



# Relatório Especial

Estudo da Sismicidade na área do futuro AHE de  
Tabajara

## EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Profª Drª Mônica G. Von Huelsen  
Eveline Sayão  
Débora Alexandre Campos

## **Chefe do Observatório Sismológico - UnB**

Profº Dr Lucas Vieira Barros





## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. CARACTERIZAÇÃO GEOTECTÔNICA DA ÁREA .....	3
2.1 Cráton Amazônico .....	5
2.2 Bacia do Amazonas .....	6
3. AVALIAÇÃO SISMOTECTÔNICA E ANÁLISE DOS DADOS DE SISMICIDADE ..	10
3.1. Informações sobre a Base de Dados (SISBRA) .....	10
3.2. Análise dos dados de sismicidade da área .....	11
4. Considerações sobre o fenômeno da SDR .....	13
4.1 Monitoramento sismográfico .....	15
4.2. Estações sismográficas em operação na área de interesse .....	15
4.3 Reservatórios sísmicos na área de interesse .....	16
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	16
Brasília, 10 de outubro de 2012.....	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
ANEXO I.....	20



## 1. INTRODUÇÃO

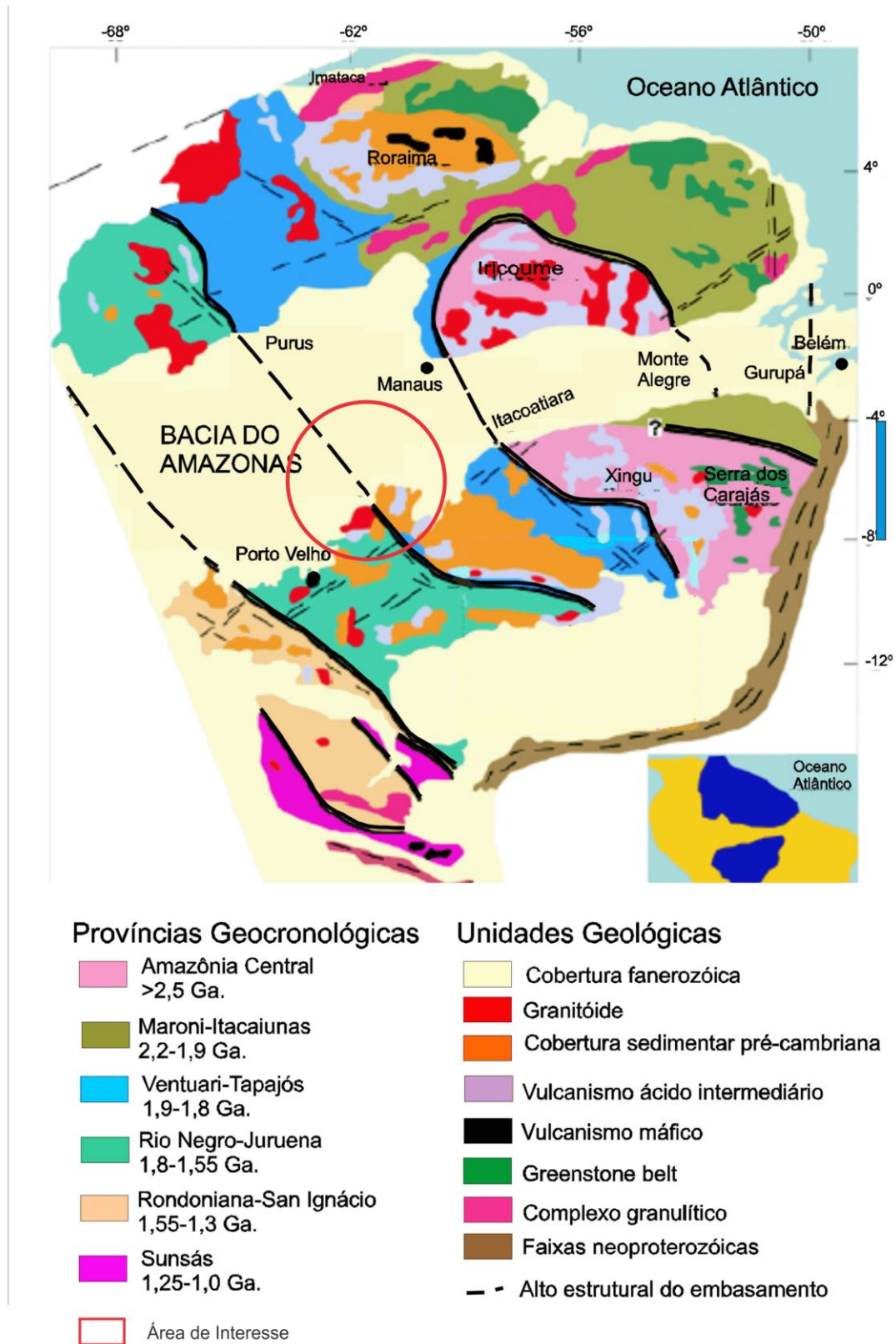
O Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (SIS/UnB) apresenta este trabalho, conforme solicitado pela JGP Consultoria e Participações Ltda, São Paulo, referente ao estudo da sismicidade da região de implantação de futuros Aproveitamentos Hidrelétricos (AHE) previstos na Bacia do Amazonas. Baseia-se na análise de eventos sísmicos (naturais e desencadeados) ocorridos numa área limitada a 300km da coordenada  $8^{\circ} 54'27,93''S$  e  $62^{\circ} 10'23,84''W$ . As principais informações contidas neste relatório integram a base de dados (SISBRA) do Observatório Sismológico, bem como relatórios técnicos específicos de análise de dados produzidos por estações sismográficas localizadas próximas da área de interesse.

São apresentados, também, breves comentários acerca da localização sismotectônica dos possíveis Aproveitamentos Hidrelétricos, das estações sismográficas operando a distâncias regionais, sobre o fenômeno de Sismicidade Desencadeada por Reservatório (SDR), recomendações e informações relevantes a respeito do programa de monitoramento sismológico instrumental para as Usinas previstas.

## 2. CARACTERIZAÇÃO GEOTECTÔNICA DA ÁREA

A área cujo estudo foi realizado situa-se, dentro da Província da Amazônia, ao Norte da Bacia do Parecis e a oeste da Província Tocantins, estando na parte norte do Cráton Amazônico, parte da Bacia Amazônica e Alto do Tapajós (Figuras 1 e 2), compreendendo os estados do Amazonas, parte leste, grande parte do Pará e extremo Norte do Mato Grosso.

