

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 1/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL DISPOSIÇÃO DE REJEITOS E ESTÉRIL

SAM – SUL AMERICANA DE METAIS S/A

(PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO)

Março/2018



**PROJETO FERRO VALE
DO RIO PARDO**

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL

MINA_VRP007-1010-G-RE-34

Folha
2/35

WBH028-17-SAMM000-RTE-0034

Revisão
00

Rev.	DATA	POR	TE	Aprov.	Descrição de Revisões
00	23/03/2018	JAM	B	JCV	Para Aprovação

TE – TIPO DE EMISSÃO

(A) Preliminar	(D) Aprovado	
(B) Para Aprovação	(E) Cancelado	
(C) Para Conhecimento		

Observações:

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 3/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

SUMÁRIO

SUMÁRIO	3
1.0 INTRODUÇÃO.....	4
2.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	5
3.0 ANÁLISE DA SISIMICIDADE REGIONAL E LOCAL.....	5
4.0 REGIONALIZAÇÃO SISMICA	18
5.0 DISCUSSÃO SOBRE SISMO DE PROJETO	24
6.0 ACELERAÇÕES E PROJETO CONCEITUAL	27
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
ANEXO I – CATÁLOGO DOS SISMOS.....	31

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 4/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

1.0 INTRODUÇÃO

Os estudos de sismicidade foi restrito ao Bloco 8 do Projeto Conceitual para a SAM – Sul Americana de Metais S/A, inserido no Projeto Ferro Vale do Rio Pardo.

O raio da pesquisa de eventos sísmicos foi estabelecido em 300 km a partir do sítio central às coordenadas:

- 740.000,00 E / 8.201.000,00 N – Coordenadas em sistema de Projeção SAD 69, Fuso 23 S; e/ou;
- 42,7544° W / 16,2599° S – Coordenadas em sistema de projeção geográfica (Latitude e longitude).

As análises de probabilidade de recorrência foram balizadas pelo quadro geoestrutural mais simplificado possível, sendo que o empreendimento mineiro se situa praticamente ao limite oriental da área cratônica do São Francisco. Tal fato acha-se transparente no texto, com a breve discussão de províncias estruturais (ou geológicas ou tectônicas) que predominam, ainda, nas interpretações sismotectônicas, do norte e do centro-oeste brasileiros; para esta região ocidental do território, elas são fundamentais para garantir o uso das recomendações da USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission) e da ICOLD (International Commission on Large Dams) em diversos projetos com grandes aportes de investimentos.

O avanço de metodologia e tratamento estatístico de dados sísmicos tem sido favorecido em detrimento dos estudos de estabilidade geológica mais recente (tectônica ressurgente). O que mantém este vínculo mais integrado, por exemplo, é o caso de projeto concebido em outro país no qual o investidor orienta seu projeto para que se estabeleça a sismicidade em relação a área específica do Mapa das Zonas Sísmicas do UBC (Uniform Building Code) dos Estados Unidos da América.

Por princípio, o conteúdo da Norma Brasileira de Sismos NBR 15421 (2006) não foi considerado neste relato. Por outro lado, os resultados dos estudos de Assumpção et al. (2016) sugerem zonas de acelerações esperadas nas quais alguns projetos de barragens de rejeito precisariam ser revistos diante dos níveis menores de acelerações adotados anteriormente.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 5/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

O projeto da SAM no município de Grão Mogol mereceu uma análise de sismicidade particular, antes da simples adoção das acelerações em área prescritas nestes estudos de 2016.

2.0 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para o desenvolvimento dos estudos de sismicidade foram considerados os seguintes documentos:

- WALM. Relatório Técnico de Avaliação da Estabilidade da Barragem de Rejeitos da Unidade de Tratamento de Minério de Caldas (MG). Belo Horizonte (MG), junho de 2017.
- WALM. Relatório Técnico do Projeto Conceitual - Geotecnia de Cava – do Projeto Ferro Vale do Rio Pardo, Bloco 8, município de Grão Mogol (MG). Belo Horizonte (MG), fevereiro de 2014.
- SAM. Planta de Beneficiamento, Nivel Conceitual, do Bloco 8, município de Grão Mogol (MG). Belo Horizonte (MG), 16 de janeiro de 2018.
- SAM. Plantas seqüenciais de exploração da cava do Bloco 8, desde o Ano 0 até o Ano 29. Belo Horizonte (MG), sem data.

3.0 ANÁLISE DA SISIMICIDADE REGIONAL E LOCAL

Os itens 3.1 a 3.5 apresentam os estudos de sismicidade regional e local para o Projeto Ferro Vale do Rio Pardo da Sul Americana de Metais S/A.

3.1 CADASTRO GERAL DE EVENTOS

A área considerada para a pesquisa de epicentros sísmicos foi centrada nas apresentadas a seguir:

- 740.000,00 E / 8.201.000,00 N – Coordenadas em sistema de Projeção SAD 69, Fuso 23 S; e/ou;
- 42,7544° W / 16,2599° S – Coordenadas em sistema de projeção geográfica (Latitude e longitude).

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 6/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

A partir do sítio central estabelecido foram obtidos os epicentros dos eventos em área com raio máximo de 300 km. Não foi aplicado neste levantamento o corte de magnitude 2,0 ou 3,0 como muitos pesquisadores o fazem.

A lista do cadastro mostrou ocorrências de pouco mais de duas centenas de eventos, com magnitudes próxima de 1,0 e máxima de 4,9; intensidade máxima relacionada a este evento maior foi estimada em VII-VII MM. Apenas 10 eventos não foram registrados por sismógrafos na região.

3.2 FONTES DOS DADOS SISMOLÓGICOS

As informações sobre sismicidade foram obtidas nos documentos abaixo:

- Livro “Sismicidade do Brasil” (Berrocal et al. 1984), para os eventos históricos e até 1981;
- “Boletim Sísmico Brasileiro” (descontínuo), publicado pela Revista Brasileira de Geofísica entre 1983 e 1997, para os sismos ocorridos entre 1982 e 1995; e
- intercâmbio técnico-científico entre os grupos de Sismologia do IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo), do OS/UnB (Observatório Sismológico da Universidade de Brasília), do ON-RJ (Observatório Nacional), da UFRN (Grupo de Geofísica) e do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.), para os sismos ocorridos após 1996.

A reunião de todas as informações sísmicas compõe o Catálogo de Sismos Brasileiros e regiões vizinhas.

O IAG fez uma revisão dos dados sismológicos de forma definitiva para os sismos ocorridos até 2013. Nesta listagem, houve um critério de corte para apresentação apenas de sismos com magnitudes maiores do que 2,0 e cujos erros epicentrais fossem menores do que 100 km.

De 2013 até hoje, o IAG disponibiliza outra listagem (dinâmica), cujas informações estão sujeitas a eventuais alterações em função do recebimento contínuo de dados, que podem também modificar informações históricas. Nesta listagem não está sendo aplicado nenhum critério de corte. Os dados deste catálogo foram atualizados até 31/01/2018.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 7/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

Do trabalho de intercâmbio junto com o IAG, o IPT dispõe de outra listagem com todas as informações sismológicas compiladas até 2013, sem nenhum critério de corte. Esta listagem não deve ser considerada como oficial pelo fato de não poder ser rastreada para eventual verificação.

Com base nas fontes citadas e distância de 300 km do sítio central foi desenvolvida a pesquisa, obtendo-se, numericamente:

- 8 eventos com $D < 110$ km (anotação abaixo);
- 200 eventos com $110 \text{ km} < D < 300$ km (ANEXO I – CATÁLOGO DOS SISMOS).

Todos os sismos citados não passaram por filtro classificatório da atividade em função dos períodos de detectabilidade; este procedimento antecede a obtenção do catálogo uniforme de eventos.

Na Figura 3.1 tem-se a indicação dos epicentros, vez ou outra com ocorrências nos estados vizinhos da Bahia e do Espírito Santo.

Para aqueles com $D < 100$ km foram identificados (vermelho) os sismos com suas coordenadas geográficas, respectivos números do cadastro, data e hora de ocorrência (hora universal), erro epicentral em km, modo de registro (I = instrumental), magnitude associada, distância ao centro do sítio adotado e localidade geográfica, conforme ANEXO I – CATÁLOGO DOS SISMOS.

- 16,72–42,58 **1** 52 14.05.2006 14:14:46 0 I 3,0 54 Irapé (SIR)
- 16,08–43,26 2 208 07.09.2017 16:56:31 0 I 2,4 58 Janaúba
- 16,05–43,29 3 164 23.09.2014 14:37:09 0 I 2,5 62 Riacho dos Machados
- 16,35–42,15 4 76 31.07.2009 10:15:51 50 I 2,9 65 Rubelita
- 15,81–42,23 5 45 01.09.1996 04:12:47 0 I 2,8 75 Taiobeiras
- 16,17–46,63 6 67 18.02.2009 12:07:53 10 I 2,5 94 Capitão Eneas
- 15,80–43,50 7 12 20.11.1977 11:46:35 30 I 3,7 95 Janaúba
- 16,69–43,62 **8** 68 09.03.2009 01:12:13 10 I 2,4 104 Juramento

O evento **1** corresponde àquele maior registrado junto ao Reservatório da Usina Irapé, admitido como SIR (Sismicidade Induzida por Reservatório), distante 54 km do sítio do empreendimento. A atividade induzida foi objeto de estudos do pesquisador Lucas Barros do OS/UnB, relatando a ocorrência de 300 microsismos entre maio e outubro de 2006.

O evento **8** pode, dada à proximidade geográfica, ser um evento associado à atividade de Montes Claros. A região tem registro de grande atividade nos anos de 2012 a 2015, incluindo um evento

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 8/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

anotado com magnitude 4,0; entretanto, o posicionamento das médias das magnitudes entre 1,4 e 3,6 leva a considerar o maior evento de 27.08.1995, com magnitude 3,7 e intensidade de VI MM.

Para $100 \text{ km} < D < 300 \text{ km}$, a Figura 3.1 permite observar que a distribuição de epicentros favorece diversas concentrações, a exemplo daquelas de Montes Claros, Itacarambi e Tuparecê.

A concentração próxima do evento **8** corresponde às determinações epicentrais dos eventos associados com a sismicidade ocorrida no município de Montes Claros (círculos na cor azul na Figura 3.1). Em ilustração complementar, a Figura 3.2 mostra a distribuição do número de eventos em função da distância, sendo observada uma grande faixa de variação epicentral (de 112 km a 148 km), além de outros valores entre 128 km e 130 km. Esta variação explica o espalhamento dos epicentros mostrados na Figura 3.1.

