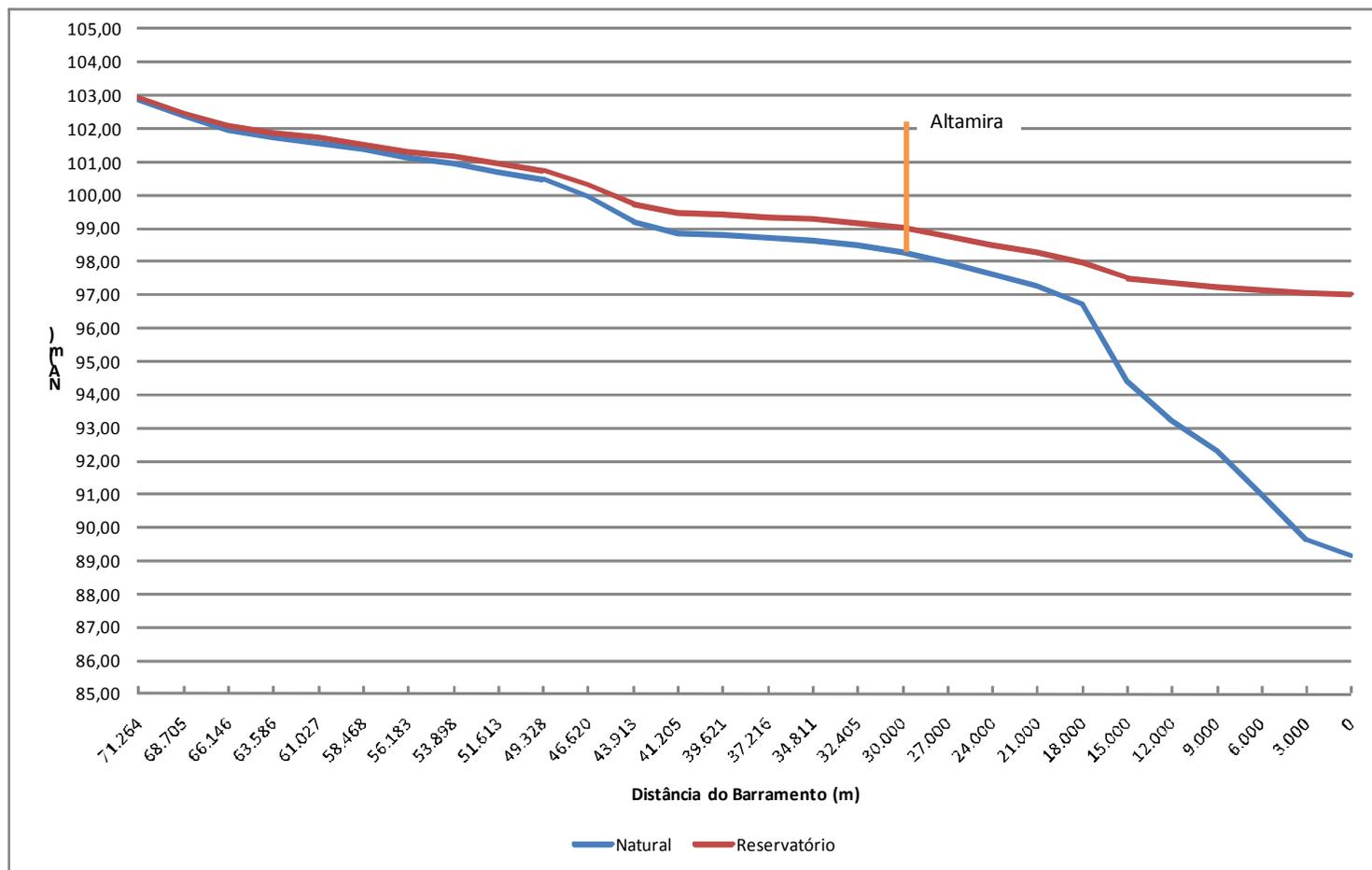


NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Figura 4.33 - Vazão de 26.224 m³/s (TR=5 anos) – Perfis de Linha d'Água para Condições Naturais e com Reservatório

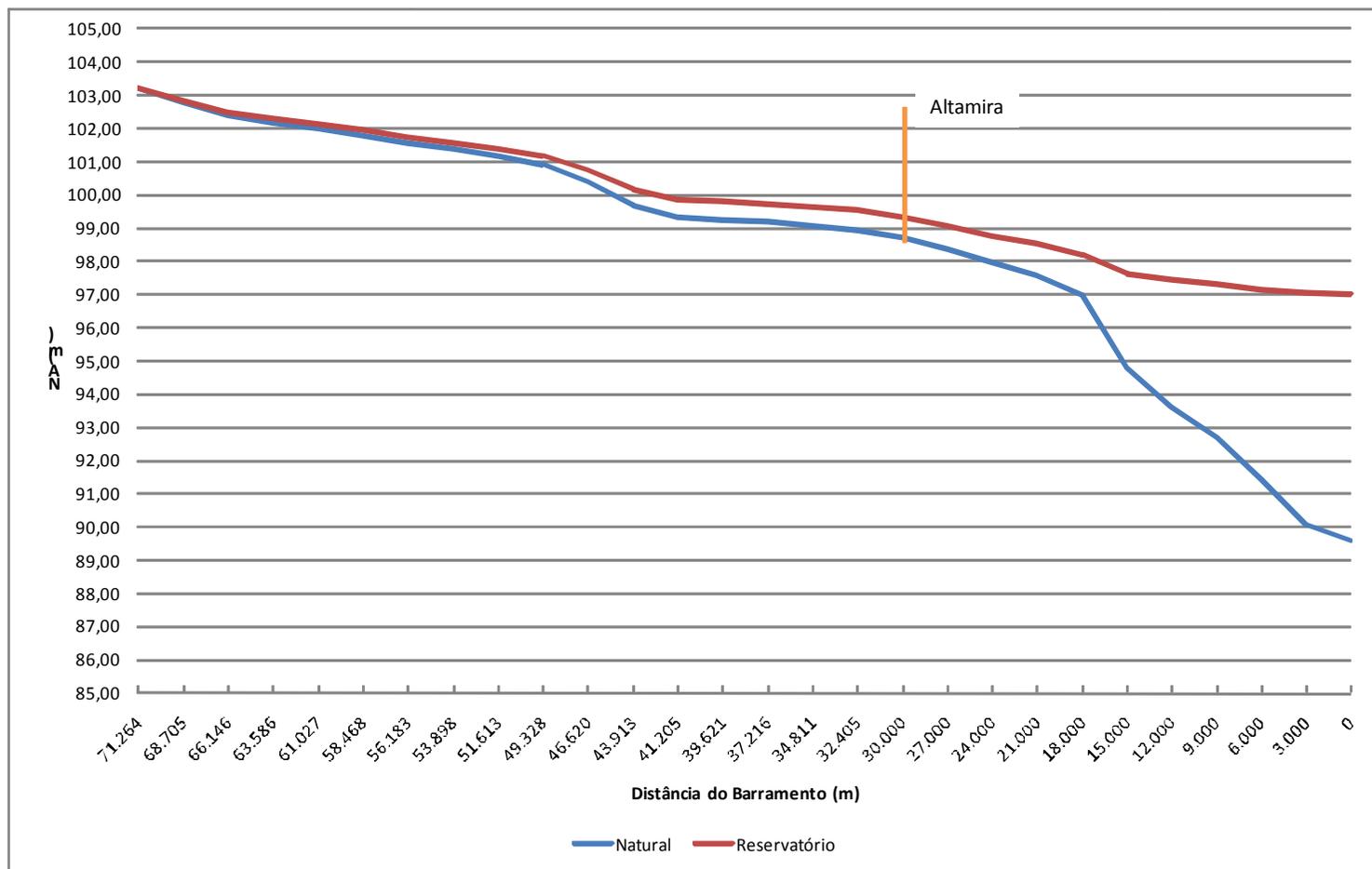


NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Figura 4.34 - Vazão de 29.472 m³/s (TR=10 anos) – Perfis de Linha d'Água para Condições Naturais e com Reservatório

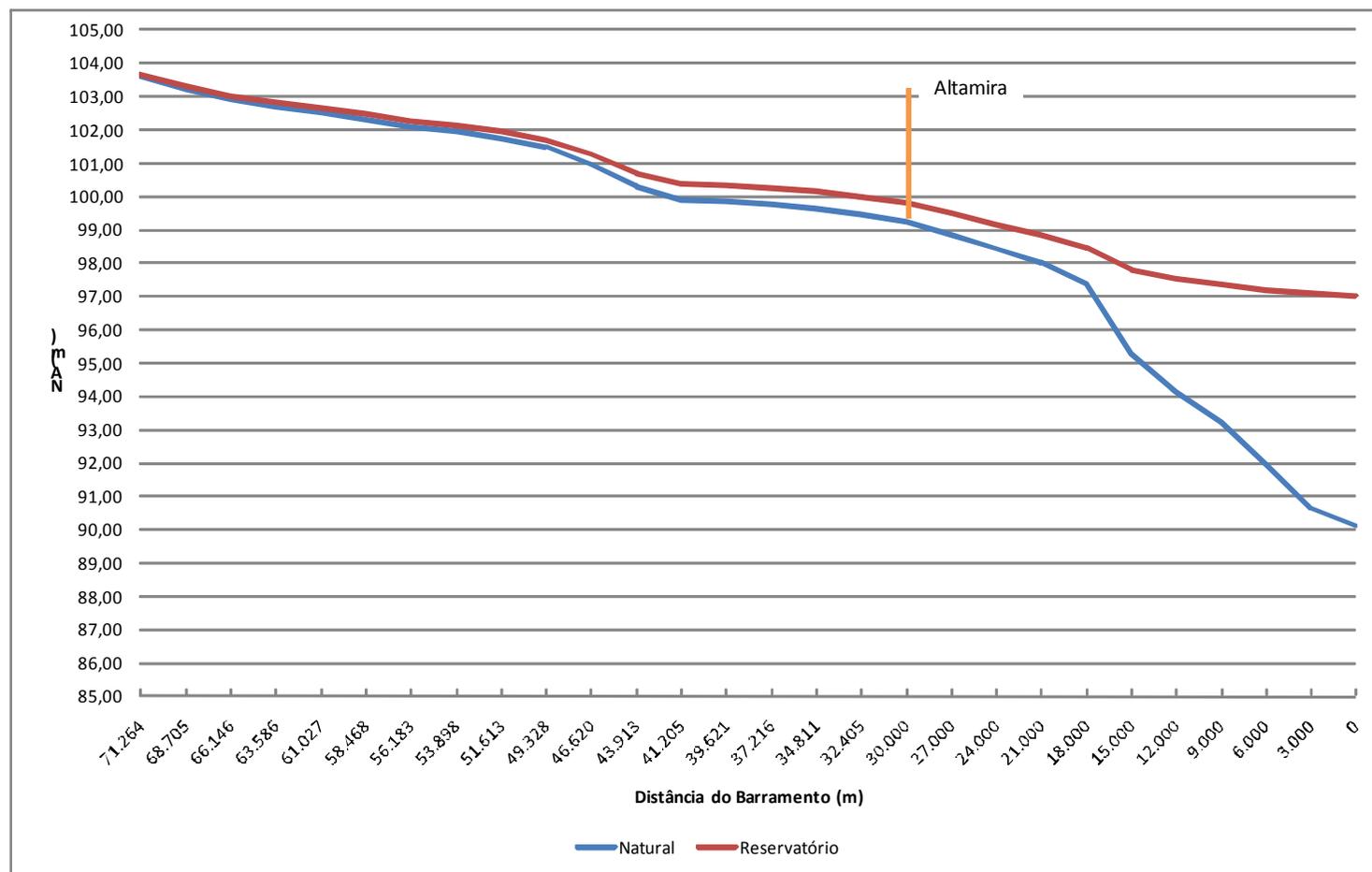


NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

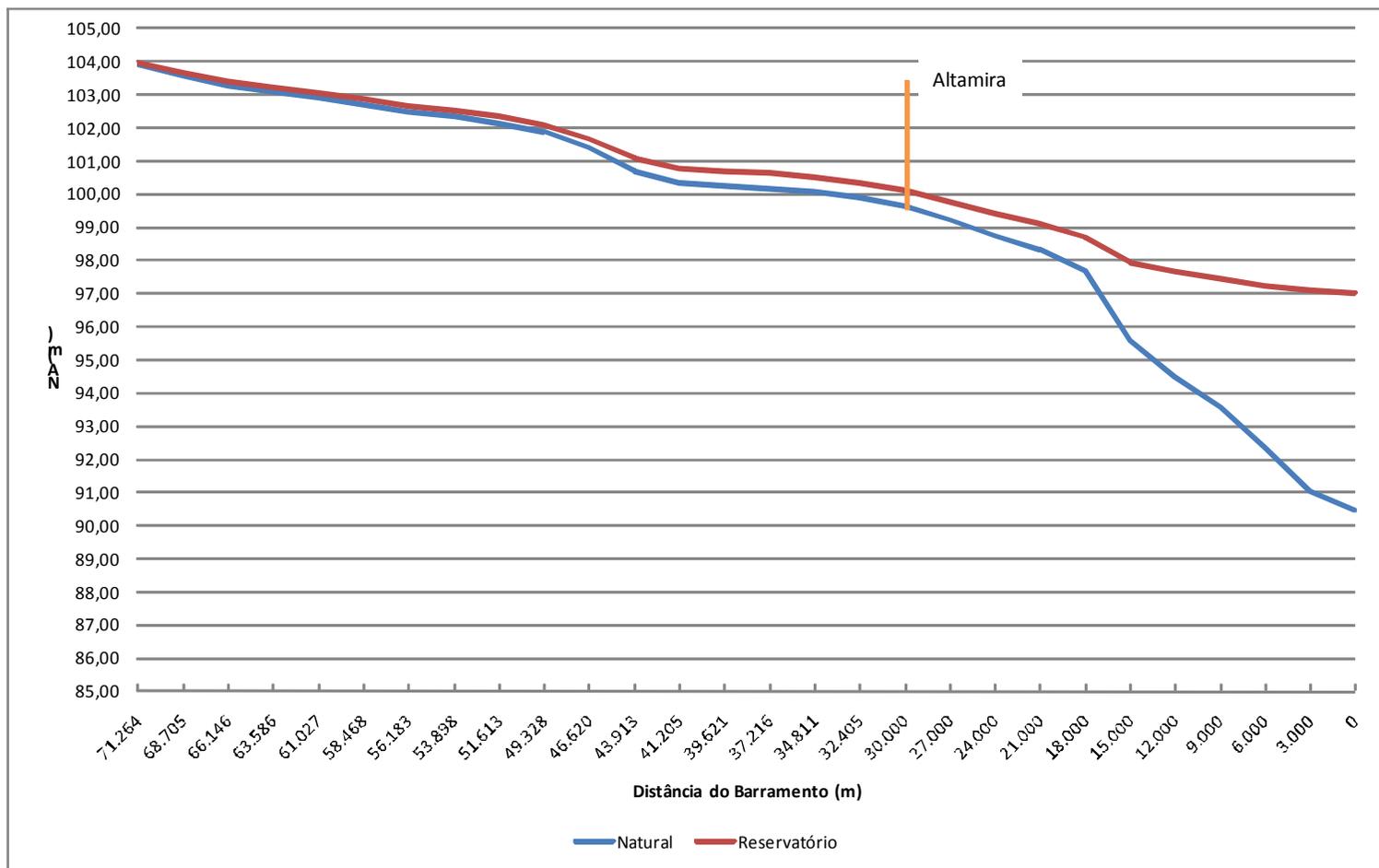
Figura 4.35 - Vazão de 33.766 m³/s (TR=25 anos) – Perfis de Linha d'Água para Condições Naturais e com Reservatório



NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Figura 4.36 - Vazão de 37.014 m³/s (TR=50 anos) – Perfis de Linha d'Água para Condições Naturais e com Reservatório

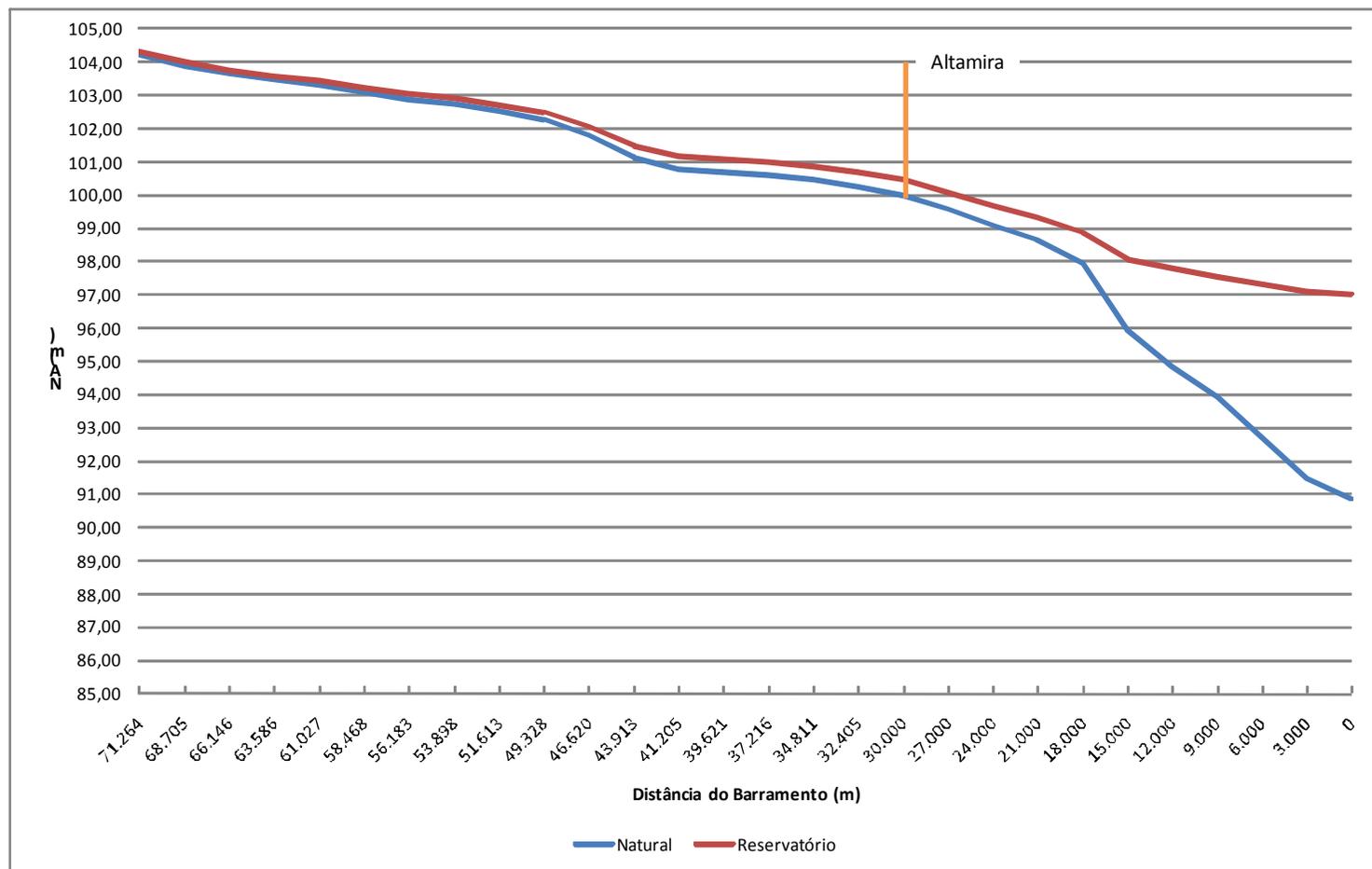


NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Figura 4.37 - Vazão de 40.262 m³/s (TR=100 anos) – Perfis de Linha d'Água para Condições Naturais e com Reservatório



UHE BELO MONTE

Considerações Finais

Com base nos resultados obtidos pôde-se delimitar o trecho de influência do remanso do reservatório para vazões próximas ou acima da média de longo termo (8.046 m³/s). Observa-se que para a MLT o limite do remanso se dá cerca da seção Nova 3. Para cheias maiores esse contorno se desloca progressivamente para jusante. Assim, foram ratificadas as conclusões apresentadas no Estudo de Impacto Ambiental relativos à fase de Viabilidade desse projeto.

Em relação à Altamira, os resultados ratificaram os estudos anteriores. A curva chave da estação fluviométrica 18850000 operada pela ANA em Altamira, indica NA para a cheia centenária de 100,35 m. Para essa recorrência este estudo indica um NA de 100,47 m. Pode-se concluir que, dentro do grau de incerteza das variáveis envolvidas, a diferença não é significativa e, portanto, não se esperam efeitos do remanso nessa localidade para a vazão centenária.

4.3.3 Estudos de Borda Livre

Os estudos de Borda Livre consistem na avaliação das características das ondas que poderão ser formadas no reservatório, e subsidiam a definição da cota da crista da barragem.

Para a sua determinação foi utilizado o método preconizado por Saville, McClendon e Cochran, que resulta de estudos em reservatórios nos Estados Unidos e considera a influência da forma do reservatório sobre o “fetch” e a dos terrenos adjacentes do lago sobre a velocidade do vento atuante na superfície da água.

Tomando como propósito a segurança do empreendimento, procurou-se determinar a condição mais desfavorável, “fetch longo” de maior comprimento possível. Seqüencialmente foram obtidos os valores necessários ao cálculo do “fetch efetivo”.

As medições, para o sítio Pimental, foram realizadas sobre plantas na escala de 1:50.000, obtidas por redução da restituição aerofotogramétrica 1.25:000.

O resultado obtido do “fetch efetivo” referente ao reservatório da calha do rio Xingu é igual a 9,9 km (6,15 milhas), sendo que para o reservatório do canal o valor é igual a 4,3 km (2,67 milhas)

Os cálculos para a definição das bordas livres foram efetuados, tendo, com base, valores paramétricos de velocidade de vento sobre “solo”. Logo, para a Usina Hidrelétrica Belo Monte considerou-se ventos com as seguintes velocidades: 36, 54 e 72 km/h.

Para a obtenção dos valores da velocidade do vento sobre a água, realizou-se uma correlação destas a partir da velocidade do vento sobre o solo, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.45.

Tabela 4.45 - Velocidade do Vento de Projeto

Vel_{solo} (km/h)	Vel_{água} (km/h)	Vel_{água} (mi/h)
36	47,2	29,3
54	70,7	43,9
72	94,3	58,6

Os parâmetros referentes à maré de vento, às ondas significativas e de projeto, ao “run-up” e ao “run-down” foram determinados, com base na metodologia empregada, para ambos os setores do reservatório. De posse desses parâmetros, determinou-se a sobrelevação total para das estruturas para um vento de 94,3 km/h sobre a água (Tabela 4.46).

Tabela 4.46 - Sobrelevação Total e Nível Máximo Atingido pelas Ondas

Tipo de Estrutura	Sítio Pimental Reservatório da Calha do Xingu NA_{MAX} EXCEPCIONAL = 97,50 m		Sítios Belo Monte Reservatório do Canal NA_{MAX} EXCEPCIONAL = 97,50 m	
	Sobrelevação Total (m)	NA_{MAX} Atingido (m)	Sobrelevação Total (m)	NA_{MAX} Atingido (m)
Solo	2,48	99,94	1,65	98,65
Enrocamento	1,85	99,31	1,22	98,22
Concreto	2,53	99,99	1,71	98,71

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.46, optou-se em adotar a elevação das cristas de todas as estruturas de barramentos dos Sítios Pimental e Belo Monte na El. 100,00, o que significa uma borda livre de 3,0 m em referência ao nível d’água normal do reservatório.

Borda Livre dos Diques

A avaliação a sobrelevação do nível d’água do reservatório intermediário devido às ondas provocadas pelo vento e a proteção de enrocamento (rip-rap) dos diques foi feita considerando o “fetch” máximo em cada dique.

A condição de projeto considera que cada dique deverá conter ondas geradas por ventos de 20 m/s (cerca de 72 km/h), atuando coincidentemente com a direção do "fetch" máximo, com o reservatório no seu N.A. Máximo Normal.

O "fetch" máximo, determinado a partir da planta do reservatório intermediário, varia entre 0,3 km e 6,0 km e a profundidade média do reservatório ao longo do “fetch” esta entre 3 m e 59 m para o N.A. Máximo Normal.

Para a borda livre normal de todos os diques foi adotado o valor mínimo de 3,0 m.

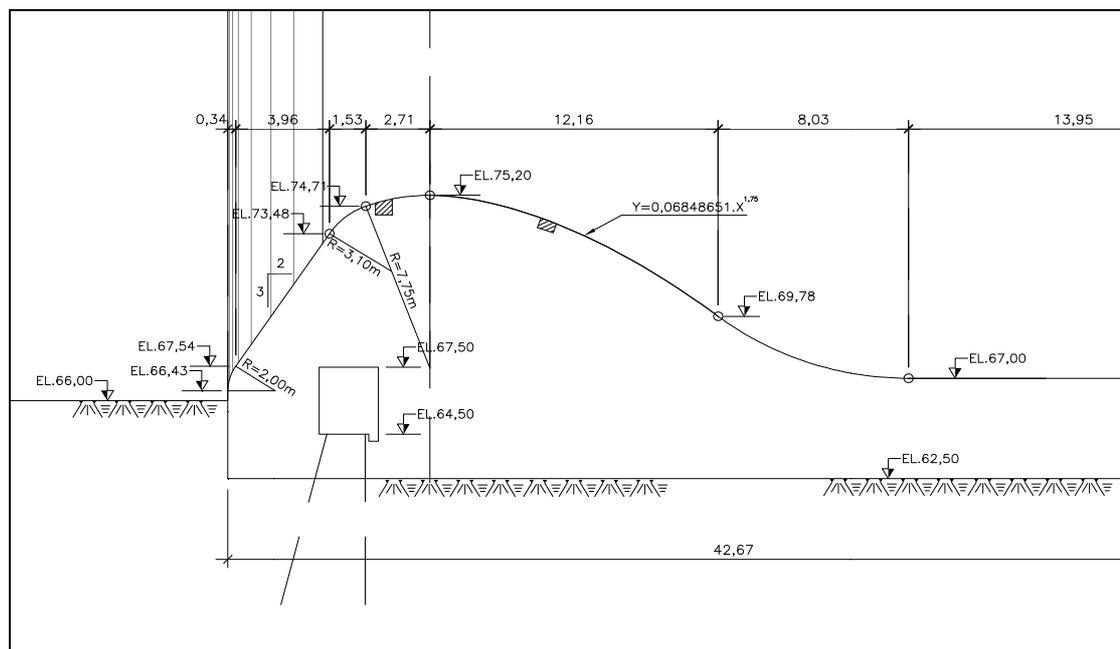
UHE BELO MONTE

4.3.4 Dimensionamento Hidráulico do 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 e foi dimensionado para extravasar a cheia de 62.000 m³/s com nível do reservatório na El. 97,50.

A geometria da crista do vertedouro foi determinada pelas equações que definem o perfil Creager para vertedouros segundo o “Hydraulic Design Criteria – Chart 111-2/1”. A carga de projeto do vertedouro foi definida em 15,50m (Hd), de modo a se poder utilizar um coeficiente de vazão mais elevado para a carga máxima de 22,00m (He, sendo He/Hd=1,42) e concordância de raios de círculo a montante, associado a um paramento com inclinação 1,5V:1,0H. As formas hidrodinâmicas das extremidades de montante do pilar e dos muros laterais foram definidas através de combinações de arcos de círculos, considerando para estes espessuras de 4,5 m. Esses dimensionamentos foram orientados pelas diretrizes do HDC e do HDS do US Corps of Engineers. A geometria do vertedouro pode ser observada na Figura 4.38.

Figura 4.38 - Geometria do Vertedouro Principal



Para definição das cotas de topo dos muros laterais e da posição das vigas-munhão das comportas, foi calculado o perfil de linha d'água ao longo da soleira, calha do rápido e bacia de dissipação, para a vazão 62.000 m³/s. No caso da região da soleira e munhão, o perfil foi calculado com base nas indicações do HDC e HDS do US Corps of Engineers, parametrizadas em função da carga de dimensionamento (Hd) para esse tipo de soleira; enquanto que para a calha do rápido e bacia, o mesmo foi calculado

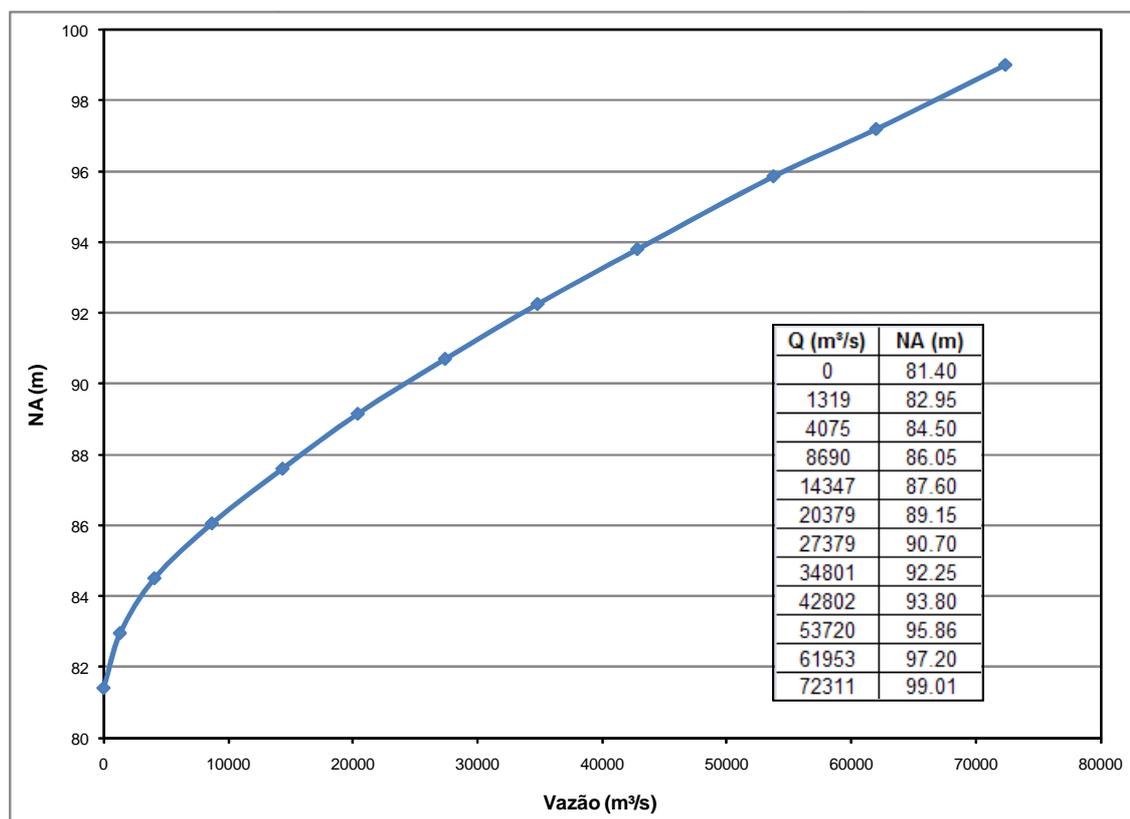
UHE BELO MONTE

através do Standard Step Method. O perfil de linha d'água assim obtido deverá ser verificado nos estudos em modelo reduzido.

Com relação aos muros laterais no rápido e na bacia de dissipação, as cotas de coroamento foram estabelecidas considerando a excepcionalidade da vazão decamilenar sem borda livre e sem considerar o emulsionamento.

A Figura 4.39 apresenta as curvas de descarga para o vertedouro sem controle de comporta. Os cálculos respectivos seguiram as metodologias e os parâmetros constantes do HDC e HDS do US Corps of Engineers, levando em conta as características geométricas definidas para a estrutura na região da soleira e canal de aproximação, constantes dos desenhos apresentados no Volume II deste Relatório e submergência do fluxo pelo nível d'água de jusante.

Figura 4.39 - Curva de Descarga do Vertedouro Totalmente Aberto



O cálculo de pressões foi realizado para de lâmina livre baseado na metodologia dos "Critérios para o Dimensionamento Hidráulico de Barragens Descarregadoras" de Lemos, Fernando de Oliveira para lâmina livre no centro do vão e próximo aos pilares.

