

# USINA HIDRELÉTRICA SANTO ANTÔNIO

## Relatório de Atividades Programa de Monitoramento Sismológico

### Relatório 36

EMPRESA: **WW Consultoria e Tecnologia Ltda.**

PERÍODO DAS ATIVIDADES: **Novembro de 2013**

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: **João Willy Corrêa Rosa**

RESPONSÁVEL SAESA: **Ricardo Ferreira**

## Sumário

1. OBJETIVOS	3
2. ASPECTOS RELEVANTES	4
3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	7
4. POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE SISMOS PELO RESERVATÓRIO	9
5. EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO	11
6. CONCLUSÕES	11

***APÊNDICE - Resultado do Processamento dos Registro das Estações Sismológicas na área da Santo Antônio Energia S.A.***

## **1. Objetivos**

O objetivo do Programa de Monitoramento Sismológico é a investigação de todos os aspectos que permitam o entendimento do comportamento sismológico da área de interesse da futura UHE Santo Antônio. Para atingir tais objetivos, a região de interesse, que inclui a região do reservatório da UHE Santo Antônio, precisaremos efetuar a localização de todos os eventos sismológicos regionais (incluindo-se aqui explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio, sismos naturais ou induzidos naquela região, ou qualquer outra atividade local que possa gerar ondas sísmicas).

O objetivo específico desta fase do programa é a observação regional no mês de Novembro de 2013, utilizando-se os dados registrados pela Estação Sismológica de Samuel (localizada em Rondônia, nas proximidades da UHE de Samuel) e, a partir de Março de 2012, de dados das duas estações sismológicas instaladas na área da Santo Antônio Energia S.A. Com relação à primeira estação sismológica instalada em Santo Antônio, tivemos o equipamento da mesma instalado no escritório do Canteiro de Obras daquela empresa (na margem esquerda do Rio Madeira). Temos também instalada e operando, a segunda estação sismológica do empreendimento, funcionando em área selecionada na localidade de Teotônio (margem direita do Rio Madeira).

Nos trabalhos resumidos neste relatório (referentes ao mês de Novembro de 2013), quando resumimos as atividades realizadas durante o referido período mensal), tivemos o processamento do conjunto de dados gerados pela estação SAML e pelas estações SANT1 e SANT2, que compõem a rede de duas estações locais previstas para a área da UHE de Santo Antônio. Os equipamentos das duas estações locais encontram-se instalados e funcionando, de forma rotineira, nos dois sítios escolhidos para a instalação definitiva das duas estações, denominadas SANT1 e SANT2.

A utilização dos registros da estação sismológica de Samuel como padrão para os registros da rede sismográfica que monitora a UHE Santo Antônio foi prática escolhida por termos, nesta estação, registros gerados no formato empregado em troca de dados sismológicos a nível internacional. Os registros das duas estações da UHE Santo Antônio são gerados a nível ainda mais detalhado de amostragem do sinal, porém em um formato de dados diferente. O acompanhamento dos eventos é normalmente feito com os registros das três estações.

Neste relatório, apresentamos um resumo dos procedimentos empregados e os resultados obtidos para esta fase do Programa de Monitoramento Sismológico da UHE Santo Antônio.

## **2. Aspectos Relevantes**

De acordo com o contrato firmado entre a empresa Santo Antônio Energia S.A., responsável pela Usina Hidrelétrica Santo Antônio e nossa empresa, procedemos, durante o mês de Novembro de 2013, à respectiva fase mensal de operação da rede de duas estações sismográficas utilizada para o monitoramento sismológico da área de interesse da barragem da UHE citada. Seguindo as recomendações especificadas para o monitoramento, a região lago deve ser permanentemente monitorada por uma rede de duas estações sismográficas. Tal fato deve-se à necessidade de localizar, com precisão, os eventos que possam ocorrer no local de interesse da futura barragem.

A primeira estação sismográfica, SANT1, foi instalada no início de Dezembro de 2010, conforme previsto no programa. Um segundo conjunto de equipamentos passou a equipar a estação SANT2, que opera desde Fevereiro de 2012, na região de Teotônio, na área de interesse da usina. Desta forma, com a geração de dados pela estação SANT2, temos menor possibilidade de perda total de dados no monitoramento da área.