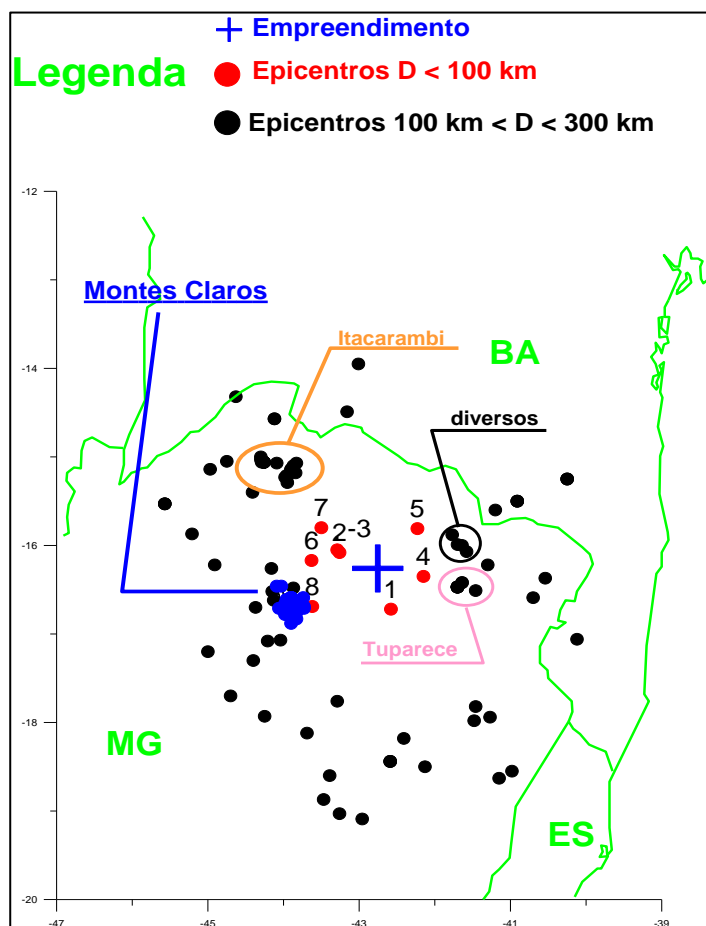


Figura 3.1 – Distribuição de epicentros no raio de 300 km.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 9/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

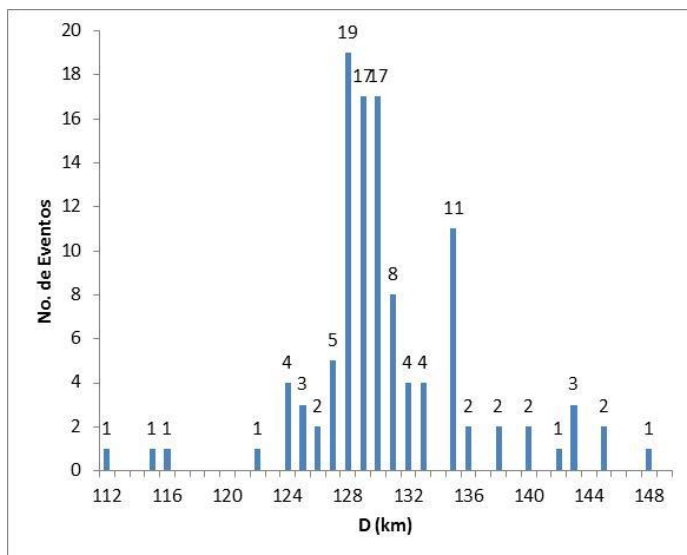


Figura 3.2 – Distribuição número de eventos x distância para a área de Montes Claros.

Foram identificados 111 eventos, sendo 5 com $mR > 3,5$, magnitude máxima 4,0 mR (19.05.2012) e intensidade sísmica máxima associada de VI MM. Desta série de eventos, 54 deles foram utilizados nos cálculos. Esta atividade tem outra característica, da concentração de valores de magnitudes, como se ilustra adiante na Figura 3.4. Pode ser observado na mesma figura, dois grupos com maior concentração epicentral: dezembro de 2008 / fevereiro de 2009 e setembro de 2010 / novembro de 2015.

Na Figura 3.1 existem 3 eventos não identificados como sendo de Montes Claros que, em função do espalhamento dos epicentros, estão dentro desta área. Eles ocorreram em 09/12/1984 (Coração de Jesus, $mR = 3,2$), 18.08.2008 (Vila Nova, $mR = 1,9$) e 12.07.2016 (Coração de Jesus, $mR = 2,2$).

A sismicidade na área Itacarambi (Figura 3.1) tem seu maior evento registrado em 09.12.2007 (com 4,9 mR e intensidade sísmica epicentral máxima de VII-VIII MM. A distância ao sítio do empreendimento é da ordem de 215 km. Em 19.03.2008, a 195 km de distância do sítio, ocorreu outro evento com magnitude 3,8 mR. Na mesma região, entre novembro de 2015 e julho de 2016 foram registrados vários eventos com magnitudes entre 1,9 mR e 2,4 mR.

A terceira concentração observada na mesma ilustração corresponde aos eventos identificados como Tuparecê, com registros diferenciados nas décadas de 1970 e 1980. Entre 1972 e 1974 foram registrados os parâmetros máximos de 3,7 e 3,9 mR, intensidade VI-VII MM, sendo que no mês de abril de 1974 ocorreram mais de 200 eventos. Entre 1983 e 1985, os máximos foram de 3,1 mR e IV MM com mais de 60 eventos registrados. A distância epicentral média ao sítio do empreendimento foi de 115 km.

A Figura 3.1 ainda permite identificar outra concentração epicentral em menor latitude do que Montes Claros e no rumo NW. Ainda não caracterizada como as demais (magnitudes variando de 2,0 a 2,8 mR), ela foi denominada Salinas, com epicentros situados na faixa dos 122 a 127 km do sítio principal do projeto.

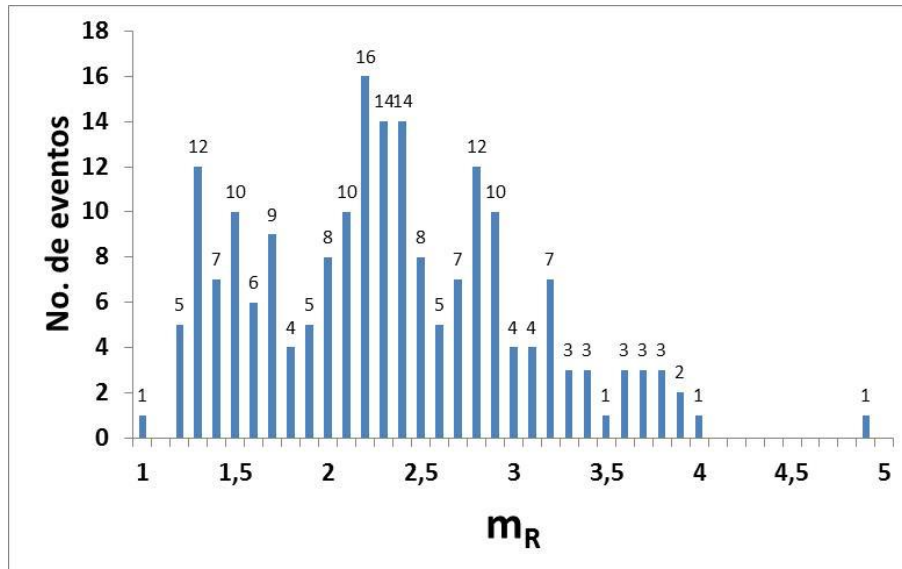


Figura 3.3 – Distribuição número de eventos x magnitude dos sismos.

Na Figura 3.3 acha-se representada a distribuição da sismicidade comparando o número de eventos e magnitudes, verificando-se que o maior evento atingiu 4,9 mR; (Itacarambi, 09.12.2007, VII-VIII MM). A segunda observação é de que não se tem registros de eventos com magnitudes entre 4,1 e 4,8 mR. A terceira observação é de que há uma concentração maior de eventos com magnitudes entre 2,2 e 2,9 mR.

3.3 FILTROS E RELAÇÕES FREQUÊNCIA – MAGNITUDE

A cobertura da sismicidade varia espacialmente e com o tempo, em função da distribuição populacional e das estações sismológicas. Para eliminar possíveis interpretações indesejáveis dos eventos, foi utilizado o critério de filtro para os parâmetros de magnitude e ano de ocorrência. Este critério permite análise de uma cobertura mais uniforme dos fenômenos.

Para o Projeto Ferro Vale do Rio Pardo adotou-se o seguinte critério de filtragem:

- > 5,0 todos devido à área afetada;
- > 3,5 e ano de 196 (implantação de Estação de Brasília);
- > 2,5 e ano de 1974 (aumento de estações para monitoramento SIR); e
- > 2,0 e ano de 2000 (redes regionais e Sistema BRASIS).

As duas centenas de eventos foram processadas, incluindo o sismo histórico de (1872, Serro) e aqueles de Suaçuí (1968 e 1969), todos à distância superior a 240 km do sítio do empreendimento.

A Figura 3.4 ilustra a distribuição temporal da sismicidade classificando os sismos em função do critério adotado. O filtro corresponde ao traçado da linha laranja, os sismos eliminados em vermelho

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 11/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

e os mais consistentes (em uso) em azul. Na Figura 3.5 são destacados os eventos correspondentes à sismicidade concentrada de Montes Claros.

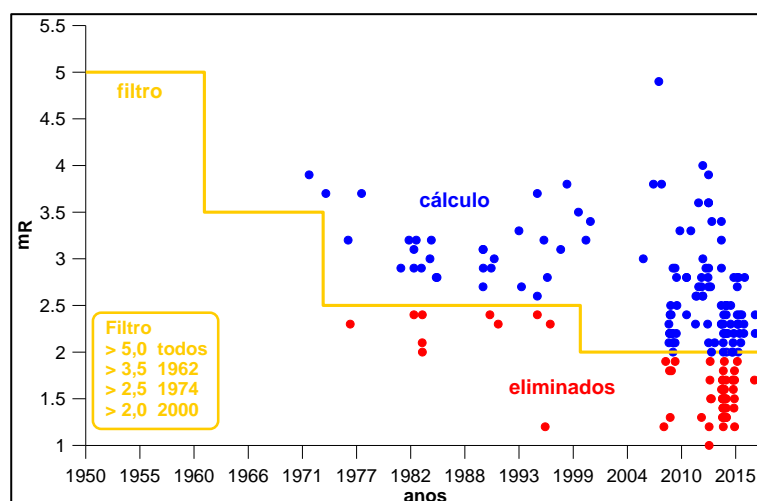


Figura 3.4 – Distribuição temporal de eventos e critério de filtro.

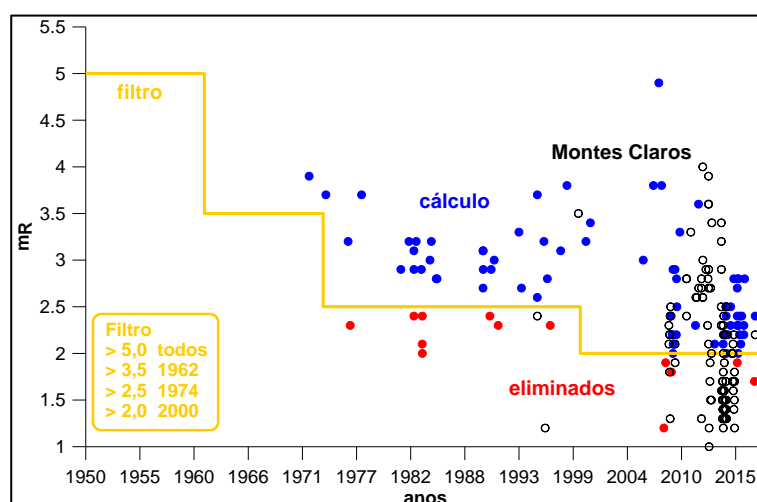


Figura 3.5 – Distribuição temporal dos sismos de Montes Claros.

A relação frequência-magnitude cumulativa de GUTENBERG-RICHTER (distribuição por ano) é apresentada na Figura 3.6 (reta vermelha), refletindo a expressão:

$$\log(\sum N/\text{ano}) = -0,910 \times mR + 2,127 \quad (R^2=0,944).$$

Para a sua construção foram utilizados apenas os dados filtrados e dentro do limite de completude.

O corte de detectabilidade foi considerado na magnitude 2,8 mR, onde começa a mudança de direção na distribuição simples (eventos N) do número de evento e também na distribuição cumulativa ($\sum N$, menos nítida).

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 12/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

Os valores de magnitude onde não se tem a completeza dos dados são indicados pelos quadrados vazios em cinza (magnitudes < 2,8 mR).

Para o processamento, utilizou-se o critério para estimar a relação de freqüência - magnitude abrangendo a maior área preestabelecida de levantamento (R = 300 km) e a área de maior interesse ao projeto como tendo apenas um raio de 100 km.

