

PROJETO BÁSICO AMBIENTAL – UHE SÃO MANOEL

Programa de Monitoramento da Sismicidade

CONTROLE DE REVISÃO		
CÓDIGO	REVISÃO	DATA
P00.SM-004/14	00	30/01/2014
P00.SM-004/14	01	30/04/2014
P00.SM-004/14	02	08/10/2014

PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA SISMICIDADE

SUMÁRIO

4.	PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA SISMICIDADE.....	1
4.1	Justificativa	1
4.1.1	Aspectos Tectônicos da Região de Estudo	1
4.1.2	Aspectos Sismológicos da Região de Estudo	3
4.1.3	Sismos Induzidos por Reservatórios Hidrelétricos no Brasil.....	5
4.1.4	Análise das Características Sismológicas da Região para Implantação do Programa de Monitoramento de Sismicidade.....	7
4.2	Objetivos.....	9
4.3	Metas	9
4.4	Base Legal e Normativa.....	9
4.5	Área de Abrangência do Programa	10
4.6	Metodologia	10
4.6.1	Características da Rede Sismográfica da UHE São Manoel	10
4.6.2	Atividades a serem Desenvolvidas.....	12
4.6.2.1	Caracterização da Sismicidade da Área.....	12
4.6.2.2	Aquisição e Instalação da Rede Sismográfica.....	12
4.6.2.3	Monitoramento da Sismicidade – Acompanhamento e Interpretação dos Resultados.....	14
4.7	Indicadores	15
4.8	Produtos	15
4.9	Interface com outros Planos e Programas.....	15
4.10	Parcerias Recomendadas	16
4.11	Equipe Técnica Envolvida	16
4.12	Referências Bibliográficas.....	16
4.13	Cronograma Físico.....	17

4. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA SISMICIDADE

4.1 Justificativa

O Programa de Monitoramento da Sismicidade foi elaborado com base no Estudo de Impacto Ambiental – EIA da UHE São Manoel (EPE/LEME-CONCREMAT, 2010) e nos Pareceres Técnicos PAR. 004510/2013 – COHID/IBAMA, de 02 de maio de 2013 e PAR. 007109/2013 – COHID/IBAMA, de 05 de novembro de 2013, que apresentam a análise técnica do EIA-RIMA e complementações advindas da análise do referido parecer e documentos entregues nas Audiências Públicas, com a finalidade de concluir sobre a viabilidade ambiental da UHE São Manoel.

O presente Programa atende à condicionante 2.1 da Licença Prévia N° 473/2013, de 29 de novembro de 2013 e incorpora as recomendações técnicas presentes no Parecer 2478/2014 COHID/IBAMA, conforme mencionado na Licença de Instalação N° 1017/2014, item 2.2.

4.1.1 Aspectos Tectônicos da Região de Estudo

A bacia do rio Teles Pires abrange três grandes domínios estruturais, do ponto de vista tectônico: *i)* o Craton Amazônico, com faixas móveis paleo a neo-proterozóicas e *coberturas proterozóicas*; *ii)* a Província Tocantins, representada pela Faixa Paraguai; e *iii)* as coberturas fanerozóicas relacionadas às bacias Alto Tapajós, Parecis e Paraná, além de sedimentos cenozoicos.

A porção centro-norte da bacia, onde será implantada a UHE São Manoel, é representativa de um ambiente geotectônico do Arco Magmático Juruena (Souza *et al.*, 2005), cuja evolução envolve processos de subducção e consumo de placa oceânica, colisão de blocos continentais e geração de crosta, como se mostra na **Figura 4 - 1**. Ou seja, no passado geológico muito remoto (no início do Proterozóico, ~1.800 Ma), essa região esteve afetada por processos tectônicos comparados com os que atualmente ocorrem na região Andina.

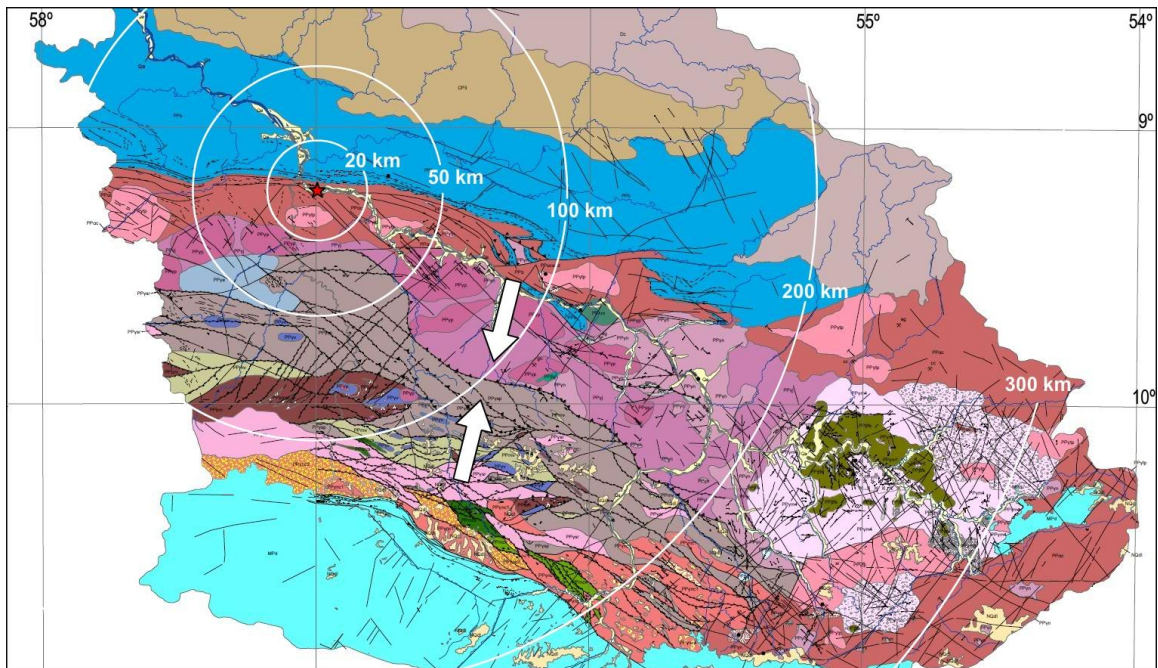


Figura 4 - 1 – Mapa da porção centro-norte da bacia do rio Teles Pires.