Existem na região, três eventos com magnitudes maiores que quatro; o maior evento ocorrido teve magnitude de 4,7 e ocorreu no ano de 2012 em Ariqueemes (Roraima; Figura 3). A leste de Samuel pode-se verificar o ocorrência de eventos fracos a moderados. A Figura 3 mostra também os alinhamentos das estruturas geológicas com direções NE/SW e NW/SE.



**Figura 1** - Mapa geológico simplificado do Cráton Amazônico, Bacia da Amazônia e respectivas Provincias geocronológicas (modificado de Tassinari & Macambira, 1999).



## **2.1 Cráton Amazônico**

O Cráton Amazônico, localizado na parte norte da América do Sul, é considerado uma das maiores áreas cratônicas do mundo. É limitado a leste, sul e sudoeste por faixas móveis Proterozóicas e dividido em seis províncias geocronológicas maiores: Amazônia Central, Maroni-Itacaiunas, Ventuari-Tapajós, Rio Negro-Juruena, Rondoniana-San Ignácio e Sunsás (Figura 1). Uma das propostas de evolução deste bloco é baseada na hipótese de que durante o Arqueano, Paleo e Mesoproterozóico teria ocorrido uma sucessão de arcos magmáticos, envolvendo a formação de material juvenil, derivado do manto, assim como processos subordinados de retrabalhamento crustal (Cordani *et al.*, 1979; Tassinari; 1981; Cordani & Brito Neves, 1982; Teixeira *et al.*, 1989; Tassinari *et al.*, 1996; Tassinari, 1996). Os limites das províncias geocronológicas foram estabelecidos com base nas idades do embasamento metamórfico e nas características geológicas, suportadas por informações geofísicas.

No que diz respeito à evolução desses terrenos, as composições isotópicas de rochas ígneas e ortognaisses demonstram que a crosta continental do Proterozóico envolveu adição de terrenos juvenis e magmas formados por retrabalhamento de rochas pré-existentes. A origem das províncias Ventuari-Tapajós, Rio Negro-Juruena e parte das províncias Maroni-Itacaiúnas e Rondoniana-San Ignácio está ligada a arcos magmáticos produzindo acresções continentais, a partir de magmas derivados do manto superior. Por outro lado, a evolução da Província Sunsás e parte das províncias Rondoniana-San Ignácio e Maroni-Itacaiúnas parece estar associada principalmente a processos de colisão continental.



A formação e evolução das bacias ocorreram entre 1,9 e 1,0 Ga e constituem manifestações geológicas sobre as áreas cratônicas, provocadas pelas atuações das diversas orogenias posteriores. Algumas dessas bacias estão condicionadas por falhamentos de direções concordantes com o *trend* orogênico; outras estão instaladas em ambiente intraplaca.

## **2.2 Bacia do Amazonas**

A Bacia do Amazonas cobre uma área de aproximadamente 500 000 km quadrados do norte do Brasil, com eixo maior na direção E-W e seus estratos sedimentares cobrem as províncias Precambrianas do Escudo das Guianas a norte e o Escudo Brasil Central a sul. A leste o Arco Gurupá limita a Bacia do Amazonas da Bacia Marajó, um rifte abortado Mesozóico. A oeste a Bacia do Amazonas é separada da Bacia Solimões pelo Arco Purus, de direção aproximadamente N-S (Cordani et al., 2000).

O embasamento da Bacia do Amazonas consiste principalmente de complexos ígneos e metamórficos, mas algumas sucessões de rifte Proterozóicas de rochas. O depocentro da bacia possui registro estratigráfico de 5000 m de espessura; as rochas sedimentares aluviais, fluviais e lacustres ocorrem na região oeste, compondo o Grupo Purus. A existência de fortes anomalias gravimétricas positivas coincidentes com o eixo de sinéclise, sugerindo corpos ultrabásicos rasos, juntamente com estratos aulacogênicos subjacentes, levam à interpretação de estiramento crustal como o mecanismo motriz para a subsidência inicial da Bacia do Amazonas (Cordani et al., 2000).

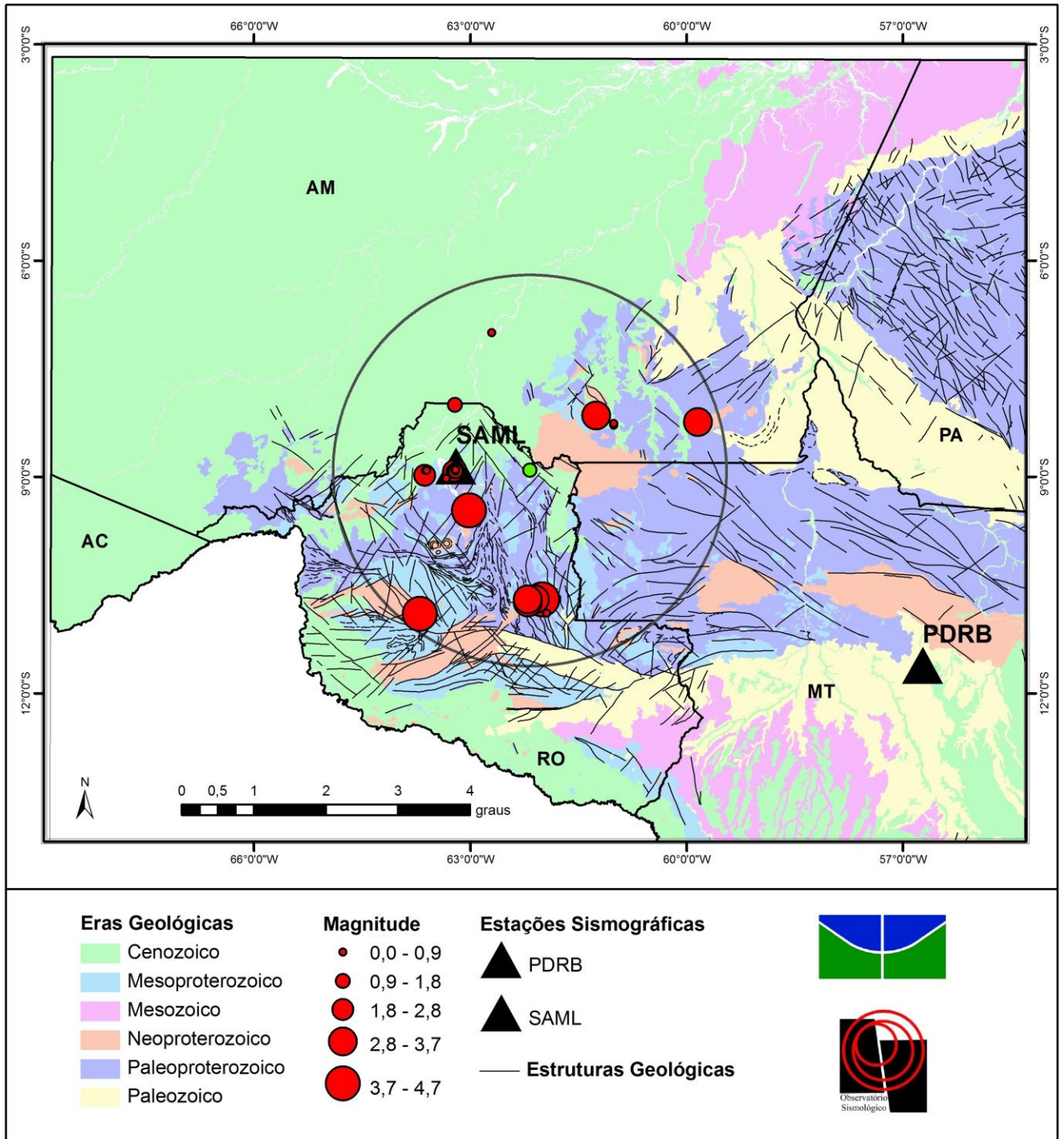
Trabalhos mais recentes (Gonzaga et al, 1997) interpreta quatro eventos extensionais durante a evolução da Bacia do Amazonas, abrangendo os intervalos Ordoviciano-Devoniano Inferior, Devoniano-Carbonífero Inferior, Carbonífero Médio-Permiano e Cretáceo-Cenozóico. Cada um desses eventos foi manifestado por relativamente altas taxas de acúmulo sedimentar durante as fases extensionais interpretadas, sucedidos



