

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

CURSO DE GEOFÍSICA

RODRIGO DE OLIVEIRA FERNANDEZ

**IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES
EXPLORATÓRIAS NA BACIA DO PARANÁ BASEADA
NO ESTUDO DOS SISTEMAS PETROLÍFEROS E NA
INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS**

Niterói,

2014

RODRIGO DE OLIVEIRA FERNANDEZ

**IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES
EXPLORATÓRIAS NA BACIA DO PARANÁ BASEADA
NO ESTUDO DOS SISTEMAS PETROLÍFEROS E NA
INTERPRETAÇÃO DE DADOS GEOFÍSICOS**

Projeto Final 2 apresentado à
Universidade Federal Fluminense como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Geofísica.

Niterói,

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

Projeto Final 2: requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica, em 17 de janeiro de 2014, examinada por:

Prof.^a Dr.^a Eliane da Costa Alves

UFF

Prof. Dr. Rogério de Araújo Santos

Petrobras / UFF

Prof. Dr. José Antonio Baptista Neto

UFF

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto

UFF

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida e por todas as pessoas boas que Ele colocou no meu caminho.

Agradeço aos meus pais pela educação e carinho que me foram dados até os dias de hoje, e por terem sido fundamentais na pessoa que me tornei. Agradeço aos meus irmãos (Francisco e Matheus) por todo o tempo que passamos juntos, tanto brincando quanto brigando, pois cada momento desses construiu a relação saudável que temos nos dias de hoje. Agradeço também pelo apoio e conselhos de todos os outros familiares, sejam padrinho, madrinha, tios (as), avôs (ós) e primos (as).

À minha namorada Cristina pelo incentivo, paciência e companheirismo nos momentos de dificuldade, e por ter sido fundamental para a realização deste trabalho. Agradeço também por tudo o que aprendi durante os seis anos do nosso relacionamento até o momento que teve grande influência no meu amadurecimento.

Agradeço aos meus amigos por cada momento que passamos juntos, pelas viagens, conversas e gargalhadas que tornam a minha vida mais feliz.

Agradeço à minha orientadora e ex-coordenadora de curso Eliane da Costa Alves por todos os esclarecimentos durante a realização deste trabalho e por todo o apoio durante o curso de graduação em Geofísica.

Agradeço aos professores Rogério de Araújo Santos, José Antonio Baptista Neto e Arthur Ayres Neto por dedicarem seu tempo para a avaliação deste projeto e aos demais professores do curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense pelos seus ensinamentos durante o curso.

Agradeço aos colegas de trabalho da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e à minha ex-supervisora de estágio Elaine Maria Lopes Loureiro por tudo o que me ensinaram durante meu estágio curricular e pela confiança que depositaram em mim.

Agradeço a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo fornecimento dos dados geofísicos da Bacia do Paraná, que foram essenciais para a realização deste trabalho.

RESUMO

A procura por hidrocarbonetos em áreas ainda pouco conhecidas está se tornando cada vez mais importante no cenário exploratório brasileiro, pois dessa maneira criam-se expectativas quanto a futuras reservas petrolíferas além das que já estão em produção.

A Bacia do Paraná ainda é pouco explorada em relação à sua grande área de ocupação, sendo então considerada como bacia de nova fronteira. Porém, através de indícios de hidrocarbonetos em poços e pelas descobertas de gás já realizadas na bacia, comprova-se a eficiência dos sistemas petrolíferos atuantes. Sendo assim, ainda há uma grande possibilidade de se encontrar novas oportunidades exploratórias na bacia, e, além disso, a Bacia do Paraná continua sendo um grande desafio para a sísmica em função das intrusões e extrusões de magma fissural da Fm. Serra Geral, o que incentiva o investimento em novas tecnologias em aquisição e processamento sísmico.

Desta maneira, este trabalho concentrou-se no estudo dos sistemas petrolíferos ativos na Bacia do Paraná, com o objetivo de identificar possíveis oportunidades exploratórias através da interpretação de dados integrados de sísmica de reflexão, poços e métodos potenciais. O foco foi procurar por estruturas semelhantes às acumulações de gás subcomerciais já descobertas nesta bacia, tal como a acumulação de Barra Bonita, onde uma soleira de diabásio arqueada sela reservatórios da Formação Campo Mourão.

Considerando a qualidade limitada dos dados de sísmica na Bacia do Paraná, pode-se dizer que o objetivo proposto neste trabalho foi satisfatoriamente alcançado, já que nos perfis compostos de poços notou-se a presença de rochas intrusivas nas geradoras da Fm. Ponta Grossa e Fm. Irati, e nos reservatórios permo-carboníferos da Fm. Rio Bonito e Gr. Itararé. Além disso, as rochas intrusivas e extrusivas também foram observadas nos dados de métodos potenciais, representadas por grandes anomalias positivas no depocentro da bacia, e em dados de sísmica, já que uma grande quantidade de estruturas formadas por soleiras de diabásio também foram identificadas.

Palavras-chave: Oportunidades exploratórias, sísmica, hidrocarbonetos, sistemas petrolíferos, Bacia do Paraná.

ABSTRACT

The search for hydrocarbons in areas still little known is becoming increasingly important in exploratory Brazilian scenario, because this way it creates expectations about future oil reserves beyond those that are already in production.

The Paraná Basin is still poorly explored in relation to its large area, then being considered as new frontier basin. The hydrocarbon shows in wells and the gas discoveries already made in the basin proves the efficiency of active petroleum systems. Thus, there is still a great opportunity to identify new exploration opportunities in the basin, and in addition, the Paraná Basin continues to be a major challenge for seismic

due to intrusions and extrusions of fissural magma of Serra Geral Fm., which encourages investment in new technologies in seismic acquisition and processing.

In this way, this work focused on the study of active petroleum systems in the Parana basin, with the objective of identifying possible exploratory opportunities through the interpretation of integrated data from seismic and well. The focus was looking for similar structures to the noncommercial gas accumulations already discovered in the basin, such as the accumulation of Barra Bonita, where an arched diabase sill seals the reservoirs of Campo Mourão Formation.

Considering the limited quality of seismic data in Parana Basin, can be said that the objective proposed in this work has been satisfactorily achieved, because in compound profiles of wells noted the presence of intrusive rocks in source rocks of Ponta Grossa Fm. and Irati Fm., and in permo-carboniferous reservoirs of Rio Bonito Fm. and Itarare Gr.. In addition, the intrusive and extrusive rocks were also observed in the potential methods data, represented by large positive anomalies in the depocenter of the basin, and in seismic data, because a large quantity of structures formed by diabase sills were also identified.

Keywords: Exploration opportunities, seismic, hydrocarbons, petroleum systems, Paraná Basin.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Localização da Bacia do Paraná (Página 4).
- Figura 2 Mapa com a localização dos dados de sísmica e poços solicitados à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para a realização do trabalho (Página 6).
- Figura 3 Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 2004) (Página 8).
- Figura 4 Arcabouço estrutural da Bacia do Paraná (Zalán et. al. 1990) (Página 9).
- Figura 5 Carta estratigráfica da Bacia do Paraná. (Fonte: Boletim de Geociências da Petrobras, 2007) (Página 12).
- Figura 6 Mapa de isópacas dos basaltos da Bacia do Paraná (Zalán et al., 1990) (Página 14).
- Figura 7 Seção geológica esquemática da Bacia do Paraná com destaque para os diques e soleiras da Fm. Serra Geral (Milani e Zalán, 1998) (Página 15).
- Figura 8 Mapa de isópacas da Fm. Ponta Grossa indicando a maturação por soterramento (Zalán et. al. 1990) (Página 16).
- Figura 9 Tentativa de delimitação da área onde a Formação Irati estaria madura por soterramento (baseado nos mapas de Zalán et al., 1990 e Milani et al. 1992) (Página 17).
- Figura 10 Modelo genérico de geração e migração de hidrocarbonetos para os plays na Bacia do Paraná (Modificado de Catto e Zanoto, 1998) (Página 20).

- Figura 11 Fluxo de trabalho a ser adotado para o cumprimento dos objetivos (Página 21).
- Figura 12 Dados de sísmica e poços públicos da Bacia do Paraná (Página 22).
- Figura 13 Dados de sísmica e cabeças de poços carregados no Petrel. (Página 24).
- Figura 14 Perfis de poços carregados no Petrel (Página 25).
- Figura 15 Correlação entre sísmica e poço mostrando o topo da Formação Ponta Grossa (Página 27).
- Figura 16 Mapa de anomalia Bouguer da Bacia do Paraná (Página 29).
- Figura 17 Mapa de anomalia magnética da Bacia do Paraná (Página 30).
- Figura 18 Localização da linha sísmica 0225-0011 (marcada em vermelho) (Página 32).
- Figura 19 Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0011 (Página 32).
- Figura 20 Interpretação da linha 0225-0011 (Página 33).
- Figura 21 Localização da linha sísmica 0225-0007 (marcada em vermelho) (Página 34).
- Figura 22 Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0007 (Página 34).
- Figura 23 Interpretação da linha 0225-0007 (Página 35).

- Figura 24 Localização da linha sísmica 0225-0150 (marcada em vermelho) (Página 36).
- Figura 25 Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0150 (Página 36).
- Figura 26 Interpretação da linha 0225-0150 (Página 37).
- Figura 27 Localização da linha sísmica 0225-0030 (marcada em vermelho) (Página 38).
- Figura 28 Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0030 (Página 38).
- Figura 29 Interpretação da linha 0225-0030 (Página 39).
- Figura 30 Localização da linha sísmica 0225-0006a (marcada em vermelho) (Página 40).
- Figura 31 Trecho de interesse da linha sísmica 0301-0006a (Página 40).
- Figura 32 Interpretação da linha 0301-0006a (Página 41).
- Figura 33 Localização da linha sísmica 0225-0003 (marcada em vermelho) (Página 42).
- Figura 34 Trecho de interesse da linha sísmica 0301-0003 (Página 42).
- Figura 35 Interpretação da linha 0301-0003 (Página 43).
- Figura 36 Localização da linha sísmica 0225-0002 (marcada em vermelho) (Página 44).

- Figura 37 Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0002 (Página 44).
- Figura 38 Interpretação da linha 0225-0002 (Página 45).
- Figura 39 Outro trecho de interesse da linha sísmica 0225-0002 (Página 45).
- Figura 40 Interpretação do outro trecho de interesse da linha 0225-0002 (Página 46).
- Figura 41 Localização da linha sísmica 0225-0007 (marcada em vermelho) (Página 47).
- Figura 42 Trecho de interesse da linha sísmica 0301-0007 (Página 47).
- Figura 43 Interpretação da linha 0301-0007 (Página 48).
- Figura 44 Mapa mostrando a localização das oportunidades exploratórias identificadas na interpretação sísmica (Página 49).

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Lista de dados solicitados à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para a realização do trabalho (Página 7).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ÁREA DE ESTUDO	4
2.1. LOCALIZAÇÃO.....	4
2.2. REVISÃO GEOLÓGICA.....	7
2.2.1. EVOLUÇÃO TECTONOESTRATIGRÁFICA	7
2.2.2. SISTEMAS PETROLÍFEROS	15
2.2.2.1 Rochas Geradoras.....	16
2.2.2.2 Rochas Reservatório.....	17
2.2.2.3 Geração/Migração.....	18
2.2.2.4 Rochas Selantes.....	19
2.2.2.5 Trapas.....	19
2.2.2.6 Plays Exploratórios.....	20
3. METODOLOGIA	21
3.1. CARREGAMENTO DOS DADOS	23
3.2. CORRELAÇÃO ENTRE SÍSMICA E POÇO	26
3.3. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	27
4. RESULTADOS.....	28
5. CONCLUSÃO	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

O grande interesse pelo potencial petrolífero em território brasileiro resultou em um enorme esforço exploratório por parte de empresas nacionais e estrangeiras. Tal esforço contribuiu significativamente com o conhecimento geológico das bacias sedimentares brasileiras e resultou na descoberta de inúmeras acumulações comerciais de petróleo em diversas regiões do país, tanto em terra quanto no mar. Porém, com a demanda cada vez maior de fontes energéticas, combustíveis e produtos derivados do petróleo, a exploração de áreas até então inexploradas ou ainda pouco exploradas tem sido um assunto importante no cenário petrolífero do Brasil. Sendo assim, o presente trabalho optou por estudar a Bacia do Paraná, que apesar de ter sido discutida por diversos autores, continua pouco conhecida em relação à sua grande área de ocupação.

A motivação pela exploração da Bacia do Paraná começou no fim do século XIX, quando foram identificadas ocorrências de arenitos asfálticos no flanco leste da bacia, incentivando trabalhos pioneiros de sondagem. Ainda no século XIX, entre 1892 e 1897, foi perfurado o primeiro poço para a exploração de petróleo no Brasil, na localidade de Bofete, no estado de São Paulo. O poço alcançou aproximadamente 500 metros de profundidade e recuperou somente água sulfúrea.

Inicialmente, as atividades exploratórias na bacia foram direcionadas para locações de poços pouco profundos (inferiores a 1.000 m) em áreas não cobertas pelos basaltos e nas proximidades das ocorrências superficiais de óleo da Fm. Pirambóia. Em 1946, o Conselho Nacional do Petróleo realizou trabalhos de mapeamento geológico e

sísmica de refração e reflexão, tanto em áreas cobertas pelos derrames relacionados ao Magmatismo Serra Geral quanto em áreas livres de tal cobertura (Zalán et. al., 1990).

A partir da década de 50, com a criação da Petrobrás, iniciou-se intensa pesquisa sistemática e organizada da bacia com perfuração de poços pioneiros e estratigráficos, além de levantamentos geofísicos de gravimetria e sísmica.

Em 1979, a exploração na bacia foi aberta a outras companhias através dos contratos de risco, o consórcio Paulipetro criado pelo estado de São Paulo e a empresa British Petroleum. Nesta fase exploratória da bacia diversos poços foram perfurados e realizaram-se levantamentos sísmicos, aeromagnéticos, magnetotelúricos e mapeamentos geológicos. Também se desenvolveram trabalhos de análise morfoestrutural através de imagens de radar e satélite, análises geoquímicas e estudos sedimentológicos e paleontológicos. Mais tarde ambas as companhias devolveram seus blocos a Petrobras e finalizaram as atividades na bacia (Zalán et. al., 1990).

Entre 1986 e 1998 a Petrobras retomou a exploração na bacia com a aquisição de 18.000 km lineares de sísmica de reflexão 2D e perfuração de 7 poços exploratórios, que resultaram nas descobertas do campo de gás de Barra Bonita e da acumulação subcomercial de gás de Mato Rico.

Após a criação da ANP em 1997, blocos foram ofertados na bacia nas Rodadas de Licitações 1, 2, 3, 10 e 12. Além disso, através do Plano Plurianual de Geologia e Geofísica da ANP foi realizado um levantamento de sísmica 2D cortando grande porção

da bacia, e também há dois projetos em andamento, um de processamento de dados sísmicos antigos e outro de aquisição de linhas sísmicas com tecnologia *vibroseis*.

Atualmente grande parte da bacia do Paraná está coberta por levantamentos geofísicos de gravimetria e magnetometria, enquanto que a cobertura com aquisições sísmicas e poços ainda é bem esparsa e concentrada na porção centro-sul da bacia, predominantemente nos estados de Santa Catarina e Paraná. As 124 perfurações resultaram numa distribuição média de aproximadamente 1 (um) poço a cada 10.000 km², e uma quantia equivalente a 28% do total apresentou resultado positivo, do qual 22 poços obtiveram indícios de gás ou óleo, 10 foram classificados como acumulações subcomerciais e 1 descobridor do campo de gás de Barra Bonita, que segundo Campos et. al. (1998) produziu mais de 200.000 m³/dia em cada um dos 2 poços perfurados na área.

Mesmo que a Bacia do Paraná ainda seja considerada como bacia de nova fronteira, os estudos realizados e os dados adquiridos até o momento são suficientes para comprovar a existência de sistemas petrolíferos ativos, o que corrobora com o objetivo do trabalho de identificar oportunidades exploratórias (*leads*) caracterizadas por estruturas trapeadoras devidamente seladas que apresentam possível rota de migração entre rocha geradora e rocha reservatório.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO

A bacia do Paraná está localizada na porção centro-leste do continente sul-americano e abrange uma área de aproximadamente 1.500.000 km² (Milani *et al.* 2007), dos quais 1.100.000 km² fazem parte do território brasileiro (Figura 1), mais especificamente nos estados de Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e o restante está distribuído pelo leste do Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai (Zalán *et al.* 1990).