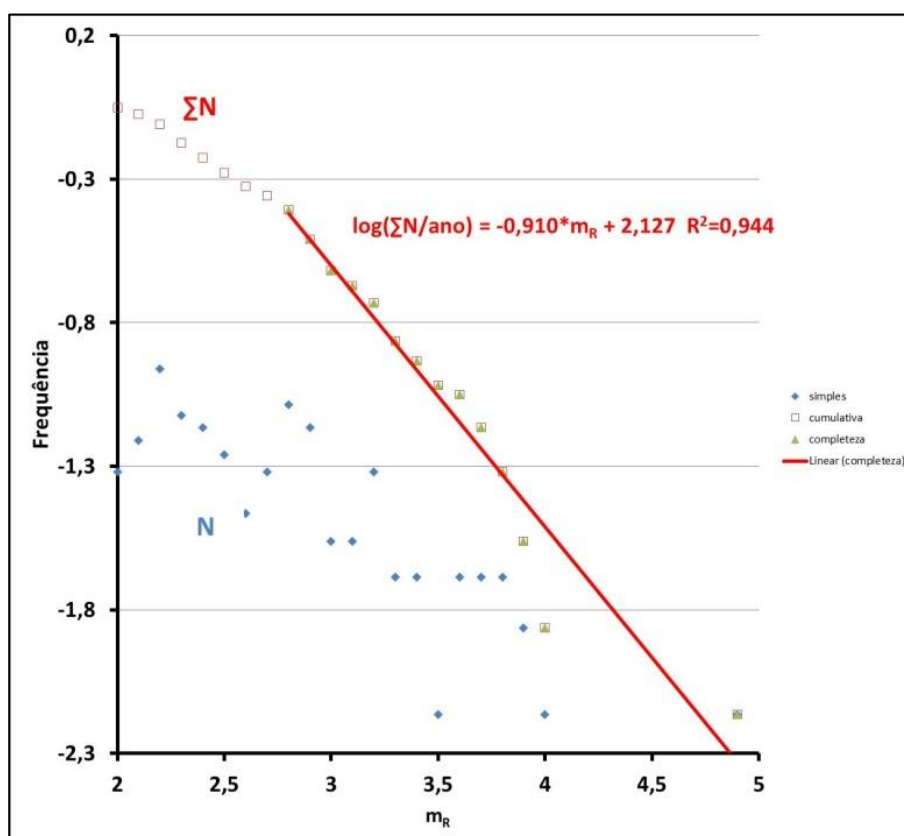


Figura 3.6 – Relação Freqüência – Magnitude de GUTENBERG-RICHTER.

3.4 AVALIAÇÃO DE PERIGO SÍSMICO

Com os limites considerados na análise foram determinadas as estimativas de probabilidades de ocorrência de determinados níveis de aceleração no ponto central da área de interesse, oriundos de eventos locais e regionais.

Na análise não foram consideradas as consequências das acelerações (custos dos danos, impacto, etc.), sendo assim estimado o Perigo Sísmico (*Seismic Hazard*) e não o Risco Sísmico (*Seismic Risk*).

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 13/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

Para estimar o Perigo Sísmico foram utilizadas as metodologias veiculadas por BURTON (1978) e ASSUMPCÃO (1985), com as hipóteses de que:

- a) a sismicidade ocorre numa área grande e que o local de interesse esteja longe das bordas da área sísmica considerada;
- b) considera-se para o cálculo das probabilidades de ocorrência de uma dada aceleração no local de interesse, a contribuição (em termos de probabilidade) da ocorrência de todas as magnitudes em qualquer ponto da área sísmica (hipótese de "sismicidade difusa").

A probabilidade (P_a) de ocorrência de acelerações acima de um determinado nível no local em análise, causada por um sismo de determinada magnitude, é dada pela equação:

$$P_a = P_e \times P_c$$

Na qual;

P_e = é a probabilidade de ocorrência de um sismo de determinada magnitude com epicentro em qualquer lugar da área sísmica e é calculado com uso da relação de frequência-magnitude; e
 P_c = é a probabilidade de que o epicentro deste sismo esteja dentro de uma distância menor do valor estimado para que cause aceleração maior ou igual a um determinado nível no local de interesse (utiliza-se a relação de atenuação de aceleração com a distância epicentral para estimar os níveis de aceleração).

O Brasil ainda não dispõe de dados de atenuação, optando-se por usar a "lei de atenuação de Toro et al". (1997) que foi proposta para a região intraplaca central e leste da América do Norte, conforme a equação abaixo:

$$\ln(a) = 2,07 + 1,2(m-6) + 1,28 \ln(R) + 0,05 \max[\ln(R/100), 0] - 0,0018 R$$

Na qual;

a = aceleração do terreno, em unidades de g (aceleração da gravidade), em rocha "dura" ($V_s \sim 1,8$ km/s e $V_p \sim 3,3$ km/s);
 m = magnitude de onda P, calculada conforme a relação de magnitude regional (m_R) usada no Brasil (Assumpção, 1983), equivalente à m_b ;
 $R_2 = (r + 9,3)^2$ = "distância estendida"; e
 r = distância epicentral em km.

Para o cálculo do Perigo Sísmico foi necessário definir o limite máximo de magnitude possível para a região. Considerando as características geológicas da região e o histórico da sismicidade brasileira, onde o maior sismo detectado teve magnitude 6,2 m_b , foi adotada como magnitude máxima possível o valor de 6,5.

Com base no procedimento acima, a Tabela 3.1 apresenta as probabilidades de excedência para vários níveis de aceleração e respectivos períodos de retorno.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 14/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

Tabela 3.1 -Probabilidade de excedência para vários níveis de aceleração e períodos de retorno.

Aceleração (g)	TR anos	Pe 50 anos	Pe 100 anos	Pe 250 anos	Magnitude	Distância
					Características	
0,01	79	46,8	71,8	95,8	3,9	23
0,02	299	15,4	28,4	56,6	4,5	24
0,03	642	7,5	14,4	32,2	4,9	25
0,05	1716	2,9	5,7	13,6	5,2	20
0,07	3674	1,4	2,7	6,6	5,6	25
0,10	7620	0,7	1,3	3,2	5,7	20
0,15	18388	0,27	0,5	1,4	6,0	20

Notas:

Aceleração considerada em rocha sã;

Não se considerou a incerteza inerente na lei de atenuação;

TR = período de retorno da aceleração;

Pe = probabilidade de excedência; e

Magnitudes / distâncias características para várias acelerações.

Por exemplo, considerando a vida útil do empreendimento em 100 anos, existe uma probabilidade de 98,7% de que não ocorram acelerações superiores a 0,10 g (em rocha) no local da obra.

Na Tabela 3.1 também são apresentadas as magnitudes e distâncias características para cada aceleração, ou seja, são os valores que mais contribuem para o Perigo Sísmico. Por exemplo, se o local do empreendimento sofrer uma aceleração (em rocha) de 0,10 g, o mais provável é que esta aceleração venha a ser causada por um sismo de magnitude 5,70 com epicentro até 20 km de distância.

As leis de atenuação têm também incertezas que influenciam no resultado, aumentando o Perigo Sísmico final. A lei de atenuação utilizada tem um desvio padrão de 0,7 no valor do Ln (a), ou seja, um fator de 2.

Em geral, este aumento corresponde, aproximadamente, a um fator de 1,5 nos valores das acelerações. Por exemplo, a aceleração com probabilidade de 98,7% de não ser excedida em 100 anos seria 0,15 g (= 0,10 g x 1,50).

O grau de Perigo Sísmico a ser adotado é definido em função do tipo de empreendimento. Em geral, um grau de segurança considerado adequado em construções civis importantes (mas não críticas), é de 90% de não excedência durante 50 anos; para instalações mais críticas (onde as consequências de algum possível dano possam ser mais sérias) adota-se maior segurança, ou seja, 90% durante uma vida útil do empreendimento, geralmente estimado de 100 anos.

Com base nos parâmetros da Tabela 3.1 e das considerações descritas, são apresentadas as Figura 3.7 e Figura 3.8 para se estimar os níveis de aceleração (probabilidade de excedência em função da aceleração) e período de retorno (em função da aceleração), respectivamente.

A lei de atenuação utilizada refere-se às acelerações em rocha. Se o local da obra apresentar camadas superficiais com materiais menos consolidados (sedimentos, solo, etc.) é necessário considerar os efeitos no valor da aceleração. Estes efeitos são bastante complexos, pois dependem

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 15/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

do perfil geológico-geotécnico (espessura, velocidade das ondas sísmicas, coeficientes de atenuação) e das frequências das vibrações. REITER (1990) e BERNREUTER et. al. (apud REITER 1990) apresentam uma amplificação inferior a 2 de um modo geral. Este valor poderia ser adotado para o presente estudo se a obra for construída em local sem rocha sã, ressaltando-se estudos mais detalhados de amplificação se houver necessidade.

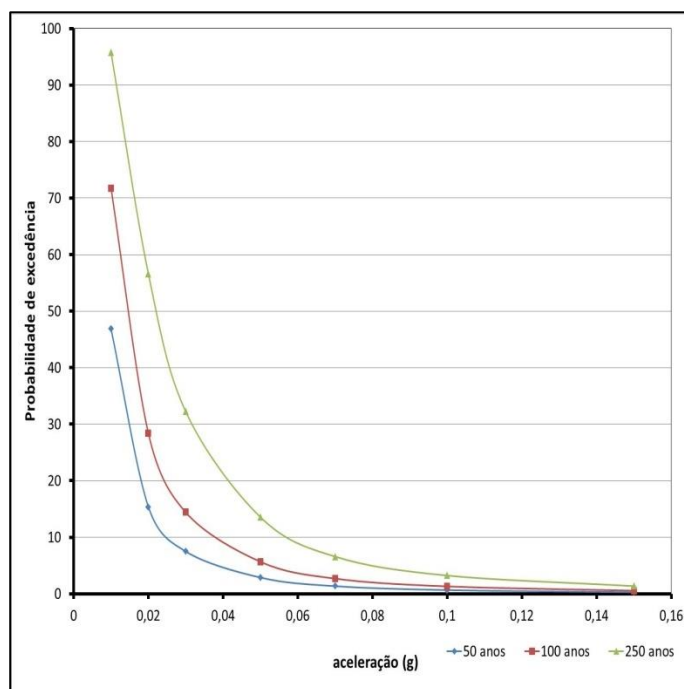


Figura 3.7 – Probabilidade de excedência em função da aceleração.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL		MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 16/35
		WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

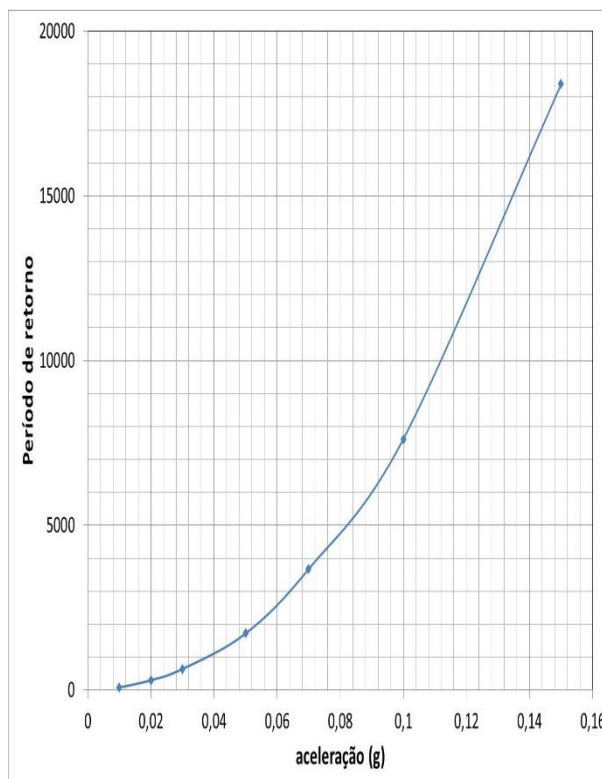


Figura 3.8 – Período de Retorno em função da aceleração.

3.5 RESULTADOS DA ANÁLISE

No raio de 300 km centrado no sítio do Projeto Ferro Vale do Rio Pardo, a sismicidade histórica e instrumental é considerada predominantemente moderada, com a ocorrência de alguns sismos mais significativos.

A partir do diagrama da Figura 3.3 observa-se o predomínio de sismos com $mR \leq 2,90$ (83%).

