

---

**COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO  
SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA**

---

*CODEVASF*

**Elaboração de Estudos Ambientais visando atender as Condições  
estabelecidas na Licença Prévia Nº 13/2006 do Projeto Hidroagrícola  
Jequitaí**

---

***RELATÓRIO TÉCNICO 7***

***PROGRAMA DE MONITORAMENTO  
SISMOLÓGICO***

**CONSÓRCIO ENGECORPS ♦ FLORAM**

929-CDF-PMA-RT-P018

Agosto / 2010

## ÍNDICE

	PÁG.
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. JUSTIFICATIVA .....	4
3. OBJETIVOS.....	13
4. PÚBLICO-ALVO .....	13
5. METODOLOGIA .....	14
6. AÇÕES, ATIVIDADES E OPERACIONALIZAÇÃO DO PROGRAMA.....	15
7. CRONOGRAMA FÍSICO DE ATIVIDADES .....	23
8. RECURSOS HUMANOS E MATERIAIS .....	23
9. CUSTOS .....	23
10. AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO .....	24
11. RESPONSABILIDADE TÉCNICA E CONVÊNIOS .....	24
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25
ANEXO I - DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS, SERVIÇOS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM INDICAÇÃO DE POTENCIAIS FORNECEDORES.....	27

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a ação do homem é responsável por fortes impactos sobre a natureza, sendo que a realização de grandes empreendimentos pode acarretar alterações no ambiente. A construção de grandes reservatórios, por exemplo, pode induzir o aparecimento localizado de sismos em regiões que não eram afetadas por esse tipo de fenômeno. Este “impacto” é denominado como Sismicidade Induzida por Reservatórios (SIR).

A análise da sismicidade ou ocorrência de tremores de terra no espaço e no tempo é, em sentido amplo, a informação básica usada na avaliação do risco sísmico. A sismicidade pode ser estudada através de três tipos de registros: geológico, histórico e instrumental. O primeiro, observado através de falhas, pode conter informações de grandes terremotos ocorridos há milhões de anos ao longo do tempo geológico. O segundo, pode conter informações de tremores de terra ocorridos há centenas e, em certos casos, há milhares de anos ao longo da história do homem na Terra. O último, o mais recente, com cerca de 120 anos, contém informações sobre aqueles terremotos para os quais existem evidências instrumentais. No Brasil, os registros instrumentais começaram a ser feitos, de forma mais sistemática, a partir da segunda metade da década de 1970, com a implantação de programas de monitoramento sísmico de reservatórios hidrelétricos.

Os órgãos ambientais exigem e recomendam o cumprimento da determinação de monitoramento sismológico na região de influência do reservatório para a construção, regulamentação e liberação do funcionamento do empreendimento. Dessa forma, a observação sismogênica deve ser realizada nas etapas de construção, enchimento e operação dos reservatórios Jequitáí I e II.

Na última década, a expansão brasileira do setor energético juntamente com a cobrança sistemática dos órgãos ambientais proporcionaram o aumento expressivo na demanda por serviços de monitoramento sismológico de grandes reservatórios. Basicamente, o serviço consiste na análise dos dados obtidos de estações sismográficas instaladas nas áreas de influência das barragens (BARROS, L. V. 2001).

Estudos da Sismicidade Induzida por Reservatórios (SIR) iniciaram-se há cerca de 50 anos, no EUA, quando, por ocasião do enchimento do lago Mead, no Colorado (USA), foram observados sismos induzidos no local.

No Brasil, o interesse pelo estudo do fenômeno da SIR foi despertado após a ocorrência, em 1972, de um sismo de magnitude 3,7 e intensidade VI na escala MM, no pequeno Reservatório de Carmo do Cajuru/MG. Entretanto, o marco no estudo da SIR foi estabelecido pelo sismo de 24/12/1974 ocorrido na região dos reservatórios de Porto Colômbia/MG e Volta Grande/SP. Foi a maior magnitude de sismo induzido observada no Brasil (4,2 mb e intensidade VII MM). A partir de então, iniciaram-se as pesquisas sobre SIR no Brasil por grupos da UnB, da USP e IPT e de companhias energéticas (CEMIG, ELETRONORTE, FURNAS, ITAIPU Binacional, CESP e

ELETROSUL) e mais recentemente, pelo grupo de sismologia da Universidade federal do Rio Grande do Norte.

Hoje, o monitoramento de reservatórios hidrelétricos no Brasil é uma prática rotineira, com recomendações de órgãos ambientais para o licenciamento de obras e com 19 casos já comprovados de sismos induzidos por reservatórios. Daí, a necessidade do monitoramento sísmico de reservatórios no Brasil, o qual muito contribuiu para o conhecimento da sismicidade brasileira, tanto natural quanto induzida por reservatórios.

## **2. JUSTIFICATIVA**

A criação de um reservatório modifica as condições estáticas do substrato rochoso da região através de duas principais formas: (a) mecanicamente, devido ao próprio peso do reservatório e; (b) hidraulicamente, através da ação da água sobre poros e fraturas das rochas, fazendo crescer a pressão intersticial e reduzindo o esforço necessário à ruptura (BARROS, L. V. 2006).

A SIR 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 SIR no Brasil tem a particularidade de que, apesar de estar associada, em muitos casos (aproximadamente 50%), a reservatórios de baixa profundidade (menor que 50 m) ou pequeno volume (menor que  $0,2 \text{ km}^3$ ), a respectiva SIR é bastante expressiva ( $\text{mag.} \geq 3$ ) ou, pelo contrário, alguns reservatórios grandes (profundidade maior que 100 m ou volume maior que  $1 \text{ km}^3$ ) têm uma SIR inexpressiva ( $\text{mag.} \leq 2$ ).

No entanto, é interessante ressaltar que o lago em si não causa a sismicidade, sendo necessário já existir na área do reservatório condições propícias ao seu desencadeamento, relacionadas a falhamentos submetidos a esforços próximos do limite de ruptura, dessa forma o reservatório funciona apenas como um elemento acelerador da sismicidade.

### **Quadro Geológico Regional da Região do Projeto Jequitáí**

As principais unidades litológicas que compõem a região de Jequitáí são, da base para o topo da coluna estratigráfica:

- ✓ Terrenos Arqueanos;
- ✓ Supergrupo Espinhaço;
- ✓ Grupo Araxá – Canastra;
- ✓ Grupos Macaúbas e Paranoá e unidades correlatas;
- ✓ Grupo Bambuí;

- ✓ Intrusivas Granitóides;
- ✓ Depósitos sedimentares paleozóicos e mesozóicos;
- ✓ Intrusivas alcalinas; e
- ✓ Depósitos sedimentares cenozóicos.

Os *Terrenos Arqueanos* estão presentes na porção oriental da área dos reservatórios Jequitáí I e II e são constituídos por três conjuntos de rochas: (I) complexo gnáissico-granitóide de médio grau metamórfico; (II) seqüências metavulcano-sedimentares e (III) rochas de alto grau metamórfico. As seqüências metavulcano-sedimentares foram desenvolvidas em condições de alta instabilidade tectônica e sofreram metamorfismo e deformação sendo conhecidas na bibliografia como *greenstone belts*.

O *Supergrupo Espinhaço* constitui uma extensa faixa de direção N-S passando pela metade oriental da região abordada. É constituído de quartzitos, com intercalações de filitos e metaconglomerados, e na porção superior do pacote, aparecem metacalcários.

O *Grupo Araxá – Canastra* ocorre na porção sudoeste da região do reservatório e trata-se de uma seqüência metavulcano-sedimentar, representada por metabasitos e metafelsitos derivados de vulcânicas básicas e ácidas, metaultrabasitos e anfibolitos derivados de intrusivas ultrabásicas, e metassedimentos variados (micaxistos e quartzitos).

O *Grupo Macaúbas* está presente nas porções nordeste e leste da região analisada. É constituído de quartzitos e filitos, com intercalações de quartzitos conglomeráticos, metaconglomerados, filitos conglomeráticos e metadolomitos (HETTICH 1975, KARFUNKEL 1976, DARDENNE *et al* 1978, VIVEIROS *et al* 1979, ROCHA-CAMPOS e HASUI 1981, COUTO e BEZ 1981, INDA *et al* 1984, MASCARENHAS *et al* 1984). Já o *Grupo Paranoá* é localizado na porção oeste da região em pauta e estaria representada por duas faixas: (a) uma de direção NW-SE, constituída por um pacote de ardósia com lentes de quartzitos, metadolomitos e níveis de fosfato que passa, com interdigitações, para um pacote de metassiltitos, filitos e quartzitos, que na parte superior passa para metadolomitos; e outra (b) também de direção NW-SE constituída de metaconglomerado polimítico, clorita xistos, xistos calcíferos e metavulcânicas (RADAMBRASIL 1982).

O *Grupo Bambuí* representa um pacote de ampla distribuição, estendendo-se por quase  $\frac{3}{4}$  da região objeto do programa. Sendo constituído de siltitos, argilitos, margas, arenitos finos e calcários distribuídos em pacotes alternadamente carbonático-pelíticos e pelito carbonáticos. No topo da seqüência aparecem conglomerados, arcóseos e siltitos da Formação Três Marias (BRANCO e COSTA 1961, OLIVEIRA 1967, SCHOLL 1972, 1973, DARDENNE 1978, MARINI *et al* 1984, INDA *et al* 1984).

Alguns corpos de *intrusivas granitóides* ocorrem no extremo nordeste da região do projeto, eles penetram o Grupo Salinas e possuem idade em torno de 550 Ma, sendo relacionados com o ciclo Brasileiro.

Na porção sudoeste da área do empreendimento o pacote cretácico é o mais representativo dos *depósitos sedimentares paleozóicos e mesozóicos*. Este pacote é constituído de conglomerados e arenitos basais, argilitos, siltitos, folhelhos, calcários marinhos, seguidos de arenitos, argilitos, e folhelhos fluviais – *Formação Areado*. Aparecem também vulcânicas básicas alcalinas, com diques e pequenas intrusões associadas, sobrepostas por sedimentos fluviais, conglomerados e arenitos – *Grupo Mata da Corda*. Por fim, tem-se a Formação Urucuia, que é constituída de arenitos e alguns conglomerados, de ambiente fluvial.

