



CPRM

Serviço Geológico do Brasil

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

08/05/2019

Relatório Síntese dos Resultados Nº 01



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

TEMÁTICA



Serviço Geológico do Brasil
CPRM

1. BREVE HISTÓRICO
2. PREMISSA INICIAL E HIPÓTESES CONSIDERADAS
3. ESTUDOS REALIZADOS
4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA ,
RESULTADOS E ANÁLISE DAS HIPÓTESES
5. CONCLUSÕES

Breve Histórico

- Chuvas 2018;
- Sismo 2,4 – Escala Richter;
- Deformações Rúpteis (quebramentos)



Premissa Inicial e Hipóteses Consideradas

1. Características geotécnicas dos solos da região e forma

Premissa Inicial

Existe uma movimentação do terreno no bairro Pinheiro!

Como ela é? E o que provoca este movimento?

3. Feições estruturais ativas na região (falhas, fraturas);

4. Extração de água subterrânea.

ATIVIDADES E ESTUDOS REALIZADOS		CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / APOIO	HIPÓTESES			
			1	2	3	4
Levantamento de Dados, Bibliografia e Organização de SIG						
Levantamento Geomorfológico e de Uso e Ocupação do Solo						
Levantamento Interferométrico						
Levantamento Topográfico						
Levantamento Cartográfico (Imageamento do Terreno)						
Estudos Geotécnicos	Mapa de Feições de Instabilidade					
	Sondagens SPT (20 m)					
Levantamento Geológico e Estrutural						
Levantamentos Geofísicos	GPR (6 metros)					
	Eletrorresistividade (150 m)					
	Batimetria (10 m)					
	Gravimetria (1.200 m)					
	Audiomagnetotelúrico (1.500 m)					
Sismologia						
Análise Hidrogeológica e Monitoramentos de Aquíferos						
Análise de Perfis Estratigráficos e Sísmicos						
Análise dos Sonares						
Modelagem 3D						

CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

D20160405

Data da Aquisição: 05/04/2016

0 1000 2000 m



VARIAÇÃO

- < -36.0
- -36.0 a -28.0
- -28.0 a -20.0
- -20.0 a -12.0
- -12.0 a -4.0
- -4.0 a 4.0
- 4.0 a 12.0
- 12.0 a 20.0
- 20.0 a 28.0
- 28.0 a 36.0
- 36.0 >

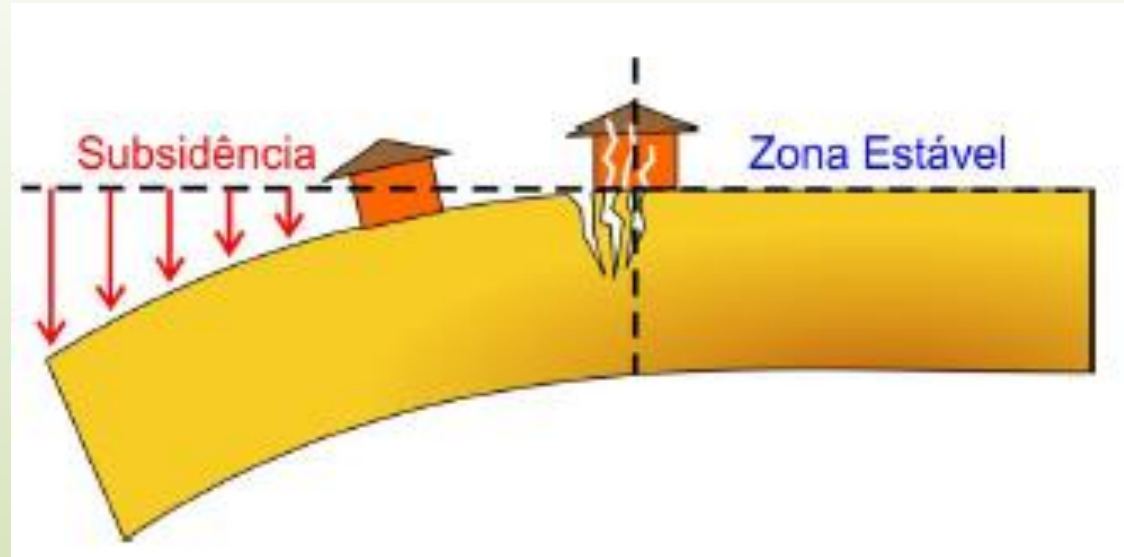
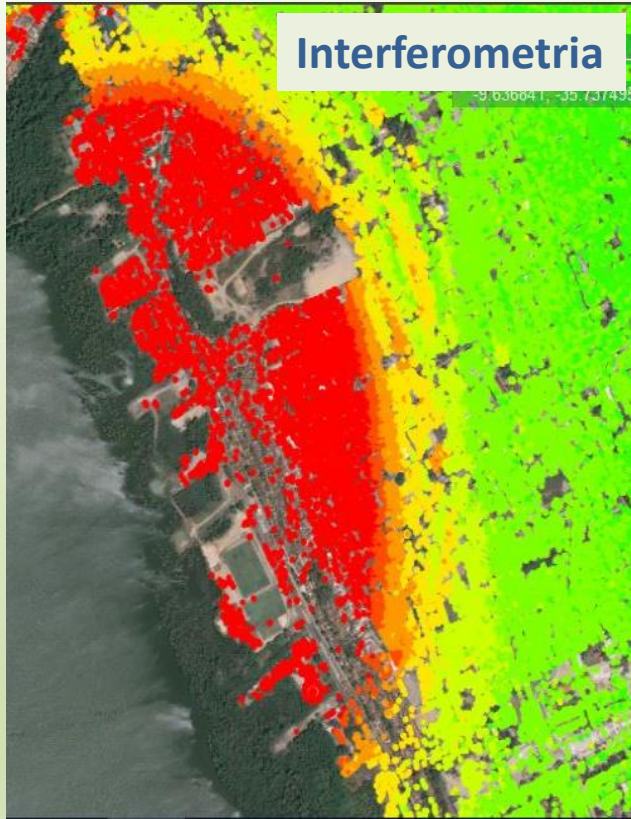
A interferometria foi um marco no projeto!

Permitiu delimitar a real dimensão do problema e caracterizar o que estava ocorrendo no Pinheiro de forma muito consistente!

Assistam ao vídeo!

Caracterização do Problema

Interferometria



Existe uma área instável (vermelha), em processo contínuo de subsidência (desde 2016, ou antes) ao lado de uma área estável (verde). Na transição entre as duas áreas (amarelo) ocorrem os quebraamentos.

SÍNTESE

As rachaduras e quebramentos que ocorrem no terreno do bairro Pinheiro estão sendo provocados primariamente pelo processo de subsidência!

Então, a pergunta é: o que causa a subsidência?

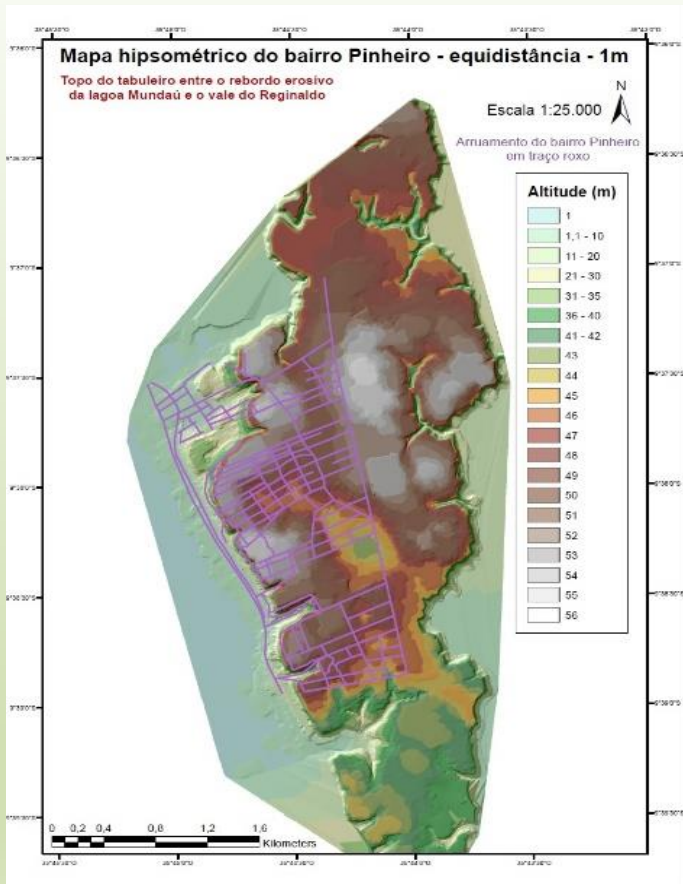
RESULTADOS E ANÁLISE DAS HIPÓTESES

Hipótese 1 - Características geotécnicas dos solos da região e forma de ocupação dos bairros

Hipótese descartada!

