ATIVIDADE SÍSMICA RECENTE NO RIO GRANDE DO SUL – BRASIL, NATURAL OU INDUZIDA?

Juraci M. de Carvalho[1] and Lucas Vieira Barros[1]
1) Observatório Sismológico da Universidade de Brasilia

Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 08 a 10 de outubro de 2024. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do X SimBGf, 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

O Estado do Rio Grande do Sul (RS), localizado no sul do Brasil, apresenta uma atividade sísmica relativamente baixa em comparação com outros estados brasileiros, mas não está isento de eventos significativos. Entre os poucos terremotos brasileiros acima de magnitude 5, três ocorreram dentro do perímetro de influência do RS, contabilizando todos os eventos do estado, 111 catalogados (8 históricos e 103 instrumentais). Eventos importantes incluem um terremoto de magnitude 5.9 em 1939 e um de magnitude 5.2 em 1990 ocorridos na margem continental e um de magnitude 5.5 em 1948 perto da fronteira com o Uruguai. Os eventos sísmicos concentram-se principalmente no nordeste do RS, perto de Caxias do Sul (população de 0,5 milhão), com um evento histórico de magnitude 3.5 em Porto Alegre (população de 1,5 milhão) em 1811 e, eventos esporádicos nas regiões central e oeste, como um evento de magnitude 3.5 em Santa Rosa em 1983. A Geologia do estado do Rio Grande do Sul é composta pela Bacia do Paraná com sedimentos mesozoicos e um embasamento cristalino pré-cambriano, caracterizado por um relevo diversificado incluindo planaltos e depressões, com atividade sísmica principalmente ao longo das bordas das províncias geológicas. O objetivo deste estudo é discutir a sismicidade do RS tentando entender sua natureza e causas. Para isso, será utilizado o catálogo sísmico brasileiro SISBRA, dados de formas de onda serão reanalisados e reprocessados para relocalizar os eventos e melhorar a precisão.

Palavras-chave: Rio Grande do Sul, atividade sísmica, terremotos, Sismos em Caxias do Sul, Brasil, Catálogo SISBRA

Introdução

O Brasil, situado no interior continental estável da placa Sul-Americana, exibe uma distribuição não uniforme de sismicidade, geralmente caracterizada por eventos de baixa magnitude (M<3.5). Apenas cerca de duas dúzias de terremotos com magnitudes acima de 5 foram registrados, dos quais dois excedendo a magnitude 6 (Assumpção et al., 2014). O Catálogo Sísmico Brasileiro, conforme ilustrado na Figura 1, foi originalmente compilado por Berrocal et al. (1984) e atualmente é mantido por várias instituições, incluindo SIS-UnB, IAG-USP, UFRN e ON. A Figura 1 é o mapa da sismicidade brasileira de acordo com catálogo, SISBRA (https://moho.iag.usp.br/eq/bulletin/) para M>2.5. O mapa apresenta considerável heterogeneidade e a precisão na localização epicentral para eventos históricos e antigos é menor. Uma melhora significativa na uniformidade e qualidade do monitoramento sísmico começou com o estabelecimento da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) (Bianchi et al., 2014) (Figura 2), onde os triângulos representam as estações sismográficas. O limiar de detecção melhorou em todo o Brasil. Na região Amazônica, por exemplo, caiu de M4.5 para M3.5, implicando em maior número de deteções e precisão.

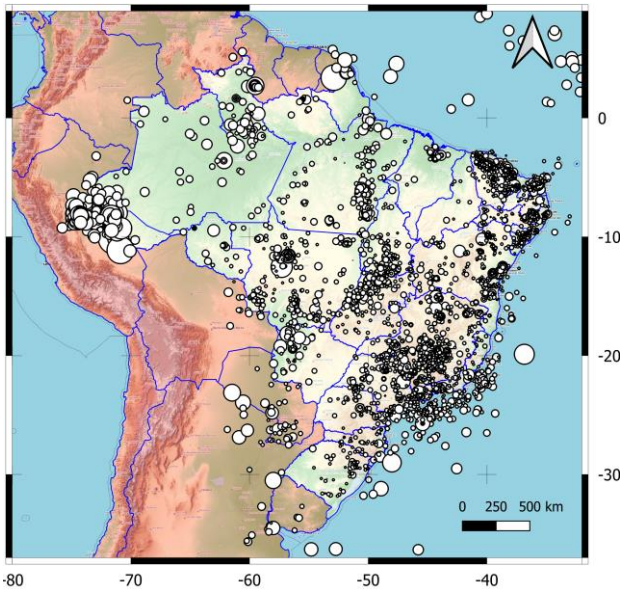

Figura 1 – Mapa da sismicidade brasileira (círculos) de acordo com o Catálogo SISBRA, período de 1724 a dezembro de 2023, para magnitudes acima de 2.5. As magnitudes são proporcionais aos tamanhos dos círculos.