Fonte: Modificado do EIA-RIMA – UHE São Manoel

As principais feições estruturais importantes para o presente Programa são os domínios do Arco Magmático Juruena, na porção norte da bacia do rio Teles Pires, parte da região de interesse da UHE São Manoel, caracterizadas por megacisalhamentos transcorrentes dúcteis NW-SE, rúpteis-dúcteis e rúpteis sinistrais e cisalhamentos transcorrentes dextrais. Essas feições são testemunhas de uma importante fase de tectonismo ativo na era geológica remota, provavelmente com as bacias proterozóicas representadas pelos Grupos Beneficente e Caibis, que foram desenvolvidas por meio de reativação tectônica de feições estruturais antigas, geradas em domínios de rúptil-dúctil a rúptil, com direção EW e NNW-ESE. Na **Figura 4 - 2** pode-se observar alguns lineamentos estruturais de orientação NW-SE a quase W-E, alguns dos quais deverão ser inundados pelo enchimento do Reservatório São Manoel. As circunferências azuis estão marcando distâncias de 5 e 10 km a partir da barragem.

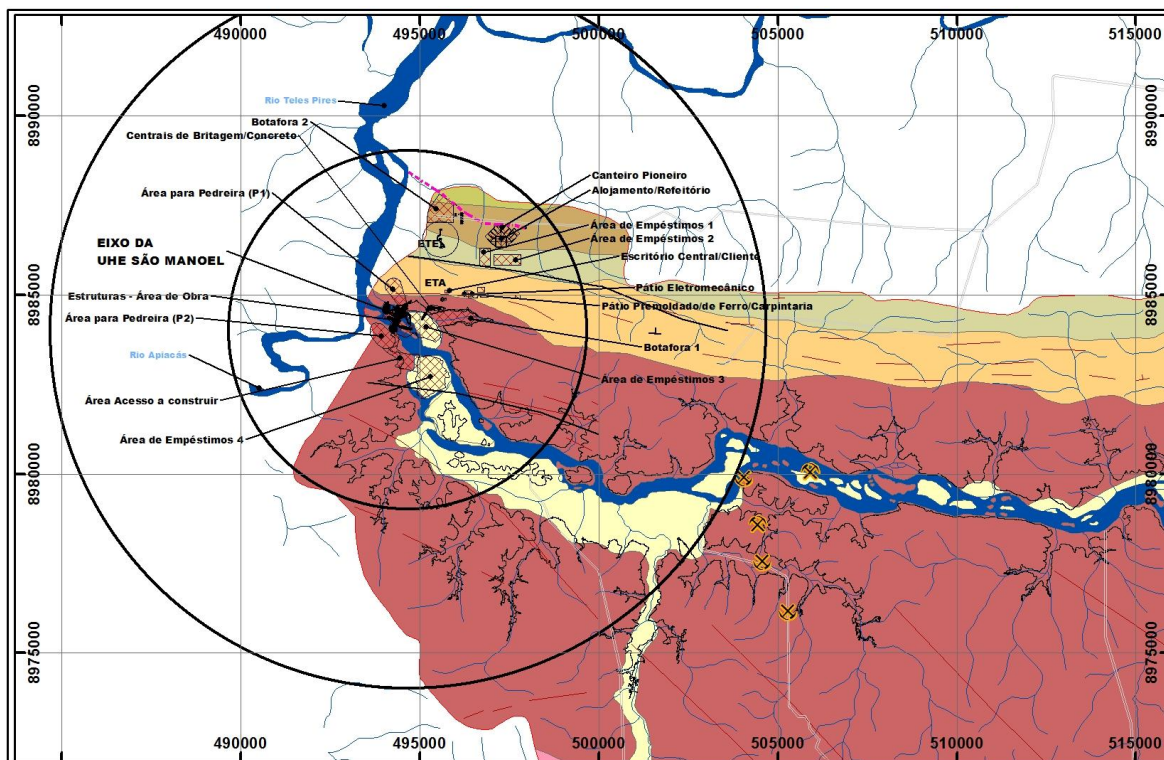


Figura 4 - 2 – Mapa tectônico da porção mais profunda do futuro Reservatório São Manoel.

Fonte: Modificado do EIA-RIMA – UHE São Manoel

Essas discontinuidades são marcadas por um sistema de falhas transcorrentes com movimento preferencial sinistral. A Faixa Paraguai, representada na porção sul da área em estudo pelos Grupos Cuiabá e Alto Paraguai, é uma bacia do tipo Ante-País, ocorrendo na forma de um arco com a concavidade voltada para SE e direção NE-SW no seu ramo norte e NS no seu ramo sul. A idade mesozoica na bacia do rio Teles Pires é marcada, na metade sul desta bacia, pela reativação de estruturas antigas e geração de novas estruturas, distribuídas na forma de fraturas e/ou falhas com direção predominante NW-SE e NNE-SSW. Estas discontinuidades são geralmente preenchidas por diques de diabásio de idade jurássica.

4.1.2 Aspectos Sismológicos da Região de Estudo

Os sismos tectônicos de origem natural ocorrem pela liberação de energia elástica que é acumulada constantemente pelo movimento das placas tectônicas, que deformam os maciços rochosos, até atingir o nível máximo de resistência desse maciço provocando a liberação instantânea de energia, na forma de vibrações sísmicas. Dependendo da quantidade de energia acumulada e liberada, podemos ter sismos de diferentes magnitudes; esse acúmulo de energia é muito maior, e mais frequente, nas regiões de interação de placas, como na região Andina ou na cadeia meso-atlântica.

Nas regiões intraplaca, como a ocupada pelo território brasileiro, os sismos tectônicos naturais são de pequena a média magnitude e não são muito frequentes.

A atividade sísmica conhecida na região de influência da UHE São Manoel se concentra nas proximidades da fonte sísmogênica de Porto dos Gaúchos, MT (Barros, 2010), localizada a cerca de 250 km ao sul da futura UHE São Manoel. Nessa fonte ocorreram dois sismos importantes, um com magnitude m_b 5,2 em março de 1998 e outro de magnitude m_b 5,0 em março de 2005, os dois eventos foram acompanhados por alguns eventos premonitores e muitas réplicas, a grande maioria com magnitude menor que m_b 4,0.

Pode-se observar na **Figura 4 - 3**, o mapa de epicentros de sismos ocorridos na região de influência (320 km, circunferência em azul) da futura AHE São Manoel, indicada pela estrela azul, no intervalo 1746 – 2010. A cor dos símbolos indica a época em que ocorreram esses sismos (em verde são os mais antigos, azuis os mais recentes e vermelhos os intermediários) e seu tamanho é proporcional à magnitude m_b entre 2,0 e 6,2. Conforme se observa na **Figura 4 - 3**, são sismos de pequena a média magnitude e pouco frequentes.

