

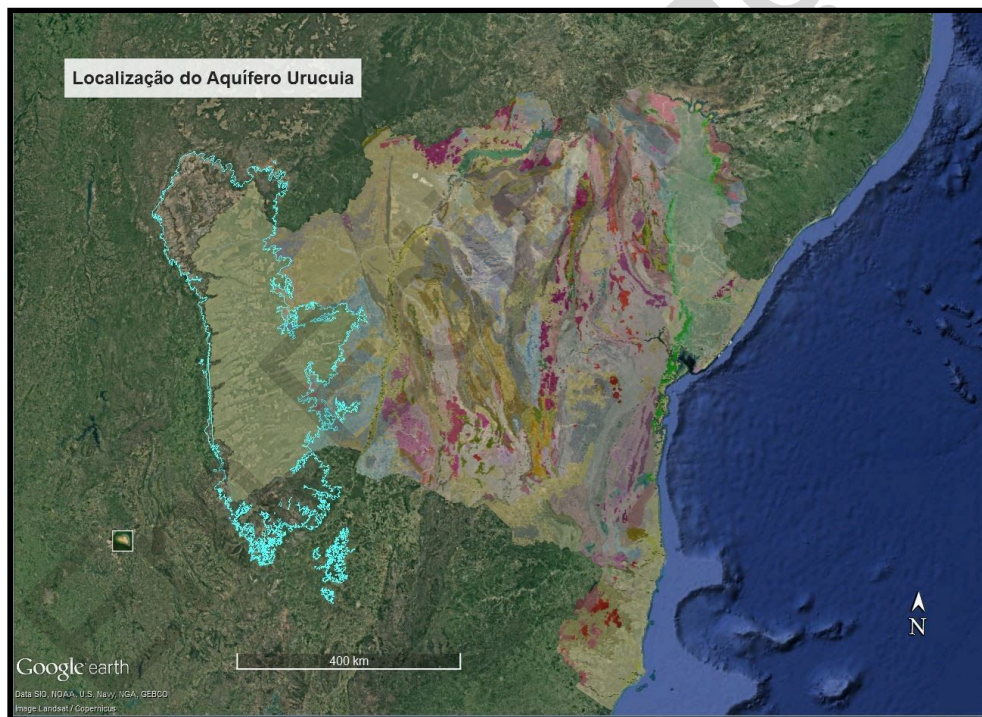
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA
DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE SALVADOR

PESQUISAS GEOLÓGICAS-GEOFÍSICAS NO AQUÍFERO URUCUIA
Relatório Sintético



Amilton de Castro Cardoso
Vitor Hugo S. R. Rodrigues

GEHITE - SUREG / SA

SALVADOR
2020

DOCUMENTO EM EDITORAÇÃO

1. Apresentação.

O presente relatório tem como finalidade apresentar uma análise sintética e global do Projeto Bacia Escola do Urucuia, concebido como tal devido às suas características peculiares na temática dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, considerando sua área de abrangência regional e os aspectos socioeconômicos e ambientais que impactam naquela área.

Este projeto propunha a realização de estudos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, gestão ambiental dos recursos hídricos e um centro integrado de estudos geocientíficos na área da Bacia Sanfranciscana, abrangendo as bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba. Para isso utilizaria os projetos institucionais existentes e em implantação na área, como o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), o RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas) e a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e uma rede específica no Urucuia (RHU), onde geraria estudos e pesquisas, constituindo-se assim em um Projeto Bacia Escola, além de “Gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico básico para o desenvolvimento sustentável do Brasil”, missão institucional do SGB - CPRM. Estes estudos e pesquisas, têm como principal foco o entendimento da geometria da bacia, de sua estratigrafia e estruturas controladoras do armazenamento e fluxo das águas superficiais e subterrâneas.

O projeto foi estruturado através do seu TR - Termo de Referência em 2016, tendo sido impactado pelo contingenciamento orçamentário e financeiro, prejudicando o seu desenvolvimento integral como concebido. Há de se destacar o avanço da Rede de Monitoramento Subterrâneo RIMAS, da Rede Monitoramento superficial específica do Urucuia - RHU além da construção dos três poços Estratigráficos (EST_01-BA, EST_02-GO e EST_03-BA). Estas construções foram de enorme importância para o conhecimento direto de suas espessuras e posteriormente das características dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, como também de referência para as análises e balizamentos dos dados geofísicos existentes e os que estão em aquisições.

2. Introdução.

O Aquífero Urucuia é um sistema de aquíferos de dimensão regional relacionado ao Grupo Urucuia da Bacia Sanfranciscana. Por Bacia Sanfranciscana, compreendem-se as Coberturas Fanerozóicas do Cráton do São Francisco, representadas principalmente pelo Sistema Aquífero Urucuia (SAU). Ocupando uma área de cerca de 120.000 km², estende-se pelos estados da Bahia, Tocantins, Maranhão, Minas Gerais, Piauí e Goiás. No

entanto, 75% de sua área concentra-se na região oeste do estado da Bahia. É de fundamental importância para a manutenção do fluxo de base do Rio São Francisco em períodos de recessão de chuvas. Além disso, o sistema de aquíferos possui participação crescente em projetos de irrigação de culturas de soja e algodão, entre outras, e, portanto, é fundamental para o desenvolvimento econômico da região.

Apesar da sua importância, ainda não se estabeleceu um consenso acerca da espessura máxima do SAU e nem a respeito da geometria da estruturação da bacia. Alguns autores sugerem um modelo de bacia em *hosts* e *grabens* (como Bonfim & Gomes, 2004; Amorim Jr. & Lima, 2007) ou modelo de *sag* (como Campos & Dardenne, 1997a; Chang e Silva, 2015). Portanto, fica evidenciada a importância de projetos como Urucua no sentido de preencher essa lacuna de conhecimento geológico, e assim gerar modelos hidrogeológicos consistentes, permitindo junto aos monitoramentos sistemáticos e contínuos no aquífero, o conhecimento necessário à gestão e o desenvolvimento sustentável da região.

3. Caracterização Geológica.

A caracterização geológica da área está baseada nos trabalhos desenvolvidos por diversos autores, tais como Moraes Rego (1926), Hasui & Hiralji (1991), Sawasato (1995) e Campos & Dardenne (1997a), Chang et al. (1990) e mais recentemente, levantamentos efetuados pelo Consórcio Engecorps - Walm (Chang e Silva - 2015), para a ANA - Agência Nacional de Águas. Portanto, não existe mapeamento de semi-detalle ou detalle, estudos estratigráficos, sedimentológicos e evolução estrutural naquela bacia executado pelo SGB - CPRM, existindo unicamente mapa geológico ao milionésimo, portanto de reconhecimento.