Para a condição epicentral com $D < 100$ km e na região tem-se, para o maior sismo, magnitude relacionada a 3,70 mR e 4,90 mR; a maior intensidade sísmica associada foi IV-V MM e VII-VIII MM, respectivamente.

A sismicidade histórica regional tem mostrado a ocorrência de sismos cujas magnitudes ocasionaram intensidades sísmicas no epicentro da ordem IV-V MM a VI MM, distantes entre 115 km e 130 km do empreendimento. Aparentemente, seus efeitos macrossísmicos não foram reportados além dos 20 – 30 km.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 17/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

Também há de se registrar a ocorrência de sismo induzido por reservatório (SIR) com magnitude máxima de 3,0 mR, intensidade sísmica máxima III-IV MM, nas vizinhanças do Reservatório da UHE Irapé (Barragem com altura de 208 m e volume do reservatório de 5,96 km³).

Mesmo com o corte inicial do catálogo para sismos apenas $\geq 2,0$ mR, observa-se na Figura 5 que o limite de completeza ocorre para magnitude ainda maior (2,8 mR).

Outro fato a ser mencionado está associado com a relação de frequência-magnitude, cujo parâmetro b está coerente para o valor de eventos naturais (próximo de 1).

Com base nos resultados da avaliação do perigo sísmico, considerando a vida útil do empreendimento de 50 anos e 100 anos (Figura 3.7 e Figura 3.8), poderiam ser adotados níveis de aceleração máxima de **0,037 g** e **0,057 g** (já corrigida a incerteza da lei de atenuação: $0,0245 \times 1,5 = 0,037$ e $0,0380 \times 1,50 = 0,057$, respectivamente) em rocha sã. Os respectivos períodos de retorno seriam de **965 anos** e **2.290 anos**.

A Tabela 3.2 considera a estimativa de aceleração a partir das intensidades na Escala de Intensidade MERCALLI Modificada (MM). Como os efeitos macrossísmicos induzem parcela subjetiva de interpretação, o valor para a rocha foi calculado considerando o fator 2 de amplificação e a existência de uma camada de solo, como citado anteriormente.

Tabela 3.2 – Acelerações a partir das intensidades na Escala de MERCALLI Modificada.

INTENSIDADE MM	ACELERAÇÃO (solo) (*)	ACELERAÇÃO (rocha) (*)	ACELERAÇÃO (solo) (#)
IV	0,008 a 0,015	0,004 a 0,0075	0,015 a 0,02
V	0,015 a 0,04	0,0075 a 0,02	0,03 a 0,04
VI	0,04 a 0,08	0,02 a 0,04	0,06 a 0,07
VII	0,08 a 0,15	0,04 a 0,075	0,10 a 0,15
VIII	0,15 a 0,30	0,075 a 0,15	0,25 a 0,30

(*) Assumpção e Dias Neto (2003)

(#) Bolt (1978) (para comparação de valores; verificar coerências)

Na análise do perigo sísmico há uma aparente coerência de acelerações quando se considera magnitudes e intensidades sísmicas. No primeiro caso, situadas na faixa que inclui 0,037 g a 0,057 g; no segundo caso, para VI MM, estão vinculadas aquelas de 0,04 g a 0,075 g.

Retomando a imagem da Figura 3.1 verifica-se que as distâncias médias dos maiores eventos e das concentrações assinaladas se situam além dos 50 km a partir do sítio do projeto. O maior sismo registrado no raio de 300 km – de Itacarambi – foi sentido em Januária (quase 60 km a sul) e Manga (quase 45 km a norte), localidades praticamente instaladas ao longo do curso do rio São Francisco.

Os efeitos das ondas sísmicas foram severos na área epicentral (dada à baixa qualidade das construções), mas atenuaram-se nas direções das duas cidades como ruídos. Esta atenuação

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 18/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

significa passagem de intensidades sísmicas de VII – VIII MM para III – IV MM. No sítio do projeto, os efeitos do sismo de Itacarambi, situado a 215 km, não foram sentidos.

Do mesmo modo, efeitos dos maiores eventos de Janaúba (3,7 mR;), Tuparecê (3,9 mR;) e Taiobeiras (2,8 mR;) também não foram sentidos ou provocaram danos em construções.

O transporte da atividade sísmica de Montes Claros (SW - NE) e de Itacarambi (NW - SE) para 50 km do sítio do empreendimento pouco afetaria as condições de estabilidade relativa, pois a atenuação implicaria intensidade da ordem de IV MM. Do mesmo modo o evento de Taiobeiras (NE - SW).

Como se verifica no quadro acima há uma segurança adicional para estas intensidades atenuadas até o sítio central do projeto, de VI MM para IV MM.

4.0 REGIONALIZAÇÃO SISMICA

4.1 CONCEITOS

A ideia de regionalizar ocorrências epicentrais segue, desde anos da década de 1970, os conceitos e critérios utilizados por pesquisadores brasileiros para entender melhor a estabilidade geológica relativa do território nacional.

A mais completa resenha sobre este assunto encontra-se nos estudos de MIOTO (1993), que permanece como uma consistente base geotectônica, embora não tenha acompanhado da mesma forma os avanços de tratamento matemático das ocorrências sísmicas.

A unidade fundamental de regionalização continua a ser a Província Tectônica (ou Estrutural ou Geológica), com a identificação de áreas de maior atividade e outras “assísmicas” entre elas, configurando a evolução tectônica diferenciada do território brasileiro e o grau de conhecimento da sismicidade em área.

De um lado, avançaram os conceitos de tectônica ressurgente para caracterizar mobilidade crustal intermitente visando o entendimento da mobilidade contemporânea; de outro, a quantificação e tratamento dos eventos objetivando recorrência no tempo para uso em projetos de engenharia.

A conexão das duas tendências é a mais satisfatória para obtenção de zonas (ou áreas) sísmicas que levam à produção de cartas de perigo e risco sísmico mais confiáveis. No Brasil, este assunto mereceu uma resenha em 1979, durante o Simpósio de Sismicidade Natural e Induzida. Em 1980, foi divulgada a tendência observada de zonas geradoras de sismos (ou zonas sismogênicas) em reunião da Unesco (1976).

Propostas com limites transitórios nos estudos subseqüentes de HASUI et al. (1982), elas permitem incorporar, continuamente, todos os avanços nos estudos e conhecimentos geológicos e sismológicos.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 19/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

4.2 MOBILIDADE CRUSTAL EM ÁREA DO LESTE BRASILEIRO

Extratos de interpretação da geotectônica regional com interesse direto na estabilidade contemporânea foram veiculados nos estudos de MIOTO (1993), aqui reproduzidas para as zonas geradoras de sismos de Jequitai e Jequitinhonha.

A primeira, uma extensão sugerida de instabilidade da similar São Francisco (a jusante do Reservatório de Sobradinho) foi a proposta para envolver os eventos entre Montes Claros (N), Pirapora (W), Augusto Lima (S) e Bocaiuva (E).

“Os terrenos rochosos pertencem às coberturas proterozóicas do Cráton do São Francisco, junto à sua borda oriental; os epicentros restringem-se ao interior cratônico, pelos limites até presentemente estabelecidos (Engevix / Engecorps 1993). É sobre estes limites na área que incidem as dúvidas sobre considerar a zona sismogênica na área cratônica ou não-cratônica do São Francisco (Figura 8). As rochas de coberturas encontram-se foliadas (destacando-se a Sinclinal de São Lambert), o que permite deslocar o contorno do Cráton mais para oeste, reduzindo sua faixa de domínio.” A Figura 4.1 ilustra também as “linhas epicentrais” à profundidade de 200 km (Revista Pesquisa Fapesp nº 102, de 2004, da síntese elaborada por C. Fioravanti), sem considerar o contorno cratônico mais estreito.

Esta redução na largura da área cratônica foi objeto de avaliação nos estudos dos projetos das Barragens Jequitai e Jequitai II no ano de 1911.

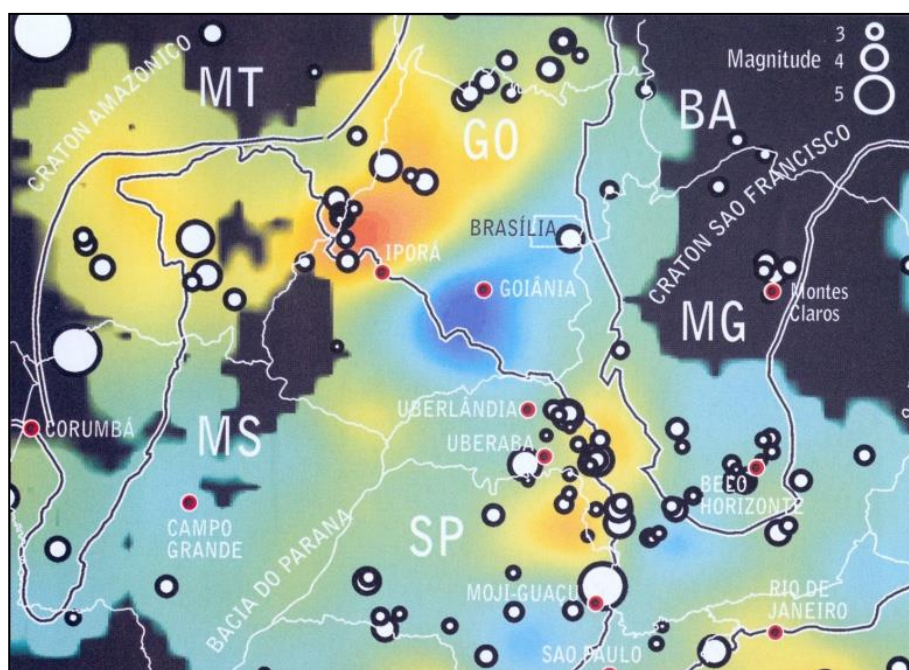


Figura 4.1 – Linhas epicentrais a 200 km de profundidade. Faixa vermelho-amarela com menor espessura crustal, Faixa azul e cinza com maior espessura.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 20/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

Em superfície, as indicações geoestruturais e distribuição epicentral (sem correlação direta) levaram a propor a Zona Sismogênica de Paraopebas, coincidentemente no extremo meridional do Cráton do São Francisco, acima da qual tem-se a de Jequitaiá. Estas duas zonas estão ilustradas na Figura 4.2 e Figura 4.3.

Ainda na referência de 1993, “A Faixa Araçuaí (SE do Cráton do São Francisco) foi estudada por vários pesquisadores e, ultimamente, quanto às suas estruturas, por Uhlein et al. (1990) e Uhlein e Trompette (1992). Estes dois últimos observaram feições deformadas relacionadas a cisalhamento dúctil não-coaxial, com indicadores de transporte de massa de E para W durante o evento Brasileiro.”

“É desta fase as deformações encontradas na porção superior do Grupo Bambuí, representando a fase compressional da evolução tectônica da bacia proterozóica do São Francisco (Proterozóico Superior: grupos Macaúbas e Bambuí), implicando tectônica colisional; as litologias do Macaúbas e da porção médio-inferior do Bambuí pertenceriam à fase extensional da bacia, cuja configuração inicial teria se dado no Proterozóico Médio (Chang et al. 1988).” Estes pesquisadores estabeleceram a evolução tectono-sedimentar da bacia no contexto de um ciclo de Wilson sugerindo uma alternativa para explicação das áreas deformadas e não-deformadas do grupo Bambuí, cujas litologias têm ampla distribuição em Minas Gerais, Bahia e Goiás.”