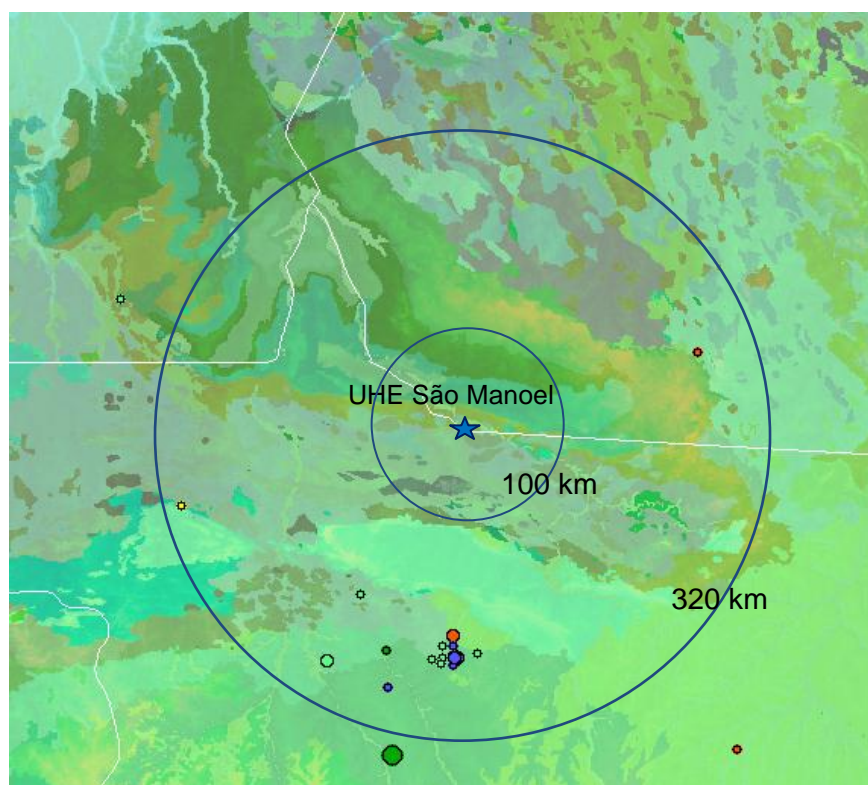


Figura 4 - 3 – Mapa de epicentros de sismos ocorridos na região de influência (320 km, circunferência em azul).

Fonte: IAG/USP (2013).

Outro sismo importante que teve seu epicentro não muito fora da região de influência da UHE São Manoel, é o sismo de magnitude m_b 6,2 localizado a pouco menos que 350 km dessa usina, quase que com a mesma direção da fonte de Porto dos Gaúchos, em um local conhecido como Serra do Tombador. Este sismo é o de maior magnitude ocorrido até o presente no território brasileiro.

Com base no mapa da **Figura 4 - 3** pode-se concluir que o nível de atividade sísmica na região de influência da UHE São Manoel, em um raio de 320 km, é muito baixo, não tendo sido detectado até o momento, nenhum sismo em um raio de 100 km da referida usina. Entretanto, fica evidenciado que o nível real de atividade sísmica dessa região ainda é desconhecido, principalmente na região próxima a futura UHE São Manoel, requerendo a implantação de um monitoramento sismográfico em um período anterior ao enchimento do futuro reservatório do empreendimento (2 anos) que possa dar subsídios mais consistentes para o seu pleno entendimento.

4.1.3 Sismos Induzidos por Reservatórios Hidrelétricos no Brasil

A liberação instantânea de energia, que ocorre naturalmente nos sismos tectônicos, pode ser induzida de forma prematura pela ação do homem, principalmente pela implantação de reservatórios artificiais ou pela perfuração de poços profundos.

A sismicidade induzida por reservatórios (SIR) ocorre, em certos casos, onde existem porções do substrato rochoso na área ocupada pelo reservatório, que foram deformadas por processos tectônicos anteriores, ou que estão sendo deformados pelo movimento atual das placas tectônicas, porém que ainda não tinham atingido o nível de deformação para ultrapassar a resistência da porção deformada e provocar um sismo natural.

Quando o reservatório é formado, porções do terreno que antes eram relativamente secas são invadidas pela água, parte dela é percolada através dos poros das rochas que se encontram sob o reservatório, ocorrendo um aumento da pressão intersticial pelo peso adicional da água represada, até atingir a rocha deformada o qual diminui sua resistência e provoca a liberação da energia nela acumulada na forma de sismos induzidos, o que não ocorreria naturalmente nesse momento. Conseqüentemente, a condição essencial para ocorrerem sismos induzidos por um reservatório é que exista no seu substrato rochoso porções deformadas que contenham energia elástica para ser liberada. Essa deformação pode ter sido provocada por episódios geológicos antigos, na forma de uma concentração fóssil de energia, que não foi liberada durante os processos tectônicos que a formaram.

A Sismicidade Induzida por Reservatórios (SIR), já foi observada em várias usinas hidrelétricas do Brasil e do exterior, caracterizando impactos negativos diretamente relacionados. Para o Território Nacional são confirmados 17 eventos de SIR, a maioria na região sudeste. São eles: Açú (RN), Balbina (AM), Capivara (PR/SP), Capivari - Cachoeira (PR), Carmo do Cajuru (MG), Emborcação (MG/GO), Furnas (MG), Jaguari (SP), Marimondo (MG/SP), Miranda (MG), Nova Ponte (MG), Paraibuna-Paratinga (SP), Porto Colômbia e Volta Grande (MG/SP), Serra da Mesa (GO), Sobradinho (BA), Tucuruí (PA) e Xingó (SE/AL). Esses eventos sísmicos tiveram, em geral, baixa a média intensidade e magnitude, e ocorreram com maior frequência logo após o enchimento do reservatório, embora também tenham ocorrido com tempo de retardo em relação àquele do enchimento.