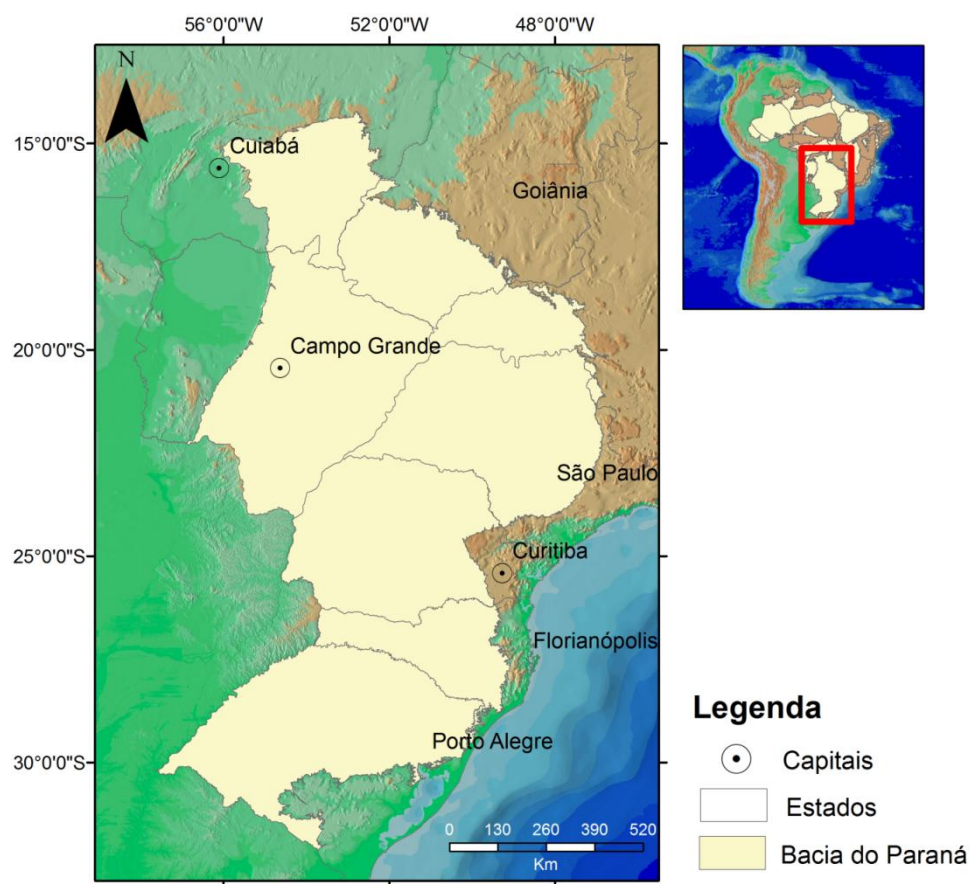


Figura 1: Localização da Bacia do Paraná.

A bacia apresenta forma ovalada com seu eixo mais extenso orientado na direção norte-sul, sendo os limites atuais definidos por processos erosivos relacionados ou não a história geotectônica meso-cenozóica do continente (Milani *et al.*, 2007). Segundo Zalán *et al.* (1990), no caso da borda nordeste não houve grande influência tectônica, onde a sedimentação simplesmente acaba entre a Zona de Falha Guapiara e o Arco de Goiânia/Alto Paranaíba, semelhante ao limite Noroeste, com os depósitos sedimentares terminando em forma de *pinch-outs* contra o Cinturão de Dobramentos Paraguai/Araguaia. Já as bordas oeste e sul sofreram influência tectônica através do arco de Assunção, que começou a soerguer no Devoniano e experimentou episódios de reativação no Paleozóico e Mesozóico expondo as rochas sedimentares à processos erosivos. A borda Norte é representada pelo arco de Goiânia/Alto Parnaíba, que se formou através da reposta flexural da crosta à sobrecarga sedimentar-magmática imposta pela bacia do Paraná, resultando na erosão dos pacotes expostos, assim como o que aconteceu na borda sudeste através do soerguimento da Serra do Mar (Zalán *et al.*, 1990).

Quanto aos dados usados neste trabalho, estes foram selecionados na região dos blocos exploratórios licitados na 12ª Rodada de Licitações da ANP e solicitados à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Os dados requeridos estão mostrados em mapa na Figura 2 e discriminados na Tabela 1:

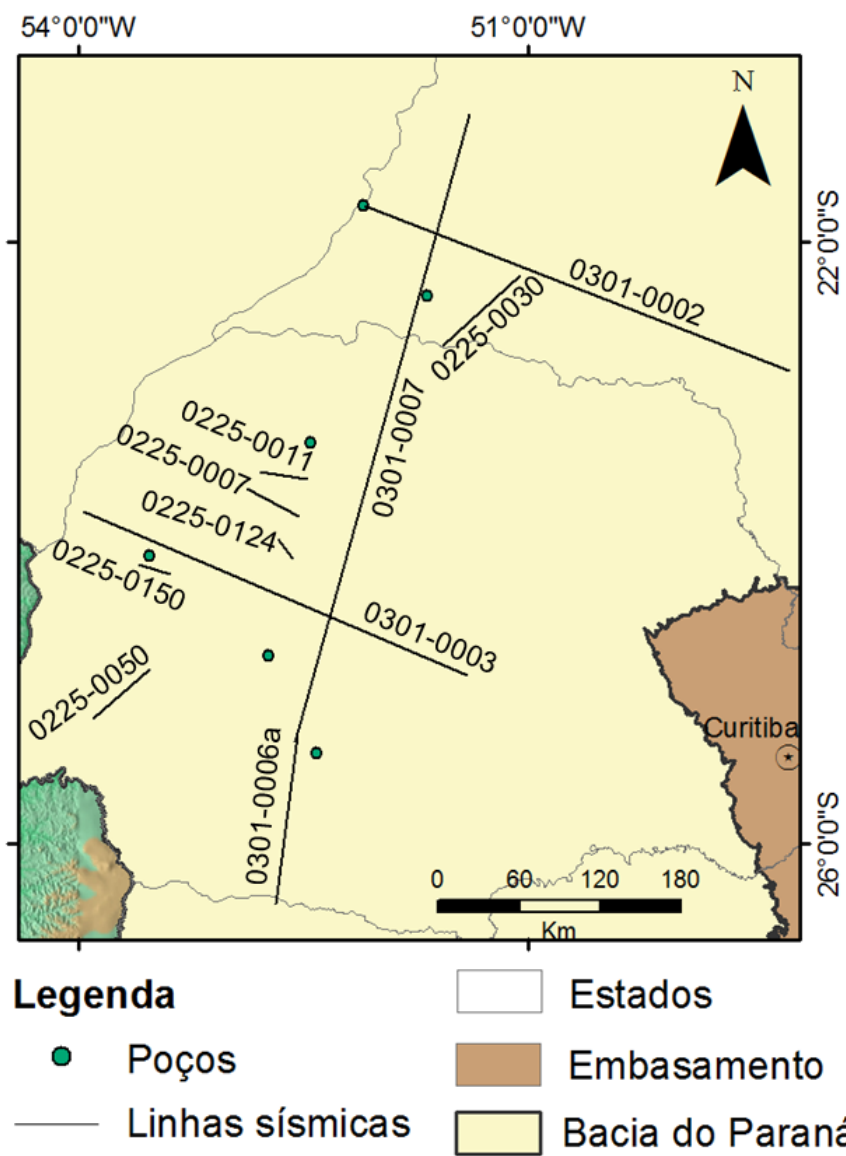


Figura 2: Mapa com a localização dos dados de sísmica e poços solicitados à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para a realização do trabalho.

Tabela 1: Dados solicitados à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis para a realização do trabalho

Sísmica	Poços	Métodos Potenciais
0225-0007	1 API 0001 PR	0001_PARANA_28058_GRAVIMETRIA.gdb
0225-0011	1 TI 0001 PR	0301_GRAV_2D_BACIA_DO_PARANA.gdb
0225-0030	2 PE 0001 SP	DESUDNEXPAR.gdb
0225-0050	2 LS 0001 PR	0001_PARANA_28058_MAG100HZ.gdb
0225-0124	2 RI 0001 PR	
0225-0150	1 RCA 0001 PR	
0301-0002		
0301-0003		
0301-0006a		
0301-0007		

2.2. REVISÃO GEOLÓGICA

2.2.1. EVOLUÇÃO TECTONOESTRATIGRÁFICA

A bacia do Paraná é classificada como Intracratônica com sua evolução tectonoestratigráfica iniciada no Paleozóico. Segundo Milani (2004) a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná estão inseridas no contexto do paleocontinente Gondwana, caracterizada por um golfo aberto ao paleooceano Panthalassa. Os esforços tectônicos atuantes na borda oeste deste supercontinente eram representados pela convergência entre a crosta continental do Gondwana e crosta oceânica do Panthalassa, o que resultou em diversos episódios orogênicos na história da bacia. Milani et. al. (2007) fala que esta sobrecarga tectônica imposta pelos orógenos causou a flexura litosférica que está estreitamente relacionada com os ciclos de geração de espaço para os sedimentos que viriam a se depositar na Bacia do Paraná (Figura 3).

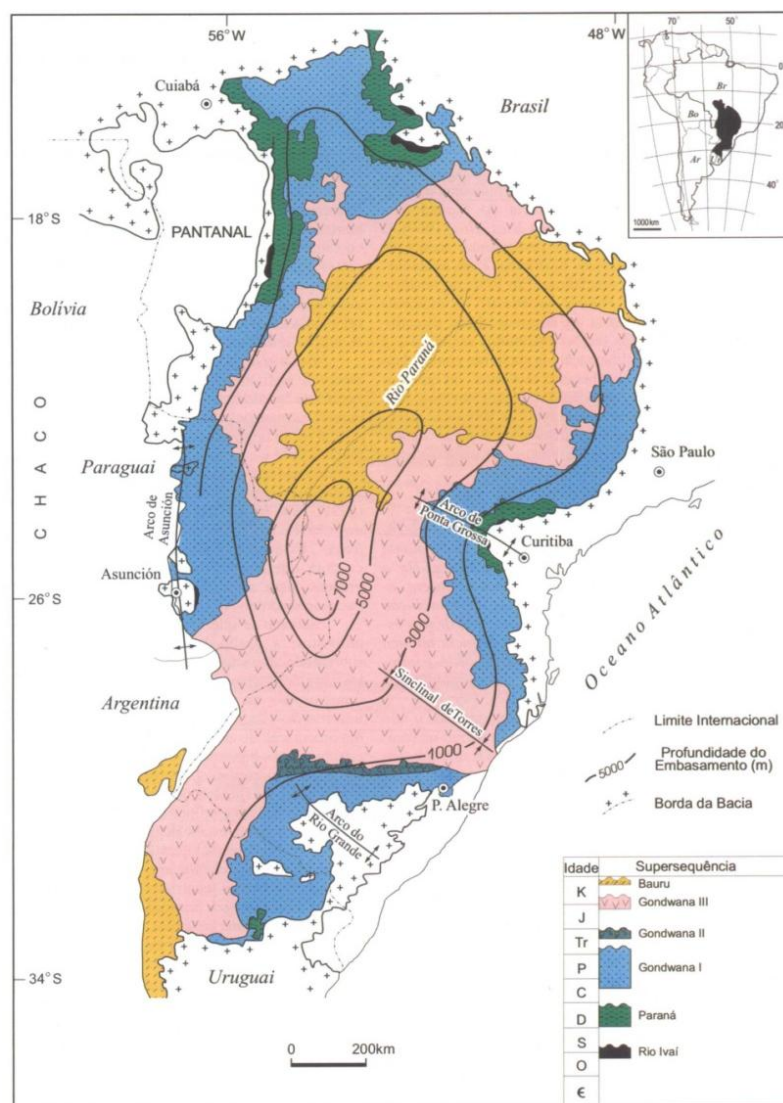


Figura 3: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 2004).

As feições estruturais mais proeminentes da bacia são os arcos regionais de Ponta Grossa e Rio Grande, e numerosos lineamentos de direção NW–SE e NE–SW, que correspondem a reativações proterozóicas (Figura 4). As fraturas alinhadas na direção NW–SE serviram como dutos preferenciais para os eventos extrusivos e intrusivos e estão preenchidos por diques de diabásio. Secundariamente ocorrem lineamentos de direção E–W.

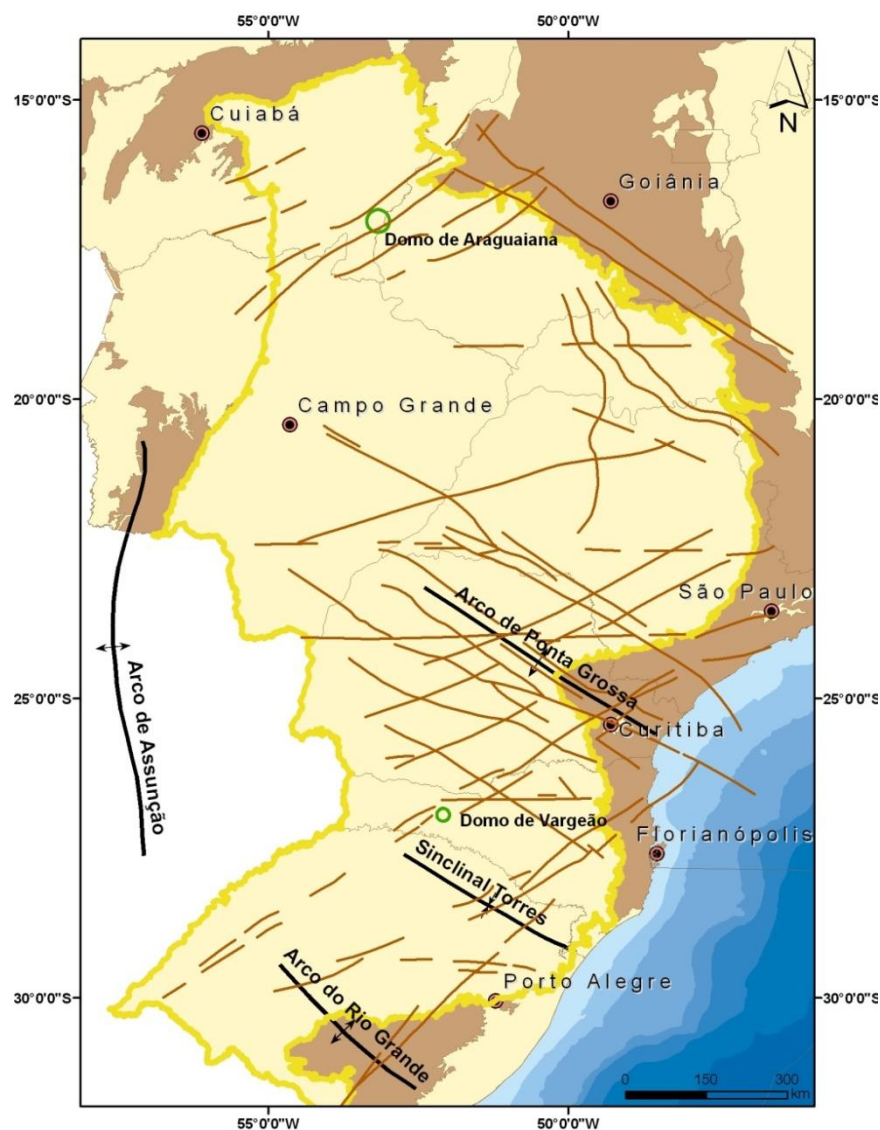


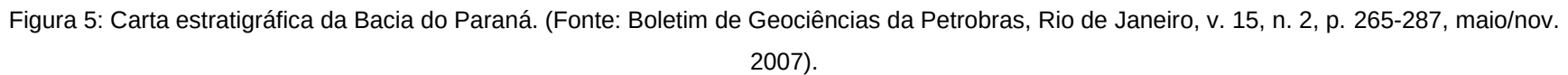
Figura 4: Arcabouço estrutural da Bacia do Paraná (Zalán et. al. 1990).

Segundo Milani (1997), o registro sedimentar-magmático da Bacia do Paraná é representado por seis Superseqüências deposicionais (Figura 5) e pode superar os 7.000 m de espessura em seu depocentro: Rio Ivaí (Ordoviciano - Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero - Eocretáceo), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico - Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

A implantação da bacia deu-se em depressões alongadas de direção NE-SW através da reativação de zonas de fraqueza do embasamento (Milani, 1997) causada pela orogenia Oclóyica do Neo-ordoviciano descrita por Ramos et. al (1986). Essa orogenia estaria relacionada com a geração de espaço para o primeiro episódio deposicional na bacia, a supersequência Rio Ivaí, que inclui os arenitos basais da Formação Alto Garças, camadas de diamictitos da Formação Iapó que registram a glaciação Ordovício-Siluriana do Gondwana, compreende também folhelhos fossilíferos e siltitos da Formação Vila Maria. Esta sequência é marcada ao topo por uma discordância neossiluriana associada à erosão por exposição subaérea desses sedimentos.

Milani et. al. (2007) diz que a bacia voltou a sofrer subsidência, resultando na deposição da Supersequência Paraná no Devoniano, que compreende sedimentos arenosos continentais a transicionais eodevonianos da Formação Furnas, passando gradualmente para sedimentos marinhos da Formação Ponta Grossa, composta por folhelhos, folhelhos sílticos, siltitos e arenitos. Os mesmos autores detalham que a espessura variável apresentada por este pacote foi resultado de escavações erosivas ocorridas entre o Neodevoniano e o Carbonífero Médio, provavelmente associadas à Orogenia Herciniana. Além disso, segundo Caputo et. al. (2008) a placa gondwânica teria se localizada em altas latitudes entre o Devoniano e Eocarbonífero, o que teria causado o desenvolvimento de geleiras sobre a Bacia do Paraná, influenciando fortemente na ausência de sedimentação mississipiana.

