



Atividade Sísmica na Região de Apodi, Nordeste do Brasil: Natural ou Induzida?

Carlos da Silva Vilar, Joaquim Mendes Ferreira, George Sand França, Aderson Farias do Nascimento & Francisco Hilário Rego Bezerra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio Brasileiro de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do II SB-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Recentemente, a região de Apodi-RN, Nordeste do Brasil, foi acometida de uma série de pequenos eventos sísmicos que assustaram sua população. No dia 27 de junho de 2005 ocorreu um tremor de terra, sentido com maior intensidade na localidade de Melancias, município de Apodi, tendo sido registrado pela estação sismográfica de Riachuelo (RCBR), com magnitude 2.3 m_b . Posteriormente, uma seqüência de quatro eventos, sentidos pela população, ocorreu nos dias 23 e 24 de julho de 2005. Uma campanha, utilizando cinco estações sismográficas portáteis, foi realizada entre os dias 05 e 12 de agosto visando identificar, primeiramente, a área epicentral. O resultado da análise dos registros obtidos nessa campanha permitiu concluir que a área epicentral se encontra fora do reservatório, aproximadamente 6 km, a NW da parede do mesmo. Os sismos são bastante rasos, com profundidade menor que 5 km. Dado ao escasso número de dados disponíveis não foi possível estabelecer o mecanismo focal.

Introdução

A atividade sísmica, objeto deste estudo, ocorreu próximo ao reservatório da Barragem de Santa Cruz do Apodi, que tem capacidade volumétrica de cerca de 600 milhões m^3 e parede com altura de 57,5 m, e é o segundo maior do estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

A região Nordeste do Brasil é a principal área de atividade sísmica do país, principalmente a borda da Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte e leste do Ceará). Por ser do tipo intraplaca, o nível da atividade sísmica nesta região não pode ser comparado ao de regiões de borda de placa como a Califórnia ou os Andes, por exemplo. Isso não quer dizer que sismos intraplaca não sejam perigosos, mas são menos freqüentes. Ao contrário do geralmente pensado, devido às características da crosta, sismos intraplaca são mais destrutivos que sismos de borda de placa, com a mesma magnitude e profundidade (Seeber & Armbruster, 1988).

Embora, até o momento, não tenha ocorrido nenhum sismo catastrófico na região, duas das características da sismicidade do Nordeste tornam os efeitos dos sismos mais salientes: de um lado, os sismos são rasos com, no

máximo, 12 km de profundidade; e do outro, a atividade sísmica costuma ocorrer na forma de enxame, cuja duração pode se estender por anos (Ferreira *et al.*, 1998).

A região Nordeste tem experimentado sismos de magnitude próxima ou superior a 5,0, como os que ocorreram em Cascavel (1980, 5,2 m_b) e João Câmara (1986, 5,1 m_b ; 1989, 5,0 m_b), todos com intensidade VII MM (escala Mercalli Modificada) e sentidos numa área de raio da ordem de 600 km, a partir do epicentro (Ferreira & Assumpção, 1983; Takeya *et al.*, 1989). Esta atividade sísmica não é nova, e tem sido constatada na região desde 1808 até os dias atuais e, certamente, deve continuar.

Além da sismicidade natural, sismos induzidos pelo enchimento de reservatórios de açudes também foram detectados na região. O caso mais notável é o da Barragem do Açú, constituindo-se num exemplo clássico de sismicidade induzida e objeto de diversos estudos (Ferreira *et al.*, 1995; do Nascimento, 1997; do Nascimento, 2004; do Nascimento, 2005).

Recentemente, a região de Apodi-RN, Nordeste do Brasil, foi acometida de uma série de pequenos eventos sísmicos que assustaram sua população. A existência de atividade sísmica no município de Apodi, até o presente momento, nunca foi registrada. O que se conhece, da literatura, é a existência de atividade sísmica na região de Tabuleiro Grande (distante cerca de 40 km de Apodi) e Dr. Severiano (onde ocorreu uma das maiores atividade sísmica do Nordeste brasileiro nos anos de 1967 e 1968, com a ocorrência de dois eventos de magnitude acima de 4,0 m_b , na escala Richter) (Figura 1).

Neste trabalho fazemos um estudo da atividade sísmica ocorrida nessa região, visando uma discussão reflexiva sobre a causa, ou as causas, da ocorrência dessa atividade, tentando responder à questão central do problema: a sismicidade na região de Apodi é de causa natural ou induzida?