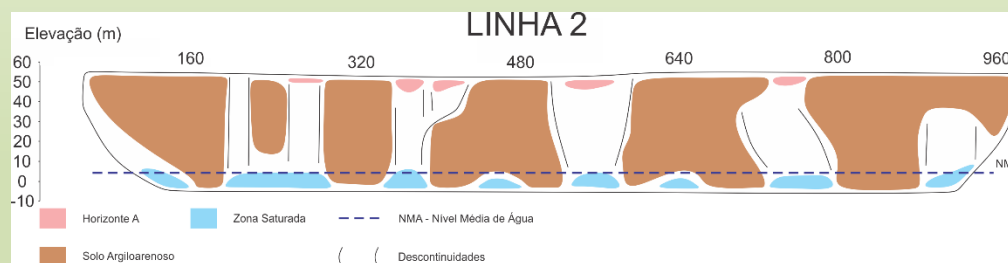
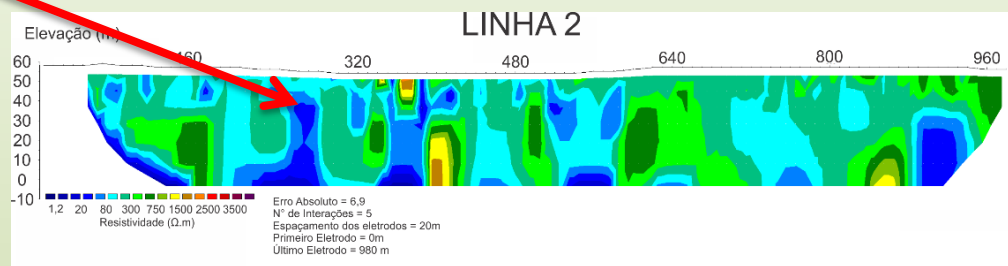
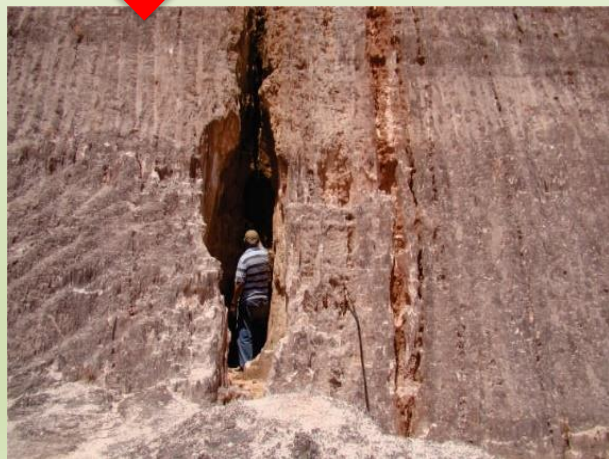
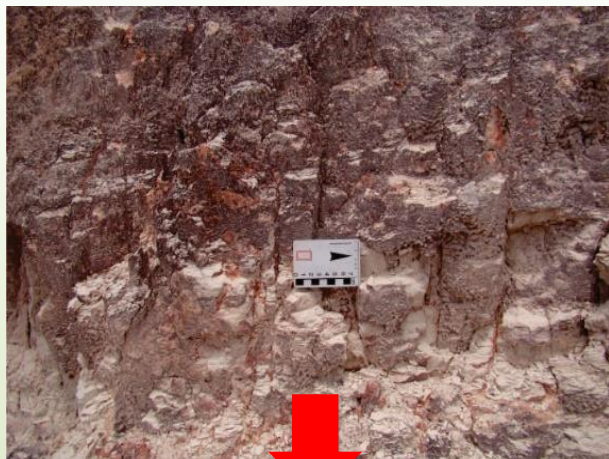
Não pode ser associada ao processo de subsidência.

Entretanto, no bairro Pinheiro, assume um caráter muito importante devido aos fortes efeitos erosivos provocados pelo aumento e rapidez da infiltração da água de chuva, em função do crescimento significativo da permeabilidade secundária (quebramentos) e da existência de pequenas bacias endorreicas.



Hipótese 1 - Características geotécnicas dos solos da região e forma de ocupação dos bairros

Eletrorresistividade



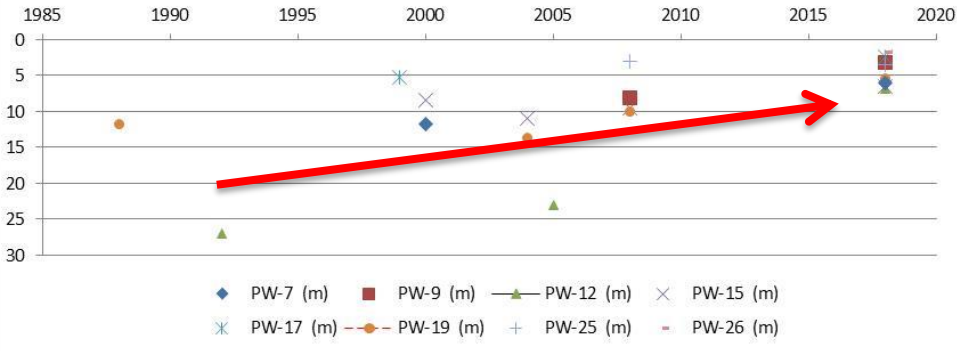
Hipótese 4 - Extração de Água Subterrânea

Hipótese descartada!

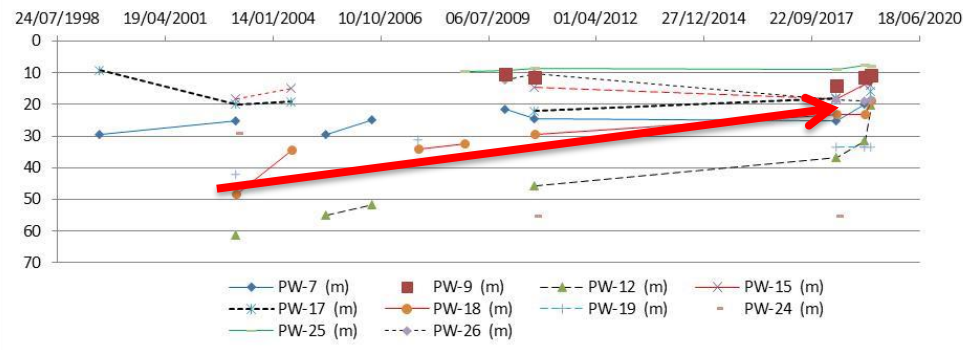
Na região entre Mutange e Bebedouro, os níveis estáticos e dinâmicos dos aquíferos Barreiras e Marituba estão subindo ao longo do tempo. Não existem indícios de superexploração.

Não é possível, portanto, fazer a associação da exploração da água subterrânea com o fenômeno de subsidência que ocorre na área do Mutange, Bebedouro e Pinheiro.

Variação de NE - Poços entre Mutange e Bebedouro



Variação de ND - Poços entre Mutange e Bebedouro



Hipótese 2 - Presença de vazios (cavidades, cavernas) no solo e subsolo da região, decorrente de causas naturais ou de ações antrópicas

Hipótese 3 - Feições estruturais ativas na região

Na análise das hipóteses 2 e 3 foram utilizados os resultados dos levantamentos geofísicos (gravimetria, audiomagnetotelúrico, eletrorresistividade e sismologia), a análise dos sonares das cavidades de extração de sal-gema, os levantamentos geológicos de superfície, as análises estratigráficas dos perfis dos poços e a modelagem 3D que integrou todos os resultados obtidos.