*Intrusivas alcalinas* estão presentes na porção sudoeste da região objeto do presente programa, sendo representadas por corpos formados por ultrabásitos, carbonatitos e rochas derivadas da reação de carbonatitos com os ultrabásitos.

Os depósitos sedimentares cenozóicos são representados por: (I) depósitos eluvionares, (II) depósitos coluvionares e de tálus, (III) depósitos de terraços e (IV) depósitos aluvionares.

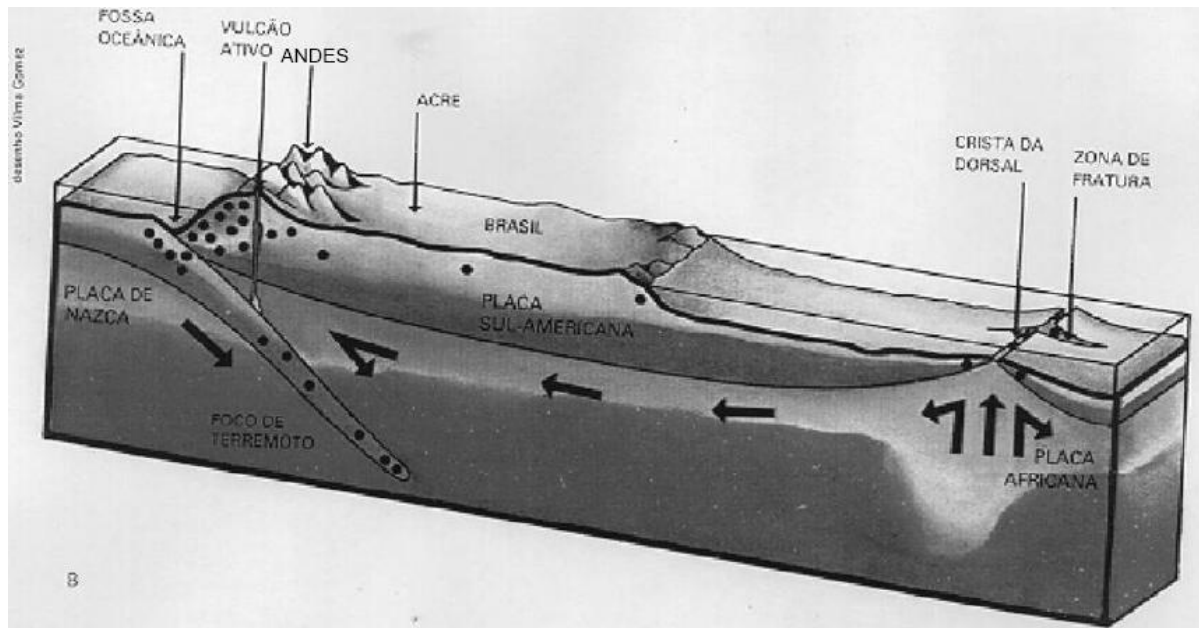
### **Quadro Lito-tectônico Geral da Região do Empreendimento**

A área do empreendimento está situada praticamente no Bloco Brasília. As foliações, com baixo ângulo de atitude e direção leste, e as discontinuidades (juntas e pequenas falhas) de múltiplas orientações são as feições estruturais de interesse mais antigas de destaque neste bloco.

Na região do programa as faixas proterozóicas desenvolveram-se em torno do Cráton do São Francisco com orientações gerais em torno de NE-SW a NW-SE. Novamente, as feições estruturais de maior interesse são as foliações que mergulham para o lado oeste no domínio ocidental (Província Tectônica Tocantins), para o lado leste no domínio oriental (Província Tectônica Mantiqueira) e as discontinuidades (juntas e pequenas falhas de múltiplas orientações).

O domínio entre as faixas proterozóicas é o Cráton São Francisco que apresentou comportamento tectônico estável durante o desenvolvimento dessas faixas (ALMEIDA, 1977), e com aqueles da Província Tectônica São Francisco.

Falhas normais e transcorrentes e grandes lineamentos foram desenvolvidos no Cretáceo, que está representado na região pela Bacia Alto Sanfranciscana e pelo soerguimento do Alto Paranaíba. Estas estruturas possuem, principalmente, direções NE-SW (Figura 2.1).



Fonte: BARROS, L. V. (2006).

**Figura 2.1 - Esquema simplificado das zonas de contatos entre as placas Africana e Sul Americana.**

A Neotectônica da região de Jequitai é reconhecida como atuante e possui regime tectônico transcorrente, caracterizado por:

- ✓ Eixo de tensão máxima ( $\delta_1$ ) sub-horizontal de direção em torno de NW-SE;
- ✓ Eixo de tensão mínima ( $\delta_3$ ) sub-horizontal de direção em torno de NE-SW; e
- ✓ Eixo intermediário ( $\delta_2$ ) vertical.

Frente a este cenário geotectônico conclui-se que:

- ✓ As feições estruturais principais como foliação, juntas e pequenas falhas presentes, principalmente, em unidades geológicas mais antigas podem acomodar deslocamentos, aliviando tensões e gerando sismos;
- ✓ Estes sismos são alívios de regime de tensão atual referido;
- ✓ Dependendo da orientação do plano de alívio em relação ao campo de tensão, o deslocamento poderá ser de tipo normal, inverso ou transcorrente.

### **Sismicidade Regional**

Esta análise da caracterização da sismicidade regional para a área do empreendimento foi baseada no relatório “Avaliação Sismotectônica para os Aproveitamentos Múltiplos Jequitai I e II” elaborado pelo consórcio ENGEVIX-ENGEORPS em 1993. Este relatório considerou uma área de pesquisa de 320 km de raio a partir dos sítios de barramento cogitados no rio Jequitai. Os locais selecionados para os aproveitamentos hidráulicos situam-se no interior da Província Tectônica São Francisco.

Foram detectados vários epicentros sísmicos na Província Tectônica São Francisco (Quadro 2.1), indicando que partes dos terrenos cratônicos apresentam mobilidade tectônica. No entanto, esta mobilidade é muito fraca, como comprovam os parâmetros sísmicos já cadastrados entre 1855 e 1992, mostrados no Quadro 2.1.

**QUADRO 2.1**  
**EPICENTROS SÍSMICOS REGISTRADOS ENTRE 1855 E 1992**

No	LOCALIDADE	DATA DE OCORRENCIA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ERRO EPIC (km)	INTENSIDADE (MM)	MAGNITUDE (mb)
			Lat S	Long W			
1	B. Cocais (MG)	25/07/1855	19.95	43.46	(20)	V	--
2	Jaguara (MG)	--/08/1867	20.01	47.40	(20)	--	--
3	Serro (MG)	11/11/1872	18.60	43.39	(20)	--	--
4	Patos de Minas (MG)	--/04/1899	18.59	46.52	(20)	IV-V	--
5	M. M. Velho (MG)	20/03/1915	19.98	43.87	(20)	--	--
6	Paracatu (MG)	--/09/1919	17.22	46.87	(20)	III-IV	--
7	Pantame (MG)	04/10/1948	19.95	43.25	(20)	--	--
8	R. Pati (MG)	10/11/1948	19.87	43.35	(05)	IV	--
9	Tres Marias (MG)	--/--/1960	18.20	45.25	(05)	--	--
10	Igaratinga (MG)	12/08/1965	19.94	44.72	20	--	3,3(3)
11	S. J. Jacuri (MG)	--/--/1968	18.44	42.59	(20)	--	--
12	S. M. Suaci (MG)	16/07/1969	18.18	42.41	(20)	--	--
13	S. J. Jacuri (MG)	06/02/1970	18.44	42.59	(20)	VII	--
14	S. J. Jacuri (MG)	06/02/1970	18.44	42.59	(20)	--	--
15	Tuparece (MG)	--/08/1972	16.42	41.64	(10)	VI	--
16	Tuparece (MG)	11/04/1974	16.42	41.64	05	VI-VII	3,7(3)
17	Tuparece (MG)	08/06/1974	16.42	41.64	(10)	--	--
18	Cor. Jesus (MG)	28/09/1976	16.70	44.37	(20)	IV	2,3(1)
19	Janauba (MG)	20/11/1977	15.80	43.50	30	--	3,7(4)
20	M. Claros (MG)	26/07/1978	16.72	43.86	(20)	--	--
21	Tuparece (MG)	10/11/1981	16.47	41.70	05	--	2,9(1)
22	SW Bahia (BA)	23/07/1982	14.26	45.72	50	--	2,9(1)
23	Araxa (MG)	25/08/1982	19.60	47.10	50	--	3,2(1)
24	Tuparece (MG)	05/09/1982	16.47	41.70	10	--	3,2(1)
25	Felixlândia (MG)	20/09/1982	18.80	44.80	10	--	3,1(1)
26	Tuparece (MG)	07/03/1983	16.47	41.70	(10)	III	2,9(1)
27	Tuparece (MG)	07/03/1983	16.47	41.70	20	IV	3,1(1)
28	Tuparece (MG)	07/03/1983	16.47	41.70	(10)	III	2,4(1)
29	Tuparece (MG)	10/03/1983	16.47	41.70	10	--	--
30	Buritizeiro (MG)	07/12/1983	17.20	45.00	20	--	2,9(1)

Fonte: Avaliação Sismotectônica para os Aproveitamentos Múltiplos Jequitai I e II, ENGEVIX-ENGECORPS, 1993.



