

RELATÓRIO DE MÉTRICAS II

14 de dezembro de 2023

Análise de métricas dos resultados obtidos para classificação dos eventos
rede sísmológica brasileira - RSBR.

UNIDADE RESPONSÁVEL

Cidades Infraestruturas e Meio Ambiente – CIMA
Seção de Obras Cíveis - SOC

PERÍODO DE ANÁLISE

Início: 1 de janeiro de 2020

Fim: 31 de dezembro de 2023

RESUMO

Neste Relatório são apresentados os resultados das métricas obtidas para a classificação dos eventos registrados pela Rede Sismológica Brasileira. O objetivo é avaliar a eficiência do algoritmo de classificação automática de eventos sísmicos por redes neurais convolucionais desenvolvido na pelo Laboratório de Planetologia e Geociências da Universidade de Nantes, França. Este algoritmo foi treinado com dados sísmicos da rede sismológico francesa foram testados com dados tanto desta mesma rede como da rede estado-unidense obtendo resultados satisfatórios. Neste relatório, são apresentados os resultados obtidos para a rede brasileira e as métricas de avaliação do desempenho do algoritmo. Para isso, foi desenvolvido um sistema que automatiza a aquisição e pré-processamento dos dados sísmicos que serão inseridos na primeira camada da rede neural. **Palavras-chave:** sismologia, aprendizagem de máquina, redes neurais convolucionais.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	1
2	ATIVIDADES REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS	1
2.1	Características operacionais	2
2.2	Interpretação dos registros	4
2.2.1	Detonações em pedreiras e obras	4
2.2.2	Sismos naturais	6
2.2.3	Sismos induzidos	6
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	7
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

1 INTRODUÇÃO

Este Relatório integra o estudo sismológico em desenvolvimento pelo Consórcio Empresarial Salto Pilão - CESAP e o IPT, de acordo com a Proposta FIPT/IPT nº 59220/21 de 29 de junho de 2021 - “Monitoramento sismológico na área do AHE Salto Pilão, SC, entre julho/2021 e junho/2024”, em continuidade aos trabalhos iniciados em janeiro de 2007 (Carta Proposta CT-Obras/SG-233/06), referentes à implantação do programa de monitoramento da sismicidade induzida na Usina Hidrelétrica Salto Pilão - UHESP. O estudo visa o atendimento aos requisitos do Projeto Básico Ambiental - PBA deste empreendimento, em execução na bacia do rio Itajaí-Açu, nos municípios de Lontras, Ibirama e Apiúna, no Estado de Santa Catarina, dentro do Programa 3: Monitoramento dos Impactos Geológicos – Sub-Programa 3.2: Sismicidade Induzida, de acordo com a LAO – Licença Ambiental de Operação no 4.055/12 concedida pela Fundação do Meio Ambiente - FATMA do Estado de Santa Catarina, atualmente Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina - IMA.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados do monitoramento sismológico efetuado na área da Usina Hidrelétrica Salto Pilão, com a Estação Sismológica SP7, entre 01 de dezembro de 2022 e 30 de junho de 2023, permitindo acompanhar a sismicidade local e orientar a adoção de eventuais medidas mitigadoras, atendendo às exigências previstas no processo de licenciamento ambiental do empreendimento.

2 ATIVIDADES REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

O método de análise utilizado baseia-se nas técnicas atualmente empregadas pela Sismologia, desenvolvidas para a análise dos dados obtidos por meio de estação sismológica digital triaxial, com a utilização de softwares específicos.

Os resultados das análises dos dados registrados foram dispostos em figuras e tabelas que constam nos Apêndices A e B, respectivamente, para melhor apresentação e facilidade de leitura do texto deste Relatório.

2.1 Características operacionais

Os dados foram obtidos por meio da Estação SP7, composta dos seguintes equipamentos:

- Digitalizador (DAS – Data Acquisition Sub-system), modelo 130-01 (RefTek, EUA), de alta resolução, com 3 canais de registro, 24 bits, número de série 9FD3;
- Sistema interno de gravação (DRS – Data Recording Sub-system) em flash cards (SimpleTech, EUA), capacidade de 2 GB (com 4 unidades, sendo duas instaladas na estação e, as outras duas, para troca na coleta de dados);
- Relógio GPS (RefTek);
- Sismômetro, modelo SeisMonitor (Oyo GeoSpace, EUA), número de série 1430;
- Painel solar, modelo SQ75-P de 75W/12Vcc, com controlador de carga BaseD (Artesa, Espanha), números de série 028222A1180544787 e 02090579, respectivamente;
- Bateria, estacionária, selada, 12 Vcc e 100 Ah (Freedom, DF2000);
- Palmtop, modelo MEL1000 (Meazura-Acceca, Austrália), utilizado para processar o software de operação dos equipamentos sismológicos.