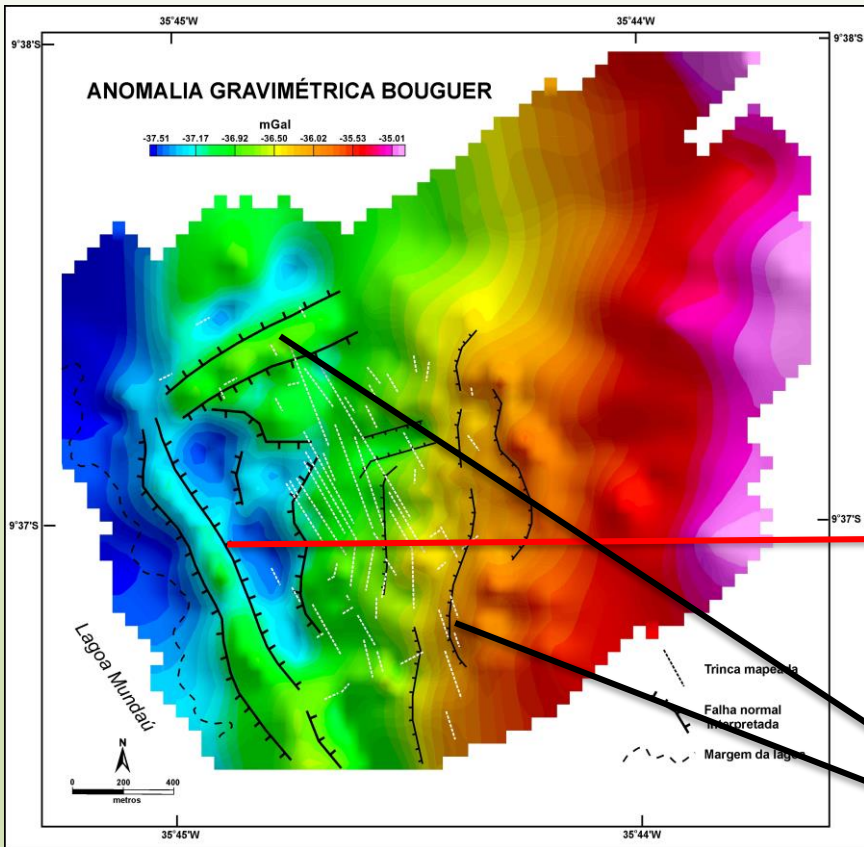
Levantamento Gravimétrico

Existe um gradiente negativo no sentido oeste associado ao aumento da espessura da camada de sal;

Não há evidências da existência de falha (s) lístrica na região do bairro Pinheiro;

Entretanto, é evidente a existência de uma importante zona de falhamento de direção NNW-SSE (denominada pela CPRM de Falha do Mutange), paralela a maioria das trincas mapeadas no bairro Pinheiro;

Também foram detectadas estruturas de direção NE-SW e N-S;

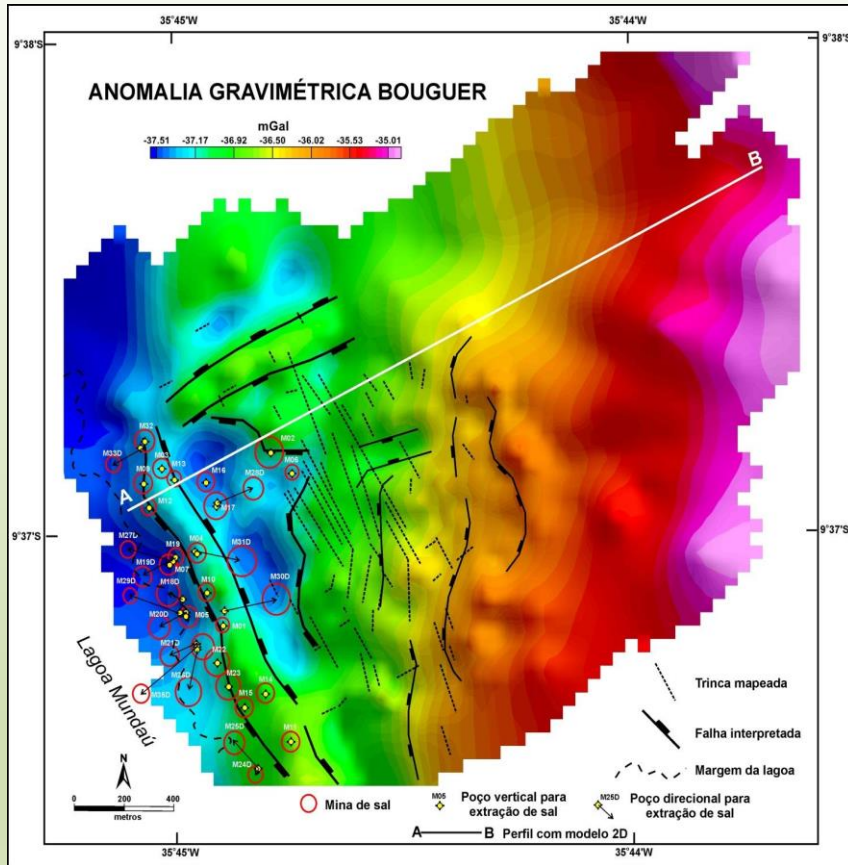


Levantamento Gravimétrico

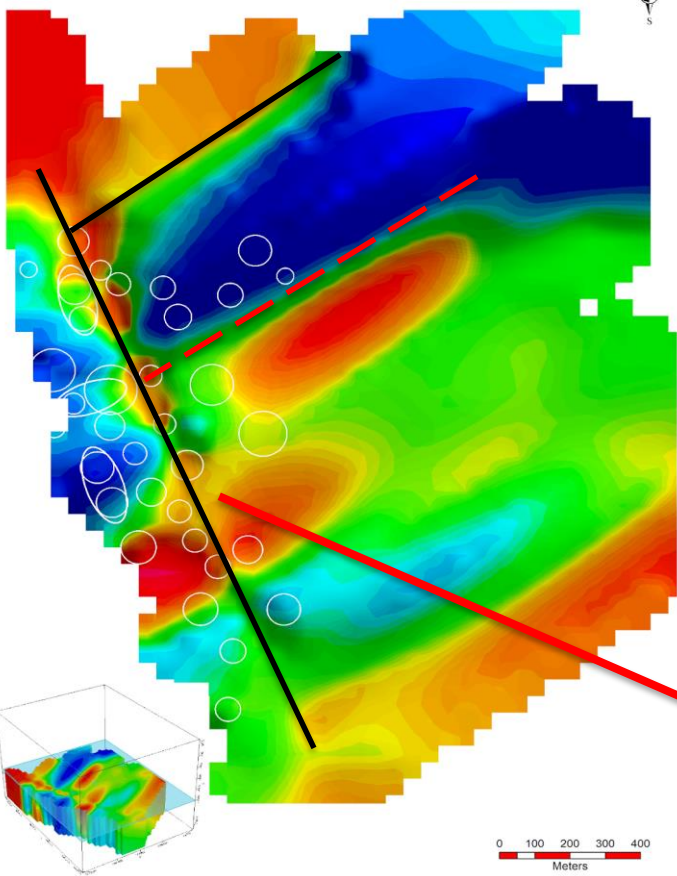
Não há evidências de anomalias de deficiência de massa que indiquem a existência de grandes vazios em profundidades rasas (até 300 metros) que favoreçam a formação de estruturas de abatimento ou dolinas;

A exploração de sal está localizada numa zona de estruturas preexistentes;

Alguns poços de sal interceptam o plano (zona) de falha com direção NNW-SSE, indicando que as deformações nas tubulações estão relacionadas com um processo de reativação desta falha.



Seção horizontal a 900 metros de profundidade



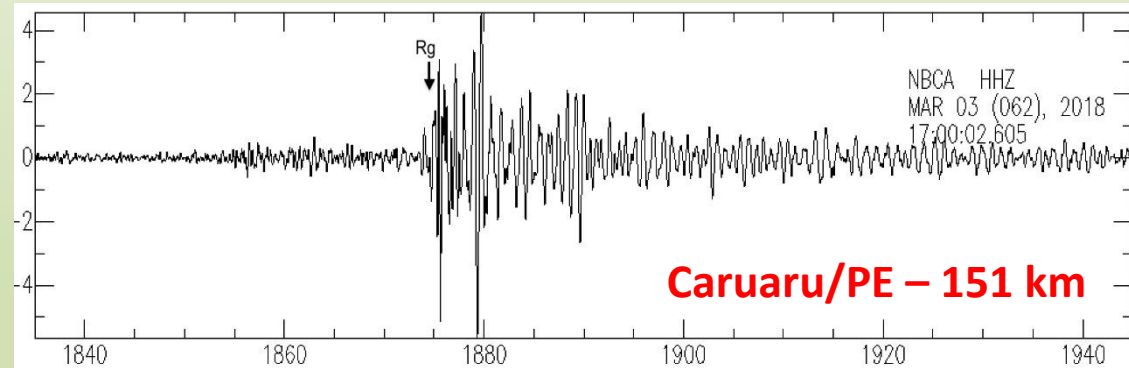
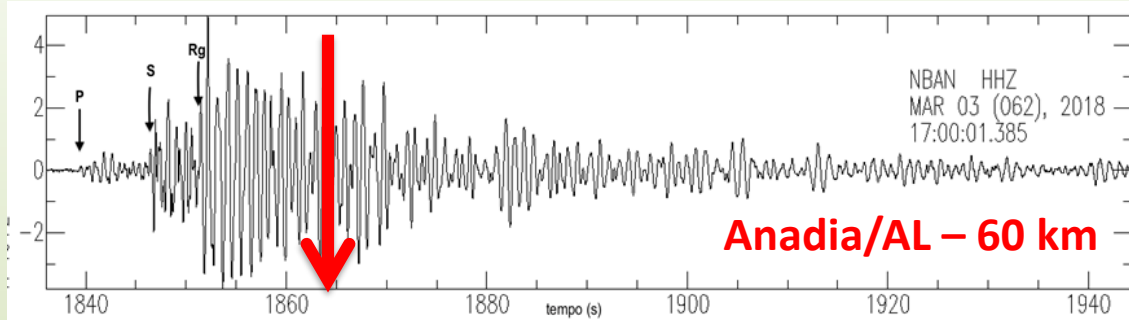
Levantamento Audiomagnetotelúrico

Anomalias de elevadíssima resistividade (azul) em áreas onde estariam as cavidades da extração de sal é um resultado inesperado, pois estas cavidades preenchidas com salmoura gerariam anomalias condutivas (vermelho);

Essas feições estão ascendendo para a superfície e espalhando-se na horizontal, modificando vigorosamente a distribuição de resistividade que teria sido impressa pela natureza;

Foram identificadas feições lineares com direção NNW-SSE (Falha do Mutange) e NE-SW que confirmam os resultados da gravimetria.