As maiores magnitudes de sismos induzidos registradas no Brasil foram de 4,2 m_b e 4,0 m_b , ocorridas, respectivamente, em Porto Colômbia e Volta Grande (em 24/02/74) e em

Nova Ponte (em 22/05/1988), sendo suas intensidades estimadas entre VI e VII na escala Mercalli Modificada. Conforme disposto em Teixeira *et. al.* (2000), os efeitos descritos para um sismo de intensidade VI são os seguintes: sismo sentido por todos; muitos se assustam e saem às ruas; janelas, louças quebradas; reboco fraco e construção de má qualidade racham. Os referidos autores relacionam os seguintes efeitos para um sismo de intensidade VII: difícil manter-se em pé; objetos suspensos vibram; algumas trincas em construções normais; escorregamentos de barrancos arenosos. Todos os outros eventos de sismicidade induzida registrados no país apresentaram magnitudes inferiores a 4,0 m_b e intensidades iguais ou inferiores a VI.

Os reservatórios com sismos induzidos apresentam volumes variáveis entre aproximadamente $0,04 \times 10^9$ e $54 \times 10^9 m^3$ e suas barragens mostram alturas variáveis entre 23 e 158 m. A maioria dos eventos se manifestou em até 3 anos após o enchimento do lago, com ciclos repetitivos ao longo do tempo. A exceção é Carmo do Cajuru e Açú, onde os maiores eventos foram registrados apenas após 18 e 9 anos do enchimento, respectivamente. Os sismos induzidos não provocaram danos materiais consideráveis, mas apresentaram efeitos macrossísmicos, sendo sentidos pela população.

No mapa da **Figura 4 - 4** se apresenta o mapa de sismicidade do Brasil juntamente com os casos de Sismicidade Induzida por Reservatórios, atualizado até 2010. Em cor vermelha, estão representados os epicentros dos sismos induzidos por reservatório hidrelétricos. Observa-se que a maior concentração de SIR se encontra na região Sudeste, e que dos três reservatórios existentes na região Amazônica, dois apresentaram sismos induzidos. A estrela azul mostra a localização da UHE São Manoel, e o retângulo em volta é a região de influência dessa futura usina. Na realidade, o número de casos de SIR no Brasil é muito pequeno, considerando o número elevado de reservatórios e açudes existentes no território brasileiro.

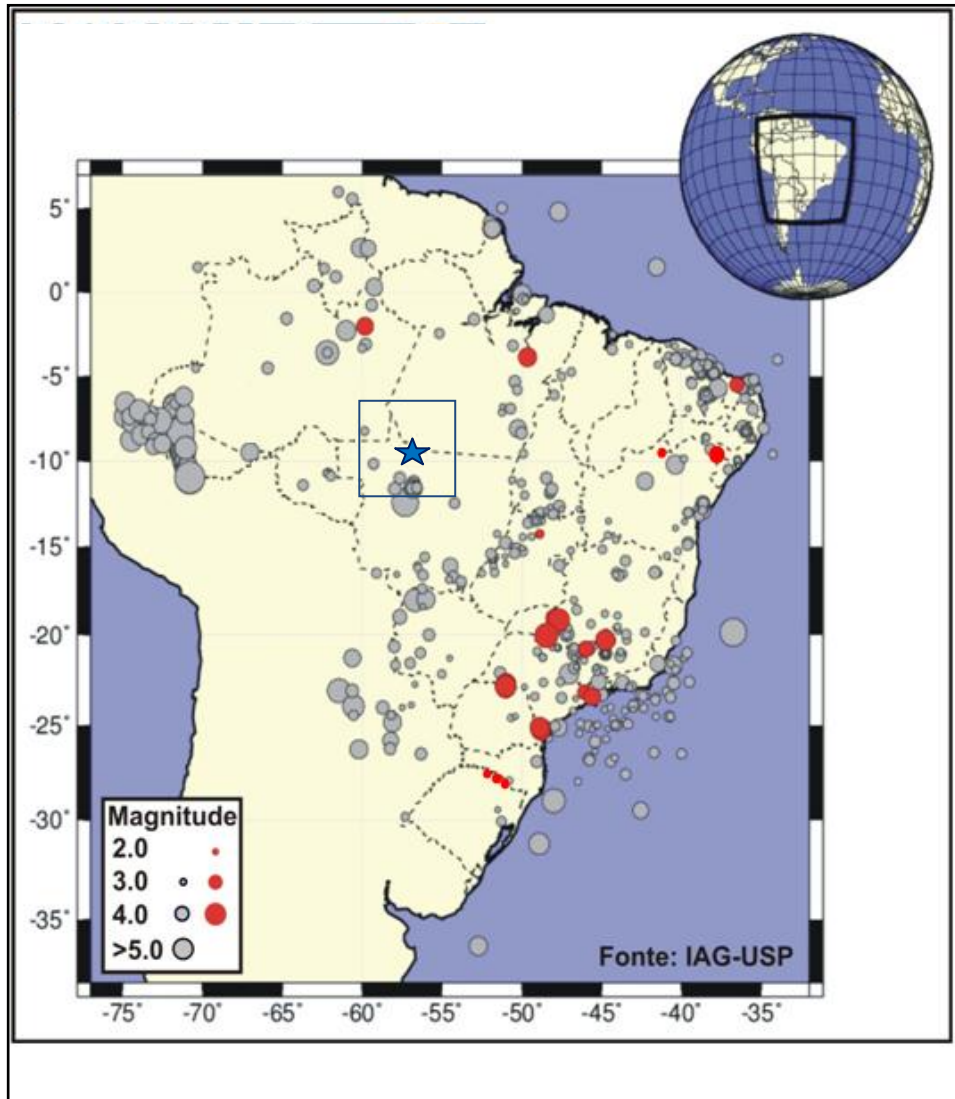


Figura 4 - 4 – Mapa de sismicidade do Brasil atualizado até 2010.

4.1.4 Análise das Características Sismológicas da Região para Implantação do Programa de Monitoramento de Sismicidade

Do ponto de vista geológico a porção centro-norte da bacia Teles Pires, onde será implantada a UHE São Manoel, sofreu no início do Proterozóico, processos de subducção e consumo de placa oceânica, colisão de blocos continentais e geração de crosta. Atualmente, as principais feições estruturais importantes para o presente Programa são os domínios do Arco Magmático Juruena, que são caracterizados por mega-cisalhamentos transcorrentes dúcteis NW-SE, rúpteis-dúcteis e rúpteis sinistrais e cisalhamentos transcorrentes dextrais. Ou seja, a região que será ocupada pelo reservatório da UHE São Manoel, teve um passado tectônico muito ativo, que pode ter deixado porções com deformações fósseis acumuladas e falhas importantes, que podem ser ativas ou reativadas.