PROJETO CONCEITUAL
MINA
ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL

MINA_VRP007-1010-G-RE-34

Folha
21/35

WBH028-17-SAMM000-RTE-0034

Revisão
00

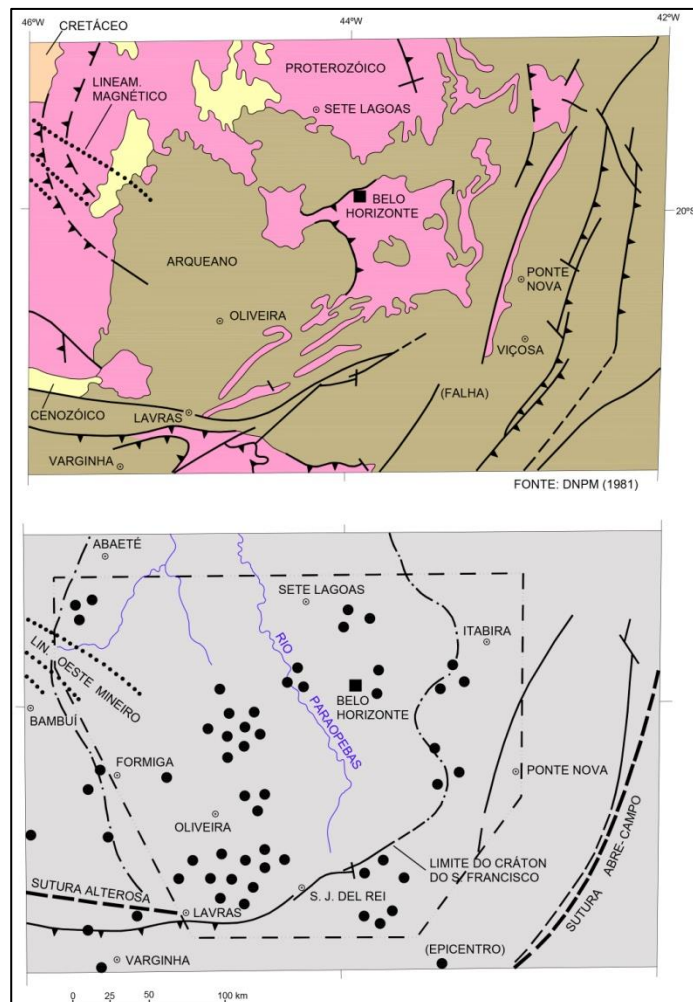


Figura 4.2 – Situação geológica e tectônica de ZS Paraopebas.

“A análise da Falha de Taiobeiras a leste do Espinhaço e junto ao Alto Jequitinhonha (em mapas, é representada como um grande empurrão SW-NE), efetuada por Pedrosa-Soares e Saadi (1989), revelou que seu caráter mais recente é gravitacional com o bloco abatido a SE.”

“As correlações entre depósitos cenozóicos, bem como de reajustes observados em metaconglomerados do embasamento sugerem movimentação tectônica da ordem de 150-200 m; a observação de que lineamentos estruturais da Unidade Salinas afetam a rede de drenagem dos chapadões orientais, apesar da interposição de 80 a 100 m de sedimentos, também indica que a tectônica avançou no Quaternário.”

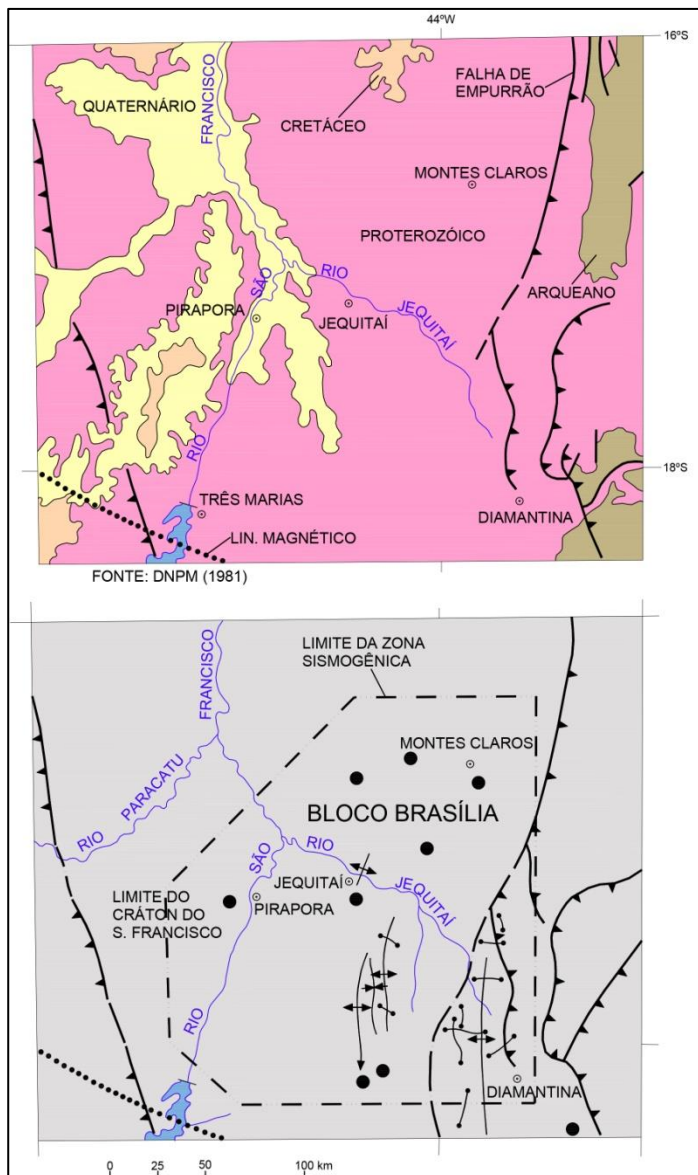


Figura 4.3 – Situação e tectônica da ZS Jequitai.

O avanço de interpretação geotectônica desta porção oriental do Cráton do São Francisco continuou a ser realizado com a identidade do Orógeno Araçuai (2007) e na identificação dos litotipos do Grupo Macaúbas no interesse da exploração das unidades mineralizadas de ferro. Esta abordagem mais atual não adentra na questão da sismicidade mas prepara o leitor para ingressar no detalhamento dos litotipos mineralizados (Walm 2014).

Todos os indicadores de mobilidade foram sintetizados nos estudos de 1993, no contexto de uma organização de grandes blocos crustais, para definição inicial da Zona Sismogênica de Jequitinhonha (Figura 4.4).

PROJETO CONCEITUAL
MINA

MINA_VRP007-1010-G-RE-34

Folha
23/35

ENGENHARIA
DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO
AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL

WBH028-17-SAMM000-RTE-0034

Revisão
00

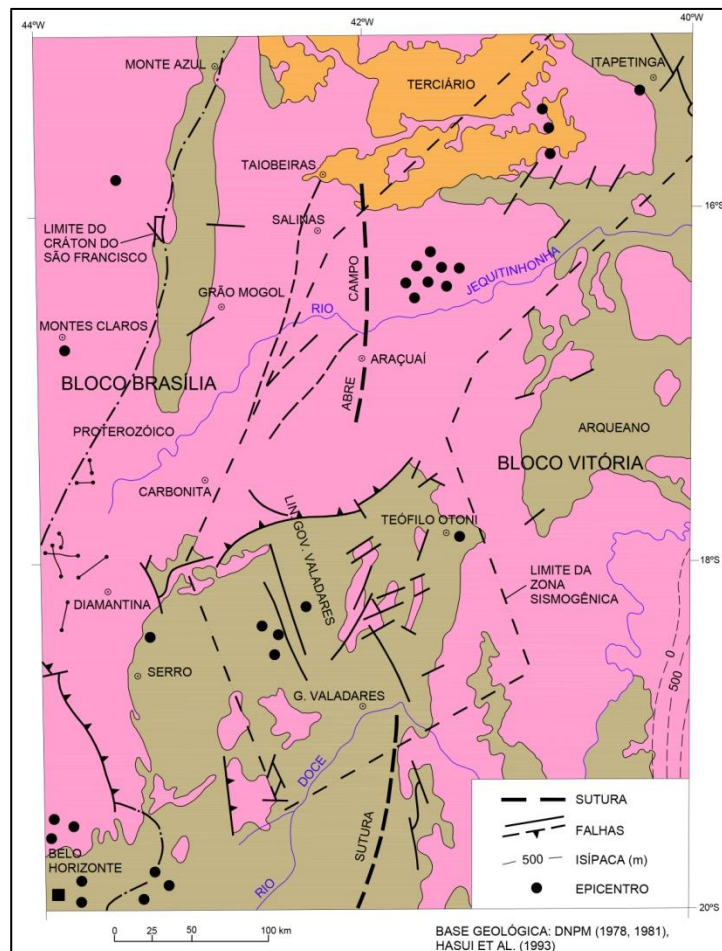


Figura 4.4 – Situação geológica e tectônica da ZS Jequitinhonha.

“Antes que se adote a mobilidade crustal sugerida por CAMPOS NETO e FIGUEIREDO (1992), sobre a Orogênese Rio Doce no episódio Brasileiro para identificação de instabilidade, cabe ressaltar que os epicentros sísmicos ocorrem próximos da Sutura Abre-Campo que articula os blocos Brasília e Vitória (HARALYI e HASUI 1982; HARALYI et al. 1985; HASUI 1990), deslocada na altura de Governador Valadares pelos lineamentos transcorrentes homônimos, e unto às estruturas SW-NE que se apresentam entre Araçuai e Itapetinga. Eles contornam praticamente um núcleo arqueano, acompanhando os cursos dos rios Doce e Jequitinhonha, posicionando-se em terrenos sem reflexos dos efeitos do evento termotectônico Brasileiro. Nesta zona sismogênica não se observam registros litológicos paleozóicos e mesozóicos. Estudos neotectônicos e de geomorfogênese realizados por Saadi et al. (1991) mostram baculamentos orientados a E-W (com caimento para oeste junto a Carbonita) e NW-SE (com caimento para NW a sul de Salinas).”

“O sistema de falhas envolvido na movimentação corresponde àquele subparalelo à Falha de Taiobeiras (Pedrosa-Soares e Saadi 1989 e da bacia cenozóica que acolheu os sedimentos da Formação São Domingos (Saadi e Pedrosa-Soares 1990); nesta, possivelmente envolvendo falhas transcorrentes sob esforços compressivos atuantes na Placa Sul-Americana. O núcleo arqueano tem sido qualificado como um alto estrutural e com basculamento generalizado para leste a partir de sua porção mediana.”

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 24/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

Na proposição da Zona Sismogênica de Jequitai, foram considerados os eventos históricos de São Pedro do Suaçuí (1968 – 1970) e aqueles registros de 1972 a 1985. A ocorrência na área de Montes Claros era mais restrita, assim como as outras a sul e a oeste (Janaúba, Coração de Jesus, Bocaiúva, Pirapora, Encruzilhada, Manga, Buenópolis e Buritizeiro), incluindo a região da Serra do Cabral, um testemunho dos terrenos do Proterozóico Médio circundado por terrenos do Proterozóico Superior (rochas do Macaúbas e Bambuí). No entanto, verifica-se, pelo exame da distribuição epicentral na Figura 3.1 que esta atividade não é desprezível ampliando-se significativamente nas áreas de Itacarambi e Montes Claros. As maiores magnitudes alcançaram 4,0 (Montes Claros, 19.05.2012) e 4,9 (Itacarambi, 09.12.2007); eventos em Janaúba apresentaram magnitudes da ordem de 3,7 (20.11.1977) e 2,5 (07.09.2017).

Na sugestão dos limites transitórios da Zona Sismogênica de Jequitinhonha, foi considerada a faixa assísmica entre Araçuaí e Teófilo Otoni, com envolvimento de terrenos proterozóicos (a norte) e arqueanos (a sul). Os epicentros considerados foram diversas ocorrências a leste de Salinas e sul de Itapetinga; e no polígono formado pelas localidades de Diamantina / Teófilo Otoni / Governador Valadares. O exame da Figura 1 revela um quadro de distribuição mais denso de ocorrências entre as drenagens dos rios Jequitinhonha e Doce. As direções principais das maiores estruturas geológicas destas duas áreas de instabilidade previamente sugeridas consideram o complexo da borda leste do Cráton do São Francisco e da bacia sedimentar proterozóica do São Francisco.

5.0 DISCUSSÃO SOBRE SISMO DE PROJETO

As zonas sismogênicas, conceitualmente, foram propostas com limites transitórios para contemplar os avanços geológicos e sismológicos.