O sismo de março/2018



“Pela presença majoritária de energia sísmica em forma de ondas de superfície, percebe-se claramente que a fonte sísmica está próxima à superfície e não se trata de um evento tectônico causado por uma falha geológica, por exemplo” (Prof. Dr. Nascimento, A. F., UFRN)

A ESCALA RICHTER

Os sismólogos usam a esta escala de magnitude para representar a energia sísmica liberada por tremores de terra. Conheça os efeitos dos terremotos de acordo com sua força



Ainda que cada terremoto tenha uma magnitude única, os efeitos de cada abalo sísmico variam de acordo com a distância, às condições do terreno e das edificações e outro fatores

- O pequeno sismo de março de 2018, que ocorreu no Bairro Pinheiro, não foi responsável pelos quebramentos existentes no terreno;
- A energia sísmica liberada não teve intensidade suficiente para causar danos nas edificações;
- A forte percepção da população foi em função da sua ocorrência em baixa profundidade.

Rede sismológica de Pinheiro

6 Estações Implantadas



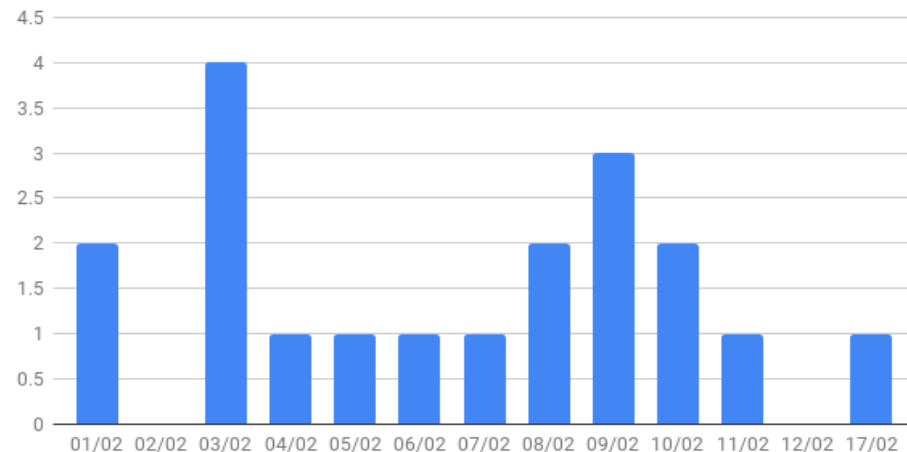
6 Eventos

- Legenda**
- ▲ Estações Sismográficas
 - ⊙ Eventos Sísmicos

Análise Sismológica

Exemplo de registro de evento sísmico que ocorreu na região no dia 10 de fevereiro de 2019 (18h23min UTC).

Quantidade de Sismos em Maceió- AL de 01/02 a 17/02/2019

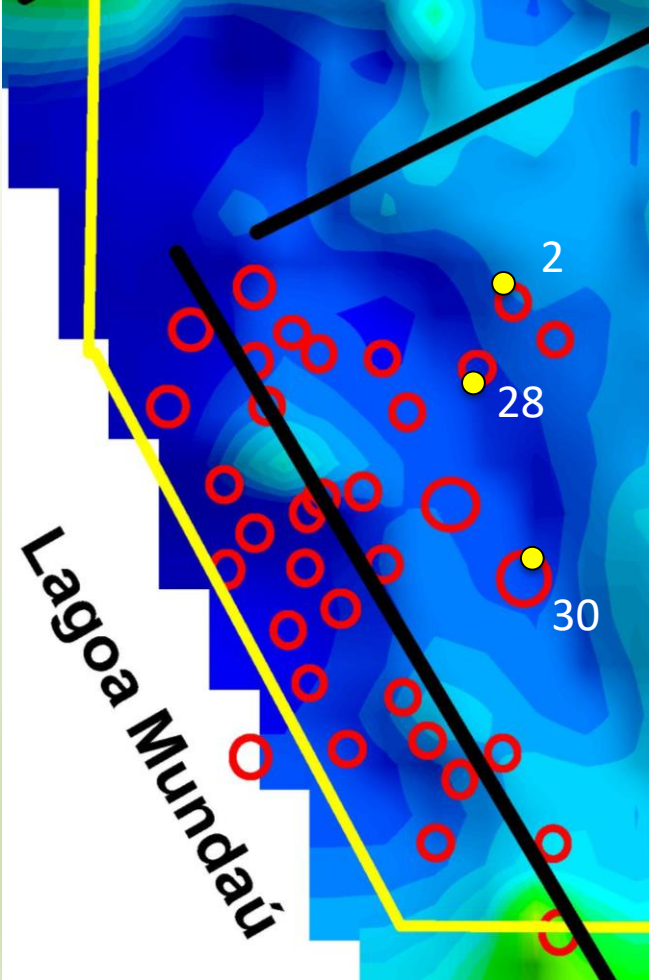


Análise Sismológica

Os eventos sísmicos que ocorrem no bairro Pinheiro, com liberação lenta de energia e predomínio da onda de superfície, não apresentam assinatura característica de eventos sísmicos tectônicos tradicionais;

Esse tipo de registro pode ser associado a um deslizamento entre dois blocos ou um múltiplo rompimento entre blocos, por exemplo;

No posicionamento do epicentro, a localização (x,y) é muito mais precisa do que a localização z, embora o predomínio da onda de superfície indique baixas profundidades.

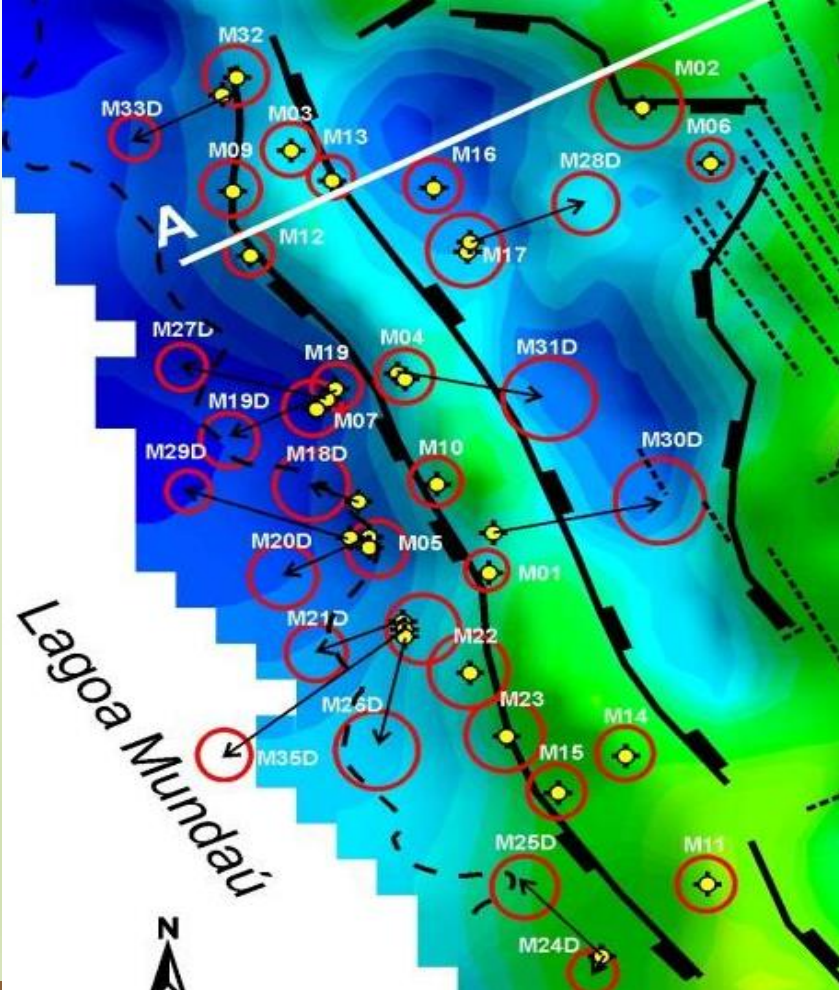


Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Existem 35 cavidades de extração de sal-gema localizadas entre os bairros Mutange, Bebedouro e Pinheiro;

A Agência Nacional de Mineração (ANM) solicitou em junho de 2018 que fossem realizados novos levantamentos com sonares e repassados, junto com os antigos, à CPRM;

Até a presente data a CPRM recebeu dados de 8 cavidades: 3 ativas e 5 inativas.



Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Comparativo Volumétrico das Cavidades - Poços Ativos

Mina 32D (Poço ativo)	2017	85823.52	186237.04
	2018	198192.25	430077.18
	Diferença	112368.73	243840.14
	Diferença %		131%
Mina 34D (Poço ativo)	Operação 2	132059.22	286568.51
	2015	195221.85	423631.41
	Diferença	63162.63	137062.91
	Diferença %		48%
	2019	356418.32	773427.75
	Diferença	161196.47	349796.34
Diferença %		83%	
Mina 35D (Poço ativo)	Operação 2	23355.06	50680.48
	2014	67131.13	145674.55
	Diferença	43776.07	94994.07
	Diferença %		187%
	2019	201787.53	437878.94
	Diferença	134656.4	292204.39
Diferença %		201%	

Os dados mostram o crescimento das cavidades ao longo do tempo;

Este comportamento é o esperado já que a mina está em exploração.

Comparativo Volumétrico das Cavidades - Poços Inativos

Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Poço	Sonar	Vol. m3	Tonelagem (d= 2,17)
Mina 07D	1989	194122.49	421245.80
	2019	332552.05	721637.95
	Diferença	138429.56	300392.15
	Diferença %		71%
Mina 19D	2005	72724.59	157812.36
	2019	5835.8	12663.69
	Diferença	-66888.79	-145148.67
	Diferença %		-92%
Mina 27D	Sem dados anteriores		
	2019	296058.76	642447.51
	Diferença	-	-
	Diferença %		-
Mina 30D	2015	285611.53	619777.02
	2018	442610	960463.70
	Diferença	156998.47	340686.68
	Diferença %		55%
Mina 31D	2015	424054.45	920198.16
	2018	495503.99	1075243.66
	Diferença	71449.54	155045.50
	Diferença %		17%

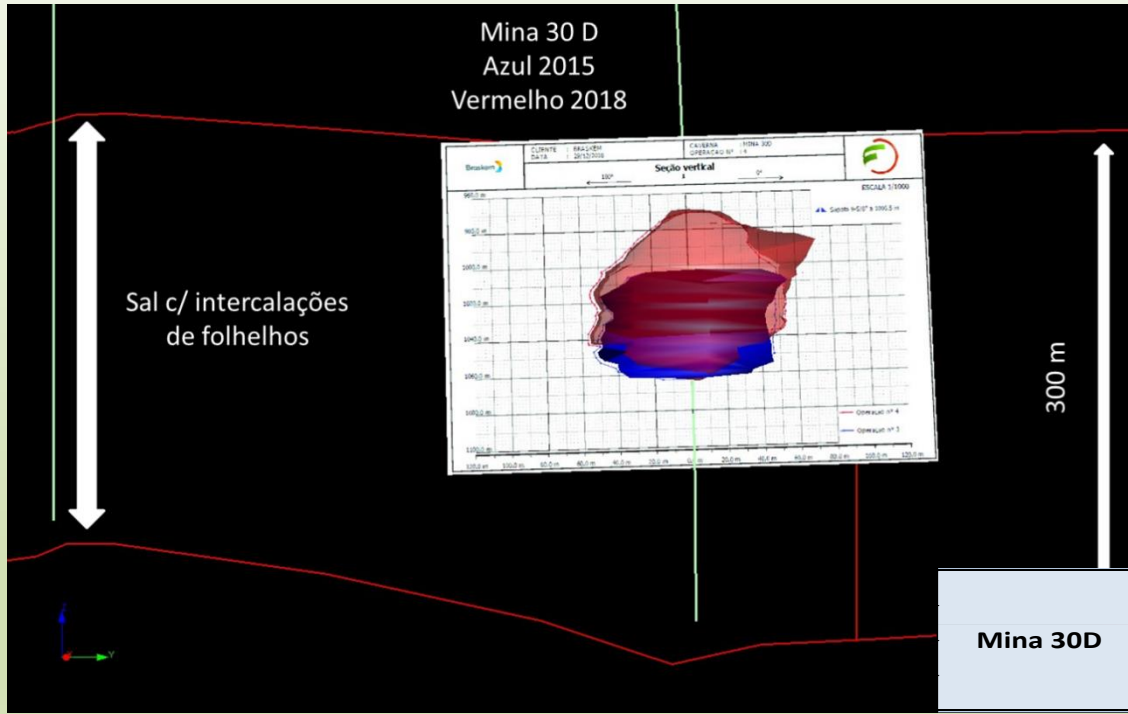
Existem diferenças significativas nos volumes das cavidades que estão com a atividade de operação paralisada;

Os dados mostram aumento de 71%, na mina 07 e redução de 92% na mina 19D;

Estas cavidades, que deveriam estar estáveis (com manutenção de volume) estão desestabilizadas, ora aumentando de volume, ora quase desaparecendo (desmoronamentos?).

Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Análise Espacial das Cavidades Poços Inativos



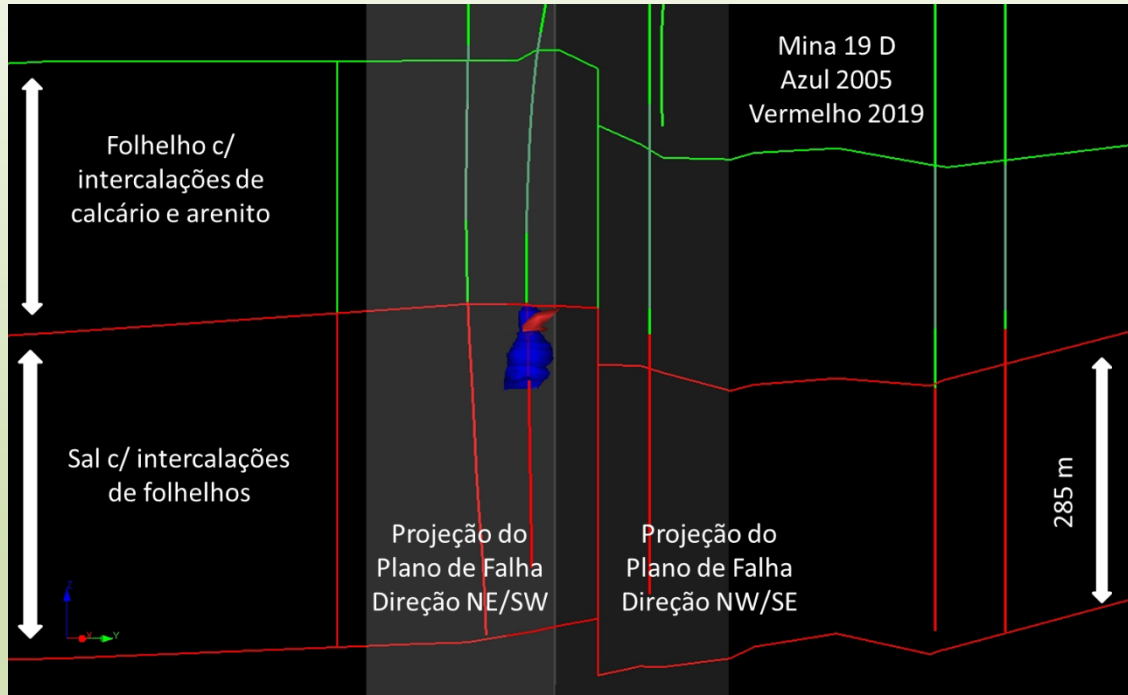
Mina direcional, com cavidade localizada abaixo da escarpa da Formação Barreiras, entre Mutange e Pinheiro;

Tem uma ocorrência sísmica cujo epicentro pode ser associado a esta cavidade na dimensão (x, y).