As pressões alcançadas na soleira do vertedouro, no rápido e na curva na entrada da bacia de dissipação, chegam a valores máximos da ordem de 14,57 mca.

UHE BELO MONTE

As especificações já elaboradas, relativas à resistência mínima do concreto e às classes e procedimentos para acabamento das superfícies hidráulicas, definem essas características de forma a evitar ou minimizar tal possibilidade.

Entretanto, no Projeto Executivo, cálculos teóricos e ensaios em modelo hidráulico reduzido, detalhados para toda a gama de vazões, permitirão estimar adequadamente valores para o coeficiente de cavitação incipiente em cada seção e trecho da estrutura e definir as adequações às especificações que eventualmente se mostrem necessárias.

4.3.5 Dimensionamento Hidráulico do Desvio do Rio

As atividades de construção no Sítio Pimental da UHE Belo Monte serão executadas em duas fases de desvio do rio Xingu.

Na primeira fase desenvolvem-se as atividades da margem esquerda, Ilha Pimental e canal central com o rio escoando pela calha natural estrangulada. Durante a segunda fase o rio passará a escoar através dos vãos do vertedouro proporcionando a execução das atividades da barragem da margem direita.

Desvio de Primeira Fase

A curva de descarga relativa ao desvio de primeira fase foi obtida através de cálculo de remanso efetuado através do software computacional para modelagem de fluxos tipo águas rasas. Este Software utiliza modelos matemáticos bidimensionais, baseados em elementos finitos, o que permite a simulação de escoamentos subcríticos e supercríticos num plano horizontal.

O software utiliza dados de entrada como topobatimetria do local, rugosidade, condições de contorno do escoamento, além de condições iniciais de escoamento. Para a simulação foi adotada, conservadoramente, altura de rugosidade de 1,0 m.

Inicialmente foi efetuado estudo de remanso com fluxo escoando pela calha natural do rio Xingu. Para calibragem do modelo foi tomado como dados de entrada a topobatimetria existente no local e como condição de contorno a curva-chave definida para o Sítio Pimental (Item 4.3.1).

A partir do modelo de remanso calibrado foram lançadas as ensecadeiras da margem esquerda, acesso entre a margem esquerda e canteiro e ensecadeiras do canal central conforme apresenta a Figura 4.40. Em seguida efetuou-se o estudo de remanso para uma gama de vazões com a calha do rio Xingu estrangulada. A Tabela 4.47 e a Figura 4.41 apresentam a curva de descarga correspondente ao desvio de primeira fase no Sítio Pimental.

Figura 4.40 - Fluxo do rio Xingu escoando pelo canal da margem direita

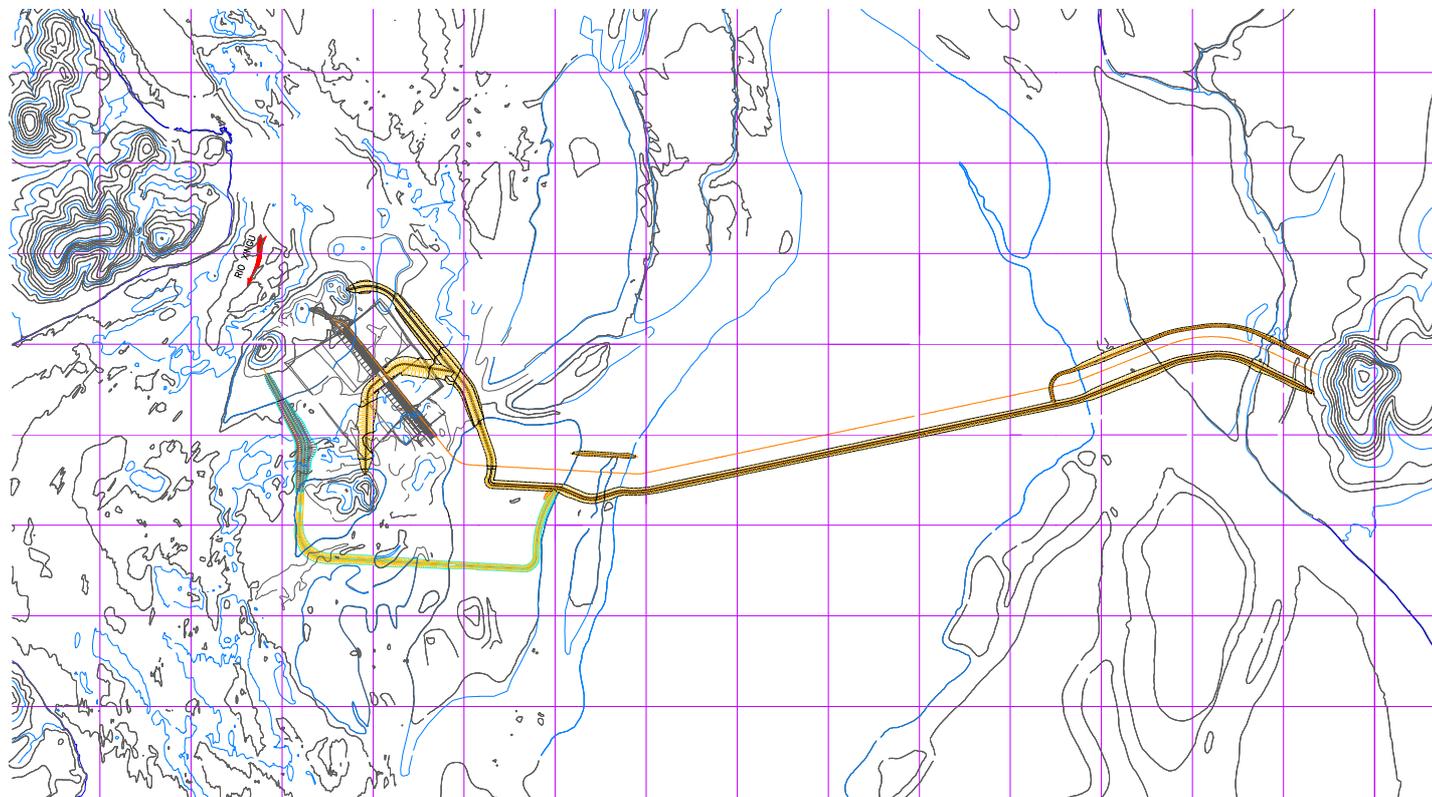
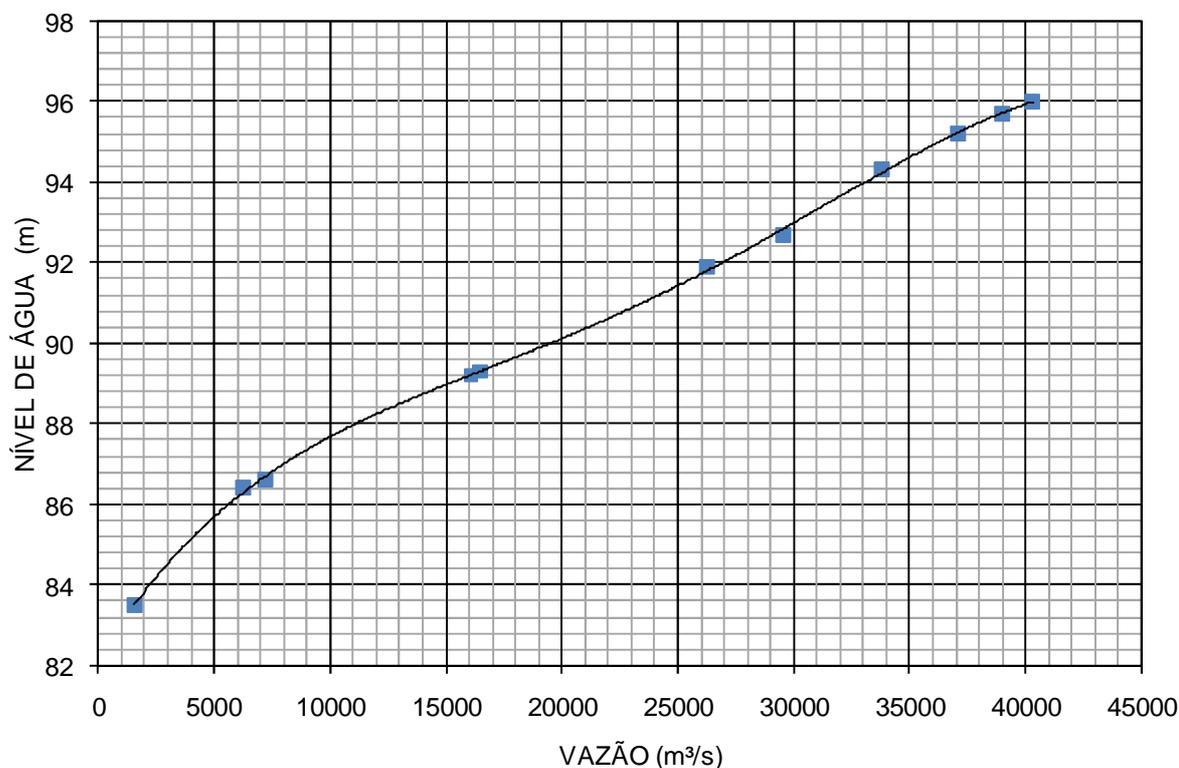


Tabela 4.47 - Curva de Descarga do Desvio de Primeira Fase

Vazão (m³/s)	Nível de água (m)
1.559	83,50
6.235	86,40
7.216	86,60
16.080	89,20
16.491	89,30
26.270	91,90
29.518	92,70
33.812	94,30
37.060	95,20
39.000	95,70
40.309	96,00

Figura 4.41 - Curva de Descarga do Desvio de Primeira Fase



A seqüência construtiva para a primeira fase consiste 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 elevações 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 e da Casa de Força Complementar: esgotamento, escavação da fundação, canais de aproximação e restituição, tratamento de fundação, concretagem e montagem mecânica;
- A Barragem de terra na margem esquerda entre a Ilha do Forno e Ilha Pimental pode-se optar por execução no primeiro período seco, paralelamente com o ensecamento do canal central, ou no segundo período seco, juntamente com outras atividades. Para construção da Barragem de terra na margem esquerda foi adotada ensecadeira para uma vazão de 17.221 m³/s corresponde a uma cheia de 100 anos no período entre julho a dezembro;

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Para a execução da Barragem na Ilha Pimental considerou-se sua execução em período seco, de forma que possa ser trabalhada a seco, sem a necessidade de lançamento de ensecadeira por montante. A Barragem de terra estará protegida para uma cheia de 100 anos no período de agosto a novembro (5.320 m³/s);
- Concluídas a Barragem entre a Ilha da Serra e a margem esquerda, assim como as estruturas de concreto no canteiro central e execução de ensecadeira de proteção 2.^a fase para a Casa de Força Complementar, inicia-se remoção das ensecadeiras do canal central e arranque das ensecadeiras no canal da margem direita para início da 2.^a fase de desvio do rio.

Desvio de Segunda Fase

Durante a segunda fase de desvio o rio passará a escoar por doze vãos do Vertedouro, proporcionando a execução das atividades da Barragem na margem direita e continuidade dos serviços da Casa de Força Complementar e dos oito vãos restantes do Vertedouro.

Para tanto serão removidas as ensecadeiras de primeira fase no canal central e lançadas pré-ensecadeiras de montante e de jusante, nas elevações 87,00 e 86,00, respectivamente, protegidas para vazão média mensal do mês de junho (7.381 m³/s).

A ensecadeira de montante será coroada na El. 96,50, protegida para uma cheia de 100 anos de recorrência. A ensecadeira de jusante será coroada na El. 93,50, protegida para a mesma cheia de 100 anos de tempo de recorrência. A Tabela 4.48 e a Figura 4.42 apresentam a curva de descarga para doze vãos do vertedouro necessários para o desvio de segunda fase.

A Tabela 4.49 resume os critérios de dimensionamento do desvio do rio no Sítio Pimental.

Tabela 4.48 - Curva de Descarga do Desvio de Segunda Fase – 12 vãos do Vertedouro

Vazão (m ³ /s)	Nível de água (m)
0	81,40
1267	82,95
3924	84,50
7216	85,74
8047	86,05
13022	87,60
18053	89,15
23409	90,70
28735	92,25
34863	93,80
37060	94,41
40309	95,31
42320	95,86

UHE BELO MONTE

Figura 4.42 - Curva de Descarga do Desvio de Segunda Fase – 12 vãos do Vertedouro

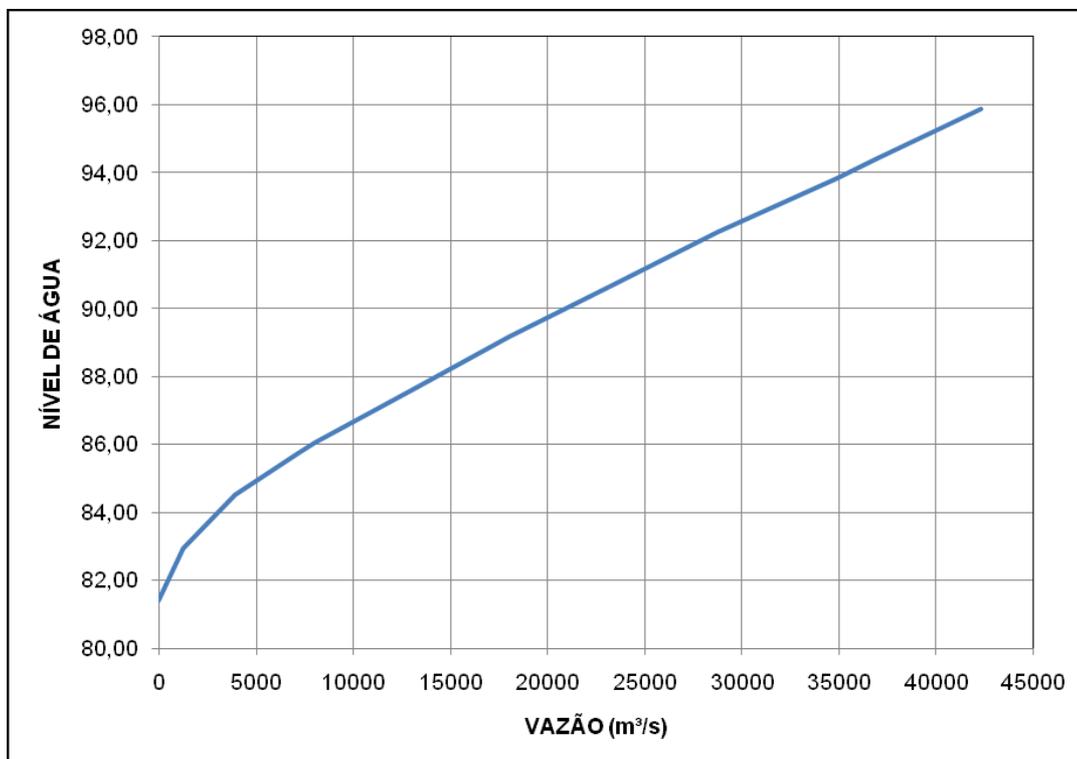


Tabela 4.49 - Sítio Pimental - Condições de Dimensionamento do Desvio do Rio

	Estrutura	Recorrência/ Período	Vazão (m³/s)	Cota de Coroamento Adotada
1.a Fase	Acesso	50 anos	37.014	95,50
	Pré-ensacadeira margem esquerda	média mensal junho	7.381	87,00
	Ensacadeira margem esquerda montante	100 anos (julho a dezembro)	17.221	90,00
	Pré-ensacadeira canal central	média mensal agosto	1.584	84,00
	Ensacadeira canal central montante	100 anos	40.262	96,50
	Ensacadeira canal central jusante	100 anos	40.262	94,00
	Septo Ilha Pimental	100 anos (agosto a novembro)	5.320	87,00
2.a Fase	Pré-ensacadeira montante	média mensal junho	7.381	87,00
	Pré-ensacadeira jusante	média mensal junho	7.381	86,00
	Ensacadeira montante	100 anos	40.262	96,50
	Ensacadeira jusante	100 anos	40.262	93,50

UHE BELO MONTE

4.3.6 Dimensionamento Hidráulico do Canal de Derivação e Reservatório Intermediário

Geral

A Usina Hidrelétrica de Belo Monte apresenta um circuito de adução constituído por um Canal Derivação, um Reservatório Intermediário, Tomada de Água, Condutos Forçados, Casa de Força e Canal de Fuga. A maior extensão do circuito de adução é constituída pelo Canal de Derivação e pelo Reservatório Intermediário, localizados entre o reservatório de Pimental (no rio Xingú) e a Tomada de Água da Casa de Força Principal.

Durante a elaboração do Projeto Básico diversos estudos foram elaborados visando identificar a melhor configuração para o Canal de Derivação e para o Reservatório Intermediário. Estes estudos, assim como a caracterização destes componentes do Circuito de Adução, são apresentados em detalhe no Capítulo 8 do presente relatório. No presente item apresentam-se os critérios e métodos de cálculo utilizados para a execução dos estudos de otimização do Canal de Derivação e do Reservatório assim como as análises hidráulicas finais associadas à configuração selecionada.

A configuração atual apresenta um Canal de Derivação único que segue o alinhamento dos córregos Galhoso (montante) e Paquiçamba (jusante), em posições similares às dos braços dos canais esquerdo e da junção considerados nos Estudos de Viabilidade. Em termos de revestimento no trecho inicial (16,7 km) o canal é revestido com concreto compactado no piso e enrocamento nos taludes laterais. No trecho final (3,5 km) o canal é parcialmente revestido com enrocamento.

O Reservatório Intermediário apresenta configuração semelhante à configuração da Viabilidade tendo sido eliminado, porém, o Vertedouro Complementar localizado no Sítio Bela Vista, o que resultou numa nova distribuição de diques nesta região. Dentro do reservatório são escavados 5 canais de transposição que são parcialmente revestidos com enrocamento.

Para uma vazão máxima turbinada de 13.950 m³/s a atual configuração do circuito de adução resulta numa perda de carga total de 3,58 m sendo que 1,33 m ocorrem no Canal de Derivação e 0,90 m ocorrem ao longo do Reservatório Intermediário (2,23 m de perda entre o Sítio de Pimental e a Tomada de Água Principal). Os dimensionamentos apresentados a seguir referem-se a estes valores de perda de carga. A justificativa para a adoção de uma perda de carga total de 3,58 m é efetuada no Item 4.6.3 do presente relatório.

Critérios e Métodos de Cálculo

Canal de Derivação

O dimensionamento hidráulico do Canal de Derivação consiste na verificação das perdas de carga ao longo do mesmo sendo este valor definido a partir das características geométricas e de revestimento (rugosidades) de cada trecho do canal. Em decorrência da natureza unidimensional do escoamento no Canal de Derivação esta verificação hidráulica foi efetuada com o software HEC-RAS de uso corrente para o dimensionamento de canais naturais e artificiais. Para o cálculo da perda de carga este software utiliza como dado de entrada, entre outros elementos, coeficientes de Manning-Strickler para os diversos tipos de revestimento.

UHE BELO MONTE

Em decorrência das dimensões atípicas do canal de adução de Belo Monte, a utilização de coeficientes de Manning obtidos diretamente das referências bibliográficas pode levar a estimativas equivocadas de perda de carga. Para evitar este tipo de imprecisão, optou-se por utilizar a expressão universal de perda de carga que se baseia nas alturas de rugosidades de Nikuradse das diversas superfícies de revestimento para se calcular os valores equivalentes de coeficientes de Manning-Strickler. A relação entre o coeficiente de Strickler e o parâmetro f da expressão universal de perda de carga é dada pela expressão abaixo.

$$K_s = \sqrt{\frac{8g}{f \cdot R_h^{1/3}}}$$

Onde: f = coeficiente universal de perda de carga = função (Re ; $kn/4R_h$) – Diagrama de Moody;
 Re = número de Reynolds;
 $K_s = 1/n$ = coeficiente de Strickler;
 kn = altura de rugosidade (m);
 R_h = raio hidráulico (m)

Seguindo as recomendações bibliográficas (U. S. Corps of Engineer) pode-se estabelecer, para a superfície de concreto compactado do fundo do canal, uma altura de rugosidade de 0,002 m. A Tabela 4.50 apresenta os coeficientes de Strickler ($K_s = 1/n$) para raios hidráulicos similares ao do Canal de Derivação. Tendo em conta os valores apresentados, adotou-se um coeficiente de Strickler médio de 55 ($n = 0,0182$) para as superfícies revestidas com concreto no fundo.

Tabela 4.50 - Coeficientes de Stricker para as superfícies do fundo do canal revestidas com concreto (2 mm de altura de rugosidade)

Rh (m)	Ks
15	57,0
19	56,0
25	54,6

Do mesmo modo atribuiu-se para as superfícies de revestimento dos taludes laterais do canal com enrocamento, uma altura de rugosidade equivalente a 0,3 m ($kn = D_{50} = 0,30$ m). A Tabela 4.51 apresenta os coeficientes de Strickler para diversos raios hidráulicos. Para efeitos de dimensionamento adotou-se um valor de K_s de 30 ($n = 0,0333$).

Tabela 4.51 - Coeficientes de Stricker para as superfícies dos taludes laterais do canal revestidos com enrocamento (0,3 m de altura de rugosidade)

Rh (m)	Ks
5	32,3
10	32,3
15	32,3

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Para o fundo do canal revestido com enrocamento, atribuiu-se uma altura de rugosidade de 0,1 m ($k_n = D_{50} = 0,10$ m) que para um raio hidráulico de 25 m resulta num coeficiente de Strickler de 37 ($n = 0,027$), valor adotado nos dimensionamentos hidráulicos.

Deve-se observar que a adoção de uma altura de rugosidade maior para os taludes laterais que para o fundo do canal está associada ao método executivo. No fundo será possível compactar o enrocamento formando uma superfície mais uniforme ao passo que nas laterais a superfície exposta não será compactada o que potencialmente poderá gerar uma superfície mais irregular.

Visto que o canal pode apresentar características de revestimento (e rugosidades) distintas no fundo e nas laterais, torna-se necessário calcular um coeficiente de Manning-Strickler equivalente para os cálculos de perda de carga ao longo do canal. Esta ponderação foi efetuada através do método de Lotter. Nesta formulação o canal é subdividido em trechos que, com a mesma declividade da linha de energia, apresentam uma determinada capacidade de descarga sendo o seu somatório a vazão total escoada pelo canal. Em termos de equivalência o coeficiente de Manning-Strickler é calculado através da expressão abaixo. A Figura 4.43 ilustra a subdivisão para o cálculo dos parâmetros geométricos observando-se que foi avaliada a sensibilidade dos valores obtidos, tendo em conta a separação entre os trechos efetuada por uma linha vertical ou pela bissetriz.

$$K_s = \left(\frac{K_{s1} \cdot P_1 \cdot R_{h1}^{5/3} + K_{s2} \cdot P_2 \cdot R_{h2}^{5/3} + K_{s3} \cdot P_3 \cdot R_{h3}^{5/3}}{P_T \cdot R_{hT}^{5/3}} \right)$$

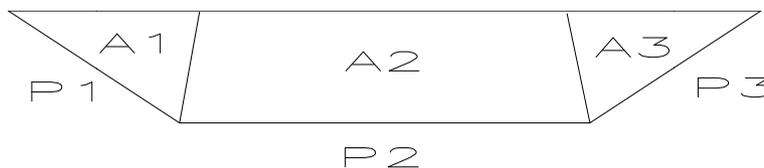
sendo que nesta expressão:

K_s = coeficiente de Strickler;

P = Perímetro (m);

R_h = Raio hidráulico (m).

Figura 4.43 - Subdivisão da seção para cálculo da rugosidade equivalente



Como será apresentado adiante, o dimensionamento do reservatório intermediário é efetuado com um cálculo de escoamento bidimensional sendo que no Canal de Derivação adota-se um cálculo unidimensional. Isto leva à necessidade de se definir adequadamente o acoplamento entre os dois modelos.

UHE BELO MONTE

Para o cálculo de remanso em regime fluvial é necessário estabelecer as condições de contorno a jusante em termos de nível de água ou energia. A análise numérica bidimensional fornece, para uma determinada seção, os valores de velocidade do fluxo e nível de água pontuais, apresentando, portanto, níveis de energia variáveis ao longo da seção.

Para o acoplamento entre os dois modelos manteve-se a equivalência do nível de energia entre os dois modelos, ou seja, o nível de energia calculado na seção de montante da análise numérica bidimensional foi igualado ao nível de energia considerado na seção de jusante do cálculo de remanso do Canal de Derivação. Este procedimento foi adotado, pois em termos energéticos a parcela de energia correspondente à velocidade do fluxo (energia cinética) não pode ser desprezada, requerendo que o acoplamento seja feito em termos de nível de energia.

Outro aspecto relevante é que o cálculo de remanso ao longo do canal apresenta, para cada seção do canal, o nível de água e de energia do fluxo. Visto que a montante do canal existe o reservatório de Pimental, com velocidade praticamente nula e com nível operacional na elevação 97,00, é necessário que este nível seja equivalente ao nível de energia na seção de montante do canal de adução. A título de exemplo caso a velocidade do fluxo na seção de montante do canal de adução seja de 2,0 m/s, a altura de velocidade do fluxo ($V^2/2g$) equivale a cerca de 0,2 m o que requer que o nível de água na seção de montante (entrada) seja de 96,80 m para que o nível de energia seja de 97,00 compatível com o nível operacional de Pimental. Este aspecto é relevante, pois a parcela de energia cinética do fluxo no canal não pode ser desprezada, pois é da mesma ordem de grandeza das perdas de carga ao longo do circuito de adução.

Reservatório Intermediário

Em decorrência das características do Reservatório Intermediário (fluxo em um lago com espalhamento lateral do fluxo com divisão em diversos braços) o dimensionamento hidráulico do mesmo foi efetuado através de um cálculo numérico bidimensional de águas rasas. Para esta análise utilizou-se o modelo numérico River 2D que se baseia nas equações de Saint-Venant sendo as mesmas solucionadas por uma formulação de elementos finitos. Especificamente este programa propicia a análise de fluxos bidimensionais em regime subcrítico e supercrítico em condições permanentes ou transientes tratando adequadamente as condições de contorno nas margens do reservatório quando a lâmina de água se anula (o que pode gerar instabilidades numéricas).

Para as análises numéricas são necessários os seguintes dados de entrada:

- 1) Configuração topográfica do reservatório intermediário incluindo a configuração natural do terreno e a configuração dos canais escavados;
- 2) Parâmetros de rugosidade do terreno natural e dos canais escavados. Especificamente está se adotando para o terreno natural uma altura de rugosidade de 0,5 m e para os canais escavados uma altura de rugosidade de 0,25 m;
- 3) Condição de contorno a jusante correspondente ao nível de água junto a tomada de água. Visto que a solução numérica (mesmo em caso permanente) é obtida por uma análise transiente, é necessário estabelecer uma condição inicial para a

UHE BELO MONTE

solução do problema. Esta condição inicial é estabelecida de forma arbitrária e não interfere na condição final do fluxo.

Como dados de saída o programa fornece, entre outras variáveis, os valores de nível de água e velocidades (componentes em x e y) para cada nó da malha. Outras variáveis fornecidas são: componentes dos fluxos em x e y, número de Froude, profundidade do fluxo, etc. As Figuras 4.44 e 4.45 ilustram alguns dos resultados obtidos.

Figura 4.44 - Análise Numérica do Reservatório Intermediário – Velocidades (m/s)

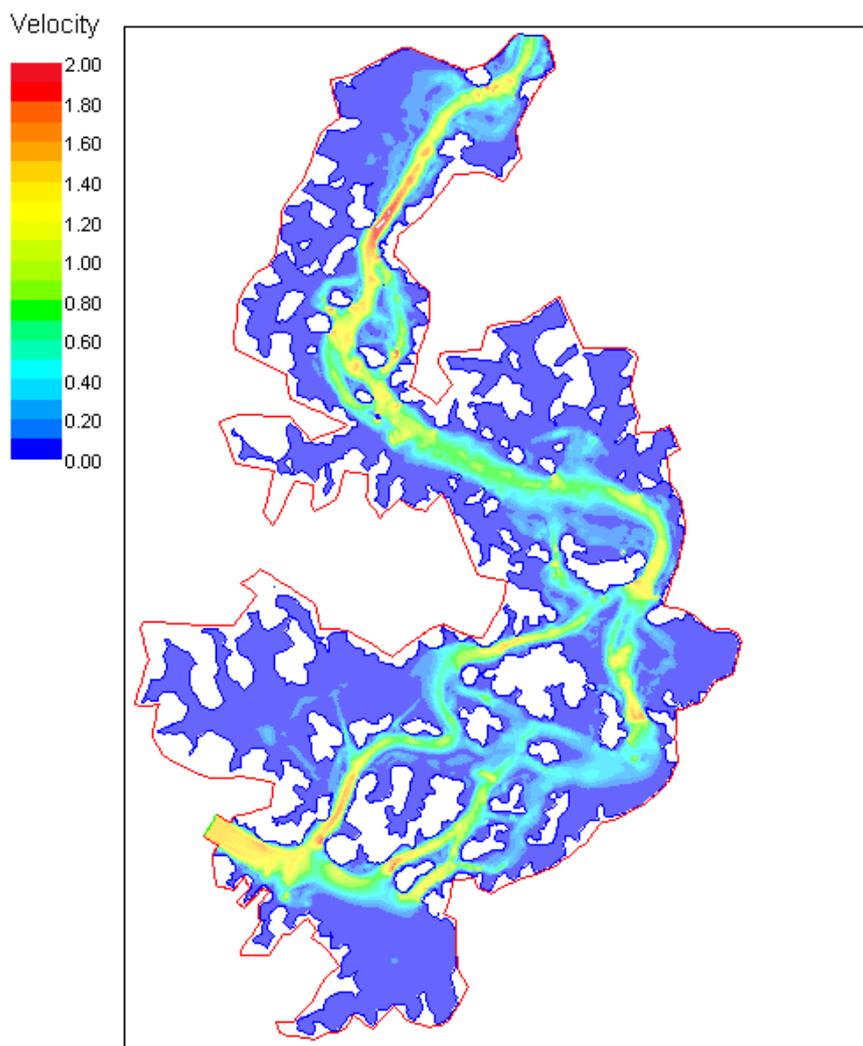
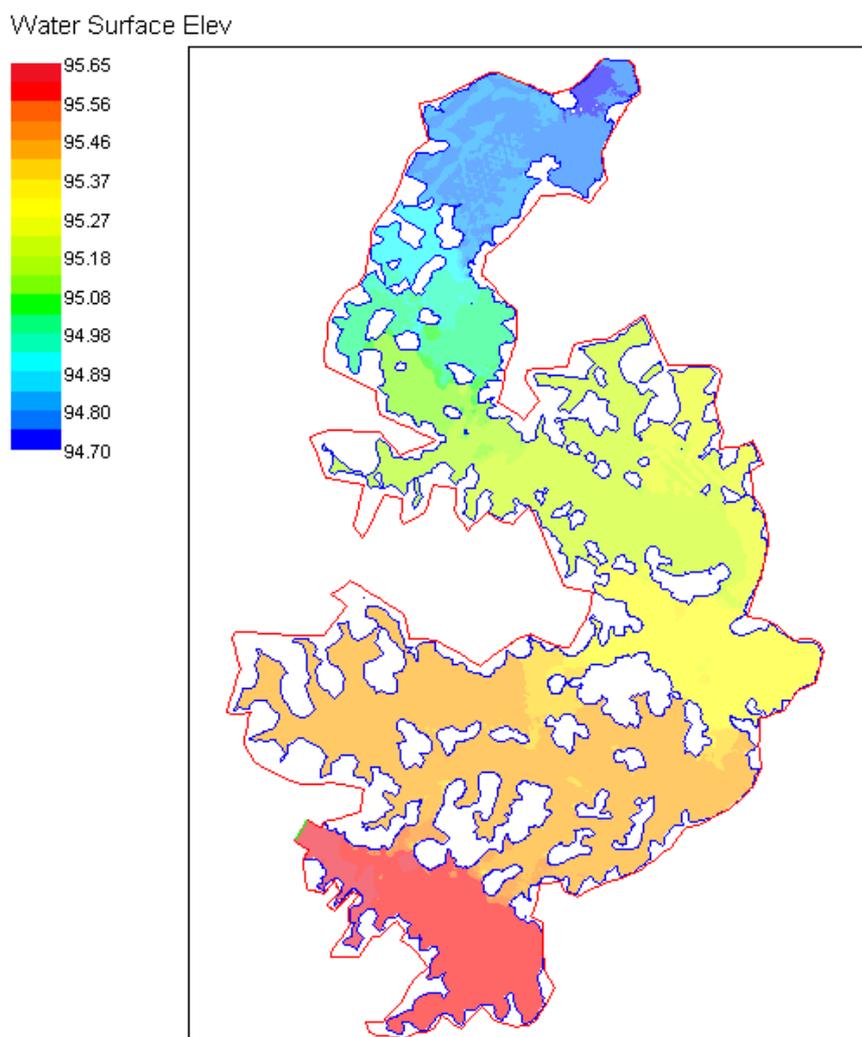


Figura 4.45 - Análise Numérica do Reservatório Intermediário – Nível de Água (m)



Como comentado anteriormente, os estudos energéticos levam em conta as perdas de carga ao longo do circuito de adução. Estas perdas de carga correspondem ao nível de energia do escoamento em cada posição o que corresponde ao nível piezométrico (para escoamentos livre este nível corresponde ao próprio nível de água) acrescido da altura de energia cinética (altura de velocidade do escoamento).