Da análise da sismicidade foi constatado que o nível de atividade sísmica na região de influência sísmica da UHE São Manoel, em um raio de 320 km, é muito baixo. O nível real de atividade sísmica dessa região ainda é desconhecido, principalmente da porção próxima da futura UHE São Manoel, sendo que ainda não foi detectado, até o presente, nenhum sismo em um raio de 100 km dessa futura usina.

O conhecimento do nível de sismicidade local na área do futuro reservatório e áreas próximas, no intervalo prévio ao seu enchimento, é essencial para saber se essa área está sendo afetada por processos tectônicos de pequena envergadura, que podem estar provocando sismos naturais de pequena magnitude ($m_b < 2,0$) não detectados pelas estações sismográficas mais próximas, no caso são as estações de Porto dos Gaúchos, a 250 km de distância. Além da baixa densidade populacional da região, estes sismos não seriam sentidos pelos moradores residentes, por serem eventos muito fracos.

Em face desta situação, é necessária a implantação de um monitoramento de sismicidade com pelo menos 2 (dois) anos antes do enchimento do futuro reservatório da UHE São Manoel. Para esta finalidade, deverá ser implantada uma estação sismográfica que opere com um sensor triaxial de banda larga, de registro digital e de alta sensibilidade (da ordem de 2.000 V/m/s) que possam detectar sismos de magnitude $m_b \sim 1,0$ a distâncias de até 50 km e de magnitude $m_b \sim 2,0$ até distâncias de 200 km. Além disso, deve-se estabelecer a utilização de dados provenientes de outras estações sismográficas já existentes relativamente próximas à região em foco. No caso específico do empreendimento da UHE São Manoel, em função da sua proximidade com a UHE Teles Pires, recomenda-se que seja estabelecido um intercâmbio de dados e resultados com a rede sismográfica implantada para esta usina, cujas estações estão localizadas a 40 e 50 km da barragem Teles Pires e a 70 km da barragem da São Manoel. Este intercâmbio de dados irá permitir, além da melhora na precisão na qualidade das determinações locais (para sismos com $m_b > 1.0$) e regionais detectados na região de influência da UHE São Manoel, a determinação da profundidade focal desses sismos.

Esse conhecimento do nível de atividade sísmica local antes do enchimento nos permitirá avaliar, se na área de interesse existem condições de ocorrer atividade sísmica induzida pela formação do reservatório da UHE São Manoel. Vale destacar, que caso haja constatação da inexistência de atividade sísmica local no intervalo prévio antes do enchimento do reservatório, o registro de sismos após o enchimento implicará na certeza que os mesmos são induzidos pela formação do referido reservatório do empreendimento.

Independentemente dos resultados da auscultação da atividade sísmica local no reservatório, a instalação da estação sismográfica de São Manoel, juntamente com as estações da UHE Teles Pires e de outras estações operadas pela Universidade de Brasília, ou pela Universidade de São Paulo nessa região, permitirão melhorar o conhecimento do nível de atividade sísmica da porção Sul da Região Amazônica do Brasil.

4.2 Objetivos

O principal objetivo do Programa de Monitoramento da Sismicidade da UHE São Manoel é a avaliação da atividade sísmica natural na área de influência do reservatório, durante o período anterior ao enchimento, para comparação com o nível de atividade sísmica obtida durante e após o enchimento do mesmo. Essa comparação terá a finalidade de avaliar a eventual existência de impactos no nível de sismicidade natural induzida devido ao enchimento do reservatório.

O monitoramento tem ainda, por objetivo associado, registrar os sismos gerados nas detonações que serão executadas na escavação da base da barragem e diferenciá-los dos sismos naturais que eventualmente ocorram antes da formação do reservatório.

Contudo, ressalta-se que não é objetivo do Programa o monitoramento de vibrações e ultra lançamentos ocasionados nas detonações, estando essa atividade vinculada ao Programa Ambiental para Construção (PAC).

4.3 Metas

Mencionam-se as seguintes metas a serem alcançadas pelo Programa:

- Adquirir e instalar a estação sismográfica da rede de monitoramento no período de, no mínimo, 2 anos antes do enchimento do reservatório;
- Corrigir as falhas da estação sismográfica em até 5 dias.

4.4 Base Legal e Normativa

Inexistem na legislação ou mesmo nas instituições normativas nacionais, referências legais e normativas acerca do monitoramento da sismicidade de reservatórios que estabeleçam recomendações ou considerações específicas.

No entanto, cumpre-nos destacar a NBR 15421:2006 - Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento, que fixa os requisitos exigíveis para verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil relativamente às ações de sismos e os critérios de quantificação destas ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas. Essa NBR, por sua vez, complementa a ABNT NBR 6118:2007 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, aprovada pela norma internacional ISO 19338:2007.

No âmbito internacional, a ICOLD - International Commission on Large Dams da UNESCO (<http://www.icold-cigb.net/>) apresenta uma série de artigos técnicos e científicos a respeito do tema. A ICOLD é uma instituição cujo objetivo é promover fóruns de

discussão e intercâmbio de conhecimentos e experiências na área de Engenharia de Barragens, e que possui instituições-membros em grande parte dos países, incluindo no Brasil o CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens.

Outro importante órgão de referência internacional é o ICODS - Interagency Committee on Dam Safety, que preparou e aprovou as diretrizes federais para a segurança de barragens (Federal Guidelines for Dam Safety), entre as quais se destaca a diretriz referente às análises de terremotos e projeto de barragens (Earthquake Analyses and Design of Dams), publicada pela FEMA (Federal Emergency Management Agency) em maio de 2005.

4.5 Área de Abrangência do Programa

O Programa de Monitoramento da Sismicidade abrange uma região circular com cerca de 200 milhas (320 km) de raio, a partir do local previsto para a barragem da UHE São Manoel (**Figura 4 - 2**), que é denominada região de influência sísmica da UHE São Manoel. Portanto, esta região abrange as principais áreas dessa futura Usina Hidrelétrica: Área Diretamente Afetada (ADA), Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AI).

4.6 Metodologia

4.6.1 Características da Rede Sismográfica da UHE São Manoel

Com o avanço tecnológico, os novos equipamentos sismográficos apresentam características que permitem com um único sismógrafo efetuar as determinações epicentrais, que antigamente era conseguido com uma rede de seis sismógrafos de período curto, operando na componente vertical. São os novos sismógrafos triaxiais de banda larga, com resposta plana entre 30 s e 50 Hz e uma altíssima sensibilidade (normalmente da ordem de 2.000 V/m/s) nesse intervalo de frequências, o que permite obter uma boa estimativa do epicentro de sismos locais (até 50 km de distância) de magnitude $m_b \geq 1,0$ e sismos próximos com $m_b \geq 2,0$, até 200 km de distância epicentral.