Para efetuar a localização dos eventos (incluindo-se aqui explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio, sismos naturais ou induzidos naquela região, ou qualquer outra atividade local que possa gerar ondas sísmicas), necessitamos determinar quatro parâmetros para cada evento: a localização exata do epicentro (latitude e longitude), a profundidade do foco e a hora de origem (momento em que ocorreu o evento). Assim, necessitamos de, no mínimo, quatro dados de tempo de chegada das ondas medidos na estação, que seriam nossas fontes de dados.

Conforme já citado, além da rede de duas estações sismográficas prevista para a UHE Santo Antônio, utilizamos também os dados da Estação Sismológica de Samuel, da GSN (Rede Sismológica Mundial), da qual podemos recuperar os dados mensalmente para que, juntamente com os dados das duas estações locais da UHE Santo Antônio, possamos conduzir o monitoramento sismológico rotineiro da área de interesse da usina.

Como decidimos instalar um sismógrafo de três componentes em cada uma das duas estações sismográficas previstas para a UHE Santo Antônio, poderemos analisar tanto ondas P como ondas S, o que nos permite obter até seis leituras de tempos de chegada em cada estação sismográfica considerada. Isto explica o fato que, para o arranjo sismográfico mais simples e, portanto, menos oneroso, teremos três estações sismográficas, o que nos permitirá o registro da chegada das ondas P e das ondas S produzidas por um evento sísmico qualquer em cada uma das três estações consideradas no programa.

A estação SANT1, instalada na área da UHE Santo Antônio funcionou, em Outubro-Novembro de 2013, em regime rotineiro, sem interrupções ocorridas por falta de fornecimento de energia ao sistema. Assim, tivemos a recuperação dos dados registrados de forma excelente para a referida estação da UHE Santo Antônio. No



passado, observamos que a estação SANT1 mostrava um nível de ruído registrado extremamente alto até Fevereiro de 2013, o que inviabilizava sua utilização. Por ocasião dos trabalhos de campo, realizado no final de Fevereiro de 2013, verificamos que o poço onde estava abrigado o sensor foi parcialmente alagado com água de chuvas. O sensor foi então removido e drenado. Foi realizada uma limpeza da parte eletrônica, e o sensor foi instalado novamente no poço do abrigo, no canteiro de obras da SAE, em Outubro de 2013. Conforme pode ser observado no Apêndice deste relatório, o ruído foi totalmente removido dos registros posteriores. Isto significa que o sensor, por ter blindagem adicional interna, não foi danificado. Quanto à estação SANT2, tivemos problemas com falta de energia por período prolongado em Outubro de 2013. Solucionamos o fornecimento através da aquisição de um novo e maior no-break de energia para a estação.

Os reparos necessários na tampa do poço da estação SANT1 foram realizados em Julho de 2013, conforme mostrado nas fotos abaixo:



Foto 1 – Trabalho de secagem do poço anteriormente alagado da estação SANT1.



Foto 2 – Trabalho de vedação do poço da estação SANT1.



Foto 3 – Visão externa do poços da estação SANT1 após adaptação realizada.



A estação sismológica de Samuel teve, durante o período do final de Novembro de 2012 ao início de Agosto de 2013, problemas com a transmissão dos dados registrados por aquela estação. Desta forma, tivemos um volume menor de dados processados referentes ao início do ano de 2013 (até Agosto de 2013). Em Agosto de 2013, os dados da estação de SAML passaram a ser transmitidos e registrados normalmente. Conseguimos transferir e processar todos os registros da estação produzidos até Novembro de 2013. Os dados obtidos para o período foram tratados, através da rotina de processamento de dados sismológicos normalmente empregada em observações deste tipo e os dados correspondentes foram interpretados. A partir de Outubro de 2013, conseguimos recuperar os dados da estação SAML, apesar de ter ocorrido um problema no orçamento do Governo Norte-Americano, com interrupção temporária dos serviços de fornecimento dos dados das estações da rede mundial, serviços que estão agora regularizados.

Neste relatório, resumimos os resultados desta fase do programa de monitoramento sismológico regional previsto para este projeto.

### **3. Atividades Desenvolvidas**

Conforme já citamos, para efetuar a localização dos eventos (neste caso, explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio), necessitamos determinar quatro parâmetros para cada evento: a localização exata do epicentro (latitude e longitude), a profundidade do foco e a hora de origem (momento em que ocorreu o evento). Assim, necessitamos de, no mínimo, quatro dados de tempo de chegada das ondas medidas na estação, que seriam nossas fontes de dados.