Por outro lado, as análises numéricas bidimensionais (regidas pelas equações de Saint Venant) são baseadas em níveis de água e não em nível de energia. Deste modo é necessário, tanto para a seção de entrada do reservatório intermediário (acoplamento com o cálculo de remanso do Canal de Derivação) como para a seção de saída do reservatório (junto à Tomada de Água da Casa de Força Principal), determinar os níveis de energia do escoamento obtidos a partir das análises numéricas.

UHE BELO MONTE

A título de exemplo, para uma seção qualquer do escoamento no reservatório intermediário, têm-se diversos valores de profundidade e de velocidades ao longo da seção o que resulta em fluxos de vazão e níveis de energia distintos. Para o cálculo da energia do escoamento numa seção qualquer, se determinou o nível médio do fluxo e o coeficiente de correção de energia cinética do escoamento (coeficiente de Coriolis). O coeficiente de Coriolis foi determinado através da seguinte expressão:

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{v_m^3 A}$$

Onde: α = coeficiente de Coriolis;

V = velocidade do fluxo (integrada numericamente com subdivisão de diversos elementos i) - (m/s);

A = área (integrada numericamente com subdivisão de diversos elementos i) - (m²);

Deste modo, tanto para a seção de entrada do reservatório intermediário (acoplamento com o Canal de Derivação), como para a seção de saída (Tomada de Água) é possível calcular os níveis de energia do escoamento tornando a análise numérica bidimensional compatível com o restante das análises unidimensionais utilizadas para o cálculo das perdas de carga ao longo do Circuito de Adução.

Em termos de necessidade de revestimento dos canais do Reservatório Intermediário, e ao longo do próprio reservatório, as velocidades do fluxo foram obtidas a partir das análises numéricas, sendo que para velocidades menores que 1,0 m/s não se consideraram necessárias proteções das superfícies expostas ao fluxo. Para as situações em que as velocidades do fluxo são maiores que 1,0 m/s a necessidade de revestimento foi avaliada levando em conta os riscos decorrentes de eventuais erosões nas superfícies dos canais escavados ou nas próprias superfícies do terreno. No entanto, para as seções escavadas, em função do tipo de terreno, pode ser necessária proteção contra ondas em ambas as situações.

Análises Efetuadas

Tendo em conta os critérios e métodos de cálculos apresentados anteriormente e a configuração selecionada para o Canal de Derivação e o Reservatório Intermediário (ver capítulo 8) efetuou-se o dimensionamento hidráulico destes componentes do circuito de adução sendo os resultados principais apresentados a seguir.

A Tabela 4.52 apresenta a configuração final do Canal de Derivação em termos de elevações e larguras de fundo. A Tabela 4.53 apresenta os valores de nível de água e energia para a referida vazão. Pode-se observar que no início do canal o nível de energia resulta na elevação 97,00 m, sendo compatível com o nível de operação de Pimental. No final do canal os níveis de energia e de água são de 95,67 m e de 95,53 m, respectivamente. Como será apresentado a seguir, o nível de energia na elevação 95,67 m foi obtido das análises numéricas do Reservatório Intermediário.

Tabela 4.52 - Características Geométricas do Canal de Derivação

Estaca (m)	Elevação Fundo (m)	Largura do Fundo (m)
0	87	583
250	87	583
1100	70	130
16350	70	130
16850	80	493
20200	80	493

Tabela 4.53 - Resultados dos cálculos de remanso do Canal de Derivação

Estaca (m)	NA (m)	NE (m)	Estaca (m)	NA (m)	NE (m)
0	96.72	97.00	11100	95.91	96.31
250	96.70	96.98	12100	95.85	96.25
1100	96.53	96.91	13100	95.78	96.19
2100	96.47	96.85	14100	95.72	96.12
3100	96.41	96.79	15100	95.65	96.06
4100	96.35	96.74	16100	95.58	95.99
5100	96.29	96.68	16350	95.56	95.98
6100	96.23	96.62	16850	95.73	95.86
7100	96.17	96.56	17850	95.67	95.81
8100	96.11	96.50	18850	95.61	95.75
9100	96.04	96.44	19850	95.55	95.69
10100	95.98	96.38	20200	95.53	95.67

Com relação ao Reservatório Intermediário a alternativa selecionada resulta em 5 canais de transposição cujas características principais são apresentadas na Tabela 4.54

Tabela 4.54 - Características geométricas dos Canais do Reservatório Intermediário

Canal	Largura do Fundo (m)	Elev. Fundo (m)	Comprimento (m)
CTPT1	250	80	1600
CTPT2	125	80	1150
CTPT3	80	80	1300
CTCS Trecho 1	300	80	350
CTCS Trecho 2	250	69	1500

UHE BELO MONTE

A Tabela 4.55 apresenta os níveis de água ao longo do Reservatório Intermediário. Como já citado anteriormente o acoplamento entre o cálculo de remanso e o cálculo numérico bidimensional foi feito em termos de nível de energia. A Tabela 4.55 apresenta os níveis de água e energia no início do Reservatório Intermediário e junto a Tomada de Água.

Tabela 4.55 - Níveis de água e energia na entrada e saída do Reservatório Intermediário

Seção	NA (m)	Vel. Média (m/s)	NE (m)
Tomada de Água	94.75	0.45	94.77
Montante R.I.	95.59	1.02	95.67

A Figura 4.44 apresenta o campo de velocidades ao longo do Reservatório Intermediário.

Comentários gerais

Tendo-se em conta as análises efetuadas, o nível de energia no final do Canal de Derivação (início do Reservatório Intermediário) resulta em 95,67 m. Dado que nível de operacional de Pimental situa-se na elevação 97,00 a perda de carga ao longo do canal principal é de 1,33 m. O nível de energia junto à Tomada de Água Principal resulta em 94,77 m o que representa uma perda de carga de 0,90 m.

Como pode ser observado nas Figuras 4.44 e 4.45, anteriormente apresentadas, termos hidráulicos as condições de fluxo ao longo do Reservatório Intermediário não são propriamente caracterizadas como o fluxo em um reservatório propriamente dito. Esta constatação decorre do fato de que os níveis ao longo do reservatório são variáveis, sendo que no início do reservatório o mesmo apresenta um nível de água próximo a elevação 95,59 ao passo que junto a tomada de água o reservatório apresenta-se na elevação 94,75 m, ou seja os níveis ao longo do reservatório são variáveis não se podendo atribuir ao reservatório Intermediário um nível de água constante e único. Em termos de velocidade no interior do reservatório também não se pode atribuir um valor nulo existindo regiões do reservatório na qual as velocidades do fluxo não são desprezíveis.

4.3.7 CIRCUITO HIDRÁULICO DE GERAÇÃO

O circuito de geração da UHE Belo Monte compreende o trecho desde a entrada das Tomadas de Água até a saída do Canal de Fuga da Casa de Força Principal.

Este circuito é composto por 18 Tomadas de Água, cada uma provida de grades, comporta ensecadeira e comporta de emergência. Em seguida há uma transição de seção retangular para a seção circular do conduto forçado em aço, com 125 m de comprimento.

UHE BELO MONTE

A casa de força é dividida em dois grandes grupos, sendo um com 8 unidades geradoras e outro com 10 unidades geradoras, os quais possuem canais de fuga independentes.

A saída do tubo de sucção é dividida em duas, diminuindo o vão das comportas ensecadeiras. A água então é restituída ao Rio Xingu por intermédio dos dois canais de fuga escavados na EL.-9,00 m, com 263 m e 329 m de largura respectivamente, por cerca de 700 m de comprimento, após os quais se unem. Há então uma rampa ascendente com alargamento de seção, até o encontro com o leito do Rio Xingu.

Os dimensionamentos hidráulicos do circuito foram feitos de acordo com os preceitos dos "CRITÉRIOS DE PROJETO CIVIL DE USINAS HIDRELÉTRICAS", da ELETROBRÁS.

Submersão Mínima da Tomada de Água

Para verificação da submersão mínima da Tomada de Água foi utilizada a fórmula de Gordon:

$$S = k v \sqrt{d},$$

Onde:

d = altura da comporta (m);

v = velocidade do escoamento na seção da comporta (m/s);

k = 0,7 (coeficiente relacionado à simetria da aproximação).

A vazão nominal por Tomada de Água é de 775 m³/s, sendo que a seção das grades tem largura total de 18,90 m por 28,70 m de altura e conta com dois pilares intermediários para apoio dos painéis das grades. Essa configuração resulta em uma velocidade do escoamento de 1,43 m/s.

Em seguida há um estreitamento até a seção das comportas, sendo previstas comporta ensecadeira (11,3H x 17,5V) e comporta de emergência (10,4H x 16V). A velocidade máxima do escoamento na seção da comporta de emergência é de 4,66 m/s.

Tem-se, então:

$$S = 0,7 \cdot 4,66 \sqrt{16} = 13,05m$$

Considerando-se que a elevação do N.A.máx normal a montante da tomada é 97,00 m, e que as perdas de carga no circuito de adução (reservatórios e canais) podem chegar a 2,23 m, a elevação da soleira na seção da comporta deverá ser inferior a:

$$97,00 - 2,23 - 13,05 - 16,0 = 65,72 \text{ m.}$$

A cota da soleira da Tomada de Água foi estabelecida na El. 64,50 m, garantindo a submersão mínima para esta estrutura.

UHE BELO MONTE

Perdas de Carga

Foram avaliadas as perdas de carga esperadas no circuito de geração, ou seja, no trecho compreendido entre a entrada da Tomada de Água até a saída do Canal de Fuga.

O cálculo foi dividido em duas partes, pois no trecho desde a tomada d'água até a saída do tubo de sucção a perda está vinculada à vazão de engolimento por máquina, ao passo em que no canal de fuga, estará vinculada à vazão total de engolimento da usina.

O primeiro trecho tem como característica a presença de uma série de singularidades que causam perdas localizadas, além da perda contínua por atrito ao longo de seus elementos constituintes.

Os condutos são em aço e em número de 18, um para cada unidade, e têm diâmetro de 11,60 m, que corresponde ao diâmetro econômico para os mesmos. Apresentam duas curvas verticais, a primeira com um ângulo de 39,8 graus e 51,29 m de raio, e a segunda com 39,8 graus e raio de 27,50m. O comprimento total de cada conduto é 125 m e a velocidade máxima do escoamento é de 7,33 m/s.

Cada tubo de sucção apresenta saída dupla de 12 m x 11,89 m equipada com comportas enescadeiras. A velocidade na seção de saída é de 2,72 m/s.

O canal de fuga apresenta um primeiro trecho subdividido em dois grupos de unidades geradoras, escavados em rocha na EL.-9,00 m, com 263 m e 329 m de largura respectivamente, por cerca de 700 m de comprimento.

Em seguida esses canais se unem ao mesmo tempo em que se desenvolve uma rampa ascendente com alargamento de seção, até o encontro com o leito do Rio Xingu.

As perdas de carga localizadas foram estimadas com base na seguinte formulação geral:

$$h = k \frac{v^2}{2g},$$

Sendo k um coeficiente que depende do tipo de singularidade e que foi obtido a partir da bibliografia levando-se em conta a geometria dos elementos.

No caso de alargamentos e estreitamentos, ou onde há variação da velocidade do escoamento, a formulação torna-se:

$$h = k \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g},$$

Esta formulação também foi utilizada na saída do tubo de sucção, considerando-se que há velocidade no canal de fuga.

UHE BELO MONTE

Para as perdas contínuas no conduto forçado, utilizou-se:

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

L = comprimento do conduto (m);

D = diâmetro do conduto (m);

O coeficiente f foi obtido com base no coeficiente de Manning, dado pela equação:

$$f = 8g \frac{n^2}{R_h^{1/3}}$$

Onde:

n = coeficiente de Manning, adotado igual a 0,01 para aço novo;

R_h = raio hidráulico (m).

As perdas no canal de fuga foram calculadas através do método das diferenças finitas "Standard Step Method", utilizando-se a equação de Manning-Strickler:

$$h_f = L \left(\frac{nV}{R_h^{2/3}} \right)^2$$

Onde:

V = velocidade média na seção (m/s);

R_h = raio hidráulico (m);

n = coeficiente de Manning, adotado igual a 0,35 para o canal de fuga;

L = comprimento de cada trecho do canal (m).

As Tabelas 4.56 a 4.58 apresentam as perdas contínuas e localizadas previstas ao longo do circuito de geração para a vazão nominal da usina, que é 13.950 m³/s (ou 775 m³/s por unidade).

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.56 - Cálculo da Perdas de Carga no Circuito de Geração – Perdas no Conduto Forçado

Vazão Turbinada Máxima (m³/s) =	13 950	n
Diâmetro do conduto (trecho aço) (m) =	11.60	0.0100

PERDAS CONTÍNUAS POR ATRITO NOS CONDUTOS FORÇADOS												PERDAS LOCALIZADAS NOS CONDUTOS								TOTAIS					
												CURVA VERTICAL 1				CURVA VERTICAL 2					TOTAIS				
No.	%	Qunit	L	D	A	Perím.	Rh	v ¹	f ²	hf ³			r	r/D	Kb ₁ ⁴			r	r/D	Kb ₂ ⁴	K _{tot}	v ² /2g	h _l	h _{total}	
Unid.	Engol.	(m³/s)	(m)	(m)	(m²)	(m)	(m)	(m/s)		(m)	(graus)	(rad)	(m)			(graus)	(rad)	(m)			(m)	(m)	(m)	(m)	
1	18	100%	775.0	125	11.60	105.68	36.44	2.90	7.33	0.00550334	0.163	39.8	0.69	51.29	4.42	0.065	39.82	0.7	27.50	2.37	0.090	0.155	2.741	0.425	0.59

EQUAÇÕES UTILIZADAS:

¹ $v = Q_{unit} / A$

² $f = 8g * n^2 / Rh^{1/3}$

³ $hf = f * (L / D) * (v^2 / 2g)$

⁴ $1/Kb = v^2/2 * (LN(r/D) + ...)$

(Ref: HDC Chart 228-1)

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.58 - Cálculo da Perdas de Carga no Circuito de Geração – Perdas no Canal de Fuga

		Vazão Xingu =	200	m ³ /s	Casa de Força 1				Casa de Força 2				Total				
		Qturb máx =	13 950	m ³ /s	Nº Unid. Op. =	8		Nº Unid. Op. =	10		Vazão Total =	14 150	m ³ /s				
					Capacidade =	100%		Capacidade =	100%		Env. C.Chave =	Média					
					Vazão Turb. =	6 200	m ³ /s	Vazão Turb. =	7 750	m ³ /s	NAjusante =		5.43 m				
CF	Canal	Larg. Base (m)	n fundo	El. Fundo (m)	NAméd (m)	Prof. (m)	Área (m ²)	n pond.	Comp. (m)	Raio Hidr. (m)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	Dh (m)	i (m/m)	Dh total (m)	Dh Méd (m)	
1	Restituição	904.4	0.035	-5.00	5.43	10.43	9 441	0.035	1 078	10	13 950	1.48	0.130	0.000121	0.24	0.23	
	Transição	796.5	0.035	-7.00	5.30	12.30	9 809	0.035	392	12	13 950	1.42	0.036	0.000091			
	Canal de Fuga 8un	263	0.035	-9	5.26	14.26	3 771	0.035	651	13	6 200	1.64	0.071	0.000109			
	Rampa saída TS	263	0.035	-16.00	5.19	21.19	5 618	0.035	106	18	6 200	1.10	0.003	0.000031			
2	Restituição	904.4	0.035	-5.00	5.43	10.43	9 441	0.035	1 078	10	13 950	1.48	0.130	0.000121	0.22		0.23
	Transição	796.5	0.035	-7.00	5.30	12.30	9 809	0.035	392	12	13 950	1.42	0.036	0.000091			
	Canal de Fuga 10un	329	0.035	-9	5.26	14.26	4 712	0.035	523	13	7 750	1.64	0.056	0.000106			
	Rampa saída TS	329	0.035	-16.00	5.20	21.2	7 021	0.035	106	19	7 750	1.10	0.003	0.000030			

UHE BELO MONTE

Para a vazão turbinada máxima, a soma de todas as perdas no primeiro trecho é igual a 1,12 m. Assim, como a perda é proporcional ao quadrado da vazão, tem-se:

$$k = \frac{h_t}{Q^2} = \frac{1,12}{775^2} = 1,86472 \times 10^{-6}$$

E, para o canal de fuga, vem:

$$k = \frac{h_t}{Q^2} = \frac{0,23}{13.950^2} = 1,18190 \times 10^{-9}$$

Com isso, as equações de perda de carga a serem utilizadas nos estudos energéticos se tornam:

Tomada de Água ao Tubo de Sucção: $\Delta H = 1,86472 \times 10^{-6} \times Q_{un}^2$

Canal de Fuga: $\Delta H = 1,18190 \times 10^{-9} \times Q_t^2$

4.4. GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4.4.1 Estudos Anteriores

Os trabalhos geológicos disponíveis sobre a região do aproveitamento incluíam o Projeto RADAMBRASIL, folhas SA.22 – Belém e SB/SC.22 – Araguaia/Tocantins (1974), na escala 1:1.000.000; o Projeto Sulfetos de Altamira-Itaituba, do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) (1977), na escala 1:100.000 e do Projeto Integração Geológico-Geofísica, Sul do Pará, do DNPM/CPRM (1979), na escala 1:500.000.

Durante o período compreendido entre os anos de 1975 a 1989, foram desenvolvidos os estudos de Inventário e Viabilidade (1ª Etapa), gerando a ampliação dos conhecimentos geológico-geotécnicos da região, através do mapeamento realizado em vários “eixos” localizados na Volta Grande, complementado por reconhecimentos efetuados ao longo do rio Xingu e da rodovia Transamazônica. Utilizando os recursos da fotointerpretação, foi elaborado também o mapa fotogeológico dessa região, na escala de 1:100.000.

As investigações geológico-geotécnicas foram desenvolvidas com a execução de poços de inspeção e retirada de amostras deformadas e indeformadas, sondagens a trado, à percussão e rotativas, além dos métodos indiretos de investigação, representados por sísmica de refração e reflexão e sondagens elétricas verticais. As informações obtidas foram consubstanciadas nos mapas geológicos locais dos Sítios Belo Monte (antigo Kararaô) e Bela Vista (antigo Juruá) na escala 1:10.000; em seções geológico-geotécnicas longitudinais pelos eixos do barramento, nos mapas de

UHE BELO MONTE

localização de ocorrência de materiais naturais de construção e ensaios tecnológicos de laboratório correspondentes.

As quantidades referentes a cada tipo de investigação de subsuperfície executadas nos Sítios Belo Monte e Bela Vista, durante a fase de Inventário da Bacia Hidrográfica do rio Xingu, foram as seguintes:

- Poços de inspeção 17
- Sondagens a trado nos eixos 13
- Sondagens a trado nas áreas de empréstimo 15
- Sondagens elétricas verticais 43
- Sondagens sísmicas de refração 45

As investigações de subsuperfície correspondentes a fase de Viabilidade (1ª Etapa) estão indicadas na Tabela 4.59.

Além dos mapas geológicos anteriormente citados, foi elaborado também o mapeamento geológico regional, na escala 1:250.000. Posteriormente, estas informações foram incorporadas no mapa geológico regional na escala 1:1.000.000, publicado pela CPRM no ano de 2004. Na Tabela 4.60 é apresentado o resumo dos serviços de mapeamentos geológicos realizados. Foram executados também vários tipos de ensaios geotécnicos de laboratório, conforme ilustrado pelos valores apresentados na Tabela 4.61.

UHE BELO MONTE

Tabela 4.59 - Resumo das Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas

Atividade	Local						TOTAL	
	Sítio Bela Vista	Sítio Belo Monte	Canais de Adução	Diques de Bela Vista	Diques de Belo Monte	Reservatório		
Sondagens Rotativas (m)	1892	3162		107	96	-	5405	
Sondagens a Percussão Ø 2 1/2" (m)	71	1383	148	12	126	-	1592	
Sondagens Ø 8" (Bela Vista) e Ø 4" (Belo Monte) (m)	135	372	-	-	-	-	507	
E N S A I O S (un)	S. P. T	108	1495	91	46	114	-	1854
	Infiltração	78	587	15	21	73	-	774
	Perda D'Água	254	660	-	8	18	-	940
	S. H. M.	94	312	-	-	-	-	406
	Obturador de Impressão	27	21	-	-	-	-	48
	Instalação de Medidores de N.A. e/ou Piezômetros	8	48	5	-	1	-	62
	Orientação de Testemunhos	77	116	11	2	8	-	214
Poços nas Fundações	10	49	2	18	21	-	100	
Ensaio de Infiltração em Poços	-	6	-	-	-	-	6	
Amostras Indeformadas	14	40	-	1	6	-	61	
Poços nas Áreas de Empréstimo	-	6	-	-	-	-	6	
Sondagem a Trado nos Arranjos (un)	-	122	138	25	36	-	321	
Sondagem a Trado nas Áreas de Empréstimo (un)	87	43	-	60	185	-	375	
Sísmica de Refração e Eletroresistividade (un)	23	58	29	7	13	-	130	
Sísmica de Reflexão (subaquática) (km)	58	99	-	-	-	-	157	

Tabela 4.60 - Resumo dos Serviços de Mapeamentos Geológicos Realizados

Atividade	Local						Total
	Sítio Bela Vista	Sítio Belo Monte	Canais de Adução	Diques de Bela Vista	Diques de Belo Monte	Reservatório	
Pontos de mapeamento	343	96	-	68	90	235	832
Área mapeada (km ²)							
- 1:10.000 (Sítios Belo Monte e Bela Vista) e							
- 1:5.000 (Diques)	28	40	24	2	3	-	97
Área mapeada (km ²) - 1:250.000	-	-	-	-	-	6600	6600

Tabela 4.61 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos de Laboratório

Materiais	Ensaios	Local			Total
		Bela Vista	Belo Monte	Diques/Canais	
SOLO	Densidade dos grãos	216	282	388	886
	Limites de Consistência	213	382	388	983
	Granulometria c/ Sedimentação	208	312	394	914
	Umidade Natural	299	430	879	1602
	Densidade Natural	21	78	25	124
	Compactação	127	159	191	477
	Permeabilidade (H constante)	5	12	-	17
	Permeabilidade (H variável)	4	9	-	13
	Permeabilidade (adensamento)	44	167	-	211
	Adensamento com inundação	13	52	-	65
	Expansão	-	6	-	6
	Triaxial Q	47	122	-	169
	Triaxial R	-	2	-	2
	Triaxial Rsat	66	74	-	140
	Triaxial S	28	38	-	66
	Triaxial Ssat	1	1	-	2
	Cisalhamento direto	-	12	-	12
	Análise química	-	30	-	30
AREIA	Peneiramento	61	140	-	201
	Densidade dos grãos	31	115	-	146
	Índice de vazios	9	6	-	15
	Permeabilidade	36	6	-	42
ROCHA	Lâminas petrográficas	20	17	-	37
	Índices físicos	28	58	-	86
	Compressão simples	12	22	-	34
	Tração	16	24	-	40
	Cisalhamento direto	-	9	-	9
	Expansão	-	1	-	1
	Abrasão Los Angeles	3	4	-	7
Análise por difração de raio X	-	2	-	2	

Na 2ª etapa dos Estudos de Viabilidade, desenvolvido nos anos de 2000 a 2002, foram produzidos os materiais apresentados a seguir. Adicionalmente, no ano de 2009, foram executadas investigações geológico-geotécnicas, exclusivamente no canal de derivação.

- Mapeamentos Geológicos e Geotécnicos

Os mapeamentos geológicos e geológico-geotécnicos dos locais investigados, Sítio Pimental, Canal de Derivação e Diques correspondentes, foram executados segundo a metodologia convencional, iniciando pela coleta e análise dos dados disponíveis, principalmente no mapeamento geológico regional em escala de 1:250.000, e, posteriormente com a interpretação de fotografias aéreas na escala de 1:60.000, reconhecimento de campo e integração dos dados. As informações

UHE BELO MONTE

apresentadas para o Sítio Belo Monte (antigo Kararaô) foram extraídas dos estudos anteriormente executados.

Os referidos mapeamentos, realizados no período de estiagem compreendido entre os meses de outubro a dezembro/2000, foram executados na escala de 1:25.000, apoiados nos mapas-base de mesma escala, provenientes de restituições aerofotogramétricas executadas pela empresa AEROSUL S.A, com vôo na escala de 1:60.000 realizado no período de 1976/1977.

Nos trabalhos de mapeamento no Sítio Pimental, as observações de campo foram facilitadas pela possibilidade de acesso por barco e exposição de extensa área de afloramento rochoso, resultando na descrição de 61 pontos ao longo de uma área de 48 km². Na região do Canal de Derivação, com 193 pontos levantados e área de 88 km², devido às restrições de acessos terrestres e a pouca incidência de afloramentos rochosos, ocorreram maiores dificuldades na execução dos trabalhos de mapeamento.

Na fase de integração dos dados, foram incluídos os resultados das análises petrográficas de 24 lâminas delgadas e polidas e de quatro análises de difratometria de raios-X. Estes materiais analisados foram retirados de testemunhos de sondagens da atual campanha de investigações e as análises foram feitas pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Foram desenvolvidos ainda os tratamentos dos dados estruturais em rede estereográfica de igual área.

O resumo das quantidades de serviços realizados dentro das atividades de mapeamento geológico-geotécnico é apresentado na Tabela 4.62.

Tabela 4.62 - Resumo dos Serviços de Mapeamentos Realizados

Atividade	Local		
	Sítio Pimental	Canal de Derivação	Total
Pontos de mapeamento	61	193	254
Área mapeada esc. 1:25.000 (km ²)	48	88	136

- **Investigações Geológico-Geotécnicas**

As investigações geológico-geotécnicas foram realizadas no período compreendido entre os meses de outubro/2000 a março/2001, além da campanha executada no Canal de Derivação, no ano de 2009. Constaram de poços de inspeção, sondagens a trado, à percussão e rotativas e, como método indireto, sondagens geofísicas, representadas por sísmicas de refração e reflexão. As quantidades referentes a cada tipo de investigação estão indicadas na Tabela 4.63.

Tabela 4.63 - Resumo das Investigações Geológico-Geotécnicas Realizadas

Atividade	Local				
	Sítio Pimental	Canais de Adução	Diques Complementares.	Total	
Sondagens rotativas (m)	690	-	-	690	
Sondagens rotativas (m)/2009	-	991,33	-	991,33	
Sondagens rotopercussivas/2009	-	1201,40	-	1201,4	
Sondagens à percussão $\varnothing 2^{1/2}$ (m)	113	329	52,4	494,4	
Sondagens à percussão $\varnothing 2^{1/2}$ (m)/2009	-	126,06	-	126,06	
Sondagens à percussão $\varnothing 6$ (m)	83	-	-	83	
E N S A I O S	SPT	155	316	49	520
	Infiltração	146	113	25	284
	Perda d'água	219	-	-	219
	Orientação de testemunhos	69	-	-	69
Instalação de medidores de NA	-	06	-	06	
Poços de investigação (m)	13	-	-	13	
Amostras indeformadas	01	-	-	01	
Sondagens a trado nos arranjos (m)	14	59	-	92	
Sondagens a trado nas áreas de empréstimo (m)	288	53	15	356	
Sísmica de refração (m)	12447	88723	2130	103300	
Sísmica de refração (m)/2009	-	7200	-	7200	
Sísmica de reflexão (m)	50000	-	-	50000	

A seguir são apresentados os serviços realizados em cada região investigada:

a) Sítio Pimental

Nas sondagens rotativas e à percussão foram executados, nos trechos em solo, ensaios de SPT e infiltração e, quando em rocha, ensaios de perda d'água, além da orientação dos testemunhos para medidas estruturais. Ainda foram executadas sondagens à percussão com diâmetro de seis polegadas, para investigar áreas potenciais para jazidas de areia e cascalho.

UHE BELO MONTE

Investigações manuais, representadas por poços e sondagens a trado, foram executadas com a finalidade de inspeção e amostragem dos solos de fundação e das áreas de empréstimo. As sondagens a trado foram limitadas a profundidades de até 13 metros ou a presença do nível d'água e os poços foram interrompidos sempre que atingiram o lençol freático.

Durante os meses de novembro/2000 a janeiro/2001 e de setembro a outubro/2001, foram efetuadas as sondagens geofísicas.

As sondagens sísmicas pelo método de reflexão foram executadas com a finalidade de efetuar levantamentos batimétricos e para a determinação das espessuras das coberturas aluvionares nos trechos imersos do leito do rio Xingu.

Nos trechos secos, a execução de sondagens sísmicas pelo método de refração permitiu a investigação adequada das fundações.

Para a investigação das fundações nos locais das possíveis fugas nas margens direita e esquerda do Sítio Pimental, considerando-se a pequena altura desses barramentos eventuais e a possibilidade de serem melhor investigadas em etapas posteriores, foram executadas somente sondagens a trado.

b) Canal de Adução

Na área do Canal de Derivação foi executada uma ampla campanha de sondagens por sísmica de refração, além de sondagens a trado e à percussão, com ensaios SPT e em alguns furos foram realizados ensaios de infiltração. Visando obter informações mais consistentes do comportamento regional do lençol freático, em seis furos, remanescentes das sondagens a percussão, foram instalados medidores de nível d'água. No período entre abril a outubro do ano de 2001, sistematicamente foram efetuadas leituras semanais nestes medidores. Durante o ano de 2009, foi executada campanha de investigações geológico-geotécnicas, composta de sondagens geofísicas pelo método de refração, sondagens rotativas, percussão e rotopercussivas.

Nos trechos correspondentes a porção final do Canal de Derivação (trecho do igarapé Paquiçamba) e demais áreas dos Canais de Transposição, situadas nas transposições de vales, foram efetuadas investigações com sísmica de refração (período de 2000/2001 e 2009), as quais, juntamente com prospecções realizadas na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, permitiram caracterizar as condições geológicas locais.

c) Diques Complementares

Em função da nova configuração do Reservatório Intermediário, sem o Vertedouro Complementar em Bela Vista, foram efetuados estudos para eliminação de alguns diques existentes e a implementação de novos diques.

Nos locais previstos para implantação dos diques DIK-27, DIK-28 e DIK-29, foram executadas sondagens à percussão, sendo que nos diques DIK-27 a DIK-29 também foram executadas investigações sísmicas. Nos locais dos novos diques, denominados DIK-19B, DIK-19C, DIK-19D e DIK-19E, serão efetuadas investigações no Projeto Pré-Executivo.

UHE BELO MONTE

d) Ensaios de Laboratório

Considerando a similaridade geológica das rochas cristalinas e do seu produto de intemperismo (solos residual e de alteração) que ocorrem nos sítios agora investigados, em relação aos estudados na 1ª Etapa de Viabilidade, julgou-se pertinente que sejam mantidos os mesmos índices e parâmetros obtidos previamente para estes materiais, razão pela qual não foram realizadas campanhas intensas de ensaios laboratoriais.