por períodos de baixas taxas de acúmulo sedimentar conduzidos por subsidência termal (Cordani et al., 2000).

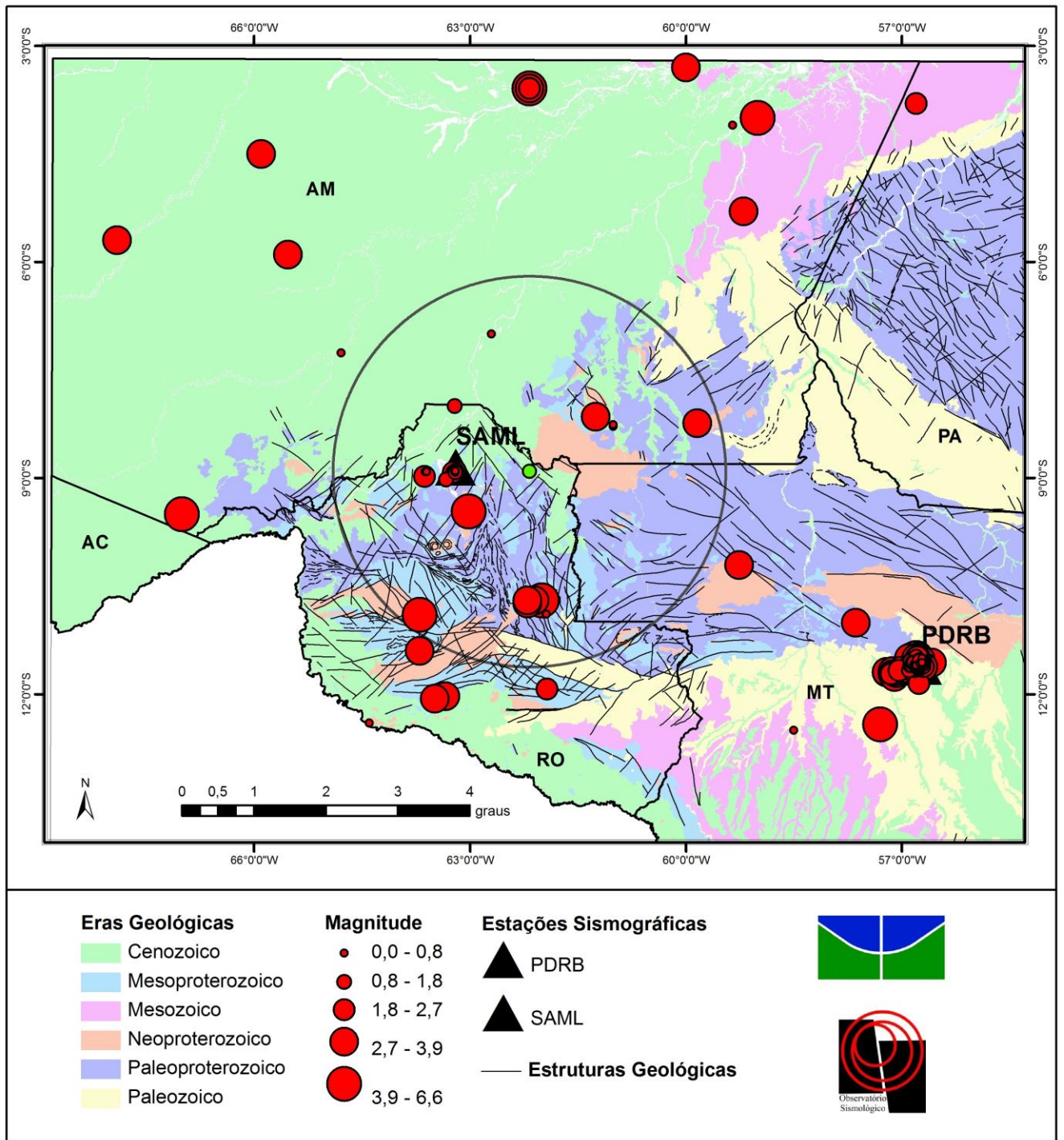
A estrutura estratigráfica da Bacia do Amazonas inclui três superseqüências Paleozóicas cobertas por sedimentos clásticos continentais do Cretáceo ao Recente. A Supersequencia Ordoviciano-Devoniana ou Grupo Trombetas é composta por arenitos marinhos incluídos nas formações Autás-Mirim, Nhamundá e Manacapuru, e camadas de folhelho e diamictito da Formação Pitinga. Esses sedimentos em parte foram acumulados sob a influencia da glaciação Ordoviciano Superior-Siluriano Inferior, que afetou grandes partes do Gondwana (Cordani et al., 2000).