Daemon e França (1993) citam que no final do Westafaliano o Gondwana teria migrado para norte e a sedimentação teria sido retomada na bacia do Paraná. Este episódio deposicional que se assentou sobre a discordância neodevoniana pode alcançar 2.500 m de espessura e foi denominado por Milani (1997) de Supersequência Gondwana I, marcando um ciclo transgressivo-regressivo completo de oscilação do Panthalassa em relação ao Gondwana. Esta sequência comporta uma porção basal transgressiva correspondente ao grupo Itararé, constituído por depósitos sedimentares glacio-marinheiros, e ao Grupo Guatá, formado por rochas de ambiente deltaico, marinho e litorâneo da Formação Rio Bonito e de ambiente marinho da Formação Palermo. Acima, uma seção regressiva acomoda-se por um ciclo de subsidência correspondendo ao Grupo Passa Dois, constituído pelas Formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. Milani et. al. (2007) enfatizam a progressiva continentalização da Bacia do Paraná e fechamento às incursões marinhas vindas do oeste, afirmando que a sedimentação atinge condições de inundação máxima no Artinskiano e que entrando no Triássico os sistemas deposicionais eram de natureza continental. Assim, no Mesozóico, a bacia começou a assumir um caráter de intracratônica e foi sendo isolada no árido interior continental do Gondwana.



O episódio deposicional seguinte foi denominado por Milani (1997) de Supersequência Gondwana II, e segundo Milani et. al. (2007), a sedimentação que era restrita a porção sul parece ter se acumulado em uma bacia do tipo gráben associada a uma distensão generalizada descrita por Uliana e Biddle (1998) ocorrida no Triássico. Compõem-se pelas rochas do Grupo Rosário do Sul e se caracteriza por arenitos e pelitos avermelhados, provenientes de depósitos fluviais e lacustres (Milani, 1997). Condições erosivas relacionadas à abrasão eólica prosseguem no interior do Gondwana durante o Mesozóico e marcam mais uma discordância, pronunciando a maior lacuna no registro estratigráfico da bacia (Milani et. al., 2007)

A partir do Neojurássico a deposição de sedimentos foi controlada por extensos campos de dunas que foram sucedidas pelo maior evento intrusivo e extrusivo de rochas basálticas no mundo associadas ao início da ruptura do Gondwana no eocretáceo. Milani et. al. (2007) nomeou esse episódio de Supersequência Gondwana III e relaciona-o com a abertura do oceano Atlântico Sul. Ela está representada pela formação Botucatu, que são arenitos quartzosos de finos a médios provenientes de dunas eólicas, e pela Fm. Serra Geral (Figura 6), considerado o maior vulcanismo fissural em região continental, que resultou no empilhamento de até 2.000 m de basaltos sobre os sedimentos da Bacia do Paraná (Figura 7), além de intrudir-se por entre os mesmos, sob a forma de diques e sills (Milani e Thomaz Filho, 2000).

Segundo Milani et. al. (2007), após cessadas as atividades vulcânicas a litosfera teria sofrido ajuste isostático em função da sobrecarga imposta pelo pacote magmático, gerando uma nova depressão onde acumulou-se a última sequência deposicional na bacia, denominada por Milani e Ramos (1998) de Supersequência Bauru. Para

Fernandes e Coimbra (1996) esse episódio é considerado como outra bacia, e foi denominado de Bacia Bauru, onde a sedimentação ocorreu em condições semi-áridas, sendo mais úmidas nas margens e desérticas no interior. Segundo Milani et. al. (2007) os ambientes deposicionais dominantes eram aluviais, fluviais e eólicos.

Almeida e Melo (1981) ainda descrevem dois períodos de eventos intrusivos de natureza alcalina, sendo o primeiro entre 87 a 80 Ma e o outro entre 70 a 60 Ma. Segundo Milani et. al. (2007) esse registro é caracterizado por corpos intrusivos nas bordas da bacia, mais comuns nas bordas setentrionais.

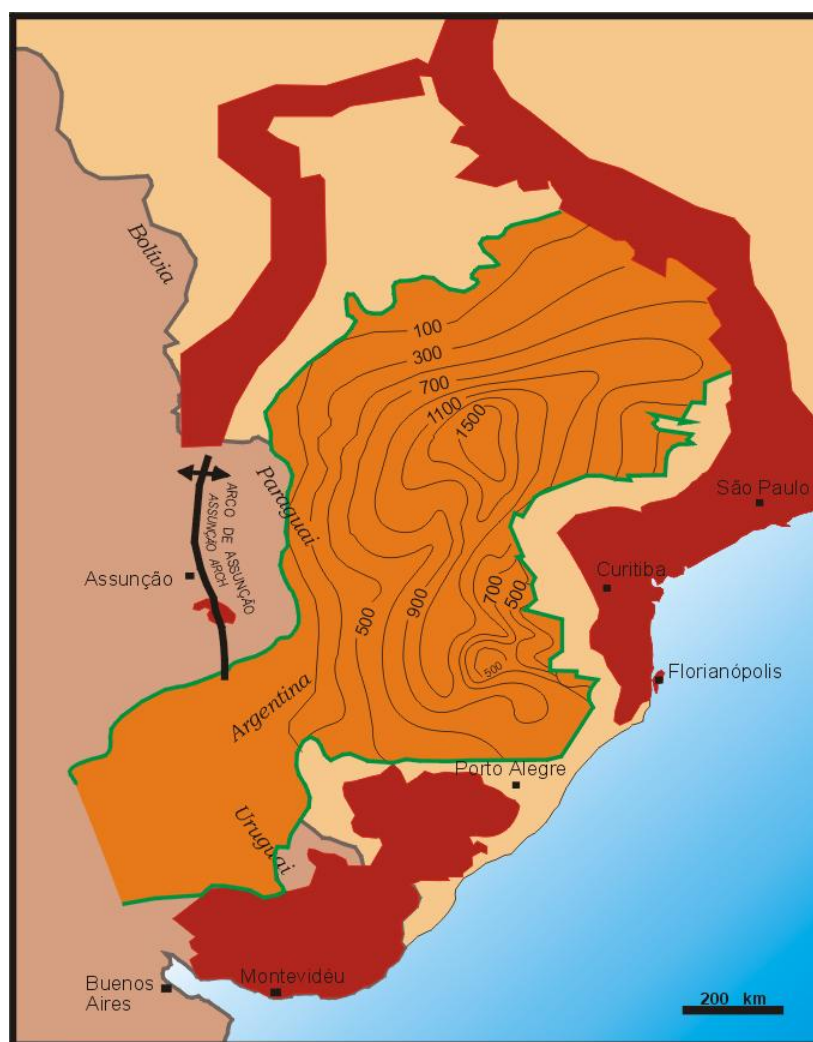


Figura 6: Mapa de isópacos dos basaltos da Bacia do Paraná (Zalán et al., 1990).

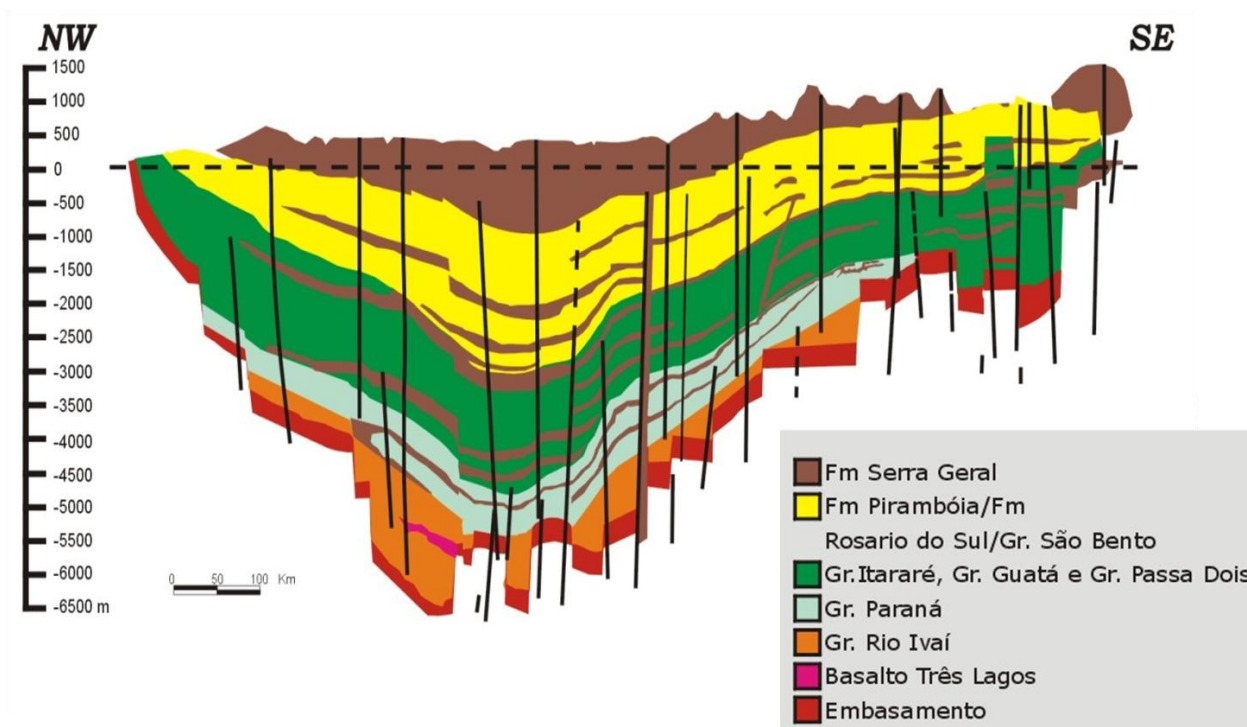


Figura 7: Seção geológica esquemática da Bacia do Paraná com destaque para os diques e soleiras da Fm. Serra Geral (Milani e Zalán, 1998).

2.2.2. SISTEMAS PETROLÍFEROS

A Bacia do Paraná apresenta dois sistemas petrolíferos conhecidos, o Ponta Grossa – Itararé (PG – It) e o Irati – Rio Bonito/Pirambóia (I – RB/P), os quais são comprovados pela descoberta comercial de gás de Barra Bonita, pelas descobertas subcomerciais de gás e óleo realizadas na bacia, pelos inúmeros indícios de hidrocarbonetos em vários poços perfurados, alguns até com recuperação de óleo e/ou gás, e até mesmo pelas exsudações de hidrocarbonetos em afloramentos na porção leste da bacia.

2.2.2.1. Rochas Geradoras

Uma das principais rochas geradoras na Bacia do Paraná são os folhelhos pretos laminados e carbonosos da Formação Ponta Grossa, que abrangem quase 2/3 da bacia e estão senis em quase toda a sua área de ocorrência (Figura 8). Apresentam COT inferiores a 1%, com picos de até 3%, sendo a matéria orgânica do tipo II com potencial para geração de gás e condensado.

Outra importante rocha geradora são os folhelhos pretos betuminosos da Formação Irati, que são imaturos na maior parte da bacia, com exceção do depocentro onde apresentam potencial para geração de óleo (Figura 9). O COT varia de 1 a 13%, com picos que superam 20%, a matéria orgânica é do tipo I.

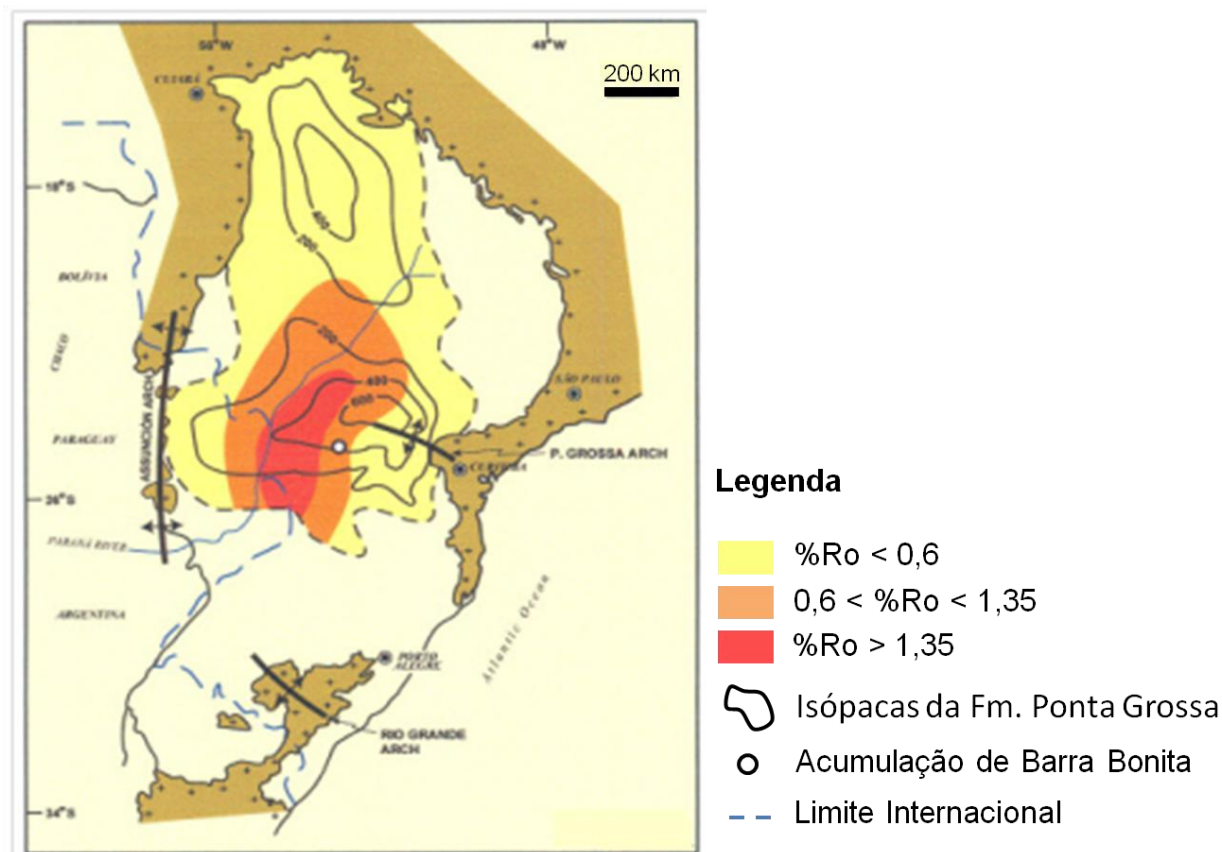


Figura 8: Isópacos da Fm. Ponta Grossa indicando a maturação por soterramento (Zalán et. al. 1990).

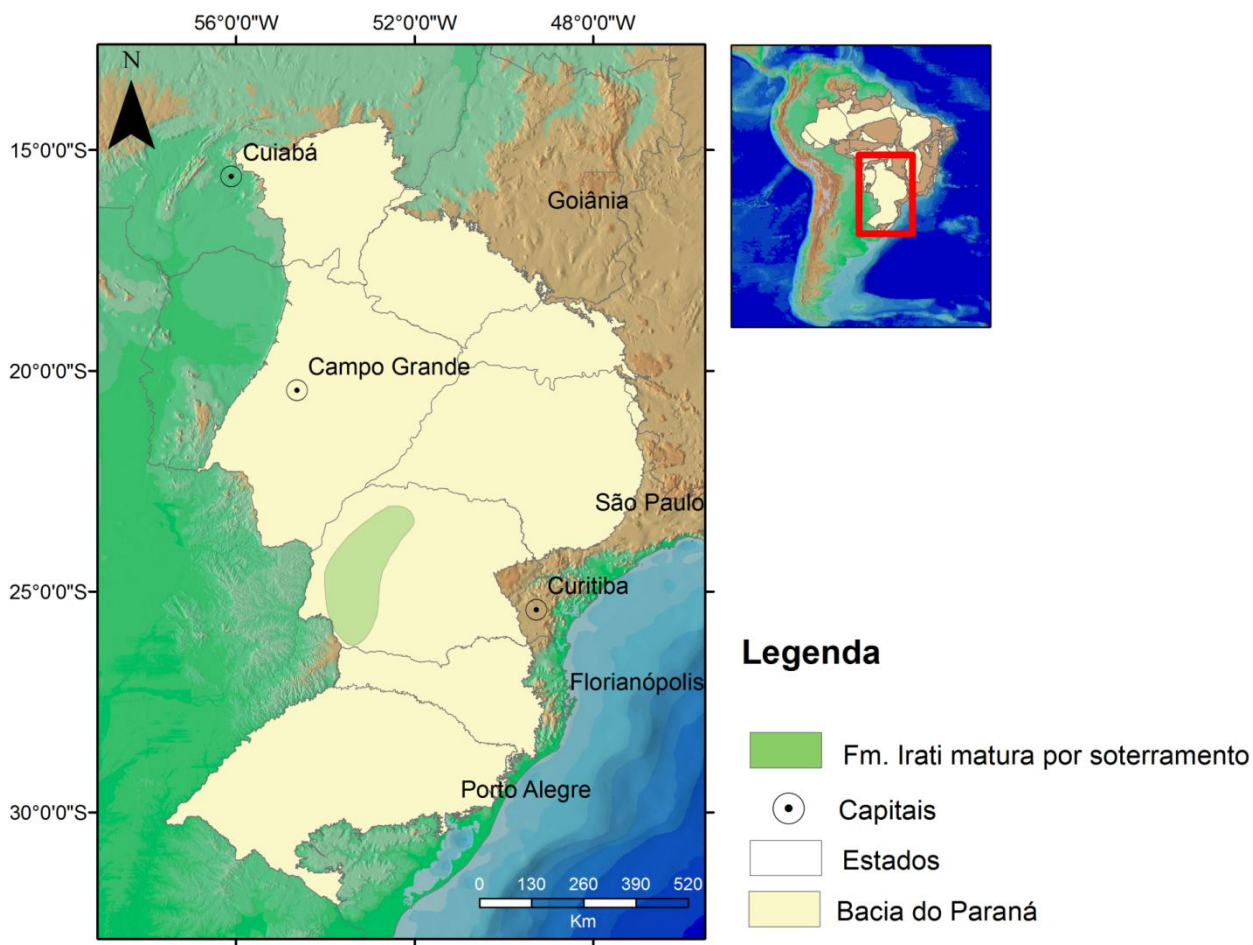


Figura 9: Tentativa de delimitação da área onde a Formação Irati estaria madura por soterramento (baseado nos mapas de Zalán et al., 1990 e Milani et al. 1992).