Do material aluvionar argiloso presente no Sítio Pimental, foi retirado apenas um bloco indeformado para realização de ensaios de compressão triaxial adensado e adensamento oedométrico. Deste material, foram também coletadas amostras deformadas para a realização dos ensaios de caracterização geotécnica e determinação de índices físicos.

No material aluvionar arenoso presente na calha do rio Xingu, foram coletadas amostras para a execução de ensaios de caracterização, para confirmar a adequabilidade de sua utilização como agregado fino para concreto e material de drenos e transições.

Todos estes ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UHE Tucuruí.

4.4.2 Geologia Regional

As informações apresentadas neste capítulo foram extraídas do relatório dos Estudos de Inventário da Bacia Hidrográfica do rio Xingu, executados em fases anteriores.

Apresentando uma área de 509.000 km², a bacia hidrográfica do rio Xingu está situada entre os paralelos 1° e 15° de latitude Sul e os meridianos 50° e 56° de longitude Oeste, e inclui além do Xingu, os rios Bacajá, Iriri, Curuá, Fresco, Liberdade, Manicauá-Miçu, Culuene, Ronuro, Curisevo e Suiá-Miçu, como seus principais tributários.

A geologia da bacia é bastante complexa, situando-se quase que na sua totalidade no Cráton do Guaporé, palco de uma série de eventos geológicos tectônicos e atectônicos.

Evolução Geológica

A bacia do rio Xingu situa-se na borda oriental do Cráton do Guaporé, região esta submetida à pelo menos dois extensos ciclos tecto-orogênicos, responsáveis pelo estabelecimento de estágios de plutonismo, vulcanismo, dobramentos e falhamentos.

A unidade mais antiga, do pré-Cambriano Inferior e Médio, está representada por um conjunto de rochas cristalinas ígneas e metamórficas de alto grau, agrupadas sob a denominação de Complexo Xingu. Estas rochas foram consolidadas por orogêneses muito antigas, atribuídas ao Ciclo Orogrênico Guriense e constituem o embasamento do Cráton do Guaporé.

Sobrepõem-se a essa área cratônica, rochas ricas em ferro, metamorfizadas e dobradas pelo Ciclo Orogrênico Transamazônico no Pré-Cambriano Médio/Superior, e agrupadas sob a denominação de Grupo Grão Pará. Como resultado desta orogênese, foram reativadas as feições estruturais do Complexo Xingu e erigiram-se intensos falhamentos transcorrentes.

UHE BELO MONTE

Sobrepondo-se ao Complexo Xingu e Grupo Grão Pará, ocorrem, principalmente nas porções central e norte da bacia, rochas do Grupo Uatumã, representando a seqüência vulcano-sedimentar subsequente aos movimentos diastróficos impostos ao Cráton do Guaporé. Esta seqüência teve uma fase de sedimentação continental, representada pela Formação Rio Fresco, seguida de vulcanismo fissural andesítico e riolítico explosivo, representados, respectivamente, pelas Formações Sobreiro e Iriri. Durante este estágio vulcano-sedimentar, houve, tardiamente a intrusão de granitos com tendência alásquítica e granodioritos representados pelos Granitos Serra dos Carajás e Velho Guilherme. Na porção sudoeste da bacia, a Formação Dardanelos representa o evento vulcano-sedimentar subsequente, com características litológicas um pouco diversas das do Grupo Uatumã.

Ainda no Pré-Cambriano Superior, as Formações Gorotire e Prosperança representam uma sedimentação continental de caráter molassóide, posterior ao evento vulcano-sedimentar, e ocupam extensas áreas, principalmente na porção central da bacia.

Completando o quadro do Pré-Cambriano, o Grupo Cuiabá testemunha o início da edificação da Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia, na borda sul-sudeste do Cráton do Guaporé. Esta última orogênese, denominada Brasileira, perdurou até o fim do Cambriano, com eventos de dobramentos e falhamentos seguidos por deposição de caráter continental, constituindo o Grupo Alto Paraguai.

Após este evento, instalaram-se, nas bordas sul e norte do Cráton, as Bacias Sedimentares ou Sinéclises do Paraná e do Amazonas, com testemunhos de sedimentação em quase todo o Paleozóico. A Sinéclise do Paraná está representada, na bacia, pelas Formações Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana e Permo-Carbonífero Indiviso, e a Sinéclise do Amazonas, pelas Formações Trombetas, Curuá e Monte Alegre.

No Mesozóico, mais precisamente no Jurássico-Cretáceo, uma reativação tectônica, acompanhada de vulcanismo de natureza toleítica e de caráter intrusivo, desencadeou-se na área das sinéclises, constituindo, na Sinéclise do Amazonas, a Formação Penatecaua, e na região sul da bacia, diques e "necks" de rochas básicas e ultrabásicas.

Representantes sedimentares do Mesozóico não foram preservados na área da bacia. Entretanto, sedimentos terciários semiconsolidados, resultantes de uma intensa pediplanação pós-cretácica, ocorrem ao norte, descritos como Formação Barreiras, e na região centro-sul, denominada Formação Araguaia. Ao sul e sudoeste da bacia, espessas coberturas lateríticas são referidas como unidade Terciário-Quaternário Detrítico-Laterítica.

Correlacionados ao Quaternário, ocorrem aluviões ao longo das principais drenagens, e coluviões nas encostas e vales. Na Tabela 4.64 é apresentada a coluna estratigráfica simplificada da bacia do rio Xingu.

UHE BELO MONTE

Tabela 4.64 - Coluna Estratigráfica Simplificada da Bacia do Rio Xingu

Era	Período	Unidade Geotectônica		Grupo		Formação					
				Sinéclise Amazonas	Sinéclise Paraná	Sinéclise Amazonas	Sinéclise Paraná				
Cenozóica	Quaternário	-		-		Coluvião e Aluvião					
	Terciário					Barreiras	Terciário-Quaternário Detritico-Laterítico				
Mesozóica	Cretáceo	-		-		Penatecaua	Intrusivas Básicas e Ultrabásicas				
	Jurássico					-		-		Intrusivas Básicas	
	Permiano					-		-		Permocarbonífero Indiviso	
Paleozóica	Carbonífero	Sinéclise do Amazonas Sinéclise do Paraná		-		Monte Alegre	Aquidauana				
	Devoniano					Curuá	Ponta Grossa				
						Ererê	Furnas				
	Siluriano					Maecuru	-				
						Trombetas	-				
	Cambriano					Cinturão Orogênico Paraguai-Araguaia		Alto Paraguai		Diamantino	
										Raizama	
Araras											
Proterozóica	Pré-Cambriano Superior "A"	Cuiabá		-		Prosperança					
				-		Gorotire					
	Pré-Cambriano Superior "B"	Cobertura Continental		-		Dardanelos					
				Granito Velho		Guilherme					
	Pré-Cambriano Superior "C"	Seqüência Vulcano Sedimentar Subsequente		Uatumã		Iriri					
				-		Sobreiro					
	Pré-Cambriano Superior a Médio	Cinturão Orogênico Transamazônico		Granito Serra dos Carajás		-					
				Uatumã		Rio Fresco					
Pré-Cambriano Médio a Inferior	Craton do Guaporé		Grão-Pará		-						
				Complexo Xingu		-					

UHE BELO MONTE

Geologia do Reservatório

Este item é praticamente o mesmo apresentado em estudos anteriores, apenas com as adaptações impostas pelo projeto desenvolvido nesta etapa de Projeto Básico.

Na área ocupada pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte ocorrem predominantemente rochas cristalinas do Complexo Xingu, rochas da Bacia Sedimentar do Amazonas e sedimentos Cenozóicos semiconsolidados, além de sedimentos inconsolidados ao longo do rio Xingu e de seus afluentes. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0002 apresenta o mapa geológico regional.

Litoestratigrafia

O Complexo Xingu representa um conjunto litológico muito heterogêneo, de evolução polifásica e idade arqueana, que, baseado em características morfológicas, estruturais, petrográficas e radiométricas, foi subdividido em cinco grupos de rochas denominadas Unidades I a V.

A Unidade I, constituída por ortognaisses granodioríticos a tonalíticos, e a Unidade II, formadas por rochas metavulcânicas máficas/ultramáficas e metassedimentares clásticas e químicas, correspondem a núcleos pouco ou nada remobilizados, que resistiram aos processos de migmatização subseqüentes. A Unidade III compreende migmatitos com neossoma granítico rosa e estrutura predominantemente Nebulítica e “Schlieren”, aos quais se associam pequenos núcleos das unidades I, II, IV e V.

Na Unidade IV estão reunidos os granitos grosseiros e porfiroblásticos foliados que constituem corpos fusiformes concordantes com a estruturação regional; e na Unidade V, os granitos finos e médios que ocorrem sob a forma de corpos discordantes e irregulares.

A Bacia Sedimentar do Amazonas expõe apenas as Formações Trombetas, Maecuru, Ererê e Curuá, a primeira de idade Siluriana e as demais de idade Denoviana, além do diabásio Penatecaua, do Jurássico-Cretáceo.

Folhelhos e ritmitos de cor cinza, fossilíferos, piritosos e em parte expansivos, empilhados de maneira alternada, constituem a Formação Trombetas.

Arenitos fluviais que sustentam extensos paredões subverticais onde se desenvolvem esporadicamente abrigos e grutas compõem basicamente a Formação Maecuru. A Formação Ererê apresenta camadas de arenito fino intercaladas com camadas de folhelhos e siltitos cinza e a Formação Curuá é composta por folhelhos e siltitos cinza escuros, piritosos e fossilíferos.

O diabásio Penatecaua ocorre sob a forma de “sills” e menos comumente de diques que cortam principalmente os sedimentos da Bacia Amazônica.

As coberturas Cenozóicas, de idade Terciária, abrangem os sedimentos predominantemente arenosos, pouco ou não consolidados, da Formação Alter do Chão, e os terraços antigos, aluviões e coluviões do Quaternário.

Tectônica

Na área ocupada pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte, foram identificados quatro grandes eventos deformacionais principais, caracterizados por

UHE BELO MONTE

natureza e estilo estrutural distintos: evento dúctil de baixo ângulo, evento dúctil de alto ângulo, evento rúptil direcional e evento rúptil vertical.

Os três primeiros afetaram apenas as litologias do Complexo Xingu, enquanto o último afetou, além destas, as rochas sedimentares da Bacia Sedimentar Amazônica e as Coberturas Cenozóicas.

Desenvolvido no Arqueano, o evento dúctil de baixo ângulo apresenta como feições estruturais mais importantes o aleitamento tectônico e a foliação milonítica, orientados predominantemente a WNW e NNW, a lineação de estiramento e dobras localizadas.

O evento dúctil direcional de alto ângulo é representado por zonas de cisalhamento segundo direções WNW, NW e NE, desenvolvidas no ciclo Transamazônico, e que impuseram modificações na geometria do quadro estrutural do evento anterior.

No evento rúptil direcional, correspondente ao Proterozóico, desenvolveram-se extensas zonas de descontinuidades segundo direções NE e NW, marcadas pela presença de cataclastos e caracterizadas por vários pulsos ou manifestações ao longo do tempo. Ao evento rúptil vertical, desenvolvido principalmente no final do Proterozóico e no Fanerozóico, e de caráter predominantemente distensivo, associam-se falhas normais de importante significado no controle e estruturação da Bacia Sedimentar do Amazonas, com seu clímax no Mesozóico, quando da Reativação Wealdeniana.

Levantamentos desenvolvidos na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, em caráter regional, abrangendo áreas que vão além dos limites contemplados nesta etapa, permitiram a caracterização de 7 famílias principais de descontinuidades. Essas descontinuidades englobam as falhas, foliações, fraturas, veios de quartzo e orientações de corpos básicos e possuem as seguintes direções médias principais: N60°E; N35°E, N20°E, N10°E, N35°W, N60°W e EW.

Aspectos Geomorfológicos

Geomorfologicamente, a região onde se insere o reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte abrange duas grandes unidades morfoestruturais, a Plataforma Sul-Amazônica e a Bacia Sedimentar Amazônica, resultantes da ação de processos morfoestruturais e morfoclimáticos, respectivamente, sobre o conjunto polimetamórfico arqueano e sedimentar fanerozóico. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0003 apresenta o mapa geomorfológico.

Na Plataforma Sul-Amazônica, distinguem-se duas unidades geomorfológicas, a saber, Planaltos Residuais em estruturas cristalinas e a Depressão Periférica Sul-Amazônica e, na Bacia Sedimentar Amazônica, ocorrem as unidades Planalto Dissecado e Planaltos Residuais Tabuliformes.

A Depressão Periférica é a unidade mais extensa, modelada, basicamente, sobre os migmatitos da Unidade III do Complexo Xingu. Caracteriza-se por extensas áreas de relevo arrasado, com interflúvios amplos e formas pouco entalhadas, com baixo gradiente topográfico, cortado por uma rede de drenagem dendrítica com canais meandantes. A cobertura vegetal predominante é a natural, de Floresta Aberta Mista com grande ocorrência de palmeiras.

Os Planaltos Residuais em estruturas cristalinas constituem amplas áreas elevadas com desníveis de 100 a 200 m, altamente dissecadas, preservadas da

UHE BELO MONTE

circundesnudação que formou a Depressão Periférica. Esta unidade é modelada predominantemente sobre os granitóides das Unidades IV e V do Complexo Xingu e o padrão de drenagem evidencia forte controle estrutural. A cobertura vegetal dominante é de Floresta Densa Sub-Montana.

Modelado, basicamente, nas litologias sedimentares, o Planalto Dissecado caracteriza-se por formas de relevo convexas com baixo a médio grau de entalhamento e formas tabulares com topos aplanados, delimitadas por vertentes de altas declividades. Em geral, a drenagem é subparalela e conseqüente, com variações locais para sub-retangular onde apresenta maior controle estrutural.

Os Planaltos Residuais Tabuliformes caracterizam-se por vastos topos planos com baixas declividades e limites bem definidos por escarpas, em altitudes que oscilam entre 100 e 150 m. Nesta unidade, a dissecação pelos canais fluviais é fraca e a cobertura vegetal é de Floresta Densa.

Dentro deste contexto morfo-estrutural, destacam-se ainda as Planícies Aluviais embutidas em várias unidades geomorfológicas, que representam formas de acumulação marginais aos canais fluviais e limita-se, em geral, às áreas sazonalmente inundadas.

Nas Planícies Aluviais, a cobertura vegetal está representada pela Floresta Densa Ciliar, exceto nos depósitos arenosos insulares, onde a vegetação é arbustiva.

Recursos Minerais

O principal bem mineral da região de Altamira é o ouro, que está relacionado a veios de quartzo que cortam a Unidade II ("greenstone belt") e com os depósitos aluvionares situados a jusante das concentrações primárias. As maiores reservas deste minério estão concentradas na área compreendida entre o igarapé Ituna e o rio Bacajá.

Outros bens minerais de importância econômica que interferem com o entorno da cidade de Altamira, relacionam-se aos depósitos aluvionares de argilas e areias.

Com o atual arranjo proposto para a implantação da Usina Hidrelétrica Belo Monte, a região aurífera ficará situada à jusante do barramento e, portanto, seus processos de exploração não serão afetados. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0005 apresenta o mapa metalogenético.

Desta forma, as principais atividades de mineração afetadas estão relacionadas à exploração de argileiras nas várzeas vizinhas à cidade de Altamira e à extração de areia no leito do rio Xingu. As argilas são exploradas manualmente por oleiros e mecanicamente pelas cerâmicas locais, e a areia é retirada principalmente por draga, em bancos submersos. As reservas de areia e argila são muito grandes em relação às demandas atual e futura, podendo ser exploradas ainda por dezenas de anos.

O Complexo Xingu apresenta potencial para concentrações de cassiterita-columbita, em pláceres, e prata, platina e níquel na Unidade II. As unidades da Bacia Sedimentar, representadas pelas Formações Trombetas e Curuá, são favoráveis à concentração de sulfetos com cobre, chumbo, zinco e ouro.

Fontes de Erosão

O reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte será implantado, em termos gerais, predominantemente em domínios de rochas cristalinas e, na sua porção setentrional,

UHE BELO MONTE

em rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Amazonas, além dos sedimentos inconsolidados alúvio-coluvionares quaternários. O relevo é em geral suave, com vales pouco encaixados e colinas de topo aplanado.

Durante os estudos de impacto ambiental efetuados no período de 2000/2001, foi confeccionada a Carta de Potencial à Erosão que corresponde ao potencial de erosão dos materiais frente ao escoamento superficial concentrado, tendo sido agrupadas informações de geologia, geotecnia, hidrologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e potencial aos processos erosivos. As áreas que eventualmente poderão merecer preocupação quanto ao desenvolvimento de processos erosivos estão voltadas para as regiões onde ocorrem sedimentos da bacia Amazônica, principalmente os arenitos das Formações Maecuru, Ererê e os sedimentos arenosos da Formação Alter do Chão, além dos locais com desenvolvimento de atividades antrópicas, tais como: estradas, agricultura e pasto de desenvolvimentos inadequados, queimadas e desmatamentos constantes e expansão urbana e rural.

Sismicidade

O nível de atividade sísmica da região em estudo, a exemplo do que ocorre na Amazônia de maneira geral, pode ser considerado baixo, apesar da dificuldade do seu diagnóstico, sendo pequena a probabilidade de ocorrência de sismos destrutivos.

Regionalmente, os maiores eventos registrados por sismógrafos apontaram valores de 4,8 e 4,7 (mR), respectivamente nas localidades de Ilha de Marajó/PA (02/08/1977) e Redenção/PA (11/12/1980). Ambas localidades situam-se a distâncias superiores a 600 km do local de implantação da Usina Hidrelétrica Belo Monte.

Estudos desenvolvidos pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília-SIS/UnB, para a ELETRONORTE, através de listagem dos eventos sísmicos naturais e induzidos, que ocorreram no período de 1883 a 1999 numa área circular de 300 km de raio centrado onde será implantado a UHE Belo Monte, apontam que, dos 214 sismos observados, os maiores alcançaram a magnitude de 3,9 (mR) e aconteceram em Almerim/PA (em 15/09/1981), e em Itupiranga/PA (em 18/11/1993), nas distâncias de 231 e 270 km, respectivamente, do local do aproveitamento. A maioria dos eventos observados trata-se de sismos induzidos pelo reservatório da UHE Tucuruí, que se encontra dentro da área de estudo, a uma distância de, aproximadamente, 250-260 km do aproveitamento. O maior sismo induzido pelo reservatório da UHE Tucuruí alcançou a magnitude de 3,6 (mR) e ocorreu em 02/03/1998. O desenho BEL-B-GR-DE-GER-112-0006 apresenta o mapa sismotectônico da região.

Sugere-se, tentativamente, o valor de intensidade $I = V-VI$ como sismo de projeto, assumido apenas pelo fato de ser o maior regionalmente conhecido (magnitude = 4,8), indicando acelerações da ordem de 0,04 g (sentido vertical) e 0,06 g (sentido horizontal).

Em vista desse quadro, propõe-se a manutenção do monitoramento sismográfico na área do reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte, no sentido de melhor caracterizar a sismicidade, assim como estudar a possível sismicidade induzida quando do seu enchimento.

Aspectos Hidrogeológicos

a) Elevação do Lençol Freático

Com a criação do reservatório formado pelo barramento do rio Xingu, haverá uma elevação da superfície freática do aquífero livre. Essa elevação, mais acentuada nas faixas de solo mais próximas da margem do reservatório, provocará modificações sensíveis na relação água/solo atual e um aumento da espessura da zona saturada, modificando a relação de troca de calor entre o solo e a atmosfera, bem como alterando as características químicas das águas subterrâneas.

A intensidade da subida da superfície freática depende basicamente da diferença de cotas entre esta e o reservatório e também dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero; contudo, são comparativamente mais sensíveis nas áreas marginais mais planas. Nestas últimas, o freático já se encontra geralmente a menores profundidades e qualquer elevação de nível pode provocar o seu afloramento ou subafloramento.

Partindo-se desta visão global do problema, considerando-se também a escassez de dados hidrogeológicos que permitissem caracterizar regionalmente o aquífero livre na área de influência do reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte, a análise da elevação do freático restringiu-se a algumas áreas marginais relativamente planas, com declividade da ordem de 5%, situadas entre as cotas 96 a 110 m. Os resultados desses estudos revelam dois aspectos fundamentais:

- a necessidade de se obter, no futuro, dados primários que permitam caracterizar a superfície freática; e
- a ocorrência de áreas suscetíveis de sofrerem encharcamento periódico ou permanente, devido o afloramento ou subafloramento da superfície freática.

As áreas mais críticas situam-se próximas à cidade de Altamira, nas planícies dos igarapés Altamira, Ambé e Panela e também na ilha Arapujá. Além destas áreas, observa-se também que na planície do igarapé Trindade o lençol freático deverá ser subaflorante.

Os estudos de impacto ambiental desenvolvidos indicaram uma zona de descarga do aquífero na porção centro-norte da cidade de Altamira, onde foram verificados fluxos convergentes para abaixo da cota 98 m.

b) Estanqueidade

O reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte não apresentará problemas de estanqueidade porque será assentado basicamente sobre rochas cristalinas. As rochas do Complexo Xingu e o manto de intemperismo delas originado mostraram-se pouco permeáveis nos ensaios de permeabilidade já realizados. Por outro lado, os inúmeros diques projetados solucionam os problemas de fugas em selas topográficas.

Nas imediações do Sítio Belo Monte ocorre a Formação Maecuru, com arenitos que permitem o desenvolvimento de cavernas. Estudo preliminar identificou a presença de uma caverna, localizada próxima do dique DIK-4. Como ela está situada acima da cota 100 m, não apresentará maiores preocupações a esse respeito. Entretanto, estudos mais aprofundados deverão ser efetuados durante a

UHE BELO MONTE

fase do Projeto Pré-Executivo, objetivando a identificação de outras possíveis cavernas que ocorram em materiais desta formação.

Estabilidade das Encostas Marginais

O reservatório da Usina Hidrelétrica Belo Monte deverá instalar-se, em sua maior parte, sobre área de rochas cristalinas de relevo pouco acidentado que, de modo geral, não ensejam grandes problemas de instabilização nas encostas marginais.

Apenas nas regiões do Canal de Derivação e no trecho daí até a adução para a Tomada d'Água/Casa de Força, onde ocorrerem encostas com declividades maiores que 10° e na área de litologias sedimentares, deverão ser realizados, durante a fase de Projeto Pré-Executivo, perfis topográficos detalhados que possibilitem previsões mais específicas quanto ao seu comportamento.

Na cidade de Altamira, a subida do nível d'água e sua manutenção em nível de cheia constante, não acarretarão em processos de instabilidade das margens, tendo o rio neste local comportamento muito mais deposicional que dispersivo.

4.4.3 Características Geológicas Locais

A solução de projeto proposta para a atual fase de Estudos de Projeto Básico, elimina o Vertedouro Complementar do Sítio Bela Vista e mantém integralmente as estruturas do Sítio Belo Monte (Casa de Força Principal), Sítio Pimental (Vertedouro/Casa de Força Complementar) e o Canal de Adução que engloba o Canal de Derivação, mantendo o canal de montante e eliminando o canal de jusante, e os Canais de Transposição do reservatório intermediário, que contém ainda todos os diques de fechamento.

Sítio Pimental

O Sítio Pimental está localizado em região do embasamento cristalino, a poucas dezenas de quilômetros da borda da Bacia Sedimentar do Amazonas. Nesta região, o Complexo Xingu apresenta apenas rochas pertencentes à Unidade III, conforme individualização litológica executada em estudos anteriores. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0003 exibe o mapa geológico local.

É composto por um vale bastante largo, onde o leito do rio Xingu corre em canais ora estreitos, ora largos, isolando grandes porções de terrenos emersos. Estas ilhas, via de regra, são formadas por sedimentos inconsolidados do Terciário e configuram superfícies topográficas com valores de altitude da ordem de 86 m, muito embora em alguns casos, quando compostas pelo embasamento cristalino, cheguem a atingir até a cota 120 m (Ilha da Serra). Durante o período de estiagem, ocorrem inúmeros afloramentos rochosos, que localmente são chamados de "pedral". As margens são caracterizadas por relevo acidentado que atinge altitude de até 160 m, manto de intemperismo bastante desenvolvido e grande incidência de blocos rochosos (matacões).

a) Estratigrafia

O migmatito presente nesta região apresenta o paleossoma formado por um hornblenda-biotita gnaiss de cor cinza escuro, foliado, de granulação fina e o neossoma é um metagranito de cor branco-rosado, de granulação média a grossa.

UHE BELO MONTE

As estruturas mais freqüentes são as “Nebulíticas” e “Schlierem”. É bastante comum na região sobre os lajedos rochosos, a presença de muitos blocos do próprio migmatito. Na ilha Pimental foi identificado um corpo intrusivo de Tremolítico, com cerca de 350 m de extensão ao longo do eixo da barragem.

Os sedimentos cenozóicos que recobrem parcialmente a área estão representados por aluviões recentes compostos por areia fina, média e grossa com poucos seixos, na forma de bancos com espessuras de até 10m e por sedimentos argiloso siltosos em algumas ilhas.

b) Geologia Estrutural

A foliação principal é uma estrutura planar, principalmente marcada por biotitas, que possui atitude geral N50°W/75°SW. O evento dúctil de baixo ângulo é o responsável por este fenômeno.

Exibem intenso padrão de fraturamento, predominantemente subvertical, com cinco famílias bem definidas. Foram identificados quatro sistemas principais de falhas: N15°E/44°SE, N28°W/76°SW (Falha da Ilha Grande), N54°W/60°SW (Falha Mangueira) e E-W/90° (Falha do Arroz Cru). Foram mapeadas ainda, duas famílias de microfalhas direcionais com movimentação sinistral: N88°W/90° e N70E/84°SE.

O padrão de fraturas, via de regra, reflete as mesmas direções de falhamentos, com as seguintes famílias principais: N50°-56°W, N20°-30°E, N70°-80°E, N15°-20°W e N50°-55°E, todas com mergulhos predominantemente subverticais, muito embora exista uma família subhorizontal. Normalmente, apresentam-se com as paredes fechadas, com exceção das subhorizontais, que eventualmente apresentam-se abertas, com paredes alteradas e película de argila amarela.

Este intenso sistema de fraturamento e os quatro sistemas principais de falhas estão relacionados ao evento rúptil direcional.

Canal de Derivação

Esta região, localizada nas imediações do Sítio Pimental, também é composta por rochas cristalinas do Complexo Xingu. Devido a esta proximidade, as características geológicas/estruturais das rochas deste local são bastante similares às encontradas no Sítio Pimental. Tanto o padrão de foliação, como o de fraturas, possuem atitudes semelhantes às obtidas naquele local. O desenho BEL-B-CA-DE-GER-112-0003 apresenta o mapa geológico local.

Em superfície, o modo de ocorrência típico das rochas nesta região é sob a forma de blocos e matacões, principalmente nos morros e talvegues, havendo pequena quantidade de afloramentos rochosos “in situ”.

Superficialmente, há predominância do manto de intemperismo, formado pelo solo de alteração do migmatito. Dentro dos talvegues de drenagem, são recobertos pelos solos aluvionares recentes do Terciário, pouco espessos, formados predominantemente por material argilo siltoso.

O Igarapé Gaioso, em cuja calha será escavado o Canal de Derivação, provavelmente sustenta zona de falhamento.

Também foi identificado, na região direita do canal, um sistema de falha com direção NW, denominada Falha do Brejo.

UHE BELO MONTE

Sítio Belo Monte

O Sítio Belo Monte está situado na faixa de contato entre as rochas cristalinas arqueanas do Complexo Xingu e as sedimentares e ígneas Fanerozóicas da Bacia Sedimentar do Amazonas. As rochas cristalinas ocupam a porção sul do sítio e a área das estruturas de geração, sustentando um relevo pouco movimentado, com desníveis de 10 a 40 m. As rochas sedimentares ocorrem nas ombreiras das barragens projetadas e sustentam formas planas ao norte e morrotes na parte central e sul da área. Estes morrotes apresentam encostas íngremes e topo plano e chegam a superar a cota 120 m, com desníveis superiores a 80 m. O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0002 mostra o mapa geológico local.

a) Estratigrafia

Nesta região, o Complexo Xingu é representado por rochas das Unidades I, III e IV, conforme individualização litológica executada em estudos anteriores. A Unidade I é constituída por gnaisses e migmatitos cinza de composição variável de granodiorítica a tonalítica e constitui corpos restritos preservados da migmatização granítica rosa que originou a Unidade III. A Unidade III compreende migmatitos com estruturas “Schlieren” e Nebulítica, que constituem uma massa rochosa heterogênea onde a composição litológica varia de acordo com a composição original, quantidade e grau de assimilação do paleossoma. A Unidade IV é constituída por corpos fusiformes restritos de granitos grosseiros e porfiroblásticos foliados.

No Sítio Belo Monte, a Bacia Sedimentar do Amazonas expõe apenas as Formações Trombetas, Maecuru, Penatecaua e Alter do Chão.

A Formação Trombetas representa uma seqüência marinha de idade Siluriana, constituída, em condições normais, pela alternância de ritmitos e folhelhos de cor cinza escura a negra, com concreções de sulfetos e trechos expansivos. Na parte sudeste da área, é constituída por um pacote de ritmitos com dobras convolutas, diamictitos e arenitos maciços, que ocorrem condicionados a uma estrutura tectônica local denominada “Graben” do Macacão, ativa durante sua sedimentação. O pacote constituído pela alternância de ritmitos e folhelhos, com espessura preservada de cerca de 60 m, foi subdividido em 5 camadas assim denominadas da base para o topo: ritmo inferior, folhelho inferior, ritmo médio, folhelho superior e ritmo superior. Estas 5 camadas e ainda os ritmitos com dobras convolutas e diamictitos são correlacionados aos Membro Pitinga, enquanto que os arenitos maciços são atribuídos ao Membro Manacapuru.

A Formação Maecuru, de idade Devoniana, assenta-se discordantemente sobre a Formação Trombetas. É constituída por um pacote com mais de 40 m de espessura de arenitos médios e conglomeráticos a finos com estratificação cruzada, predominantemente fluvial. São permeáveis e facilmente erodíveis, quando com pouca matriz silte argilosa. Afloram formando encostas íngremes e escarpadas, e apresentam raramente, cavernas com dezenas de metros de extensão.

O diabásio da Formação Penatecaua do Jurássico-Cretáceo ocorre sob a forma de “sill” na parte noroeste do sítio. Não aflora com exposições de rocha, porque se apresenta alterado até profundidades superiores a 20 m.

UHE BELO MONTE

As coberturas Cenozóicas são formadas por sedimentos semiconsolidados e inconsolidados representados pela Formação Alter do Chão do Terciário e pelos terraços, aluviões e coluviões do Quaternário.

A Formação Alter do Chão ocupa posição de cimeira, estando preservada no topo dos morros na parte oeste e norte da área. É constituída por arenitos grosseiros e conglomeráticos a finos, com estratificação cruzada e intercalações de argilito.

Os terraços correspondem a depósitos aluvionares e coluvionares preservados da erosão, que ocorrem recobrando os interflúvios de pequenas ondulações do terreno na parte norte da área. São constituídos por areia argilosa maciça ou por alternância entre areia fina a grossa com seixos e argila arenosa.

Desenvolvendo-se significativamente às margens do rio Xingu e junto à foz de seus afluentes, os aluviões apresentam espessuras respectivas de até 15 m e entre 2 e 3 m. São constituídos por areia fina, média e grossa com seixos, areia fina a média silto-argilosa e argilas.