Como pode ser visto na Figura 3, a capacidade de detecção de eventos de baixas magnitudes foi aprimorada após a implementação da RSBR, observe a linha pontilhada azul na Figura que corresponde ao ano de 2011. O painel superior exibe o número de detecções para todo o Brasil e o inferior apenas para o Rio Grande do Sul e suas proximidades. A evolução pode ser claramente observada em 2014, com 244 detecções no Brasil e um aumento substancial no RS.

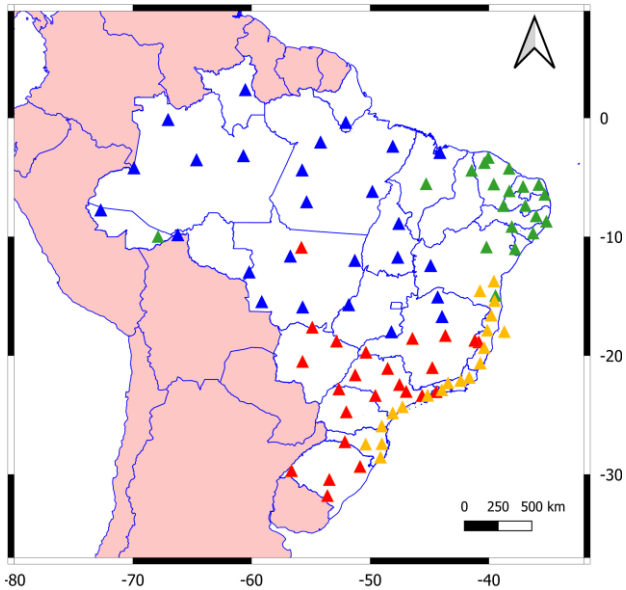

Figura 2 – Estações da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) com início de sua implementação em 2011 e conclusão em 2014. Os quatro nós da rede são representados pelos triângulos azul, vermelho, verde e laranja, correspondendo às instituições responsáveis UnB, IAG/USP, UFRN e ON, respectivamente.

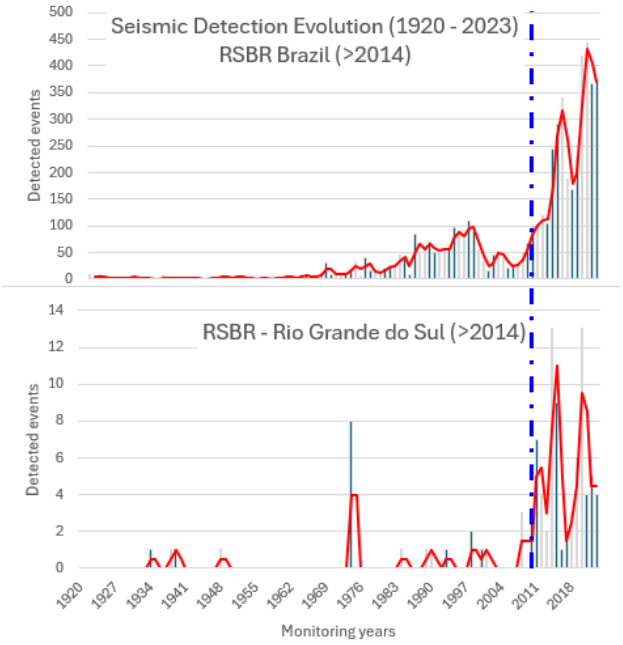

Figura 3 – Número anual de eventos sísmicos detectados no período de 1920 a 2023. A linha vermelha representa a tendência das detecções e a linha azul tracejada marca o início da implementação da RSBR (2011).

Sismicidade do Rio Grande do Sul

A sismicidade do estado do Rio Grande do Sul (RS), é relativamente baixa em comparação com outros estados brasileiros, entretanto não é insignificante. Desde 1724, um total de 111 eventos foram registrados, compreendendo 8 eventos históricos e 103 instrumentais, dos quais três eventos com magnitudes acima de 5 na Escala Richter ocorreram próximos às fronteiras do RS, dois na margem continental e um no Uruguai adjacente à fronteira brasileira (Figura 4). Esses eventos, embora não localizados no RS os seus efeitos aumenta o perigo sísmico no estado.