2.2.2.2. Rochas Reservatório

Os principais reservatórios da bacia são os arenitos do Grupo Itararé (Neocarbonífero/Permiano), particularmente os da Fm Lagoa Azul, bem como os arenitos da Fm. Rio Bonito (Permiano), que alcançam porosidades de até 20% à profundidades de 4.000 metros. Destacam-se também os arenitos da Fm. Campo Mourão, produtores do Campo de gás de Barra Bonita, que apresentam porosidade e permeabilidade melhoradas pela ocorrência de fraturas subverticais.

Reservatórios secundários compreendem os arenitos da Fm. Taciba, do Grupo Itararé, normalmente com porosidades entre 6 a 16%, mas suficientes para a produção de gás.

Na borda oriental da bacia, no estado de São Paulo, são conhecidas cerca de 20 acumulações em tar sands da Fm. Pirambóia (Triássico), com cerca de 26 milhões de barris de óleo in place, biodegradado, gerado na Fm. Irati (Thomaz Filho, 1982). Arenitos da Fm. Alto Garças e Fm. Furnas são reservatórios potenciais, se situados em situações favoráveis na rota de migração dos hidrocarbonetos.

2.2.2.3. Geração/Migração

Modelagens geoquímicas indicam que os folhelhos da Fm. Ponta Grossa alcançaram a janela de óleo no Eojurássico, com intervalo de maior geração entre o Eocretáceo e o Recente, e entraram na janela de gás entre o Eoterciário e o Recente. A maturação das duas geradoras, Fm. Ponta Grossa e Fm. Irati foi influenciada pelo calor advindo das soleiras e diques de diabásio que as intrudiram. Boa parte da geração de hidrocarbonetos da Fm. Irati foi alcançada pelo contato direto dos folhelhos imaturos com as rochas ígneas intrusivas, porém foram maturados por soterramento em determinada região próxima ao depocentro da bacia proposta por Zalan et. al. (1990). É comum, também, a completa senilização dos folhelhos da Fm. Irati por efeito térmico de intrusivas. A ocorrência freqüente de exsudações e de algumas descobertas subcomerciais sugere boa eficiência do sistema petrolífero na bacia.

A migração dos hidrocarbonetos pode ter se dado ao longo dos planos de falhas ou diques de diabásio, ou por movimentos de fluidos em camadas permeáveis, planos de acamamento e superfícies de discordância. No Campo de Barra Bonita a migração

se deu por contato direto através de erosão por canais glaciais, preenchidos por reservatórios carboníferos, que atingiram os geradores devonianos subjacentes. Os *tar sands* da Fm. Pirambóia, que ocorrem no estado de São Paulo, devem ter sido alimentados por hidrocarbonetos migrados ao longo das paredes de diques de diabásio, cujo calor foi também responsável pela maturação do folhelho Irati.

2.2.2.4. Rochas Selantes

Unidades transgressivas recobrimdo unidades regressivas constituem bons selos da bacia. Assim sendo, folhelhos das formações Vila Maria, Ponta Grossa e Palermo podem capear arenitos das Formações Alto Garças, Furnas e Rio Bonito, respectivamente. Os folhelhos pretos associados a calcários e evaporitos (anidritas) da Fm. Irati podem selar arenitos da Fm. Dourados. Folhelhos intraformacionais também constituem selantes, especialmente para reservatórios do Grupo Itararé. Selos não convencionais podem ser formados por vulcânicas da Fm. Serra Geral em alguns segmentos da Bacia do Paraná. No Campo de Barra Bonita, por exemplo, o selo é proporcionado por uma soleira arqueada de diabásio.

2.2.2.5. Trapas

Estruturas arqueadas, associadas ou não a falhamentos, são trapas importantes na Bacia do Paraná. Investiga-se, também, trapeamentos estratigráficos ou combinados, associados à paleocanais, comuns na seqüência devoniana. O campo de Barra Bonita tem controle estrutural, caracterizado por um anticlinal aberto, porém com um importante componente estratigráfico, representado por canais erosivos cortando profundamente a seção devoniana, permitindo assim a migração direta do gás para os reservatórios glaciogênicos.

2.2.2.6. Plays Exploratórios

Neste contexto os objetivos principais são os arenitos Permo-Carboníferos do Grupo Itararé (Fm. Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba), enquanto que os secundários correspondem aos arenitos deltaicos Permianos da Fm. Rio Bonito, capeados pelos pelitos das seqüências transgressivas do Grupo Passa Dois de idade Neopermiana ou por soleiras de diabásio (Figura 10). A geração nesta área se dá nos folhelhos Devonianos da Fm. Ponta Grossa, em condição de maturação por subsidência. Não se descartam os leads com geração a partir do efeito térmico de intrusivas sobre os folhelhos carbonosos da Fm. Irati (até 20% de COT) em trapas estratigráficas ou mistas.

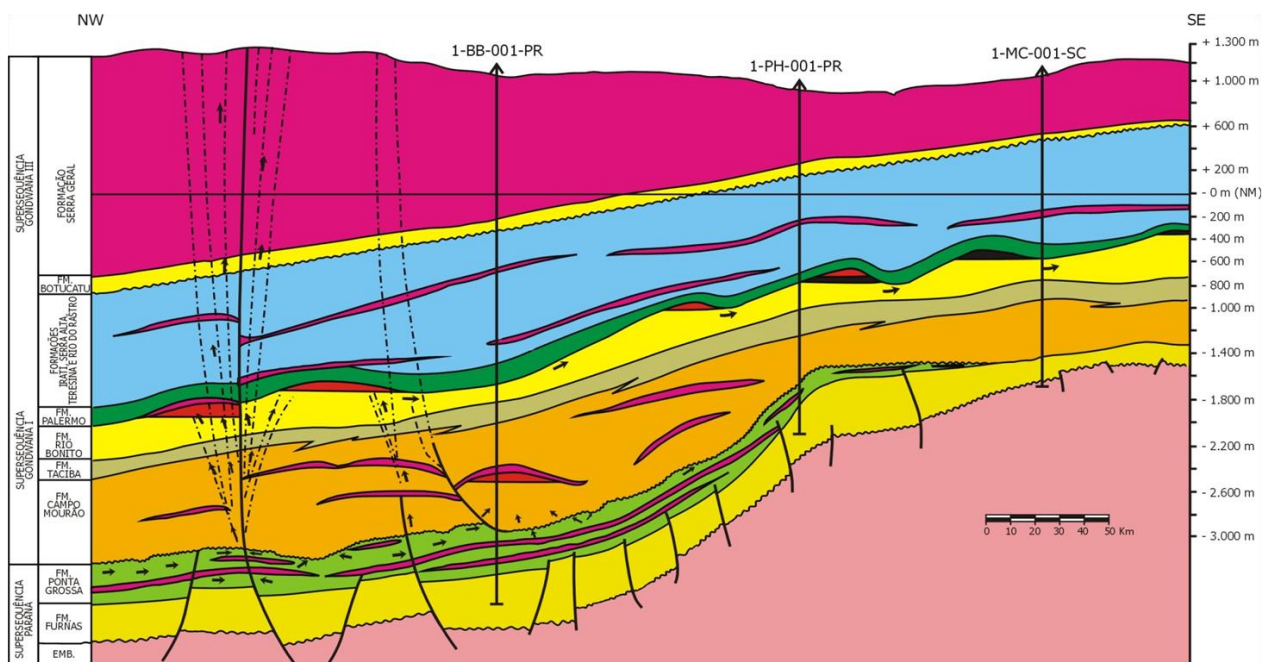


Figura 10: Modelo genérico de geração e migração de hidrocarbonetos para os plays na Bacia do Paraná (Modificado de Catto e Zanoto, 1998).

3. METODOLOGIA

Para o cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho, foi necessário seguir um fluxo (Figura 11) desde o carregamento dos dados em softwares de interpretação sísmica até a confecção de mapas de localização das oportunidades exploratórias encontradas.

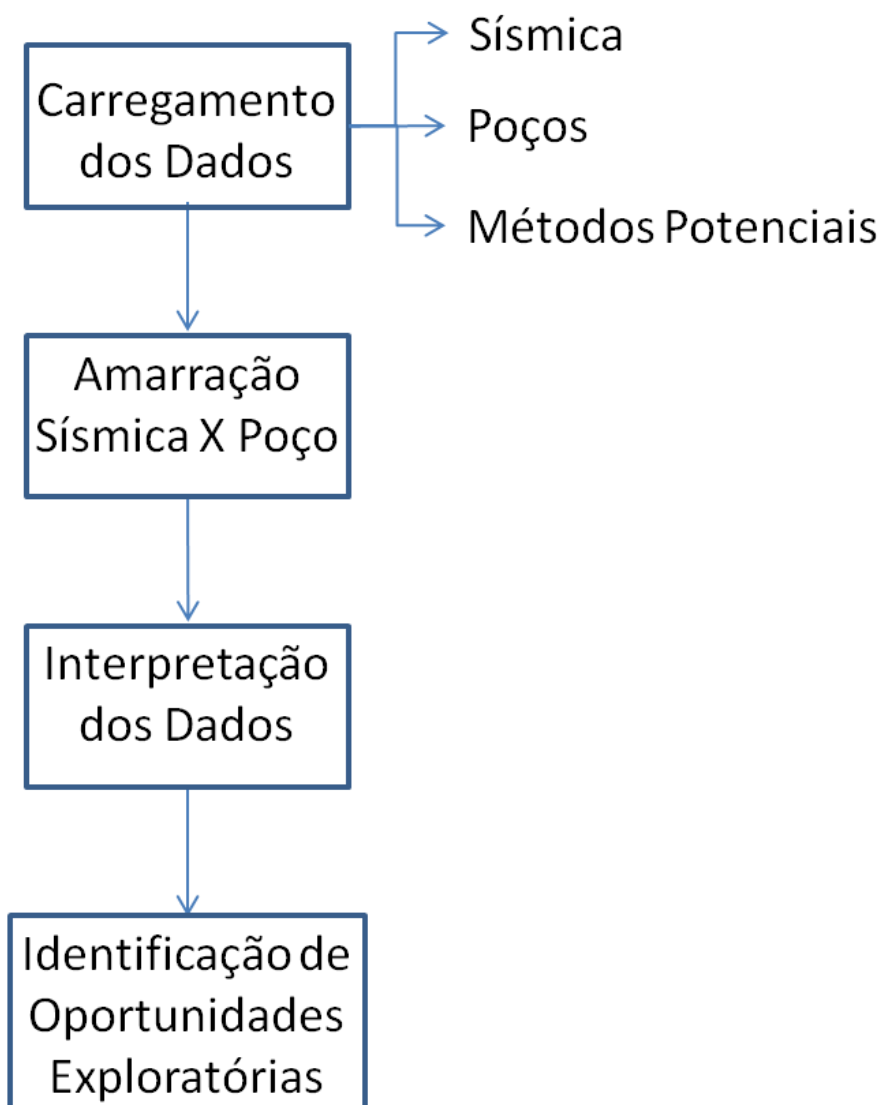


Figura 11: Fluxo de trabalho adotado para o cumprimento dos objetivos.

Para a realização deste fluxo foi necessário cumprir determinados requisitos, tais como, a compreensão dos sistemas petrolíferos ativos na Bacia do Paraná e a solicitação à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, de dados públicos (Figura 12) de sísmica, poços e métodos potenciais que foram utilizados para interpretação e mapeamento das oportunidades exploratórias, além de auxiliarem no entendimento da Bacia do Paraná.

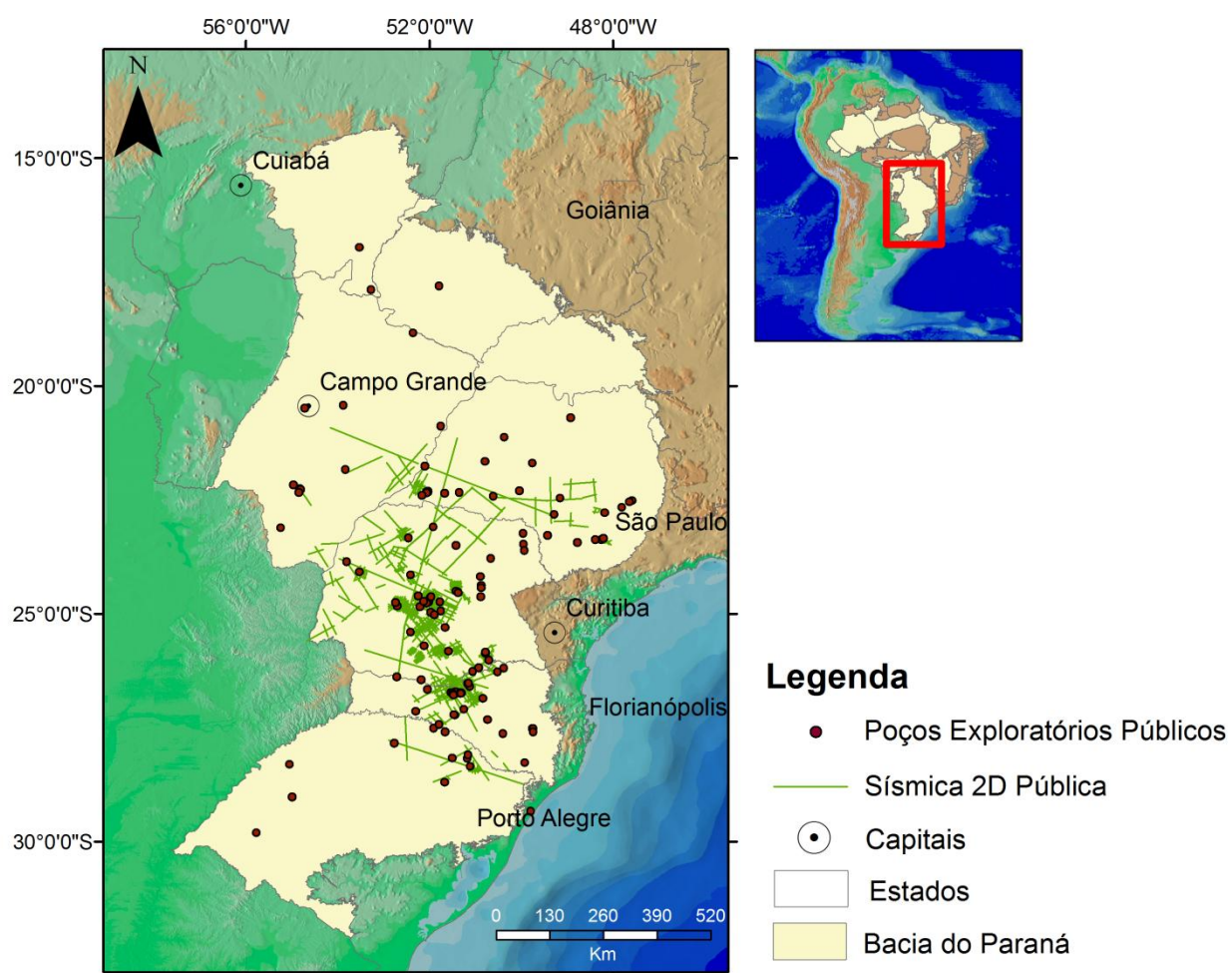


Figura 12: Dados de sísmica e poços públicos da Bacia do Paraná.

3.1. CARREGAMENTO DOS DADOS

Os dados de métodos potenciais foram carregados no software Oasis Montaj através de uma interpolação de dados de uma tabela (database) contendo informações de coordenadas e valores de anomalias. O algoritmo utilizado na interpolação foi o de mínima curvatura. Também foram carregados arquivos “.grd”, que representam uma superfície (*grid*) de anomalia já interpolada. Os dados provenientes das tabelas e os arquivos “.grd” foram unidos através de uma ferramenta do software.

Os dados de sísmica e poços (Figura 13) foram carregados no Petrel através dos fluxos exigidos no manual do próprio software. Os dados de sísmica estão no formato “SEG-Y”, o qual apresenta três cabeçalhos, um EBCDIC, um binário e um relativo aos traços sísmicos. As informações necessárias para o carregamento dos dados foram identificadas nestes cabeçalhos e informadas ao software, tais como informações de coordenadas, número do ponto de tiro e número do CDP (*Common Depth Point*). Os dados sísmicos foram separados por levantamentos para que houvesse uma organização no carregamento e para que fosse mais efetivo, já que levantamentos distintos podem conter parâmetros de aquisição diferentes, tais como distância entre estações (offset), intervalo de amostragem, além de outros parâmetros relacionados ao posicionamento, tais como sistema de coordenadas e datum de referência, dentre outras informações de naturezas distintas que podem influenciar e distorcer os dados a serem carregados.