Nas encostas de forma geral, ocorrem os coluviões, os quais apresentam, mais comumente, espessura entre 0,5 e 1,5 m, podendo em áreas restritas atingir até 10 m. Sua constituição é bastante variável, função do material do qual se originaram.

b) Geologia Estrutural

A deformação dúctil de baixo ângulo gerou, num estágio inicial, uma foliação que é exclusiva das rochas da Unidade I e cujas direções mais comuns são N15°W e N80°E, e num estágio final, a foliação milonítica de direção N34°-62°W e mergulhos elevados para nordeste, que afetam todas as rochas do Complexo Xingu. A este evento deformacional associam-se ainda as zonas miloníticas concordantes com a foliação, que podem alcançar até 150 m de espessura e extensão superior a 2 km (Zona de Falha do Catijuba e da sondagem rotativa SR-14). A deformação dúctil direcional de alto ângulo é caracterizada por faixas miloníticas de espessura centimétrica e comprimento superior a uma dezena de metros, que cortam os testemunhos do evento deformacional anterior segundo direções NS e N50°E.

A deformação rúptil direcional originou falhas transcorrentes marcadas por zonas de cataclitos e brechas orientadas segundo N60°E (Falha do Igarapé Santa Helena), N80°E (Falha do Afluente do Aturiá), N10°E (Falha do Igarapé Santo Antônio), N20°E (Falha da Água Boa) e N10°W (Falha da sondagem rotativa SR-06), representando algumas vezes reativação de estruturas originadas nos eventos deformacionais anteriores.

A deformação rúptil vertical é caracterizada por falhas de mergulho alto e movimento vertical que afetaram o embasamento e os sedimentos. Tais falhas, predominantemente do tipo normal, definem faixas de fraturamento mais intenso ou de concentração de microfalhas e comumente representam reativações de estruturas já existentes. As principais direções variam entre ENE-WSW e NNW-SSE com o bloco baixo para norte e oeste, exceção feita ao "Graben" do Macacão, que apresenta bloco baixo situado a sul e leste.

UHE BELO MONTE

O fraturamento que atinge as rochas do Sítio Belo Monte é resultado da atuação dos dois eventos rúpteis e está disposto em um grande número de direções, dentre as quais destacam-se N70°-80°W, N20°-40°W, N75° -90°E, com mergulhos subverticais, além das subhorizontais.

As rochas da Bacia Sedimentar apresentam direção regional ENE com mergulhos próximos a 2° para NNW. A nível local, as direções e mergulhos variam bastante em função do basculamento dos blocos de falhas.

Diques

Os diques do Reservatório Intermediário localizados próximos ao Sítio Belo Monte serão implantados junto à faixa de contato entre as rochas do Complexo Xingu, representadas pelas unidades III, IV e V, e as rochas sedimentares das Formações Trombetas, Maecuru e Alter do Chão, pertencentes à Bacia Sedimentar do Amazonas.

A Unidade I ocorre apenas localmente, sendo representada por pequenos corpos de granodioritos associados a anfibolitos. Dominando amplamente a área, ocorre a Unidade III, que é representada por migmatitos com estruturas variadas, sendo as mais comuns a Nebulítica, "Schlieren", Estromática e "Scholen". A Unidade IV é representada por corpos concordantes de biotita granito grosseiro, foliado ou não, e a Unidade V por corpos discordantes de biotita granito equigranular a porfírico. Zonas cataclásticas e/ou miloníticas orientadas a NW e NE cortam as rochas das unidades acima.

Ocorrendo em discordância erosiva sobre as unidades do Complexo Xingu, a Formação Trombetas é constituída pela alternância de ritmitos e folhelhos. Diamictitos, ritmitos com convolutas e arenitos ocorrem confinados à estrutura tectônica denominada "Graben" do Macacão.

A Formação Maecuru é constituída por arenitos finos a conglomeráticos e a Formação Alter do Chão, por arenitos inconsolidados.

Os coluviões recobrem as unidades descritas, exibindo composição variável em função da litologia da qual se originaram. Os aluviões são constituídos por areias e cascalhos confinados aos cursos atuais de grotas e igarapés.

Todos os demais diques do Reservatório Intermediário e do Sítio Pimental, serão implantados exclusivamente sobre materiais do Complexo Xingu. Os desenhos BEL-B-DQ-DE-GER-112-0002 e BEL-B-PM-DE-GER-112-0016 apresentam, respectivamente, o mapa geológico dos diques do Reservatório Intermediário e de localização dos diques do Sítio Pimental. Com relação aos diques do Sítio Pimental, em virtude de suas pequenas alturas de barramento, estes ficaram para serem estudados durante a fase do Projeto Pré-Executivo.

4.4.4 Condições Geológico-Geotécnicas das Fundações e dos Taludes de Escavação

Barramento Sítio Pimental

A região de implantação do barramento no Sítio Pimental é geologicamente constituída por rochas migmatíticas do Complexo Xingu, que se encontram aflorantes ou capeadas por sedimentos aluvionares no leito do rio, e alteradas em solo nas ombreiras. As duas alternativas de eixos de estruturas estudadas neste sítio, denominadas Eixos Ilha do Canteiro e Ilha da Serra apresentam condições geológico-

UHE BELO MONTE

geotécnicas semelhantes. Nesta fase de estudos, não foram identificadas feições geológicas, anomalias e presença de materiais que ocorressem de forma distinta num dos eixos estudados e conseqüentemente pudessem interferir na escolha do local de barramento. Os desenhos BEL-B-PM-DE-GER-112-0003 e BEL-B-PM-DE-GER-112-0006, apresentam, respectivamente, o mapeamento geológico e a seção geológico-geotécnica pelo eixo do barramento.

O eixo Ilha da Serra foi selecionado para detalhamento nesta etapa dos Estudos de Viabilidade, considerando principalmente os aspectos relacionados às condições hidráulicas, facilidades construtivas, custos e de arranjo das estruturas, apresentando as seguintes particularidades geológico-geotécnicas:

a) Estruturas de Concreto

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

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

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

A análise das investigações da campanha de sísmica de reflexão identificou que, localizadamente, em subsuperfície, ocorre uma anomalia geológica no leito do rio, nas imediações das estruturas de concreto, formada por um bolsão de material decomposto que se encontra subjacente ao pacote aluvionar. A presença desta anomalia foi confirmada com a execução de sondagens rotativas (SR521 e SR528). Na fase de estudos do Projeto Pré-Executivo, recomenda-se um

UHE BELO MONTE

refinamento de estudos nesta área, para uma caracterização real de sua extensão.

Na região foram identificados, ainda, bancos submersos de areia, com granulometria fina a grossa, com espessuras de até 10,0 m e grande continuidade espacial. O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0007 apresenta a seção geológico-geotécnica longitudinal pelas estruturas de concreto.

Hidrogeotecnicamente, o maciço apresenta-se permeável apenas nos primeiros 10,0 m de profundidade, destacando-se a família de juntas subhorizontais como a principal via de percolação.

Na campanha de investigações realizadas nesta fase de estudos, foram identificadas, como descritas anteriormente, feições subhorizontais com permeabilidades mais elevadas (H3). Entretanto, o pequeno número de sondagens e o afastamento significativo entre elas, impossibilitam estabelecer a existência ou não de continuidade lateral dessas feições e/ou a presença disseminada ao longo das estruturas. Portanto, recomenda-se para a próxima fase de investigações, um estudo mais detalhado procurando definir a real potencialidade dessas feições subhorizontais, principalmente no tocante a permeabilidade.

Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0027 e BEL-B-PM-DE-GER-112-0014 apresentam, respectivamente, os tratamentos previstos para serem empregados nos taludes escavados em rocha, que serão aplicados quando necessário, e os tratamentos profundos de fundação.

Considerando as similaridades relativas às características geológicas e petrográficas existentes entre os maciços rochosos migmatíticos dos Sítios Pimental e Belo Monte, sugere-se a adoção dos mesmos parâmetros de resistência e deformabilidade propostos para este último, que visaram a formulação do modelo geomecânico do maciço. Desta forma, com os ensaios realizados em testemunhos de sondagens do Sítio Belo Monte, adotando-se a teoria de Hoek (1983), e usando-se a classificação de Bieniavsky (1976), obteve-se a envoltória de $\tau = 0,37 + \sigma' \operatorname{tg} 54^\circ$, em MPa .

Para deformabilidade, foi adotado o módulo de deformação $E = 35 \text{ GPa}$ e para coeficiente de Poisson o valor de $\nu = 0,25$.

Na fase de Projeto Executivo, recomenda-se que sejam realizados ensaios em testemunhos de sondagens do Sítio Pimental, visando a aferição dos parâmetros adotados para este sítio.

b) Barragem do Canal Direito

O trecho da Barragem do Canal Direito, situado entre a Ilha da Serra e a margem direita do rio Xingu, corresponde à calha do rio que possui largura de cerca de 470 m. O fundo do rio apresenta topo rochoso com superfície topográfica regular, a exceção da ocorrência de um canalão, com largura de cerca de 50 m e desnível de até 4 m em relação à elevação média do local. Investigações realizadas na região revelaram a existência de depósitos aluvionares arenosos, com espessura mais significativa próximo à margem direita.

UHE BELO MONTE

O maciço rochoso caracterizado nas sondagens rotativas executadas no leito do rio apresenta as mesmas características geológico-geotécnicas identificadas no local das estruturas de concreto, descritas anteriormente.

Nas ombreiras do barramento, tanto na Ilha da Serra como na Margem Direita, o aterro terá como fundação o solo de alteração de migmatito, composto predominantemente por silte argiloso, marrom amarelado com manchas esbranquiçadas, consistência média a rija e baixa permeabilidade. O capeamento do solo de alteração, representado por materiais aluvionares e coluvionares, com espessura média inferior a 1 m, é fofo e contém restos vegetais, devendo ser integralmente removido da área de implantação da barragem.

Devido às características geológico-geotécnicas serem muito semelhantes entre os diversos solos de alteração do migmatito existentes na região, os parâmetros geotécnicos de fundação podem ser considerados os mesmos adotados para as estruturas que serão implantadas no Sítio Belo Monte. Ressalta-se que o solo de alteração de migmatito foi detalhadamente estudado na etapa anterior dos Estudos de Viabilidade.

c) Barragem de Terra Enrocamento de Ligação entre a Ilha da Serra com as Estruturas de Concreto

Está barragem será apoiada parcialmente sobre o topo rochoso do fundo do rio e complementada sobre o solo de alteração do migmatito existente na Ilha da Serra.

Todas as características de fundação dos materiais rochosos e terrosos são semelhantes às descritas para os materiais que ocorrem nas Estruturas de Concreto e na Barragem do Canal Direito.

d) Barragem de Terra Lateral Esquerda

A partir da Área de Montagem, que é a estrutura limite do lado esquerdo das Estruturas de Concreto, inicia-se a Barragem Lateral Esquerda que será assentada sobre as Ilhas Marciana, Pimental e do Forno, e com pequenos trechos intermediários sobre alguns canais do rio Xingu. Todas as ilhas são compostas por um horizonte aluvionar de cerca de 4 m de espessura, que recobre o maciço migmatítico. Eventualmente, subjacente ao aluvião, pode ocorrer o solo de alteração do migmatito, com espessuras pouco significativas.

O aluvião presente no local possui uma camada superficial de cerca de 2 m, composta por uma argila siltosa, sobreposta a um pacote arenoso de granulometria variando de fina a grossa.

A análise das investigações da campanha de sísmica de refração identificou em um trecho da Ilha Pimental, com comprimento de cerca de 350 m ao longo do eixo do barramento, a ocorrência de uma anomalia geológica. A análise dos testemunhos da sondagem rotativa SR 539, executada neste local para comprovar e complementar o resultado da investigação sísmica, identificou a anomalia como sendo um corpo intrusivo de Tremolítico, que se apresenta muito fraturado e alterado até a profundidade de 22 m. Em função disso, recomenda-se para a fase de Projeto Pré-Executivo, um refinamento de estudos nesta área, para uma caracterização mais detalhada deste material.

UHE BELO MONTE

Na região da ombreira esquerda do barramento, ocorrem coberturas aluvionares e coluvionares com espessura máxima de cerca de 1 m, que recobrem o solo de alteração de migmatito. As características geológico-geotécnicas desses materiais são semelhantes às descritas anteriormente para outras estruturas do Sítio Pimental.

Diques do Sítio Pimental

Dos prováveis seis pontos de fuga identificados neste sítio, um situa-se na margem esquerda e cinco na margem direita do rio Xingu, possuindo alturas variáveis entre 3 e 7 m. Todos serão implantados sobre solo de alteração de migmatito, com características silte argilosas.

Durante os estudos do Projeto Pré-Executivo, recomenda-se um detalhamento dos estudos topográficos e geológico-geotécnicos nestes locais.

Canal de Adução

O local de implantação do Canal de Adução está situado em área de ocorrência de rochas migmatíticas do Complexo Xingu. São poucos os afloramentos de rocha "in situ", ocorrendo predomínio do manto de intemperismo formado pelo solo de alteração de migmatito e grande quantidade de matações em superfície. O solo de alteração apresenta-se predominantemente na fração silte argilo-arenosa, compacidade média a rija, com permeabilidade baixa e valores do ensaio SPT normalmente da ordem de 7 a 10 golpes que vão aumentando em profundidade até atingir o impenetrável. Os valores de propagação de ondas sísmicas indicam velocidades elevadas (superiores a 5000 m/s) no maciço rochoso, sugerindo a presença de rocha de boa qualidade geomecânica.

O termo Canal de Adução genericamente compreende diversas estruturas, que podem ser reunidas em dois grupos principais: Canal de Derivação e Canais de Transposição.

O Canal de Derivação, cuja extensão é significativamente superior à sua largura, apresenta comprimento de cerca de 20 km e largura variando de 591 a 128 m na sua base. Para o seu desenvolvimento, aproveita o talvegue do igarapé Gaioso, tributário da margem esquerda do rio Xingu, isto é, no sentido contrário ao fluxo que se estabelecerá quando da implantação do empreendimento. O prolongamento da obra para atingir o comprimento desta derivação será formado pelo intervalo que vencerá o divisor de água desta drenagem com a bacia do igarapé Paquiçamba, permitindo, a partir daí, a adução da água pelo reservatório intermediário e finalmente até a Tomada d'Água da Usina Belo Monte.

As localizações das investigações realizadas estão apresentadas nas BEL-B-CA-DE-GER-112-0001 e BEL-B-CA-DE-GER-112-0006.

A presença do lençol freático é marcante na região e deverá influenciar o desenvolvimento dos serviços de escavação dos canais. O comportamento da freática foi acompanhado em seis medidores de nível d'água instalados em furos de sondagens à percussão, conforme apresentado no Apêndice deste relatório – "Estudos Geológicos, Geotécnicos e de Materiais Naturais de Construção".

O Canal apresenta na suas porções iniciais (a partir do rio Xingu) instaladas sobre solo de alteração de migmatito, que é recoberto por uma fina camada aluvionar com

UHE BELO MONTE

espessura inferior a 3 m, de características argilo-siltosas, marrom amarelada. Nos trechos restantes do Canal, à medida que se afasta da foz do igarapé, a camada aluvionar torna-se menos espessa e os blocos rochosos, com diâmetros e tamanhos variáveis, marcam a presença sem que seja notada a existência de um maciço rochoso com definições claras.

Na porção final do canal que compreende o igarapé Gaioso, a presença de blocos de rocha é mais evidente e as investigações geofísicas, de sondagens rotativas e à percussão realizadas na região mostraram a possibilidade do topo rochoso ocorrer bem mais próximo à superfície do terreno, caracterizando estes trechos como aqueles que exigirão maiores escavações em material rochoso. Provavelmente as escavações para implantação do canal terão predominância de material rochoso até ultrapassar as cotas mais elevadas do divisor. Já nas regiões mais elevadas do divisor e em toda calha do igarapé Paquiçamba, o predomínio voltará ao solo de alteração de migmatito, com ocorrências esparsas de blocos rochosos imersos nas espessas camadas do manto de alteração. O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0027 apresenta os tratamentos previstos para os taludes escavados em rocha, quando necessário.

Nos Canais de Transposição, situados entre o trecho do final do Canal de Derivação e a Tomada d'Água, as investigações realizadas constaram de algumas seções geofísicas, não tendo sido executadas sondagens mecânicas e manuais.

Sítio Belo Monte

As informações apresentadas neste item foram extraídas do relatório que consolida as análises da 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade.

O Sítio Belo Monte situa-se em região de rochas migmatíticas e gnáissicas do Complexo Xingu e de rochas sedimentares das Formações Trombetas e Maecuru, que se encontram, em geral, alteradas em solo nas suas porções superficiais – desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0002.

Tendo em vista que os diversos materiais que ocorrem neste sítio apresentam características geotécnicas semelhantes para os vários barramentos, os parâmetros de projeto definidos para cada material são apresentados nas Tabelas 4.65 a 4.67.

Tabela 4.65 - Características do Maciço Rochoso como Fundação

Material	Resistência		Módulo de Deformabilidade E _(50%) (GPa)
	Coesão (MPa)	Ângulo de Atrito (graus)	
Maciço Rochoso Migmatito	0,5	53	35
Contato Concreto Rocha	–	45	–
Rocha Migmatito	$\tau = 8,7 (\sigma + 10)^{0,522}$		–

Nota: Envoltória obtida dos ensaios de compressão simples e tração em testemunhos de sondagens.

UHE BELO MONTE

Tabela 4.66 - Parâmetros de Resistência Adotados

Material	Peso Específico (tf/m ³)		Resistência		Pressão Neutra B (1) —
	Natural (tf/m ³)	Saturado (1) (tf/m ³)	Coesão (kN/m ²)	Ângulo de Atrito (graus)	
Solo residual de Folhelho - RSFo Solo residual de Ritmito - RSRt	2,0	2,05	4,9 ⁽²⁾ 0 ⁽³⁾	18 ⁽²⁾ 11 ⁽³⁾	0,27
Solo de Alteração de Migmatito – SAMg	1,8	1,95	10 ⁽⁴⁾ 40 ⁽⁵⁾	27 ⁽⁴⁾ 28 ⁽⁵⁾	0,10
Solo de Alteração de Migmatito Cataclasado/Cataclasito - SAMgCat/Cat	1,65	1,85	0 ⁽⁴⁾	29 ⁽⁴⁾	0,10
Folhelho/Ritmito – Fo/Rt	—	2,20	—	11 ⁽⁶⁾	Lençol Freático

NOTAS: (1) Os valores de peso específico na condição saturada e do parâmetro de pressão neutra B foram obtidos por cálculos.

- (2) Resistência de pico paralelo ao plano de estratificação.
- (3) Resistência residual paralela ao plano de estratificação.
- (4) Envoltória média inferior.
- (5) Material laterizado.
- (6) Foi adotada a envoltória mínima.

Tabela 4.67 - Parâmetros de Permeabilidade Adotados

Material	Nível de Tensões (kN/m ²)	Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)	
		Vertical – kv	Horizontal - kh
Solo Residual de Folhelho/Ritmito (RSFo/Rt)	$\sigma_v \leq 294$	1×10^{-5}	4×10^{-5} (1)
	$\sigma_v > 294$	3×10^{-7}	$1,2 \times 10^{-6}$ (1)
Solo de Alteração de Migmatito (SAMg)	$\sigma_v = 0$ (2)	6×10^{-4}	$1,2 \times 10^{-3}$ (1)
	$0 < \sigma_v \leq 490$	1×10^{-4}	4×10^{-4} (1)
	$\sigma_v > 490$	1×10^{-5}	4×10^{-5} (1)
Aluvião (Al)		5×10^{-5}	5×10^{-5}
Folhelho e Ritmito (Fo/Rt)		1×10^{-4}	4×10^{-4}
Migmatito (Mg)		1×10^{-5}	4×10^{-5}
Cataclasito (Cat)		1×10^{-3}	1×10^{-3}

NOTAS: 1) Os valores de kh foram determinados adotando-se a relação kh/kv = 4 .

- (2) A permeabilidade correspondente a $\sigma_v = 0$ é atribuída ao solo superficial da fundação, a montante e a jusante da barragem onde não há influência da sobrecarga devida ao aterro.
- (3) A permeabilidade do aluvião foi adotada com base nos ensaios de infiltração em sondagens à percussão.

UHE BELO MONTE

A seguir são apresentadas, resumidamente, as principais características dos materiais de fundação presentes nas diversas estruturas do Sítio Belo Monte.

a) Barragem do Santo Antônio (BSA)

Esta barragem localiza-se em um vale com ombreiras aproximadamente simétricas, com declividade média do terreno de cerca de 9°. Essas ombreiras são sustentadas, nas cotas mais baixas, por migmatitos cortados por espessa faixa de milonitos e, na porção superior, por ritmitos e folhelhos da Formação Trombetas e arenitos da Formação Maecuru, estes últimos presentes abaixo da cota da crista apenas na ombreira esquerda. Na baixada, ao longo do igarapé Santo Antônio, ocorrem sedimentos aluvionares.

O capeamento de solo ao longo da barragem apresenta espessura de até 25 m, sendo caracterizado, superficialmente, por um coluvião argilo-arenoso com espessura inferior a 2,5 m, sob o qual se desenvolvem os solos residuais dos sedimentos, nas ombreiras, e os solos residuais e de alteração de migmatito e milonito, na porção baixa do vale. Na porção baixa da ombreira direita, ocorre também o solo de alteração de migmatito.

Os solos residuais dos folhelhos e ritmitos têm espessura de até 7,5 m, são constituídos de argila siltosa e silte argiloso estratificados e, em geral, com as porções superiores semilaterizadas. Esses solos, bem como suas próprias rochas matrizes, constituem a principal condicionante geológico-geotécnica quanto à estabilidade da barragem devido à sua baixa resistência. As investigações realizadas até o momento sugerem uma rápida dissipação da pressão neutra a ser desenvolvida durante o período construtivo, característica esta que deverá ser confirmada nas etapas subseqüentes de projeto.

Os solos residuais de migmatito e milonito são argilo-siltosos, homogêneos e, em geral, apresentam espessura inferior a 2 m. Sob estes, os solos de alteração dessas litologias chegam a alcançar mais de 20 m de espessura próximo das ombreiras do barramento e são constituídos mais freqüentemente de silte areno-argiloso, pouco compacto nas porções mais superficiais, podendo apresentar zonas mais grosseiras, permeáveis, associadas a concentrações de matacões alterados.

Mais particularmente no alto da ombreira esquerda, onde ocorrem os arenitos, o coluvião é areno-siltoso, fofo, com cerca de 2 m de espessura e capeia cerca de 5 m de solo residual igualmente arenoso e pouco compacto. Esses solos apresentam propriedades colapsíveis para níveis de tensões baixas e possuem permeabilidades elevadas, aspectos que deverão exigir um estudo específico de tratamento de fundação.

Sob o capeamento de solo, ambos os maciços, cristalino e sedimentar, mostram-se de modo geral são/coerentes e com baixa permeabilidade, restringindo-se as zonas de maior permeabilidade à faixa milonítica mais fraturada que ocorre no vale e às porções mais superficiais do maciço sedimentar. Em particular, a anisotropia de permeabilidade associada à faixa milonítica deverá ser melhor analisada nas etapas subseqüentes de projeto, devido à persistência e disposição desses milonitos em relação à barragem.

UHE BELO MONTE

b) Barragem Lateral Esquerda (BLE)

A Barragem Lateral Esquerda desenvolve-se, a partir do muro de ligação, por uma extensão de 1185 m, dos quais os primeiros 650 m em topografia plana e suave, sobre migmatitos, e o trecho restante, em terreno mais inclinado, sobre uma seqüência de ritmitos e folhelhos da Formação Trombetas.

A cobertura superficial é caracterizada por um coluvião argilo-siltoso, poroso, com cerca de 1 m de espessura, e no trecho correspondente ao fundo do vale, por aluvião igualmente delgado, constituído por argila arenosa, plástica, com camada basal arenosa. Abaixo, ocorre cerca de 1 m de solo residual de migmatito, constituído de argila silto-arenosa, muito rija, que transiciona para solo de alteração de migmatito silto-arenoso ou areno-siltoso, pouco compacto superficialmente, cuja espessura varia entre 5 m no fundo do vale e 19 m na parte inferior da ombreira.

Na ombreira, abaixo do coluvião, os solos residuais de ritmitos e folhelhos são silto-argilosos a argilo-siltosos, em geral laterizados no seu primeiro metro, e apresentam espessura da ordem de 2 m.

Sob este capeamento de solo, o maciço migmatítico é são, pouco fraturado e de baixa permeabilidade, com exceção de estreitas faixas miloníticas e/ou cataclásticas que o atravessam localmente, onde o fraturamento mais intenso poderá favorecer a percolação da água. Na ombreira, o maciço rochoso dos folhelhos e ritmitos apresenta-se medianamente coerente, pouco fraturado subverticalmente e permeável apenas nos primeiros 15 m de profundidade.

c) Barragem Lateral Direita (BLD)

Esta barragem desenvolve-se, a partir do muro de ligação, em topografia suavemente ondulada, em ritmitos e folhelhos que repousam sobre rochas migmatíticas.

O capeamento desses sedimentos é constituído, superficialmente, por coluvião argilo-siltoso, poroso, com espessura de 0,5 a 2,5 m, sobreposto a uma camada de cerca de 3 m de solo residual de sedimentos, caracterizado por argila silto-arenosa, micromicácea, de consistência rija a dura e parcialmente laterizada na porção superior.

Sob essa cobertura de solo, os ritmitos e folhelhos apresentam-se com baixa coerência e elevada permeabilidade até profundidades de 10 a 16 m, a partir da qual se mostram medianamente coerentes, pouco fraturados e impermeáveis. Sob o pacote sedimentar, os migmatitos apresentam-se são e impermeáveis, com exceção do trecho inferior da ombreira, onde, abaixo da pequena capa de ritmito de cerca de 10 m, ocorre migmatito muito alterado superficialmente.

d) Estruturas de Concreto

As estruturas de concreto, constituídas pelo conjunto Tomada d'Água, Muros e Casa de Força, localizam-se entre as Barragens Laterais Direita e Esquerda.

Nessa área ocorrem migmatitos, granodioritos gnaissificados e biotita-gnaisses róseos, sob uma cobertura superficial da ordem de 5 a 10 m de ritmitos da Formação Trombetas ou de solos de decomposição dessas diversas rochas

UHE BELO MONTE

presentes. O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0023 mostra seções geológico-geotécnicas longitudinais pelas estruturas de concreto.

As rochas cristalinas apresentam-se, em geral, com foliação orientada a N40° - 60°W e mergulhos desde subverticais até 50° SW ou N E. Os contatos entre as litologias são gradativos e não representam, juntamente com a foliação, influência relevante na anisotropia do maciço. Ensaios de compressão simples realizados em testemunhos de sondagens corroboram que não há influência dessa anisotropia na resistência da rocha.

O fraturamento do maciço, caracterizado unicamente nas sondagens, por ausência de afloramentos no local, apresenta-se, de forma geral, isotrópico e representado, basicamente, por uma família de juntas subhorizontais (com mergulho inferior a 20°), seguida por um sistema subvertical, composto de famílias de direções NE, NNW e WNW; além dessas famílias, ocorrem outras com mergulhos intermediários e inclinação para jusante e para E, mas de expressão restrita. As juntas apresentam-se, de modo geral, rugosas e levemente onduladas, com as paredes oxidadas ou cobertas por película argilosa esverdeada e, mais raramente, preenchidas com calcita. Os espaçamentos médios entre as juntas de cada família estão em torno de 1,5 a 3 m, o que confere ao maciço um grau de fraturamento bastante baixo.

Diferem desse padrão homogêneo, as zonas de rochas cataclásticas muito a extremamente fraturadas (F4/F5) que cortam as rochas migmatíticas diagonalmente às estruturas de concreto, com espessuras submétricas a métricas, mergulhos altos para montante e persistências desde dezenas até mais de uma centena de metros.

Quanto a permeabilidade, os ensaios convencionais de perda d'água sob pressão e a Sonda Hidráulica Multiteste (SHM), mostraram uma permeabilidade em geral baixa para o maciço, com a porção mais permeável restrita aos seus 30 m superiores. Na tentativa de correlacionar os resultados dos ensaios às juntas presentes em cada trecho de ensaio, observa-se a freqüente ocorrência de juntas subhorizontais ou com mergulho inferior a 40° nos trechos mais permeáveis. Por outro lado, ensaios de bombeamento realizados nessa área registraram permeabilidade média para o maciço de fundação entre 1×10^{-3} cm/s e 1×10^{-4} cm/s com direções de maior transmissividade NNE e WNW.

Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0027 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0026 apresentam, respectivamente, os tratamentos previstos para serem aplicados nos taludes escavados em rocha, quando necessário, e os tratamentos profundos de fundação.

e) Tomada d'Água e Muros de Ligação

Na área da Tomada d'Água, o maciço de migmatito e granito, em geral muito pouco a pouco fraturado (F1/F2) e são (A1), ocorre abaixo da cota 42,0 m, junto ao Muro de Transição Direito e da cota 28,5 m, junto ao Muro de Transição Esquerdo.

Este maciço apresenta baixa permeabilidade, embora ocorram trechos com valores de perda d'água específica (PE) superiores a 10 l/min/m/kgf/cm², associados a faixas de rochas cataclásticas muito fraturadas.

UHE BELO MONTE

No local do Muro de Transição Esquerdo, as rochas granito-gnáissicas que lhe servem de fundação apresentam-se, abaixo da cota 23,0 m, são, pouco fraturadas e impermeáveis.

Já no local do Muro de Transição Direito, o maciço migmatítico com boas características geomecânicas para assentamento da estrutura de gravidade ocorre a partir da cota 42,0 m, sob o pacote de ritmitos aí existente, subindo gradativamente até a cota 47,0 m na extremidade do muro. As características geológico-geotécnicas dos ritmitos que ocorrem no trecho do abraço da barragem são as mesmas descritas para a Barragem Lateral Direita.

Os ensaios geomecânicos realizados em testemunhos de sondagens do migmatito apresentaram valores de resistência à compressão e tração de $\sigma_c=150$ MPa e $\sigma_t=10$ MPa, respectivamente.

Baseado na compartimentação do maciço quanto às descontinuidades, que se apresenta relativamente isotrópico, adotou-se para o cálculo dos seus parâmetros de resistência a teoria de Hoek (1983), juntamente com a classificação (CSRI) proposta por Bieniawsky (1976). Os cálculos forneceram a envoltória: $\tau = 0,5 + \sigma' \operatorname{tg} 53^\circ$ (MPa).

Para deformabilidade, foi adotado o módulo de deformação $E = 35$ GPa e para coeficiente de Poisson o valor de $\nu = 0,25$.

f) Casa de Força

A Casa de Força será implantada na cota -32,40 m, em rocha migmatítica ou granodiorítica, são (A1) e muito pouco a pouco fraturada (F1/F2), com excelentes características geomecânicas para fundação. As zonas cataclásticas que foram interceptadas pelas sondagens não deverão representar problemas nas fundações com relação à deformabilidade, devido à sua forma de ocorrência e sua espessura. Entretanto, essas feições, associadas ao fraturamento subvertical do maciço, poderão acarretar instabilizações nos taludes laterais da Casa de Força a serem observadas durante as escavações.

Nos ensaios de perda d'água sob pressão, o maciço rochoso da fundação apresentou-se com baixa permeabilidade a impermeável, sob um capeamento de rocha em torno de 60 m.

g) Canal de Fuga

Em toda sua extensão, o Canal de Fuga interfere com ritmitos e migmatitos e seus solos de decomposição, além de sedimentos aluvionares e de terraço e coluviões.

Os ritmitos limitam-se aos 200 m iniciais do canal e à porção de jusante no talude esquerdo, onde apresentam, em geral, espessuras de solo da ordem de 10 m. No trecho de montante, junto ao talude direito, ocorre como rocha pouca a medianamente coerente (C3 a C2) entre as cotas 35,0 e 25,0 m. Abaixo do ritmito, o migmatito é são e pouco fraturado.

Superficialmente os trechos em migmatito apresentam capeamento de solo de alteração da ordem de 10 m, sendo de 15 a 20 m no trecho inicial do Canal de Fuga.

UHE BELO MONTE

Os sedimentos aluvionares das baixadas ocorrem com espessuras da ordem de 3 m, chegando a atingir 15 m nas ilhas marginais do rio Xingu, sobre rocha migmatítica cujo topo rochoso se apresenta em torno da cota – 7,0 m. Os terraços são bastante restritos e representados por sedimentos argilosos e arenosos com cascalhos. Suas espessuras variam em torno de 0,5 a 5,0 m.