A partir de Agosto de 2013, os dados da estação de Samuel puderam ser novamente recuperados em sua integralidade, conforme citamos acima. A estação entrou novamente em operação, após diversas solicitações que encaminhamos ao Serviço Geológico Norte-Americano, no início da Agosto de 2013. Deste modo, o processamento dos dados daquela estação pôde ser realizado de forma completa até Outubro-Novembro de 2013.

Quanto aos dados da primeira estação sismológica de Santo Antônio, tivemos a colaboração do Sr. Luiz Zoccal, que nos apoiou nos trabalhos do canteiro de obras, para obtenção dos dados dos dois sismógrafos que instalamos na área da Santo Antônio Energia S.A. Os dados foram separados em Brasília e tratados como um conjunto de informações independente em relação aos dados obtidos da Estação Sismológica de Samuel. Assim, os dados da primeira estação de Santo Antônio foram processados de forma independente e, a partir de Março de 2012, em conjunto com os dados recuperados da estação SANT2. Esta estação não operou em caráter rotineiro em Julho, mas voltou a funcionar no final do mês de Agosto de 2013, pois ocorreu vandalismo na rede elétrica de alimentação da mesma. Assim, a identificação das

detonações no canteiro de obras foi conduzida em Outubro-Novembro de 2013 utilizando-se os registros das três estações: SANT1, SANT2 e SAML, conforme apresentado neste relatório.

O processamento dos dados segue a seguinte rotina: as listagens de dados contendo as detonações (Tabela 1) registradas pelo grupo de trabalho que atua na construção da UHE Santo Antônio (coordenado pelos colegas responsáveis pelas detonações realizadas no canteiro de obras) contem as informações de data, horário local, carga e outras informações de cada detonação realizada. Considerando o horário das detonações listado nas tabelas fornecidas pela Santo Antônio Energia S.A., consultamos os arquivos de registro de Samuel que separamos a partir da rotina de processamento citada acima. O horário local em Santo Antônio é transformado para o horário GMT dos registros da estação de Samuel e os registros identificados.

Em Outubro-Novembro de 2013, não conseguimos identificar a única detonação realizada no canteiro de obras durante o período, ocorrida no dia 22 de Outubro, pois a quantidade de explosivo utilizada foi muito pequena (Evento 1, da Tabela 1). Nos meses anteriores, a identificação das fases P e S dos registros de detonações, permitia localizar as detonações a distâncias epicentrais de aproximadamente 85 km de Samuel, correspondentes à medida da distância aproximada entre aquela estação e o canteiro de obras da UHE Santo Antônio, onde foram realizadas as detonações.

No Apêndice deste relatório, incluímos também, como foi procedimento adotado nos relatórios anteriores, o resultado do tratamento dos dados das estações SAML, SANT1 e SANT2, para a identificação de telessismos ocorridos na Terra durante o período considerado por este relatório. Dos resultados da análise de registros de telessismos apresentados tivemos, em meses anteriores, registros de alguns sismos ocorridos a grandes distâncias da localidade da UHE Santo Antônio, conforme os dados epicentrais publicados pelo National Earthquake Information Center, do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS). O registro dos telessismos ocorre sem mudanças, observados primeiramente pela estação de Samuel, de forma que temos segurança que as estações utilizadas para o monitoramento da área de interesse da UHE Santo Antônio mostram sensibilidade também para a observação deste tipo de evento.

Neste relatório, apresentamos ainda uma série de mapas e de imagens de satélite preparados para o Programa de Monitoramento Sismológico, onde foram localizadas as principais feições regionais e os prédios do canteiro de obras da UHE Santo Antônio. As estações sismológicas instaladas na área da UHE Santo Antônio, assim como a estação sismológica de Samuel, encontram-se também posicionadas nos mapas e imagens anexados a este relatório.

No dia 25 de Novembro de 2012, a estação SANT1 registrou o evento regional ocorrido em Ariquemes, RO (incluído no Apêndice deste relatório), que foi amplamente divulgado pela imprensa regional. Este evento, com magnitude 4.7, determinada pelo



sistema IRIS e pelo National Earthquake Information Center, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), teve seus demais parâmetros epicentrais determinados como:

hora de origem: 22:57:42 GMT  
epicentro: latitude -9.46; longitude -63.02  
profundidade focal: 19.4 km

Os registros da estação SANT2 foram incluídos também no Apêndice deste relatório. Conforme já citamos, a estação SAML teve a transmissão de dados à rede internacional interrompida no dia 22 de Novembro de 2012, dependendo agora de manutenção para o restabelecimento da comunicação de dados via satélite.