**QUADRO 2.1**  
**EPICENTROS SÍSMICOS REGISTRADOS ENTRE 1855 E 1992**

No	LOCALIDADE	DATA DE OCORRENCIA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ERRO EPIC (km)	INTEN- SIDADE (MM)	MAGNI- TUDE (mb)
			Lat S	Long W			
31	Uberaba (MG)	27/12/1983	19.92	47.92	20	--	2,2(1)
32	Paracatu (MG)	05/01/1984	17.40	46.40	(50)	--	2,8(1)
33	Paracatu (MG)	05/01/1984	17.40	46.40	(50)	--	2,3(1)
34	NW Minas (MG)	07/01/1984	15.53	45.57	40	--	2,1(1)
35	NW Minas (MG)	12/01/1984	15.53	45.57	40	--	2,4(1)
36	NW Minas (MG)	13/01/1984	15.53	45.57	40	--	2,0(1)
37	Tuparece (MG)	20/10/1984	16.47	41.70	(20)	--	3,0(1)
38	Cor. Jesus (MG)	09/12/1984	16.62	44.13	15	--	3,2(1)
39	Jequitai (MG)	08/06/1985	17.30	44.40	(50)	--	2,8(1)
40	Tuparece (MG)	08/07/1985	16.47	41.70	05	--	2,8(1)
41	Belo Horizonte (MG)	22/01/1986	19.93	43.86	10	II	2,7(1)
42	P. Leopoldo (MG)	29/10/1986	19.60	44.00	15	IV	1,9(1)
43	Matozinhos (MG)	22/09/1987	19.50	44.00	20	--	3,2(1)
44	Tres Marias (MG)	30/08/1988	18.80	45.14	20	--	2,6(1)
45	D. Indaia (MG)	09/03/1989	19.40	45.70	20	IV	3,4(1)
46	D. Indaia (MG)	31/03/1989	19.40	45.70	30	--	2,4(1)
47	D. Indaia (MG)	01/04/1989	19.40	45.70	30	--	2,3(1)
48	Sacramento (MG)	18/12/1989	19.95	47.16	20	IV	3,4(1)
49	Sacramento (MG)	19/01/1990	19.95	47.16	10	V-VI	4,2(1)
50	Manga (MG)	28/02/1990	14.57	44.12	(05)	IV	3,1(1)
51	Manga (MG)	02/03/1990	14.57	44.12	(05)	--	2,7(1)
52	Sacramento (MG)	31/05/1990	19.95	47.16	20	II	2,6(1)
53	T. Otoni (MG)	11/11/1990	17.82	41.46	30	--	2,4(1)
54	Bocaiuva (MG)	28/12/1990	17.07	44.04	50	--	2,9(1)
55	S. J. Almeida (MG)	06/09/1991	19.49	43.82	50	--	3,0(1)
56	A. Lima (MG)	14/09/1991	18.03	44.29	30	--	2,3(1)
57	C. Altos (MG)	29/11/1991	19.80	46.16	40	--	2,4(1)
58	Sacramento (MG)	02/03/1992	19.95	47.16	10	IV	3,8(1)
59	Betim (MG)	29/06/1992	19.95	44.24	05	IV	2,2(1)
60	Betim (MG)	25/07/1992	19.95	44.24	05	IV	2,6(1)

Fonte: Avaliação Sismotectônica para os Aproveitamentos Múltiplos Jequitai I e II, ENGEVIX-ENGECORPS, 1993.

Há uma concentração de epicentros entre as cidades de Buritizeiro, Augusto Lima, Bocaiúva e Montes Claros. Apesar de representar uma porção de instabilidade no interior do Cráton São Francisco, esta área não apresenta estudos neotectônicos suficientes para ser caracterizada como uma zona sismogênica.

Os sismos registrados não estão vinculados a estruturas geológicas específicas, com as quais possam se correlacionar; apresentam níveis de intensidade e de magnitudes baixos, que não permitem a elaboração de mapas de isossistas nem realizar estudos de atenuação que pudessem ser aplicados ao empreendimento.

É importante salientar que a cerca de 200 km dos reservatórios Jequitai 1 e 2 aconteceu a maior magnitude observada no Estado de Minas Gerais, o terremoto de Caraibas/Itacarambi, de 07 de dezembro de 2007, com magnitude 4,9 mb e que produziu a primeira vítima fatal decorrente direta de terremoto no Brasil.

### **Sismicidade Local**

Este estudo também é baseado no relatório “*Avaliação Sismotectônica para os Aproveitamentos Múltiplos Jequitai I e II*” elaborado pelo consórcio ENGEVIX-ENGECORPS em 1993. E segundo o próprio a área balizada pelas cidades de Buritizeiro, Augusto Lima, Bocaiúva e Montes Claros foi considerada de instabilidade geológica e o Quadro 2.1 apresenta os aspectos de sismicidade destas localidades.

Consideradas as características técnicas de profundidade e área inundada, o reservatório de Jequitai não está enquadrado entre os que apresentam maior probabilidade de ocorrência de sismos induzidos. Entretanto, na região onde está inserido o empreendimento aconteceu a maior magnitude sísmica observada no Estado de Minas Gerais; 4,9 mb, em 07 de dezembro de 2007. E, considerando ainda a possibilidade de manifestação de sismicidade induzida devido ao histórico de eventos naturais registrados regionalmente, é recomendável o monitoramento sismográfico dos futuros reservatórios de Jequitai 1 e Jequitai 2.

A probabilidade de ocorrência de sismos desencadeados de grande magnitude é muito baixa, considerando-se as características dos reservatórios de Jequitai 1 e Jequitai 2 bem como os registros históricos e instrumentais disponíveis de sismos na área onde serão construídos os dois empreendimentos.

### **Sismos Induzidos**

Mesmo não sendo possível evitar os terremotos, o impacto do homem no ambiente pode determinar a ocorrência de sismos de uma categoria especial, sismos induzidos pelo homem (sismos artificiais) (MARZA ET AL. 1999). Estes eventos ocorrem em função de:

- ✓ explosões, especialmente as subterrâneas;
- ✓ injeção profunda de líquidos sob pressão;
- ✓ extração de líquidos;
- ✓ escavações em minas e pedreiras; e
- ✓ enchimentos de lagos artificiais.

Os primeiros quatro eventos, listados acima, produzem pequenos tremores com magnitudes de 3 a 4, enquanto os tremores induzidos por reservatórios (TIR) podem alcançar magnitudes moderadas entre 5 e 7.

Desde a identificação de relação causa e efeito entre a sismicidade e o enchimento do lago Mead, a SIR já foi observada mundialmente em cerca de duzentos reservatórios.

De uma forma geral, pode-se afirmar que a SIR está condicionada a diversos fatores, com destaque para:

- ✓ tamanho e peso do reservatório;
- ✓ esforços tectônicos pré-existent;
- ✓ condições geológicas e hidromecânicas específicas da área;
- ✓ interação construtiva entre a orientação dos esforços sismotectônicos; e
- ✓ dinâmica da variação do nível d' água do lago e a carga suplementar causada pelo reservatório.

Ressalta-se que já ocorreram casos de SIR causados pelo esvaziamento do reservatório e outros nos quais a sismicidade natural local baixou, após o enchimento do lago.

A SIR é, fundamentalmente, o resultado do desencadeamento dos processos de falhamento, em áreas onde o estado dos esforços estão próximos de rupturas sísmicas, iniciadas por uma combinação de variáveis tais como:

- ✓ peso adicional da água acumulada;
- ✓ aumento da pressão intersticial; e
- ✓ corrosão do esforço causado pela percolação da água através das microfraturas das rochas.

A resposta sísmica dos reservatórios pode ser dividida em duas categorias:

- ✓ "*sismicidade inicial*" (resposta transitória que ocorre logo após o enchimento inicial do lago ou está relacionado com uma grande variação do nível d'água); e
- ✓ "*sismicidade de estado estável*" (aparece alguns anos depois do enchimento inicial, com sismicidade associada mais duradoura).

Em estudos internacionais realizados, foram levados em consideração os sismos induzidos por enchimento de reservatórios, ocorridos até o final da década de 1980 em todo o mundo e devidamente registrados, que objetivaram correlacionar os principais fatores de risco:

- ✓ profundidade e volume do reservatório;
- ✓ condições geológicas;
- ✓ atividade das falhas; e
- ✓ tipo de tensão atuante nas rochas de região.

Após a análise estatística, os resultados obtidos indicam que a profundidade de ocorrência de sismos induzidos aumenta efetivamente, quando o volume do reservatório (V) e sua profundidade (H) ultrapassam  $10^{10} \text{ m}^3$  e 92 m, respectivamente.

Os reservatórios Jequitaí I e Jequitaí II, com volumes inferiores a este e profundidade próximas de 40 m, não estão enquadrados entre os que se apresentam com maior probabilidade de ocorrerem sismos induzidos.

### Aspectos da Sismicidade Induzida por Reservatórios no Brasil

Nas regiões intra-placas, como é o caso do Brasil, é bastante difícil verificar-se a relação entre a sismicidade natural e a geotectônica, principalmente pela baixa sismicidade nestas áreas.

No Brasil, os problemas relacionados a SIR foram primeiramente abordados durante os anos 70, quando, de forma pioneira, a CEMIG iniciou no país o monitoramento sismográfico de reservatórios. Na década de 80, o interesse cresceu, tanto pelo lado das companhias energéticas em conhecer e reduzir o impacto ambiental da SIR, como pelo lado de geofísicos e engenheiros para monitorar, entender e conhecer as causas e reduzir seus efeitos (MARZA ET AL., 1999).