Os eventos significativos para o RS incluem um terremoto de magnitude 5.9 ao longo da margem continental em 1939, um de magnitude 5.2 em 1990 e um de magnitude 5.5 em 1948, perto da fronteira com o Uruguai. A atividade sísmica está concentrada principalmente no nordeste do estado, próximo a Caxias do Sul (população de 0,5 milhão), com eventos históricos e dois mais recentes, como um terremoto de magnitude 3.5 ocorrido em 1811 e em Porto Alegre (população de 1,5 milhão). Eventos esporádicos no centro e oeste do RS tambem estão presentes, incluindo um terremoto de magnitude 3.5 perto de Santa Rosa em 1983.

Geologicamente, o RS é caracterizado pela Bacia do Paraná, dominada por sedimentos mesozoicos e um embasamento cristalino pré-cambriano, apresentando um relevo diversificado, incluindo planaltos e depressões. A atividade sísmica maior tende a ocorrer ao longo das bordas dessas províncias geológicas.

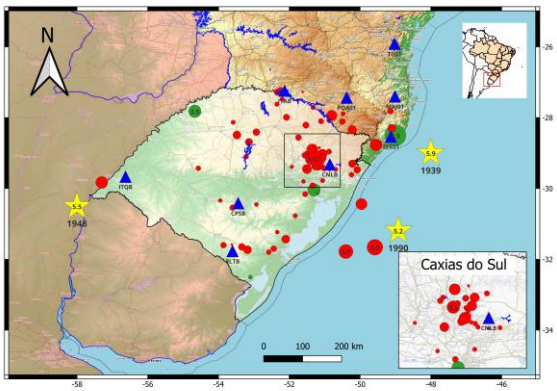

Figura 4 – Sismicidade do estado do Rio Grande do Sul mostrando a concentração de eventos na região de Caxias do Sul. As estrelas representam eventos com magnitudes > 5. Os triângulos azuis são as estações sismográficas da RSBR.

A detecção e compreensão da sismicidade do estado avançaram significativamente desde a implementação da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), com 5 estações instaladas no estado e limiar de detecção de aproximadamente magnitude 2.0. Alguns dos dados de formas de onda foram reanalisados e reprocessados para relocalizar eventos com maior precisão.

Em 2024, quatro eventos sísmicos ocorreram no RS, sendo dois perto de Caxias do Sul e dois mais a oeste, próximo a Pinto Bandeira, aproximadamente 50 km de distância. As formas de onda registradas na estação

ITAB (componente vertical) mostram semelhanças entre esses pares de eventos, conforme ilustrado na Figura 5.

Tabela 1 – Eventos ocorridos em 2024 durante a temporada de chuvas intensas.

Nu	Date	Time	Lat	Lon	Mag	ag typ	Location
1	13/05/2024	06:03:07	-29.11039352	-51.14787674	2.3	mR	Caxias Do Sul - RS
2	13/05/2024	05:58:48	-29.16474152	-51.13153839	2.3	mR	Caxias Do Sul - RS
3	13/05/2024	05:37:45	-29.03984451	-51.46903229	2.3	mR	Pinto Bandeira - RS
4	13/05/2024	04:48:42	-29.06478691	-51.59498978	2.4	mR	Pinto Bandeira - RS

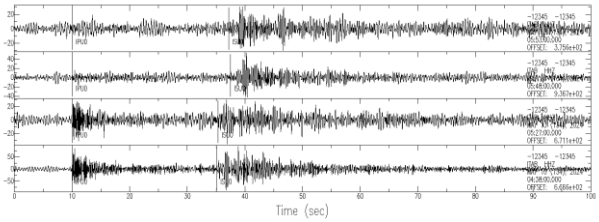

Figura 5 – Formas de onda dos eventos da Tabela 1 (componentes verticais) ocorridos em 2024 no RS, sendo os dois primeiros registros em Caxias do Sul e os registros 3 e 4 em Pinto Bandeira.

Casos de Sismicidade Induzida no Rio Grande do Sul

No RS e em sua região de fronteira, foram identificados quatro casos de sismicidade induzida por reservatórios: Reservatórios de Itá, Machadinho, Campos Novos e Barra Grande (Ribotta et al., 2010). Todos os casos estão localizados na bacia intracratônica do Paraná ao longo do rio Uruguai, especificamente dentro da formação Serra Geral (basalto). Esses quatro reservatórios apresentaram sismicidade desencadeada do tipo rápida, resultando em terremotos de pequena magnitude (M<2.5). Os valores de b para esses reservatórios variam de 1,08 a 1,27 (± 0,11) (Barros et al., 2018).