As características geológico-geotécnicas dos solos residuais dos ritmitos e dos solos de alteração de migmatito são similares às já descritas para as Barragens Lateral Direita e Esquerda.

Particularmente, deve-se destacar aqui as características de expansão e desagregação das rochas sedimentares e de expansão de seus solos, quando expostos, que exigirão tratamentos específicos para atenuar seu comportamento deletérico.

Diques do Reservatório Intermediário

Na região de implantação destes diques, além das rochas cristalinas do Complexo Xingu, que são dominantes, ocorrem também sedimentos pertencentes às Formações Trombetas e Maecuru. Estas últimas interferem com os diques DIK-3, DIK-4 (folhelho Trombetas e arenito Maecuru), DIK-6A e DIK-6B (ritmito Trombetas) e DIK-6C e DIK-7A (arenito Manacapuru da Formação Trombetas), conforme apresentado no mapeamento geológico mostrado no desenho BEL-B-DQ-DE-GER-112-0002.

Para os diques situados no domínio do cristalino, os materiais de fundação foram classificados conforme indicado a seguir:

a) Aluviões

Os sedimentos aluvionares ocorrem nas regiões de baixadas dos diques de maior altura e possuem espessura de até 4 m .

A identificação tátil-visual mostrou ser o pacote aluvionar constituído, de forma geral, de argilas arenosas de baixa consistência, muito porosas, e de lentes intercaladas de areias e argilas.

b) Coluviões sobre Migmatito

Os coluviões ocorrem sobrepostos aos solos residuais e, em alguns casos, diretamente sobre os solos de alteração. Ocorrem na superfície, recobrendo o cume dos morrotes e também na região central dos diques, onde não há ocorrência de aluviões. Sua espessura, em alguns casos, chega a atingir 3 m, mas em sua maioria é de 1,5 m .

Por meio da análise tátil-visual, identificou-se o material como sendo constituído por areias, siltes e argilas misturadas em diversas proporções, incluindo em alguns locais grânulos de quartzo e laterita. Possui compactidade variável entre baixa e alta, é normalmente poroso e apresenta grande número de canalículos submilimétricos e outros canalículos maiores, de até 3 mm de diâmetro, de provável origem radicular.

No contato com o solo residual, em alguns diques, foi notada a ocorrência de uma linha de seixos de espessura variável de 10 a 30 cm .

Em algumas encostas ocorrem blocos de rocha em superfície, de dimensões de até 5 m, envolvidos parcialmente pelos coluviões.

UHE BELO MONTE

c) Solos Residuais e de Alteração de Migmatito

Os solos residuais ocorrem normalmente logo abaixo dos coluviões e são identificados tátil-visualmente como siltes areno-argilosos, com variáveis proporções de areia e argila, e muito compactos a medianamente compactos, dependendo do grau de laterização. Observa-se nesses solos a presença esparsa e localizada de zonas de até 20 cm de diâmetro constituídas de material siltoso fofo e com grande quantidade de canaliculos.

Normalmente os solos residuais têm espessura variável entre 1 e 5 m, sendo que a passagem para o solo de alteração ocorre de forma gradativa, não havendo um horizonte de separação claramente definido entre estes materiais.

Os solos de alteração capeiam o topo rochoso e são originados pela decomposição das rochas da região. Através de identificação tátil-visual, constatou-se que eles são constituídos, em sua maioria, de siltes arenosos e, em alguns casos, de areias siltosas pouco argilosas. Sua compactidade varia de medianamente compacta a compacta, com raros casos de muito compacta na parte superior, devido a laterização.

Apresentando espessuras variáveis entre 2 e 20 m, os solos de alteração podem atingir espessuras de até 50 m. Em alguns casos, há presença de poros de até 2 mm de diâmetro. Observa-se também ocorrência de blocos de rocha com até 5 m de diâmetro, remanescentes do processo de alteração ainda não totalmente desenvolvido.

No caso dos DIK-3, DIK-4, DIK-6A, DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A, implantados em região de rochas sedimentares, os solos foram classificados como segue:

d) Coluviões sobre rochas sedimentares

São originários do transporte dos solos residuais das rochas da própria região e ocorrem na superfície, recobrando o cume dos morrotes ou a região dos vales onde não existem aluviões. Suas espessuras podem atingir até 2 m, nos diques DIK-3 e DIK-4 e até 3,5 m nos DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A.

Nos diques DIK-3, DIK-4 e DIK-6B, os coluviões se sobrepõem diretamente aos solos de alteração de ritmitos e folhelhos, e nos diques DIK-6C e DIK-7A, ocorrem sobre os solos residuais de arenitos do Membro Manacapuru.

A análise tátil-visual de amostras de solo coletadas nos diques DIK-3, DIK-4 e DIK-6B, identificou o material como sendo constituído, em sua maioria, por siltes argilosos, pouco compactos, com ocorrência, em algumas encostas, de blocos centimétricos de arenito limonitizado.

Nos diques DIK-6C e DIK-7A, a mesma análise identificou o material como sendo constituído, em sua maioria, por areias argilosas, pouco siltosas, pouco porosas, de compactidade variando de fofo a pouco compacta.

Durante as etapas de estudos desenvolvidos até o momento, não foi elaborado programa específico para a obtenção de parâmetros de resistência, de deformabilidade e de permeabilidade destes solos.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

e) Solos Residuais de Rochas Sedimentares

Os solos residuais normalmente são sotopostos ao colúvio. Nos diques DIK-3, DIK-4 e DIK-6B os solos residuais são constituídos de argilas siltosas, de consistência dura, com poucos poros e nos diques DIK-6C e DIK-7A, de areia predominantemente fina, por vezes pouco siltosa, pouco compactas a muito compactas.

As espessuras de solo chegam a atingir 5 m nos diques DIK-3, DIK-4 e DIK-6B e a mais de 13 m nos diques DIK-6C e DIK-7A.

4.5. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

4.5.1 Materiais Naturais de Construção

A pesquisa de materiais naturais de construção para as estruturas de terra (diques e barragens) e de concreto englobou a ocorrência de materiais argilosos, jazidas de areia e pedreiras, levando em consideração seus posicionamentos em relação aos locais de aplicação, as distâncias de transporte decorrentes, bem como as disponibilidades de volumes em cada local estudado.

Considerando que nesta etapa dos trabalhos não foram realizadas investigações, os dados aqui apresentados foram extraídos de relatórios elaborados na 1ª e 2ª Etapas dos Estudos de Viabilidade da UHE Belo Monte.

Sítio Belo Monte

O desenho BEL-B-BM-DE-GER-112-0051 indica a localização das principais fontes de materiais investigados.

a) Solo

A pesquisa das áreas de empréstimo abrangeu uma superfície total da ordem de 17,2 km², distribuída ao longo de vinte e seis áreas investigadas, todas localizadas dentro de um afastamento inferior a 2 km em relação aos eixos dos barramentos. Deve-se destacar que foi considerada a utilização dos solos oriundos das escavações obrigatórias, citando-se aí o Canal de Fuga e o alargamento hidráulico nos Canais de Adução.

Nas áreas de empréstimo do Sítio Belo Monte existe grande diversidade de solos, verificando-se, portanto, materiais com características geotécnicas bastante distintas. De acordo com suas propriedades geotécnicas, esses solos podem ser distinguidos em 5 grupos principais, descritos a seguir.

- Grupo constituído dos solos de alteração de rochas cristalinas, incluindo também os colúvios a eles subjacentes: CO + RS + SAGr-gn (Área D), CO + SAGr (Área E), RS + SACat (Área E) e SAGr-gn (Área F). A exceção dos solos RS + SACat, que são constituídos predominantemente pela fração siltosa, os demais solos deste grupo apresentam, em geral, uma curva granulométrica bem graduada, com cerca de 30% a 35% das frações de argila, silte e areia.
- Grupo constituído dos solos da Formação Alter do Chão, incluindo também o colúvio a eles subjacentes: CO + STac (Áreas B e C). De maneira geral, ocorrem dois tipos bem característicos: o STac arenoso incluindo o colúvio,

UHE BELO MONTE

que em média apresenta granulometria de uma areia argilosa pouco siltosa e o STac argiloso mais o coluvião, que pode ser caracterizado como uma argila arenosa pouco siltosa.

- Grupo constituído pelo coluvião: CO (Área A). A granulometria é bastante homogênea, podendo ser caracterizado como uma argila siltosa pouco arenosa, com cerca de 7% da fração de pedregulho.
- Grupo constituído dos solos residuais e de alteração do diabásio: RS + SADb (Área A). Apresentam granulometria de uma argila siltosa pouco arenosa.
- Grupo constituído pelo terraço fluvial: TF (Área D). Trata-se de uma argila areno-siltosa com cerca de 4% da fração de pedregulho.

Nota-se em geral que, à exceção do coluvião da Área A, todos os demais solos de empréstimo investigados neste Sítio, totalizando cerca de 50 milhões de m³ de material, apresentam valores de grau de saturação entre 80% e 85% nas condições ótimas de compactação. Suas umidades naturais obtidas em amostras retiradas no período de menor pluviosidade revelam, em geral, valores acima das respectivas umidades ótimas de compactação, com desvios até 5% nos casos específicos dos solos RS + SADb e RS + SACat. Deve-se salientar que, durante a construção das obras de terra, nas áreas de empréstimo atualmente florestadas, a umidade dos solos deverá naturalmente chegar a valores muito próximos das umidades ótimas de compactação, sem a necessidade de serviços significativos para correções de umidades.

Quanto ao coluvião da Área A, com volume disponível de aproximadamente 4 milhões de m³, verifica-se que nas condições ótimas de compactação obtém-se praticamente a saturação total do solo, sugerindo neste caso que poderá ocorrer a geração de pressões-neutras de construção, condicionando a estabilidade dos barramentos. Este solo já apresenta umidade natural, obtida de amostras retiradas nos períodos de menor pluviosidade, da ordem de 2% abaixo da umidade ótima. Entretanto, é importante ressaltar que nos ensaios de laboratório realizados, o coluvião não apresentou ruptura brusca e a pressão-neutra mostrou-se estável ou mesmo decrescente à medida que a deformação específica aumentou.

Conforme suas destinações, todos os solos investigados podem ser indistintamente aplicados nas obras de terra. Em geral, verifica-se não existir diferenças numéricas significativas nos parâmetros de permeabilidade e de compressibilidade desses solos, que possam interferir nos dimensionamentos dos barramentos. De qualquer modo, pode-se prever que algum zoneamento dos aterros poderá se mostrar interessante, durante a execução das estruturas, em função das umidades naturais que estiverem sendo observadas e das características de compactação verificadas para cada material, em função dos equipamentos de transporte e de compactação.

Com relação aos parâmetros de resistência, é importante ressaltar que todos os solos possuem envoltórias de resistência superiores ou, no mínimo, iguais às dos solos de fundação. A amostra indeformada ensaiada do solo de fundação RSAr, apresentou resistência superior à resistência do aterro, devido às características individuais do bloco ensaiado.

UHE BELO MONTE

Como fonte principal de material para os aterros, foi previsto o aproveitamento quase integral dos solos oriundos de escavações obrigatórias, sobretudo do Canal de Fuga, incluído quase que integralmente na Área de Empréstimo D. Considerando as suas propriedades geotécnicas, deverão ser utilizados prioritariamente os solos residuais e de alteração de granito-gnaiss (migmatito), o coluvião superficial e os terraços fluviais, destinados principalmente às Barragens Lateral Direita e Esquerda da Tomada d'Água.

No trecho de jusante do Canal de Fuga, apesar de ocorrerem em camadas com espessuras da ordem de até 10 m, esses solos situam-se, em grande parte, em locais topograficamente baixos, sujeitos sazonalmente à submersão pelas águas do rio Xingu e à saturação completa por águas de chuva. Dessa forma, é indispensável programar adequadamente a escavação destes solos de forma a controlar o seu teor de umidade, tanto para uso nos maciços das barragens como pela necessidade de se garantir o tráfego dos equipamentos. Para tanto, o planejamento deverá contemplar que as escavações deverão ocorrer principalmente nos períodos de estiagem, devendo também ser prevista a execução de trincheiras drenantes que assegurem o rebaixamento do lençol freático nas áreas mais baixas.

Quanto aos solos das áreas de empréstimo, sobretudo aqueles existentes nas áreas D1, D2, E e F, localizadas dentro dos limites do reservatório, prevê-se a sua utilização nos diques 6A, 6B, 6C, 7A e 7B.

b) Areia e Cascalho

As três jazidas estudadas de areia e cascalho, denominadas de Jazidas I, II e III, localizam-se no rio Xingu, a distâncias de 6, 1,5 e 14 km da Casa de Força, respectivamente. O volume total disponível nessas jazidas é de aproximadamente 28 milhões de m³, sendo a Jazida III a maior, com cerca de 22 milhões de m³. Os desenhos BEL-B-BM-DE-GER-112-0060 e BEL-B-BM-DE-GER-112-0061 apresentam informações sobre estas jazidas.

As areias investigadas no Sítio Belo Monte apresentam valores de permeabilidade da ordem de 1×10^{-2} cm/s.

Análises granulométricas realizadas em amostras das jazidas I e III indicam que, na matriz arenosa, cerca de 35% é de areia fina, sendo os 65% restantes constituídos por frações médias e grossas. Na jazida II, a areia apresenta granulometria predominantemente fina.

Como agregado miúdo para concreto, os materiais de todas as jazidas pesquisadas apresentam boas características físicas, são inócuos à atividade álcalis-sílica e com características granulométricas adequadas.

c) Rocha

Foi considerada a utilização das rochas cristalinas do Complexo Xingu, provenientes das escavações obrigatórias que serão realizadas nas áreas da Tomada d'Água, Condutos Forçados, Casa de Força e Canal de Fuga.

Testemunhos de rocha obtidos nas sondagens rotativas, executadas na fundação das estruturas de concreto, foram submetidos a ensaios de caracterização, visando avaliar suas qualidades como agregados para concreto, enrocamento e

UHE BELO MONTE

materiais de filtros e transições. A análise dos resultados desses ensaios mostrou que o material é adequado para estas finalidades.

Diques

A pesquisa de materiais naturais de construção, executada para os diques do Reservatório Intermediário, envolveu a localização e caracterização de áreas de empréstimo de solos, pedreiras e depósitos de materiais granulares, buscando atender a uma seção típica de barramento, que nesta etapa dos estudos é constituída por maciço de terra homogêneo. O desenho BEL-B-BM-DE-BTE-100-0005 apresenta a localização das fontes de materiais investigados.

No reconhecimento geológico de campo, restrito aos locais de implantação das obras e às áreas de empréstimo circunvizinhas, foram localizados depósitos de materiais granulares, nas imediações do antigo sítio Bela Vista, que atenderá os diques localizados na porção sul da área. Para a fase de Projeto Executivo, recomenda-se novas pesquisas com esta finalidade,

A pesquisa de materiais pétreos limitou-se à seleção de locais favoráveis à implantação de pedreiras, os quais deverão ser investigados na fase de Projeto Executivo, para caracterização física e tecnológica desses materiais. Ressaltam-se, também, os quatro afloramentos rochosos identificados no antigo Sítio Bela Vista, que apresentam potencialidade para instalação de pedreiras. Destes, dois estão situados juntos ao trecho final do Travessão do km 55, e os outros na forma de lajedo, na margem esquerda do rio Xingu.

As áreas de empréstimo, delimitadas principalmente nas encostas dos morros próximos aos diques, foram investigadas através de mapeamento geológico de superfície e sondagens a trado para amostragem do material. Na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, foram realizados ensaios de caracterização e especiais, em materiais coletados em diversas áreas de empréstimo e considerados representativos das diversas ocorrências. Na 2ª Etapa não foram realizados ensaios de laboratório, por se considerar que os materiais investigados apresentavam características geológico-geotécnicas semelhantes aos ensaiados anteriormente.

Da análise dos resultados dos mapeamentos e ensaios, ficou caracterizada a existência de coluviões, solos residuais e de alteração de arenito, migmatito e granito, não havendo restrições à utilização desses materiais em qualquer dos diques previstos.

Os volumes disponíveis nas áreas de empréstimo são bem superiores aos volumes necessários à construção dos diques, recomendando-se que os estudos posteriores sejam conduzidos em áreas menores, selecionando-se os materiais mais adequados às estruturas.

Para os diques situados na região do Sítio Belo Monte, foram investigadas 26 áreas de empréstimo, situadas em duas regiões geologicamente distintas: a primeira, de rochas sedimentares, abrangendo os diques DIK-01 a DIK-04 e parcialmente os DIK-6A, DIK-6B, DIK-6C e DIK-7A; e a segunda, de rochas migmatíticas e graníticas, que se estende do DIK-7B ao DIK-20. Na amostragem foram coletados solos residuais e de alteração de migmatitos, granitos, arenitos e ritmitos e, ainda, coluviões.

UHE BELO MONTE

No Pimental não foram detalhadas áreas de empréstimo para construção dos prováveis diques, sendo que o mapeamento geológico de superfície identificou a ocorrência de solos provenientes das rochas cristalinas do Complexo Xingu e, limitada aos talwegues, a presença de aluviões.

Sítio Pimental

O desenho BEL-B-PM-DE-GER-112-0012 apresenta a localização e volumes das principais fontes de materiais investigados.

a) Solo

Para a construção das barragens de terra e terra-enrocamento, do eixo selecionado do Sítio Pimental, foram investigadas áreas de empréstimo nas margens e ilhas do rio Xingu, todas situadas nas proximidades do eixo das estruturas.

Na margem direita do rio foram estudadas duas áreas de empréstimo, enquanto na esquerda somente uma, todas localizadas nas ombreiras do barramento ou elevações próximas. Nestas áreas foram identificados apenas solos de alteração do migmatito, recobertos por pequena espessura de material coluvionar.

O traço mais notável das áreas de empréstimo das margens é a ocorrência de blocos de migmatito, aleatoriamente distribuídos ao longo dos morros e baixadas, cuja delimitação é de grande importância nas estimativas de volumes.

Para a estimativa dos volumes de solo destas áreas foi considerado o mapeamento das ocorrências de blocos (matacões) em superfície, com posterior verificação dessa feição em subsuperfície, através de sondagens a trado realizadas na região para cubagem das áreas. Com isso foi possível delimitar regiões com pouca ocorrência de blocos em superfície e subsuperfície, em relação a áreas com maiores concentrações. Nessas condições, chegou-se a uma disponibilidade superior a 9,5 milhões de m³ de solos que podem ser aproveitados nas estruturas de terra.

Com a mesma origem geológica dos solos de migmatito identificados nas margens do rio Xingu, deve-se ressaltar a ocorrência de materiais capeando as Pedreiras 1 e 4, situadas nas ilhas do Reinaldo e da Serra, respectivamente, que poderão ser utilizados nas diversas estruturas de terra, incluindo as ensecadeiras mais próximas. O volume global estimado para as duas áreas é de cerca de 0,6 milhões de m³.

Outro material investigado, que capeia as Ilhas do Forno, Pimental, Marciana, do Meio e do Canteiro, é o aluvião argilo siltoso. Para este material foi cubada uma reserva da ordem de 10 milhões de m³.

Como o solo originado do migmatito possui origem geológica semelhante ao que ocorre no Sítio Belo Monte, estudado detalhadamente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, julgou-se ser possível adotar os mesmos parâmetros e índices físicos utilizados na fase anterior de estudos.

Com relação ao aluvião argilo siltoso, por não apresentar similaridade com o material estudado na 1ª Etapa dos Estudos, julgou-se pertinente a realização de ensaios de laboratório para permitir sua caracterização geotécnica.

UHE BELO MONTE

Este solo apresenta características altamente plásticas, cor cinza amarelada, com 70% de argila, 29% de silte e 1% de areia fina, sendo que a sua umidade ótima é de aproximadamente 30%.

Pela forma de sua ocorrência na região de interesse, e pelos resultados obtidos nos ensaios de laboratório sobre amostras deste material, o mesmo mostrou-se adequado para uma intensa utilização nas estruturas de barramento, podendo ser incluída também, a perspectiva de lançamento nos aterros das diversas ensecadeiras previstas para este sítio.

b) Areia e Cascalho

Todas as jazidas de areia pesquisadas, denominadas de A a G, estão localizadas ao longo do rio Xingu, com distâncias nunca superiores a 4 km do eixo de barramento. Exceto a Jazida G, todas as demais estão situadas a montante das estruturas, sendo que o volume cubado em todas as jazidas é de aproximadamente 2,2 milhões de m³.

Para utilização como material em filtros e transições, a areia ensaiada apresentou coeficientes de permeabilidade adequados, com valores próximos a 2×10^{-2} cm/s. Análises granulométricas realizadas no material pesquisado indicam que, na matriz arenosa, cerca de 15% é de areia predominantemente fina, 75% de areia média e 10% de areia grossa. Os percentuais de cascalho encontrados foram insignificantes.

Como agregado miúdo para concreto, os materiais de todas as jazidas pesquisadas apresentam, visualmente, boas características para esta finalidade. Os materiais ensaiados nas jazidas denominadas Ilhas da Serra (englobando as áreas D, E e G), Marciana (C), Pimental (englobando as áreas A e B) e de Areia (F), apresentam boas características físicas, são inócuos à atividade álcalis-sílica e com características granulométricas aceitáveis.

c) Rocha

Como fonte de material pétreo para utilização nas estruturas de concreto, de terra e enrocamento, ensecadeiras, proteções e canteiros, foram identificadas cinco pedreiras, distribuídas ao longo do sítio estudado. Exceto a Pedreira 2, localizada a cerca de 3 km, todas as demais situam-se muito próximas ao eixo das estruturas. O volume cubado nestas pedreiras foi estimado em 3,3 milhões de m³.

Deve-se considerar também, a disponibilidade de rocha oriunda das escavações obrigatórias nas fundações das estruturas de concreto e nos canais de aproximação e restituição do Vertedouro. Dependendo do interesse verificado durante a construção, os canais de aproximação e de restituição poderão ser ampliados para obtenção de volumes adicionais.

Não foram executados ensaios em amostras de rocha do Sítio Pimental, visando a sua caracterização como material de filtros e transições, e como agregado grosso para concreto. Dada a similaridade da origem geológica das rochas deste local com as do Sítio Belo Monte, estudadas na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, julgou-se ser possível adotar os mesmos parâmetros e índices físicos utilizados na fase anterior de estudos.

UHE BELO MONTE

Canal de Adução

A utilização de materiais terrosos e pétreos, para a execução do revestimento de fundo e taludes dos Canais de Adução, terá sua origem nas escavações obrigatórias desta estrutura.

O mapeamento geológico de superfície indicou que todos os canais serão implantados em solo ou rocha cristalina do Complexo Xingu. Durante a campanha executada no ano de 2009, foram realizadas algumas sondagens rotativas no local destas estruturas, que permitiram a classificação preliminar do maciço rochoso. Complementando estas informações diretas, considerando as altas velocidades de propagação de ondas sísmicas, observadas durante a campanha de geofísica, pode-se esperar a ocorrência de rocha de boa qualidade geomecânica para as finalidades previstas. Considerando também o grande volume previsto de escavação em rocha para a implantação dos canais, bastante superior às necessidades de consumo estimadas, pode-se admitir que sempre será possível contar com o selecionamento de materiais mais adequados, a ser executado nas frentes de escavação.

Dada a similaridade da origem geológica das rochas deste local com as do Sítio Belo Monte, estudadas detalhadamente na 1ª Etapa dos Estudos de Viabilidade, julgou-se ser possível adotar os mesmos parâmetros e índices físicos das rochas e solos utilizados na fase anterior de estudos.

Como fonte de material granular, foram identificadas duas jazidas, denominadas H e I, localizadas na calha do rio Xingu, nas proximidades do emboque do canal. Por ocuparem uma extensa área superficial, não foram executadas sondagens para permitir o cálculo de volume com maior precisão, sendo estimado de forma conservadora um volume superior a 1,0 milhão de m³ de material disponível. Visualmente apresentam características granulométricas semelhantes às encontradas nos materiais do Sítio Pimental.

Outra fonte de material granular, situada na porção sul do reservatório intermediário, denominada Jazida I, está localizada no leito do rio Xingu, a cerca de 3 km de distância do dique 28, possuindo volume cubado superior a 0,4 milhões de m³. Para utilização como material em filtros e transições, a areia ensaiada apresentou coeficientes de permeabilidade adequados, com valores médios de 2×10^{-2} cm/s. Análises realizadas no material pesquisado indicam que, na matriz arenosa e para a curva granulométrica média, cerca de 32% é de areia fina, 48% de areia média e 8% de areia grossa. Os percentuais de cascalho encontrados ficaram na faixa de 12%.

Ainda nesta região situada ao sul do reservatório intermediário, foram identificadas quatro áreas potenciais para instalação de pedreiras, todas elas com ocorrência de rochas migmatíticas do Complexo Xingu. Destas, duas estão situadas junto ao trecho final do Travessão 55, e as outras na forma de lajedo, na margem esquerda do rio Xingu. Não foram realizadas sondagens para investigação e cubagem das áreas, sendo que as inspeções de campo sugerem rocha de boa qualidade geomecânica, com volumes seguramente superiores aos necessários para utilização nas diversas estruturas, como material de filtros, transições e enrocamento e agregado graúdo para concreto.

UHE BELO MONTE

4.6. ESTUDOS ENERGÉTICOS

4.6.1 Considerações Iniciais

A Nota Técnica publicada pela EPE, Estudos para Licitação da Expansão da Geração - Cálculo da Garantia Física da UHE Belo Monte, apresentou para as Casas de Força Principal e Complementar, respectivamente, a Energia Firme de 4.226,26 MWmédios e 145,52 MWmédios, totalizando 4.371,79 MWmédios.

Os estudos energéticos atuais partiram das conclusões apresentadas na nota técnica e mostrados na Tabela 4.68, ou seja, não foram alteradas a motorização, número de unidades, os níveis de água (nível de água normal e deplecionamento) do reservatório ou o número de unidades do aproveitamento.

Tabela 4.68 - Características Operativas UHE Belo Monte – Nota Técnica EPE

Aproveitamento	Potência Instalada (MW)	Número de Unidades	NA Máx. Normal de Montante (m)	Energia Firme (MWmed)
Belo Monte - Casa de Força Principal	11.000	18	97	4.226,26
Belo Monte - Casa de Força Complementar	233,1	6	97	145,52

No entanto, procurou-se na presente etapa, a partir de curvas de colinas oferecidas pelos fabricantes para a Casa de Força Principal, adotar um rendimento médio do conjunto turbina-gerador maior que o contemplado nos estudos de garantia física da EPE, compensando os ganhos energéticos com o aumento das perdas de carga no circuito hidráulico de geração, procurando manter a equivalência da produção energética dos estudos anteriores, ou seja, a Energia Firme já definida pela EPE.

Os estudos que serviram como base para a definição do novo rendimento do conjunto turbina-gerador, adotado nesta simulação energética (92,5%) são apresentados no item 4.6.3 do presente no relatório.

4.6.2 Definições dos Termos

- Período crítico: é o maior período do histórico de vazões em que o armazenamento dos reservatórios varia do nível máximo ao mínimo, sem reenchimentos totais intermediários ao se considerar a carga crítica. No sistema nacional esse período corresponde de junho de 1949 até novembro de 1956;
- Energia média: energia média gerada em todo o histórico de vazões afluentes mensais, resultante de simulação;
- Energia Firme local: refere-se à energia gerada pela usina durante o período crítico, resultante de simulação;
- Queda de referência: queda líquida para a qual a turbina, com seu distribuidor totalmente aberto, fornece a potência nominal do gerador;

UHE BELO MONTE

- Queda de projeto: queda líquida mais freqüente durante o período crítico; corresponde à queda líquida para a qual a turbina opera com rendimento máximo.

4.6.3 Produtividade Energética da Casa de Força Principal

Os estudos energéticos elaborados na revisão dos Estudos de Viabilidade de 2009 indicavam um rendimento médio do conjunto turbina-gerador de 93,1% para a Casa de Força Principal. Na determinação da Garantia Física da UHE Belo Monte, a EPE adotou um rendimento médio do conjunto turbina-gerador de 91,8%.

Por outro lado, propostas já recebidas de fabricantes para as turbinas da UHE Belo Monte têm demonstrado que o rendimento médio ponderado destes equipamentos poderá ficar acima de 95,0%. Analogamente, o rendimento dos geradores tem ficado acima de 98,5% com 100% de carga e fator de potência nominal. Estes dados resultam em rendimentos médios do conjunto turbina-gerador acima de 93,5%.

Para confirmação destes valores de rendimentos médios ponderados foram feitas simulações atribuindo-se, inicialmente, o rendimento esperado para cada mês do histórico de vazões, e calculando o rendimento equivalente que produz a mesma energia firme, de 4.226,26 MW, estabelecida no Edital de Leilão da ANEEL. Posteriormente, foi adotado o procedimento descrito pela EPE, também apresentado no citado Edital, por meio da divisão do histórico em 20 faixas de igual probabilidade. Para este procedimento também foi variado o número de unidades geradoras em operação, buscando o despacho ótimo.

As Tabelas 4.69 e 4.70 apresentam os cálculos de rendimento ponderado, para o conjunto turbina-gerador.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Tabela 4.69 – Rendimento Médio Ponderado Turbina-Gerador - Fabricante A

Permanência	Vazão Total (m³/s)	Número de Unidades	Vazão Unitária (m³/s)	Queda Líquida (mca)	Rendimento Turbina-Gerador	Potência Gerada (MW)
0%	38442,0	18	754,08	86,3	93,8%	10781
5%	19396,0	18	757,23	87,3	93,8%	10958
10%	16167,3	18	753,49	87,9	94,0%	10991
15%	13995,4	18	724,03	88,5	94,4%	10680
20%	12124,2	16	712,67	89,2	94,4%	9415
25%	10472,5	13	743,72	89,9	94,5%	8055
30%	8988,2	11	724,06	90,5	94,5%	6682
35%	7079,7	9	712,32	91,1	94,4%	5411
40%	5759,0	7	724,84	91,5	94,5%	4302
45%	4387,3	5	744,75	91,7	94,5%	3165
50%	3263,0	4	730,22	91,8	94,5%	2486
55%	2561,7	3	733,64	91,7	94,5%	1872
60%	1880,4	3	553,62	91,4	90,6%	1350
65%	1482,1	2	630,84	90,9	92,7%	1043
70%	1077,9	2	457,89	91,0	86,1%	704
75%	774,0	1	691,52	90,6	94,3%	580
80%	617,2	1	524,53	90,9	89,7%	420
85%	455,5	1	377,74	91,2	77,0%	260
90%	306,3	1	291,46	90,5	73,9%	191
95%	300,0	1	223,96	89,9	73,5%	145
100%	300,0		Rendimento Médio Ponderado:			93,93%

Tabela 4.70 – Rendimento Médio Ponderado Turbina-Gerador - Fabricante B

Permanência	Vazão Total (m³/s)	Número de Unidades	Vazão Unitária (m³/s)	Queda Líquida (mca)	Rendimento Turbina-Gerador	Potência Gerada (MW)
0%	38442,0	18	757,26	86,3	93,1%	10747
5%	19396,0	18	761,51	87,3	93,1%	10935
10%	16167,3	18	760,09	87,8	93,2%	10991
15%	13995,4	18	726,07	88,5	94,0%	10664
20%	12124,2	17	670,74	89,2	94,2%	9402
25%	10472,5	14	690,60	89,9	94,4%	8051
30%	8988,2	11	724,06	90,5	94,3%	6667
35%	7079,7	9	712,32	91,1	94,4%	5409
40%	5759,0	7	724,84	91,5	94,3%	4293
45%	4387,3	5	744,75	91,7	93,8%	3143
50%	3263,0	4	730,22	91,8	94,2%	2477
55%	2561,7	3	733,64	91,7	94,1%	1862
60%	1880,4	3	553,62	91,4	91,2%	1359
65%	1482,1	2	630,84	90,9	93,5%	1052
70%	1077,9	2	457,89	91,0	86,1%	704
75%	774,0	1	691,52	90,6	94,4%	580
80%	617,2	1	524,53	90,9	90,6%	424
85%	455,5	1	377,74	91,2	79,8%	270
90%	306,3	1	291,46	90,5	79,4%	205
95%	300,0	1	223,96	89,9	79,0%	156
100%	300,0		Rendimento Médio Ponderado:			93,58%

UHE BELO MONTE

A partir dos resultados das Tabelas 4.69 e 4.70, e admitindo-se certo conservadorismo, adotou-se um rendimento médio ponderado de 92,5% para o conjunto turbina-gerador, de modo que os fabricantes possam atingi-lo com segurança.