A partir das características dos casos de SIR, reconhecidos no Brasil, podem-se fazer as seguintes considerações:

- ✓ existe uma grande variabilidade na forma de surgimento de SIR;
- ✓ pelo menos 19 (dezenove) reservatórios são associados com SIR, incluindo nestes os casos comprovados e possíveis;
- ✓ para a maioria dos casos (76%) o tempo de retardo de 3 anos mostra que a SIR refere-se a tipo "sismicidade inicial", ou seja, o meio responde rapidamente as perturbações causadas pelo enchimento do lago;
- ✓ os 5 (cinco) casos restantes (24%), pertencem à categoria de SIR, denominada de "sismicidade de estado estável". O maior tempo de retardo observado 18 (dezoito) anos, ocorreu no lago de Carmo de Cajuru (MG); alguns reservatórios apresentam um "ciclo repetitivo" de TIR, ou seja, mais de um evento principal. Neste sentido cabe mencionar:
  - ✧ Tucuruí (PA) com 2 TIR em 1995 ( $m_R = 3,4$ ) e 1998 ( $m_R = 3,6$ );
  - ✧ Nova Ponte (MG) com 2 TIR em 1995 ( $m_R = 3,5$ ) e 1998 ( $m_R = 4,0$ ); e
  - ✧ Carmo do Cajuru (MG) com 3 TIR em 1971 ( $m_R = 3,5$ ); 1972 ( $m_R = 3,7$ ) e 1976 ( $m_R = 3,2$ ).
- ✓ reservatórios com profundidade moderada como Carmo Cajuru (MG) e Balbina (AM) apresenta TIR bastante grandes (em torno de 3,5  $m_R$ ).

### **3. OBJETIVOS**

O monitoramento sismológico tem por objetivo avaliar a atividade sísmica natural na área de influência do lago, durante um período de pelo menos um ano antes do enchimento, para análise comparativa entre o nível de atividade natural e a eventual atividade induzida após o enchimento. O monitoramento deve perdurar após a entrada em operação do reservatório, com vistas a verificar as mudanças no nível de sismicidade natural, devido ao enchimento do reservatório e orientar a adoção de eventuais procedimentos futuros, no que diz respeito à redução dos impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes de sismos com epicentros na área de influência do reservatório.

Além de detectar sismos induzidos pelo enchimento do reservatório, são objetivos desse programa de monitoramento sismológico estabelecer, quando possível, a correlação entre os sismos e feições geológicas e estruturais da área, determinar epicentros, intensidades, magnitudes, acelerações sísmicas do movimento do chão na área de influência e orientar a continuidade do monitoramento sismológico durante a operação do empreendimento.

Neste caso, serão propostas ações para as principais fases dos processos de implantação e operação do empreendimento:

- ✓ Fase de construção da barragem;
- ✓ Fase de enchimento do reservatório; e
- ✓ Fase de operação da usina.

Dessa forma, este programa visa apresentar o local de instalação e as especificidades e características de uma estação sismográfica e seus respectivos equipamentos para o monitoramento das condições de sismicidade da região onde serão construídos os barramentos Jequitá I e II.

### **4. PÚBLICO-ALVO**

O público-alvo deste programa são, principalmente, as comunidades presentes nas áreas de maior potencialidade de ocorrência de sismos induzidos. De acordo com estudos prévios e como já mencionado anteriormente a área balizada pelas cidades de Buritizeiro, Augusto Lima, Bocaiúva e Montes Claros foi considerada de maior potencialidade de ocorrência de sismos induzidos.

## 5. METODOLOGIA

O monitoramento sismológico da AID dos reservatórios de Jequitaiá I e II deverá ser realizado e controlado pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (UnB), através de uma estação sismográfica inicial e, posteriormente, por duas estações complementares, que farão parte integrante da rede sismográfica proposta.

Como já mencionado anteriormente, este programa será composto por três fases:

- ✓ Fase de construção da barragem;
- ✓ Fase de enchimento do reservatório;
- ✓ Fase de operação da usina.

Assim, o programa deverá ter início logo que o empreendimento for iniciado, ter prosseguimento durante o enchimento do reservatório e, finalmente, ao longo de, pelo menos, três anos depois de finalizada a fase de enchimento do mesmo.

Para que o programa seja executado ao longo das três fases mencionadas anteriormente, sugere-se que, no desenvolvimento do mesmo, sejam observadas as seguintes principais atividades:

- ✓ Designação e contratação de equipe técnica para execução do programa;
- ✓ Inspeção de campo;
- ✓ Atualização da listagem dos sismos naturais;
- ✓ Instalação de uma estação sismográfica na região, pelo menos 1 (um) ano antes do enchimento;
- ✓ Leitura, análise e interpretação dos dados produzidos pela estação e emissão de relatórios técnicos periódicos;
- ✓ Instalação de mais duas estações sismográficas, proximamente ao enchimento do lago;
- ✓ Acompanhamento do programa e análise de todos os dados produzidos, das possíveis atividades sísmicas naturais e/ou induzidas durante o enchimento do reservatório e em anos subseqüentes, a depender da presença ou não de sismicidade induzida.

## **6. AÇÕES, ATIVIDADES E OPERACIONALIZAÇÃO DO PROGRAMA**

É importante que reservatórios, mesmo aqueles inseridos em regiões distantes de bordas de placas tectônicas (ver Figura 2.1, já apresentada), como são os casos dos reservatórios Jequitaí I e II, onde a atividade sísmica é, na maioria das vezes, menor, sejam monitorados de forma adequada.

As ações, atividades e operacionalização deste programa visam exatamente o monitoramento dos sismos induzidos devido à formação dos reservatórios. Também são objetivos do programa adquirir a relação entre sismos e feições geológicas e estruturais da área, identificar epicentros, intensidades, magnitudes, acelerações sísmicas e a área de influência dos eventos sísmicos. Para isso será descrito abaixo cada etapa das atividades a serem realizadas, bem como as especificidades dos equipamentos geofísicos a serem utilizados e a localização da rede sismográfica a ser implantada na região do Projeto Hidroagrícola.

### **Designação e Contratação de uma Equipe Técnica para a Execução do Programa**

A equipe técnica necessária para a execução deste programa deve ser composta por dois geofísicos seniores, um geólogo de campo e um técnico em informática.

### **Inspeção de Campo**

Deverá ser feita uma inspeção de campo, juntamente com a equipe do Observatório Sismológico Nacional de Brasília, para escolher "in situ" o(s) local(is) com afloramentos de rocha sã para posicionar os equipamentos de sismologia, com o objetivo de formar a futura Rede Definitiva de Auscultação.

A região do entorno do reservatório, na etapa compreendida entre a Licença de Instalação e Licença de Operação, deverá ser percorrida para abranger todos os possíveis sítios ideais para a localização das estações, levando-se em consideração também a geologia regional e local. Os locais a serem futuramente escolhidos devem ser distantes o suficiente de fontes de ruídos muito fortes (como as rodovias) para evitar interferências nas observações a serem realizadas. Recomenda-se a escolha de um local para instalação de uma estação provisória inicial e de pelo menos dois outros locais para instalação das estações permanentes.

### **Atualização da Listagem dos Sismos Naturais**

O desenvolvimento do programa irá estabelecer que uma das atividades seja relativa à atualização dos sismos naturais regionais, dentro de um círculo de aproximadamente 400 km a partir do eixo das barragens, no sentido de verificar se houve sismos com magnitudes maiores das que já foram registradas e auxiliar na definição do sismo de projeto para a sua inclusão nos parâmetros para análise da estabilidade da barragem. As informações deverão ser obtidas através do Catálogo Sismológico Brasileiro e do Observatório Sismológico da UnB.



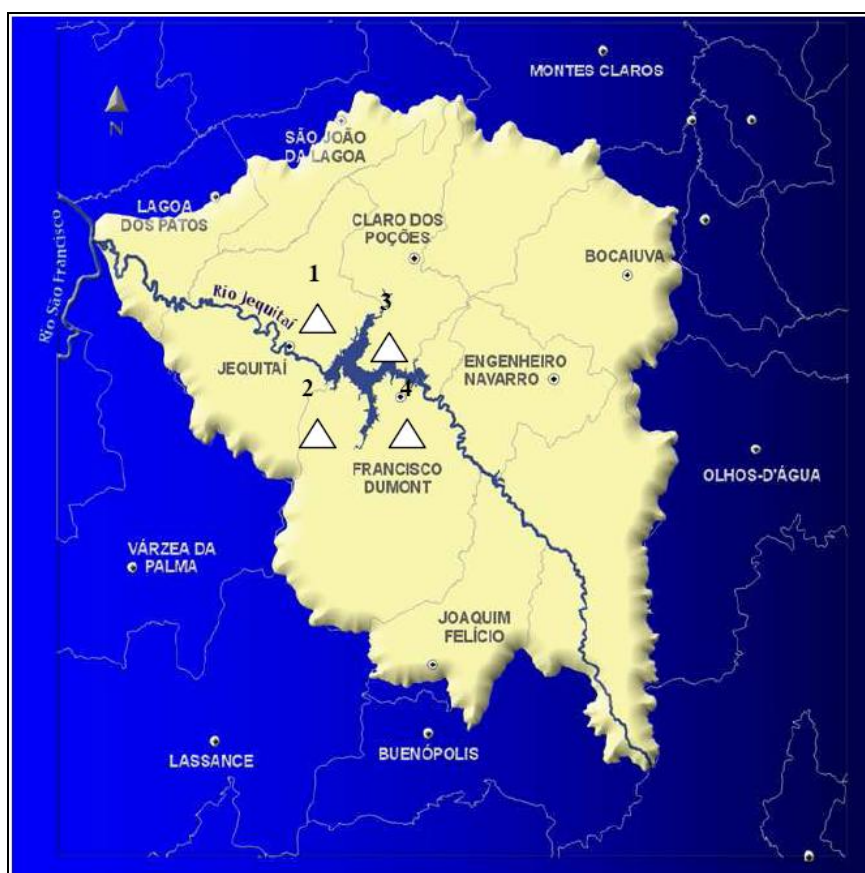
### **Instalação de uma Estação Sismográfica na Região, pelo menos 1 (um) Ano antes do Enchimento**

A primeira estação sismográfica deverá ser instalada próxima à barragem, a fim de quantificar e qualificar a atividade sísmica natural antes do enchimento do reservatório. A instalação dessa estação deve ser precedida da realização de testes de ruídos para escolha de local apropriado, buscando-se baixo nível de ruído, facilidade de acesso, condições topográficas adequadas, possibilidade de liberação de terreno para sediar a estação etc.; elaboração de projeto de abrigos para os equipamentos e das demais edificações civis; instalação, realização de teste de polaridade e calibração dos equipamentos e treinamento de pessoal para a operação.