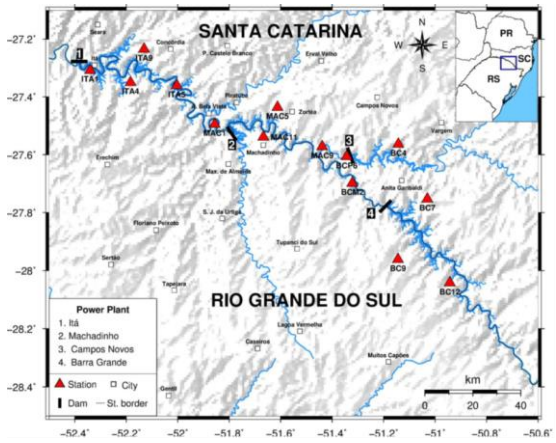

Figura 4 – Reservatórios de Itá, Machadinho, Campos Novos e Barra Grande e as estações de monitoramento. Figura de Barros et al. (2018). Todos esses reservatórios induziram sismicidade.

Discussão e Conclusões

A implementação da Rede Sismográfica Brasileira melhorou significativamente a capacidade de monitoramento em todo o estado do RS, considerando a existência de 5 estações na área, portanto, possibilitando a detecção e caracterização mais precisa de eventos sísmicos na região. Esse avanço tem sido fundamental para identificar eventos sísmicos de pequenas magnitudes dentro do estado de RS, bem como na plataforma continental e na fronteira com o Uruguai.

A atividade sísmica no RS abrange tanto eventos tectônicos naturais quanto induzidos por reservatórios. A presença de quatro casos de sismicidade induzida por reservatórios, ao longo do rio Uruguai, destaca a sensibilidade das estruturas geológicas locais às mudanças antropogênicas, como infiltração de água e redistribuição de estresse.

Embora uma correlação potencial entre atividade sísmica e precipitação seja especulativa e careça de evidências definitivas, padrões semelhantes foram observados em outras regiões (Hainzl et al., 2006). Fatores como variações na pressão dos poros devido à infiltração de água podem desempenhar um papel significativo.

Em conclusão, o estudo enfatiza a complexa interação entre fatores naturais e antropogênicos que influenciam a atividade sísmica em RS. Melhorar o monitoramento e realizar pesquisas adicionais são essenciais para entender melhor essas dinâmicas e mitigar o risco sísmico potencial associado às sismicidades natural e induzida por reservatório.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições e pesquisadores responsáveis pela produção do Catálogo Sísmico Brasileiro (SISBRA) e pela implementação e operação da Rede Sismográfica Brasileira.

Referências

Assumpção, M., Ferreira, J., Barros, L. V., Bezerra, H., Franca, G. S., Barbosa, J. R., Menezes, E., Ribotta, L. C., Pirchiner, M., Nascimento, A., & Dourado, J. C. (2014). Intraplate Seismicity in Brazil. In Intraplate Earthquakes, In Cambridge U.P (Ed.), Talwani, P.

Barros, L. V., Assumpção, M., Ribotta, L. C., Ferreira, V. M., de Carvalho, J. M., Bowen, B. M. D., & Albuquerque, D. F. (2018). Reservoir-Triggered Seismicity in Brazil: Statistical Characteristics in a Midplate Environment. Bulletin of the Seismological Society of America, 108(5B), 3046–3061. https://doi.org/10.1785/0120170364

Berrocal, J., Assumpção, M., ARTEZANA, R. DIAS NETO, C. M., Ortega, R., FRANÇA, H., VELOSO, J. A. V., Antezana, R., Neto, C. M. D., & Franca, H. (1984). Sismicidade do Brasil. Instituto Astronômico e Geofísico.

Bianchi, M., Assumpção, M., Agurto, H., Collaço, B., Calhau, J., Roberto, J., Galhardo, L., Pirchiner, M., Fachim, S., Barbosa, C., Rocha, M., Carvalho, J., Araujo, P., Silva, F., França, G., & Barros, L. (2014). The New Brazilian Seismic Network: Current Status and Detectability Test with the Recent Pisagua Earthquake Sequence, Northern Chile. Earth Sci. Res. J, 18(Special Issue), 45.

Hainzl, S., Kraft, T., Wassermann, J., Igel, H., & Schmedes, E. (2006). Evidence for rainfall-triggered earthquake activity. Geophysical Research Letters, 33(19). https://doi.org/10.1029/2006GL027642

Ribotta, L. C., M. Assumpção, J. L. Manuzzi, A. M. B. E. Carvalho, & J. V. M. Regina. (2010). Seismicity induced in 4 deep reservoirs, southern Brazil, 2010. AGU - American Geophysical Union.