Um segundo ciclo transgressivo-regressivo está registrado na Bacia do Amazonas pelas rochas sedimentares dos grupos Urupadi e Curuá que juntos compõem a Supersequencia Devoniano-Carbonífero. Esta grande unidade estratigráfica inclui as formações Maecuru e Ererê (Devoniano Inferior), consistindo unidades de arenitos costais e folhelhos marinhos rasos na base, seguidos por uma seqüência de até 250 metros de espessura de camadas de folhelhos negros laminados chamada Formação Barreirinha, de idade Frasniana. A Formação Barreirinha é considerada indicadora das condições paleobatimétricas máximas durante a história da bacia. Um controverso ciclo glacial Famenniano é interpretado a partir do registro da Formação Curiri consistindo de diamictito com unidades de folhelho e siltito associados. A parte superior desta seqüência, formações Oriximiná e Faro, registra a parte regressiva do ciclo. Processos erosivos regionais afetaram a bacia durante os estágios finais do Mississippiano (Cordani et al., 2000).



**Figura 2** - Mapa com as eras Geológicas, estruturas geológicas e epicentros dos eventos sísmológicos da região de estudo (raio de 300km do Ponto central – círculo verde), inseridas no contexto do Cráton Amazônico e da Bacia do Amazonas (Eras Geológicas; modificado de CPRM, 2001).





**Figura 3** - Mapa com as eras Geológicas, estruturas geológicas e epicentros dos eventos sísmicos da região de estudo e seus arredores, inseridas no contexto do Cráton Amazônico e da Bacia do Amazonas (Eras Geológicas; modificado de CPRM, 2001).

### 3. AVALIAÇÃO SISMOTECTÔNICA E ANÁLISE DOS DADOS DE SISMICIDADE

#### 3.1. Informações sobre a Base de Dados (SISBRA)

Os dados utilizados para caracterizar a sismicidade da área considerada constam da Base de Dados Sísmicos do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (SISBRA). Considerou-se como área de interesse, para este estudo, o círculo com ponto central : -8,90775 ° e - 62, 173289° e 300 km de raio e entorno (Figuras 2 e 3). Nesta área e em seus arredores o SIS/UnB coordena algumas estações, tais como:

Porto dos Gaúchos - PDRB e Samuel – SAML.

O SISBRA tem como corpo central o “catálogo-mestre” de Berrocal *et al.* (1984), que cobre o período 1560 -1981. Portanto, contém registros históricos e instrumentais. Os registros históricos são mais confiáveis apenas a partir do século XVIII. Entretanto, para a área de estudo os dados de sismicidade histórica são quase inexistentes, tendo em vista a tardia ocupação territorial do norte do Estado de Mato Grosso, Amazonas e Rondônia.

A partir de 1981 até 1995, o SISBRA foi atualizado com os dados compilados de boletins sísmicos brasileiros (publicados periodicamente pela Revista Brasileira de Geofísica) e, principalmente, com os dados resultantes das atividades próprias de monitoramento sismográfico, análise e pesquisas realizadas pelo SIS/UnB sobre a sismicidade brasileira, particularmente os dados de sismicidade coletados por estações sismográficas instaladas em diferentes áreas de interesse ao monitoramento sismográfico de reservatórios hidrelétricos, esta atualização vem sendo realizada atualmente. Particularmente nas regiões norte, esse monitoramento iniciou-se no final da década de 1970 e início dos anos 80s, com a instalação das estações sismográficas de Tucuruí/PA, Samuel/RO e Balbina (instalada na década de 80). Portanto, a partir do



início dos anos de 1980 o limiar de magnitude para sismos na área de interesse está por volta de 3,5  $m_b$ . Posteriormente em 2012 com as estações de Belo Monte.

O quantificador do tamanho dos sismos históricos é a intensidade sísmica expressa na Escala Mercalli Modificada (MM), Richter (1958). Para os eventos instrumentais, o tamanho é quantificado, predominantemente, através da escala de magnitude regional,  $m_R$ , determinada por Assumpção (1983), calibrada com base na escala de magnitude de ondas de corpo de telessismos ( $m_b$ ). Os erros normais de magnitude estão em um intervalo de  $\pm 0,3$  unidades (adimensionais) de magnitude. Alguns eventos são também quantificados em função da escala de magnitude de duração do sinal ( $m_D$ ).

No que diz respeito a erros de localização, eles variam entre  $\pm 100$  km (para os sismos históricos) e  $\pm 5$  km (para bons epicentros instrumentais). O valor médio para os erros dos epicentros instrumentais é em torno de 10 a 15 km.

Na área de busca foram encontrados, no SISBRA, 72 (setenta e dois) eventos sísmicos, que estão listados na relação apresentada no Anexo 1 e apresentados na Figura 2. A Figura 3 abrange uma área maior destacando a região de Porto dos Gaúchos no Mato Grosso, que possui eventos com magnitude acima de 5,0  $m_R$  (Barros, L.V. e Assumpção, M., 2011).