Mina 30D	2015	285611.53	619777.02
	2018	442610	960463.70
	Diferença	156998.47	340686.68
	Diferença %		55%

Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Análise Espacial das Cavidades Poços Inativos

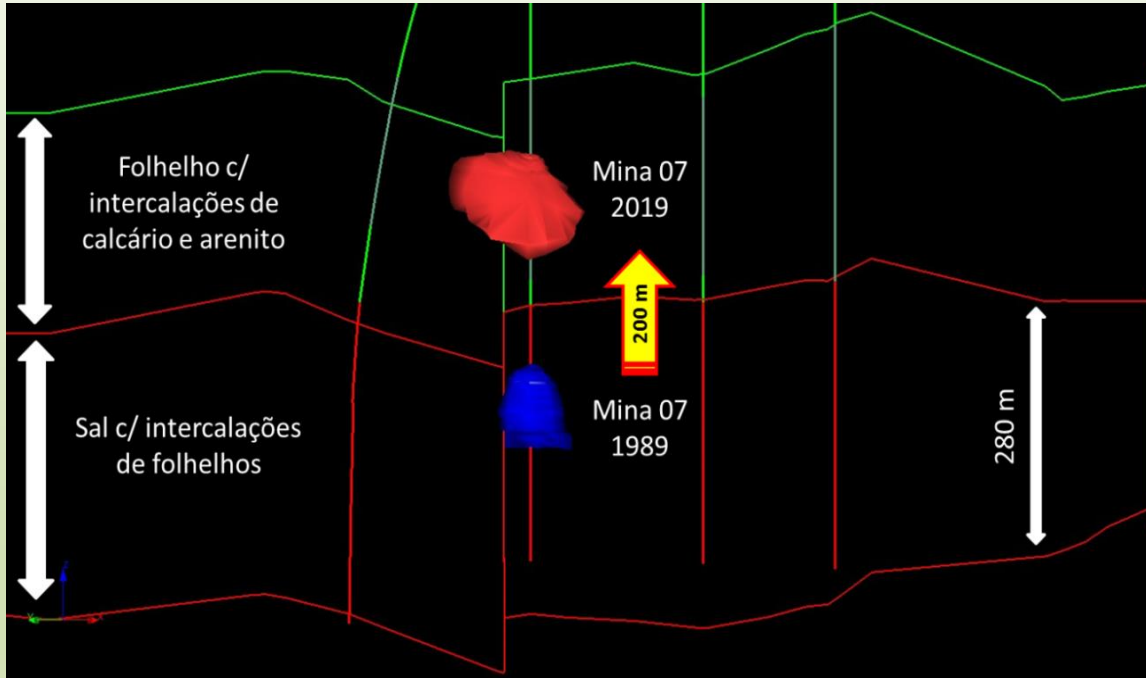


No sonar de 2019, a mina 19 apresenta uma forma geométrica muito irregular e inusitada para o padrão esperado;

O reduzido volume, em comparação ao levantamento do sonar anterior, leva à hipótese do colapso quase total dessa cavidade.

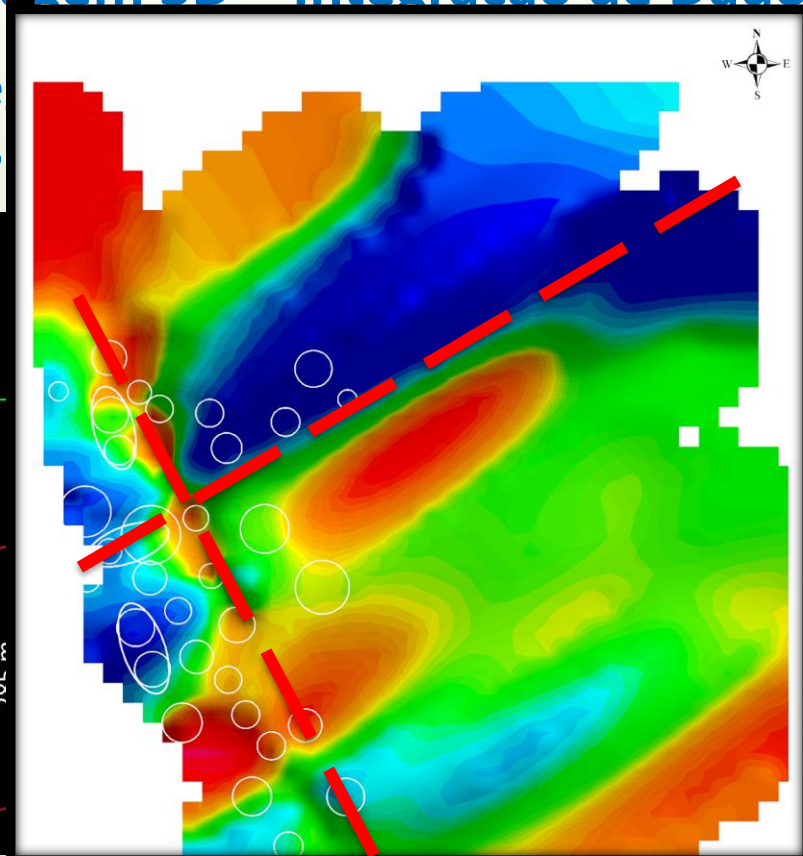
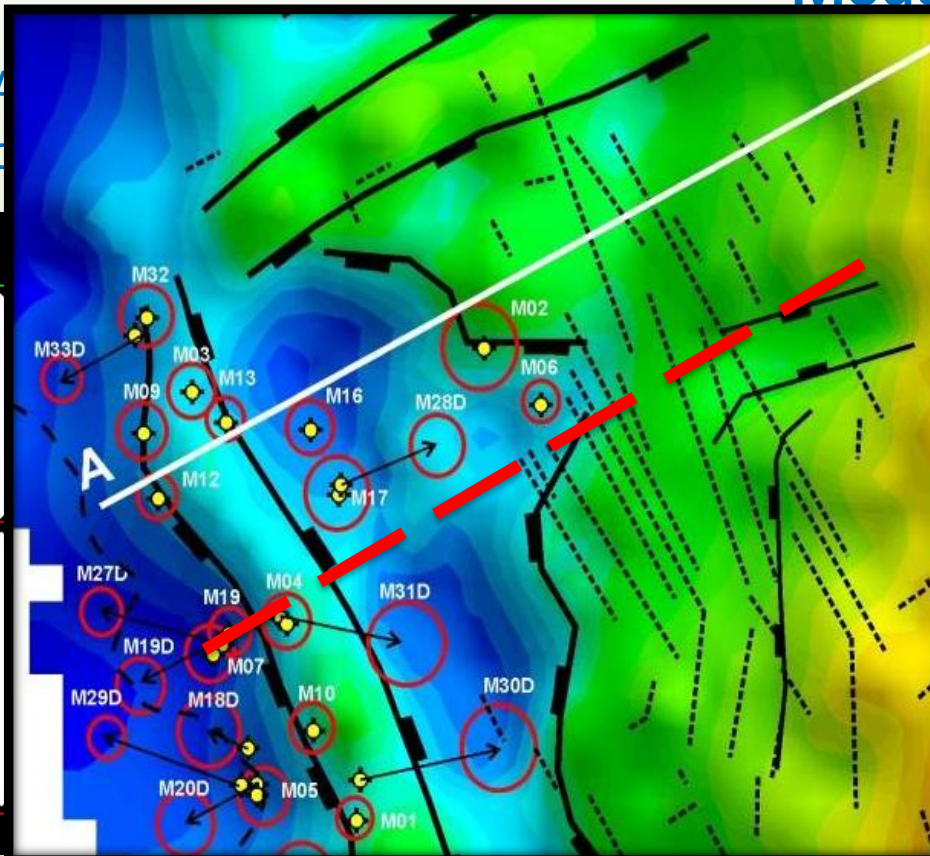
Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Análise Espacial das Cavidades Poços Inativos