O registro dos dados do sismo regional citado, pelas estações SANT1 e SANT2 (cujo processamento foi incluído no Apêndice deste relatório) demonstram, pelo acionamento do software de trigger (indicado pela coloração vermelha do registro), que o sistema de monitoramento da UHE Santo Antônio está em funcionamento adequado, capaz de monitorar até sismos regionais, além dos eventos de natureza local.

Em 11 de Agosto de 2013, a estação SANT1 registrou outro sismo regional, com magnitude 4.0 e epicentro determinado a SSW de Redenção, PA, localizado pelo sistema IRIS e pelo National Earthquake Information Center, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Seus demais parâmetros epicentrais determinados:

hora de origem: 14:43:53 GMT  
epicentro: latitude -8.319; longitude -50.243  
profundidade focal: 15.6 km

#### ***4. Possibilidade de Ocorrência de Sismos Induzidos pelo Reservatório***

Durante o período de monitoramento sismológico executado anteriormente a Agosto (de Março de 2012 a Julho de 2013), nenhum sismo que possa ter sido induzido pelo reservatório da UHE Santo Antônio, havia sido registrado. A fase de monitoramento citada incluiu um período anterior à formação do reservatório, o acompanhamento durante seu enchimento e, finalmente, o período durante o qual o reservatório está formado. Neste último caso, temos já geração de energia elétrica pela UHE Santo Antônio.

No dia 04 de Agosto de 2013, conforme apresentamos no Apêndice deste relatório, foram registrados, pela estação SANT1, três sismos locais na região de interesse de Santo Antônio: às 00:39; 00:40 e 00:47hs GMT. O primeiro dos eventos, com magnitude regional 3.2 mL, foi sentido pelos operadores e demais funcionários trabalhando na UHE Santo Antônio. Foi também registrado pela estação SAML, que havia voltado à operação poucas horas antes (segundo informações do Observatório Sismológico da UnB, o epicentro do evento ocorreu a aproximadamente 100 km da estação de SAML), mas não existia ainda uma localização mais precisa para o mesmo. As primeiras observações indicam uma localização do epicentro a SE de Porto Velho. No Apêndice deste relatório, incluímos nosso processamento dos dados da estação de SAML, com a conclusão que o evento local ocorreu a 79.8km daquela estação.

Assim, estávamos otimistas, até o mês de Julho de 2013, quanto à possível não-ocorrência de sismos induzidos pelo reservatório pois, até o momento, a ausência de sismos locais (com base nos dados coletados até Julho de 2013), nos conferia uma certa tranquilidade quanto à ocorrência do fenômeno associada a esta grande obra de engenharia. Considerando também a avaliação de risco sísmico regional, temos uma posição confortável, visto que existem outras áreas no Brasil e em outros países da América do Sul com risco sísmico muito maior, com a necessidade de um monitoramento com nível de resolução maior recomendado. A ocorrência dos três primeiros abalos locais, registrados por nossa rede de monitoramento, sentida também na área da usina de Santo Antônio, muda um pouco nosso perfil de observação, pois agora temos um fenômeno local a acompanhar, mesmo ainda não caracterizado por atividade sísmica induzida por reservatório.

Por outro lado, optamos sempre por uma posição mais cautelosa, que inclua um monitoramento sismológico contínuo da região afetada pelo reservatório. Temos, dentre as três estações sismológicas empregadas no monitoramento, uma estação sismológica da rede mundial, com sensores empregados para monitoramento regional, além dos dois sismógrafos instalados para monitoramento local. A atividade sismológica regional foi bem testada quando da observação do sismo ocorrido em Ariquemes, em Novembro de 2012, muito bem registrado pelas duas estações locais, como citado na seção anterior deste relatório. Tivemos ainda, em Agosto de 2013, o registro do sismo regional ocorrido em Redenção, PA, pela estação SANT1, o que comprova novamente a capacidade de monitoramento regional por nossa rede sismográfica. Temos também grande atividade e movimentação de pessoas na área do reservatório formado, que podem, como o ocorrido, gerar notícias ou reclamações quanto ao surgimento de atividade sísmica local. Em Outubro-Novembro de 2013, nenhum sismo local foi identificado nos registros processados de nossa rede instalada e, agora, operando de forma completa e contínua.