Ao se admitir um rendimento médio ponderado de 92,5% e mantendo-se inalterado o valor da energia firme, de 4.226,26 MW, que consta no Edital de Leilão da ANEEL chegou-se a uma perda de carga total máxima de 3,58 m no circuito de geração, o qual engloba o Canal de Derivação, o Reservatório Intermediário, a Tomada de Água, os Conduitos Forçados, a saída do Tubo de Sucção e o Canal de Fuga.

O aumento da perda de carga no circuito de geração resulta em diversos benefícios para o empreendimento, tais como:

- Substancial redução dos volumes de escavação do Canal de Derivação e dos canais de transposição.
- Diminuição dos impactos ambientais devido aos menores volumes de bota-fora e menores áreas ocupadas pelos mesmos.
- Redução de custos e prazos para a implantação do Canal de Derivação e dos canais de transposição.

Ressalta-se que a mudança da perda de carga total do circuito de geração não altera as condições de níveis de água no reservatório principal (calha do rio Xingu).

4.6.4 Parâmetros físico-operativos e critérios adotados

Série de Vazões Médias Mensais

A Tabela 4.71 apresenta a série de vazões naturais médias mensais afluentes em UHE Belo Monte, disponibilizada na Resolução nº 740 da ANA de 06/10/2009 e apresentada no item 4.2.4 – Caracterização do Regime Fluvial.

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Tabela 4.71 - Série Natural de Vazões Médias Mensais

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	6720	15603	15024	28377	21385	11156	3204	1615	1063	1531	2414	4409
1932	8288	10831	20099	15360	8821	3947	2854	1707	1348	1353	1737	3461
1933	5586	13325	16684	19387	16123	6687	2589	1242	846	1233	2173	3482
1934	5542	11151	16869	31431	19243	8035	2668	1394	1036	1191	1555	4514
1935	12456	14571	18767	32162	18893	12845	3215	1653	1143	678	1496	4709
1936	11863	18970	14371	18281	10131	4395	1883	1250	1016	761	1428	4175
1937	4365	5908	10586	20528	11789	5276	2947	1763	1392	1272	1633	3254
1938	8511	10827	11769	31154	21481	10025	2645	1475	1177	1254	2444	2511
1939	14508	19005	21863	19728	11199	6848	3631	1789	1276	1201	1966	5070
1940	9770	17682	19653	22773	24638	13201	3582	1575	967	870	1977	2810
1941	6375	8629	15461	22046	12661	5666	2106	1259	995	1565	2010	4004
1942	3098	8614	11771	14644	11300	6263	2674	1312	775	696	2750	4161
1943	12879	22803	42442	12371	10528	4674	2589	1559	834	888	1835	3518
1944	4887	11255	14595	22642	18829	7809	2744	1317	896	1343	2367	3793
1945	6312	14656	14112	35764	26952	14061	2694	1358	894	1171	1846	3370
1946	4117	11114	19633	13384	11693	4171	4358	2484	1524	690	1744	2454
1947	8182	14766	17296	35119	23249	11207	2547	1221	872	1709	1968	4532
1948	8610	16725	26205	22290	13647	5698	2765	1444	1073	914	1193	3463
1949	15085	19731	23408	12747	11413	4727	3122	1729	1262	997	1793	3179
1950	5744	13217	15070	29324	24549	11974	2430	1182	683	859	1386	3292
1951	7424	9566	14444	9564	8404	4309	3368	1666	1218	1006	1583	3401
1952	5002	10942	10867	29924	21274	8043	2930	1634	1239	1399	1564	2309
1953	6801	15791	15205	31488	23729	12380	2914	1469	967	1886	2973	5430
1954	5693	10079	18760	18050	15361	6820	2777	1672	895	655	1353	2594
1955	7872	14756	15835	25487	27575	14775	2884	1268	778	1047	2377	3378
1956	7411	16212	16102	25055	17812	6734	4153	2316	1756	1784	1995	2944
1957	15483	18112	23328	29031	17053	11594	2722	1399	967	584	1290	4058
1958	4644	9676	16982	40610	19158	8236	2486	1547	1213	1044	1520	3850
1959	8384	13447	22444	22341	17334	7857	3218	1612	1129	614	1174	3778
1960	3253	8734	12361	22708	17523	9711	2561	1257	742	791	3127	4732
1961	7448	20711	28301	11301	8721	4833	2889	1417	837	482	1906	2884
1962	4882	7737	13485	23178	12269	4470	2030	1964	1007	921	1930	4178
1963	8472	10916	16482	13775	12105	6207	2683	1327	970	716	1127	2422
1964	17033	21543	25668	35135	19944	12195	2863	1411	1007	1091	1785	4604
1965	6208	14334	16126	27236	16080	6931	2764	1705	1450	1084	1544	3875
1966	3345	7978	9989	20185	16786	6962	3059	1468	999	1280	2255	3614
1967	6377	8354	9610	41621	23626	14447	2518	1240	885	798	1307	3370
1968	4570	6993	12623	25799	13656	4976	2183	1050	684	698	1033	4028
1969	7112	10120	14059	15284	12068	5015	1854	915	425	380	560	1176
1970	3774	9204	18001	14636	13213	4561	2063	1176	698	496	1213	1764
1971	2522	6337	9585	14133	11270	6045	2682	1315	752	693	2650	4144
1972	5532	11920	16523	16925	14544	5837	2689	1290	850	641	1093	1810
1973	4338	6938	14297	19675	17302	7434	3667	2209	1144	1422	2841	5631

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1974	7474	15200	21604	27573	25985	13431	4446	2061	1448	1352	1418	4054
1975	7372	15322	19342	20860	18047	8518	3845	1870	1046	735	1148	2817
1976	6406	10941	15398	14931	11247	5523	2475	1193	795	988	2224	5082
1977	9206	15586	18518	17358	19405	10062	4498	1977	1175	1503	3303	4850
1978	15681	16107	25621	22801	17479	9427	4180	2360	1437	1465	1962	3935
1979	8666	18303	24556	18009	11234	5105	2416	1451	1394	1455	1986	3348
1980	8258	15542	30200	21559	10510	4372	2271	1413	1072	1119	1576	4126
1981	10348	15479	12535	16897	9676	4062	2105	1398	1100	965	1754	5296
1982	10087	23290	28311	21711	17471	7184	3378	1843	1317	1854	1989	2725
1983	6258	15094	16609	16910	7538	3707	2037	1355	1068	1189	2343	3938
1984	6847	9563	13533	19397	19100	7517	3087	1581	1303	1375	2562	3386
1985	9688	22569	24857	22859	23251	9520	4061	2132	1333	1348	2673	6761
1986	16328	18760	22578	20716	14760	6667	3309	1844	1426	2146	4047	4294
1987	7062	8633	17126	17850	10593	4587	2264	1354	1035	1167	1450	2985
1988	7200	10431	19275	20819	16692	7321	3284	1645	1114	1156	2142	7120
1989	13358	14113	20126	21904	13296	8748	4448	2287	1530	1408	3006	9778
1990	17948	13564	22254	18137	10799	5292	2757	1874	1250	1357	1878	2861
1991	7597	15933	16984	23195	18062	9119	3692	1861	1185	1231	1878	3543
1992	6751	14080	17538	19152	11683	4874	2352	1451	1193	1501	2069	5364
1993	9233	11123	19537	16090	11027	4930	2372	1419	1312	1348	1814	2994
1994	11106	18103	23477	22538	15418	7193	4402	2111	1458	1357	1512	3598
1995	12016	17631	20361	21050	21479	12182	4723	2260	1366	1201	1509	4312
1996	10460	12357	16231	18060	16710	6697	2940	1629	1150	1128	1965	3600
1997	7373	15086	16017	22807	16755	6131	2873	1603	1176	1183	1280	1952
1998	3731	5668	9887	9843	6605	2880	1421	911	710	717	1383	3653
1999	6886	8013	13396	12449	11303	5610	2231	1104	781	904	1378	3057
2000	10644	15970	22007	22075	13606	5428	2838	1674	1177	1533	2664	6322
2001	11305	13377	17037	18497	10850	6421	3051	1503	1038	1003	1588	4234
2002	11562	12412	12067	13079	7567	4375	1835	1161	810	879	1396	1986
2003	1132	3960	13079	19204	10503	3703	2361	2284	1133	1144	2320	5188
2004	7981	13031	28219	27700	14720	6698	3306	1894	1368	1313	2446	3699
2005	6774	12311	20619	22893	14483	5852	2705	1413	1015	1104	1394	4184
2006	11102	13229	19592	25123	24596	11794	4113	2048	1172	1238	2660	3889
2007	6026	13276	20884	17281	9933	4876	2269	1444	959	871	1053	2259
2008	4793	11485	19666	24123	16431	6854	2773	1506	1071	1116	1236	3835

Para o trecho de vazão reduzida, deverão ser mantidas as vazões médias mensais apresentadas na Tabela 4.72, alternando os hidrogramas A e B em anos consecutivos. Caso a vazão afluyente seja inferior ao hidrograma, será liberada vazão igual à afluyente para o trecho de vazão reduzida.

Tabela 4.72 - Hidrogramas para o Trecho de Vazão Reduzida

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Hidrograma A	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
Hidrograma B	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Com base na série de vazões naturais e os descontos dos hidrogramas ecológicos, foi elaborada uma série de vazões artificiais para ser utilizada nas simulações energéticas. A série de vazões médias mensais artificiais para a Casa de Força Principal de UHE Belo Monte está apresentada na Tabela 4.73.

Tabela 4.73 - Série de Vazões Médias Mensais Artificiais Casa de Força Principal

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	5620	14003	11024	20377	17385	9156	2004	715	313	831	1614	3509
1932	7188	9231	17599	11360	7021	2747	1854	807	598	653	937	2561
1933	4486	11725	12684	11387	12123	4687	1389	342	96	533	1373	2582
1934	4442	9551	14369	27431	17443	6835	1668	494	286	491	755	3614
1935	11356	12971	14767	24162	14893	10845	2015	753	393	0	696	3809
1936	10763	17370	11871	14281	8331	3195	883	350	266	61	628	3275
1937	3265	4308	6586	12528	7789	3276	1747	863	642	572	833	2354
1938	7411	9227	9269	27154	19681	8825	1645	575	427	554	1644	1611
1939	13408	17405	17863	11728	7199	4848	2431	889	526	501	1166	4170
1940	8670	16082	17153	18773	22838	12001	2582	675	217	170	1177	1910
1941	5275	7029	11461	14046	8661	3666	906	359	245	865	1210	3104
1942	1998	7014	9271	10644	9500	5063	1674	412	25	0	1950	3261
1943	11779	21203	38442	4371	6528	2674	1389	659	84	188	1035	2618
1944	3787	9655	12095	18642	17029	6609	1744	417	146	643	1567	2893
1945	5212	13056	10112	27764	22952	12061	1494	458	144	471	1046	2470
1946	3017	9514	17133	9384	9893	2971	3358	1584	774	0	944	1554
1947	7082	13166	13296	27119	19249	9207	1347	321	122	1009	1168	3632
1948	7510	15125	23705	18290	11847	4498	1765	544	323	214	393	2563
1949	13985	18131	19408	4747	7413	2727	1922	829	512	297	993	2279
1950	4644	11617	12570	25324	22749	10774	1430	282	0	159	586	2392
1951	6324	7966	10444	1564	4404	2309	2168	766	468	306	783	2501
1952	3902	9342	8367	25924	19474	6843	1930	734	489	699	764	1409
1953	5701	14191	11205	23488	19729	10380	1714	569	217	1186	2173	4530
1954	4593	8479	16260	14050	13561	5620	1777	772	145	0	553	1694
1955	6772	13156	11835	17487	23575	12775	1684	368	28	347	1577	2478
1956	6311	14612	13602	21055	16012	5534	3153	1416	1006	1084	1195	2044
1957	14383	16512	19328	21031	13053	9594	1522	499	217	0	490	3158
1958	3544	8076	14482	36610	17358	7036	1486	647	463	344	720	2950
1959	7284	11847	18444	14341	13334	5857	2018	712	379	0	374	2878
1960	2153	7134	9861	18708	15723	8511	1561	357	0	91	2327	3832
1961	6348	19111	24301	3301	4721	2833	1689	517	87	0	1106	1984
1962	3782	6137	10985	19178	10469	3270	1030	1064	257	221	1130	3278
1963	7372	9316	12482	5775	8105	4207	1483	427	220	16	327	1522
1964	15933	19943	23168	31135	18144	10995	1863	511	257	391	985	3704
1965	5108	12734	12126	19236	12080	4931	1564	805	700	384	744	2975
1966	2245	6378	7489	16185	14986	5762	2059	568	249	580	1455	2714

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1967	5277	6754	5610	33621	19626	12447	1318	340	135	98	507	2470
1968	3470	5393	10123	21799	11856	3776	1183	150	0	0	233	3128
1969	6012	8520	10059	7284	8068	3015	654	15	0	0	0	276
1970	2674	7604	15501	10636	11413	3361	1063	276	0	0	413	864
1971	1422	4737	5585	6133	7270	4045	1482	415	2	0	1850	3244
1972	4432	10320	14023	12925	12744	4637	1689	390	100	0	293	910
1973	3238	5338	10297	11675	13302	5434	2467	1309	394	722	2041	4731
1974	6374	13600	19104	23573	24185	12231	3446	1161	698	652	618	3154
1975	6272	13722	15342	12860	14047	6518	2645	970	296	35	348	1917
1976	5306	9341	12898	10931	9447	4323	1475	293	45	288	1424	4182
1977	8106	13986	14518	9358	15405	8062	3298	1077	425	803	2503	3950
1978	14581	14507	23121	18801	15679	8227	3180	1460	687	765	1162	3035
1979	7566	16703	20556	10009	7234	3105	1216	551	644	755	1186	2448
1980	7158	13942	27700	17559	8710	3172	1271	513	322	419	776	3226
1981	9248	13879	8535	8897	5676	2062	905	498	350	265	954	4396
1982	8987	21690	25811	17711	15671	5984	2378	943	567	1154	1189	1825
1983	5158	13494	12609	8910	3538	1707	837	455	318	489	1543	3038
1984	5747	7963	11033	15397	17300	6317	2087	681	553	675	1762	2486
1985	8588	20969	20857	14859	19251	7520	2861	1232	583	648	1873	5861
1986	15228	17160	20078	16716	12960	5467	2309	944	676	1446	3247	3394
1987	5962	7033	13126	9850	6593	2587	1064	454	285	467	650	2085
1988	6100	8831	16775	16819	14892	6121	2284	745	364	456	1342	6220
1989	12258	12513	16126	13904	9296	6748	3248	1387	780	708	2206	8878
1990	16848	11964	19754	14137	8999	4092	1757	974	500	657	1078	1961
1991	6497	14333	12984	15195	14062	7119	2492	961	435	531	1078	2643
1992	5651	12480	15038	15152	9883	3674	1352	551	443	801	1269	4464
1993	8133	9523	15537	8090	7027	2930	1172	519	562	648	1014	2094
1994	10006	16503	20977	18538	13618	5993	3402	1211	708	657	712	2698
1995	10916	16031	16361	13050	17479	10182	3523	1360	616	501	709	3412
1996	9360	10757	13731	14060	14910	5497	1940	729	400	428	1165	2700
1997	6273	13486	12017	14807	12755	4131	1673	703	426	483	480	1052
1998	2631	4068	7387	5843	4805	1680	421	11	0	17	583	2753
1999	5786	6413	9396	4449	7303	3610	1031	204	31	204	578	2157
2000	9544	14370	19507	18075	11806	4228	1838	774	427	833	1864	5422
2001	10205	11777	13037	10497	6850	4421	1851	603	288	303	788	3334
2002	10462	10812	9567	9079	5767	3175	835	261	60	179	596	1086
2003	32	2360	9079	11204	6503	1703	1161	1384	383	444	1520	4288
2004	6881	11431	25719	23700	12920	5498	2306	994	618	613	1646	2799
2005	5674	10711	16619	14893	10483	3852	1505	513	265	404	594	3284
2006	10002	11629	17092	21123	22796	10594	3113	1148	422	538	1860	2989
2007	4926	11676	16884	9281	5933	2876	1069	544	209	171	253	1359
2008	3693	9885	17166	20123	14631	5654	1773	606	321	416	436	2935

UHE BELO MONTE

Para a simulação da Casa de Força Complementar, a série de vazões médias mensais foi elaborada a partir da estimativa de vertimentos da Casa de Força Principal, dado de saída do MSUI, acrescida dos desvios realizados para o atendimento do hidrograma ecológico no trecho de vazão reduzida. A série de vazões utilizada nos estudos da EPE está apresentada na Tabela 4.74. A série utilizada nos estudos do Projeto Básico e atualizada até o ano de 2008 está apresentada no item 4.2.4, assim como as considerações que levaram a sua alteração.

Tabela 4.74 - Série de Vazões Médias Mensais Artificiais Casa de Força Complementar (Nota Técnica EPE)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	1100	2259	4000	14901	7874	2000	1200	900	750	700	800	900
1932	1100	1600	6621	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1933	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1934	1100	1600	3487	17985	5793	1200	1000	900	750	700	800	900
1935	1100	1600	5327	18723	5453	2000	1200	900	750	678	800	900
1936	1100	5523	2500	4857	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1937	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1938	1100	1600	2500	17705	7968	1200	1000	900	750	700	800	900
1939	1190	5557	8337	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1940	1100	4273	6188	9233	11123	1200	1000	900	750	700	800	900
1941	1100	1600	4000	8516	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1942	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	696	800	900
1943	1100	9260	29125	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1944	1100	1600	2500	9101	5391	1200	1000	900	750	700	800	900
1945	1100	1600	4000	22361	13463	2000	1200	900	750	700	800	900
1946	1100	1600	6168	4000	1800	1200	1000	900	750	690	800	900
1947	1100	1600	4000	21709	9717	2000	1200	900	750	700	800	900
1948	1100	3346	12705	8754	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1949	1757	6262	9875	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1950	1100	1600	2500	15858	11033	1200	1000	900	683	700	800	900
1951	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1952	1100	1600	2500	16463	7766	1200	1000	900	750	700	800	900
1953	1100	2441	4000	18043	10203	2000	1200	900	750	700	800	900
1954	1100	1600	5321	4633	2024	1200	1000	900	750	655	800	900
1955	1100	1600	4000	11980	14092	2000	1200	900	750	700	800	900
1956	1100	2849	2739	11543	4404	1200	1000	900	750	700	800	900
1957	2142	4690	9794	15562	4000	2000	1200	900	750	584	800	900
1958	1100	1600	3596	27266	5710	1200	1000	900	750	700	800	900
1959	1100	1600	8902	8803	4000	2000	1200	900	750	614	800	900
1960	1100	1600	2500	9168	4124	1200	1000	900	742	700	800	900
1961	1100	7214	14823	8000	4000	2000	1200	900	750	482	800	900
1962	1100	1600	2500	9643	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1963	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1964	3644	8023	12162	21725	6473	1200	1000	900	750	700	800	900
1965	1100	1600	4000	13748	4000	2000	1200	900	750	700	800	900

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1966	1100	1600	2500	6706	3410	1200	1000	900	750	700	800	900
1967	1100	1600	4000	28292	10099	2000	1200	900	750	700	800	900
1968	1100	1600	2500	12295	1800	1200	1000	900	684	698	800	900
1969	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	425	380	560	900
1970	1100	1600	4584	4000	1800	1200	1000	900	698	496	800	900
1971	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	693	800	900
1972	1100	1600	3152	4000	1800	1200	1000	900	750	641	800	900
1973	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1974	1100	1865	8084	14089	12485	1200	1000	900	750	700	800	900
1975	1100	1986	5886	8000	4632	2000	1200	900	750	700	800	900
1976	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1977	1100	2242	5086	8000	5950	2000	1200	900	750	700	800	900
1978	2334	2747	12114	9262	4081	1200	1000	900	750	700	800	900
1979	1100	4875	11037	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1980	1100	2200	16741	8042	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1981	1100	2139	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1982	1100	9754	14833	8190	4073	1200	1000	900	750	700	800	900
1983	1100	1759	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1984	1100	1600	2500	5940	5654	1200	1000	900	750	700	800	900
1985	1100	9024	11341	9321	9719	2000	1200	900	750	700	800	900
1986	2961	5319	9035	7222	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1987	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1988	1100	1600	5821	7322	3318	1200	1000	900	750	700	800	900
1989	1100	1600	6647	8377	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1990	4531	1600	8717	4718	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1991	1100	2578	4000	9661	4647	2000	1200	900	750	700	800	900
1992	1100	1600	4135	5702	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1993	1100	1600	6075	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1994	1100	4681	9945	8995	2081	1200	1000	900	750	700	800	900
1995	1100	4224	6876	8000	7966	2000	1200	900	750	700	800	900
1996	1100	1600	2868	4643	3336	1200	1000	900	750	700	800	900
1997	1100	1751	4000	9268	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1998	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	710	700	800	900
1999	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2000	1100	2614	8477	8544	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
2001	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2002	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
2003	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2004	1100	1600	14740	14217	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
2005	1100	1600	7126	9355	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2006	1100	1600	6128	11612	11080	1200	1000	900	750	700	800	900
2007	1100	1600	7384	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900

Tanto as vazões no trecho de vazão reduzida como as contribuições do Rio Bacajá não são turbináveis na Casa de Força Principal, mas influenciam o nível de água no

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

Canal de Fuga. O MSUI permite a partir de sua versão 3.2 atribuir a um aproveitamento uma série de vazões incrementais médias mensais que influenciam o nível de água no Canal de Fuga. Estas vazões para o caso de UHE Belo Monte estão apresentadas na Tabela 4.75.

Tabela 4.75 - Série de Vazões Incrementais que influenciam o Canal de Fuga

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	1570	2692	5052	9986	5497	2781	1424	1013	824	807	969	1209
1932	1680	2358	3907	5075	2417	1476	1200	1019	844	795	922	1142
1933	1491	2533	5168	9357	5129	2468	1381	987	809	786	952	1144
1934	1488	2381	3681	6200	3147	1762	1187	998	823	783	909	1216
1935	1972	2620	5314	10251	5323	2899	1425	1016	830	725	905	1230
1936	1930	2928	3506	5280	2509	1508	1132	988	821	753	900	1192
1937	1406	2014	4741	9437	4825	2369	1406	1023	847	789	914	1128
1938	1696	2358	3324	6181	3304	1902	1185	1003	832	788	971	1076
1939	2116	2930	5530	9381	4784	2479	1454	1025	839	784	938	1255
1940	1784	2838	3876	5594	3525	2124	1251	1010	818	761	938	1097
1941	1546	2204	5082	9543	4886	2397	1347	988	820	810	941	1180
1942	1317	2203	3324	5025	2591	1638	1187	992	804	745	993	1191
1943	2002	3196	6971	8866	4737	2327	1381	1009	808	762	928	1146
1944	1442	2388	3522	5585	3118	1747	1192	992	813	794	966	1166
1945	1542	2626	4988	10503	5887	2984	1389	995	813	782	929	1136
1946	1388	2378	3874	4937	2619	1492	1305	1074	857	738	922	1072
1947	1673	2634	5211	10458	5627	2784	1378	985	811	820	938	1217
1948	1703	2771	4334	5560	2755	1599	1194	1001	825	764	884	1142
1949	2156	2981	5639	8892	4799	2331	1419	1021	838	770	926	1123
1950	1502	2525	3555	6053	3518	2038	1170	983	731	760	897	1130
1951	1620	2270	5011	8669	4588	2302	1436	1017	835	770	911	1138
1952	1450	2366	3261	6095	3289	1763	1205	1014	837	798	909	1062
1953	1576	2705	5064	10204	5661	2867	1404	1003	818	832	1008	1280
1954	1499	2306	3813	5264	2875	1677	1194	1017	813	701	895	1082
1955	1651	2633	5108	9784	5930	3034	1402	989	804	773	966	1136
1956	1619	2735	3627	5754	3047	1671	1291	1062	873	825	940	1106
1957	2184	2868	5633	10032	5194	2812	1391	998	818	625	890	1184
1958	1425	2277	3689	6843	3141	1777	1174	1008	835	773	906	1170
1959	1687	2541	5571	9564	5213	2550	1425	1013	829	657	882	1164
1960	1328	2211	3365	5590	3027	1880	1179	988	794	755	1019	1231
1961	1621	3050	5981	8791	4610	2338	1402	999	809	516	933	1102
1962	1442	2142	3444	5622	2659	1513	1142	1037	820	764	935	1192
1963	1693	2364	5154	8964	4847	2434	1388	993	818	750	879	1070
1964	2292	3108	4297	6459	3196	2054	1200	999	820	776	925	1222
1965	1535	2603	5129	9907	5126	2485	1393	1019	852	776	908	1171
1966	1334	2158	3199	5413	2975	1687	1214	1003	820	790	958	1153
1967	1546	2185	4673	10913	5654	3011	1376	987	812	756	891	1136
1968	1420	2090	3384	5806	2756	1548	1153	974	732	747	872	1182
1969	1598	2308	4984	9070	4845	2351	1330	964	455	407	599	982

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1970	1364	2244	3760	5025	2725	1519	1144	982	747	531	885	1023
1971	1277	2044	4671	8989	4789	2423	1388	992	803	742	986	1190
1972	1487	2434	3657	5185	2818	1609	1188	990	810	686	877	1027
1973	1404	2086	5001	9377	5211	2520	1457	1055	830	800	999	1294
1974	1623	2664	4012	5930	3619	2140	1311	1044	851	795	899	1184
1975	1616	2673	5354	9460	5263	2596	1469	1031	823	751	880	1097
1976	1548	2366	3578	5045	2587	1587	1173	984	806	769	956	1256
1977	1744	2691	5296	9215	5358	2704	1515	1038	832	805	1031	1240
1978	2198	2727	4293	5596	3024	1860	1293	1065	851	803	937	1175
1979	1707	2881	5719	9261	4786	2357	1369	1002	848	802	939	1134
1980	1678	2688	4614	5509	2536	1506	1159	999	825	778	910	1189
1981	1824	2684	4877	9183	4677	2284	1347	998	827	768	923	1271
1982	1806	3230	4482	5520	3023	1703	1236	1029	842	830	939	1091
1983	1538	2657	5163	9184	4528	2259	1343	995	825	783	964	1176
1984	1579	2269	3447	5358	3137	1726	1216	1011	841	796	979	1137
1985	1778	3180	5740	9600	5628	2666	1484	1049	843	794	987	1373
1986	2243	2913	4080	5450	2833	1667	1232	1029	850	850	1083	1201
1987	1594	2204	5199	9250	4742	2321	1358	995	822	782	902	1109
1988	1604	2330	3849	5457	2968	1712	1230	1015	828	781	950	1398
1989	2035	2588	5409	9533	4931	2612	1511	1060	857	799	1010	1584
1990	2356	2549	4058	5270	2556	1570	1193	1031	838	795	931	1100
1991	1632	2715	5189	9624	5264	2638	1458	1030	833	786	931	1148
1992	1573	2586	3728	5341	2618	1541	1165	1002	834	805	945	1275
1993	1746	2379	5368	9126	4772	2345	1366	999	842	794	927	1110
1994	1877	2867	4143	5578	2879	1704	1308	1048	852	795	906	1152
1995	1941	2834	5425	9474	5504	2853	1531	1058	846	784	906	1202
1996	1832	2465	3636	5264	2970	1669	1206	1014	831	779	938	1152
1997	1616	2656	5121	9596	5173	2429	1401	1012	832	783	890	1037
1998	1361	1997	3192	4689	2262	1402	1099	964	760	750	897	1156
1999	1582	2161	4938	8871	4791	2393	1356	977	805	763	896	1114
2000	1845	2718	4040	5545	2752	1580	1199	1017	832	807	986	1343
2001	1891	2536	5193	9295	4760	2449	1414	1005	823	770	911	1196
2002	1909	2469	3345	4916	2330	1506	1128	981	807	762	898	1039
2003	1179	1877	4916	9344	4735	2259	1365	1060	829	780	962	1263
2004	1659	2512	4475	5939	2830	1669	1231	1033	846	792	971	1159
2005	1574	2462	5443	9603	5014	2410	1389	999	821	777	898	1193
2006	1877	2526	3871	5759	3522	2026	1288	1043	832	787	986	1172
2007	1522	2529	5462	9210	4695	2341	1359	1001	817	761	874	1058
2008	1436	2404	3877	5689	2950	1680	1194	1005	825	778	887	1168

UHE BELO MONTE

Vazão de Uso Consuntivo

Para o estudo energético de UHE Belo Monte foi adotado o valor previsto para o horizonte 2019, igual a 6,5 m³/s, conforme constado na resolução da ANA nº 740, de 06 de Outubro de 2009.

Evaporação Líquida

Os valores de evaporação líquida (diferença de evaporação entre antes e depois do reservatório na região do futuro reservatório) estão apresentados na Tabela 4.76.

Tabela 4.76 - Evaporação Líquida Média Mensal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Evaporação Líquida (mm)	20	17	8	1	-8	-13	-20	-20	-4	18	41	34	74

Polinômios

Os polinômios Volume x Cota, Cota x Área e Vazão x Nível de Jusante no Canal de Fuga para a Casa de Força Principal e Casa de Força Complementar estão apresentados na Tabela 4.77.

Tabela 4.77 - Polinômios

Casa de Força Principal	A0	A1	A2	A3	A4
Volume x Cota	7,7375740E+01	9,3580760E-03	-2,0985530E-06	2,7902820E-10	-1,4706120E-14
Cota x Área	2,0366490E+05	-9,2695630E+03	1,5784300E+02	-1,1938410E+00	3,3936620E-03
Vazão x N.A.Jus	2,8393015E+00	1,1057759E-04	9,4944513E-09	-3,6083932E-13	3,8877723E-18
Casa de Força Complementar	A0	A1	A2	A3	A4
Volume x Cota	7,7375740E+01	9,3580760E-03	-2,0985530E-06	2,7902820E-10	-1,4706120E-14
Cota x Área	2,0366490E+05	-9,2695630E+03	1,5784300E+02	-1,1938410E+00	3,3936620E-03
Vazão x N.A.Jus	8,1895375E+01	7,3877792E-04	-4,6630541E-08	1,8012561E-12	-2,4865094E-17

Perda de Carga Hidráulica – Caso Base

Na nota técnica da EPE, foi adotado o valor médio de perdas de carga igual a 2,06 m, no entanto, no deck do MSUI disponibilizado no site da EPE, as perdas de carga médias foram arredondadas para 2,1 m.

As equações de perda de carga presentes no Estudo de Viabilidade são as seguintes:

Canal de Adução: $\Delta H = 5,175716 \times 10^{-9} \times Q_t^2$

Tomada de Água ao Tubo de Sucção: $\Delta H = 2,079633 \times 10^{-6} \times Q_{un}^2$

Canal de Fuga: $\Delta H = 3,759238 \times 10^{-9} \times Q_t^2$

UHE BELO MONTE

Onde:

ΔH = perda de carga, em m;

Q_t = vazão total turbinada no circuito de geração, em m³/s;

Q_{un} = vazão turbinada em uma unidade, em m³/s.

Estas equações de perdas correspondem ao circuito de geração do Estudo de Viabilidade de 2009, com arranjo da Casa de Força principal com 20 unidades. Entretanto, para encontrar a perda de carga média ponderada adotada pela EPE, 2,06 m, tornou-se necessário fixar as perdas de carga em cada trecho e a partir destes valores gerar novas equações para o circuito hidráulico com 18 unidades, conforme apresentado a seguir na Tabela 4.78. Esta consideração indica que a EPE adotou um circuito de geração de 18 unidades com perdas de carga equivalentes ao dos Estudos de Viabilidade com 20 máquinas.