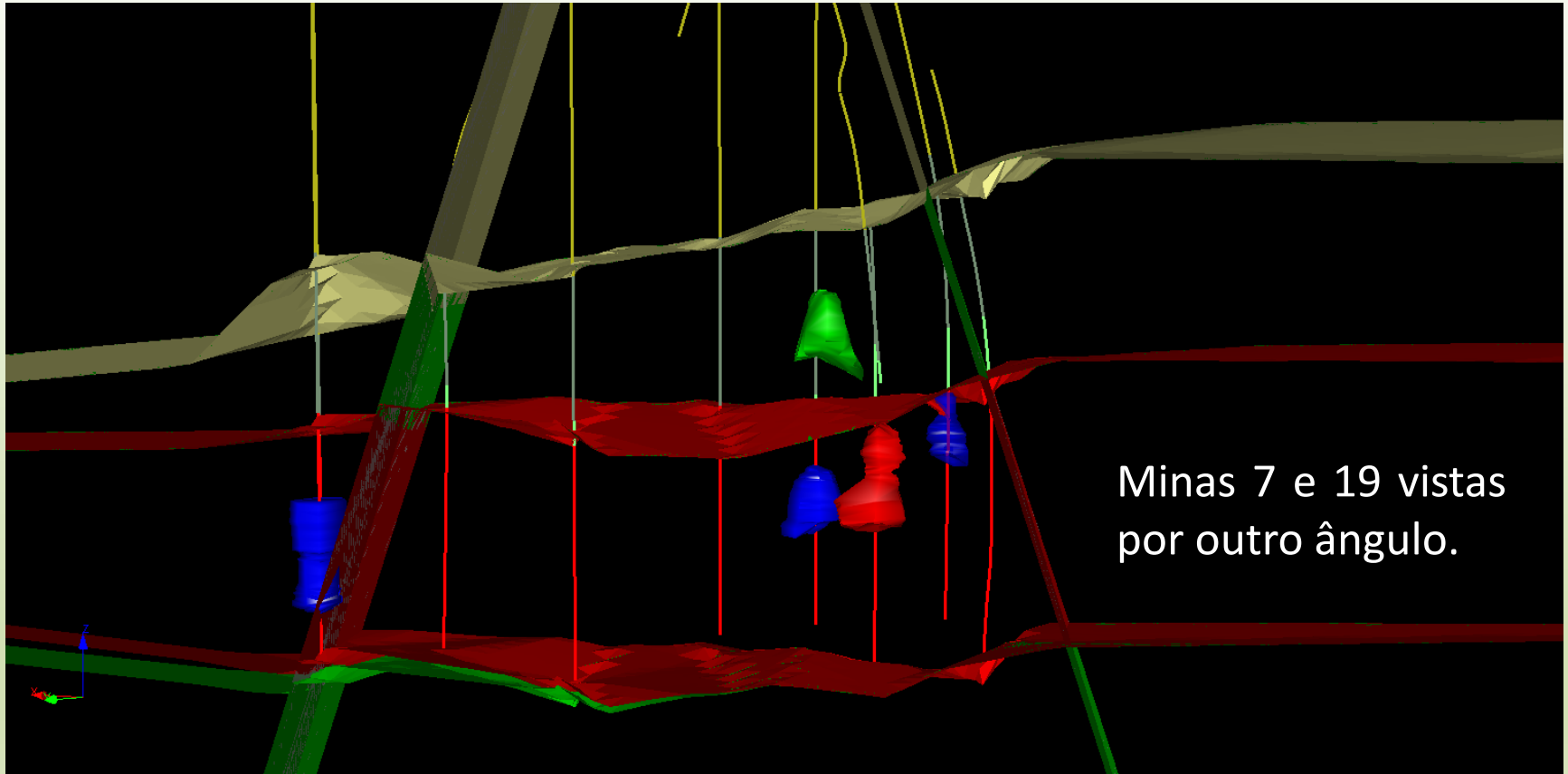


A mina 07 foi paralisada em junho de 1987 (32 anos);

Os resultados dos sonares de 1989 e 2019 mostram uma grande variação vertical na posição da cavidade (200 m); Isto pode ser explicado pelo contínuo deslocamento do teto da cavidade.