Estudo da atividade sísmica com rede local

O primeiro evento, gerador deste estudo, ocorreu no dia 27 de junho de 2005 às 14:37 GMT (11:37. hora local), tendo atingido a magnitude 2.3 m_b , sendo registrado pela estação sismográfica RCBR, distante cerca de 210 km da região epicentral (Figuras 1 e 2).

Uma seqüência de quatro eventos, sentidos pela população, ocorreu nos dias 23 e 24 de julho de 2005. Dois desses eventos foram claramente identificados nos

registros da estação RCBR e tiveram suas magnitudes determinadas (2.0 e 1.5 m_b). Para os demais, por estarem no limite da captabilidade da estação e por não se saber a hora exata de ocorrência, não foi possível saber se foram ou não registrados e, conseqüentemente, não foi possível determinar a magnitude dos mesmos.

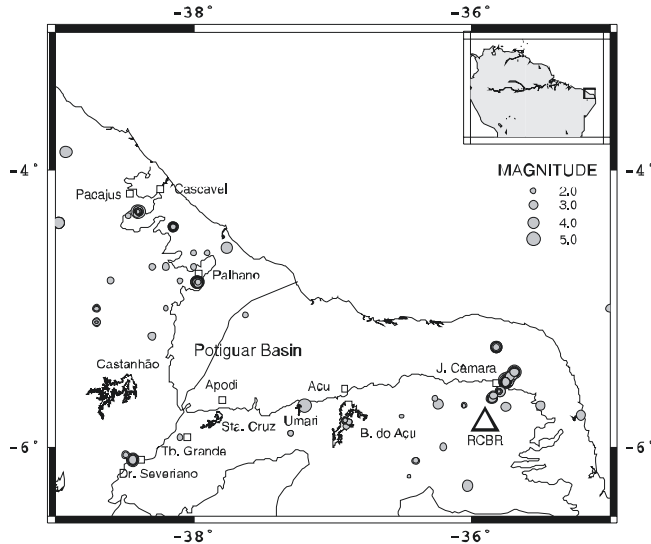


Figura 1. Sismicidade e barragens na borda da Bacia Potiguar. Eventos sísmicos (círculos) conforme Ferreira & Assumpção (1983), Berrocal *et al.* (1984) e RBGf. O triângulo representa a estação RCBR.

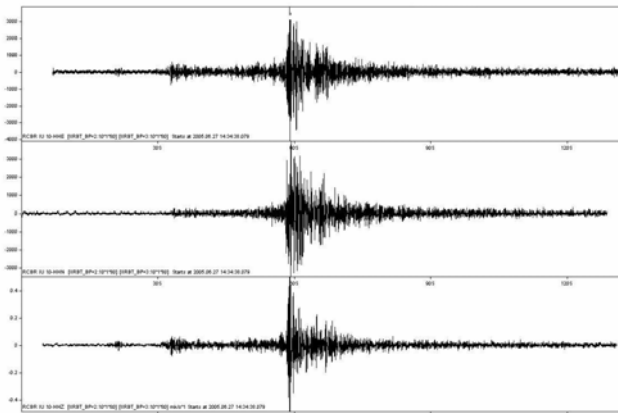


Figura 2. Registro (três componentes) do sismo do dia 27 de junho, de magnitude 2.3, na estação RCBR.

Entre os dias 05 e 12 de agosto, uma equipe do LabSis-UFRN (Laboratório Sismológico da Universidade Federal do Rio Grande do Norte), esteve na região instalando e operando uma rede com cinco sismógrafos portáteis objetivando estudar a atividade sísmica então presente na região. Inicialmente a rede estava constituída pelas estações SC01, SC02, SC03, SC04 e SC05, mostradas na Figura 3.