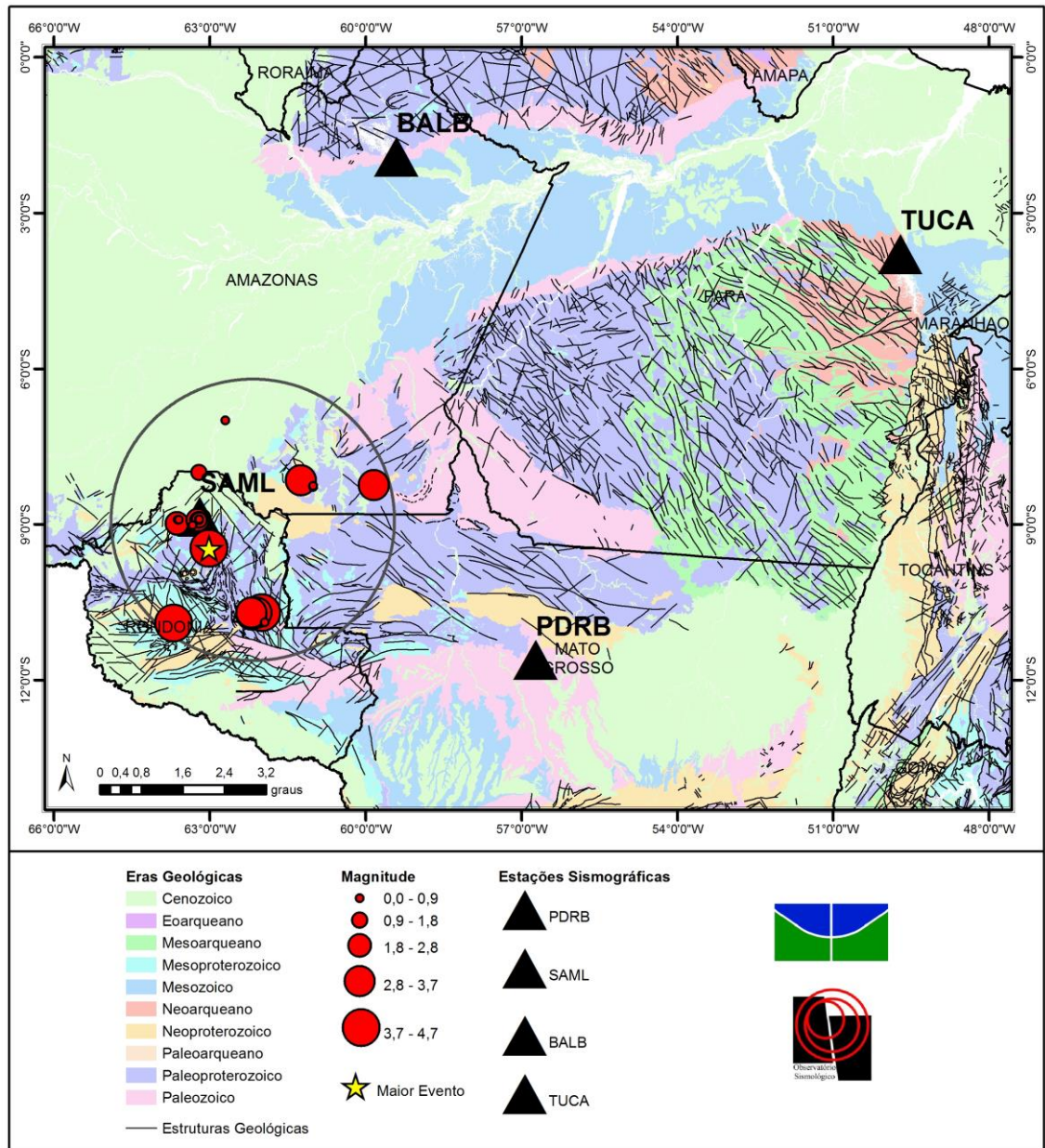
### **3.2. Análise dos dados de sismicidade da área**

A listagem do Anexo 1 (Tabela 1) apresenta a relação dos sismos, para os quais se tem registros, ocorridos em uma área que corresponde à localização de usinas Hidrelétricas previstas na área de estudos, com magnitudes ( $m_b$ ,  $m_R$  ou  $m_D$ )  $\geq 1,0$  na escala Richter.

Essa listagem contém todos os eventos sísmicos com registro histórico ou instrumental de que se tem conhecimento, desde 1941 até 2013. Dentro dos limites da área imposta para busca dos dados no SISBRA foram listados somente eventos sísmicos naturais, localizados, em sua maioria, pelas estações do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília. A legenda da Tabela A1 contém explicações ou definições dos parâmetros sísmicos contidos na listagem.

A quase totalidade dos eventos está relacionada com a sismicidade próxima a estação SAML e da cidade de Candeias do Jamari. Trata-se de uma área com eventos

fracos, ou seja, de baixa magnitude variando de 0,2 a 2,3  $m_D$  (magnitude de duração), ocorrida principalmente na década de 1990. Pode-se destacar também o evento ocorrido em 25/11/2012 com magnitude 4,7 $m_R$  sendo um evento natural ocorrido próximo à Ariquemes (Figura 4).



**Figura 4** - Mapa de localização epicentral dos eventos sísmicos de magnitudes  $\geq 1,0$ , na área de estudo e entornos destacando os eventos com maiores magnitudes da área (estrela) e as estações coordenadas pelo SIS/UnB. O círculo em preto indica a área de estudo.

A singularidade sísmica desta região pode estar associada a dois fatores geotectônicos condicionantes: (1) ao fato de a região estar localizada nas proximidades da borda da Bacia da Amazônia; e (2) devidos aos esforços tectônicos regionais, com origem nos limites de placas tectônicas, somados aos esforços locais associados a possíveis descontinuidades.

#### **4. Considerações sobre o fenômeno da SDR**

Os estudos sobre a Sismicidade Desencadeada por reservatórios (SDR) no mundo nas últimas quatro décadas têm mostrado algumas particularidades: somente uma pequena porcentagem de reservatórios induz SDR. A existência de dezenas de milhares de reservatórios em todo o mundo, que não têm causado nenhuma sismicidade observável, indica que a probabilidade do reservatório induzir sismicidade é muito baixa e, além disto, que condições muito especiais são necessárias para a ocorrência de SDR; os efeitos do reservatório (o peso da água e a pressão nos poros em profundidade) no campo de esforços tectônicos são pequenos, comparativamente com os esforços liberados por alguns grandes terremotos induzidos por reservatório. Isto implica que SDR somente pode ocorrer se a área já estiver submetida a esforços tectônicos quase críticos. Por esta razão, alguns autores preferem o termo Sismicidade Desencadeada, ao invés de Sismicidade Induzida, já que é necessário um esforço próximo do crítico para a ocorrência de tremores de terra (Assumpção, 2002).

Um baixo nível de sismicidade natural, não necessariamente implica em menor risco de SDR. A identificação de vários casos de SDR em regiões assísmicas mostra que existe uma pequena correlação entre a sismicidade natural e a probabilidade de um reservatório produzir sismicidade induzida. São necessários estudos mais aprofundados sobre este aspecto da SDR, pois o número de reservatórios sísmicos pode ser subestimado em regiões sísmicas onde a identificação é mais difícil (Barros e Caixeta, 2003b). É consenso que o máximo sismo induzido possível não pode exceder o máximo sismo natural possível na região. Isto é consistente com todas as evidências empíricas reportadas até agora e também com o conceito de que condições (quase críticas) de esforços preexistentes são necessárias para a ocorrência de SDR. No Brasil, a SDR de maior magnitude (4,2) ocorreu na província



sísmica do sudeste, onde a maior magnitude natural já observada foi de 5,1  $m_b$  (Barros, 2001, Chimpliganond, 2002).