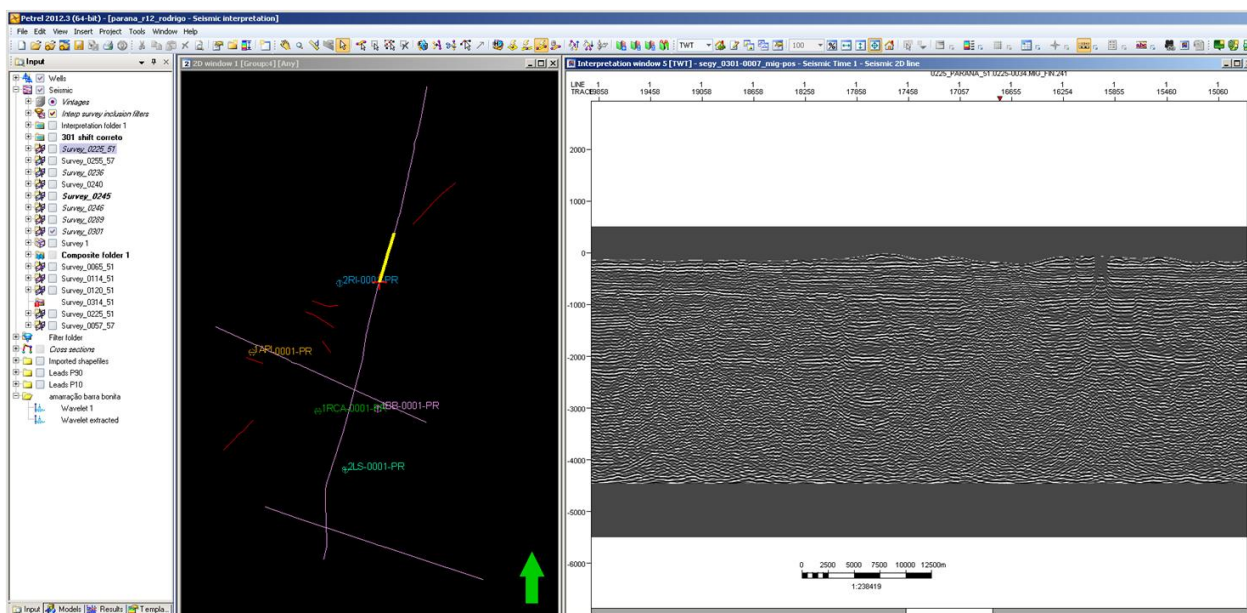


Figura 13: Dados de sísmica e cabeças de poços carregados no Petrel.

Os poços foram carregados inicialmente pela cabeça do poço, onde estão informações de coordenadas, profundidade e mesa rotativa de cada poço. Em seguida foram carregados os perfis de poços (Figura 14) que foram utilizados na amarração com a sísmica, tais como sônico, densidade, porosidade, raios gama e outros que despertaram interesse ao longo do trabalho. Além disso, é muito comum que um perfil esteja fracionado em diversos arquivos, sendo cada um deles uma fração do perfil, e para visualizá-los em uma curva contínua foi realizado um procedimento chamado de *Splice*, que nada mais é do que juntar estas porções das curvas em uma só curva.

Além dos dados geofísicos, foram utilizados arquivos “shapefiles” no software ArcGis para a confecção de mapas de localização e representação das oportunidades exploratórias.

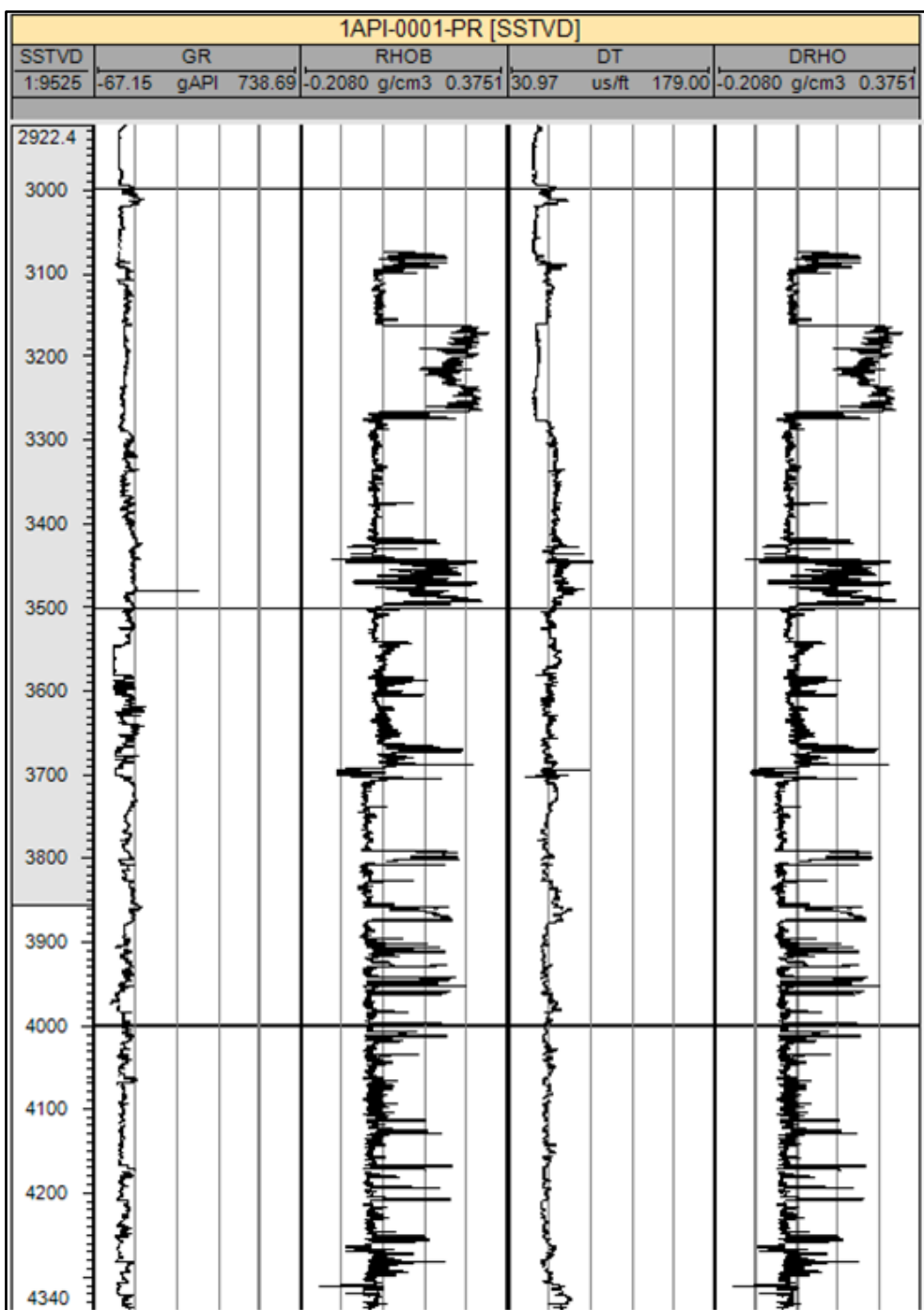


Figura 14: Perfis de poços carregados no Petrel.

3.2. CORRELAÇÃO ENTRE SÍSMICA E POÇO

É evidente que as informações provenientes dos poços representam alguns centímetros entre as dezenas e até centenas de quilômetros das linhas sísmicas, porém estas informações podem ser extrapoladas para regiões ao redor dos poços, sendo de grande auxílio para a interpretação sísmica. Sendo assim, as informações de perfis compostos foram fundamentais na interpretação realizada neste trabalho, já que a maioria dos poços apresentou dois expressivos níveis de soleiras (com espessuras de até 300m) intrudidas nas geradoras da bacia. A importância desta informação se deu pelo fato de as principais rochas reservatórios estarem localizadas entre estes dois níveis de soleira que puderam ser facilmente visualizados na sísmica. Isto possibilitou uma focalização da interpretação nesta região da linha sísmica.

Além disso, os dados de poços foram amarrados com a sísmica seguindo um fluxo de trabalho contido no manual do software (Petrel). Inicialmente foram carregados dados de *checkshot* que foram integrados aos dados do perfil sônico. O resultando é um sônico calibrado que foi usado para posicionar os coeficientes de reflexão. Estes coeficientes foram calculados através dos perfis de sônico e de densidade para a geração de um sismograma sintético. Além disso, foi necessária a utilização de uma *wavelet*, que neste caso foi extraída da sísmica, e também informar a linha da qual esta *wavelet* foi extraída. Através do painel de visualização do software (Figura 15) foi possível correlacionar os refletores da sísmica com os do sintético, e em regiões onde o sismograma sintético não havia precisão, foram utilizados os tempos simples do *checkshot* para fazer a correlação com os tempos duplos da sísmica.

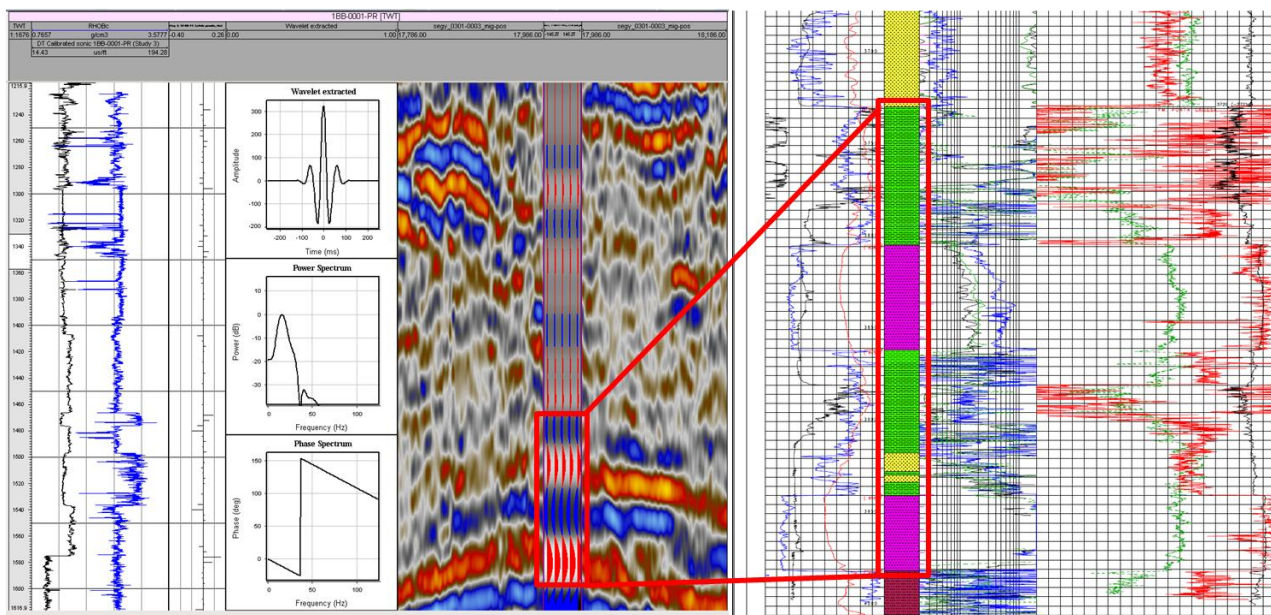


Figura 15: Correlação entre sísmica e poço, mostrando o topo da Formação Ponta Grossa.

3.3. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O foco principal na interpretação sísmica foi identificar os níveis de intrusões de soleiras nas geradoras que foram amostrados em poços, pois através desses horizontes foi possível identificar a profundidade aproximada das rochas reservatórios (Permo-Carboníferas), já que estão localizadas entre a Fm. Ponta Grossa (Devoniano) e a Fm. Irati (Permiano).

Depois de delimitada a profundidade de ocorrência das principais rochas reservatórios, identificaram-se estruturas trapeadoras que pudessem ter acumulado os hidrocarbonetos, tanto estruturas em forma de “chapéu de coco” formada pelo arqueamento das soleiras de diabásio, quanto anticlinais associados à falhamentos, além de possíveis condutos de migração, representados por falhas ou diques que conectem as rochas geradoras às rochas reservatórios.

Apesar da baixa qualidade da sísmica na região, os resultados provenientes da integração dos dados de sísmica e poços também auxiliaram na interpretação de outros horizontes, tais como a base da Fm. Serra Geral, o topo da Fm. Irati, o topo da Fm. Ponta Grossa, o topo da Fm. Furnas e o topo do embasamento.

Utilizaram-se também dados de gravimetria e magnetometria para identificar anomalias de caráter regional associadas às rochas ígneas em formas de soleiras, diques e até derrames superficiais, que podem ter ajudado não só na maturação da matéria orgânica, mas também na migração e trapeamento dos hidrocarbonetos.

4. RESULTADOS

No mapa de anomalia Bouguer (Figura 16) foi possível identificar um alto gravimétrico na região onde os derrames do magmatismo Serra Geral são mais significativos, já que coincide com a região mostrada nos mapas de isópacas dos basaltos propostos por Zalán et al., 1990. Outra possível causa desta anomalia positiva no depocentro da bacia, seria a presença de rochas intrusivas em forma de soleiras, que inclusive podem ter atuado como trapas estruturais e rochas selantes para os hidrocarbonetos gerados nesta porção da bacia. Sendo assim, considera-se que nessa região, as rochas geradoras da Fm. Irati e da Fm. Ponta Grossa tenham alcançado a janela de geração de óleo e gás, respectivamente, através do efeito térmico dessas rochas intrusivas. Desta maneira, nota-se que a interpretação da gravimetria corrobora com a acumulação de hidrocarbonetos na região em estudo.

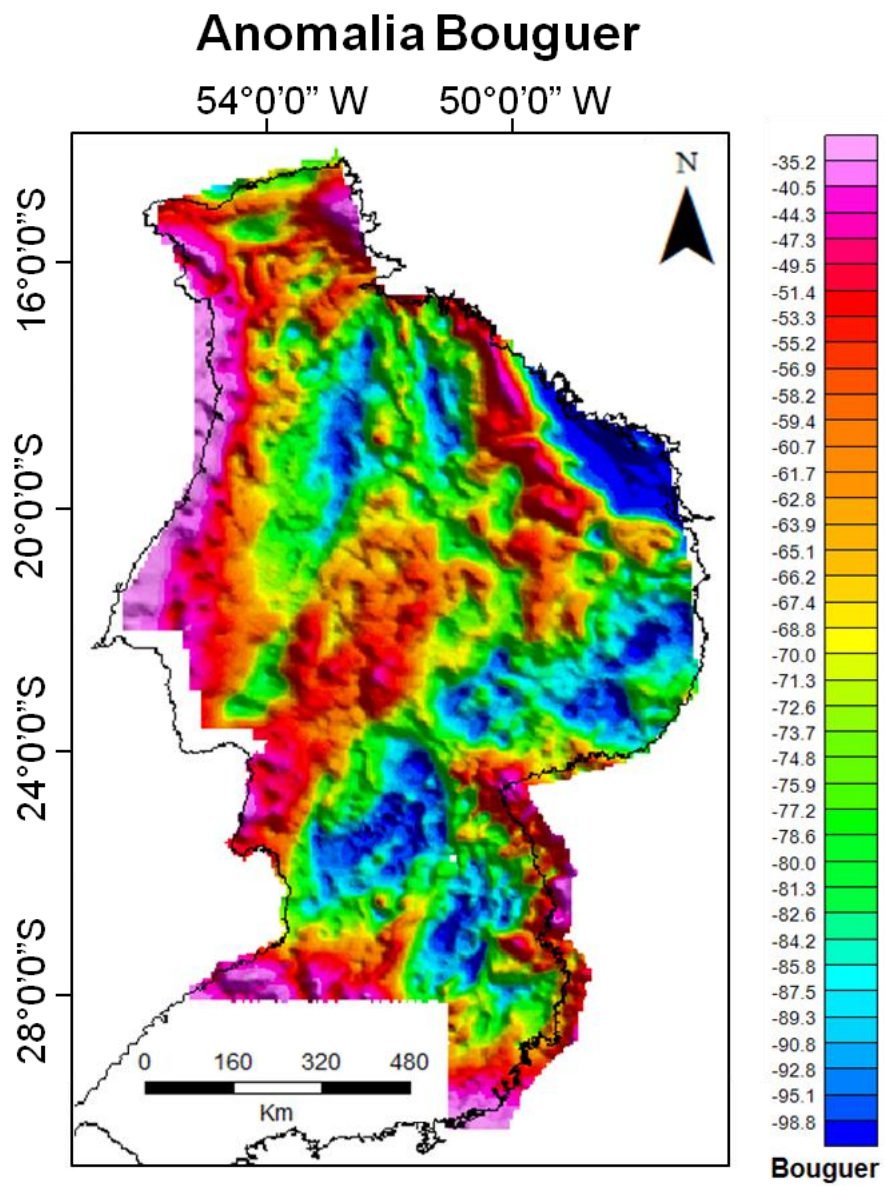


Figura 16: Mapa de Anomalia Bouguer da Bacia do Paraná mostrando um alto gravimétrico no depocentro da bacia associado à grande quantidade de rochas intrusivas e extrusivas nesta região.

Já no mapa de anomalia magnética (Figura 17), destacam-se os lineamentos na direção NO-SE que representam a direção preferencial para a intrusão de diques, o que possibilita a migração de hidrocarbonetos por meio da superfície de contato dos diques com as rochas sedimentares ao seu redor. Desta maneira, a acumulação de hidrocarbonetos na região em estudo torna-se ainda mais provável.