Tabela 4.78 - Equações de Perda de Carga – Caso Base

Trecho	Estudos de Viabilidade 2009 20 unidades geradoras			Caso Base 18 unidades geradoras		
	Vazão (m ³ /s)	Equação de Perdas	Perdas de Carga (m)	Vazão (m ³ /s)	Equação de Perdas	Perdas de Carga (m)
Canal de Adução:	13.900	$5,175716 \times 10^{-9}$	1,00	13.950	$5,138680 \times 10^{-9}$	1,00
Tomada de Água ao Tubo de Sucção:	695	$2,079633 \times 10^{-6}$	1,00	775	$1,66493 \times 10^{-6}$	1,00
Canal de Fuga:	13.900	$3,759238 \times 10^{-9}$	0,73	13.950	$3,75123 \times 10^{-9}$	0,73

Perda de Carga Hidráulica – Projeto Básico

Para o Projeto Básico, a perda de carga média foi calculada em função das perdas ponderadas com a vazão turbinada. Para isso foram utilizadas as seguintes equações de perda de carga, que resultam em uma perda máxima de 3,58 m para a vazão nominal de 775 m³/s por turbina e 13.950 m³/s de vazão total turbinada no circuito de geração:

Canal de Adução: $\Delta H = 1,14438 \times 10^{-8} \times Q_t^2$

Tomada de Água ao Tubo de Sucção: $\Delta H = 1,86472 \times 10^{-6} \times Q_{un}^2$

Canal de Fuga: $\Delta H = 1,18190 \times 10^{-9} \times Q_t^2$

Onde:

ΔH = perda de carga, em m;

Q_t = vazão total turbinada no circuito de geração, em m³/s;

Q_{un} = vazão turbinada em uma unidade, em m³/s.

Para a avaliação das perdas de carga no trecho compreendido pela Tomada de Água e Tubo de Sucção sempre se considerou a vazão nominal de uma unidade para a determinação das perdas de carga.

UHE BELO MONTE

Perda de Carga Hidráulica – Casa de Força Complementar

Para a Casa de Força Complementar, as perdas de carga se mantiveram inalteradas em relação ao estudo da EPE, iguais a 0,15 m.

Rendimento Médio do Conjunto Turbina-Gerador

Os rendimentos médios ponderados adotados para Casa de Força Principal durante as simulações energéticas foram os seguintes:

- Caso Base – Dados da Nota Técnica EPE: 91,8%
- Projeto Básico: 92,5%

A explicação para adoção de tal rendimento está contemplada no item 4.6.3.

Para a Casa de Força Complementar, foi adotado o rendimento médio de 89,4%, idêntica a utilizada pela EPE, igual para ambas as etapas.

Disponibilidades

Para a Casa de Força Principal considerou-se, nas simulações energéticas, as taxas de indisponibilidade programada e forçada típicas constantes na Nota Técnica da EPE, com taxa de indisponibilidade forçada igual a 2,917% e indisponibilidade programada de 0%, conforme utilizado nos estudos anteriores.

Para a Casa de Força Principal, no deck do MSUI utilizado no cálculo da Garantia Física de Belo Monte e disponibilizado no site da EPE o valor utilizado de indisponibilidade forçada está arredondado para 2,9%, ao invés do 2,917% apresentado na nota técnica. No deck do MSUI, o valor de 2,9% está inserido manualmente no campo índices mensais de indisponibilidade programada.

Dessa forma, a adoção do valor não arredondado, 2,917%, influenciou no histórico de vazões turbinadas e conseqüentemente no histórico de vazões vertidas de UHE Belo Monte, como será detalhado no item 4.6.5 – Simulações Realizadas..

Para a Casa de Força Complementar, foram adotados os valores já constantes no deck do MSUI e nota técnica da EPE, com taxa de indisponibilidade forçada igual a 1,672% e indisponibilidade programada de 5,403%.

4.6.5 Simulações Realizadas

Casa de Força Principal

As simulações energéticas foram realizadas pelo Modelo de Simulação de Usinas Individualizadas – MSUI, da Eletrobrás, em sua versão 3.2. Tomou-se como base o Deck do MSUI utilizado para o cálculo da Garantia Física de UHE Belo Monte e disponibilizado no site da EPE.

Para o Projeto Básico, foi utilizado um rendimento médio do conjunto turbina-gerador igual a 92,5% e taxa de indisponibilidade forçada de 2,917%.

Para simular a operação da usina no período de 1931 a 2008 torna-se necessário que todas as usinas simuladas no MSUI contenham dados de vazão para esse período. Como a UHE Belo Monte não possui qualquer regularização de outros aproveitamentos, o seu comportamento como usina a fio d'água será o mesmo

UHE BELO MONTE

considerando ou não o restante do SIN. Dessa forma, para considerar toda a informação hidrológica disponível no Projeto Básico, série de vazões de 1931 a 2008, foi realizada uma simulação no MSUI, versão 3.2, considerando uma configuração apenas com a UHE Belo Monte Principal e Complementar.

A partir das equações de perdas de carga apresentadas, a perda média ponderada resultou no valor de 2,62 m. A queda líquida de referência resultou em 89,6 m, equivalente a 95% de permanência de quedas líquidas durante a ponta.

Os resultados encontrados para os dois casos, nota técnica da EPE e Projeto Básico estão apresentados na Tabela 4.79 a seguir.

Tabela 4.79 - Resultados das Simulações Energéticas – Casa de Força Principal

Características CF principal	NT EPE	Projeto Básico
Rendimento médio do conjunto turbina-gerador	91,8%	92,5%
Queda Líquida de Referência (m)	87,6	86,9
Vazão Nominal (m³/s)	775	775
Perda de Carga Média no Circuito Hidráulico (m)	2,10	2,62
Energia Firme (MWmédios)	4.226,26	4.231,61

Casa de Força Complementar

A adoção da taxa de indisponibilidade forçada em 2,917%, valor não arredondado, implica diretamente na alteração das vazões turbinadas da simulação da Casa de Força Principal e conseqüentemente nas vazões vertidas na simulação da usina. Como a série de vazões da Casa de Força Complementar é elaborada a partir dos vertimentos simulados da Casa de Força Principal, torna-se necessário realimentar o modelo do MSUI com uma nova série de vazões afim de considerar a indisponibilidade com todas as casas decimais.

A série histórica de vertimentos obtida na simulação da Casa de Força Principal está apresentada na Tabela 4.80.

A série de vazões artificiais da Casa de Força Complementar foi elaborada a partir dos resultados da Tabela 4.80, acrescida dos desvios realizados para o atendimento do hidrograma ecológico no trecho de vazão reduzida. Esta série de vazões está apresentada na Tabela 4.81.

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

**Tabela 4.80 – Série Histórica de Vertimentos de UHE Belo Monte
(TEIF Casa de Força Principal = 2,917%)**

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	0	684	0	6884	3899	0	0	0	0	0	0	0
1932	0	0	4146	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1933	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1934	0	0	1012	13968	4018	0	0	0	0	0	0	0
1935	0	0	1353	10707	1478	0	0	0	0	0	0	0
1936	0	3948	0	882	0	0	0	0	0	0	0	0
1937	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1938	0	0	0	13689	6192	0	0	0	0	0	0	0
1939	116	3982	4361	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1940	0	2698	3713	5249	9306	0	0	0	0	0	0	0
1941	0	0	0	541	0	0	0	0	0	0	0	0
1942	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943	0	7675	25110	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1944	0	0	0	5121	3616	0	0	0	0	0	0	0
1945	0	0	0	14345	9446	0	0	0	0	0	0	0
1946	0	0	3693	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947	0	0	0	13693	5714	0	0	0	0	0	0	0
1948	0	1771	10188	4778	0	0	0	0	0	0	0	0
1949	683	4686	5866	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1950	0	0	0	11841	9216	0	0	0	0	0	0	0
1951	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1952	0	0	0	12447	5991	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	866	0	10026	6186	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	2846	658	251	0	0	0	0	0	0	0
1955	0	0	0	3963	10075	0	0	0	0	0	0	0
1956	0	1274	265	7526	2629	0	0	0	0	0	0	0
1957	1068	3115	5788	7545	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0	0	1122	23250	3935	0	0	0	0	0	0	0
1959	0	0	4927	828	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	5185	2349	0	0	0	0	0	0	0
1961	0	5639	10806	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0	0	0	5643	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	2569	6448	9645	17709	4698	0	0	0	0	0	0	0
1965	0	0	0	5731	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0	0	0	2731	1635	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	0	0	20276	6082	0	0	0	0	0	0	0
1968	0	0	0	8278	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1970	0	0	2109	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0	0	677	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	291	5609	10072	10668	0	0	0	0	0	0	0
1975	0	412	1911	0	657	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	668	1111	0	1975	0	0	0	0	0	0	0
1978	1259	1172	9597	5276	2306	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	3300	7020	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	625	14224	4067	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	564	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	8149	12316	4215	2299	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	1965	3879	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	7447	7324	1332	5716	0	0	0	0	0	0	0
1986	1886	3744	6557	3247	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	0	0	3346	3347	1544	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	2672	402	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	3456	0	6242	743	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	1004	0	1660	672	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	1661	1727	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	2100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	3107	7433	5020	307	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	2649	2900	0	3990	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	394	668	1561	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	177	0	1282	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	1040	6001	4569	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	12223	10200	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	3151	1365	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	3653	7595	9263	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	3409	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	3725	6583	1291	0	0	0	0	0	0	0

UHE BELO MONTE

Tabela 4.81 – Série de Vazões Médias Mensais Artificiais Casa de Força Complementar (TEIF Casa de Força Principal – 2,917%)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1931	1100	2284	4000	14884	7899	2000	1200	900	750	700	800	900
1932	1100	1600	6646	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1933	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1934	1100	1600	3512	17968	5818	1200	1000	900	750	700	800	900
1935	1100	1600	5353	18707	5478	2000	1200	900	750	678	800	900
1936	1100	5548	2500	4882	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1937	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1938	1100	1600	2500	17689	7992	1200	1000	900	750	700	800	900
1939	1216	5582	8361	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1940	1100	4298	6213	9249	11106	1200	1000	900	750	700	800	900
1941	1100	1600	4000	8541	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1942	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	696	800	900
1943	1100	9275	29110	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1944	1100	1600	2500	9121	5416	1200	1000	900	750	700	800	900
1945	1100	1600	4000	22345	13446	2000	1200	900	750	700	800	900
1946	1100	1600	6193	4000	1800	1200	1000	900	750	690	800	900
1947	1100	1600	4000	21693	9714	2000	1200	900	750	700	800	900
1948	1100	3371	12688	8778	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1949	1783	6286	9866	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1950	1100	1600	2500	15841	11016	1200	1000	900	683	700	800	900
1951	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1952	1100	1600	2500	16447	7791	1200	1000	900	750	700	800	900
1953	1100	2466	4000	18026	10186	2000	1200	900	750	700	800	900
1954	1100	1600	5346	4658	2051	1200	1000	900	750	655	800	900
1955	1100	1600	4000	11963	14075	2000	1200	900	750	700	800	900
1956	1100	2874	2765	11526	4429	1200	1000	900	750	700	800	900
1957	2168	4715	9788	15545	4000	2000	1200	900	750	584	800	900
1958	1100	1600	3622	27250	5735	1200	1000	900	750	700	800	900
1959	1100	1600	8927	8828	4000	2000	1200	900	750	614	800	900
1960	1100	1600	2500	9185	4149	1200	1000	900	742	700	800	900
1961	1100	7239	14806	8000	4000	2000	1200	900	750	482	800	900
1962	1100	1600	2500	9643	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1963	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1964	3669	8048	12145	21709	6498	1200	1000	900	750	700	800	900
1965	1100	1600	4000	13731	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1966	1100	1600	2500	6731	3435	1200	1000	900	750	700	800	900
1967	1100	1600	4000	28276	10082	2000	1200	900	750	700	800	900
1968	1100	1600	2500	12278	1800	1200	1000	900	684	698	800	900
1969	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	425	380	560	900

NORTE ENERGIA - NESA

Luiz Fernando Rufato
CREA-MG 16.918/D
Diretor de Construção

UHE BELO MONTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1970	1100	1600	4609	4000	1800	1200	1000	900	698	496	800	900
1971	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	693	800	900
1972	1100	1600	3177	4000	1800	1200	1000	900	750	641	800	900
1973	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1974	1100	1891	8109	14072	12468	1200	1000	900	750	700	800	900
1975	1100	2012	5911	8000	4657	2000	1200	900	750	700	800	900
1976	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1977	1100	2268	5111	8000	5975	2000	1200	900	750	700	800	900
1978	2359	2772	12097	9276	4106	1200	1000	900	750	700	800	900
1979	1100	4900	11020	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1980	1100	2225	16724	8067	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1981	1100	2164	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1982	1100	9749	14816	8215	4099	1200	1000	900	750	700	800	900
1983	1100	1785	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1984	1100	1600	2500	5965	5679	1200	1000	900	750	700	800	900
1985	1100	9047	11324	9332	9716	2000	1200	900	750	700	800	900
1986	2986	5344	9057	7247	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1987	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1988	1100	1600	5846	7347	3344	1200	1000	900	750	700	800	900
1989	1100	1600	6672	8402	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1990	4556	1600	8742	4743	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1991	1100	2604	4000	9660	4672	2000	1200	900	750	700	800	900
1992	1100	1600	4161	5727	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
1993	1100	1600	6100	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1994	1100	4707	9933	9020	2107	1200	1000	900	750	700	800	900
1995	1100	4249	6900	8000	7990	2000	1200	900	750	700	800	900
1996	1100	1600	2894	4668	3361	1200	1000	900	750	700	800	900
1997	1100	1777	4000	9282	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
1998	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	710	700	800	900
1999	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2000	1100	2640	8501	8569	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
2001	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2002	1100	1600	2500	4000	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
2003	1100	1600	4000	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2004	1100	1600	14723	14200	1800	1200	1000	900	750	700	800	900
2005	1100	1600	7151	9365	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2006	1100	1600	6153	11595	11063	1200	1000	900	750	700	800	900
2007	1100	1600	7409	8000	4000	2000	1200	900	750	700	800	900
2008	1100	1600	6225	10583	3091	1200	1000	900	750	700	800	900

UHE BELO MONTE

A Tabela 4.82 apresenta os resultados da nota técnica da EPE e os obtidos para o Projeto Básico.

Tabela 4.82 - Resultados da Simulações Energéticas – Casa de Força Complementar

Características CF Complementar	NT EPE	Projeto Básico
Rendimento médio do conjunto turbina-gerador	89,4%	89,4%
Queda Líquida de Referência (m)	10,8	10,8
Vazão Nominal (m³/s)	411	411
Perda de Carga Média no Circuito Hidráulico (m)	0,2	0,15
Energia Firme (MWmédios)	145,52	146,87

4.6.6 Análise dos Resultados e Conclusões

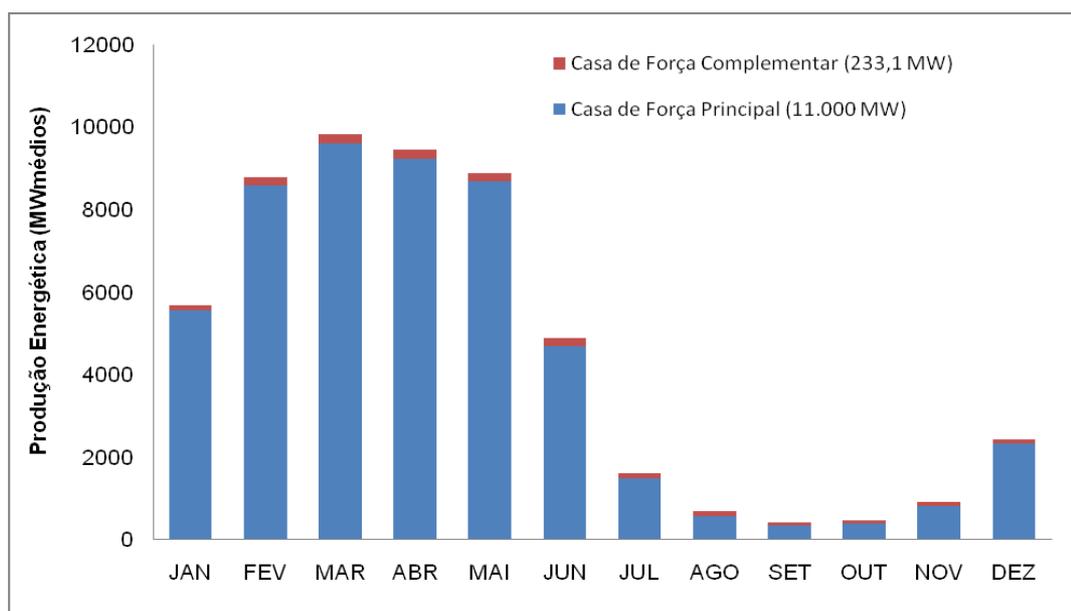
O valor de Energia Firme encontrada para o Projeto Básico 4.231,61 MWmédios, é levemente superior ao encontrado no caso base e pequeno em relação a Energia Firme total do empreendimento, 5,38 MWmédios, equivalente a 0,1% de diferença, o que, em termos práticos, permite considerar que a Energia Firme foi reproduzida.

A Energia Firme total, Casa de Força Principal + Complementar, resultou em 4.378,48 MWmédios, 6,70 MWmédios acima da configuração anterior calculada pela EPE, de 4.371,78 MWmédios.

Dessa forma pode-se concluir com segurança que as modificações sugeridas são conservadoras e equivalentes com a Energia Firme divulgada na nota técnica da EPE.

A Figura 4.46 e Tabela 4.83 apresentam a produção energética média mensal encontrada para a Casa de Força Principal e Complementar de UHE Belo Monte.

Figura 4.46 - Produção Energética Média Mensal



UHE BELO MONTE

Tabela 4.83 - Produção Energética Média mensal

Aproveitamento	Produção Energética Média Mensal (MWmédios)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Casa de Força Principal	5555	8588	9600	9233	8668	4695	1481	558	277	346	872	2383
Casa de Força Complementar	143	203	213	206	216	183	137	112	93	86	100	112
Total	5698	8791	9813	9439	8883	4878	1618	670	371	432	972	2495

As Tabelas 4.84 e 4.85 apresentam, respectivamente, um resumo das características físico-operativas da Casa de Força Principal e Complementar de UHE Belo Monte para o Projeto Básico.

Tabela 4.84 - Característica Físico-Operativas da Casa de Força Principal da UHE Belo Monte

Potência Instalada (MW)	11.000 MW
Número de Unidades	18
Tipo de Turbina	Francis
Rendimento do Conjunto Turbina-Gerador (%)	92,5%
Perda de Carga Média no Circuito Hidráulico	2,62
Perda de Carga Máxima no Circuito Hidráulico	3,58
Vazão Sanitária ou Ambiental (m³/s)	Tabela 4.72
Taxa de Indisponibilidade Forçada (%)	2,917
Taxa de Indisponibilidade Programada (%)	0
NA Máximo Normal (m)	97
Área Máxima Normal (km²)	516
Volume Máximo Normal (hm³)	4802,3
Deplecionamento (m)	0
Queda Líquida de Referência (m)	86,9
Vazão de Referência (m³/s)	775
Queda de Projeto (m)	88,40
Queda Máxima (m)	94,12
Energia Média (MWmédios)	4.354,64
Energia Firme Local (MW médios)	4.231,61

UHE BELO MONTE

Tabela 4.85 - Características Físico-Operativas da Casa de Força Complementar da UHE Belo Monte

Potência Instalada (MW)	233,1 MW
Número de Unidades	6
Tipo de Turbina	Bulbo
Rendimento do Conjunto Turbina-Gerador (%)	89,4
Perda de Carga Média no Circuito Hidráulico	0,15
Perda de Carga Máxima no Circuito Hidráulico	-
Vazão Sanitária ou Ambiental (m³/s)	-
Taxa de Indisponibilidade Forçada (%)	1,672
Taxa de Indisponibilidade Programada (%)	5,403
NA Máximo Normal (m)	97
Área Máxima Normal (km²)	516
Volume Máximo Normal (hm³)	4802,3
Deplecionamento (m)	0
Queda Líquida de Referência (m)	10,8
Vazão de Referência (m³/s)	411
Queda de Projeto (m)	13,27
Queda Máxima (m)	14,95
Energia Média (MW médios)	150,27
Energia Firme Local (MW médios)	146,87

UHE BELO MONTE

4.7. SOCIOAMBIENTAIS

4.7.1 Processo de Licenciamento Ambiental

O processo de licenciamento do AHE Belo Monte desenvolveu-se ao longo de aproximadamente quatro anos, iniciando-se em março de 2006, seguindo os procedimentos legais exigíveis e empreendendo os contatos locais e com diversos órgãos envolvidos, que resultaram na Licença Prévia nº 342, obtida em fevereiro de 2010, contendo 40 Condições Específicas a serem cumpridas nas próximas etapas de solicitação de Licença de Instalação.

O histórico dos eventos principais é descrito a seguir:

- Em 20/03/2006 foi aberto o processo de licenciamento do AHE Belo Monte junto ao Ibama.
- Em 14/08/2007 o Ibama convida entidades para participar nas Reuniões Públicas em Altamira-PA e Vitória do Xingu-PA, nos dias 28 e 29/08/2007, respectivamente, com o objetivo de ouvir a comunidade local para definição do conteúdo a ser tratado no Estudo Ambiental.
- Em 11/09/2007 o Ibama convida entidades para oficinas temáticas, com o intuito de reunir subsídios para a elaboração do Termo de Referência do EIA/RIMA. As oficinas foram realizadas em 18, 19 e 27/09/2007, e 02, 03, 04 e 05/10/2007.
- Em 05/12/2007 o Ibama encaminha à Eletrobrás o Termo de Referência (TR) para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).
- Em 12/12/2007, a Secretaria de Vigilância em Saúde apresenta subsídios para o Estudo de Avaliação do Potencial Malarígeno, integrante do Termo de Referência.
- Em 01/02/2008 a FUNAI encaminha subsídios para os Estudos Sócio ambientais do Componente Indígena, referente às Terras Indígenas Paquicamba, Arara da Volta Grande do Xingu e Juruna do km 17, integrantes do Grupo 1.
- Em 20/05/2008 a Funai encaminha as adaptações pertinentes às Terras Indígenas Kararaô, Arawate do Igarape Ipixuna, Koatinemo, Cachoeira Seca, Arara e Apyterewa, do Grupo 2 e posteriormente, em 26/12/2008, inclui a Terra Indígena Trincheira Bacajá no Grupo 2.
- Em 22/12/2008 a Eletrobrás envia ao Ibama a primeira versão do EIA.
- Em 08/01/2009 a Eletrobrás envia ao Ibama a versão final do TR, aprovado pela Funai, para a população indígena urbana da cidade de Altamira e famílias indígenas moradoras da região da Volta Grande do rio Xingu.
- Em 16/03/2009 a Eletrobras protocola o EIA/RIMA no IBAMA para análise e emissão de licença prévia.
- Em 19/05/2009 o Ibama informa as prefeituras de Senador Jose Porfírio, Vitória do Xingu, Altamira, Anapu e Brasil Novo que o EIA/RIMA será protocolado na prefeitura pela Eletrobrás, bem como que será considerada na análise do Ibama as manifestações técnicas exaradas pelas prefeituras.

NORTE ENERGIA - NESA

UHE BELO MONTE

- Em 19/05/2009 o Ibama informa ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, que o EIA/RIMA será protocolado pela Eletrobrás, bem como que será considerada na análise do Ibama as manifestações técnicas exaradas pelo Instituto.
- Em 19/05/2009 o Ibama informa ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, que o EIA/RIMA será protocolado pela Eletrobrás, bem como solicita posicionamento do Instituto no que se refere ao Patrimônio Histórico, Cultural e Arqueológico apresentado no EIA.
- Em 19/05/2009 o Ibama informa à Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Para – SEMA-PA, que o EIA/RIMA será protocolado pela Eletrobrás, bem como que será considerada na análise do Ibama as manifestações técnicas exaradas pelo Secretaria.
- Em 19/05/2009 o Ibama informa à Fundação Nacional do Índio, que o EIA/RIMA será protocolado pela Eletrobrás, bem como que será considerada na análise do Ibama as manifestações técnicas exaradas pela Fundação.
- Em 20/05/2009 a Eletrobrás encaminha copia do EIA/RIMA às localidades indicadas no Ofício nº 528/2009, alem dos municípios de Gurupa, Medicilândia, Pacajá, Placas, Porto de Móz e Uruara, todos no Estado do Para.
- Em 25/05/2009 o Ibama publica edital informando os locais onde o EIA/RIMA encontram-se disponíveis, abrindo prazo de 45 dias para o requerimento de realização de Audiência Publica.
- Em 10/09/2009 o IBAMA realiza Audiência Pública em Brasil Novo.
- Em 12/09/2009 o IBAMA realiza Audiência Pública em Vitória do Xingu.
- Em 13/09/2009 o IBAMA realiza Audiência Pública em Altamira.
- Em 15/09/2009 o IBAMA realiza Audiência Pública em Belém.
- Em 26/08/2009 o Ibama informa que promoverá Audiências Publicas nos municípios de Brasil Novo, Vitória do Xingu, Altamira e Belém, no Estado do Pará, nas datas de 10, 12, 13 e 15/09/2009, respectivamente, realizadas nessas datas.
- Em 28/09/2009 o Ibama solicita às Secretarias Municipais de Meio Ambiente de Altamira, Vitória do Xingu e Brasil Novo, o posicionamento a respeito do EIA/RIMA protocolado no município em 22/05/2009 pela Eletrobrás.
- Em 05/10/2009 a Eletrobrás encaminha ao Ibama 15 DVDs dos registros das consultas as comunidades indígenas.
- Em 14/10/2009 a Funai encaminha ao Ibama, o parecer de 30/09/2009, referente à análise do componente indígena do Estudo de Impacto ambiental do AHE Belo Monte.
- Em 05/11/2009 a Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Para faz algumas recomendações para a análise técnica do EIA/RIMA.
- Em 06/11/2009 a ANEEL encaminha ao Ibama Nota Técnica que analisa os Estudos de Viabilidade do AHE Belo Monte, concluindo que estão aptos à aprovação.

UHE BELO MONTE

- Em 10/11/2009 a ANA encaminha ao Ibama uma cópia de Nota Técnica que trata da Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica do AHE Belo Monte.
- Em 11/11/2009 a Secretaria de Vigilância em Saúde encaminha ao Ibama o Parecer Técnico e o Laudo de Avaliação do Potencial Malarígeno do AHE Belo Monte.

Da reunião de todos os estudos elaborados, da consulta aos vários órgãos e o cumprimento dos trâmites previstos pela legislação, o Ibama concluiu pela viabilidade ambiental do empreendimento, expedindo a Licença Prévia – LP nº 342/2010 em 01/02/2010.

A condicionante 2.6 da Licença Prévia solicita que o PBA deve conter todo o detalhamento dos planos, programas e projetos socioambientais previstos no EIA e suas complementações, considerando as recomendações do IBAMA exaradas por meio dos pareceres n. 105/2009, n.106/2009, n. 114/2009 e n. 06/2010 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA. Além desses Planos, Programas e Projetos previstos no EIA a Licença Prévia colocou 40 Condições Específicas a serem cumpridas pelo empreendedor na fase seguinte de Licença de Instalação.

Duas dessas Condicionantes (2.9 e 2.10) se referem as ações antecipatórias previstas que exigem (i) o início da construção e reforma de equipamentos de saúde e educação nos sítios construtivos e nas sedes municipais de Altamira e Vitória do Xingu; (ii) o início das obras de saneamento básico em Vitória do Xingu e Altamira e (iii) a implantação de saneamento básico em Belo Monte e Belo Monte do Pontal. Toda essa infra-estrutura necessária que antecede as obras deve ser implementada anteriormente ao licenciamento. Mais especificamente, a condicionante 2.10 diz da apresentação de documento que contenha a estratégia para garantir a implementação das ações antecipatórias, sendo que tal relatório foi encaminhado ao IBAMA no início do mês de agosto de 2010.

Conforme documento de estratégias para o licenciamento ambiental, protocolado no IBAMA em julho/2010, foi informada a necessidade de solicitação de uma Licença de Instalação das Instalações Iniciais (canteiro, acampamento, linha de transmissão, travessões de acesso) e em seguida a Licença de Instalação da Obra. Esta necessidade de obtenção de duas Licenças de Instalação em sequência se deve aos fatores sazonais da região e ao cronograma de construção aprovado pela ANEEL.

Assim, na etapa atual de solicitação de Licença de Instalação para as instalações iniciais do empreendimento – canteiros, alojamentos, acessos viários, linha de transmissão de energia e porto - foram elaborados, de modo a subsidiar a solicitação dessa Licença, conforme resolução CONAMA 237/97:

- Programas ambientais relacionados aos meios físico e biótico, conforme indicações do EIA;
- Programas Ambientais socioeconômicos, conforme delineados no EIA, que se constituem no Projeto Básico Ambiental das Instalações Iniciais, e,
- Ações Antecipatórias, estruturadas em Programas, que respondem às Condições Específicas.

Esses Programas estruturados como PBA das Instalações Iniciais e como Ações Antecipatórias, bem como os demais Programas que compõem o PBA e as ações

UHE BELO MONTE

antecipação estão sinteticamente descritos no Anexo 2 – Estudos Ambientais, do presente Relatório. Neste Anexo são também apresentados o diagnóstico e os impactos identificados no EIA para o AHE Belo Monte.

4.7.2 Levantamentos Executados

Foram realizados diversos contatos com lideranças, órgãos governamentais, associações locais, em várias localidades da área de influência com o objetivo de informar sobre a nova etapa do projeto e coletar diversos dados para a elaboração do PBA e das Ações Antecipatórias. Foram realizados também pesquisas e levantamentos para precisar a natureza e dimensão das propostas a implantar. Assim desencadeou-se na região:

- a) Nos dias 13 e 14 de julho de 2010 ocorreram dois grandes eventos de continuidade da implantação do Programa de Interação e Comunicação Social envolvendo a população local (com cerca de 600 participantes), informando os próximos passos do empreendimento, rumo à elaboração do Projeto Básico Ambiental;
- b) Na área de Saúde Pública, visitas e reuniões com secretarias municipais de saúde nas prefeituras dos municípios de Altamira, Vitória do Xingu, Anapú, Senador José Porfírio, Brasil Novo, como também com a 10ª Coordenação Regional de Saúde da Secretaria de Estado da Saúde do Pará em Altamira, em julho de 2010;
- c) Na área Educacional, foram realizadas visitas e levantamentos de campo em escolas na área urbana e rural de Altamira, na área urbana e rural de Vitória do Xingu, incluindo Belo Monte, e nas Ilhas de Ressaca, Fazenda e Garimpo do Galo. Também foram realizadas reuniões com as Secretarias de Educação de Vitória do Xingu e Altamira e recebida documentação dessas Secretarias;
- d) Entre os dias 21 e 24 de julho de 2010 foram feitas reuniões, contatos e levantamentos em campo, com vistas à imediata implantação dos Cursos de Capacitação, priorizando-se a identificação de possíveis parceiros e identificando locais físicos para possível instalação de cursos. Contatou-se o SENAI, ACIAPA – Associação Comercial Industrial Agropastoril de Altamira, SEBRAE – Altamira, SENAR/SINDICORTE, SINE - Sistema Nacional de Empregos, além de visitar-se imóveis residenciais que podem eventualmente ser locados pelo empreendedor e adaptados para cursos de capacitação a serem realizados diretamente e ainda eventuais espaços disponíveis na UEPA-Universidade do Estado do Pará, UFPA-Universidade Federal do Pará, UFPA-Universidade Federal do Pará, Centro de Formação LA SALLE, Sindicatos, Cooperativas, entre outros.
- e) Foram também realizadas visita em campo para levantamento das condições de Saneamento Básico em Altamira e Vitória do Xingu do dia 19/07/10 ao dia 22/07/10, assim como foram coletadas informações nas Prefeituras Municipais de Vitória do Xingu e Altamira.
- f) Nos dias 13 e 14 de julho de 2010 foram feitas visitas ao INCRA e EMATER (Altamira e Belém) objetivando levantamento de condições para a execução da regularização fundiária na região e também para a prestação de assistência técnica, no caso de reassentamentos rurais e reorganização de atividades produtivas do setor primário. Em ambas as instituições foram protocolados ofícios, solicitando a participação de tais órgãos.