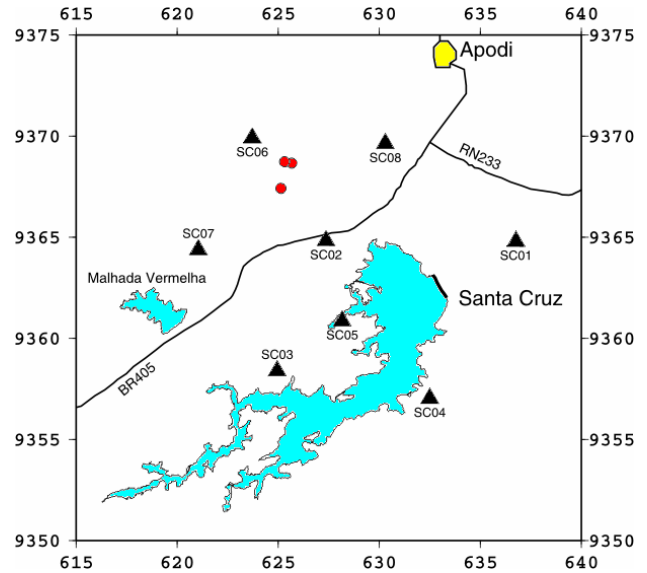


Figura 3. Mapa epicentral. Os triângulos indicam locais onde foram instaladas estações sismográficas. Os círculos indicam os epicentros dos sismos registrados. Coordenadas UTM, em km.

Com essa rede inicial foram detectados os dois primeiros sismos, possibilitando a identificação da área epicentral. Posteriormente, houve um remanejamento de parte do equipamento, ficando a rede final constituída pelas estações SC01, SC02, SC06, SC07 e SC08, mostradas na Figura 3. Isso ocorreu devido à área epicentral estar fora do reservatório, e não no mesmo, como inicialmente se pensava.

As estações, mostradas na Figura 3, foram instaladas, preferencialmente, sobre rochas do embasamento cristalino da região. Quatro das estações eram dotadas de registrador analógico e a quinta, dotada de registrador digital.

Durante o período de uma semana só foram registrados três eventos. O registro de um desses eventos, registrado pela estação digital SC02, é mostrado na Figura 4.

Os parâmetros hipocentrais dos eventos foram obtidos, a partir dos registros dos sismos nas estações, utilizando-se o programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975), com modelo de semi-espaco e velocidade da onda P, $V_p = 6,0$, e razão das velocidades das ondas P e S, $V_p/V_s = 1,71$, idêntico ao estabelecido por Ferreira (1997) para a atividade sísmica em Tabuleiro Grande, próximo a Apodi.

A Figura 3 mostra, em mapa, a localização dos três eventos estudados. O primeiro e o segundo eventos estão muito próximos e o terceiro, que está mais afastado, possui maior imprecisão em sua determinação hipocentral, com erro no epicentro (ERH) da ordem de 2 km e na profundidade (ERZ) da ordem de 1 km.

As estações foram instaladas, inicialmente, partindo-se da hipótese da atividade sísmica estar dentro da área do reservatório. Como isso não ocorreu, elas tiveram que ser dispostas em nova configuração, visando cercar a

área epicentral, o que permitiria obter parâmetros hipocentrais mais confiáveis. Devido à baixa atividade sísmica não foi possível registrar nenhum evento nas condições ideais.

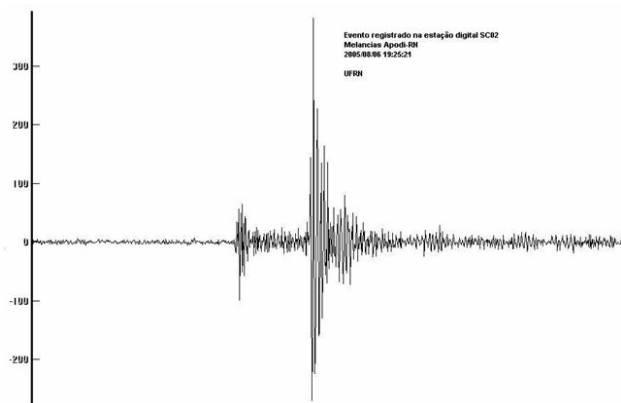


Figura 4. Evento do dia 06 de agosto de 2005 às 19:25 (GMT), registrado pela estação SC02, instalada na localidade de Melancias, Apodi, RN.

Apesar das dificuldades advindas da baixa atividade sísmica, e da distribuição inicial da rede, os resultados podem ser considerados bons, levando-se em conta os erros citados acima. Não é possível se fazer qualquer conjectura sobre o tamanho da área epicentral muito menos ainda ver se ela tem uma direção preferencial. Quanto à profundidade dos sismos podemos dizer que são bastante rasos com profundidades menores que 5 km. Se considerarmos somente os eventos com profundidade melhor determinada a profundidade média seria de 2,3 km.