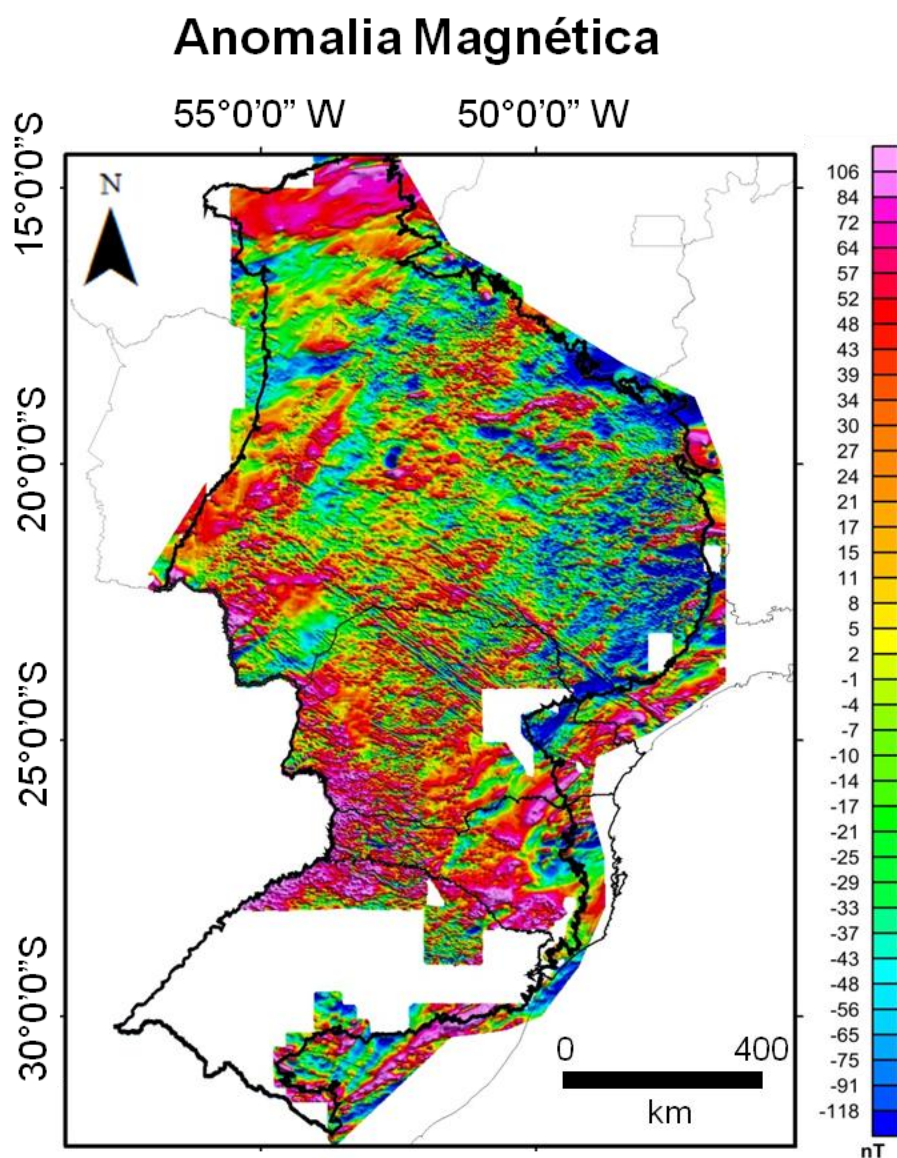


Figura 17: Mapa de Anomalia Magnética da Bacia do Paraná com destaque para os lineamentos na direção Noroeste-Sudeste que representam a direção preferencial das intrusões de diques.

Apesar de todas as dificuldades encontradas durante a realização da interpretação sísmica, diversas oportunidades exploratórias foram identificadas na região de estudo. Em geral, estas oportunidades estão representadas por estruturas formadas por soleiras de diabásio arqueadas e por anticlinais associados à falhamentos. Abaixo serão mostrados os trechos de interesse de cada linha sísmica solicitada e a respectiva interpretação destacando as oportunidades identificadas:

Na linha sísmica 0225-0011 (Figuras 18, 19 e 20) foi possível visualizar estruturas em anticlinais dentro das rochas reservatórios permo-carboníferas do Gr. Itararé e da Fm. Rio Bonito. Além disso, estes anticlinais estão associados à falhamentos que conectaram as rochas geradoras da Fm. Ponta Grossa a estes reservatórios, possibilitando a migração dos hidrocarbonetos na direção das trapas. Possíveis selos para estas estruturas seriam as rochas intrusivas em forma de soleiras, marcadas por fortes reflexões visualizadas na sísmica, e também os folhelhos da Fm. Palermo e da Fm. Irati. Outra oportunidade exploratória é representada por um anticlinal dentro da Fm. Ponta Grossa, possivelmente selado pelos próprios folhelhos ou pelas intrusivas, possibilitando a acumulação de hidrocarbonetos nos arenitos do Mb. Tibagi.

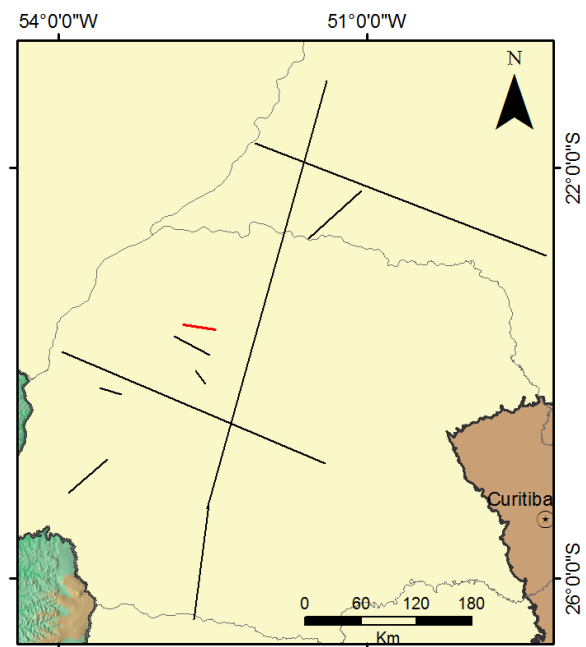


Figura 18: Localização da linha sísmica 0225-0011 (marcada em vermelho).

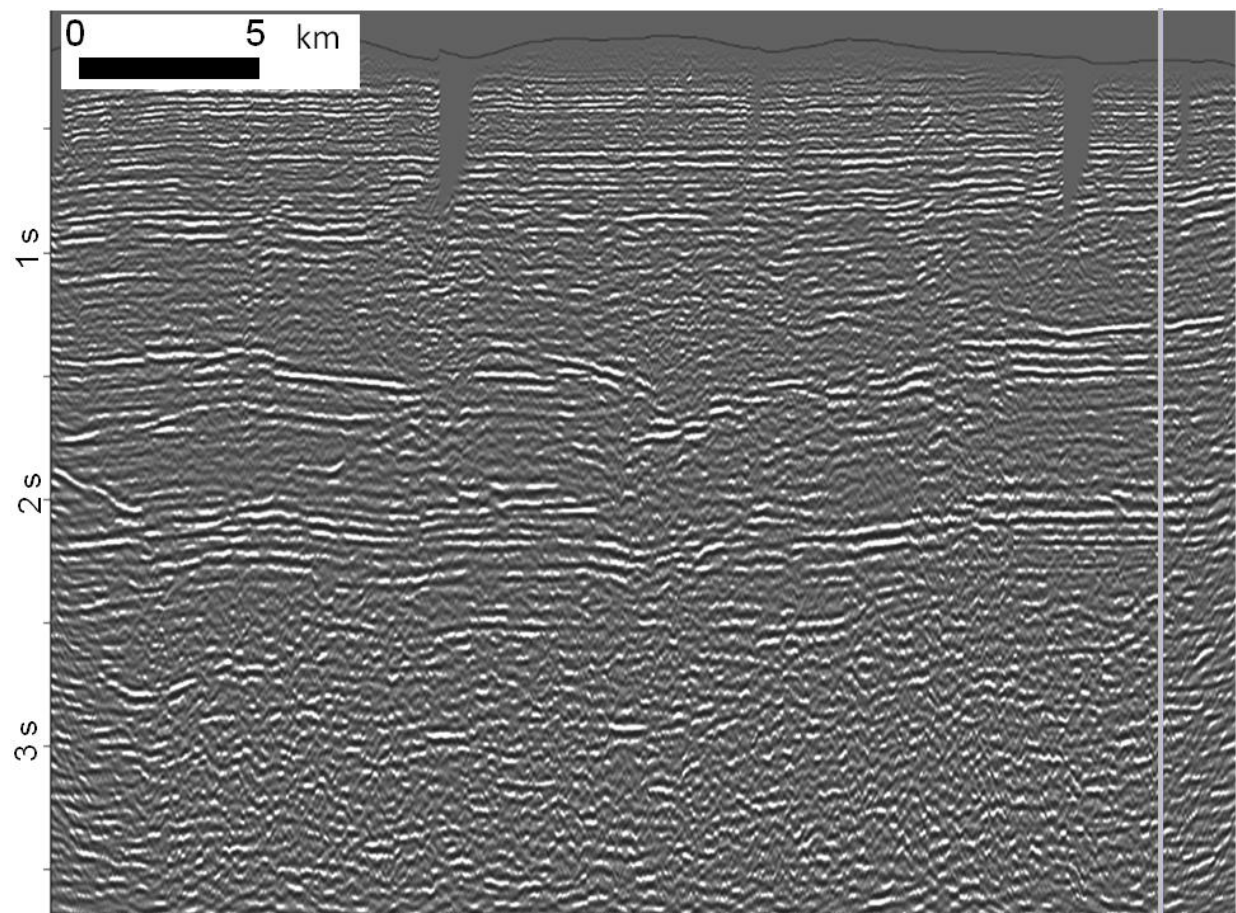


Figura 19: Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0011

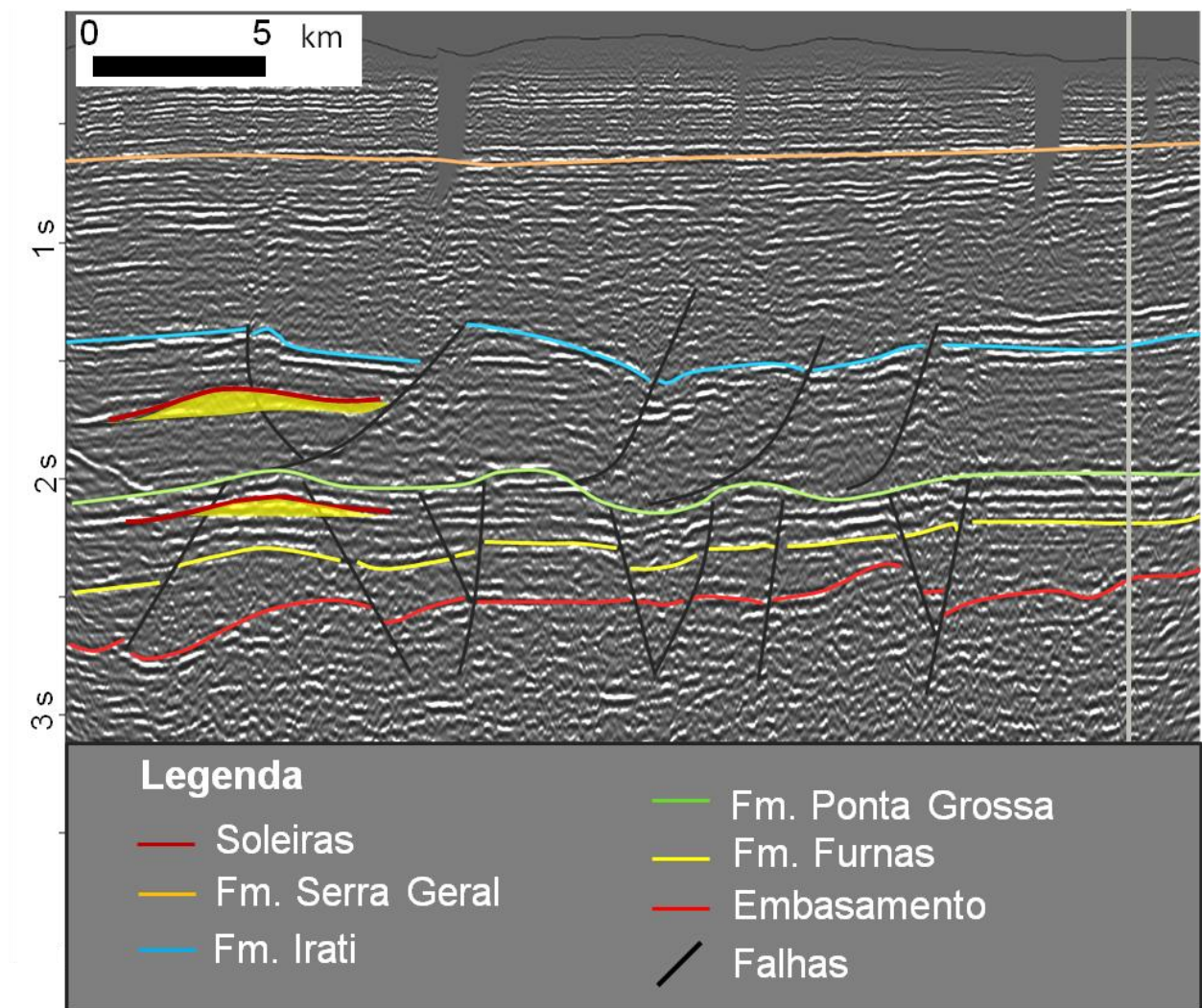


Figura 20: Interpretação da linha 0225-0011 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

Na linha 0225-0007 (Figuras 21, 22 e 23) notou-se a presença de grandes trapas estruturais formadas pelo arqueamento de soleiras de diabásio, possibilitando que os reservatórios permo-carboníferos fossem selados pelas próprias soleiras. Além disso, interpretou-se a presença de falhas que podem ter auxiliado na migração entre as rochas geradoras do Devoniano e os reservatórios citados.

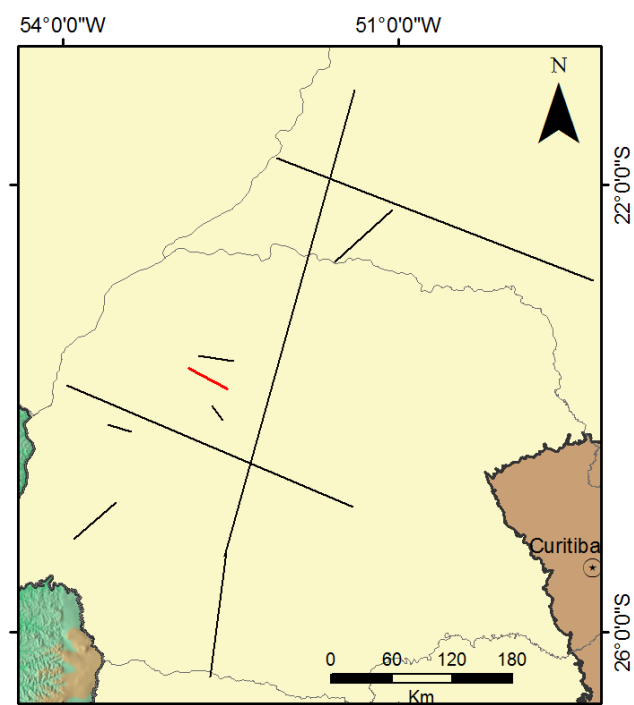


Figura 21: Localização da linha sísmica 0225-0007 (marcada em vermelho).

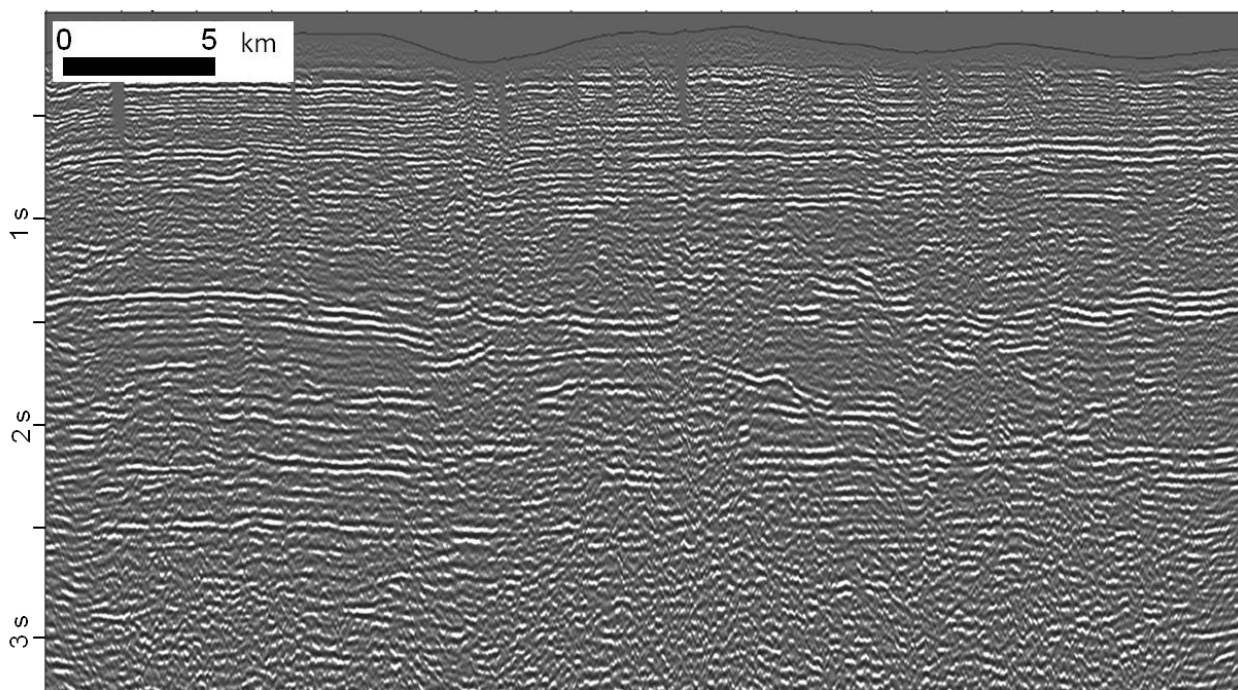


Figura 22: Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0007.