### **Instalação de mais duas Estações Sismográficas, Proximamente ao Enchimento do Lago**

Para o monitoramento sismográfico da área de influência dos reservatórios de Jequitai 1 e 2, sugere-se a instalação de estações sismográficas tri-axiais digitais. Cada estação sismográfica sugerida é composta por um sensor/sismômetro de três componentes (N-S, E-W e Vertical) de banda larga, um registrador digital de três canais, com conversor A/D de 24 bits e relógio GPS, sistema de alimentação solar, incluindo baterias.

A configuração da rede proposta está indicada na Figura 6.1, onde os triângulos representam possíveis localizações de estações. No caso, dos quatro pontos indicados serão escolhidos três, a depender dos testes de ruído local os quais deverão ser feitos em vários pontos nas proximidades dos triângulos 1, 2, 3 e 4.



**Figura 6.1 - Indicação de possíveis localizações das estações sismográficas propostas (Triângulos).**

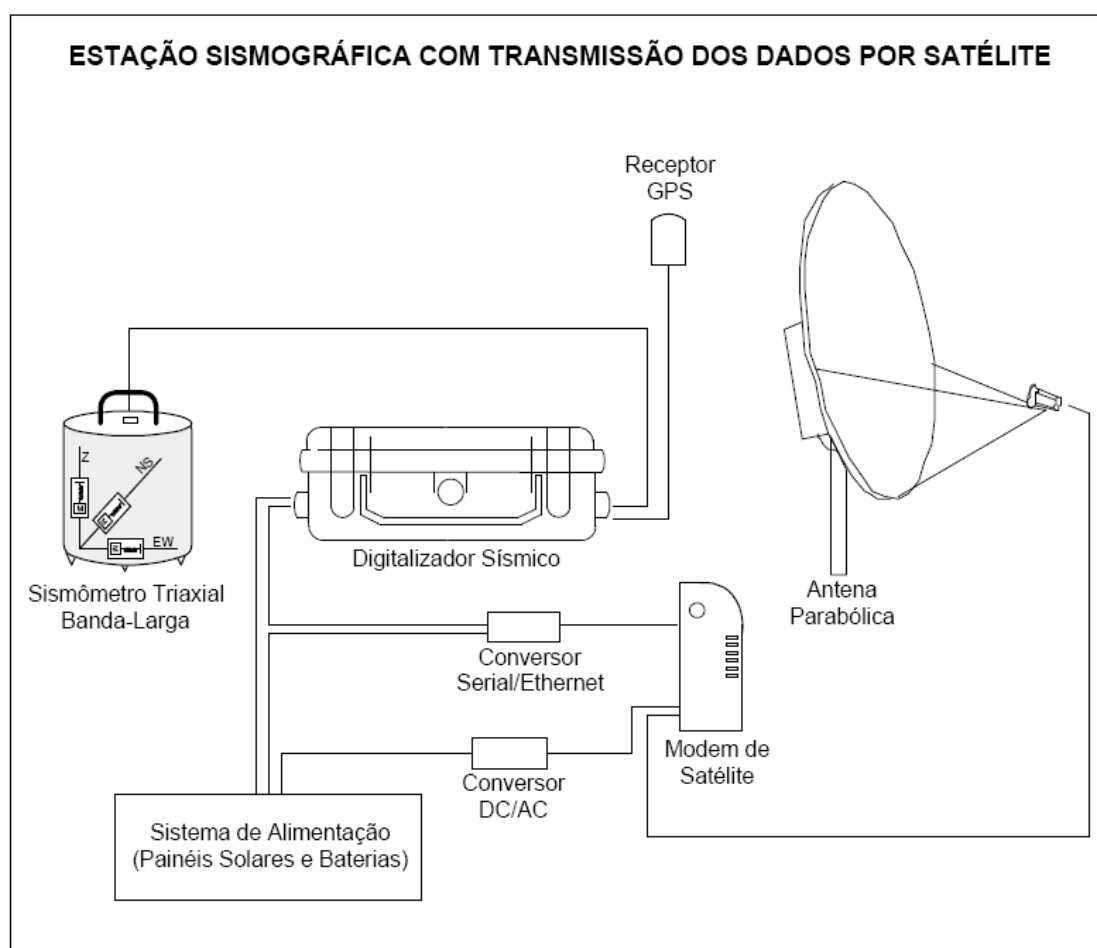


### Opções de Sistemas Sismográficos

Os dados adquiridos no campo, em cada estação remota, poderão ser enviados, via satélite, diretamente para Brasília (Opção 1), ou enviados para uma estação central, via rádio digital, localizada no escritório da usina e depois retransmitidos para Brasília via link de Internet ou por satélite (Opção 2). Neste último caso será necessária a aquisição de equipamentos complementares - computador e periféricos, para processar e arquivar os dados e um sistema 'backup' de dados.

#### a) Opção 1

Esta opção envolve a contratação de serviço de transmissão de dados via satélite de cada ponto remoto (em anexo a indicação do prestador desse serviço) diretamente para o local onde serão gravados e analisados. A Figura 6.2 mostra um diagrama em blocos dos equipamentos utilizado nesta configuração. A antena parabólica e o modem satélite são disponibilizados pelo fornecedor dos serviços de transmissão de dados. Para esta opção deverão ser adquiridos quatro sistemas semelhantes ao indicado na mesma figura; três para serem instalados e um reserva. Os Quadros 6.1 e 6.2 discriminam, respectivamente, os equipamentos nacionais e importados para esta opção.



**Figura 6.2 - Configuração do Sistema de Detecção e Transmissão (via satélite) de dados sísmicos de uma estação sismográfica (remota) típica com os dados enviados diretamente do campo**

**QUADRO 6.1**  
**PLANILHA DE CUSTOS PARA OPÇÃO 1 – EQUIPAMENTOS NACIONAIS**

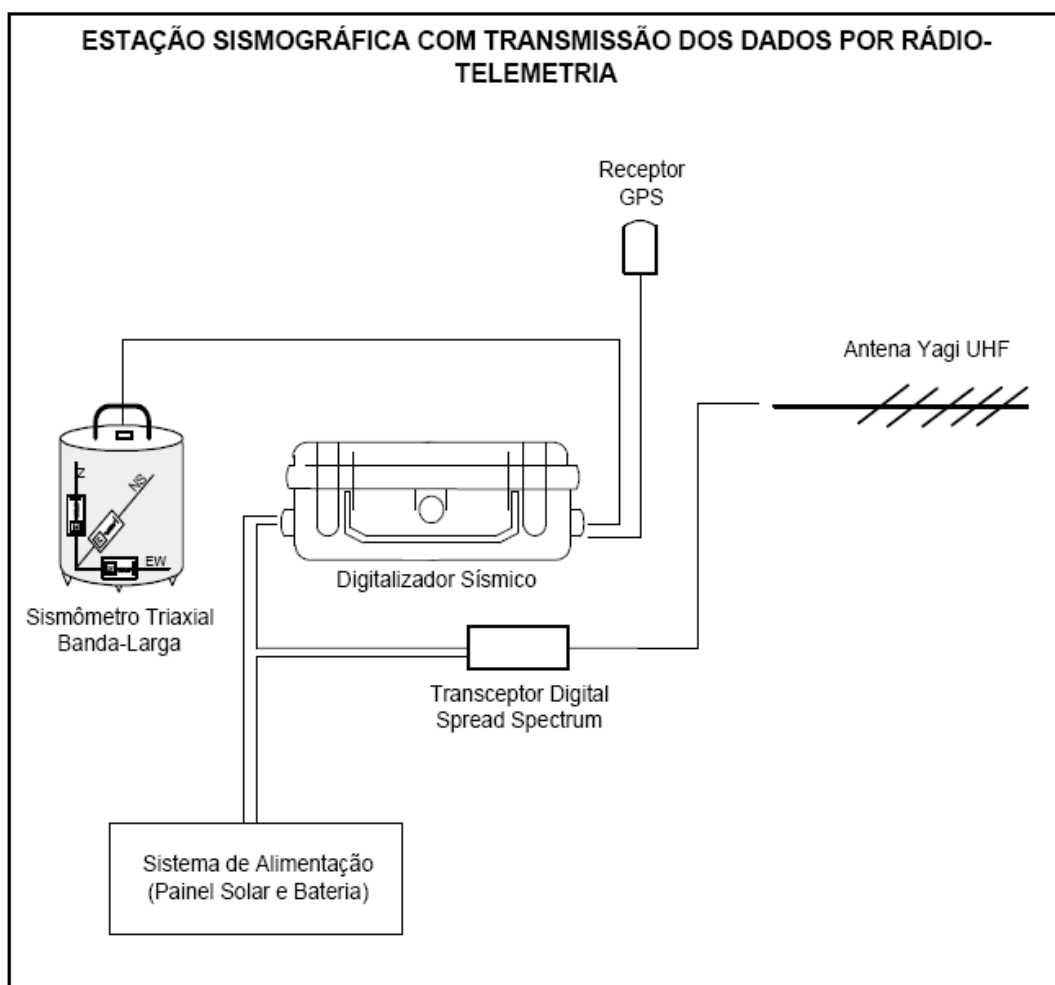
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UN	CUSTO UNIT. R\$	SUB TOTAL R\$
01	Painel solar 12V – 75 Wp	18	Unid.	1.700,00	28.900,00
02	Regulador de carga 12 V – 30 Ampéres	04	Unid.	400,00	1.600,00
03	Bateria estacionária 12 V – 100 Ah	09	Unid.	450,00	4.050,00
04	Cabo elétrico flexível 10 mm	50	m.	4,00	200,00
05	Terminal 10 mm tipo garfo	60	Unid.	1,00	60,00
06	Conversor Serial/Ethernet	04	Unid.	797,50	3.190,00
07	Inversor DC/AC	04	Unid.	350,00	1.400,00
08	Mastro de ferro galvanizado, 6 m e 3"	03	Unid	100,00	300,00
09	Sistema de aterramento	03			
10	Serviço de transmissão de dados por satélite	03	Unid	600,00	1.800,00
<b>TOTAL EM REAIS (PARCIAL)</b>					<b>45.000,00</b>

**QUADRO 6.2**  
**PLANILHA DE CUSTOS PARA OPÇÃO 1 – EQUIPAMENTOS IMPORTADOS**

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UM	CUSTO UNITÁRIO FOB US\$	SUB TOTAL FOB US\$
01	Unidade de aquisição de dados para sismômetro banda larga, com 3 canais de entrada.	04	Unid.	6.615,00	26.460,00
02	Sismômetro triaxial banda larga com cabo de ligação ao registrador.	04	Unid.	7.801,00	31.204,00
03	Supressor de transiente.	04	Unid.	498,00	1.992,00
<b>TOTAL EM DÓLARES AMERICANOS (FOB)</b>					<b>59.656,00</b>

b) Opção 2

Esta opção envolve a transmissão dos dados de cada estação remota, via rádio digital, para uma estação central de registro e retransmissão de dados. A Figura 6.3 mostra um diagrama em blocos dos equipamentos necessários para uma estação remota típica.