Elas refletem o quadro maior das geoestruturas do território nacional e foram compatibilizadas às orientações de diversos órgãos e associações de estudos para desenvolvimento e implantação de obras diversas de engenharia, além de análises ambientais.

Contudo, os avanços geofísicos de interpretação crustal foram muito grandes nestes últimos quinze anos, permitindo novas alternativas de interpretação da estabilidade relativa da plataforma na intraplaca sul-americana.

A Figura 4.1 retrata bem-este estágio, assim como a quantificação matemática recente revela uma tendência para esboço das zonas sísmicas na amplitude do território nacional.

Sem interesse ao presente estudo do Projeto Ferro Vale do Rio Pardo, toda sismicidade na região centrada em Belo Horizonte foi sugerida como uma zona geradora de eventos (Zona Sismogênica de Paraopebas), que se conecta à de Jequitai e desta se prolonga para norte na direção da localidade de Manga.

A Figura 4.1 praticamente isola as instabilidades crustais junto a Belo Horizonte e a Figura 3.1 concentra as ocorrências de Montes Claros – Itacarambi - Janaúba. As análises mais recentes refletem outra realidade para o quadrante 14-20° S / 40-46° W que registram ocorrências de:

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 25/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

- Sismo de 20.11.1977 (Janaúba) = 3,7 mR
- Sismo de 27.08.1995 (Montes Claros) = 3,7 mR (110 eventos)
- Sismo de 01.08.1972 (Tuparecê) = 3,9 mR
- Sismo de 11.04.1974 (Tuparecê) = 3,7 mR (300 eventos)
- Sismo de 09.12.2007 (Itacarambi) = 4,9 mR (14 eventos)
- Sismo de 19.05.2012 (Montes Claros) = 4,0 mR

A escolha do sismo para o Projeto Ferro Vale do Rio Pardo pode ser realizada por critérios diversos, considerando ênfase à geotectônica ou não.

5.1 APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ZONA SISMOGÊNICA

Neste caso, o sítio do projeto se localiza praticamente no limite das zonas geradoras Jequitai e Jequitinhonha.

Considerando a primeira, o maior sismo em seu interior ocorreu em 09/12/2007, em Itacarambi, tendo alcançado a magnitude de 4,9 Richter e a intensidade epicentral de VII-VIII MM. Anteriormente, um evento isolado de 27.08.1995 atingiu magnitude de 3,7 (VI MM). No ano de 2012, de registro do maior número de eventos, o sismo de 19/05/2012 alcançou magnitude 4,0. As distâncias epicentrais indicam que a atenuação destes eventos no sítio do projeto reflete intensidade IV – V MM.

Considerando a instabilidade da zona Jequitinhonha, o maior evento é da área de Tuparecê, sítio de registro de mais de 300 eventos no ano de 1974. O maior sismo registrado foi em 01/08/1972, com magnitude 3,9 e intensidade VI MM; dois anos depois outro evento moderado ocorreu em 11/04/1974, com magnitude 3,7 e intensidade epicentral de VI – VII MM. A atenuação dos efeitos até o sítio do projeto indica equivalência à intensidade IV – V MM.

As acelerações horizontais relacionadas a estes níveis de intensidades são de 0,015 a 0,030 g, conforme GUTENBERG E RICHTER (1942) ou de 0,015 a 0,04 g, em acordo a BOLT (1978).

5.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS E ACELERAÇÕES

Os estudos apresentados de avaliação do perigo sísmico para o projeto, consideram a vida útil de 50 anos para o empreendimento (Figura 3.7 e Figura 3.8) e as leis (com suas incertezas) de atenuação, além da distribuição epicentral da Figura 3.1.

O nível de aceleração máxima no sítio do empreendimento resultou em 0,037 g (equivalente à intensidade VI MM segundo GUTENBERG e RICHTER (1942) e a 0,07 g conforme BOLT (1978).

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 26/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

Para vida útil de projeto de 50 anos, os 10% de probabilidade de excedência das acelerações corresponderia a 0,025 g. Para acelerações de 0,037 g a probabilidade seria de 5%. O período de retorno destas acelerações seria próximo de 450 e 960 anos, respectivamente.

A correspondência entre aceleração e intensidade para VI MM, conforme sugestão dos estudos de ASSUMPÇÃO e DIAS NETO (2003) seria de

maciços rochosos = 0,02 a 0,04 g (*);

maciços terrosos = 0,04 a 0,08 g (0,06 a 0,07 g conforme BOLT 1978).

(*) Segundo GUTENBERG e RICHTER (1942) esta faixa, para as mesmas condições de maciços rochosos, corresponde a 0,03 a 0,07 g.

Ressalvando-se esta incompatibilidade de parâmetros dos pesquisadores de 2003, os resultados alcançados refletem boa concordância com os métodos aplicados de tratamento estatístico para aceleração x intensidade sísmica, que se mostram mais conservadores com a aplicação do critério de áreas sismogênicas.

5.3 CARTA DE AMEAÇA SÍSMICA BRASILEIRA

Esta carta (ASSUMPÇÃO et al. 2016) resulta do cálculo da taxa de ocorrência de magnitudes considerando o número por ano ou sismos por ano e por km²; e da tendência de suavização lateral a partir do evento máximo. As acelerações foram consideradas apenas para locais em rocha, e a probabilidade de excedência de 10% durante 50 anos, para o período de retorno de 475 anos.

Esta ferramenta de representação das áreas esperadas de acelerações sísmicas foi utilizada nos estudos da UTM de Caldas. Não há integração com as áreas apresentadas no projeto *Global Seismic Hazard Assesment Project*, sugerido norma NBR15.421(ABNT, 2006).

A identificação de acelerações da ordem de 0,04 a 0,08 g (a máxima talvez para a situação de amplificação de maciços terrosos) se restringe à área dos sismos de Montes Claros e Itacarambi que, respectivamente, produziram magnitudes de 4 e 4,9. Entretanto, o domínio das acelerações do Projeto Ferro Vale do Rio Pardo é das acelerações menores, na faixa de 0,02 a 0,04 g. E o maciço rochoso de fundação da cava de exploração é de boa qualidade geotécnica.

Esta faixa de 0,02 a 0,04 g corresponde àquela da transição das intensidades sísmicas V – VI MM de GUTENBERG e RICHTER (1942); os máximos de VI MM estão entre 0,03 e 0,07 g.

5.4 INTEGRAÇÃO DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

A avaliação dos resultados de tratamento anterior leva a considerar acelerações entre 0,02 e 0,04 g (20 a 40 cm/s²) na verificação da estabilidade dos taludes da futura cava (para hanging wall e para foot wall).

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 27/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

Mas, o resultado calculado de aceleração máxima no sítio do projeto foi de 0,037 g, e está, se aproxima do máximo da faixa cartografada no mapa.

Sugere-se que a verificação de estabilidade seja conduzida com as acelerações 0,020 g e 0,037 g (intensidades correlacionadas à transição de V – VI MM) pois todas as análises de atenuação e amplificação das ondas sísmicas já se acham incorporadas nos parâmetros, tanto para a bacia dos metassedimentos a oeste quanto para os terrenos pré-silurianos do Leste.

6.0 ACELERAÇÕES E PROJETO CONCEITUAL

Os estudos geológicos e a avaliação sismotectônica realizados em 1992 para o Aproveitamento Múltiplo Jequitai (Hasui 1991, Hasui e Mito 1992-1993) serviram para refletir sobre o contorno da borda cratônica do São Francisco no polígono 14,5 – 19,5° S / 42 – 47° W. As localidades referenciais são, respectivamente, Manga – Sete Lagoas e Taiobeiras – Paracatu.

Para o flanco oriental do Cráton do São Francisco foi consultada a análise da sismicidade para o Projeto Bauxita Amargosa (2011) em nível de *Order of Magnitude Study* (OoM) da Rio Tinto Exploration – RTX. Além do significado intermediário de um estudo posterior ao Conceitual e anterior ao de Viabilidade, o minério de alumínio teria o mesmo escoamento pelo Porto de Ilhéus.

Vinculados ao flanco oeste da área cratônica, foram consultados os estudos para a Barragem Morro do Ouro (da Rio Paracatu Mineração S.A.), que balizou as primeiras ideias de tratamento estatístico para outra área muito distante, do Sistema de Contenção de Rejeitos da Barragem do Gregório (do Grupo Rio Tinto Brasil). Esta análise (2004) simplificou a abordagem probabilística utilizada para o primeiro projeto, cujo embasamento geotectônico não era satisfatório.


Ainda nesta mesma zona limítrofe cratônica, porém mais a sul, foram consultadas as análises de segurança das Barragens de Contenção de Rejeitos do Complexo Mineiro-Industrial da CBMM, no município de Araxá (2007).

Estas análises, no tempo, significam abordagens diversas para aplicação das metodologias determinística e probabilística, às vezes exigida pelas empresas contratantes e outras até para expressar o paralelismo de zonas de maior atividade com as zonas sísmicas do *Uniform Building Code* dos Estados Unidos da América.

A Formação Nova Aurora encerra, além das boas propriedades geomecânicas, uma tendência gradacional de litotipos, foliação orientada a N-S e baixos mergulhos para leste. Outra característica dos maciços metassedimentares é sua condição não-saturada.

As análises de estabilidade para os taludes propostos do *hanging wall* e *foot wall* resultaram em FS superiores àquele relacionado ao grau de segurança médio de 1,30.

Este FS intrínscico pode ser verificado com a adição do menor coeficiente sísmico (0,02 g) deduzido das análises de recorrência de magnitudes e intensidades correlacionadas, no segmento *hanging wall* das

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 28/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

- Seção 05, onde se observou FS = 1,38
- Seção 41, onde se observou FS = 1,32.

O parâmetro **0,037 g** poderá vir a ser inserido na verificação de estabilidade quase ao término da exploração, se eventuais obras exigidas de reforço não se mostrarem suficientes à estabilidade.

O projeto da Barragem Mundo Novo de Rejeitos deverá ser objeto de verificação de estabilidade com a incidência da aceleração horizontal de **0,037 g** no maciço compactado principal, apesar de sua segurança interna, decorrente da edificação a ser projetada com o controle contínuo de compactação e estabilização hidrostática.

O projeto da Barragem de Água Córrego do Vale deve considerar o mesmo nível de aceleração **0,037 g** para sua edificação.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 29/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assumpção, M., 1983. A regional magnitude scale for Brazil. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 237-246.

Assumpção, M., 1985. Atenuação de intensidades macrossísmicas no Brasil e estimativa de risco sísmico no Sudeste. *I Enc. Regional de Geofísica*, S.J. dos Campos, SP, Resumos, 64.

Burton, P., 1978. Perceptible earthquakes in the United Kingdom. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 54, 475-480.

Toro, G.R. N.A. Abrahamson & J.F. Schneider, 1997. Model of strong ground motions from earthquakes in Central and Eastern North America: best estimates and uncertainties. *Seismological Res. Lett.*, 68, 41-57.

Reiter, L., 1990. *Earthquake Hazard Analysis*. Columbia University Press, 254 p.

BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C. M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H.; VELOSO, J. A. V. 1984. *Sismicidade do Brasil*. São Paulo, IAG/USP; Cnen. 320p.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº1. 1983. *Revista Brasileira de Geofísica*, 1(2): 121-125.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 2. 1983. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2(1): 51-54.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 3. 1984. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2(2): 127-130.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 4. 1985. *Revista Brasileira de Geofísica*, 3(1): 69-73.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 5. 1985. *Revista Brasileira de Geofísica*, 3(2): 129-132.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 6. 1985. *Revista Brasileira de Geofísica*, 4(1): 27-30.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 7. 1986. *Revista Brasileira de Geofísica*, 4(2): 273-275.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 8. 1987. *Revista Brasileira de Geofísica*, 5(1): 67-72.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 9. 1987. *Revista Brasileira de Geofísica*, 5(2): 351-355.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 10. 1989. *Revista Brasileira de Geofísica*, 7(2): 149-153.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 11. 1990. *Revista Brasileira de Geofísica*, 8(2): 87-91.