A forma geral da bacia Urucua é alongada seguindo sentido norte - sul, seu paralelismo ao aulacógeno do Recôncavo-Tucano-Jatobá sugere uma evolução tectônica em rift, associada a abertura atlântica da margem continental brasileira. No entanto as características gerais da bacia mostram uma tectônica pouco pronunciada, contrariando a hipótese de rifteamento continental. Mais ainda, a evolução dos conhecimentos tectônicos da bacia permite a proposição de preenchimento de calha tipo *sag*, ou seja, uma ampla bacia intracontinental com pequena subsidência, apenas localmente afetada por incipientes processos tafrogênicos (Campos & Dardenne, 1997a). Os principais argumentos que corroboram com esse modelo são: Fig 01 (Bacias rift e intracratônicas fanerozoicas, domínios 2 e 3).

- Relação comprimento / largura menor do que 3. Em contrastes com os riftes onde essa razão é maior do que 5.
- Espessuras sedimentares reduzidas (da ordem de 500 m), onde no Recôncavo as espessuras são da ordem de 7.000 m.
- Ausência de compartimentação de falhas e conglomerados de bordas.
- Ausência de elementos estruturais típicos dos rifts, tais como, antiformes, falhas inversas, de alívio, etc, como descritos por Aragão (1994) na bacia do Recôncavo.
- Ausência de depocentros junto às bordas e falhas do embasamento.

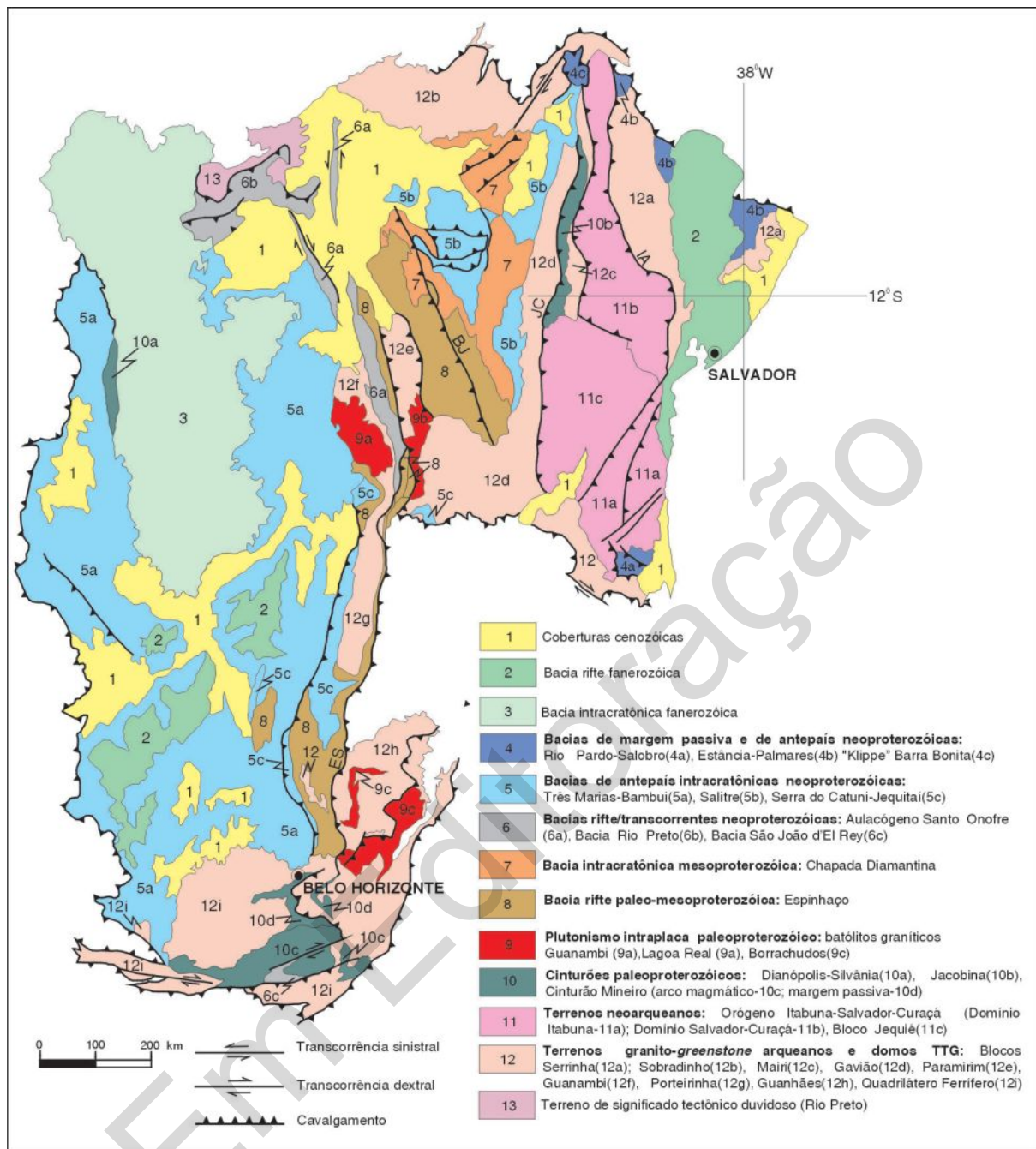


Fig. 1 Domínios tectônicos e principais estruturas da Província do São Francisco (Delgado *et al.*, 2003).

A estratigrafia da Sub Bacia do Grupo Urucua está representada da base para o topo nas seguintes formações: Posse, Serra das Araras e Chapadão. Campos & Dardenne (1997b) Há autores que, utilizando-se de dados de perfis geofísicos de poços e suas descrições, apresentam a Formação Geribá dentro do grupo (Lima, O. L. de, 2000). Também com base em perfilagem, Rodrigues & Maia (2012), define uma unidade basal como Formação Perdizes, em um poço em São Desidério.

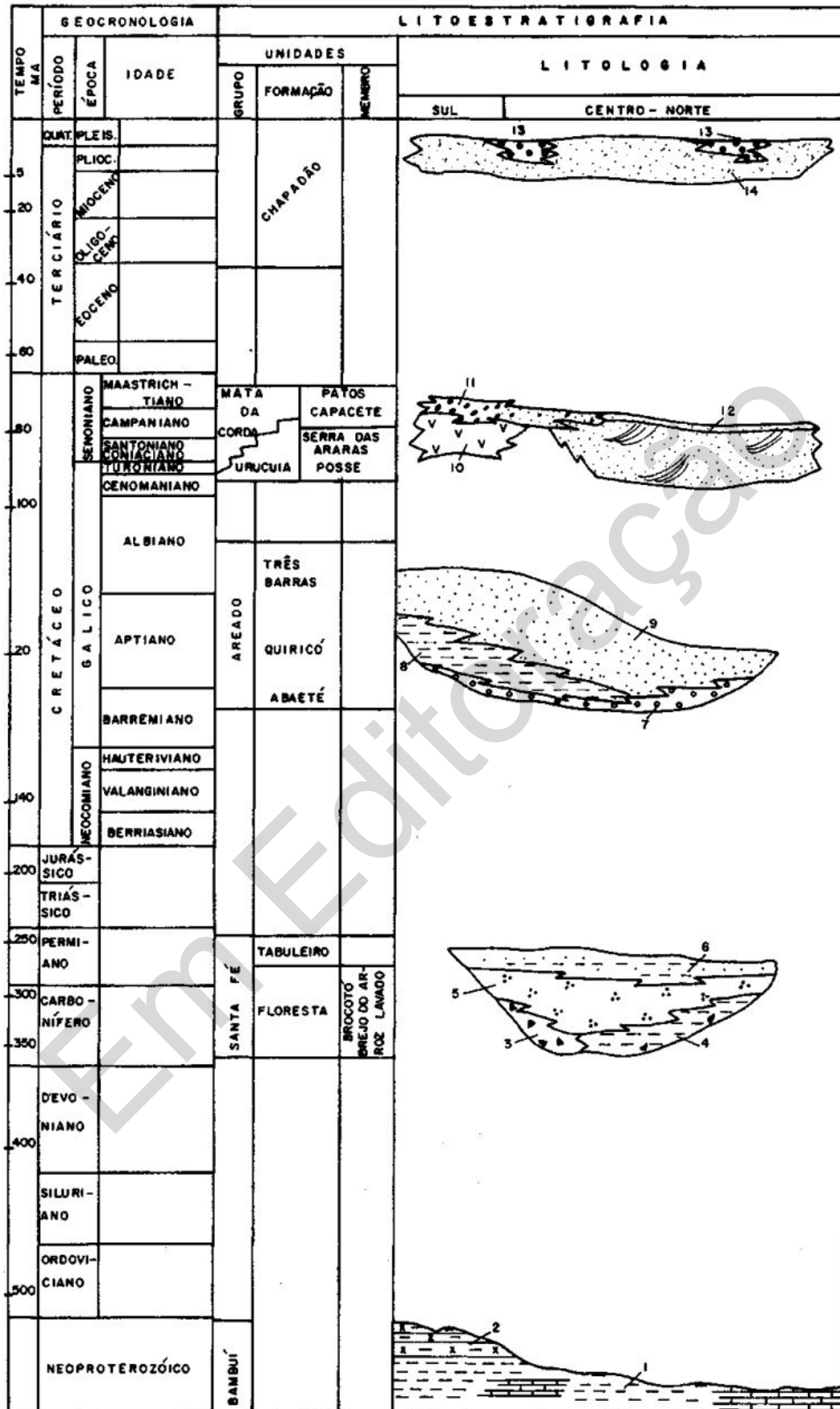


Fig. 2 Carta estratigráfica da Bacia Sanfranciscana (modificado de Campos & Dardenne (1997b))

Formação Posse

Representa a unidade basal do Grupo Urucuiá, constituindo a unidade de maior volume desse grupo. Foi dividida por Campos & Dardenne (1997b) nas fácies 1 e 2.

A fácies 1 constitui-se de quartzos arenitos e arenitos feldspáticos, muito finos, finos, médios, bimodais, com boa maturidade textural e mineralógica, geralmente apresentando bom selecionamento. Ocorrem ainda nessa fácies lentes e níveis de conglomerados médios a finos, com seixos do próprio arenito, quartzos de veio, quartzitos e com cimentação silicosa frequentemente associada. O conjunto dessa fácies foi caracterizado como um sistema eólico de campos de dunas, pela presença de estratos cruzados de grande porte, com planos de estratificação menor com altos ângulos (25-30°) e pequenos ângulos na porção basal, ausência de matriz argilosa detrítica, estruturas de deslizamentos de grãos na porção frontal das dunas.

A fácies 2 consiste de arenitos feldspáticos e quartzos arenitos, de coloração branca, ocre, finos, argilosos ou não, bem selecionados e menos maduros que os da fácies 1. O material argiloso compõe a matriz detrítica verdadeira e a cimentação de sílica é restrita a bancos horizontais. São comuns estratificações cruzadas tabulares e tangenciais de pequeno porte (até 30 cm) e estratos plano-paralelos mais raros. Interpretada como produto da sedimentação em sistema fluvial entrelaçado e com influência eólica.

Formação Serra das Araras

Consistem de arenitos, argilitos e conglomerados com coloração avermelhada, intercalados em bancos plano-paralelos de 0,5 a 2 metros. Os arenitos são polimodais, silicificados, vermelhos com níveis amarelados. Apresentam estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte e, mais comumente, estratos planos paralelos. Os conglomerados formam níveis de até 50 cm na base de níveis de arenitos. São vermelhos com seixo de quartzos, quartzitos, arenitos e feldspatos caolinizados.

Na porção superior da unidade ocorrem níveis pelíticos, vermelhos e geralmente muito oxidados. Foi caracterizada por Campos & Dardenne (1997b) como uma sedimentação fluvial desenvolvida em amplas planícies, com grande variação de carga de fluxo. A contribuição eólica foi atestada pela presença de grãos esféricos e polidos, isolados no arcabouço dos arenitos e flutuantes nos níveis pelíticos. Na BR-020 pode ser observada a presença de alguns níveis de conglomerado da Formação Serra das Araras.

Formação Chapadão (Coberturas Recentes)

A Formação Chapadão compreende todos os depósitos de sedimentos recentes da Bacia Sanfranciscana. Essas coberturas foram classificadas como aluvionares, coluvionares e aluvionares (Campos & Dardenne 1997b):

- *Coberturas aluvionares*: são associadas à planície de inundação das maiores drenagens. Associadas por depósitos resultantes de retrabalhamentos fluviais recentes de materiais detríticos diversos;
- *Coberturas coluvionares*: são resultantes de pequenos retrabalhamentos de unidades fanerozóicas e da regressão de formas de relevo tabular elevado;
- *Coberturas eluvionares*: correspondem às areias inconsolidadas, que se desenvolvem a partir dos arenitos pertencentes às diversas unidades fanerozóicas. São representados por depósitos *in situ* ou pouco retrabalhados. Ocorrem nas extensas chapadas, sendo mais comuns sobre os arenitos do Grupo Urucuia, como no Chapadão do Oeste Baiano.

4. Sísmica e Poços Estratigráficos

Dados sísmicos são fundamentais no entendimento do arcabouço estrutural de bacias sedimentares. No entanto, em função da pouca atratividade da bacia Sanfranciscana para a indústria do petróleo, há poucas aquisições sísmicas realizadas na região. Apesar disso, foi possível conseguir, junto à ANP, 11 linhas sísmicas e um poço stratigráfico de 980 m perfurado próximo à cidade de Luís Eduardo Magalhães, que permitiu a amarração dos dados de poço à sísmica. Além desse, outros dois poços stratigráficos perfurados pela CPRM, em Mambaí-GO (410 m) e Correntina (510 m), também foram fundamentais para a caracterização de alguns refletores sísmicos visíveis nas seções.

Na Fig. 3 estão indicadas as localizações das linhas sísmicas e dos poços stratigráficos. Esses dados compreendem a região central e sul da bacia, onde estão concentrados a maioria dos trabalhos de geofísica.

Os dados Sísmicos foram processados por consultoria contratada pela ANP. Na CPRM, foi feita a interpretação dos dados e amarração dos poços stratigráficos aos dados sísmicos através do *software* livre *Opendtect*. A aquisição sísmica é realizada com uma fonte artificial, explosivos no caso das linhas analisadas, e com sensores chamados de geofones, na qual são capturadas as reflexões da onda sísmica gerada pela fonte nas camadas de subsuperfície. Portanto, a partir das propriedades acústicas do meio, é possível entender elementos stratigráficos e estruturais da bacia em estudo.

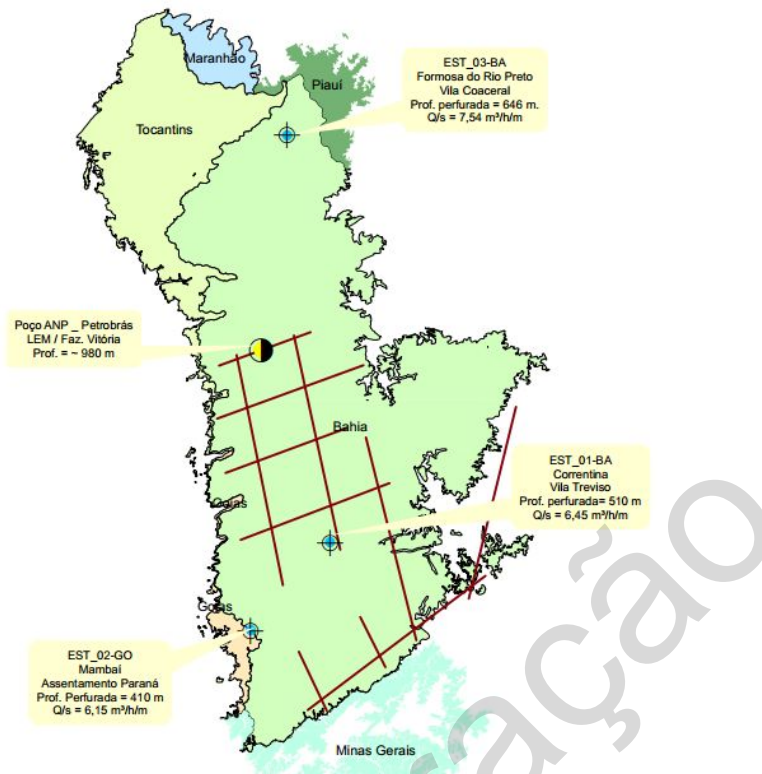


Fig. 3 Linhas sísmicas e poços estratigráficos de apoio.

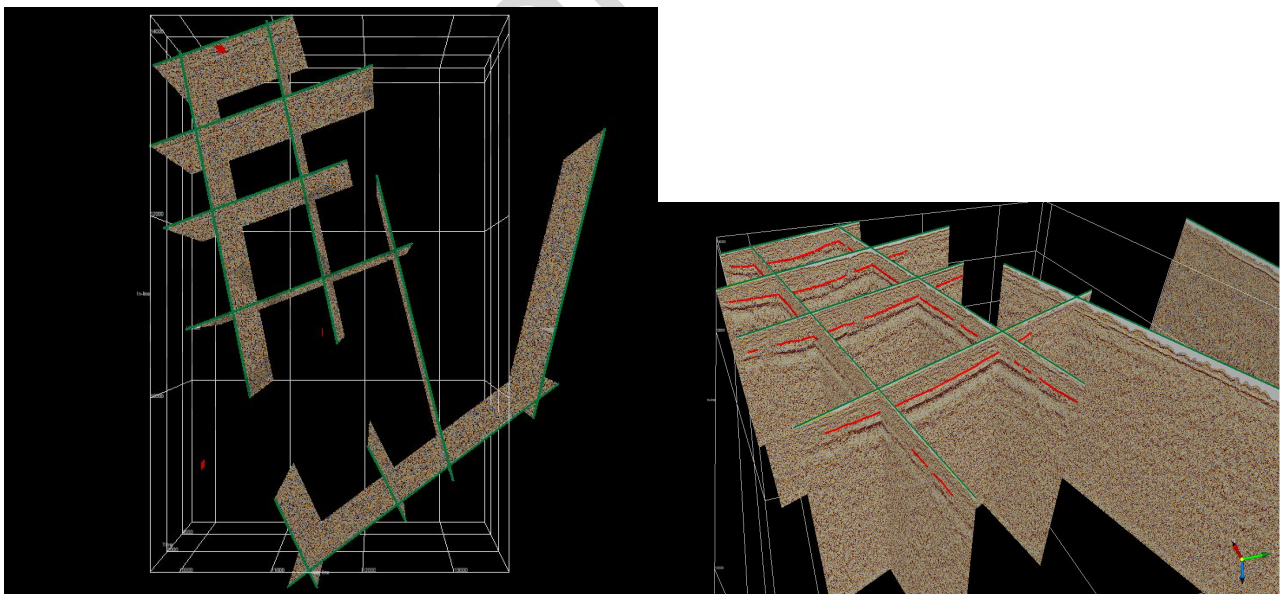


Fig 4. Linhas sísmicas no *OpenTect*.

Dois objetivos principais foram cumpridos com a interpretação desses dados sísmicos:

i) a definição do refletor que representa o contato entre o embasamento cristalino e o pacote sedimentar. Uma análise imediata das seções sísmicas acusaria um refletor intenso que, erroneamente, poderia ser interpretado como o embasamento da bacia (ver Fig. 5). A

partir da amarração do poço estratigráfico da ANP e do poço de correntina perfurado pela CPRM, foi possível inferir o verdadeiro refletor do embasamento, que se encontra a 840 m na posição do poço da ANP . Recentemente, Pereira *et al.*, 2015 e Cabra *et al.*, 2019 se aprofundaram sobre esses dados, chegando à conclusão de que o evento de alta intensidade retratado nas imagens se daria a partir da conversão da onda em modo P-S-P dentro do pacote sedimentar.

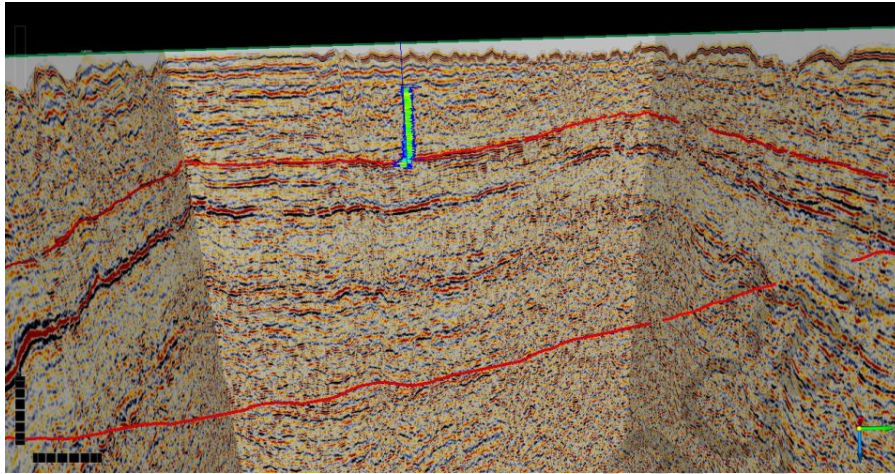


Fig. 5 Linha em vermelha indicando refletor associado ao embasamento da bacia. Abaixo, um artefato de alta intensidade que poderia ser erroneamente interpretado como embasamento.

ii) analisar a geometria da bacia a partir da interpretação dos dados sísmicos. A interpretação dos dados sísmicos da região central e sul da bacia apontam para um modelo tipo *sag* com eixo maior de direção aproximadamente norte-sul e profundidade crescente para norte, conforme Fig. 6 e Fig. 8.

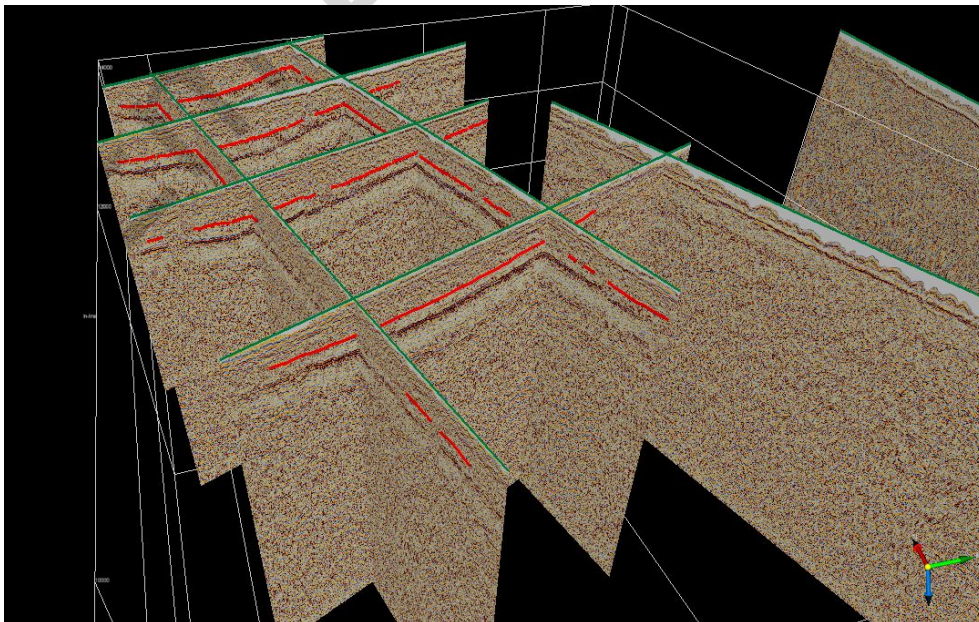


Fig. 6 Linhas sísmicas com embasamento interpretado em vermelho.

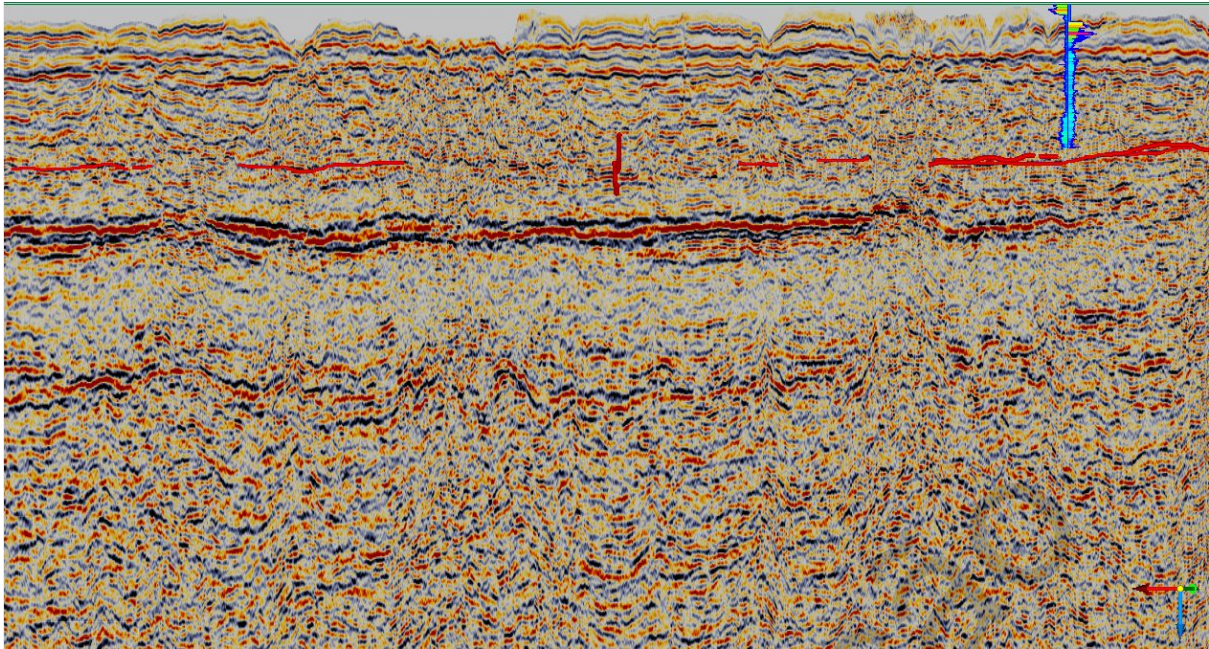


Fig. 7 Detalhe do poço de correntina junto à seção sísmica. Em vermelho, o embasamento interpretado.

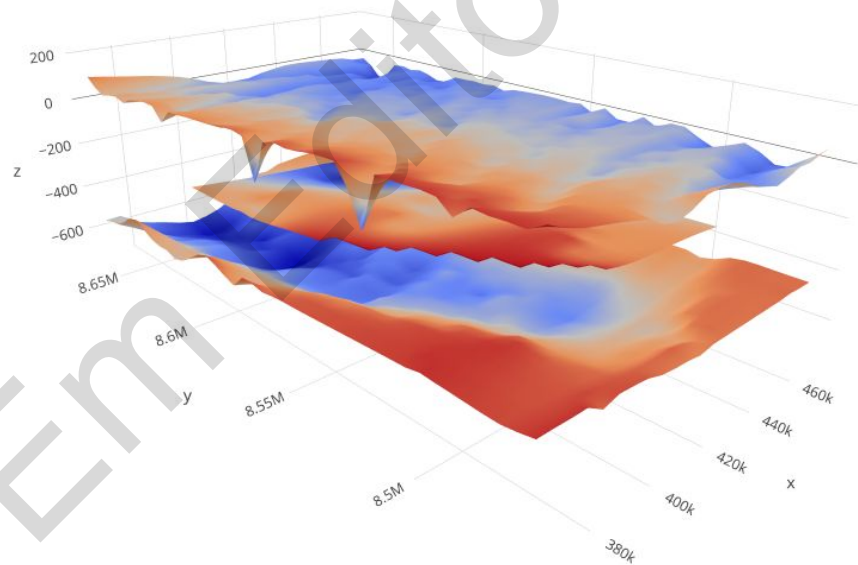


Fig. 8 Modelagem 3D em tempo da bacia Sanfranciscana. De cima para baixo: topografia, refletor mapeado no interior da bacia, embasamento cristalino (acesso: plot.ly/~vitorhugoserravalle/1/).

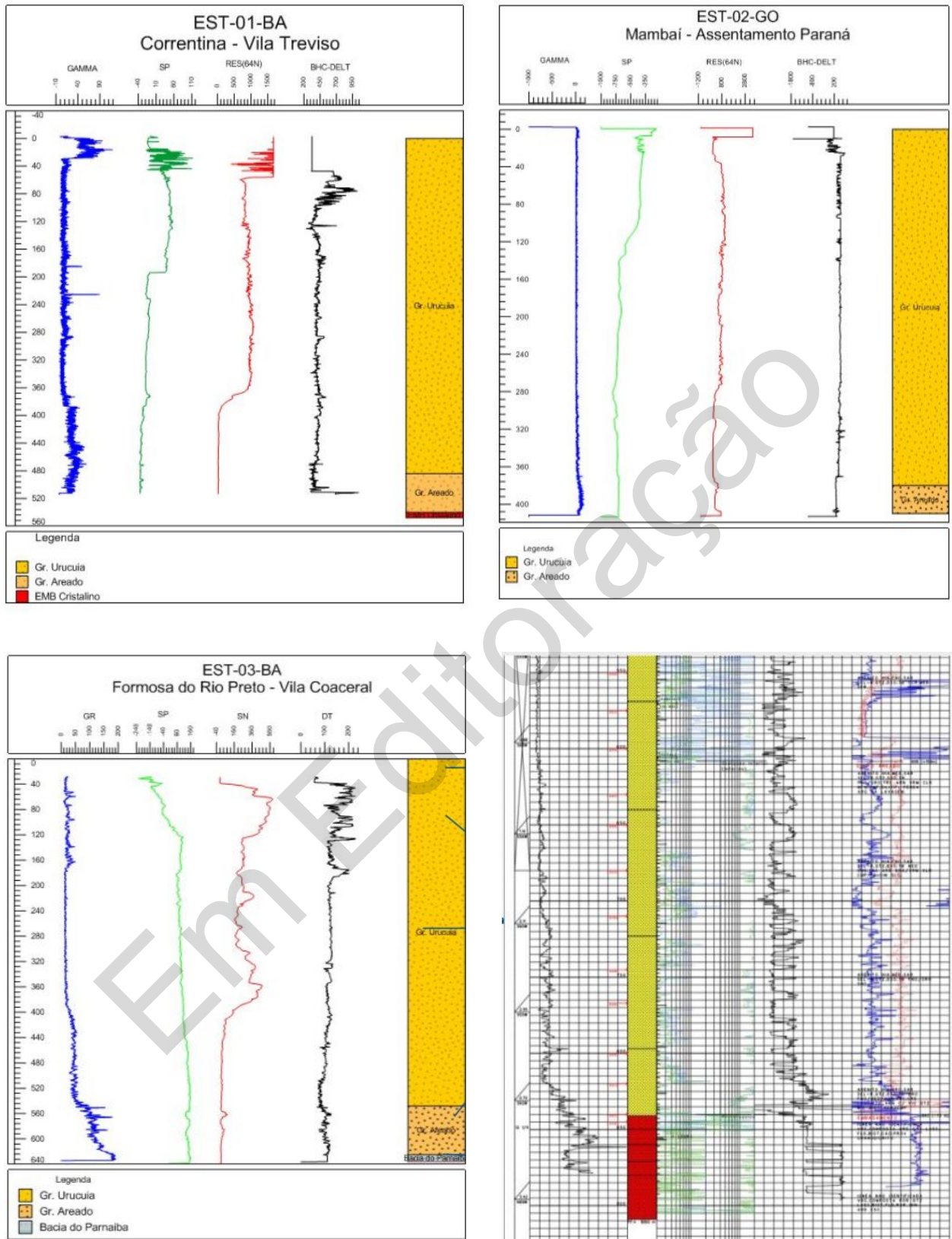


Fig. 9 Poços estratigráficos. Da esquerda para direita e de cima para baixo: Correntina, Mambai, Formosa do Rio Preto e Luís Eduardo Magalhães (poço ANP).

5. Magnetometria e Radiometria

Em 2014, em parceria com a CBPM, a CPRM contratou 103.629 km lineares de voo na região oeste da Bahia. Esses voos, carregados com sensores magnetométricos e radiométricos, permitiram trabalhar alguns mapas temáticos com esses dados.



Fig. 10 Polígono do levantamento aéreo na região oeste da Bahia.

A partir dos dados magnetométricos, foi possível analisar alguns lineamentos presentes no embasamento, conforme pode ser visto na Fig. 11. A direção desses lineamentos do embasamento, no entanto, não guarda correlação com a direção de indicadores superficiais de estruturas, como direção de rios.



Fig. 11 Mapa magnetométrico de campo total com principais lineamentos marcados em branco, à esquerda, e mapa radiométrico ternário, à direita.

Dada a uniformidade dos afloramentos do chapadão do Urucuia, não foi possível, em uma primeira análise, extrair grande informação dos dados radiométricos. Esse tipo de dado carrega informação radiométrica apenas dos primeiros centímetros da camada de solo ou rocha. Portanto, sendo a cobertura da região predominantemente areias inconsolidadas da formação Chapadão, não há grande variação perceptível.

6. Gravimetria

Como complemento, nesse projeto foram usados dados gravimétricos de aquisição aérea contratada pela ANP. A gravimetria estuda a variação do campo gravitacional na Terra. Nesse sentido, rochas com alta densidade tendem a apresentar anomalia gravimétrica positiva, enquanto rochas de menor densidade estão associadas a anomalias gravimétricas negativas. É um método muito eficaz para estudo do comportamento regional de bacias.

No presente trabalho, a gravimetria foi utilizada como apoio na interpretação dos dados de sísmica, que delineiam com mais detalhes as estruturas de subsuperfície que estávamos interessados. São dados de gravimetria aérea contratados pela ANP que cobrem parte considerável das porções centro e sul do SAU.

7. AMT

Até o presente momento, ainda verifica-se uma relativa escassez de dados geofísicos na região norte da bacia Sanfranciscana. Além disso, há informação de apenas um poço estratigráfico, o poço da Vila Coaceral, em Formosa do Rio Preto, perfurado pela CPRM. Contudo o entendimento da conformação da bacia na sua porção norte é fundamental para a compreensão da interação entre elementos da bacia Sanfranciscana e da bacia do Parnaíba.

A perfuração do poço EST 03-BA (Formosa do Rio Preto / Vila Coaceral), revestiu-se de grande importância devida a constatação direta dos sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba, como embasamento meridional dos sedimentos fanerozóicos naquela área norte. Este poço foi até a profundidade de 636,00 m com uma espessura de sedimentos fanerozóica de 550,00 m. A transição entre as bacias foi definida pelos dados de perfis geoeletrônicos e confirmados pelas análises micropaleontológicas e palinológicas da fauna identificadora da Bacia do Parnaíba.

Diante desse contexto, foram planejadas e executadas duas linhas de pontos de medida do método Áudio-Magnetotelúrico (AMT) com o intuito de investigar a estratigrafia de camadas rasas até as mais profundas, o que possibilitará o conhecimento das espessuras reais do pacote sedimentar fanerozóico, possibilitando sua modelagem. O método magnetotelúrico é um importante método geofísico de alta resolução que detecta variações de eletrorresistividade em subsuperfície a partir de variação no campo eletromagnético natural da Terra. Ao todo, foram feitas medições em 31 estações no perfil SE-NW e 18 no perfil SW-NE. Com estas aquisições de dados completos e processados será possível conhecer e interpretar em 3 D sua distribuição que associados a outros elementos, como porosidade

efetiva, área saturada e condições de contorno, será possível calcular reservas permanentes e exploráveis para que não haja depleção do aquífero.

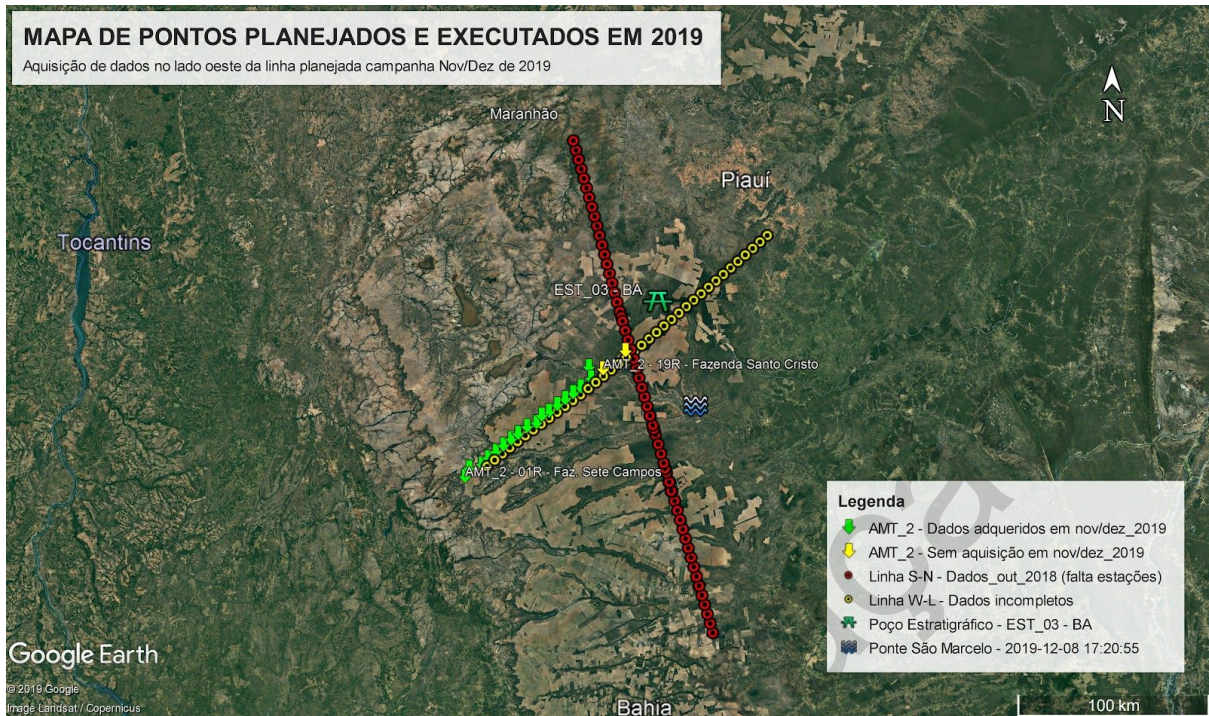


Fig. 12 Pontos de estações de medição AMT.

Esses dados ainda estão em fase de processamento na CPRM. Entretanto, um resultado preliminar da distribuição de resistividades ao longo da primeira linha pode ser visto na Fig. 13.

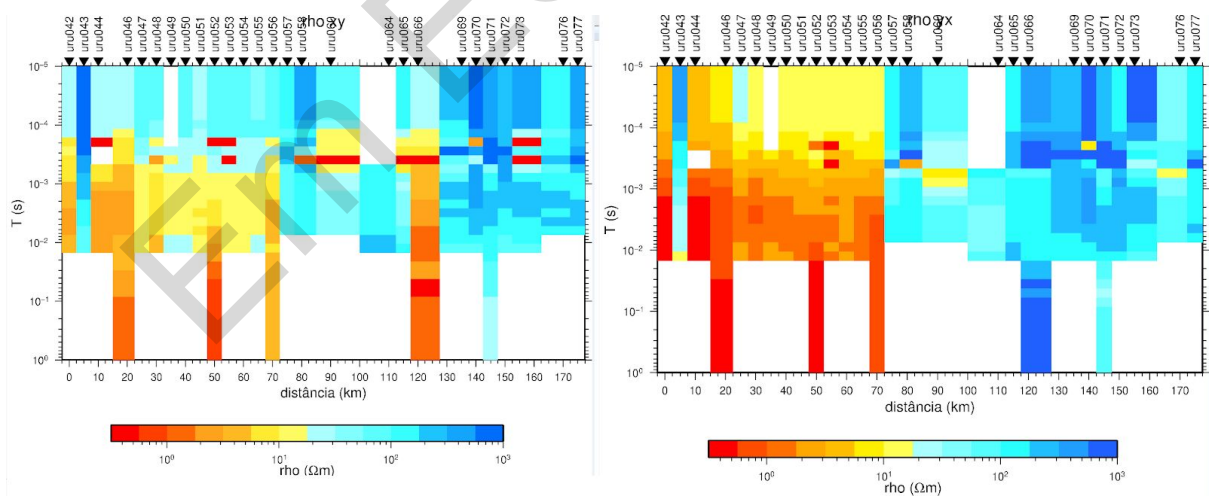


Fig. 13 Resultado preliminar de dados AMT em processamento.

Referências

ARAGÃO, M. A. N. F. Arquitetura, estilos tectônicos e evolução da Bacia do Recôncavo, Brasil. **Boletim do Terceiro Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil: Rio Claro, Brazil, Universidade Estadual Paulista**, p. 161-164, 1994.

AMORIM JUNIOR, Vicente; DE LIMA, Olivar AL. Avaliação hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas-BA usando resistividade e polarização elétrica induzida. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 2, p. 117-129, 2007.

BONFIM, Luiz Fernando Costa; GOMES, Raimundo A. Dias. AQUÍFERO URUCUIA–GEOMETRIA E ESPESSURA IDÉIAS PARA DISCUSSÃO. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2004.

CABRAL, Tiago Santos *et al.* New Processing and Seismic Interpretation for the Northern São Francisco Basin, Brazil - Part 2. In: **16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019**. Brazilian Geophysical Society, 2019.

CAMPOS, José Eloi Guimarães; DARDENNE, Marcel Auguste. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 283-294, 1997a

CAMPOS, J. E. & DARDENNE, M. A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, 27 (3): 269-282. 1997b.

CHANG, H. K.; KOWSMANN, Renato O.; FIGUEIREDO, Antônio MF. Novos conceitos sobre o desenvolvimento das bacias marginais do leste brasileiro. **Origem e evolução de bacias sedimentares. PETROBRAS, Rio de Janeiro**, p. 269-289, 1990.

CHANG, Hung Kiang; SILVA, Flavio de Paula. Contribuição ao arcabouço geológico do sistema aquífero Urucuia. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 34, n. 4, p.872-882, 2015.

Delgado, I. M., Souza, J. D., Silva, L. C., Filho, N. C. S, Santos, R. A., Pedreira, A. J., Guimarães, J. T., Luiz A. A., Vasconcelos, A. M., Gomes, I. P., Filho, J. V. L., Valente, C. R., Perrotta, M. M., Heineck, C. A. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (Eds.), **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

GASPAR, Márcia Tereza Pantoja; CAMPOS, José Eloi Guimarães. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4 suppl, p. 216-226, 2016.

HASUI, Yociteru; HARALYI, NL E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. **Geociências (São Paulo)**, v. 10, p. 57-77, 1991.

LIMA, O. A. L. Estudos geológicos e geofísicos do Aquífero Urucuia na bacia do rio do Cachorro, oeste da Bahia. 42 p. **Publicação da SRH-BA e UFBA**, 2000.

MAIA, Paulo Henrique Prates; RODRIGUES, Zoltan Romero. Revisão estratigráfica e aspectos hidrogeológicos do Grupo Urucuia na Bacia Sanfranciscana. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 3, p. 1497-1502, 2020.

PEREIRA, Cristiany *et al.* New Processing and Seismic Interpretation for the Northern São Francisco Basin, Brazil. In: **14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 3-6 August 2015**. Brazilian Geophysical Society, 2015. p. 1146-1149.

SAWASATO, E. Y. **Estruturação da porção meridional da bacia Alto-Sanfranciscana, Cretáceo do Oeste de Minas Gerais**. 1995. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.