O aspecto principal do mecanismo da SDR envolve a perturbação dos esforços em profundidade, causado pelo peso do reservatório e pela difusão da pressão intersticial. Estudos têm mostrado que os fatores controladores deste processo são os esforços tectônicos preexistentes e a pressão nos poros, a permeabilidade das rochas e o sistema de fraturas, a orientação relativa entre o esforço tectônico e o sistema de falha.

Devido à falta de homogeneidade das propriedades das rochas abaixo de um reservatório (tais como a permeabilidade, o sistema de fraturas e o campo de esforço), a sismicidade induzida pode apresentar padrões temporal e espacial complexos, em resposta à história do enchimento do reservatório. Por exemplo, pode ser observada algumas vezes migração da atividade de uma área para outra do reservatório (Assumpção *et al.*, 2002).

A despeito do progresso obtido em explicar a SDR, ainda não é possível prever a ocorrência de sismicidade induzida em futuros reservatórios, devido a dificuldades práticas de se fazer o mapeamento preciso de um grande volume de rochas localizadas abaixo do reservatório e, portanto, de conhecer parâmetros chaves como esforços locais, permeabilidade das massas de rochas e geometria do sistema de fraturas. De um ponto de vista prático, estudos estatísticos de casos prévios podem ser úteis no estudo de avaliação do risco sísmico em futuros reservatórios. Neste aspecto, compilações completas de casos mundiais ocorridos, incluindo comportamento espacial/temporal, podem contribuir para uma melhor avaliação do risco sísmico de futuros reservatórios (Assumpção, 2002).

A SDR é um dentre outros fatores que podem afetar a segurança de uma barragem. No Brasil, felizmente, os sismos até agora registrados atingiram magnitudes reduzidas e as acelerações alcançadas não foram suficientes para produzir nenhum dano às estruturas das barragens, embora suas intensidades máximas, em alguns casos, já tenham atingido os valores de acelerações máximas estabelecidas em sismos de projetos, como é o caso daqueles sismos que produziram  $I_0 = VI$  (MM). A SDR no Brasil tem a particularidade que, apesar de estar associada, em muitos casos (aproximadamente 50%), com reservatórios de baixa profundidade (menor que 50 m) ou pequeno volume (menor que  $0,2 \text{ km}^3$ ), a respectiva SDR é bastante expressiva ( $\text{mag.} \geq 3,0$ ) ou, pelo contrário, alguns



reservatórios grandes (profundidade maior que 100 m ou volume maior que 1 km<sup>3</sup>) tem uma SDR inexpressiva (mag.  $\leq 2$ ; Marza *et al.*, 1999).

Portanto, é de fundamental importância o estabelecimento de um programa de monitoramento sismográfico na região de influência do futuro reservatório, antes, durante e após o enchimento do lago.

#### **4.1 Monitoramento sismográfico**

A prática adotada no monitoramento sismográfico de áreas de barragens estabelece duas fases distintas. A primeira, denominada fase pré-enchimento, é iniciada idealmente cerca de três anos antes do enchimento do reservatório. Esta etapa pode ser cumprida pela instalação de uma única estação tri-axial de banda larga. A segunda, denominada fase pós-enchimento, inicia-se com o enchimento do reservatório. Nesta fase, é necessário adensar a rede de monitoramento, visando à detecção e localização de possíveis micro-remores situados no interior ou nas margens do reservatório. De acordo com a prática adotada, que se fundamenta em princípios sismológicos e recomendações internacionais, indica-se, nesta fase, a instalação de, no mínimo, três estações triaxiais.

#### **4.2. Estações sismográficas em operação na área de interesse**

Na área de interesse e entorno existem em operação as estações sismográficas (SAML e PDRB), pertencente à Eletronorte são coordenadas pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília. A estação de Samuel (indicada por um triângulo nas figuras 2, 3 e 4), tem código de identificação SAML e é uma estação de banda larga (30 segundos a 50 Hz) e além de pertencer ao consórcio de universidade americanas IRIS (International Research Institutions for Seismology) é coordenada pelo SIS e monitora o reservatório de Samuel. A estação PDRB é uma estação de Banda larga e monitora a região de Porto dos Gaúchos, foi inicialmente instalada pelo Observatório Sismológico (SIS) e hoje continua sendo coordenada pelo SIS e pertence a uma rede sismográfica Nacional.

### **4.3 Reservatórios sísmicos na área de interesse**

Na área de interesse existe um reservatório com monitoramento sísmico, o de Samuel, coordenado pelo SIS/UnB. Na região norte do Brasil, dos quatro reservatórios existentes e com monitoramento do SIS/UnB (Balbina/AM, Belo Monte/PA, Samuel/RO e Tucuruí/PA), até o momento dois apresentaram sismos desencadeados, são eles: Balbina e Tucuruí (Figura 4).

## **5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente relatório apresenta os dados da sismicidade registrada em uma área de aproximadamente 71.000 Km<sup>2</sup>, englobando parte do Cráton Amazônico e parte da Bacia do Amazonas. Na área considerada foram observados um total de 72 (setenta e dois) eventos sísmicos, sendo todos naturais. A magnitude mínima para seleção desses eventos foi estipulada em 0,1 m<sub>b</sub> e o maior evento observado na área apresenta magnitude de 4,7 m<sub>b</sub> ocorreu ao Norte de Rondônia (Ariquemes) em 25/11/2012.

Partindo-se do princípio segundo o qual a magnitude do maior sismo induzido possível em uma dada área não pode exceder a magnitude do maior sismo natural observado nesta área, e considerando que o epicentro do maior terremoto da área de estudo está ao Norte de Rondônia, poderia se admitir que a máxima magnitude possível para um sismo desencadeado por um futuro lago nesta área seria de 4,7 m<sub>b</sub>.