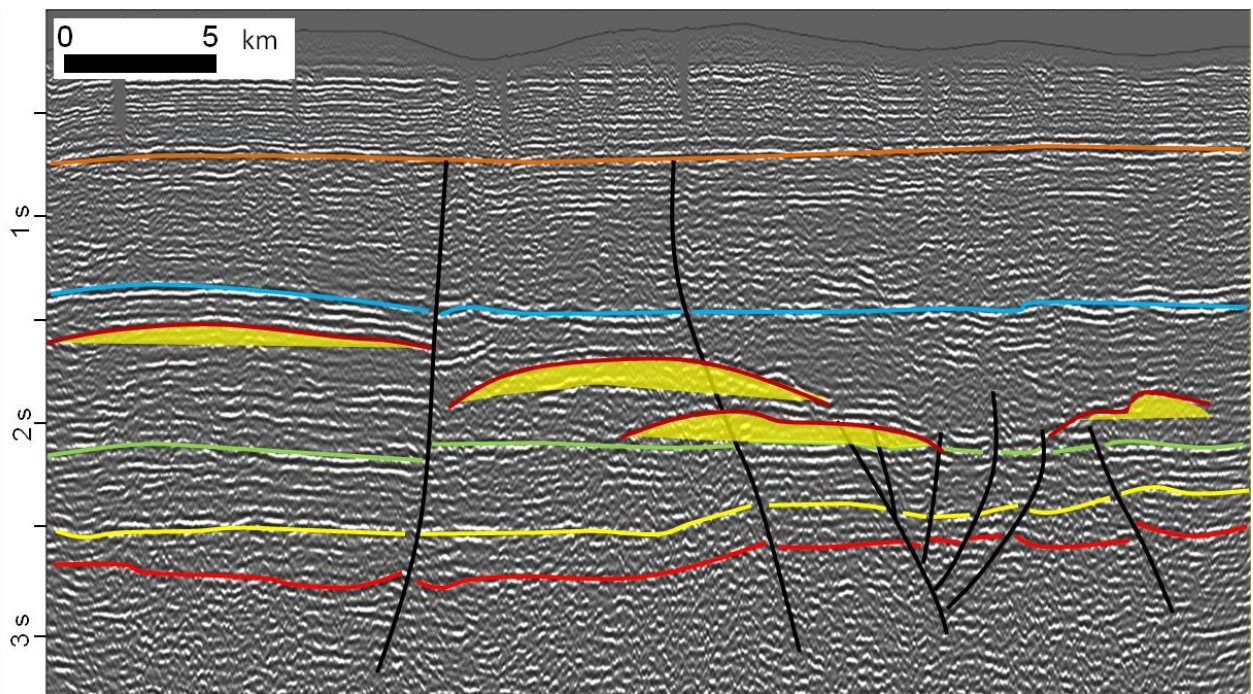


Figura 23: Interpretação da linha 0225-0007 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

Na linha 0225-0150 (Figuras 24, 25 e 26), apesar de apresentar baixa qualidade, foi possível identificar um suave anticlinal com falhas associadas. Este anticlinal está provavelmente selado por uma soleira de diabásio, já que está marcado ao topo por uma forte reflexão, e possivelmente conectado as rochas geradoras através das falhas que foram interpretadas. Outra possível acumulação pode ter ocorrido em um anticlinal presente na Fm. Furnas, tendo os folhelhos da Fm. Ponta Grossa atuando como selo.

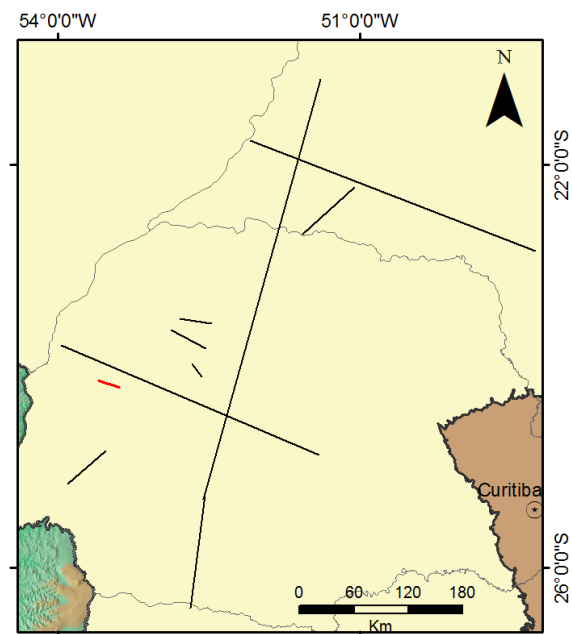


Figura 24: Localização da linha sísmica 0225-0150 (marcada em vermelho).

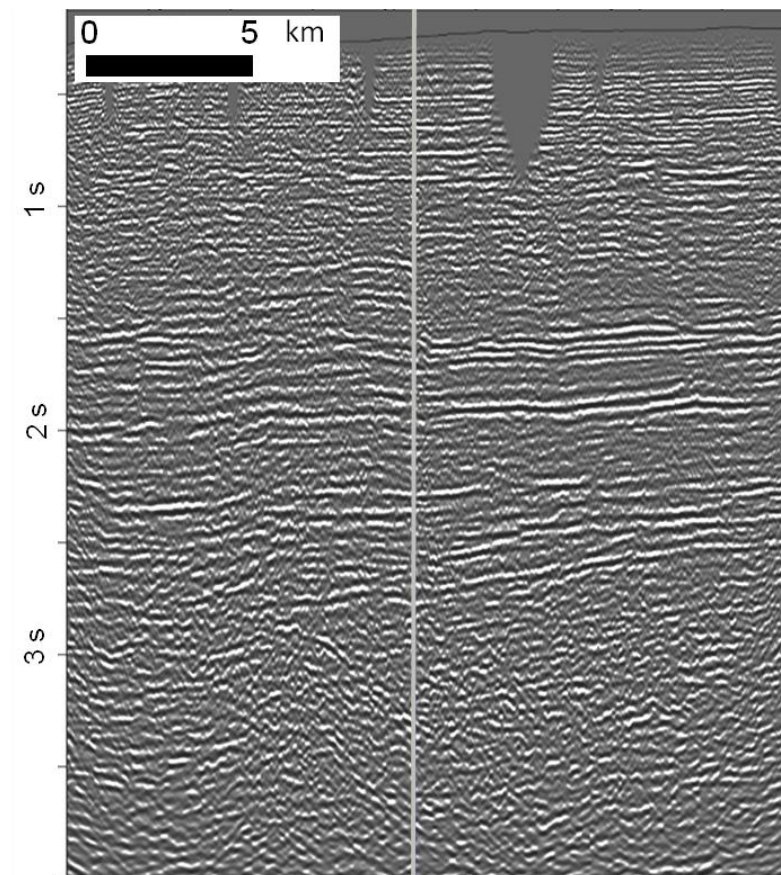


Figura 25: Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0150.

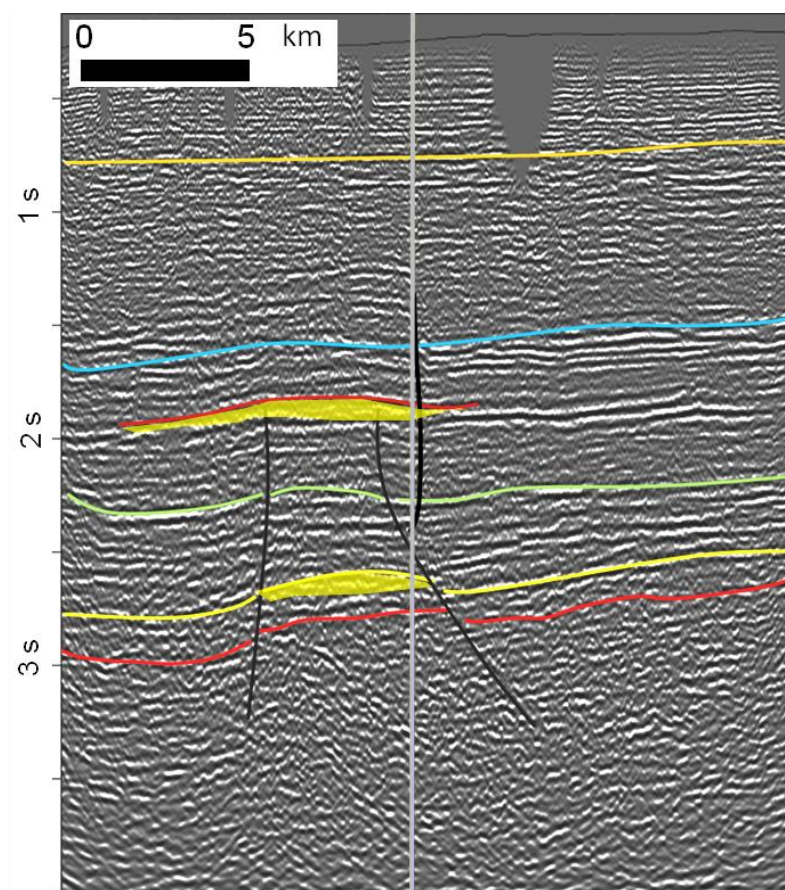


Figura 26: Interpretação da linha 0225-0150 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

A linha 0225-0030 (Figuras 27, 28 e 29) apresentou uma oportunidade exploratória representada pelo arqueamento de uma soleira de diabásio, com destaque para dois pequenos anticlinais que estariam conectados formando uma estrutura maior. Também está associada a falhas que teriam servido como conduto de migração entre a geradora Ponta Grossa e os reservatórios permo-carboníferos do Gr. Itararé e Fm. Rio Bonito.

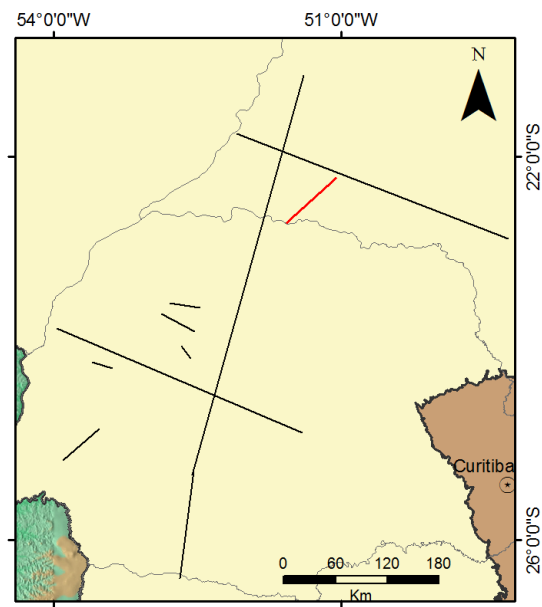


Figura 27: Localização da linha sísmica 0225-0030 (marcada em vermelho).

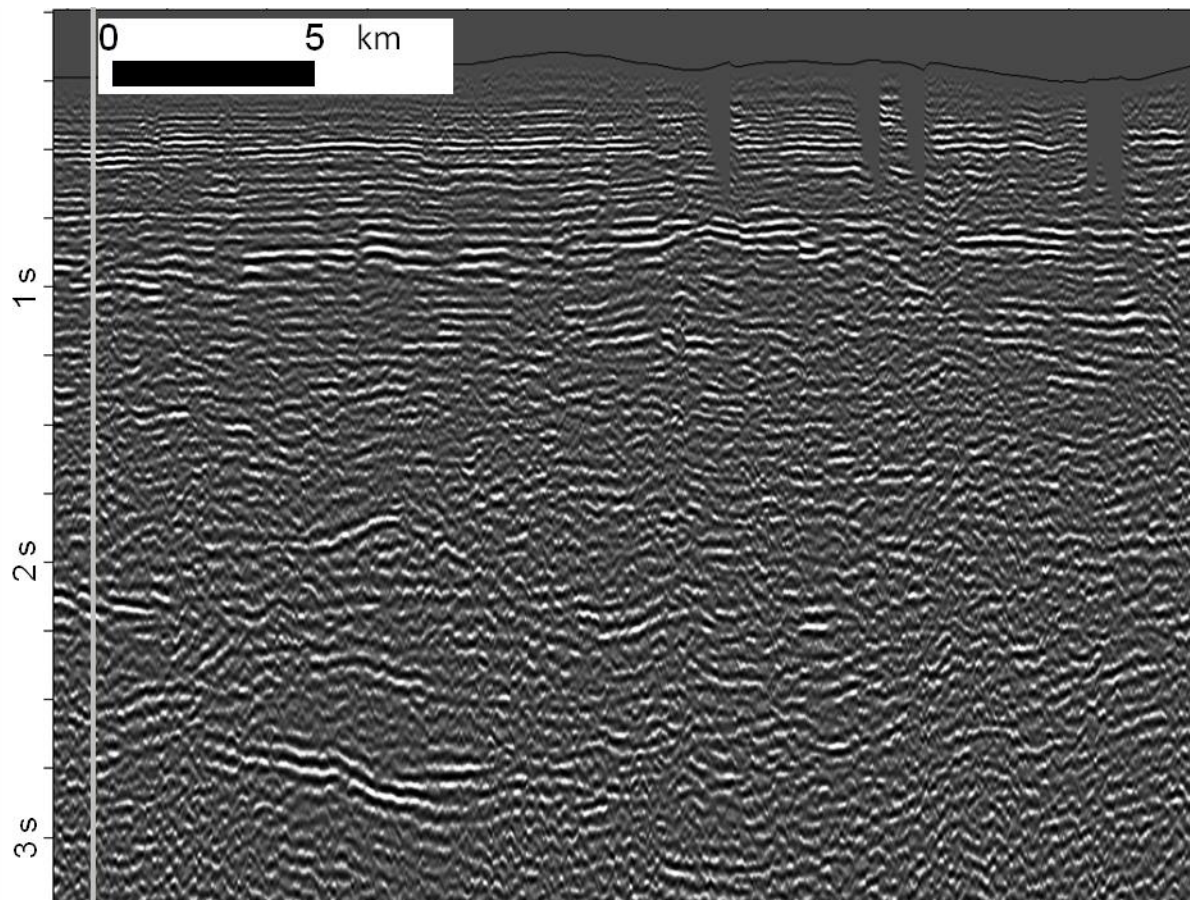


Figura 28: Trecho de interesse da linha sísmica 0225-0030.