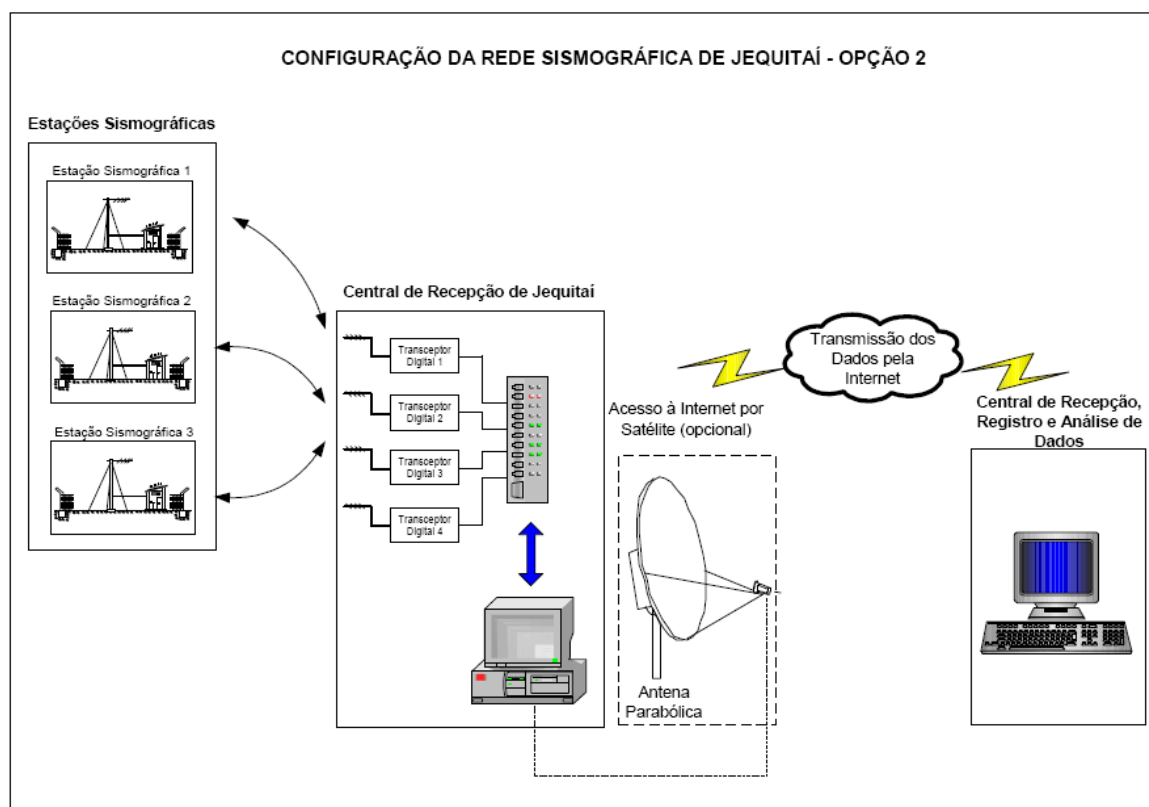


**Figura 6.3 - Configuração de um sistema típico de detecção, aquisição e transmissão (via rádio digital) de dados sísmicos para uma estação central de recepção, registro e retransmissão de dados**

Nesta opção é necessário acrescentar, para cada estação, um par de rádios spread spectrum, um par de antenas, cabos coaxiais e mastro para antena. Por outro lado, será necessário apenas um painel solar e uma bateria para alimentar os equipamentos no campo em cada estação.

A Figura 6.4 mostra o diagrama de sistema para a Opção 2. Observe que cada bloco na esquerda dessa figura, indicado como estação sismográfica 1, 2 e 3, representa o que está indicado em maior detalhe na Figura 6.3.

Esta opção envolve a aquisição de um computador e periféricos para a central de recepção de Jequitai. Entretanto, neste caso, pode ser usado, se disponível na central, um link de internet ou um único link de satélite ao invés de três, como na Opção 1.



**Figura 6.4 - Esquema de transmissão de dados das estações remotas (três blocos a esquerda da figura, cada um detalhado na figura 6.3) para uma central de recepção, registro e retransmissão de dados via internet ou satélite para o centro de análise de dados**

Os Quadros 6.3 e 6.4 apresentam os custos para a Opção 2, admitindo a utilização, respectivamente, de equipamentos nacionais e importados.

### QUADRO 6.3

#### PLANILHA DE CUSTOS PARA OPÇÃO 2 – EQUIPAMENTOS NACIONAIS

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UN	CUSTO UNITÁRIO R\$	SUB TOTAL R\$
01	Painel solar 12V – 75 Wp	03	Unid.	1.700,00	5.100,00
02	Regulador de carga 12 V – 10 Ampères	04	Unid.	200,00	800,00
03	Bateria estacionária 12 V – 100 Ah	03	Unid.	450,00	1.350,00
04	Computador Pentium 4 – 3 GHz – DVD RW – HD320 GB	01	Unid.	2.000,00	2.000,00
05	Cabo elétrico flexível 04 mm	30	m.	4,00	120,00
06	Terminal 04 mm tipo garfo	60	Unid.	1,00	60,00
07	Antena Yagi de 20 dBi	06	Unid.	300,00	1.800,00
08	Cabo Coaxial RGC-213	200	m	7,00	1.400,00
09	Mastro de ferro galvanizado, 12 m e 3"	04	Unid.	300,00	1.200,00
10	Sistema de aterramento	04	Unid.		
11	Serviço de transmissão de dados por internet, 1Mbps	01	Unid.	100,00	100,00
12	Conector N macho	12	Unid.	12,00	144,00
<b>TOTAL EM REAIS (PARCIAL)</b>					<b>17.574,00</b>

**QUADRO 6.4**  
**PLANILHA DE CUSTOS PARA OPÇÃO 2 – EQUIPAMENTOS IMPORTADOS**

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UM	CUSTO UNIT. FOB US\$	SUB TOTAL FOB US\$
01	Unidade de aquisição de dados para sismômetro banda larga, com 3 canais de entrada.	04	Unid.	6.615,00	26.460,00
02	Sismômetro triaxial banda larga com cabo de ligação ao registrador.	04	Unid.	7.801,00	31.204,00
03	Supressor de transiente.	04	Unid.	498,00	1.992,00
04	Conversor USB/Serial com 8 portas seriais	02	Unid.	565,00	1.130,00
05	Transceptor Spread Spectrum	08	Unid.	1.350,00	10.800,00
<b>Total FOB (US\$)</b>					<b>71.586,00</b>

### **Frequência de Monitoramento**

O monitoramento sísmológico dos reservatórios Jequitáí I e II deverá ser dividido em três etapas de monitoramento: (a) Fase de construção das barragens; (b) Fase de enchimento dos reservatórios e (c) Fase de operação das usinas.

#### **a) Fase de Construção das Barragens**

A sismicidade natural da região que se pretende construir as duas barragens de Jequitáí I e II foi estudada (Relatório 016-CDF-JEQ-RT-B061.A) em um período anterior à construção das barragens. Isso é necessário para a estimativa do risco sísmico na região de interesse, com considerações sobre o nível de cobertura do mesmo, determinação da relação frequência x magnitude para com isso estimar valores de probabilidade da ocorrência de danos a estruturas construídas nos locais escolhidos para as barragens.

Dessa forma, é necessário que haja uma atualização e um acompanhamento da sismicidade natural das áreas das construções das barragens, de maneira que se possa ter conhecimento do “nível zero” da atividade sísmica nas áreas. Deve-se nesta fase também acompanhar o comportamento dos equipamentos instalados nas estações. Uma vez que são equipamentos de mecânica de precisão e com sistemas eletrônicos sensíveis a condições ambientais locais, como variação da temperatura ambiente, acompanhando atentamente como eles se comportam durante esta fase de operação. Caso o local da estação escolhido não seja apropriado, a mesma poderá ser deslocada para outra localidade.

#### **b) Fase de Enchimento dos Reservatórios**

O início da operação da rede sismográfica deverá ocorrer nesta etapa do empreendimento e, conseqüentemente, início do monitoramento sísmológico da área em questão.

É importante nesta etapa a continuidade do monitoramento sísmico regional e acompanhamento dos eventos ocorridos durante a obra. Neste período de construção de estruturas, como já mencionado no presente programa, deverá ser observado o comportamento e a localização das pedreiras instaladas para o fornecimento do material para a construção das barragens. Recomenda-se a realização de algumas visitas às principais pedreiras para verificar a sua localização e obtenção da programação dos horários de detonação de explosivos.