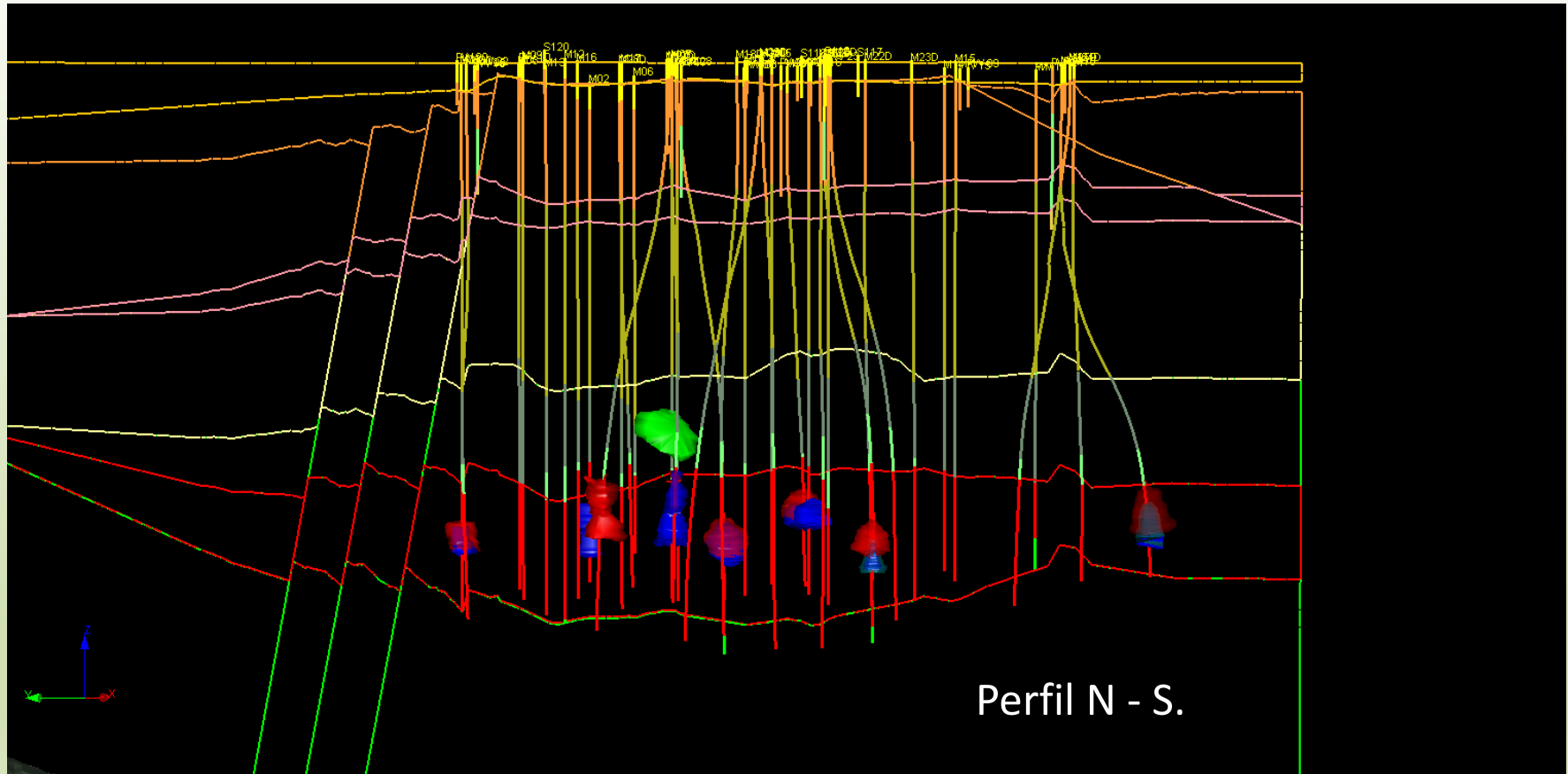


Modelagem 3D – Integração de Dados

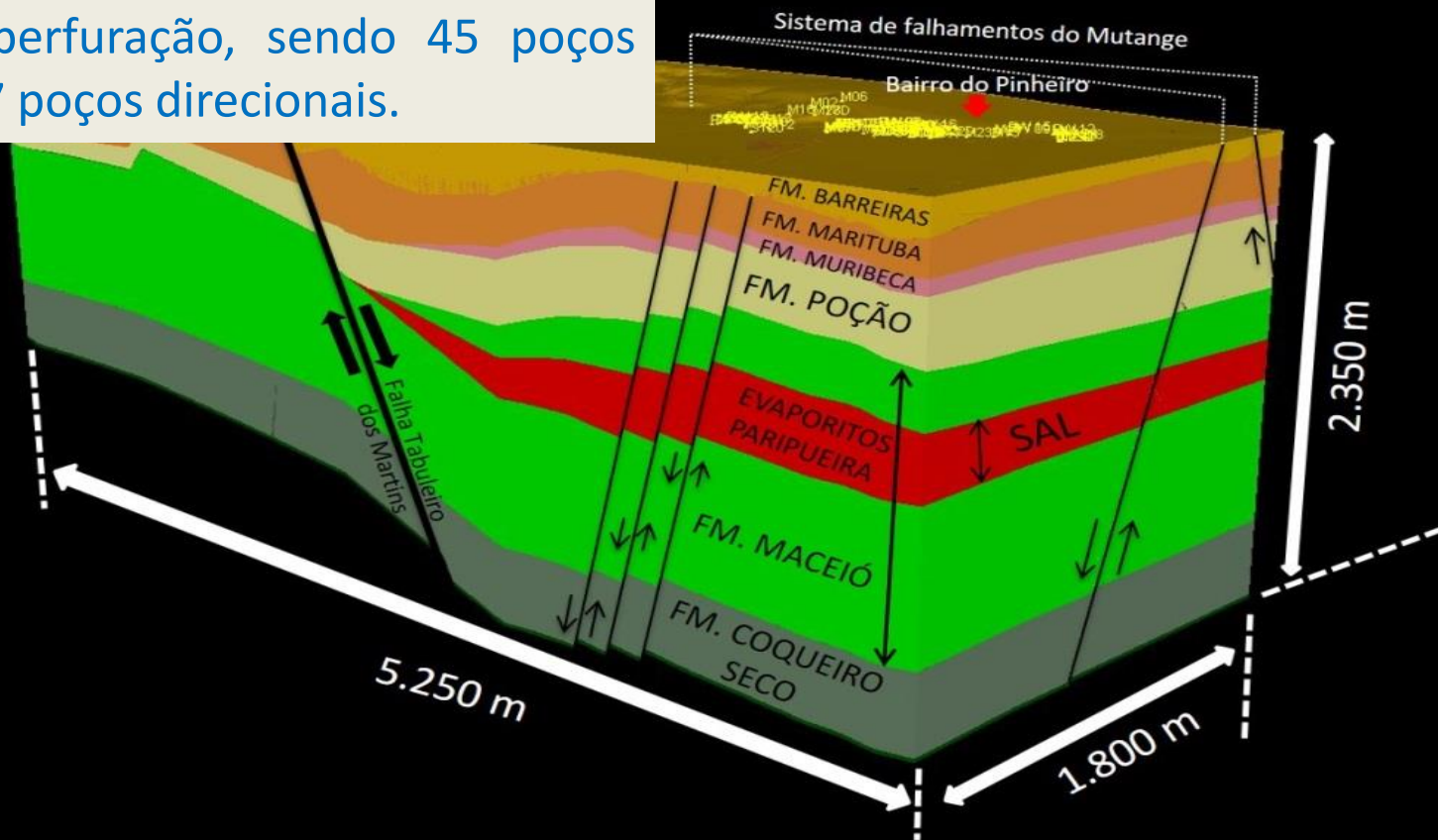


Minas 7 e 19 vistas
por outro ângulo.

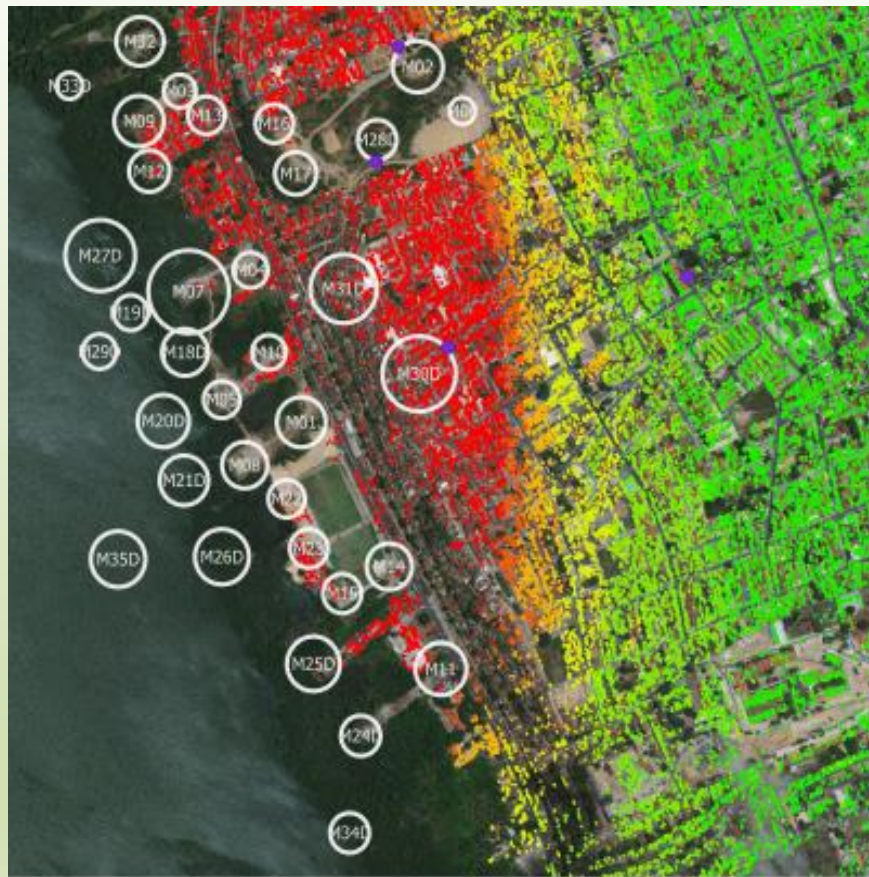
Modelagem 3D – Integração de Dados



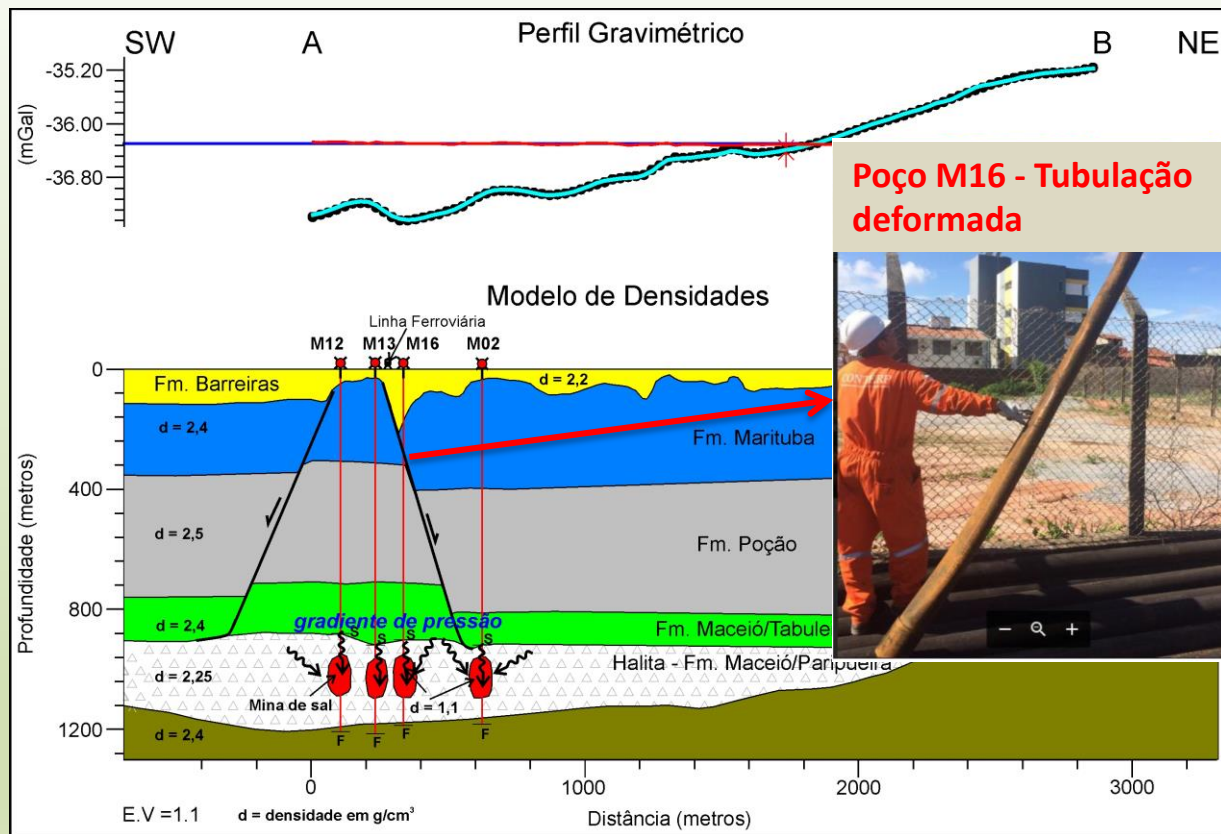
Para modelagem na área de estudo foram utilizados 62 poços, totalizando 52.692,76 metros de perfuração, sendo 45 poços verticais e 17 poços direcionais.



Interferometria *versus* cavidades de extração de sal-gema



Modelo Conceitual de Deformação



Hipótese

Halocinese produzida por desestabilização das cavidades de extração de sal devido à depressurização e existência de zonas de falhas.



CONCLUSÕES

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com base em todos os estudos e análises realizadas, chegou às seguintes conclusões:

- Está ocorrendo **desestabilização das cavidades da extração de sal-gema**, provocando **halocinese** (movimentação do sal) e criando uma situação dinâmica com **reativação de estruturas geológicas preexistentes**, **subsidência** e **deformações rúpteis** em superfície de parte dos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro;
- No bairro Pinheiro, cujo reflexo da subsidência é a formação de uma zona de **deformação rúptil**, a instabilidade do terreno é agravada pelos **efeitos erosivos** provocados pelo aumento da **infiltração da água de chuva**, em função do aumento significativo da permeabilidade secundária (quebramentos). Este processo erosivo é acelerado pela existência de pequenas bacias endorreicas e falta de uma rede de drenagem efetiva e saneamento básico.



Serviço Geológico do Brasil
CPRM

***“Conhecimento e informação em benefício
da sociedade e meio ambiente brasileiro”***