Sismo desencadeado é resultado da ação mecânica e hidráulica do reservatório sobre o ambiente geotectônico presente na área do lago. Entretanto, sismos induzidos ou desencadeados somente ocorrerão se houver uma interação construtiva entre o sistema de falhas presente na área de influência do reservatório e o próprio reservatório, ou seja, sismos poderão ser induzidos se na área do reservatório existirem falhas em estado crítico de deformação e que a ação do lago é suficiente para levar essas falhas à ruptura. Os lineamentos geológicos mapeados





na área limitam-se ao Cráton Amazônico. Na Bacia do Amazonas um estudo geofísico poderia contribuir para mapear estruturas geofísicas e podem estar relacionadas com estruturas geológicas (falhas e lineamentos).

*Brasília, 10 de dezembro de 2013.*

---

*Profa. Mônica G. Von Huelsen*



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUMPÇÃO, M. (1983) - A regional magnitude scale for Brazil, Bull. Seism. Soc. Am. **73**:237-246.
- ASSUMPÇÃO M, JAMES D & SNOKE JA. 2002. Crustal thicknesses in SE Brazilian shield by receiver function analysis: implications for isostatic compensation. J. Geophys. Res., 107, doi:10.1029/2001JB000422, ese2-14p.
- BARROS, L. V., ASSUMPÇÃO, M., 2011. Basement depths in the Parecis Basin (Amazon) with receiver functions from small local earthquakes in the Porto dos Gauchos seismic zone. JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES, v.32, n.2, p.142-151.
- BARROS, L.V., MARZA, V., CAIXETA, D. F., e CARVALHO, J.M. (2001) Seismic Sequence in Porto dos Gaúchos/MT March/1998 Mainshock: Preliminary results. 7º International Congr. of the Brazilian Geophysics, p 1322-1325.
- BARROS, L.V. & CAIXETA, D.F. (2003) One-Dimensional Multilayer Velocity Model for Porto dos Gauchos/MT. 8º SBGf, de 14 a 18/09/2003, 6pp.
- BERROCAL, J., ASSUMPÇÃO M., ANTEZANA R. et al. (1984) - Sismicidade do Brasil, IAG/USP/CNEN, São Paulo, 320pp.
- CORDANI U.G, MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A (2000). Tectonic Evolution of South America, 31<sup>st</sup> International Geological Congress, R.J., Brazil, 854p.
- CORDANI U.G., BRITO NEVES B.B. (1982). The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.*, **12**(1-3):78-88.
- CORDANI U.G., TASSINARI C.C.G., TEIXEIRA W., BASEI M.A.S., KAWASHITA K. (1979). Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *In: Congresso Geológico Chileno, 2, Chile. Actas...*, Chile, p. 137-48.
- CHIMPLIGANOND, C.N. (2002). Caracterização da Sismicidade Induzida no Reservatório de Nova Ponte, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 133p.
- CPRM- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas-SIG [Geological Map of Brazil



- 1:1.000.000 scale. Geografic Information System-GIS]. Brasília. 41 CD Rom. Programa Geologia do Brasil.
- MARZA V.I., Barros L.V., Soares J.E.P., Carvalho J.M., Fontenele D.P., Chimpliganond, C.N, Caixeta, D.F., Gomes, I.P., Furtado, G.A, Clarim, A.L.L., Souza, I.F., Caliman, E.H. & Barros, J.B. (1999b) *Some Aspects of Reservoir Induced Seismicity in Brazil*. Proc. 23th Brazilian National Seminar on Large Dams, 22-26 March 1999, Belo Horizonte, MG, Brazil, vol.I, p.199-211.
- TASSINARI C.C.G. (1981). *Evolução tectônica da Província Rio Negro-Juruena na região Amazônica*. São Paulo, IGc-USP, Dissertação de Mestrado, 2 v., pp. 99.
- TASSINARI C.C.G. (1996). *O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: Revisão dos Dados Isotópicos*. São Paulo, IGc-USP, Tese Livre-Doc., 139 pp.
- TASSINARI C.C.G., CORDANI U.G., NUTMAN A.P., VAN SCHMUS W.R., BETTENCOURT J.S., TAYLOR P.N. (1996). Geochronological systematics on basement rocks from the Rio Negro -Juruena Province (Amazonian Craton), and tectonic implications. *Int. Geol. Rev.*, **38** (2):161-175.
- TASSINARI C.C.G., MACAMBIRA M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3):174-182.
- TEIXEIRA W., TASSINARI C.C.G., CORDANI U.G., KAWASHITA K. (1989). A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Res.*, **42**:213-27.
- VELOSO A. V. (1992). do Observatório Sismológico, Universidade de Brasília (artigo originalmente publicado em 1992). É autor do livro "[O terremoto que mexeu com o Brasil](#)"
- RICHTER, C.F. (1958) - Elementary Seismology, W.H. Freeman and Emp. San Francisco, 768pp.



## **ANEXO I**

RELAÇÃO DOS EVENTOS SÍSMICOS (MAGNITUDES  $\geq 1,0$ ) REGISTRADOS NA  
ÁREA EM ESTUDO (FONTE:SISBRA)



## **LEGENDA PARA LISTAGEM DE SISMOS**

**Número** - Número do sismo

**DATA** - Ano, Mês, Dia.

**HORA LOCAL** - Hora: Minuto: Segundo.

Mag = Magnitude

**LAT.** - Latitude (em graus).

**LONG.** - Longitude (em graus).

**Cidade** – cidade próxima ao evento

**ES** - Sigla do Estado.

**MAG.** - Magnitude.

**TIPO** - Tipo de magnitude de acordo com:

- Magnitude não calculada

$m_R$  - estimativa de  $m_b$  com estações regionais:

$$m_R = \log (A/T) + 2,3 \log (\text{Dist. Epic. km}) - 2,28$$

$m_B$  estimada pela área afetada:

$$m_B = 1,80 + 0,56 \log (\text{área II MM, km}^2)$$

$$m_B = 2,29 + 0,55 \log (\text{área IV MM, km}^2)$$

$m_D$  - estimado pela duração.

