

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

ESTUDOS SOBRE A INSTABILIDADE DO TERRENO NOS BAIRROS PINHEIRO, MUTANGE E BEBEDOURO, MACEIÓ (AL)

Volume II
RELATÓRIOS TÉCNICOS
L. Geofísica – Sismologia

Rio de Janeiro, maio de 2019



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Fernando Pereira de Carvalho

Diretor de Administração e Finanças

Juliano de Souza Oliveira

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

ESTUDOS SOBRE A INSTABILIDADE DO TERRENO NOS BAIRROS PINHEIRO, MUTANGE E BEBEDOURO, MACEIÓ (AL)

Volume II
RELATÓRIOS TÉCNICOS
L. Geofísica – Sismologia

Autoria

Marcos Vinícius Ferreira
Prof. Dr. Aderson Farias do Nascimento (Universidade Federal
do Rio Grande do Norte – UFRN)

Rio de Janeiro, maio de 2019

COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT): Antônio Carlos Bacelar Nunes

COORDENAÇÃO TÉCNICA-EXECUTIVA

Coordenador-Geral: Thales de Queiroz Sampaio

Coordenação técnica: Maria Adelaide Mansini Maia e Jorge Pimentel, Departamento de Gestão Territorial (DEGET)

Assessoria: Helion França Moreira e Ricardo Moacyr de Vasconcellos, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT)

Estudos de geologia aplicada: Sandra Fernandes da Silva, Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP)

Estudos de geomorfológicos e historicidade da ocupação: Marcelo Eduardo Dantas, Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)

Estudos hidrogeológicos: Fernando Antônio Carneiro Feitosa, Departamento de Hidrologia (DEHID)

Estudos geofísicos: Lucia Maria da Costa e Silva, Gerência de Geologia e Recursos Minerais/Sup. Reg.de Belém (GEREMI/SUREG-BE), e Luiz Gustavo Rodrigues Pinto, Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE)

Estudos batimétricos: Hortência Assis, Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM)

Estudos cartográficos: Fabio Costa, Divisão de Cartografia (DICART)

Modelagem geológica em ambiente 3D: Ricardo Wosniak e Eduardo Grissolia, Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE)

Geoprocessamento: Denilson de Jesus, Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)

EQUIPE TÉCNICA

Alexandre Borba (Geólogo)

Alexandre Lago (Geólogo)

Amaro Luiz Ferreira (Geólogo)

Bruce Fabini Franco Chiba (Geofísico)

Bruno Elldorf (Geólogo)

Cipriano Gomes de Oliveira (Téc. em Geociências)

Daniel Moreira (Eng. Cartógrafo)

Dario Dias Peixoto (Geólogo)

Denilson de Jesus (Eng. Cartógrafo)

Eduardo Moussalle Grissolia (Geólogo)

Eugênio Pires Frazão (Geólogo)

Fábio Silva da Costa (Eng. Cartógrafo)

Fernando Antônio Carneiro Feitosa (Geólogo)

Fernando Lúcio Borges Cunha (Geólogo)

Giana Grupioni Rezende (Eng. Cartógrafo)

Gilmar Pauli Dias (Geólogo)

Heródoto Goes (Geólogo)

Hiran Silva Dias (Analista de sistemas)

Hortência Maria Barboza de Assis (Geóloga)

Ítalo Prata de Menezes (Geólogo)

Ivan Soares dos Santos (Téc. em Geociências)

Jairo Jamerson Correia de Andrade (Geofísico)

João Batista Freitas de Andrade (Geólogo)

Jorge Pimentel (Geólogo)

Jose Antônio da Silva (Geólogo)

Juliana Moraes (Geóloga)

Júlio Cesar Lana (Geólogo)

Larissa Flávia Montandon Silva (Geóloga)

Leandro Galvanese Kuhlmann (Geólogo)

Loury Bastos Mello (Geóloga)

Lúcia Maria da Costa e Silva (Geóloga)

Luiz Antônio R. Almendra (Téc. em Geociências)

Luiz Gustavo Rodriguez Pinto (Geofísico)

Marcelo Ambrósio Ferrassoli (Geólogo)

Marcelo de Queiroz Jorge (Geólogo)

Marcelo Eduardo Dantas (Geógrafo)

Marcio Junger Ribeiro (Téc. em Geociências)

Márcio Martins Valle (Oceanógrafo)

Maria Adelaide Mansini Maia (Geóloga)

Marília de Araújo Costa Rodrigues (Geofísica)

Nilo Costa Pedrosa Júnior (Geólogo)

Patrícia Durringer Jacques (Geóloga)

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (Geólogo)

Rafael Corrêa de Melo (Geólogo)

Ricardo Cavalcanti Santiago (Geofísico)

Ricardo Duarte de Oliveira (Eng. Cartógrafo)

Ricardo Wosniak (Geólogo)

Roberto Gusmão de Oliveira (Geólogo)

Rodrigo Luiz Gallo Fernandes (Geólogo)

Ronaldo Gomes Bezerra (Geólogo)

Rubens Esteves Kenup (Eng. Cartógrafo)

Rubens Pereira Dias (Geólogo)

Sandra Fernandes da Silva (Geóloga)

Thales de Queiroz Sampaio (Geólogo)

Thiago Dutra dos Santos (Geólogo)

Tiago Antonelli (Geólogo)

Valter José Marques (Geólogo)

Vanildo Almeida Mendes (Geólogo)

Victor Augusto Hilquias Silva Alves (Geólogo)

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO

Warley Aparecido Pereira (Jornalista)
Letícia de Barros Alves Peixoto (Jornalista)
Pedro Henrique Pereira dos Santos (Comunicador Organizacional)

ASSESSORIA JURÍDICA

Vilmar Medeiros Simões (Consultor Jurídico)

COLABORAÇÃO E AGRADECIMENTOS

Prof. Dr. Aderson Farias do Nascimento, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Prof. Dr. André Etienne Ferraz, Universidade Federal Fluminense (UFF)
Prof. Dr. André Ferrari, Universidade Federal Fluminense (UFF)
Prof. Dr. Emanuel Jardim de Sá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Geólogo Guilherme Estrela, Ex-diretor de Exploração e Produção da Petrobras
Prof. Dr. Luiz Antônio Pierantoni Gamboa, Universidade Federal Fluminense (UFF)
Geólogo Ricardo Latgé Milwart de Azevedo, Conselho-Diretor do Clube de Eng. e Conselheiro do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ)
Prof. Me. Abel Galindo Marques, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Profa. Dra. Regla Toujaguez La Rosa Massahud, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Prof. Me. Nagib Charone, Universidade Federal do Pará (UFPA)
Governo do Estado de Alagoas
Prefeitura de Maceió
Defesa Civil Nacional
Defesa Civil do Estado de Alagoas
Defesa Civil de Maceió
59º Batalhão de Infantaria Motorizada
Equatorial Energia Alagoas
United States Geological Survey (USGS)

APOIO CPRM

Coordenação de Eventos e Cerimonial (DIG)	Divisão de Cartografia (DICART)
Departamento de Gestão Territorial (DEGET)	Divisão de Informática (DIINFO)
Departamento de Hidrologia (DEHID)	Superintendência Regional de Belém (SUREG-BE)
Departamento de Administração de Material e Patrimônio (DEAMP)	Superintendência Regional de Belo Horizonte (SUREG-BH)
Departamento de Contabilidade, Orçamento e Finanças (DECOF)	Superintendência Regional de Goiânia (SUREG-GO)
Departamento de Informações Institucionais (DEINF)	Superintendência Regional de Manaus (SUREG-MA)
Divisão de Editoração Geral (DIEDIG)	Superintendência Regional de Recife (SUREG-RE)
Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)	Superintendência Regional de Salvador (SUREG-SA)
Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP)	Superintendência Regional de São Paulo (SUREG-SP)
Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE)	Residência de Fortaleza (REFO)
Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM)	Residência de Porto Velho (REPO)
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE)	Residência de Teresina (RETE)
Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)	Escritório do Rio de Janeiro
	Sede Administrativa Brasília/DF

APRESENTAÇÃO

Historicamente, o bairro Pinheiro, localizado no município de Maceió (AL), vem apresentando inúmeras fissuras, trincas, rachaduras e afundamentos em moradias e vias públicas. O fenômeno se intensificou com a forte chuva de verão de 15 fevereiro de 2018 e o evento sísmico de magnitude regional igual a 2,4 de 3 de março de 2018 ocorridos na região, que levaram inclusive à interdição de diversas moradias.

Em decorrência, foi solicitada a presença de técnicos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM por meio dos ofícios nº 044/2018 – CEDEC-AL e nº 34/2018 – PJC/MPE/AL para auxiliar na investigação das causas do fenômeno responsável pelos danos gerados a alguns imóveis e vias públicas localizados no bairro Pinheiro, posteriormente identificados também nos bairros vizinhos do Mutange e Bebedouro, o que levou à extensão da investigação.

Os resultados obtidos até a presente data pelos diversos métodos investigativos utilizados pela CPRM no período de junho de 2018 a abril de 2019 estão organizados nos seguintes três volumes, com pormenores sobre a metodologia utilizada, de modo a responder a portaria MME nº 20 de 11 de janeiro de 2019, que se refere à designação do Serviço Geológico do Brasil para elucidar as causas do fenômeno.

➤ **Volume I – Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL): relatório síntese dos resultados nº 1.**

Apresenta os principais resultados obtidos nas investigações de forma resumida e adequada ao público não especialista.

➤ **Volume II – Relatórios Técnicos**

Compreende os seguintes relatórios que embasaram o volume I, que poderão sofrer seja atualização, seja aprofundamento, com o avanço dos trabalhos ou aquisição de novas informações:

- A. Mapa de feições de instabilidade do terreno
- B. Levantamento interferométrico
- C. Levantamento cartográfico
- D. Aspecto geológico e estrutural
- E. Aspecto geomorfológico e do histórico de ocupação do bairro
- F. Caracterização geológico-geotécnica
- G. Geofísica – Radar de Penetração do Solo (GPR) em residências e em vias públicas
- H. Geofísica – Batimetria na lagoa Mundaú
- I. Geofísica – Eletrorresistividade

- J. Geofísica – Gravimetria
- K. Geofísica – Audiomagnetotelúrico (AMT)
- L. Geofísica – Sismologia
- M. Hidrogeologia
- N. Integração de dados geológicos e de extração de sal em ambiente 3D

➤ **Volume III – Sistema de Informações Geográficas**

Reúne as informações vetoriais e matriciais georreferenciadas (geoinformação) utilizadas ou geradas pelo presente estudo, organizadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), para uso em *softwares* de geoprocessamento. Os dados estão no formato *shapefile*, com projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) 25S, Datum SIRGAS2000.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
MATERIAIS E MÉTODOS	11
AQUISIÇÃO DOS DADOS	12
PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	13
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

INTRODUÇÃO

A Rede Sismográfica do Brasil (RSBR), através de estações sismográficas da Rede Sismográfica do Nordeste do Brasil (RSISNE, sub-rede da RSB), operada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, detectou um evento de 2,4 de magnitude regional (mR) na cidade de Maceió no dia 3 de março de 2018 às 17h30 UTC (14h30, hora local). A estação mais próxima do epicentro está no município de Anadia (AL), a aproximadamente 60 quilômetros (km) de distância do epicentro, conforme mostrado na figura 1. Para se ter um comparativo da energia sísmica irradiada neste evento no Bairro de Pinheiro, Maceió (AL), os colapsos de cada uma das Torres Gêmeas do World Trade Center em 11 de setembro de 2001, provocaram magnitudes comparáveis de 2,1 e 2,3 de magnitude local (M_L) (Kim *et al.* 2001).

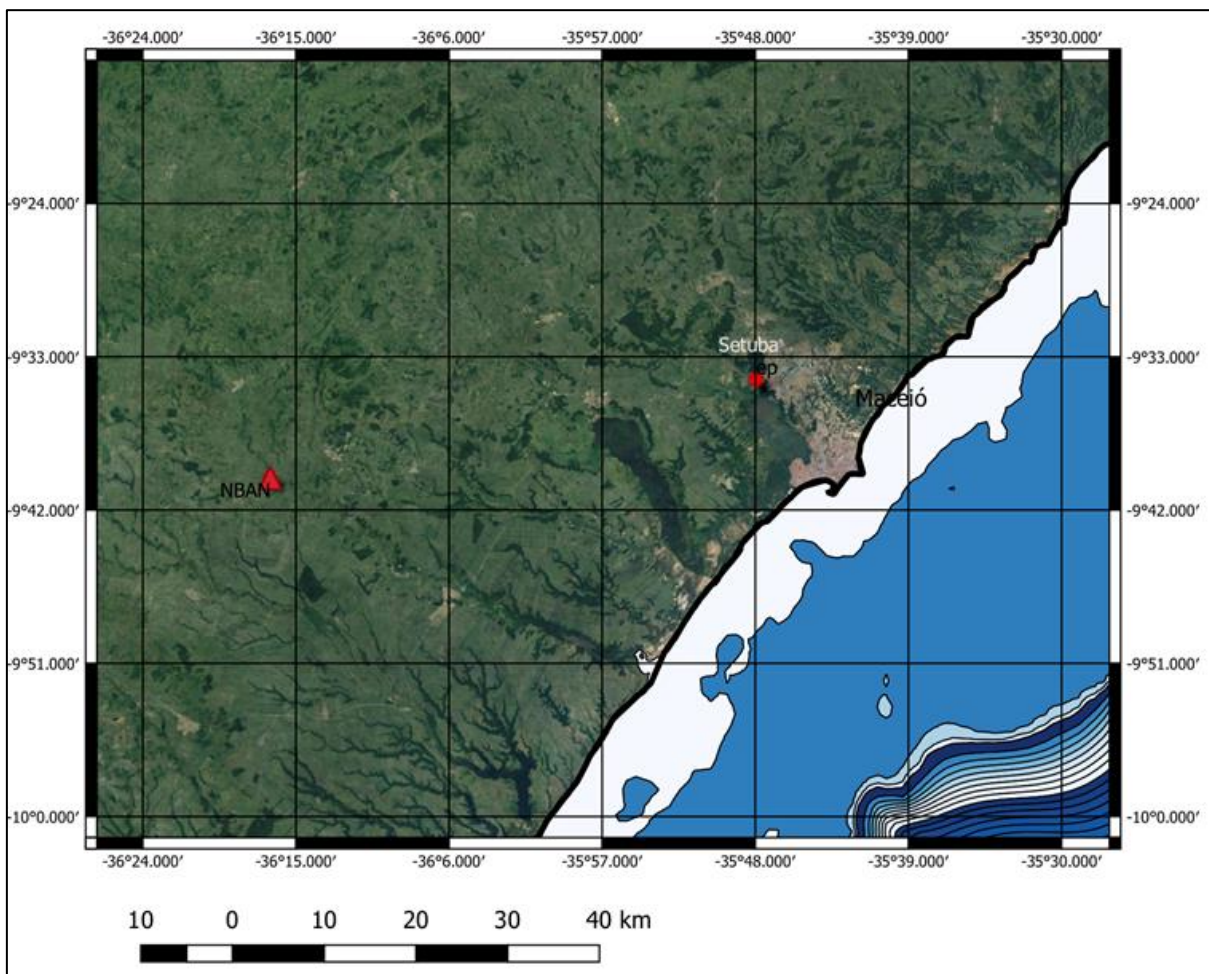


Figura 1. Mapa de localização da estação NBAN (triângulo vermelho) e epicentro preliminar (com pelo menos 5 km de erro epicentral).

A figura 2 mostra o registro da estação NBAN (componente vertical do movimento) filtrado entre 1 e 5 Hz. Nesta figura estão marcadas as chegadas das ondas P, S e de superfície (Rg). A diferença de tempo entre a P e S é de aproximadamente 7 segundos (s), o que dá uma distância epicentral de 57 km, considerando uma velocidade média das ondas P e S na crosta de 6,0 km/s e 3,5 km/s, respectivamente (Shihadeh 2015). A onda de superfície, segundo nossa marcação na figura 2, chega 4,7 s após a onda S e viaja a velocidade de aproximadamente 2,7 km/s e é consistente com valores de tomografia obtidos independentemente por Dias *et al.* (2015).

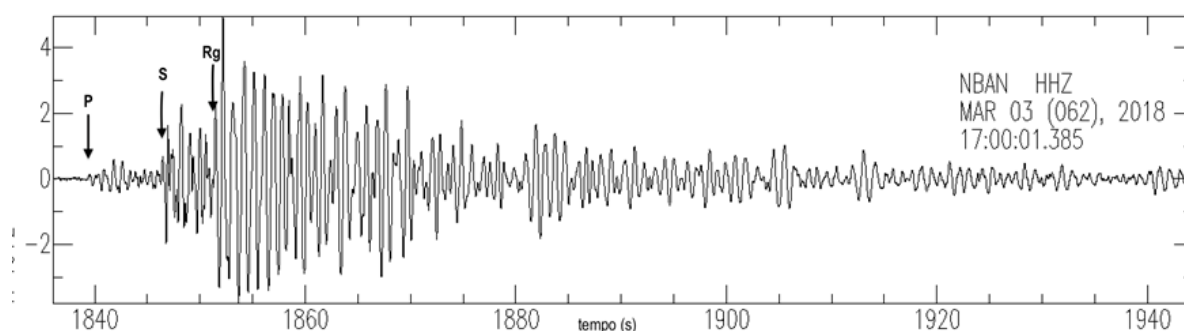


Figura 2. Sismograma (componente vertical) do evento ocorrido no Bairro do Pinheiro, em 03/03/2018, às 17h30 (UTC), 14h30 (hora local). A amplitude medida no eixo y é proporcional à velocidade do solo.

Pela presença majoritária de energia sísmica em forma de ondas de superfície, percebe-se claramente que a fonte sísmica está próximo à superfície e não se trata de um evento tectônico causado por uma falha no embasamento, por exemplo. Sismogramas deste tipo são mais característicos de energia sísmica gerada por explosões próximas à superfície como detonação em pedreiras, colapso de edificações (Kim *et al.* 2001) ou colapso de estruturas rasas (até 1 km) (e.g.: Teyssoneyre *et al.* 2002).

A estação NBAN instalada em Caruaru (PE), também da RSISNE, registrou o evento, conforme mostra a figura 3. Esta estação está a 151 km de distância do epicentro. Por conta da maior distância, as ondas de superfície são as que melhor aparecem no sismograma. Nos demais registros de estações que foram analisados (alguns registros foram de estações a 415 km de distância), a conclusão é que as ondas de superfície dominam o sinal.

O estado de Alagoas apresenta uma das menores atividades sísmicas do Brasil, não tendo em seu histórico, no catálogo de eventos da RSBR, eventos com magnitudes superiores a 3.4, diferentemente de outros estados do Nordeste com eventos registrados na década de 80 superando a magnitude de 5. Na tabela 1 são apresentados os eventos sísmicos registrados no Catálogo Sísmico Brasileiro. Vale ressaltar que nem todos os eventos que possam ter ocorrido estão presentes no catálogo, devido a diversos fatores, como por exemplo, o fato de

um evento de menor magnitude não ter sido detectado instrumentalmente ou haver relatos de pessoas acerca do evento. Por exemplo, em 15 de junho de 1961, há registros de jornais com a descrição de ocorrência de um evento sísmico na região de Pilar, afetando as regiões de Bebedouro e lagoa Manguaba (notícias publicadas nos jornais: A Noite (RJ) 15/06/1961, Jornal de Alagoas – 17/06/1961).

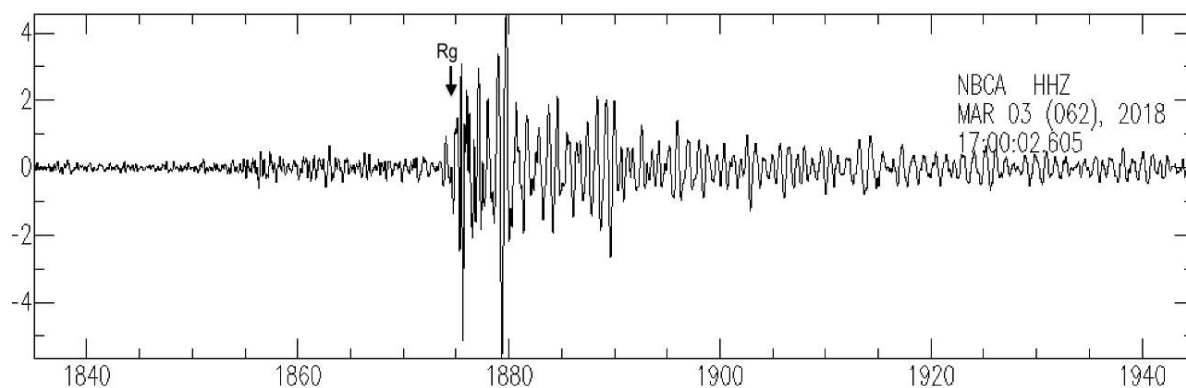


Figura 3. Sismograma (componente vertical) do evento ocorrido no Bairro do Pinheiro, em 03/03/2018, às 17h30 (UTC), 14h30 (hora local). A amplitude medida no eixo y é proporcional à velocidade do solo. O eixo x está em segundos. A clara chegada da onda de superfície é mostrada (Rg).

Tabela 1. Eventos sísmicos ocorridos no estado de Alagoas do Catálogo Sísmico Brasileiro.

Ano	Data	Hora (UTC)	Latitude	Longitude	Magnitude	Estado	Localidade
1954			-9.930	-36.490	3.0	AL	JUNQUEIRO
1972	04/03	21:45	-9.930	-36.490	3.4	AL	JUNQUEIRO
1979	29/05	20:58	-9.730	-37.460	2.4	AL	P.DE ACUCAR ?
1990	23/11	04:49	-9.310	-36.420	2.5	AL	P.dos Indios
1991	14/4	15:45	-9.750	-37.420	2.0	AL	P. de Acucar
1994	6/4	12:18	-9.750	-36.540	2.8	AL	Junqueiro
1998	19/11	15:19	-9.660	-37.000	2.5	AL	Jaramataia
2003	3/12	23:33	-9.610	-34.280	3.3	AL	Margem Cont.
2006	8/1	01:54	-10.070	-36.930	3.4	AL	Sao Bras
2015	18/2		-9.92	-36.93	1.6	AL	Traipu
2016	22/2		-9.58	-37.4	2	AL	São José da Tapera
2016	23/2		-9.57	-37.39	2.1	AL	São José da Tapera
2016	29/2		-9.81	-37.24	1.8	AL	Maravilha
2016	3/3		-9.64	-36.77	2	AL	Craíbas
2016	9/3		-9.73	-35.65	2.5	AL	Marechal Deodoro
2016	1/4		-9.36	-36.07	1.9	AL	Capela
2016	23/4		-9.62	-36.6	2.8	AL	Coité do Nóia
2016	13/5		-9.69	-36.43	1.9	AL	Limoeiro de Anadia
2016	20/6		-9.8	-37.2	1.7	AL	Belo Monte
2016	12/6		-10.32	-36.45	2.3	AL	Penedo
2016	30/8		-9.97	-36.44	1.7	AL	Teotônio Vilela
2016	12/9		-9.94	-36.27	1.9	AL	Limoeiro de Anadia
2016	12/9		-9.86	-36.06	1.3	AL	Limoeiro de Anadia
2016	12/9		-9.14	-36.12	2.2	AL	Santana do Mundáu
2016	12/9		-9.67	-36.4	1.1	AL	Limoeiro de Anadia
2016	15/9		-9.66	-36.05	1.5	AL	Pilar
2018	3/3	17:30	-9.57	-35.73	2.4	AL	Maceió
2018	16/5	09:24	-9.80	-37.24	1.7	AL	Belo Monte
2018	21/10	15:46	-9.41	-35.61	2.0	AL	Paripueira (AL)
2019	18/03	02:17	-9.85	-36.90	2.7	AL	Feira Grande

MATERIAIS E MÉTODOS

A Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), por intermédio da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), que é a responsável pelas estações sismográficas no nordeste do Brasil, instalou seis estações sismográficas no bairro do Pinheiro, Maceió (AL), com apoio da CPRM e Defesa Civil Estadual (Alagoas). Estes equipamentos medem a vibração terrestre de qualquer origem, terremotos, explosões e vibrações locais que possam ocorrer nas proximidades da estação.

Entre os dias 29 de janeiro e 1º de fevereiro de 2019 foi realizada a campanha de instalação dos sensores no bairro do pinheiro. A distribuição dos equipamentos foi realizada buscando otimizar as chances de detecção de microtremores e considerando ainda questões de segurança dos equipamentos e baixos níveis de ruído.

Todos os equipamentos utilizados pertencem a UFRN, os quais foram realocados de outros projetos para serem instalados provisoriamente e iniciar os trabalhos de monitoramento sísmico do bairro do Pinheiro, em Maceió (AL). Vale ressaltar que para essa atividade ter continuidade será necessária a compra de equipamentos específicos para tal fim



Figura 4. Estações sismográficas da rede local no bairro do Pinheiro, Maceió (AL).

Na figura 5 são apresentadas as estações sismográficas instaladas em dois locais distintos em Maceió (AL). Os equipamentos utilizados foram:

- 3 registradores modelo Geotech Smart 24R de 3 canais 24 bits + sensor LNG 203 PMD Scientific (Geofone Triaxial período curto de 10 Hz), com sistema de GPS modelo Trimble Acutime 2000;
- 2 registradores REFTEK modelo DAS130 e 130G de 3 canais e 24 bits + sensores de período curto, modelo Sprengnether de 2 Hz, com sistema GPS Garmin 130 GPS/02 GPS 16X/HVS CAN 310;
- 1 acelerógrafo modelo REFTEK 130-SMHR, 1 Hz, 3 canais, 64 bits, com sistema de GPS Garmin;
- 1 acelerógrafo modelo REFTEK 130-SMHR, 3 canais, 64 bits, com sistema de GPS Garmin.



Figura 5. Estações instaladas na região.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

As estações sismográficas registram dados com uma taxa de amostragem de 500 amostras por segundo. Esses dados são registrados nos discos internos dos equipamentos e podem ser retransmitidos para uma central via internet.

No entanto, devido a problemas locais, como falta de acesso à rede de internet, apenas uma estação está transmitindo dados em tempo real. Desta forma, foram realizadas, pelos técnicos da UFRN, duas etapas para coleta de dados e manutenção dos equipamentos, em 21 de fevereiro e em 8 de abril de 2019.

PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os dados de todas as estações são avaliados em conjunto, para a identificação de eventos sísmicos (naturais ou artificiais) e não apenas ruído que possa ter sido registrado em alguma estação localizada, como ruídos de tráfego de carros. Na figura 6 é apresentado o registro dos dados nas estações locais de Maceió (AL), com destaque para dois eventos. Registre-se que as estações sismográficas estão submetidas à interferência de ruídos de origem antrópica, pois todas elas estão localizadas em área urbana. É esperado, portanto, que existisse uma dificuldade de detecção e identificação da energia sísmica proveniente destes microtremores, uma vez que eles podem ser obliterados pelo ruído ambiental a que estão submetidos.

Além disso, nem todos os eventos sísmicos que ocorrem no bairro Pinheiro apresentam as assinaturas características dos eventos sísmicos tradicionais, pelo motivo de ser um movimento de liberação lenta de energia, o que dificulta a identificação e classificação dos sismos, pois é difícil separá-los do ruído local, considerando ainda que num ambiente urbano o nível de ruído é bastante alto.

Na figura 7 são apresentados dois gráficos: o primeiro mostra eventos confirmados e localizados pela rede local e o segundo variações do nível de ruído na estação MAC6, que transmite os dados, que podem ser eventos ou ruídos locais (ainda em processo de avaliação na data deste relatório).

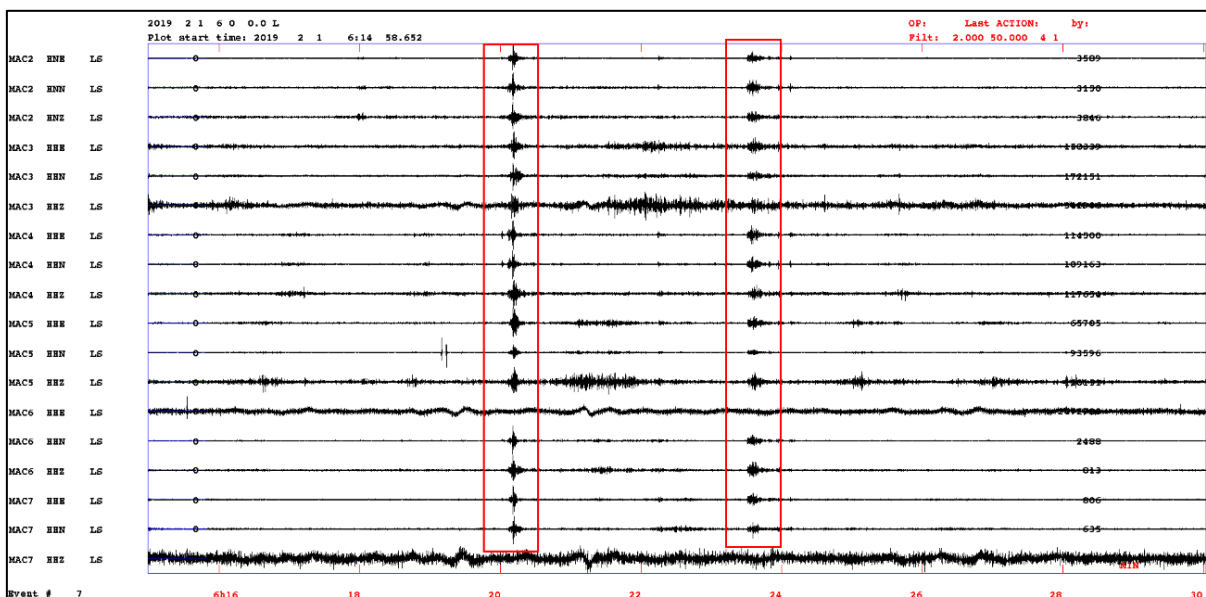


Figura 6. Registro e identificações de eventos nas estações da rede local instalada em Maceió- AL.

As figuras 8 e 9 mostram dois exemplos de registros de eventos sísmicos que ocorreram na região, nos dias 6 (08h15min UTC) e 10 (18h23min UTC) de fevereiro de 2019. Ambos os dados estão filtrados entre 1 e 5 Hz.

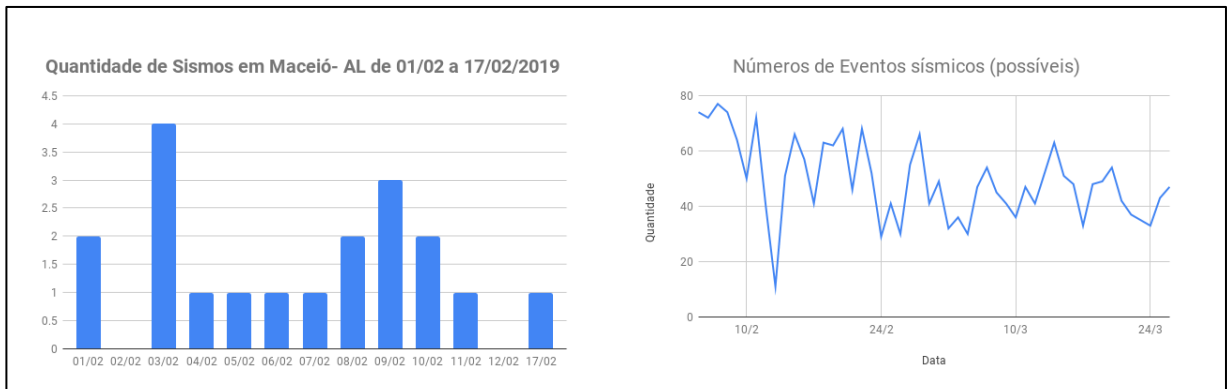


Figura 7. À esquerda: eventos sísmicos confirmados, registrados na rede local. À direita: perturbações sísmicas ocorridas na estação MAC6 (que transmite os dados) que necessitam de classificação com base nos dados das outras estações, para separar ruídos e eventos.

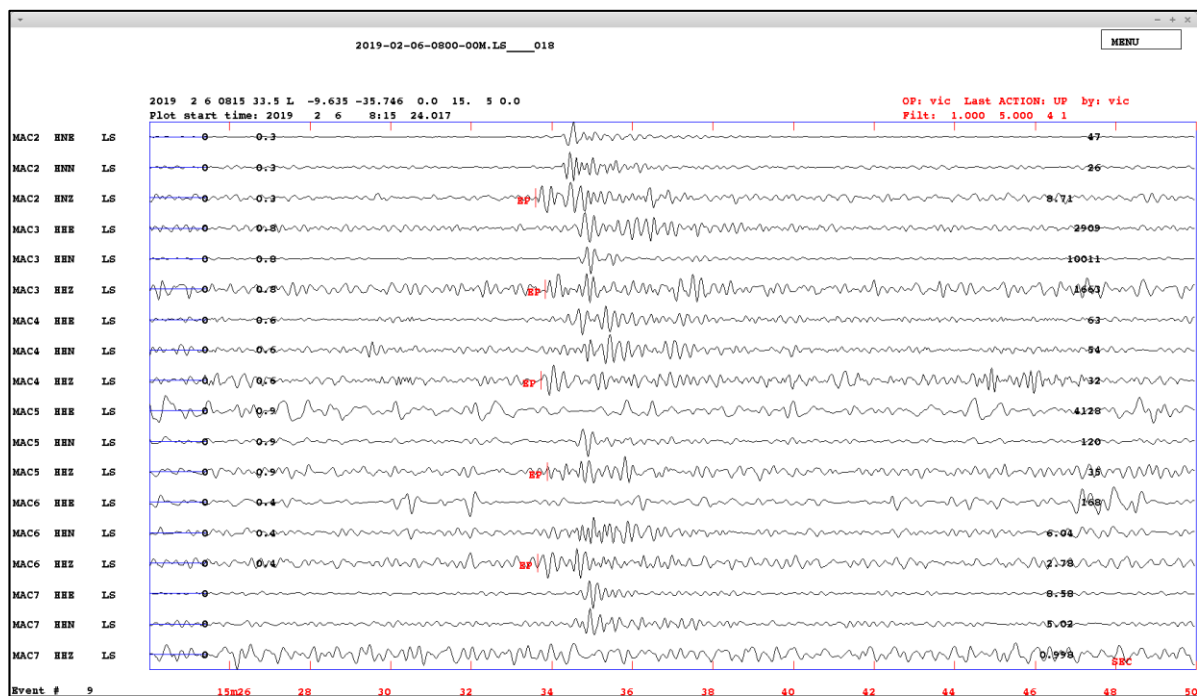


Figura 8. Eventos sísmicos às 08h15 (UTC) do dia 6 de fevereiro de 2019.

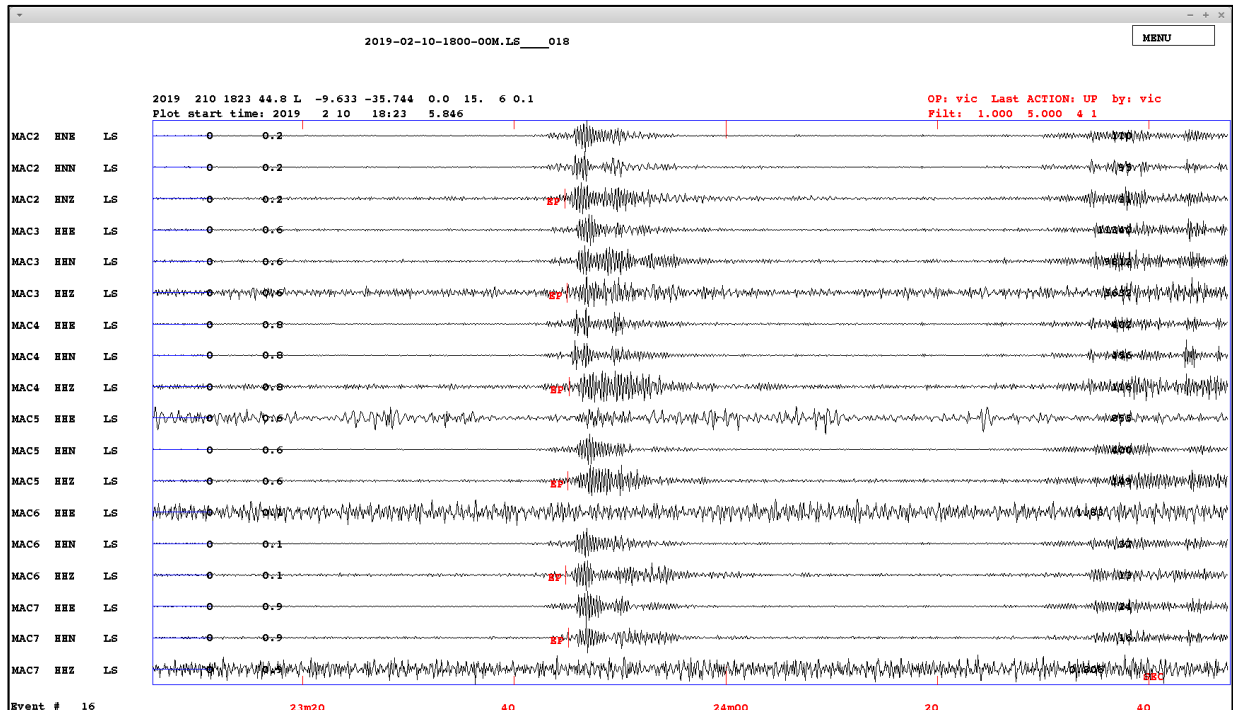


Figura 9. Eventos sísmicos às 18h23 (UTC) do dia 10 de fevereiro de 2019.

As figuras 8 e 9 mostram que os eventos possuem duração de 5-10 segundos. Tal registro pode ser interpretado como um deslizamento de longa duração (5-10s) entre dois blocos, ou um múltiplo rompimento entre blocos com durações menores (1s). A natureza exata da fonte sísmica necessita de estudos mais aprofundados.

A figura 10 mostra o mapa epicentral preliminar de seis eventos que puderam ser localizados. A imprecisão na estimativa da profundidade é maior que 1 km. É necessário que estes posicionamentos sejam aprimorados utilizando outros métodos de localização e também que os parâmetros do modelo de velocidade das ondas sísmicas seja melhor determinado (obter este resultado do levantamento sísmico). Para a localização apresentada na figura 10, os eventos aparentam estar abaixo da Lagoa Mundaú e também sob o Bairro do Pinheiro.

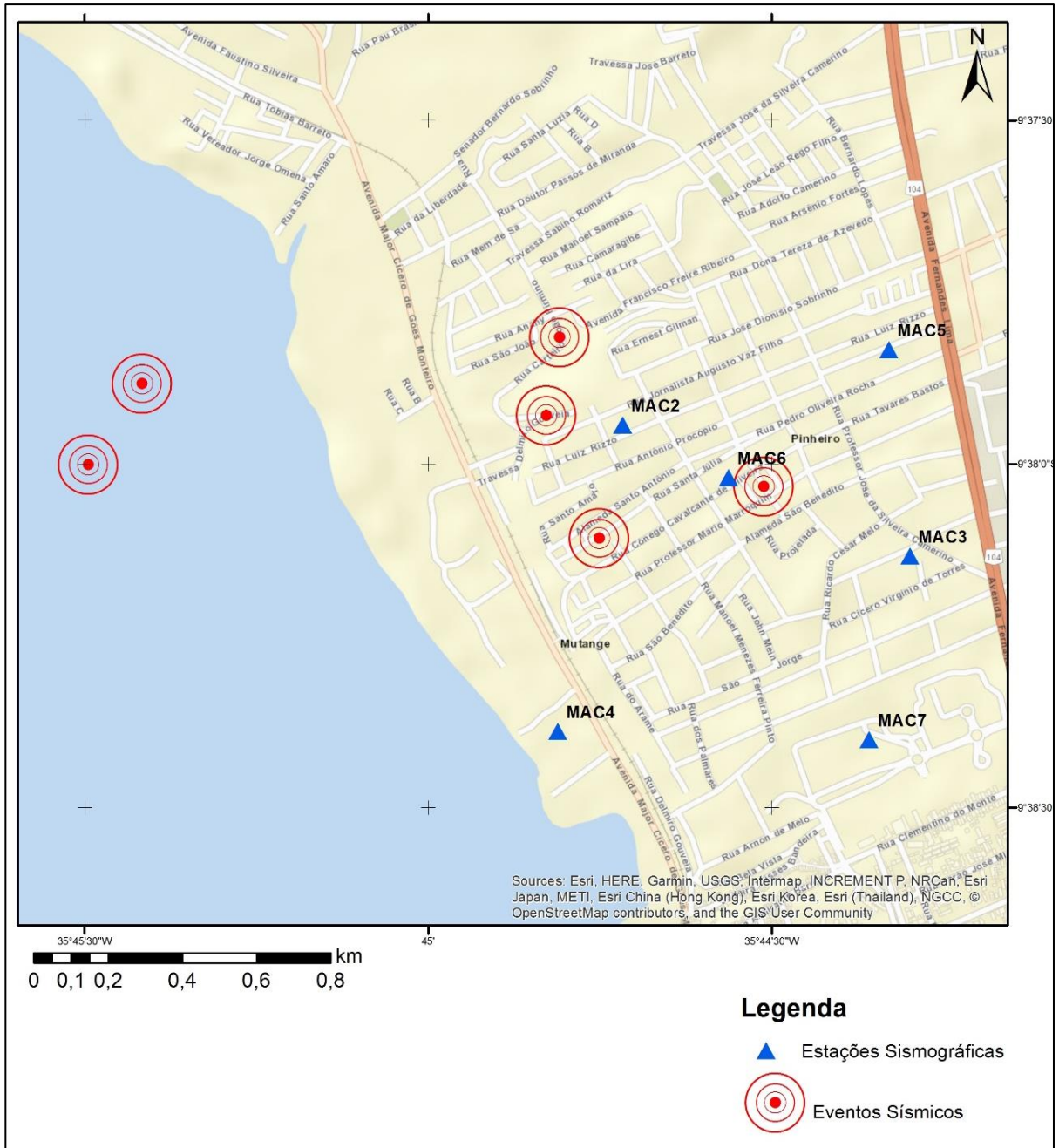


Figura 10. Mapa epicentral preliminar com os eventos localizados como círculos vermelhos e a localização das estações representas por triângulos azuis.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo mostrou até o presente momento:

- i – Há atividade sísmica no Bairro de Pinheiro;
- ii – A atividade sísmica é registrada desde o início da instalação da rede sismográfica;
- iii – Há um alto nível de ruído (ambiental) que oblitera a chegada das ondas sísmicas destes pequenos eventos.

Recomenda-se:

- i – Melhorar a localização utilizando outros métodos de localização dos hipocentros;
- ii – Obtenção de parâmetros de modelos de velocidades provenientes do recente levantamento sísmico realizado no Bairro do Pinheiro;
- iii – Ampliação da rede sismográfica e torna-la de caráter permanente. Inclusive, pode-se pensar na possibilidade de instalar os sensores em subsuperfície para minimizar o ruído ambiental registrado e melhorar a localização dos eventos;
- iv – Melhor caracterização da duração e origem da fonte sísmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, R. C.; JULIÀ, J.; SCHIMMEL, M. Rayleigh-wave, group-velocity tomography of the Borborema Province, NE Brazil, from ambient seismic noise. **Pure and Applied Geophysics**, v. 172, n. 6, p. 1429-1449, 2015.

KIM, W. Y.; SYKES, L. R.; ARMITAGE, J. H.; XIE, J. K.; JACOB, K. H.; RICHARDS, P. G.; WEST, M.; WALDHAUSER, F.; ARMBRUSTER, J; SEEBER, L.; DU, W. X.; LERNER-LAM, A. Seismic waves generated by aircraft impacts and building collapses at World Trade Center, New York City. **EOS: Transactions American Geophysical Union**, v. 82, n. 47, p. 565-571, 2001.

SHIHADÉH, H. L. **Utilização de sismos regionais para a determinação de um modelo 1D de velocidades da onda P na Província Borborema - NE do Brasil**. 2015. 64f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

TEYSSONEYRE, V.; FEIGNIER, B.; ŠILÉNY, J.; COUTANT, O. Moment tensor inversion of regional phases: application to a mine collapse. In: TRIFU, C. I. (Ed.) **The Mechanism of Induced Seismicity**. ede: Basileia, Suíça: Birkhäuser, 2002. p.111-130.