A Rede Sismográfica de São Manoel será composta por uma estação sismográfica a ser instalada em uma das margens do futuro reservatório. A localização desta estação sismográfica deverá ser definida e consolidada a partir de uma análise integrada com o Programa de Monitoramento da Sismicidade que foi implantado para UHE Teles Pires, em função da proximidade de ambos os empreendimentos, porém deverá ser dada maior importância à proximidade desse local com a porção mais profunda do reservatório São Manoel. Esta definição também deve levar em consideração, a determinação de um local isolado e sem ruídos, com características geológicas adequadas e de fácil acesso para sua instalação. Deve-se destacar que a instalação dessa estação obedece a uma dada conformação espacial e requisitos de sensibilidade na detecção de microeventos.

A estação sismográfica de São Manoel deverá estar localizada dentro da Área de Influência Direta (AID). No mapa da **Figura 4 - 5** é ilustrado uma indicação de possíveis posicionamentos dessa estação, cuja localização definitiva deverá ser escolhida com base em levantamentos de campo que indicarão os locais mais adequados para implantação.

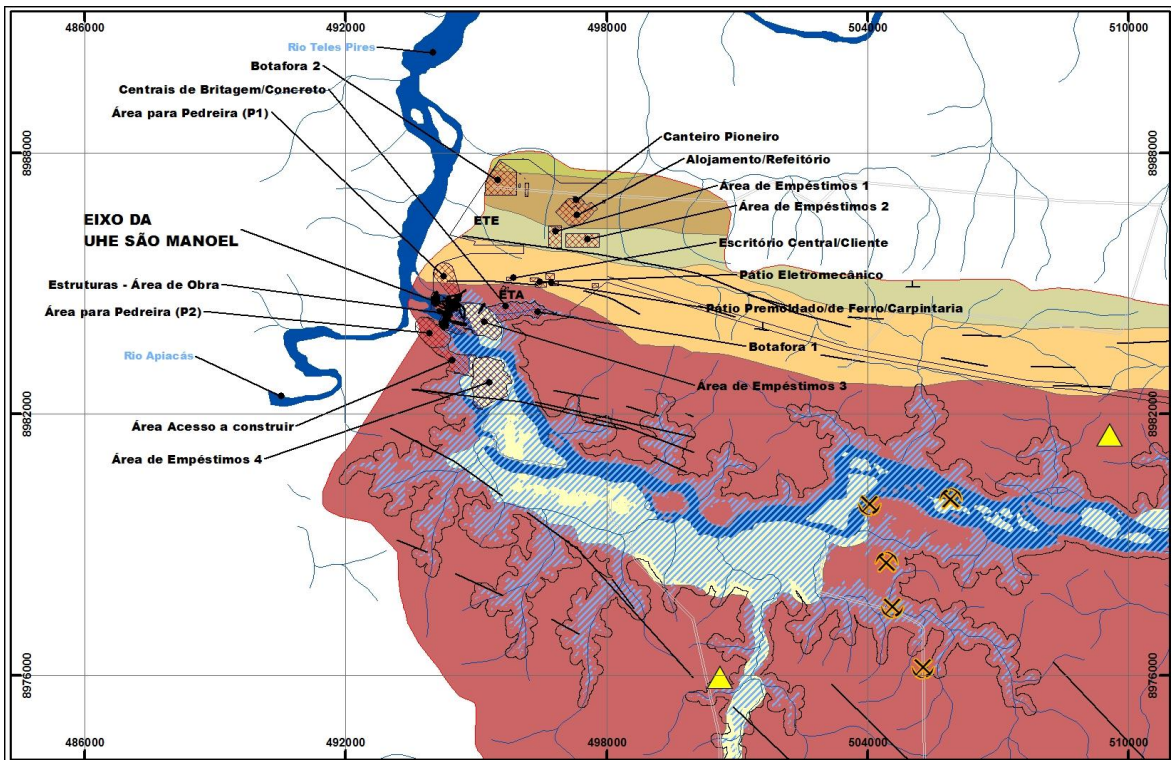


Figura 4 - 5 – Mapa com prováveis locais para instalação da estação sismográfica na UHE São Manoel.

Fonte: Modificado do EIA-RIMA – UHE São Manoel.

Os equipamentos (e acessórios) recomendados que devam compor a estação proposta para a Rede Sismográfica de São Manoel são listados a seguir:

- Um sensor triaxial de banda larga, modelo 150-30 fabricado pela REF TEK, com banda de frequência entre 0,033 Hz e 50 Hz, sensibilidade de 2.000 V/m/s;
- Um registrador/processador de sinais de três canais, modelo 130S-1 fabricado pela REF TEK, com conversor análogo/digital de 24 bits, hardware e software modular, comunicação IP e Ethernet e Série Assíncrona, relógio interno controlado por GPS com precisão de 10 ms e placa para controle do sensor;
- Um receptor GPS para controle do relógio interno do registrador;
- Um Controlador iPod para comunicação (e configuração) com o registrador;
- Dois cartões de memória flash, para armazenar os dados obtidos pela estação, cada um com capacidade de 8 Gb de memória;

- Uma antena para comunicação via satélite e respectivo modem;
- Painéis solares para suprir a necessidade energética de todos os equipamentos da estação e alimentar as baterias;
- Baterias para armazenar a carga utilizada pela estação, absorvida pelos painéis solares;
- Cabos e outros acessórios.

O sismômetro, sensor ou sismo-receptor a ser utilizado é do tipo triaxial, isto é, possui 3 sensores integrados e dispostos da seguinte maneira: dois posicionados horizontal e perpendicularmente entre si, e um verticalmente posicionado.

Estes equipamentos especificados podem ser revistos com base em análises complementares definidas em estudos específicos de detalhamento, porém, necessariamente, condicionados a garantir o monitoramento indicado pelo programa.

4.6.2 Atividades a serem Desenvolvidas

4.6.2.1 Caracterização da Sismicidade da Área

A caracterização da sismicidade da área deverá estabelecer a complementação do levantamento de dados já efetuados e apresentados no Diagnóstico Ambiental do EIA/RIMA da UHE São Manoel (Volume 2 – Capítulo V) e a sua interpretação em um raio de aproximadamente 320 km a partir do ponto central (eixo de barramento da usina).