**TABELA 1 - Relação dos eventos sísmicos com magnitude  $\geq 1,0$ , ocorridos numa área em estudo**

LATITUDE 8° 54' 27,92'' S LONGITUDE = 62° 10' 23,84'' W

MAGNITUDE MINIMA = 1.0 ERRO EPIC.MAX. = 300km

número	DATA	HORA	Magnitude	tipo	LAT	LONG	CIDADE	ES
1,00	30/06/41	-	-	-	-7,000	-62,70	Humaitá	AM
2,00	10/02/67	-	-	-	-8,260	-61,01	Novo Aripuanã	AM
3,00	14/03/68	07:21:40	4,2	mB	-1,090	-63,70	Guajará-Mirim	RO
4,00	20/01/75	-	-	-	-8,280	-61,01	Novo Aripuanã	AM
5,00	23/01/75	08:40:24	4,1	mB	-1,070	-62,00	Ji-Paraná	RO
6,00	18/04/78	-	0,0	-	-1,089	-61,94	Ji-Paraná	RO
7,00	01/04/81	17:01:44	3,2	mR	-1,074	-62,20	Ouro Preto do Oeste	RO
8,00	21/02/83	02:38:46	3,2	mR	-1,070	-62,20	Ouro Preto do Oeste	RO
9,00	17/09/84	05:09:00	3,4	mR	-1,070	-62,10	Ouro Preto do Oeste	RO
10,00	07/12/86	03:09:24	3,3	mR	-8,240	-59,84	Apuí	AM
11,00	06/06/89	20:56:00	0,2	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
12,00	18/04/89	22:24:00	0,6	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
13,00	13/05/89	22:25:00	0,2	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
14,00	13/07/89	02:36:00	3,0	mR	-8,150	-61,25	Manicoré	AM
15,00	08/05/89	15:44:00	1,3	mD	-8,900	-63,20	Candeias do Jamari	RO
16,00	28/07/91	21:21:00	1,8	-	-8,000	-63,21	Porto Velho	RO
17,00	26/07/91	00:00:36	2,0	-	-8,900	-63,20	Candeias do Jamari	RO
18,00	26/07/91	05:19:10	1,6	-	-8,900	-63,20	Candeias do Jamari	RO
19,00	26/06/91	05:58:26	2,0	-	-8,900	-63,20	Candeias do Jamari	RO
20,00	20/11/92	18:58:32	1,9	mD	-8,920	-63,23	Candeias do Jamari	RO
21,00	14/11/92	13:03:19	2,0	mD	-8,920	-63,23	Candeias do Jamari	RO
22,00	03/11/92	19:27:27	1,0	mD	-8,920	-63,23	Candeias do Jamari	RO



23,00	15/10/92	15:26:15	1,6	mD	-8,920	-63,22	Candeias do Jamari	RO
24,00	28/09/92	17:11:58	2,0	mD	-8,920	-63,22	Candeias do Jamari	RO
25,00	15/08/92	14:14:24	2,0	mD	-8,920	-63,22	Candeias do Jamari	RO
26,00	11/05/92	17:56:47	0,7	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
27,00	24/04/92	15:05:47	0,5	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
28,00	23/04/92	13:56:21	0,7	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
29,00	22/05/92	17:37:00	0,7	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
30,00	27/06/93	16:25:58	0,0	-	-8,910	-63,20	Candeias do Jamari	RO
31,00	18/11/93	14:20:15	0,1	mD	-8,900	-63,21	Candeias do Jamari	RO
32,00	27/06/93	08:54:30	-	-	-8,900	-63,21	Candeias do Jamari	RO
33,00	03/03/93	03:47:45	-	-	-8,900	-63,21	Candeias do Jamari	RO
34,00	26/02/93	20:13:25	-	-	-8,900	-63,21	Candeias do Jamari	RO
35,00	28/06/93	20:22:08	-	-	-8,900	-63,20	Candeias do Jamari	RO
36,00	27/06/93	16:07:24	-	-	-8,900	-63,20	Candeias do Jamari	RO
37,00	16/04/94	02:54:12	0,7	-	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
38,00	10/01/94	22:20:37	0,6	-	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
39,00	22/11/94	23:31:22	-	-	-8,910	-63,62	Candeias do Jamari	RO
40,00	23/09/94	19:35:29	-	-	-8,910	-63,62	Candeias do Jamari	RO
41,00	09/12/94	09:20:05	-	-	-8,910	-63,61	Candeias do Jamari	RO
42,00	27/10/94	13:38:50	-	-	-8,910	-63,61	Candeias do Jamari	RO
43,00	22/10/94	12:22:46	-	-	-8,910	-63,61	Candeias do Jamari	RO
44,00	24/12/94	08:31:12	-	-	-8,910	-63,60	Candeias do Jamari	RO
45,00	10/11/94	15:58:38	-	-	-8,910	-63,60	Candeias do Jamari	RO
46,00	10/11/94	15:58:42	-	-	-8,910	-63,60	Candeias do Jamari	RO
47,00	24/08/94	20:41:19	-	-	-8,910	-63,60	Candeias do Jamari	RO
48,00	15/08/94	18:45:02	-	-	-8,910	-63,60	Candeias do Jamari	RO
49,00	16/04/94	20:32:19	-	-	-8,910	-63,21	Candeias do Jamari	RO
50,00	11/01/94	00:40:45	0,6	-	-8,910	-63,21	Candeias do Jamari	RO
51,00	04/10/95	17:45:12	0,2	mD	-8,910	-63,20	Candeias do Jamari	RO
52,00	26/02/95	14:09:45	0,0	-	-8,910	-63,60	Candeias do Jamari	RO
53,00	27/07/96	18:31:11	1,7	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
54,00	04/06/96	19:08:07	1,0	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO



55,00	13/02/96	19:14:11	0,9	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
56,00	25/01/96	16:06:01	1,3	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
57,00	28/09/96	19:01:50	0,7	mD	-8,910	-63,20	Candeias do Jamari	RO
58,00	19/08/96	17:05:29	1,0	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
59,00	30/06/98	18:28:01	0,7	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
60,00	26/06/98	18:05:04	1,2	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
61,00	01/06/98	21:28:56	1,3	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
62,00	01/06/98	22:17:32	1,0	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
63,00	16/05/98	15:47:18	0,8	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
64,00	19/04/99	17:50:10	2,3	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
65,00	12/04/99	21:34:44	1,8	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
66,00	21/01/99	06:31:13	0,7	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
67,00	19/01/99	10:45:08	1,0	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
68,00	17/01/99	04:33:33	0,4	mD	-8,920	-63,20	Candeias do Jamari	RO
69,00	17/02/99	13:01:55	0,5	mD	-8,910	-63,21	Candeias do Jamari	RO
70,00	03/08/03	15:11:22	0,9	mD	-9,020	-63,33	Itapuã do Oeste	RO
71,00	27/08/03	22:05:21	2,2	mD	-8,980	-63,63	Candeias do Jamari	RO
72,00	25/11/12	22:57:42	4,7	mR	-9,463	-63,02	Ariquemes	RO