Sismicidade natural ou induzida?

Devido ao fato dos eventos registrados pela rede sismográfica local mostrarem que a área epicentral estava fora dos limites do reservatório, uma questão que se coloca, imediatamente, é se a atividade sísmica, na região, é natural ou induzida. Tal questão só pode ser posta por não ter havido qualquer monitoramento instrumental até a campanha acima descrita.

Um primeiro argumento favorável à sismicidade natural é o fato da mesma estar ocorrendo fora dos limites do reservatório, como pode ser visto na Figura 3. Um segundo argumento seria a localização da atividade sísmica, independentemente do reservatório, estar localizada na borda da Bacia Potiguar, uma das principais regiões sísmicas do país (Berrocal *et al.*, 1984; Ferreira *et al.*, 1998), como se pode ver na Figura 1.

Esses argumentos podem ser contestados por exemplos de atividade sísmica induzida por reservatórios, no Brasil e no exterior.

Um exemplo clássico de atividade sísmica fora dos limites do reservatório é o da atividade sísmica na barragem de Koyana, na Índia. Essa barragem, de 103 m

de altura e volume de 2,78 bilhões de m³, ocasionou o sismo induzido de maior magnitude que se conhece (6.3 m_b), em 1967 (Gupta, 1992). Esse evento ocorreu a aproximadamente 5 km da parede da barragem e outros eventos, de magnitude maior que 4.0 m_b, ocorreram até 20 km da mesma.

Mesmo barragens de altura menor podem causar atividade sísmica fora dos limites da área do reservatório. É o caso da barragem de Carmo do Cajuru, em Minas Gerais. Apesar da altura da lâmina de água ser pequena (23 m) grande parte da atividade sísmica está fora do lago, tendo o maior sismo atingido a magnitude 3.7 m_b, em 1972, quase 20 anos após o seu enchimento (Berrocal *et al.*, 1984).

O argumento de que a sismicidade é natural pelo fato do reservatório estar nas proximidades da Bacia Potiguar pode ser contraposto pela sismicidade induzida no reservatório da Barragem do Açú. Tal barragem, apesar de estar na borda da Bacia Potiguar é um exemplo clássico de sismicidade induzida (Ferreira, 1997; Ferreira *et al.*, 1995; do Nascimento, 1997; do Nascimento *et al.*, 2004, 2005).

No caso do reservatório de Santa Cruz, não foi realizado nenhum monitoramento antes do enchimento, o que permitiria verificar, imediatamente, o efeito do mesmo na atividade sísmica, que ocorre, geralmente, na forma de microtremores, somente detectados instrumentalmente. Além disso, não é possível, como no caso da Barragem do Açú, fazer uma correlação entre o nível de água e a presente atividade sísmica visto que ela não foi precedida de um pico no nível da água no reservatório, que tem se mantido com pouca variação desde o enchimento (Figura 5).

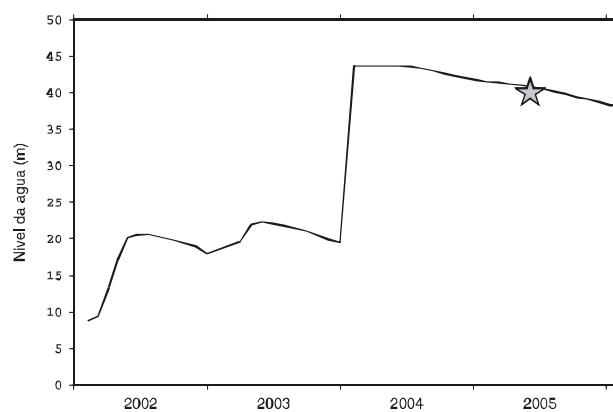


Figura 5. Nível da água na Barragem de Santa Cruz a partir de fevereiro de 2002 até março de 2006. Dados fornecidos pela SERHID/RN (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos/Rio Grande do Norte). A estrela indica o evento de magnitude 2.3 m_b, ocorrido no dia 27 de junho de 2005.

Sendo assim, não é possível afirmar, definitivamente, se a atual atividade sísmica na região de Apodi é natural ou está sendo induzida pelo reservatório da Barragem de

Santa Cruz. Só o monitoramento continuado, poderá resolver esse problema, podendo-se, inclusive, determinar, no caso de sismicidade induzida, o mecanismo responsável por ela.