A operação da estação é realizada por meio do software PFC-130 (Palm Field Controller), que é o controlador de ajuste de campo para o DAS130, versão palmtop. Com este software, são fornecidos, entre outros, os parâmetros de operação dos equipamentos, verificado o funcionamento da estação e transferidos os dados; e

- Multiteste, modelo ET1610 (Minipa, Brasil).

Para transferência dos dados de campo para a sede do IPT, em São Paulo, foi utilizada a leitora de flash cards, modelo FlashLink (SimpleTech, EUA), número de série STI-UMC2300 e para arquivamento, um PC de uso geral do CESAP.

As coletas dos dados foram efetuadas por técnicos da UHSP, mediante troca dos flash cards. O encaminhamento dos dados para o IPT ocorreu a partir do envio dos mesmos na plataforma OneDrive para posterior processamento e análise.

A rotina de coleta e análise dos dados foi mantida. O Palmtop que serve para controle dos equipamentos da estação apresentou problemas de conexão na coleta do dia 14.06.2021, e conseqüentemente perdeu o arquivo de configurações da estação SP7 na memória. Após tentativas infrutíferas de restaurar a conexão com a estação, o Palmtop foi enviado ao IPT para reconfiguração, e foi consertado e enviado de volta à estação SP7, que resumiu sua operação normal no dia 01.09.2021. Desde então a estação opera normalmente. Entretanto, para o período entre 15.06.2021 e 01.09.2021 não houve registro de dados, e conseqüentemente

desmontes/eventos sísmicos que pudessem ter ocorrido durante esse período não foram detectados. Desde então, a estação operou de modo satisfatório, sem que houvesse perdas de dados que comprometessem as análises.

Uma planilha de campo, contendo a sequência de tarefas que devem ser executadas a cada coleta de dados ou visita à estação, foi preenchida com informações que permitiram a avaliação do desempenho dos equipamentos instalados na estação sismológica. Além destas informações operacionais, foram anotados os problemas observados e toda atividade desenvolvida durante os trabalhos de campo. No Anexo A estão apresentadas as planilhas de campo.

O IPT realizou visita de campo à estação SP7 no dia 21.06.2022, para inspeção geral da estação sismológica e para instalação do novo equipamento GPS adquirido. A estação se encontra em bom estado de conservação, e o equipamento novo foi instalado sem grandes dificuldades, funcionando de imediato com o DAS em operação no local e adquirindo lock com a constelação de satélites em poucos segundos. Foi também averiguado que a provável fonte do ruído que se observa na estação de maneira intermitente em período comercial vem de uma bomba de água que se encontra instalada a aproximadamente 15 metros da estação. A estação opera de maneira satisfatória na maior parte do tempo, não comprometendo o monitoramento sismológico da área, e, portanto, este ruído intermitente é tolerável.

Além da verificação das informações contidas na planilha de campo e nos arquivos de gerenciamento do sistema, o técnico que está realizando a análise dos dados sismológicos faz uma interpretação das características dos sinais sísmicos para verificar se não está ocorrendo alguma anormalidade.

No dia 12.12.2007, às 19 h e 11 min (hora universal), iniciou-se a operação da Estação Sismológica SP7 situada nas coordenadas geográficas: 27,1203° S (6.999.291 UTM-N), 49,4620° W (652.443 UTM-E) e cota de 489 m (esta localização foi apresentada com detalhe no Desenho 1 do Relatório IPT no 98 859-205 – “Definição e instalação da estação sismológica na área do Aproveitamento Hidrelétrico Salto Pilão, SC”, emitido em fevereiro de 2008).

O sismômetro foi instalado e orientado de acordo com os pontos cardeais, de modo que os canais 1, 2 e 3 de registro correspondessem, respectivamente, às componentes Z (vertical), NS (Norte-Sul) e EW (Leste-Oeste). Vale observar que o cabo de ligação digitalizador-sismômetro veio montado com as polaridades das componentes horizontais invertidas. Devido à montagem deste cabo não foi possível inverter as ligações dos pinos destas componentes. Assim, foi decidido que, no IPT, quando processados os dados de campo, a inversão de polaridade seria realizada por meio do software de análise.

Na instalação da Estação SP7, foram utilizados os flash cards identificados com os números 1 e 2. Na primeira coleta de dados, estes flash cards foram substituídos pelos de números 3 e 4. Nas coletas seguintes, continuou-se a substituição, utilizando estes pares de flash cards de modo alternado.