Neste período de enchimento dos reservatórios é necessário o conhecimento das informações relativas ao nível d'água dentro dos mesmos, permitindo correlacionar um eventual aumento no nível das atividades sísmicas com o processo de enchimento. É necessário salientar que tal correlação nem sempre será diretamente proporcional, uma vez que o aumento na sismicidade pode não estar correlacionado diretamente com o enchimento do reservatório.

c) Fase de Operação das Barragens

O monitoramento sismológico pós-enchimento do reservatório deve ter acompanhamento de, no mínimo, três anos após a conclusão do enchimento.

O monitoramento sismológico contínuo, além de possuir um custo baixo (apenas o custo de operação da rede de sismógrafos e da análise dos dados gerados), permite verificar a atividade sísmica da região de forma contínua e evitar problemas de desmobilização da rede. Estes problemas estariam relacionados com um eventual aumento na sismicidade, percebido pelos moradores locais, que induziriam uma remobilização da rede, o que normalmente implica custos elevados. Logo, se for realizado um acompanhamento contínuo dos níveis de atividade sísmica, é possível detectar o problema com antecedência, o que minimizaria a surpresa dos proprietários do empreendimento e permitiria a conscientização da população local para o acompanhamento do fenômeno.

No “*Programa de Monitoramento Sismológico*”, as seguintes atividades devem ser realizadas durante a operação dos empreendimentos:

- ✓ Manutenção técnica rotineira dos equipamentos sismológicos que serão futuramente instalados;
- ✓ Leitura dos sismogramas obtidos dos discos rígidos das estações;
- ✓ Análise dos sismogramas registrados;
- ✓ Interpretação dos dados coletados;
- ✓ Emissão de relatórios periódicos, informando sobre o estado geral das estações sismográficas, das observações coletadas e dos resultados obtidos; e
- ✓ Reuniões periódicas entre a equipe responsável pelo monitoramento e a equipe a cargo da gestão na área ambiental do projeto.

### **Análise dos Dados e Elaboração de Relatórios**

Objetivando o sucesso da equipe de monitoramento sismológico nas suas funções é necessário que sejam disponibilizados ao longo da duração do projeto os seguintes dados:

- ✓ Relatório das detonações realizadas diariamente em pedreiras locais, e se for o caso, de pedreiras localizadas a distâncias superiores a 20 km dos reservatórios, se elas forem de grande porte;
- ✓ Leitura do nível da água nos reservatórios; e
- ✓ Dados sobre a base cartográfica da área afetada pelo reservatório, seja na forma de dados do sistema de informações geográficas, ou na forma de mapas topográficos ou geológicos da região do empreendimento.

## **7. CRONOGRAMA FÍSICO DE ATIVIDADES**

Prevê-se um acompanhamento da atividade sísmica (antes, durante e depois da formação do reservatório), mediante análise e interpretação dos dados produzidos pela(s) estação(ões) e compreendendo a preparação de relatórios técnicos e analíticos, a serem emitidos quadrimestralmente, no período de operação de uma estação sismográfica, e trimestralmente, na fase que precederá o enchimento do reservatório, a partir do início de operação da rede com as três estações.

O cronograma físico de atividades deste programa está apresentado no 929-CDF-PMA-RT-P062 - Plano de Ação Ambiental – ANEXO I.

## **8. RECURSOS HUMANOS E MATERIAIS**

A equipe técnica necessária para a realização e acompanhamento do atual programa será composta pelos seguintes profissionais:

- ✓ Dois Geofísicos Seniores;
- ✓ Um Geólogo de campo;
- ✓ Um técnico em Informática;

Os materiais necessários para a execução deste programa estão apresentados no Anexo I.

## **9. CUSTOS**

Caso seja escolhida a Opção 1 antes citada, os custos para a execução deste programa serão:  
(a) utilizando equipamentos fabricados no Brasil, somente a instalação da rede sismográfica

custará R\$ 45.000,00; (b) com a utilização de equipamentos importados, o custo sobe para US\$ 59.656,00.

Para a execução da Opção 2 antes mencionada, os custos serão de: (a) utilizando equipamentos nacionais – R\$ 17.574,00 e para a utilização dos materiais importados o custo ficará em US\$ 71.586,00.

Independentemente da opção que será escolhida, ainda existem os custos básicos que serão absorvidos para o desenvolvimento do programa.

O custo de implantação deste programa está apresentado no 929-CDF-PMA-RT-P062 - Plano de Ação Ambiental – ANEXO II.

Portanto, após a escolha de qual opção será executada, o custo total deste programa será a soma dos custos básicos com o preço para a instalação da rede sismográfica.

## **10. AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO**

O atual programa, como já mencionado anteriormente, deverá realizar o monitoramento das atividades sísmicas na região dos reservatórios Jequitáí I e II mensalmente.

A avaliação do “Programa de Monitoramento Sismológico” será realizada por intermédio dos próprios relatórios que serão produzidos, ao final de cada quadrimestre e/ou trimestre, no decorrer do Programa.

## **11. RESPONSABILIDADE TÉCNICA E CONVÊNIOS**

A equipe técnica responsável pela execução deste projeto será constituída de:

- ✓ Dois Geofísicos Seniores;
- ✓ Um Geólogo.

Deverá ser estabelecida uma minuta de convênio que futuramente irá ser celebrado entre a CODEVASF e a UNB, na etapa posterior do processo, ou seja, na fase da LO – Licença de Operação.

Este convênio deverá ser firmado tendo em vista que os sinais captados pelo sismômetro na estação deverão ser transmitidos para o sismógrafo registrador, onde serão armazenados e posteriormente encaminhados ao Observatório Sismológico de Brasília da UNB, onde serão analisados e interpretados.

Vale ressaltar que nos anos de 1997 e 1998 foram firmados convênios entre a FUB – Universidade de Brasília e a CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco, através de dois termos aditivos, já objetivando o monitoramento sismológico da região do empreendimento. E que o Observatório Sismológico de Brasília, nos tempos atuais,



se mostra bastante interessado em reatar este convênio previamente estabelecido, para assim realizar a execução do presente programa ambiental.

## **12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v.7, p. 349-64. 1977.
- BARROS, L. V. (2006) Curso de Sismologia Básica e Aplicada. Observatório Sismológico, UnB, em preparação.
- BRANCO, J.J.R. e COSTA, M.T. Roteiro da Excursão Belo Horizonte – Brasília. Belo Horizonte, Instituto de Pesquisas Radioativas/UFMG. 1961.
- COUTO, J.G.P. e BEZ, L.A. A Glaciação Jequitaí: um guia estratigráfico para o Pré-Cambriano Superior no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.11, p. 11-21. 1981.
- DARDENNE, M.A., FARIA, A., MAGALHÃES, L.F. e SOARES, L.A. O tilito da base do Grupo Bambuí na borda ocidental do Cráton do São Francisco. Brasília, SBG. Boletim Informativo, p. 85-97. 1978.
- HARLAND (Editors), *Earth's Pre-Pleistocen glacial record*. Cambridge Univ. p. 933-39. 1981.
- HETTICH, M. Stratigraphie und genese des Macaúbas nordlich der Serra Negra, Espinhaço – Zone, Minas Gerais, Braasilien. *Geol. Jahrb. Beih.*, v.14, p. 47-85. 1975.
- INDA, H.A.V., SCHORSCHER, H.D., DARDENNE, M.A., SCHOBENHAUS, C., HARALYI, N.L.E., BRANDO, P.C.A., RAMALHO, R.O., O Cráton do São Francisco e a Faixa de Dobramento Araçuaí. *Geologia do Brasil*. Brasília, DNPM, p. 193-248. 1984.
- KARFUNKEL, B. e KARFUNKEL, J. Geologia da Serra do Espinhaço no norte de Minas Gerais (Itacambira-Botumirim). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto. Anais. p. 169-178. 1976.
- L.V. Barros, "Sismicidade Induzida por Reservatório – Caracterização e análise de caso no Brasil", Exame de qualificação ao doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 95pp., 2001.
- MARINI, O.J., FUCK, R.A., DARDENNE, M.A. e DANNI, J.C.M. Província Tocantins: setores central e sudeste. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blucher, p. 205-64. 1984.
- Marza, V., Barros, L. V., Soares, J. E. et al., Aspectos da sismicidade induzida por reservatórios no Brasil. Anais do XXII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte, 1, 199-211, 1999.
- MASCARENHAS, J.F., PEDREIRA, A.J., MISI, A., MOTTA, A.O., e Sô, J.H.S. Província São Francisco. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blucher, p. 46-122. 1984.

- OLIVEIRA, M.A.A. Contribuição a Geologia da parte sul da Bacia do São Francisco e áreas adjacentes. Petrobrás, Coletâneas de Relatórios de Exploração, n. 1, p. 73-104.
- RADAMBRASIL. Mapa Geológico da Folha Brasília, SD. 23. Projeto Radambrasil, Levantamento de Recursos Naturais, V.29. Brasília.
- Relatório 016-CDF-JEQ-RT-B061.A - "Avaliação Sismotectônica para os Aproveitamentos Múltiplos Jequitáí I e II"- ENGEVIX-ENGECORPS, 1993.
- ROCHA CAMPOS, A.O. e HASUI, Y. Tilites of the Macaúbas Group (Proterozoic) in Central Minas Gerais and Southern Bahia, Brazil. In: M.J. HAMBREY e W.B.
- SCHOLL, W.U. Der sudwestliche Randbereich der Espinhaço – Zone, Minas Gerais, Brasilien. v. 61, p. 201-16. 1972.
- VIVEIROS, J.F.M., Sô, E.L., VILETA, O.V., SANTOS, O.M., MOREIRA, J.M.P., HOLDER NETO, D. e VIEIRA, W.S. Geologia dos vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1, Diamantina, p. 15-17. 1979.
- J.F.M., Sô, E.L., VILETA, O.V., SANTOS, O.M., MOREIRA, J.M.P., HOLDER NETO, D. e VIEIRA, W.S. Geologia dos vales dos rios Peixe Bravo e Alto Vacaria, norte de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1, Diamantina, p. 15-17. 1979.