No entanto, não devemos esquecer que, no Brasil, a atividade sísmica induzida local pode ter surgido mesmo depois de diversos anos, ou até mesmo, de décadas, após o enchimento final do reservatório, conforme vários exemplos de sismicidade induzida por reservatórios registrados no Brasil. Devemos lembrar também da atividade sísmica induzida registrada nas UHE Tucuruí e UHE Balbina, localizadas na Amazônia Brasileira. Deste modo, justificamos nossa abordagem mais cuidadosa do fenômeno na região da UHE Santo Antônio.

Apenas a coleta de dados a longo prazo poderá fornecer mais informações sobre o comportamento futuro da possível atividade sísmica induzida na área do reservatório da UHE Santo Antônio.

## **5. Equipe Técnica de Trabalho**

A equipe envolvida no processamento dos dados da UHE Samuel incluídos neste relatório composta do profissional:

Prof. João Willy Corrêa Rosa (Coordenador) (PhD em Geofísica, MIT-USA, 1986)

## **6. Conclusões**

Considerando o objetivo do Programa de Monitoramento Sismológico é a investigação de todos os aspectos que permitam o entendimento do comportamento sismológico da área de interesse da futura UHE Santo Antônio. Para atingir tais objetivos, a região de interesse, que inclui a região do reservatório da UHE Santo Antônio, precisaremos efetuar a localização de todos os eventos sismológicos regionais (incluindo-se aqui explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio, sismos naturais ou induzidos naquela região, ou qualquer outra atividade local que possa gerar ondas sísmicas).

Nesta fase do trabalho, utilizamos os dados da Estação Sismológica de Samuel, localizada em Samuel, RO, que é parte da Rede Sismológica Mundial (GSN), operada pela Universidade de Brasília, pois a mesma voltou a funcionar normalmente após apresentar problemas de funcionamento e de transmissão de dados no primeiro semestre de 2013. Os dados das estações sismográficas instaladas na área de UHE Santo Antônio foram tratados, através de processamento envolvendo técnicas de separação dos dados em faixas de frequências que permitissem a identificação dos registros das detonações realizadas no canteiro de obras da UHE Santo Antônio no período de Outubro-Novembro de 2013.

Assim, realizamos no período de Outubro-Novembro de 2013, o processamento de todos os dados obtidos das equipamentos das duas estações sismológicas e da estação de SAML instalados e operando no monitoramento da área de interesse da UHE Santo Antônio.

Consideramos que, conforme o apresentado neste relatório, os objetivos desta fase de trabalho do Programa de Monitoramento Sismológico foram alcançados para o período de Outubro-Novembro de 2013, com o monitoramento realizado pela rede sismográfica. Em 25 de Novembro de 2012, a rede de estações registrou o sismo regional ocorrido em Ariquemes, RO, com magnitude 4.7, que foi detectado pelo software de trigger do sistema. Em 11 de Agosto de 2013, a estação SANT1 registrou o sismo regional ocorrido em Redenção, PA. O registro destes eventos comprova a capacidade de detecção regional da rede sismográfica instalada na UHE Santo Antônio.

No dia 4 de Agosto de 2013, a estação SANT1 registrou três sismos locais, havendo o trigger da estação detectado o primeiro e o terceiro dos três eventos (aqueles com magnitude mais significativa). O primeiro evento foi também sentido pelos trabalhadores que encontravam-se naquele momento no canteiro de obras de UHE

Santo Antônio é registrado pela estação SAML. A ocorrência de sismos locais muda um pouco nosso foco em relação ao monitoramento sísmológico da área. Apenas as observações futuras poderão comprovar ou não a existência de possível atividade sísmica induzida, que não foi ainda caracterizada de forma definitiva para a área.

Pretendemos agora, com o processamento dos dados coletados pela rede sísmológica, dar continuidade a este Programa de Monitoramento Sísmológico, com o processamento rotineiro dos dados registrados pelas duas estações citadas ao longo do próximo mês.

Brasília, 20 de Novembro de 2013.



João Willy Corrêa Rosa  
WW Consultoria e Tecnologia Ltda  
SEPS 715/915 Centro Clínico Pacini Bloco D Sala 103  
70.390-155 - Brasília, DF  
Fone (+61) 9988-4234  
joaowillyrosa@gmail.com