O funcionamento da Estação SP7 pode ser visualizado, de modo geral, na Figura 1, Apêndice A. Nesta figura apresenta-se o gráfico de completeza mensal, mostrando a disponibilidade dos dados da estação SP7 no período de referência deste relatório. Em síntese, no período de monitoramento sismológico compreendido entre 01.12.2022 e 30.06.2023, o funcionamento da Estação SP7 pôde ser considerado satisfatório. Um detalhamento maior do funcionamento da estação para o período englobado por este relatório pode ser obtido analisando-se os boletins sísmicos no Anexo A, que contêm os gráficos de completeza diários para cada mês entre 01.12.2022 e 30.06.2023.

2.2 Interpretação dos registros

Este item abrange a interpretação de cada evento identificado, localizado e quantificado.

Para a determinação da distância epicentral, o azimuth e a magnitude dos eventos registrados na Estação SP7, adotou-se a metodologia apresentada no Relatório IPT no 104 490-205 – “Análise dos registros obtidos entre 12 de dezembro de 2007 e 29 de maio de 2008, na Estação Sismológica SP7, SC”, emitido em julho de 2008.

2.2.1 Detonações em pedreiras e obras

O conhecimento e o controle do cronograma de detonações em pedreiras e obras situadas próximas à área do empreendimento são de grande importância na interpretação dos registros e análise dos dados, pois facilitam a identificação dos eventos associados às detonações.

O controle, de um modo geral, é efetuado por meio de planilhas, nas quais são declarados os dias e horários dos fogos, cargas, tipo de fogo e outras informações referentes às detonações efetuadas, que são periodicamente (geralmente mensalmente) enviadas ao IPT por mensagem eletrônica.

Na área do entorno do empreendimento foram identificadas duas pedreiras em funcionamento (pedreiras Azza e Daclande) e vários pontos com atividades minerárias que podem utilizar

explosivos no processo de lavra. Destaca-se que no Desenho 1 do Relatório IPT no 98 859-205 foram apresentadas as localizações destas pedreiras e minerações.

Neste período de análise foram recebidas informações sobre detonações das pedreiras Azza e Daclande para os meses de dezembro de 2022 e janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho de 2023. Com os dados das detonações realizadas procurou-se identificá-las nos registros dos eventos obtidos instrumentalmente. Os eventos foram classificados como detonações suspeitas ou sismos a partir da análise da forma de onda do registro sísmico e do horário de ocorrência, junto à inspeção via satélite pelo software Google Earth Pro, para averiguar a presença de operações de mineração nas proximidades dos epicentros determinados.

Foi identificado um total de sessenta e sete (67) desmontes/detonações no período, sendo sete (7) destes confirmados através do plano de fogo provido pelas pedreiras (Daclande e Azza), e outros doze (12) localizados nas imediações das mesmas, as quais foram relacionadas a detonações não informadas por estas pedreiras devido à localização dos epicentros, às características dos sinais sísmicos e aos horários de ocorrência semelhantes aos das detonações que já vinham ocorrendo nestes locais. Já os outros quarenta e oito (48) eventos registrados não puderam ser correlacionados com os dados recebidos das pedreiras conhecidas, mas pela característica do sinal sísmico, horário de ocorrência e pela verificação de que existem empreendimentos de mineração/pedreiras não identificadas na região, foram classificados como tal.

Ressalta-se que todos os registros classificados como detonações (com ou sem confirmação) apresentaram magnitude pequena, condizente com diferentes tipos de detonações nestes empreendimentos, sendo as magnitudes mínima e máxima registradas de 0.4 e 3.0 MLv, respectivamente.

A Tabela 1, Apêndice B, contém a relação dos eventos que foram associados às detonações, incluindo a data e o horário de registro (em hora universal), o epicentro, magnitude e energia liberada, além de um comentário indicando a pedreira associada, quando o epicentro localizado consta no plano de fogo. A Figura 2, Apêndice A, mostra a localização em volta do empreendimento para as detonações identificadas no período.

Como as informações advindas de detonações sempre serão úteis na interpretação dos dados, solicita-se que, periodicamente, seja verificada a existência de novas pedreiras/obras na área, obtidas as suas respectivas localizações e efetuados os contatos com os responsáveis, com o intuito de se obter os correspondentes “planos de fogo”.

2.2.2 Sismos naturais

No período de 01.12.2022 a 30.06.2023, foram detectados três pequenos sismos locais próximos à estação SP7, com magnitudes entre 0.2 e 0.9 MLv. O maior destes eventos foi registrado em 2023-05-26 18:31:02 (UTC). Suas localizações com relação à estação SP7 são mostradas na Figura 2, Apêndice A.