**ANEXO I**  
**DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS,**  
**SERVIÇOS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, COM**  
**INDICAÇÃO DE POTENCIAIS FORNECEDORES**

---

---

### **Especificações técnicas do instrumental importado**

Os equipamentos importados, por uma questão de padronização, deverão ser adquiridos todos do fabricante GURALP, pois além das facilidades de operação apresentam a grande vantagem de fornecer gratuitamente software para análise de dados. As especificações feitas na sequência serão indicadas por itens de acordo com os quadros 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4.

✓ Item 1 - Unidade de aquisição de dados - modelo DM24-S3

- ✧ 3 canais de entrada e gravação de dados sísmicos com 24 bits de resolução;
- ✧ 8 canais de entrada auxiliares em modo “single ended” com 20 bits de resolução;
- ✧ entrada dos canais sísmicos em modo diferencial com proteção contra transiente;
- ✧ gravação dos dados em “flash memory” com capacidade total de, pelo menos, 2GBytes;
- ✧ interface USB ou fireware disponível;
- ✧ receptor GPS externo para correção do relógio da Unidade de Aquisição, com conexão serial;
- ✧ gerador de sinal interno para calibração do sensor, com ajuste de frequência, amplitude, duração e com seleção de forma de onda;
- ✧ com DSP (Digital Signal Processor);
- ✧ tamanho compacto;
- ✧ para uso em campo;
- ✧ baixo consumo, menor que 2 Watts;
- ✧ tensão de entrada de 10 a 36 VDC;
- ✧ resistente à água;
- ✧ comunicação através de porta serial com isolamento ótico;
- ✧ diferentes possibilidades de seleção de taxas de amostragem;
- ✧ gravação continua dos dados;
- ✧ detector de eventos do tipo STA/LTA disponível;
- ✧ cabos ou conectores para: alimentação, GPS, sismômetro, comunicação serial;
- ✧ para ser utilizado em rede sismográfica local, onde os dados serão transmitidos continuamente por link de satélite (com acesso à Internet) para uma central de recepção e registro;
- ✧ respectivo software de recepção, registro, armazenagem dos dados e controle de estações, a ser utilizado em computador PC (ambiente Windows), na central de recepção e registro, com visualização simultânea de, pelo menos, 8 estações triaxiais, i.e, 24 canais;
- ✧ manual técnico e de operação;

- ✧ garantia de, pelo menos, 1 (um) ano.
- ✓ Item 2 – Sismômetro de banda larga, modelo CMG-40T
  - ✧ triaxial (3 componentes internas ortogonais – Norte/Sul; Leste/Oeste; e Vertical);
  - ✧ nível de ruído eletrônico menor ou igual a  $-172 \text{ dB (rel. } 1 \text{ m}^2\text{s}^{-4}\text{Hz}^{-1}\text{)}$ ;
  - ✧ entrada de calibração disponível para todas as componentes internas;
  - ✧ resposta em frequência de 30 segundos a 100 Hz;
  - ✧ saída em velocidade banda larga por “force feedback”;
  - ✧ funcionamento mecânico por molas de suspensão para as massas;
  - ✧ ajuste de centro das massas através de potenciômetros;
  - ✧ resposta em velocidade de 800 V/m/s ( $2 * 400 \text{ V/m/s}$ );
  - ✧ tensão de alimentação +12 VDC;
  - ✧ consumo de até 50 mA em 12 VDC;
  - ✧ ressonância parasita (espúrios) acima de 450 Hz vertical;
  - ✧ faixa de operação de  $-10^\circ \text{ C}$  a  $+75^\circ \text{ C}$ ;
  - ✧ corpo do sismômetro em aço inoxidável;
  - ✧ portátil;
  - ✧ resistente à água;
  - ✧ sem necessidade de trava para as massas durante o transporte;
  - ✧ cabo para ligação à Unidade de Aquisição;
  - ✧ fornecimento dos pólos-e-zeros da função de transferência do sismômetro;
  - ✧ manual técnico e de operação;
  - ✧ garantia de, pelo menos, 1 (um) ano.
- ✓ Item 3 – Supressor de transiente, modelo DM24-TS
  - ✧ desenhado para ser conectado ao digitalizador (Unidade de Aquisição) CMG-DM24-S3;
  - ✧ deve proteger o digitalizador e os seus componentes associados contra surtos (transientes) provocados por raios ou descargas eletrostáticas;
  - ✧ proteção disponível para a linha de dados (RS-232), para o GPS e para a linha de alimentação.

### Equipamentos Nacionais

Itens 1 e 2 – painel solar e regulador de carga, modelo A75, da Atersa Construído com células de silício monocristalino, com geração global de pico igual a 75 Watts de potência, para utilização em circuito de 12 Volts - composto de estrutura metálica para suportar seis placas

solares, feita em alumínio ou ferro galvanizado (para fixação em poste de 2") e regulador de carga com capacidade de 30 Amperes (para utilização no mesmo circuito de 12 Volts).

A garantia para o painel solar deverá ser de, pelo menos, 20 (vinte) anos, enquanto para o controlador de carga de, pelo menos, 1 (um) ano.

✓ Item 3 – bateria estacionária, modelo DF2000, marca DELPHI

Com tensão de 12 Volts e 115 Ah de capacidade, livre de manutenção e apropriada para utilização em sistemas fotovoltaicos. A garantia deverá ser de, pelo menos, 1 (um) ano.

✓ Item 4 – Computador PC

- ✧ processador Pentium IV ou maior;
- ✧ 3 GHz ou mais de velocidade de clock;
- ✧ 2 GB de RAM;
- ✧ gravador de DVD RW interno;
- ✧ HD de 500 GB ou maior;
- ✧ monitor LCD de 21";
- ✧ teclado;
- ✧ mouse;
- ✧ pelo menos 2 portas USB;
- ✧ pelo menos 2 portas seriais (COM);
- ✧ 2 portas PS/2;
- ✧ placa de rede Ethernet 10/100/1000;
- ✧ sistema operacional Windows XP Professional.

✓ Item 5 – Cabo elétrico flexível 10mm (cores vermelho e preto)

Cabo elétrico flexível de 1 X 10mm, Tensão (V) 450/750, composição cobre e PVC, norma aplicada NM 247-3.

✓ Item 6 – Terminal pré-isolado tipo garfo (azul ou amarelo ou vermelho), para fio 10 mm e furo 4mm.

✓ Item 7 – conversor serial/Ethernet, modelo DIGI ONE SP 1, marca DIGI

- ✧ serviços de socket TCP/UDP;
- ✧ UDP multicast;
- ✧ Telnet e Reverse Telnet;

- ✧ http;
  - ✧ endereçamento IP através de DHCP/RARP/ARP-Ping;
  - ✧ seleção de padrão EIA 232/422/485 por meio de chave para a conexão de qualquer tipo de periférico serial;
  - ✧ suporta Ethernet 10/100Base-T;
  - ✧ conector serial DB-9Macho;
  - ✧ transferência de dados até 230 Kbps;
  - ✧ LEDs de status para alimentação e link;
  - ✧ pleno controle de fluxo de hardware, compatível com modems;
  - ✧ fonte de alimentação universal 110/220V;
  - ✧ entrada de alimentação: 9V a 30VDC - 700 mA max;
  - ✧ software de instalação, configuração e gerenciamento;
  - ✧ garantia de, pelo menos, 1 (um) ano.
- ✓ Item 8 – inversor DC/AC
- ✧ potência de 300 Watts;
  - ✧ entrada de 12 VDC;
  - ✧ saída de 110/220 VCA;
  - ✧ portátil;
  - ✧ para uso em campo.
- ✓ Item 9 – maestro de ferro galvanizado
- ✧ altura = 6 metros;
  - ✧ diâmetro = 3”;
  - ✧ para a instalação do pára-raio e painéis solares.
- ✓ Item 10 – sistema de aterramento
- ✧ execução de sistema de aterramento eficiente, para proteção total dos equipamentos instalados nas estações remotas, contra raios e descargas eletrostática, que deverá atender às normas ABNT, a partir de testes realizados logo após as instalações.
- ✓ Item 11 – serviços de transmissão por Internet, via satélite
- ✧ download de, pelo menos, 128 kbps;

- ✧ upload de 128 kbps;
- ✧ designação de IP público e fixo;
- ✧ consumo de energia do modem de satélite de, no máximo, 30 Watts;
- ✧ antena parabólica de, pelo menos, 1.2 m;
- ✧ garantia de acesso de, pelo menos, 90% do tempo.

✓ Possível fornecedor no mercado internacional:

Itens 1, 2 e 3 - Unidade de Aquisição de Dados, Sismômetro Banda Larga e Supressor de Transiente.

- ✧ Guralp Systems Limited
- ✧ 1-3 Midas House
- ✧ Calleva Park
- ✧ Aldermaston
- ✧ READING
- ✧ RG7 8EA
- ✧ UNITED KINGDOM

TEL: +44 (0) 118 9819056  
FAX: +44 (0) 118 9819943  
<http://www.guralp.net>  
[sales@guralp.com](mailto:sales@guralp.com)

✓ Possíveis fornecedores no mercado nacional:

Itens 1 e 2 – Painel Solar e Regulador de Carga

SOLARIS TECNOLOGIA LTDA.

Rua Mandiba, 107

02541-000 São Paulo – SP

Tel./Fax: 11 6239 2155

Contato: Sr. Hélio - [solaristecno@uol.com.br](mailto:solaristecno@uol.com.br)

Item 3 – Bateria Estacionária

DELPHI (modelo Freedom 2000 – DF2000).

Tel.: 0800118135



Item 7 – Conversor Serial / Ethernet

INTEGRAL SISTEMAS LTDA

Av. Fagundes Filho, 141, 13o andar

Vila Monte Alegre

04304-010 São Paulo – SP

(11) 3205 6000

[www.integral.com.br](http://www.integral.com.br)

[info@integral.com.br](mailto:info@integral.com.br)