Conclusões e Considerações Finais

Não é possível concluir, inequivocamente, se a sismicidade é natural ou induzida visto não ter sido feito um monitoramento contínuo, desde antes do enchimento, e não se ter uma correlação clara entre o nível de água e a presente atividade sísmica.

Com a quantidade de eventos registrados não foi possível determinar o mecanismo focal, essencial para se fazer qualquer correlação com a geologia local.

A continuidade do monitoramento sísmico permanente é imprescindível para acompanhar a variação espacial e temporal da sismicidade. Atualmente, isso vem sendo feito com uma estação (SC02), que permanece no mesmo local até o presente momento.

A atividade sísmica em Apodi-RN continua sendo monitorada e, à medida em que mais eventos venham a ser registrados pela estação local, mais dados serão somados aos existentes. Isto pode nos levar a melhor conhecermos a atividade sísmica dessa região e, quem sabe, responder a questão: a sismicidade na região de Apodi é ou não induzida pelo reservatório de água da barragem Santa Cruz?

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido da SERHID/RN, através de todo o seu pessoal, sem os quais este trabalho não teria sido realizado. Ao técnico Eduardo Alexandre, pelo o empenho no trabalho de campo. O autor C.S. Vilar agradece ao CNPq/FAPERN pelo suporte ao projeto desenvolvido por este. O autor A. F. do Nascimento agradece por uma bolsa PQ do CNPq e o autor G. S. França agradece ao suporte do CNPq (processo 309975/2003-4). F. H. R. Bezerra agradece também ao CNPq.

Referências

Berrocal, J., M. Assumpção, R. Antezana, C.M. Dias Neto, R. Ortega, H. França & J.A. Veloso - 1984- Sismicidade do Brasil, IAG- *Universidade de São Paulo/CNEN*, 420 pp.

do Nascimento, A. F. (1997). Estudo da sismicidade induzida pelo reservatório da barragem do Assu (RN). *Dissertação de Mestrado*, PPGG/UFRN, Natal, 72pp.

do Nascimento, A.F., Cowie, P.A., Lunn R.J., Pearce, R.G., 2004. Spatio-temporal evolution of induced seismicity at Açú reservoir, NE Brazil. *Geophys. J. Int.* 158 (3), 1041-1052.

do Nascimento A.F., R.J. Lunn & P.A. Cowie - 2005 - Numerical modelling of pore-pressure diffusion in a reservoir-induced seismicity site in northeast Brazil. *Geophys. J. Int.*, **160** (1):249-262.

Ferreira, J.M & Assumpção, M. (1983). Sismicidade do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, **1**: 67-88.

Ferreira, J.M., Oliveira, R.T, Assumpção, M., Moreira, J.A.M., Pearce, R.G. & Takeya, M.K. (1995). Correlation of seismicity and water level in the Açú reservoir - an example from Northeast Brazil. *Bull Seism. Soc Am.*, **85**: 1483-1489.

Ferreira, J.M. (1997). Sismicidade e esforços no Nordeste do Brasil. *Tese de Doutorado*. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo (IAG-USP). 126pp.

Ferreira, J.M., Oliveira, R.T, Takeya, M.K. & Assumpção, M. (1998). Superposition of local and regional stresses in the northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophys. J. Int.*, **134**: 341-355.

Gupta, (1992). *Reservoir-Induced Earthquakes*. Elsevier, 364pp.

Lee, W.H.K. & J.C. Lahr - 1975 - HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.* 75-311, 114 pp.

RBGf – Boletim Sísmico. *Rev. Bras. Geofís.* Dados a partir de 1982.

Seeber, L. & Armbruster, J. G. (1988). Seismicity along the Atlantic seaboard of the U.S.: intraplate neotectonics and earthquake hazard. In: *The Atlantic Continental Margin: U.S., The Geology of North America*. R.E. Sheridan & J.A. Grow (eds.), *Geological Society of America, Boulder*, p. 565-582.

Takeya, M.K., Ferreira, J.M., Pearce, R.G., Assumpção, M., Costa, J.M. & Sophia, C.M. (1989). The 1986-1987 intraplate earthquake sequence near João Câmara, northeast Brazil - evolution of seismicity. *Tectonophysics*, **167**, 117-131.