		PROJETO FERRO VALE DO RIO PARDO	
PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 30/35	
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00	

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 12. 1991. *Revista Brasileira de Geofísica*, **9**(1): 94-97.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 13. 1991. *Revista Brasileira de Geofísica*, **9**(2): 289-291.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 14. 1992. *Revista Brasileira de Geofísica*, **10**(2): 109-113.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 15. 1993. *Revista Brasileira de Geofísica*, **11**(3): 399-403.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 16. 1996. *Revista Brasileira de Geofísica*, **14**(1): 77-82.

BOLETIM SÍSMICO BRASILEIRO Nº 17. 1997. *Revista Brasileira de Geofísica*, **15**(2): 201-204.

ABNT. 2006. Projeto de estruturas resistentes a sismos – procedimentos. ABNT-NBR 15421. 26p.

CATÁLOGO DE SISMOS BRASILEIROS E REGIÕES VIZINHAS. Dados disponibilizados pelo IAG/USP na versão final e dinâmica, para sismos até 2013 e de 2014 até maio 2017, respectivamente.



**PROJETO FERRO VALE
DO RIO PARDO**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 31/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

ANEXO I – CATÁLOGO DOS SISMOS

-16.59 -43.74	66	2009 02 02 18 58 32	15	I	2.4	112.	Montes Claros/MG
-15.88 -41.77	184	2015 07 09 02 07 28	0	I	2.8	113.	Curral de Dentro/MG
-16.47 -41.70	17	1983 03 07 09 06 49	0	III I	2.4	114.	TUPARECE/MG
-16.47 -41.70	25	1984 10 20 13 18 00	0	I	3.0	114.	TUPARECE/MG
-16.47 -41.70	18	1983 03 07 11 51 18	0	IV I	3.1	114.	TUPARECE/MG
-16.47 -41.70	16	1983 03 07 05 49 32	0	III I	2.9	114.	TUPARECE/MG
-16.47 -41.70	28	1985 07 08 01 27 38	5	I	2.8	114.	TUPARECE/MG 30 abalos ate' dia 15
-16.47 -41.70	19	1983 03 10	10	I	.0	114.	TUPARECE/MG 30+ev ate 13.0
-16.47 -41.70	6	1972 08 01 00 00 00	0	VI I	3.9	114.	TUPARECE/MG varios eventos
-16.69 -43.73	124	2014 04 11 18 51 37	0	I	1.6	115.	Montes Claros/MG
-16.71 -43.73	118	2014 04 01 16 06 58	0	I	2.5	116.	Montes Claros/MG
-15.99 -41.70	165	2014 09 27 11 54 35	0	I	2.5	116.	Santa Cruz de Salinas/MG
-16.42 -41.64	7	1974 04 11	5	VI-VII C	3.7	120.	TUPARECE/MG+ de 200 ev. em abril/74
-16.42 -41.64	8	1974 06 08	0	C	.0	120.	TUPARECE/MGDois eventos
-16.69 -43.80	143	2014 06 23 15 01 04	0	I	1.5	122.	Montes Claros/MG
-16.00 -41.64	173	2014 10 13 08 29 21	0	I	2.0	122.	Santa Cruz de Salinas/MG
-16.48 -43.87	57	2008 08 18 14 31 00	40	I	1.9	122.	Vila Nova/MG
-16.70 -43.82	144	2014 06 24 20 21 02	0	I	2.2	124.	Montes Claros/MG
-16.67 -43.83	107	2012 12 23 06 06 42	0	IV I	2.9	124.	Montes Claros/MG
-16.69 -43.82	140	2014 06 16 20 09 26	0	I	1.2	124.	Montes Claros/MG
-16.69 -43.82	147	2014 07 17 14 06 57	0	I	1.3	124.	Montes Claros/MG
-16.71 -43.83	145	2014 07 02 19 59 51	0	I	2.4	125.	Montes Claros/MG
-16.65 -43.85	111	2013 02 16 20 25 45	0	I	1.9	125.	Montes Claros/MG
-16.62 -43.86	110	2013 02 08 13 57 14	0	I	1.7	125.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.84	150	2014 07 25 14 59 21	0	I	1.9	126.	Montes Claros/MG
-16.74 -43.82	138	2014 06 16 15 02 39	0	I	1.4	126.	Montes Claros/MG
-16.07 -41.58	166	2014 09 27 22 00 00	0	I	2.5	127.	Cachoeira de Pajeu/MG
-16.69 -43.85	115	2013 04 06 15 15 42	0	I	2.0	127.	Montes Claros/MG
-16.68 -43.86	189	2015 08 08 12 12 21	0	I	1.7	127.	Montes Claros/MG
-16.68 -43.86	186	2015 07 30 14 59 25	0	I	1.5	127.	Montes Claros/MG
-16.69 -43.85	133	2014 05 30 20 20 44	0	I	1.4	127.	Montes Claros/MG
-16.69 -43.85	179	2015 06 10 20 01 25	0	I	2.0	127.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.86	132	2014 05 28 14 59 20	0	I	1.7	128.	Montes Claros/MG
-16.65 -43.88	134	2014 06 05 20 20 27	0	I	1.5	128.	Montes Claros/MG
-16.59 -43.90	91	2011 12 20 12 22	30	I	2.7	128.	Montes Claros/MG
-16.75 -43.84	169	2014 10 01 20 18 25	0	I	1.5	128.	Montes Claros/MG
-16.68 -43.87	155	2014 08 18 14 59 44	0	I	1.4	128.	Montes Claros/MG
-16.59 -43.90	88	2011 09 09 13 22 07	10	I	2.6	128.	Montes Claros/MG
-16.60 -43.90	59	2008 12 17 13 52 40	10	I	2.1	128.	Montes Claros/MG
-16.69 -43.86	126	2014 05 15 14 57 42	0	I	1.5	128.	Montes Claros/MG
-16.62 -43.89	60	2009 01 08 19 36 36	10	I	1.8	128.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.86	112	2013 03 05 14 43 59	17	I	2.7	128.	Montes Claros/MG
-16.59 -43.90	106	2012 12 20 12 22	10	I	2.7	128.	Montes Claros/MG



**PROJETO FERRO VALE
DO RIO PARDO**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 32/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

-16.67 -43.87	161	2014 09 01 19 59 32	0	I	2.2	128.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.86	172	2014 10 12 06 32 30	0	I	2.5	128.	Montes Claros/MG	
-16.59 -43.90	92	2012 04 02 04 47 30	10	I	1.3	128.	Montes Claros/MG	
-16.59 -43.90	89	2011 10 10 13 22 47	10	I	2.6	128.	Montes Claros/MG	
-16.62 -43.89	63	2009 01 15 19 17 48	10	I	2.2	128.	Montes Claros/MG	
-16.59 -43.90	93	2012 04 02 05 21 16	0	I	2.8	128.	Montes Claros/MG	
-16.59 -43.90	94	2012 04 02 07 19 33	10	I	2.7	128.	Montes Claros/MG	
-16.62 -43.89	62	2009 01 15 19 17 20	10	I	2.2	128.	Montes Claros/MG	
-16.75 -43.85	131	2014 05 26 20 04 35	0	I	1.6	129.	Montes Claros/MG	
-16.76 -43.84	153	2014 07 29 20 42 04	0	I	2.2	129.	Montes Claros/MG	
-16.68 -43.88	122	2014 04 06 19 31 04	0	I	3.4	129.	Montes Claros/MG	
-16.69 -43.87	130	2014 05 22 20 19 06	0	I	1.6	129.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.88	183	2015 07 08 20 04 40	0	I	2.2	129.	Montes Claros/MG	
-16.69 -43.87	128	2014 05 20 19 23 10	0	I	1.7	129.	Montes Claros/MG	
-16.73 -43.86	83	2010 09 29 16 54 43	10	I	2.8	129.	Montes Claros/MG	
-16.73 -43.86	188	2015 08 07 11 01 17	0	I	1.2	129.	Montes Claros/MG	
-16.64 -43.89	136	2014 06 10 20 19 41	0	I	1.3	129.	Montes Claros/MG	
-16.65 -43.89	159	2014 08 25 20 34 52	0	I	2.2	129.	Montes Claros/MG	
-16.66 -43.89	125	2014 05 15 06 03 38	0	I	1.3	129.	Montes Claros/MG	
-16.66 -43.89	152	2014 07 29 14 59 49	0	I	1.3	129.	Montes Claros/MG	
-16.66 -43.89	113	2013 03 05 14 59 33	0	I	1.5	129.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.88	135	2014 06 09 14 59 24	0	I	1.4	129.	Montes Claros/MG	
-16.73 -43.86	85	2010 09 29 19 54 43	0	I	2.8	129.	Montes Claros/MG	
-16.73 -43.86	84	2010 09 29 17 34 46	10	I	2.4	129.	Montes Claros/MG	
-16.72 -43.86	13	1978 07 26	0	C	.0	129.	Montes Claros/MG	
-16.74 -43.86	46	1996 12 17 16 57 41	20	II	I	2.3	130.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.88	105	2012 12 19 05 32 19	1	III	I	2.1	130.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.88	109	2013 01 09 13 15	5	III	I	1.0	130.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.88	100	2012 11 15 03 03 15	1	IV	I	2.3	130.	Montes Claros/MG
-16.68 -43.89	121	2014 04 06 14 47 00	0	I	2.3	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	142	2014 06 17 18 05 29	0	I	2.0	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	104	2012 12 19 05 31 16	0	V	I	3.6	130.	Montes Claros/MG
-16.70 -43.88	156	2014 08 19 14 40 23	0	I	1.3	130.	Montes Claros/MG	
-16.78 -43.84	158	2014 08 25 17 59 37	0	I	1.5	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	86	2011 03 05 23 29 41	0	I	3.3	130.	Montes Claros/MG	
-16.73 -43.87	163	2014 09 20 18 58 51	0	I	1.7	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	102	2012 12 19 04 54 38	0	V	I	3.6	130.	Montes Claros/MG
-16.69 -43.88	98	2012 05 22 17 09 05	0	I	3.0	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	95	2012 05 19 13 41 22	0	I	4.0	130.	Montes Claros/MG	
-16.69 -43.88	148	2014 07 21 19 58 48	0	I	1.6	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	120	2014 04 06 13 43 50	0	I	2.3	130.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.88	99	2012 09 12 23 56 45	0	I	2.9	130.	Montes Claros/MG	
-16.62 -43.92	181	2015 06 18 14 10 53	0	I	1.7	131.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.89	96	2012 05 19 16 44 36	5	III	I	2.6	131.	Montes Claros/MG
-16.71 -43.89	178	2015 05 27 14 00 50	0	I	1.7	131.	Montes Claros/MG	
-16.75 -43.87	182	2015 06 22 22 31 08	0	I	1.6	131.	Montes Claros/MG	
-16.83 -43.83	141	2014 06 17 17 00 04	0	I	2.3	131.	Montes Claros/MG	
-16.71 -43.89	108	2013 01 09 13 13 52	0	I	1.2	131.	Montes Claros/MG	
-16.65 -43.91	167	2014 10 01 06 42 41	0	I	1.4	131.	Montes Claros/MG	



**PROJETO FERRO VALE
DO RIO PARDO**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 33/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

-16.75 -43.87	149	2014 07 23 20 20 13	0	I	1.6	131.	Montes Claros/MG	
-16.64 -43.92	114	2013 04 02 19 34 19	0	I	1.5	132.	Montes Claros/MG	
-16.68 -43.91	146	2014 07 15 19 59 53	0	I	1.3	132.	Montes Claros/MG	
-16.68 -43.91	170	2014 10 07 19 59 29	0	I	1.3	132.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.91	187	2015 08 03 14 59 45	0	I	1.8	132.	Montes Claros/MG	
-16.75 -43.89	171	2014 10 07 20 42 45	0	I	1.3	133.	Montes Claros/MG	
-16.71 -43.91	207	2017 09 06 09 09 28	0	I	2.2	133.	Montes Claros/MG	
-16.64 -43.93	160	2014 08 29 19 59 52	0	I	1.3	133.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.92	151	2014 07 25 19 22 16	0	I	1.4	133.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.94	58	2008 12 15 18 30 03	10	I	2.3	135.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.94	44	1995 08 28 12 59 58	10	I	2.4	135.	Montes Claros/MG	
-16.68 -43.94	185	2015 07 14 18 00 30	0	I	1.4	135.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.94	65	2009 02 02 18 58 31	5	I	2.4	135.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.94	61	2009 01 15 19 17 19	5	I	2.2	135.	Montes Claros/MG	
-16.61 -43.96	97	2012 05 20 19 32 10	0	I	2.6	135.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.94	40	1995 08 27 12 12	10	I	2.6	135.	Montes Claros/MG	
-16.78 -43.90	129	2014 05 21 19 58 50	0	I	1.7	135.	Montes Claros/MG	
-16.67 -43.94	78	2009 08 03 20 00 43	10	II-III	I	1.9	135.	Montes Claros/MG
-16.67 -43.94	77	2009 08 01 15 01 35	10		I	2.1	135.	Montes Claros/MG
-16.67 -43.94	41	1995 08 27 20 08 35	0	VI	I	3.7	135.	Montes Claros/MG
-16.66 -43.96	139	2014 06 16 19 20 16	0	I	1.8	136.	Montes Claros/MG	
-16.80 -43.90	157	2014 08 22 19 59 01	0	I	1.5	136.	Montes Claros/MG	
-16.46 -44.03	64	2009 02 01 07 12 18	20	I	1.3	138.	Montes Claros/MG	
-16.66 -43.98	119	2014 04 06 13 39 28	0	I	3.2	138.	Montes Claros/MG	
-16.51 -41.46	15	1982 09 05 06 30 02	0	I	3.2	140.	ITAOBIM/MG	
-16.88 -43.90	103	2012 12 19 04 54 39	0	I	3.9	140.	Montes Claros/MG	
-16.70 -43.98	180	2015 06 12 20 27 21	0	I	2.1	140.	Montes Claros/MG	
-16.77 -43.97	123	2014 04 08 02 55 23	0	I	2.9	142.	Montes Claros/MG	
-16.78 -43.98	101	2012 11 29 14 09 10	0	I	2.8	143.	Montes Claros/MG	
-16.70 -44.01	154	2014 08 08 14 59 58	0	I	1.3	143.	Montes Claros/MG	
-16.73 -44.00	127	2014 05 16 20 01 22	0	I	1.5	143.	Montes Claros/MG	
-16.46 -44.09	49	1999 10 24 19 13 42	0	I	3.5	145.	Montes Claros/MG	
-16.72 -44.02	116	2013 04 18 10 10 50	0	I	3.4	145.	Montes Claros/MG	
-16.71 -44.06	177	2015 04 29 20 22 15	0	I	2.0	148.	Montes Claros/MG	
-16.26 -44.16	199	2016 02 06 19 02 00	0	I	2.2	150.	Mirabela/MG	
-16.62 -44.13	26	1984 12 09 03 22 16	0	I	3.2	152.	CORAC. JESUS/MG	
-16.52 -44.15	203	2016 07 12 02 01 15	0	I	2.2	152.	Coracao de Jesus/MG	
-16.22 -41.30	47	1998 01 07 12 47 22	0	I	3.1	155.	Medina/MG	
-17.07 -44.04	34	1990 12 29 21 19 34	0	I	2.9	164.	Bocaiuva/MG	
-15.18 -43.84	192	2015 11 13 02 07 04	0	I	2.7	167.	Jaiba/MG	
-15.29 -43.95	197	2015 12 19 09 57 02	0	I	2.3	168.	Itacarambi/MG	
-15.15 -43.88	190	2015 11 13 01 52 23	0	I	2.8	173.	Itacarambi/MG	
-15.22 -43.95	193	2015 11 16 05 34 44	0	I	1.9	173.	Itacarambi/MG	
-15.16 -43.90	191	2015 11 13 02 04 31	0	I	2.4	173.	Itacarambi/MG	
-15.23 -43.98	194	2015 11 16 05 37 52	0	I	2.3	174.	Itacarambi/MG	
-15.21 -43.96	201	2016 03 23 01 38 14	0	I	2.1	174.	Itacarambi/MG	
-15.14 -43.90	204	2016 07 16 10 11 04	0	I	2.3	175.	Itacarambi/MG	
-15.14 -43.90	200	2016 02 14 05 10 18	0	I	2.4	175.	Itacarambi/MG	
-15.10 -43.87	202	2016 04 28 06 47 27	0	I	2.4	176.	Itacarambi/MG	



**PROJETO FERRO VALE
DO RIO PARDO**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 34/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

-15.07 -43.83	195	2015 12 19 07 04 27	0	I	2.3	176.	Matias Cardoso/MG
-17.76 -43.29	175	2015 03 13 18 42 42	0	I	2.3	176.	Senador Modestino Goncalv
-16.70 -44.37	11	1976 09 27 19 18 10	0	IV	C 2.3	179.	Cor.de Jesus /G
-17.08 -44.21	69	2009 03 19 22 42 51	30	III-IV	I 1.8	180.	ClarodoPocoe/MG
-15.60 -41.20	14	1981 11 10 16 54 00	100	I	2.9	181.	C. Sales/BA
-15.07 -44.09	55	2008 03 19 22 12 00	0	I	3.8	195.	Itacarambi/MG
-14.49 -43.16	198	2016 01 01 15 25 25	0	I	2.8	201.	Palmas de Monte Alto/BA
-15.40 -44.41	39	1995 08 23 09 01 43	50	I	.0	202.	Januaria/MG
-15.06 -44.26	70	2009 04 19 07 37 23	10	I	2.2	209.	Caraibas/MG
-15.06 -44.26	73	2009 05 16 12 31 49	10	I	2.0	209.	Caraibas/MG
-15.06 -44.26	74	2009 05 23 07 04 23	10	I	2.1	209.	Caraibas/MG
-15.06 -44.26	72	2009 05 16 07 44 40	10	I	2.9	209.	Caraibas/MG
-15.06 -44.26	71	2009 05 05 10 06 54	10	I	2.2	209.	Caraibas/MG
-15.06 -44.26	75	2009 06 01 10 04 33	10	I	2.1	209.	Caraibas/MG
-15.06 -44.26	81	2009 10 07 10 12 11	5	I	2.5	209.	Itacarambi/MG
-15.06 -44.26	80	2009 09 23 05 27 37	0	I	2.8	209.	Itacarambi/MG
-15.06 -44.26	79	2009 09 16 02 30 36	55	I	2.2	209.	Itacarambi/MG
-17.30 -44.40	27	1985 06 08 04 15 38	0	I	2.8	210.	PIRAPORA/MG
-15.06 -44.29	87	2011 08 24 05 28 12	10	I	2.3	212.	Caraibas/MG
-15.50 -40.91	35	1991 04 19 06 10 00	0	I	3.0	214.	Encruzilhada/BA
-15.50 -40.91	32	1990 03 09 12 53 29	0	I	2.9	214.	Encruzilhada/BA
-15.50 -40.91	31	1990 03 08 21 01 32	0	IV	I 3.1	214.	Encruzilhada/BA
-15.03 -44.30	54	2007 12 09 02 03 28	0	VII-VIII	I 4.9	215.	Itacarambi/MG
-18.18 -42.41	3	1969 07 16	0	C	.0	216.	S.P. Suacai/MG Foco superficial, VIIMM?
-15.00 -44.30	53	2007 05 24 15 30 58	0	IV-V	I 3.8	217.	Januaria/MG
-17.82 -41.46	33	1990 11 11 23 05 24	30	I	2.4	221.	TeofiloOtoni/MG
-16.59 -40.70	90	2011 12 15 13 01 54	0	III-IV	I 3.6	222.	Felisburgo; SA.Jacinto/MG
-18.12 -43.69	43	1996 04 27 14 47 12	0	I	3.2	229.	Alto Garcas/MT
-16.22 -44.91	82	2010 01 25 02 17 17	0	I	3.3	230.	IcaraideMinas/MG
-17.98 -41.48	162	2014 09 18 19 51 38	0	I	2.2	234.	Frei Gaspar/MG
-16.37 -40.54	50	2000 07 27 00 00 00	0	IV-V	I 3.2	236.	Rubim/MG
-14.57 -44.12	30	1990 03 02 04 10 29	1	I	2.7	238.	Manga/MG
-14.57 -44.12	29	1990 03 01 21 59 59	0	IV	I 3.1	238.	Manga/MG
-18.44 -42.59	2	1968	0	C	.0	243.	S.P. Suacai/MG
-18.44 -42.59	5	1970 02 06 16	0	C	.0	243.	S.P. Suacai/MG
-18.44 -42.59	4	1970 02 06 08	0	C	.0	243.	S.P. Suacai/MG Foco superficial, VIIMM?
-17.94 -41.27	137	2014 06 13 18 43 23	0	I	2.1	244.	Ouro Verde de Minas/MG
-17.93 -44.25	36	1991 09 14 06 44 06	30	I	2.3	245.	Buenopolis/MG
-15.05 -44.75	196	2015 12 19 07 22 57	0	I	2.0	253.	Bonito de Minas/MG
-18.50 -42.13	168	2014 10 01 19 04 00	0	I	2.4	257.	Marilac/MG
-13.95 -43.01	174	2014 11 29 15 31 46	0	I	2.2	258.	Matina/BA
-17.20 -45.00	21	1983 12 07 18 04 14	0	I	2.9	261.	BURITIZEIRO/MG
-17.70 -44.70	51	2001 01 07 03 50 15	0	I	3.4	262.	Pirapora/MG
-15.87 -45.21	38	1994 01 20 06 27 47	150	I	2.7	266.	SaoFrancisco/MG
-15.14 -44.97	37	1993 10 18 06 18 08	0	I	3.3	268.	Januaria/MG
-18.60 -43.39	1	1872 11 11 23	0	C	.0	269.	Serro/MG Enchente e desabamento



**PROJETO FERRO VALE
DO RIO PARDO**

PROJETO CONCEITUAL MINA ENGENHARIA DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL E REJEITO AVALIAÇÃO DO SISMO NATURAL	MINA_VRP007-1010-G-RE-34	Folha 35/35
	WBH028-17-SAMM000-RTE-0034	Revisão 00

-15.25 -40.25	10	1976 07 12 14 00 00	0	IV-V	I	3.2	290.	ITAPETINGA/BA
-15.25 -40.25	44	1996 06 13 13 15	10	II	C	1.2	290.	Itapetinga/BA
-15.25 -40.25	9	1976 07 02	0	C	.0	290.	Itapetinga/BA	
-17.06 -40.12	205	2016 08 11 00 44 56	0	I	2.8	294.	Itanhem/BA	
-14.32 -44.63	20	1983 06 01 14 57 23	0	I	3.2	295.	COCOS/BA	
-18.87 -43.47	176	2015 03 18 20 40 45	0	I	2.5	300.	Alvorada de Minas/MG	
-19.03 -43.26	117	2013 08 02 19 24 27	0	I	2.1	312.	Dom Joaquim/MG	
-15.53 -45.57	22	1984 01 07 21 11 58	40	I	2.1	312.	Nw de minas/MG	
-15.53 -45.57	23	1984 01 12 23 38 57	40	I	2.4	312.	Nw de minas/MG	
-15.53 -45.57	24	1984 01 13 18 53 55	40	I	2.0	312.	Nw de minas/MG	
-18.63 -41.15	206	2017 08 10 12 15 23	0	I	1.7	313.	Sao Joao do Manteninha/MG	
-19.09 -42.96	48	1998 08 26 15 09 43	0	I	3.8	315.	Capelinha/MG	
-18.55 -40.98	56	2008 06 14 03 30	10	III-IV	C	1.2	316.	AguaDoceNort/ES

jam, lcr, mf, wdc - março 2018