Foi detectado um sismo regional natural no território brasileiro, na região do Vale do Ribeira, no estado de São Paulo, próximo à cidade de Iguape – SP, em 2023-06-16 11:22:00 (UTC). O sismo teve magnitude 4.0 mR, e foi sentido por diversas pessoas na região e também em áreas distantes do epicentro, como na capital paulista. O registro do evento na estação SP7 é mostrado na Figura 3, Apêndice A. O registro pela estação teve excelente qualidade e auxiliou a determinação do mecanismo focal (determinação de orientação da falha) do evento em conjunto com as estações da Rede Sismográfica Brasileira.

Não foram detectados telessismos no território brasileiro durante o período. Os telessismos fora do Brasil e imediações, embora registrados, não foram avaliados neste estudo que visa caracterizar a sismicidade ocorrida na área da Usina Salto Pilão. Os epicentros localizados no Brasil são localizados para contribuir com o melhor conhecimento da sismicidade nacional.

Continuam válidas as considerações e orientações anteriores a respeito das medidas a serem tomadas em caso de ocorrência de um sismo local sentido pela população.

Para o período de 01.12.2022 a 30.06.2023 foram emitidos os Boletins Sísmicos nos 18/36-2024 a 24/36-2024, apresentados no Anexo A.

2.2.3 Sismos induzidos

O monitoramento da sismicidade induzida por reservatório na área de influência do Empreendimento da Usina Hidrelétrica Salto Pilão, que está na fase do pós-enchimento, não indicou a existência de eventos relacionados à operação deste reservatório.

Porém, recomenda-se que a auscultação sismológica na região seja mantida, de modo a dar continuidade ao melhor conhecimento da sismicidade local e regional, além do necessário acompanhamento da operação da UHE Salto Pilão.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o monitoramento sismológico realizado no período de 01.12.2022 a 30.06.2023, tem-se que:

- Em síntese, o funcionamento da Estação SP7 pôde ser considerado satisfatório. Um detalhamento maior do funcionamento da estação para o período englobado por este relatório pode ser obtido analisando-se os boletins sísmicos no Anexo A, que contêm os gráficos de completeza diários para cada mês no período.
- Na área de influência do empreendimento foram registrados sessenta e sete (67) desmontes com magnitudes entre 0.4 e 3.0 (MLv), sendo quatorze (19) destes relacionados a detonações nas proximidades das pedreiras Azza e Daclande, e os restantes em outras áreas (Figura 2, Apêndice A).
- Foram detectados três pequenos sismos locais próximos à estação SP7, com magnitudes entre 0.2 e 0.9 MLv. O maior destes pequenos eventos foi registrado em 2023-05-26 18:31:02 (UTC).
- Foi detectado um sismo regional natural no território brasileiro, próximo à cidade de Iguape – SP, em 2023-06-16 11:22:00 (UTC). O sismo teve magnitude 4.0 mR .
- Durante o monitoramento sismológico local efetuado com a Estação SP7 não foram registrados sismos induzidos oriundos da operação do reservatório.
- A orientação e procedimentos apresentados no Relatório IPT no 115 463-205 – “Análise dos registros obtidos entre 1º de junho e 30 de novembro de 2009, na Estação Sismológica SP7, SC”, emitido em janeiro de 2010, e no Relatório IPT no 120 081-205 – “Análise dos registros obtidos entre 1º de junho e 30 de novembro de 2010 na Estação Sismológica SP7, Salto Pilão, SC e síntese das atividades e dos resultados do monitoramento sismológico”, emitido em janeiro de 2011, quanto à ocorrência de provável tremor de terra sentido pela população local ou ocorrências anômalas na área do empreendimento, devem ser mantidos.

O monitoramento instrumental possibilita determinar o epicentro, quantificar o tamanho (a magnitude), definir a origem do evento e, se for o caso, em função da análise do comportamento espaço-temporal da atividade, tomar medidas mitigatórias.

Assim, pelos resultados do monitoramento sismológico realizado com a Estação SP7, em função das características operacionais do registrador-sismômetro e de sua localização, considera-se de muita valia manter esta estação em funcionamento para dar continuidade no conhecimento da sismicidade local e regional.

No monitoramento realizado não foi observada a ocorrência de evento sísmico associado à implementação do Empreendimento da UHE Salto Pilão. A continuidade do monitoramento sísmológico na área do empreendimento permitirá acompanhar eventual ocorrência local.

Mantidas as atuais características da sismicidade, local e regional, para a continuidade do monitoramento sísmológico devem ser mantidos os atuais procedimentos adotados para operação, coleta e análise dos dados, com periodicidade mensal. Além disso, continuam válidas as orientações a serem adotadas no caso de ocorrer evento local sentido pela população e de eventuais anomalias na obra tais como deslocamentos de rochas e estampidos associados.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS