

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

**Volume II**

**RELATÓRIOS TÉCNICOS**

**G. Geofísica – método GPR: dentro de residências  
e em vias públicas**

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

### G. Geofísica – método GPR: dentro de residências e em vias públicas

#### Autoria

Lúcia Maria Costa e Silva

#### Demais participantes

Nilo Costa Pedrosa Junior

Alexandre Lisboa Lago

Bruce Fabini Franco Chiba

#### Consultoria

Welitom Rodrigues Borges - Universidade de Brasília (UNB)

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
EQUIPAMENTO, LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	8
INTERPRETAÇÃO .....	11
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	11

## INTRODUÇÃO

O histórico de instabilidade do terreno do bairro do Pinheiro na cidade de Maceió (Alagoas), gerador de trincas em paredes e muros de construções civis (casas e prédios) bem como em pistas de tráfego, exige o reconhecimento da porção subsuperficial imediatamente abaixo dessas obras para compreensão da estabilidade das mesmas.

O método geofísico eletromagnético Radar de Penetração do Solo ou simplesmente GPR (do inglês *Ground Penetrating Radar*) é o método ideal para esse tipo de trabalho por vários motivos. O primeiro deles é o GPR ser método amigável ambientalmente, ou seja, não é nem destrutivo e nem invasivo do meio, daí ser comum sua utilização no meio urbano, inclusive no interior de hospitais sem que haja a interrupção do atendimento. O GPR, ademais, permite a investigação subsuperficial com a maior resolução passível de ser atingida dentre os métodos geofísicos. Finalmente, o método permite reconhecimento rápido e de baixo custo, com interpretação expedita, quando conhecidas as assinaturas do subsolo sob investigação.

## **EQUIPAMENTO, LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS**

Para o levantamento de dados GPR no bairro do Pinheiro foi adquirido um equipamento de última geração, o *Easy Locator HDR* da empresa MALÅ Geoscience (Suécia), que permite operar não em uma frequência, mas entre cerca de 80 e 950 mega Hertz, com visualização em tempo real do radargrama que vai sendo obtido para zonas superficiais e profundas concomitantemente, usando antenas compatíveis para trabalho tanto fora de edificações em espaços como varandas, garagens e ruas, como dentro das mesmas por ter largura inferior a de uma porta.

Entre os dias 28 de agosto e 15 de setembro de 2018, foi testado o equipamento novo pelos geólogos-geofísicos Drs. Lúcia Maria da Costa e Silva e Alexandre Lisboa Lago, já realizando o reconhecimento da subsuperfície de casas e prédios bem como pistas de tráfego.

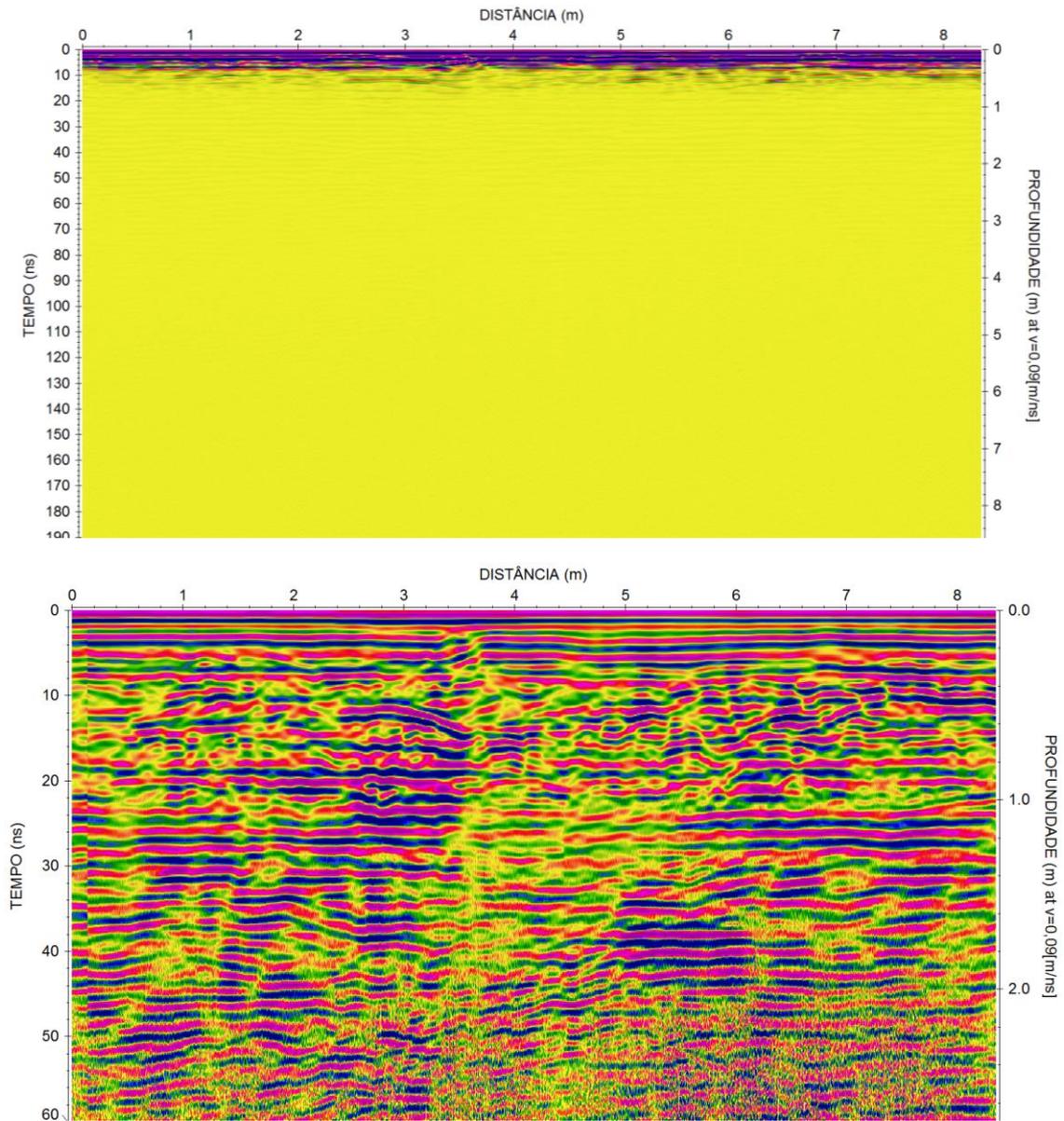
Há duas formas de realizar o levantamento, que aqui serão referidas como levantamento expedito e levantamento com processamento dos dados em escritório.

Na primeira, o equipamento realiza automaticamente etapas do tratamento dos dados para permitir sua visualização e reconhecimento expedito da subsuperfície. É rastreado o que for possível no espaço e assinalado os locais no piso que são de interesse, no caso, do ponto de vista geotécnico. Esse tipo de trabalho exige a integração com pessoal de Geotecnia ou Engenharia.

Os dados obtidos no campo são gravados sem a inclusão do processamento automático, tratam-se, portanto, de dados brutos. No segundo tipo de levantamento, os dados brutos são processados. Radargramas mais favoráveis à interpretação podem ser obtidos com o processamento após o levantamento dos dados. No entanto, demandam tempo e compreensão da tarefa. Consequentemente, o levantamento com processamento dos dados em escritório só se justifica em situações específicas. Em função seja de se ter encontrado anomalias na subsuperfície com o GPR, seja na possibilidade dos dados poderem prestar auxílio na avaliação da subsuperfície para fins geotécnicos (avaliação das construções quanto a sua recuperação ou não), optou-se pelo levantamento com processamento de dados em escritório.

Entre os dias 21 de janeiro a 1º de abril de 2019, uma força tarefa com os dois profissionais citados e mais o geólogo-geofísico Dr. Nilo Costa Pedrosa Jr. foi constituída para processamento dos dados brutos com o software ReflexW (Sandmeier 2016). Antecedendo essa tarefa uma fase de pré-processamento dos dados, conduzida por Alexandre Lago que visou ordenar as informações de cada alvo assim como fotos tendo como base o Registro de Verificação

Geofísica (RVGF), desenvolvido por Lúcia Costa e Silva. A figura 1 permite observar a diferença entre o radargrama bruto e o processado.



**Figura 1.** Radargrama bruto (acima) e processado (abaixo).  
Arquivo 0223, R. Francisco Freire Ribeiro, 219 (casa rosa), corredor.

O fato de inexistir experiência no país com o equipamento usado, gerou por parte da equipe dúvida sobre a utilidade da frequência baixa. Por esse motivo, no dia 30 de janeiro de 2019 solicitou-se a gentileza da empresa AMGEOS a operar com o GPR SIR-3000 da Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI) (EUA) com antenas de 200 MHz, portanto, frequência baixa próxima daquela do equipamento utilizado, sobre alvo já levantado, para comparação dos resultados obtidos. O teste mostrou que o equipamento adquirido funciona integralmente.

Entre os dias 7 a 26 de fevereiro foram, ainda, desenvolvidos dois outros trabalhos em Maceió, com os pesquisadores citados e mais o geofísico Bruce Fabini Franco Chiba: teste de respostas com perfurações com trado de pequeno porte, esclerômetro e micro gravimetria gradiométrica e, ainda, sem a presença da pesquisadora, o levantamento 3D de ruas.

Todos os trabalhos de campo foram acompanhados e auxiliados por pessoal da Defesa Civil Municipal.

## **INTERPRETAÇÃO**

A figura 1, referente ao radargrama processado, mostra o acamamento na subsuperfície com abaulamentos, descontinuidades e apagamentos, estes últimos frequentemente associados ao aumento de porosidade-permeabilidade, condição considerada para estabelecimento de cavidades. Uma série de feições atestam que vários locais levantados possuem descontinuidades provocadas por fissuras e falhas bem como padrões de reflexão associáveis à presença de vazios.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O GPR mostrou-se útil para localizar áreas anômalas em subsuperfície dentro das residências. Recomenda-se que, na próxima fase, a fase de entrega dos resultados catalogados à Defesa Civil de mais de 5 km de levantamento, seja realizado o treinamento de seus engenheiros para uso dos mesmos, visando auxiliar seja na recuperação de construções, seja na decisão de sua demolição.