Adicionalmente, deverão constar a identificação e registro de todos os eventos sísmicos naturais e induzidos que ocorram dentro da área de estudo com datas, coordenadas, localidade, magnitude, intensidade, área afetada e distância do ponto de interesse; localização e caracterização de estações sismográficas de interesse para a área e correlação com estruturas geológicas da área.

4.6.2.2 Aquisição e Instalação da Rede Sismográfica

Seleção e aquisição de uma estação sismográfica apropriada para o empreendimento que atenda aos requisitos dos equipamentos descritos acima.

Execução de levantamentos de campo para seleção, através da medida instrumental de ruído sísmico, do local onde deverá ser construída a cabine que abrigará a estação. Ressaltando que se deve levar em consideração para a determinação deste local, a localização da rede sismográfica da UHE Teles Pires, porém deverá ser dada maior importância à proximidade desse local com a porção mais profunda do reservatório São Manoel.

Logo após a definição do local para instalação da estação sismográfica será realizada a construção do seu abrigo.

O abrigo da estação sismográfica será composto de dois ambientes, a sala do sismômetro (sensor) e a sala do registrador. A sala do sensor deverá ser hermeticamente fechada com sua porta que garanta esta necessidade, e com paredes duplas preenchidas com lã de vidro, para evitar mudanças bruscas de pressão e de temperatura. Essas mudanças desestabilizam o sensor, principalmente suas componentes horizontais, de modo que, deverá ser evitada a entrada de pessoas nesta sala do sensor uma vez que seja instalado, a não ser dos técnicos especializados e contratados para o programa. No ponto central desta sala deverá ser construído um pilar de concreto, sem armação de ferro, fixado na rocha, para instalar o sensor.

A sala do registrador deverá ter uma prateleira e uma janela de ferro com vidro grosso além de respiros e entradas de tubulação para os cabos dos painéis solares, do receptor GPS, e dos cabos do sistema de transmissão de dados por satélite. Não será necessária a alimentação de força elétrica de corrente alternada, porque toda a alimentação será feita através de baterias. Os painéis solares deverão ser instalados no teto do abrigo e se necessário em suportes externos apropriados. Com relação ao tema de alimentação com painéis solares e baterias, é importante a aquisição do número e quantidade certos destes elementos, depois que seja feito um cálculo de autonomia de consumo com base na quantidade de força mínima e o nível de insolação no local dos abrigos além do número máximo de dias sem insolação, para calcular a quantidade e tipo de painéis solares e de baterias estacionárias, para que a estação não deixe de funcionar por falta de força elétrica.

Ressalta-se que possíveis modificações e adequações na construção dos abrigos podem ser apresentadas, futuramente, pela empresa que ficará responsável pela execução do programa de monitoramento da sismicidade, desde que as mesmas garantam o pleno funcionamento e a segurança das estações sismográficas.

Ademais, conforme solicitado no Parecer 2478/2014 COHID/IBAMA, páginas 45 e 119, será elaborado um plano de ação preventiva/corretiva pela equipe responsável pelo Programa de Monitoramento da Sismicidade de modo a garantir o funcionamento contínuo das estações sismográficas.

Como ações preventivas, serão adotadas as seguintes prerrogativas: inspeções nos locais de instalação das estações para checagem das condições estruturais dos abrigos a cada dois meses; limpeza no painel solar a cada três meses, para garantir que o mesmo tenha condições de recarregar as baterias; troca anual das baterias da estação sismográfica (mesmo que estejam boas); limpeza da estação e retirada dos dados da memória física da estação; corte do mato no entorno da estação sismográfica.

Como medida corretiva será (sempre que se julgar necessário, através do controle remoto de operação da estação, que será feito todo dia útil, através do contato permanente entre a estação sismográfica e o Laboratório de Sismologia da empresa responsável pelo Programa de Monitoramento da Sismicidade) enviada uma equipe a

campo para a devida correção dos erros encontrados que comprometam a plena operação da estação sismográfica, alguns dos quais poderão ser corrigidos remotamente desde o Laboratório de Sismologia mencionado acima, através do contato direto via satélite.

4.6.2.3 Monitoramento da Sismicidade – Acompanhamento e Interpretação dos Resultados

A região do futuro reservatório da UHE São Manoel e suas vizinhanças são caracterizadas por um tectonismo muito ativo no passado geológico, sendo que o seu nível de atividade sísmica natural atual é praticamente desconhecido. Em função desta situação, o período da avaliação do nível da atividade sísmica da região deverá compreender no mínimo um intervalo de 2 (dois) anos antes do enchimento do reservatório para poder ser comparado com o nível de atividade sísmica observada durante o enchimento e por toda vida útil do empreendimento (Parecer 2478/2014, ps. 45 e 119). O monitoramento da sismicidade da futura UHE São Manoel será realizado, utilizando dados provenientes de uma estação sismográfica instalada próxima à sua barragem, que deverá interagir com as informações e dados em forma de onda provenientes de, pelo menos, uma estação sismográfica já existente e situada em outras áreas próximas, como por exemplo: a rede sismográfica da UHE Teles Pires.

Esta atividade se caracteriza pela recepção via satélite, catalogação e análise dos dados da estação sismográfica da UHE São Manoel. Os sismógrafos modernos, com registro no formato digital, permitem determinar de forma automática os epicentros desses sismos, utilizando os dados digitais das suas 3 componentes e a distância epicentral, que é estimada com os tempos de chegada das ondas P e S.

A atividade sísmica deverá ser monitorada continuamente com geração e leitura de sismogramas, podendo este monitoramento ser dividido em 3 etapas distintas, a saber:

- 1) Etapa antes do enchimento – esta etapa deverá ser implantada e iniciada com pelo menos 2 (dois) anos antes do enchimento do reservatório, para que se possa permitir a caracterização adequada, e de forma confiável, do nível natural atual de atividade sísmica da região em questão.
- 2) Etapa durante o enchimento – atenção especial deve ser dada em todo o período de enchimento e formação do reservatório, sendo que os dados gerados devem ser acompanhados em tempo real para a determinação ágil de eventuais sismos induzidos, considerando que esses dados serão transmitidos via satélite.
- 3) Etapa após o enchimento – esta etapa deverá perdurar por toda a vida útil do empreendimento (Parecer 2478/2014, ps. 45 e 119). Após as primeiras análises, e caso seja frequente o registro de sismos induzidos na região, será verificada a necessidade de instalação adicional de eventuais estações sismográficas para a correta localização dos eventos.

4.7 Indicadores

Os indicadores de desempenho que serão devidamente mensuráveis ao longo de todo o desenvolvimento do monitoramento da sismicidade da região do empreendimento de São Manoel são:

- Número de dias de operação da estação sismográfica por trimestre;
- Número de dias de registro de dados em relação ao total de dias de monitoramento;
- Número de manutenções corretivas emergenciais;
- Prazo para correção das falhas da estação sismográfica.

4.8 Produtos

A caracterização das atividades implementadas, assim como a análise e interpretação dos dados e resultados obtidos ao longo do Programa de Monitoramento da Sismicidade serão apresentados para avaliação do IBAMA na forma de relatórios técnicos, com frequência semestral.

Destaca-se ainda, que deverão ser elaborados boletins sísmicos trimestrais, contendo os parâmetros epicentrais dos sismos registrados e mapas de epicentros que comporão os relatórios semestrais mencionados no parágrafo acima. Adicionalmente, informa-se que boletins sísmicos especiais também poderão ser elaborados, quando solicitado pelo órgão ambiental ou no caso da ocorrência eventual de sismos considerados importantes.

4.9 Interface com outros Planos e Programas

O Programa de Monitoramento Sismológico poderá se relacionar com os seguintes programas do plano de gestão ambiental da UHE São Manoel:

- Plano Ambiental para Construção - PAC: intercâmbio de dados relacionados às datas e horário de detonações no canteiro de obras e de outras explosões efetuadas na área que circunda o reservatório da futura UHE São Manoel, em um raio de pelo menos 100 km a partir do seu barramento. Esta situação visa a esclarecer e diferenciar de forma consistente os sismos naturais e/ou induzidos com aqueles classificados como artificiais (detonações para atividades de escavações no canteiro de obras) que são registrados nas estações sismográficas, assim como para determinar um modelo adequado de velocidades sísmicas do subsolo na região coberta pelas estações sismográficas e os locais das detonações, que será necessário para a localização mais precisa dos hipocentros através de programas como o HYPO71 (Lee.& Lahr 1975) utilizando dados de pelo menos 4 (quatro) estações sismográficas.

- Programa de Monitoramento da Estabilidade das Encostas Marginais Sujeitas a Processos Erosivos: intercâmbio de dados para se avaliar a interferência de possíveis sismos na estabilidade das encostas que serão atingidas pelo aumento do nível das águas do rio quando este for represado;
- Plano de Enchimento do Reservatório: intercâmbio de dados sobre o andamento do processo de enchimento do reservatório e variações do nível da água do mesmo. Neste ponto, destaca-se a importância do fornecimento de informações relativas às variações do nível da coluna d'água durante o enchimento para correlação com a possibilidade do registro de sismos induzidos neste mesmo período;
- Programa de Interação e Comunicação Social: prestar esclarecimentos necessários à população e autoridades locais, caso necessário, sobre a possibilidade do surgimento de sismos induzidos e de seus possíveis efeitos, de forma a evitar pânico à população local.

Além disso, a troca de informações e resultados entre os Programas de Monitoramento Sismológico e PACs dos diversos empreendimentos instalados no mesmo rio é extremamente importante, tais como com as UHEs Teles Pires, Colíder, Sinop, entre outras.

4.10 Parcerias Recomendadas

Prevê-se que o Programa será desenvolvido em colaboração com entidades/instituições consolidadas e historicamente envolvidas com o acompanhamento e análise de eventos sísmicos no âmbito nacional e monitoramentos de empreendimentos similares.

Será fundamental a celebração de uma parceria com a Companhia Teles Pires S.A, com a finalidade de intercambiar dados digitais em forma de onda de eventos sísmicos registrados nas estações sismográficas de ambos os projetos, para conseguir maior precisão das determinações epicentrais, ou fixar a profundidade focal, dos sismos de interesse mútuo, em função da proximidade entre os dois empreendimentos.

4.11 Equipe Técnica Envolvida

A equipe técnica alocada para a realização das ações previstas deve ser formada basicamente por um geólogo/geofísico sênior e um geólogo/geofísico pleno ou júnior.

4.12 Referências Bibliográficas

Barros, L. V. 2010. Sismicidade, esforços tectônicos e estrutura crustal da Zona Sísmica de Porto dos Gaúchos/MT. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

IAG-USP, 2011. Boletim Sísmico Brasileiro, Editado pelo Grupo de Sismologia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, Endereço eletrônico: <http://moho.iag.usp.br/sismologia/boletim.php>.

Empresa de Pesquisa Energética, 2009, Estudo de Impacto Ambiental UHE – São Manoel, CD contendo 5 Volumes de estudos de impacto ambiental solicitados pelo IBAMA.

Lee, W.H.& J. C. LahrR, 1975. HYPO71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geological Survey Open-File Report p.75-311.

PROJETO BÁSICO AMBIENTAL DA UHE BELO MONTE – “Planos, Programas e Projetos”. Versão Final 2011. Volume IV, pg 13-31.

Souza, J. O., Frasca A. A. S. & Oliveira C. C. 2005. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Geologia e recursos minerais da Província Mineral de Alta Floresta. Relatório integrado. Folhas SC.21-VD, Rio São João da Barra; SC.21-X-C - Alta Floresta; SC.21-Z-A - Ilha 24 de Maio, SC.21-ZB - Vila Guarita; Estados de Mato Grosso e do Pará. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil/DEPAT/DICART/DIEDIG.

Teixeira, W.; Toledo, M. C. M.de; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (orgs.) 2003. Decifrando a Terra. São Paulo. Oficina de Textos. 2ª Edição.

4.13 Cronograma Físico

O cronograma do Programa de Monitoramento da Sismicidade foi estabelecido a partir da etapa do empreendimento, quais sejam:

- Aquisição e instalação da Rede Sismográfica – compra de equipamentos e acessórios e contratação do sistema de transmissão de dados via satélite;
- Construção dos Abrigos das Estações Sismográficas;
- Monitoramento da Sismicidade – acompanhamento e interpretação dos resultados;
- Elaboração e emissão de Relatórios Semestrais ao órgão ambiental.

O gráfico do cronograma físico das atividades deste Programa de Monitoramento da Sismicidade da UHE São Manoel é apresentado na próxima página.