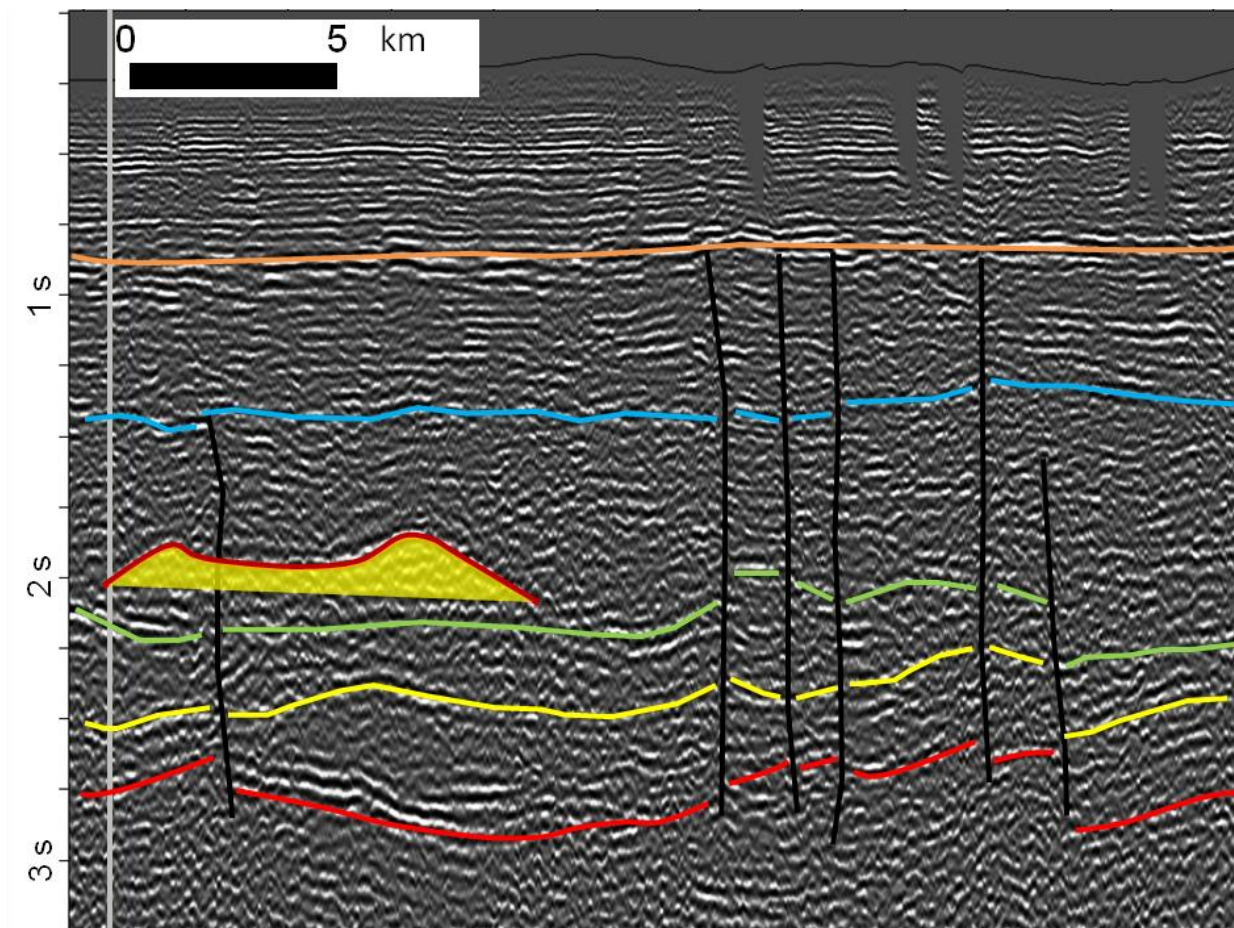


Figura 29: Interpretação da linha 0225-0030 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

Na linha 0301-0006a (Figuras 30, 31 e 32) foi possível identificar anticlinais dentro dos reservatórios permo-carboníferos, provavelmente selados por soleiras de diabásio. Sendo assim, possivelmente acumulariam os hidrocarbonetos gerados na Fm. Ponta Grossa e que teriam migrado até os reservatórios por meio das falhas interpretadas.

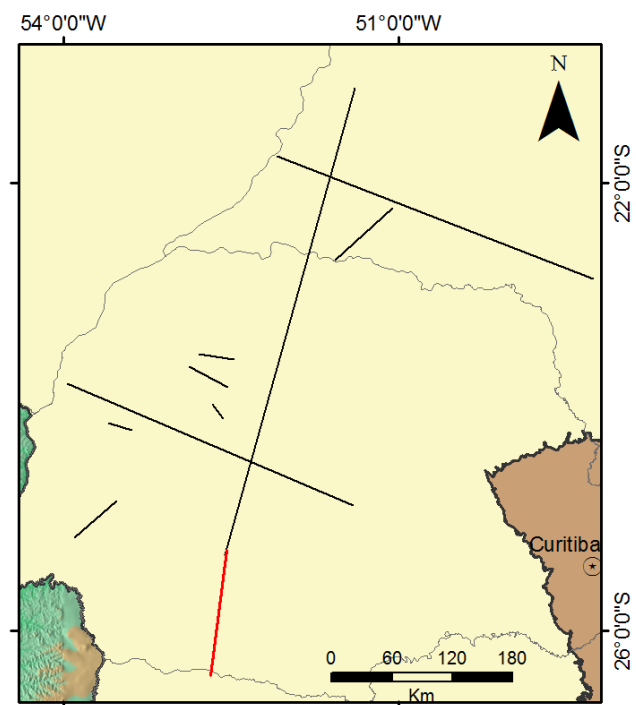


Figura 30: Localização da linha sísmica 0301-0006a (marcada em vermelho).

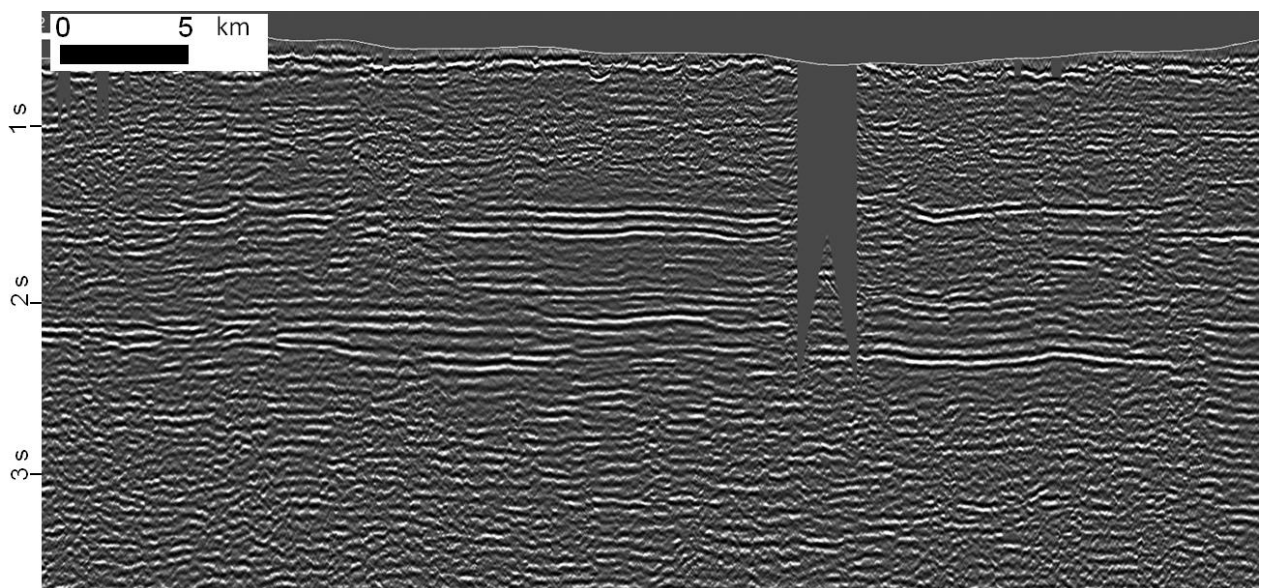


Figura 31: Trecho de interesse da linha sísmica 0301-0006a.

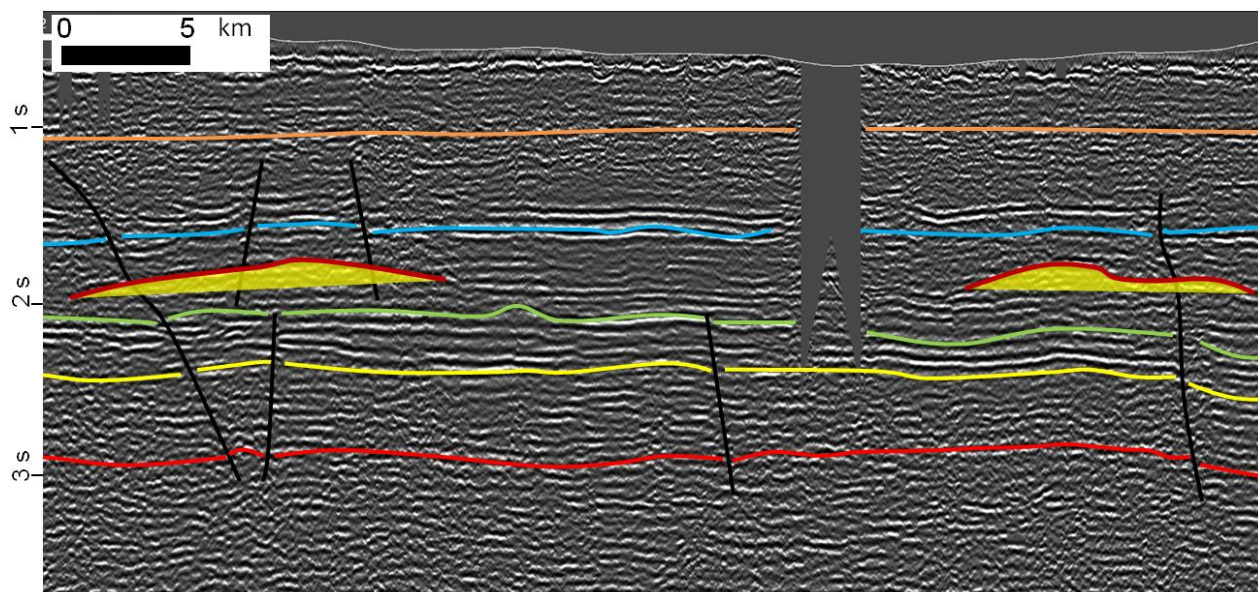


Figura 32: Interpretação da linha 0301-0006a - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

Na linha 0301-0003 (Figuras 33, 34 e 35) identificaram-se estruturas em anticlinais nos arenitos permo-carboníferos, uma delas selada por soleira de diabásio enquanto que a outra estaria selada por folhelhos da Fm. Irati. O risco exploratório dessas possíveis oportunidades seria a ausência de falhas que pudessem ter carreado os hidrocarbonetos até os reservatórios. Além dessas estruturas, também se verificou a presença de blocos basculados que teriam colocado as geradoras da Fm. Ponta Grossa em contato direto com os arenitos da Fm. Furnas, possibilitando uma migração lateral e acumulação. Os próprios folhelhos da Fm. Ponta Grossa atuariam como rocha selante.

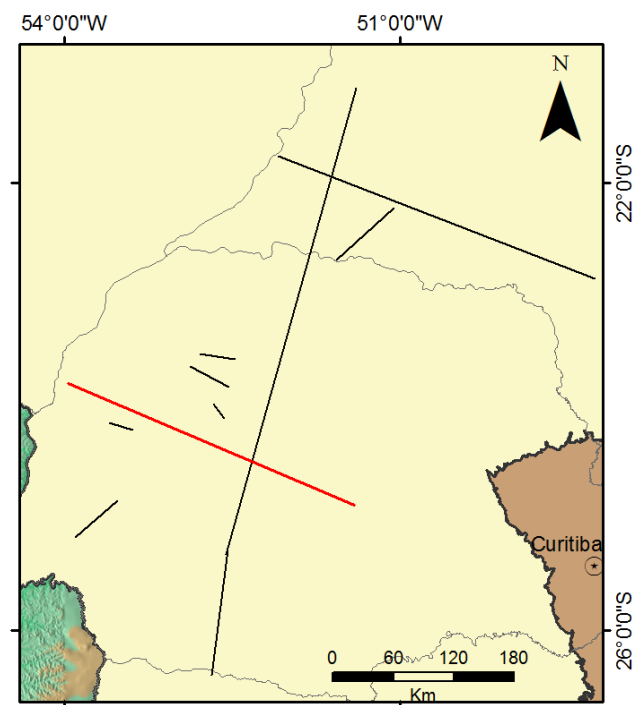


Figura 33: Localização da linha sísmica 0301-0003 (marcada em vermelho).

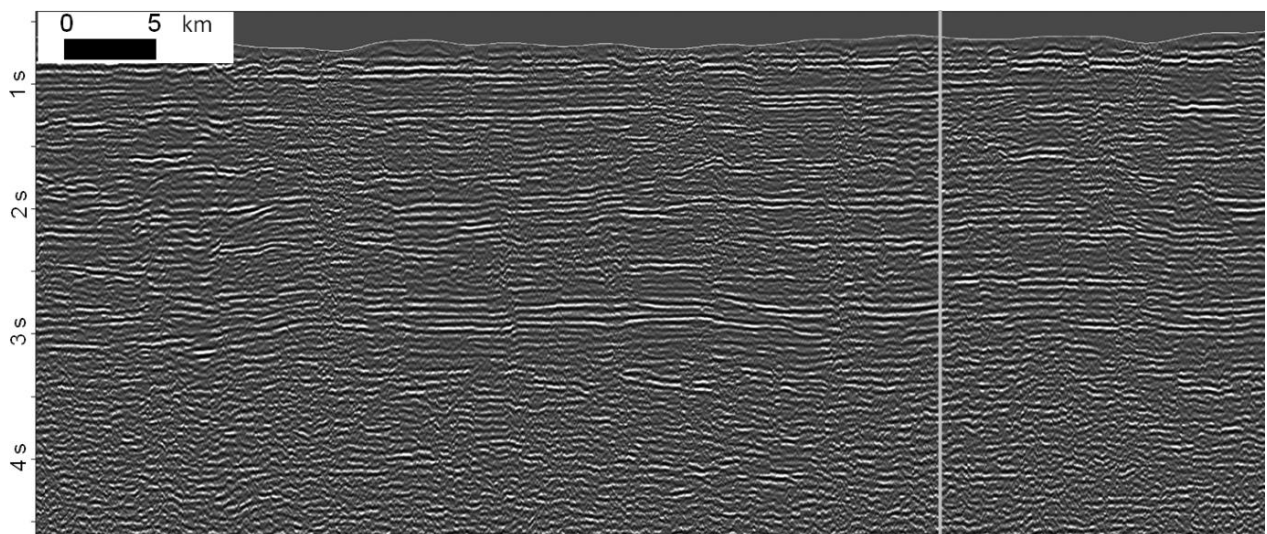


Figura 34: Trecho de interesse da linha sísmica 0301-0003.

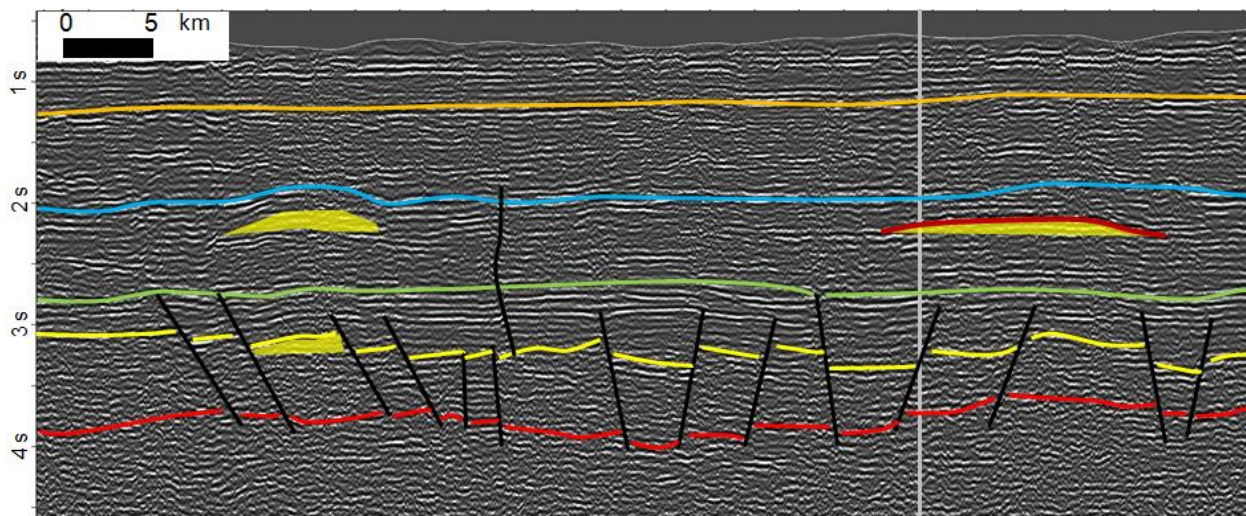


Figura 35: Interpretação da linha 0301-0003 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

Na linha 0301-0002 (Figuras 36, 37 e 38) também se notou uma estrutura associada a intrusões de soleiras nos reservatórios permo-carboníferos, e com presença de falhas que pudessem ter atuado na migração. Já no outro trecho da linha 0301-0002 (Figuras 39 e 40) também foi possível visualizar uma estrutura deste tipo, porém não se identificaram falhas que pudessem ter auxiliado na migração. Tanto para uma estrutura quanto para a outra, o potencial seria para gás gerado na Fm. Ponta Grossa e os selos representados pelas soleiras.

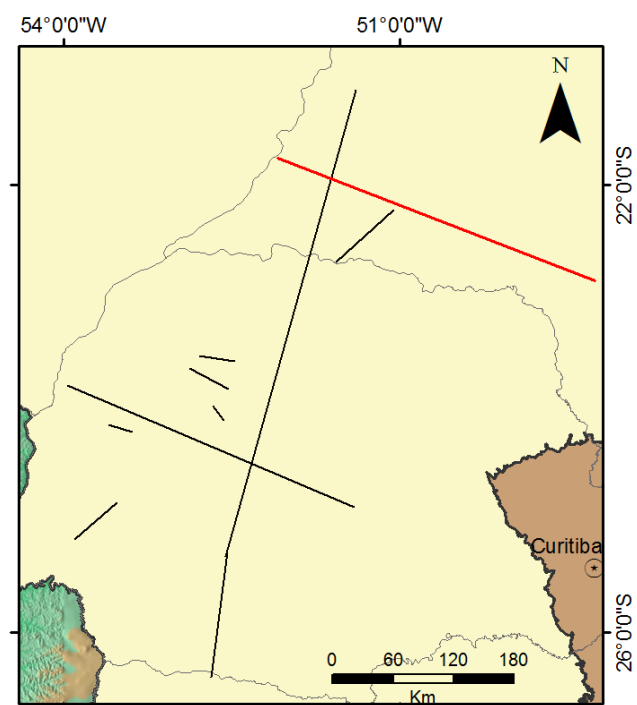


Figura 36: Localização da linha sísmica 0301-0002 (marcada em vermelho).

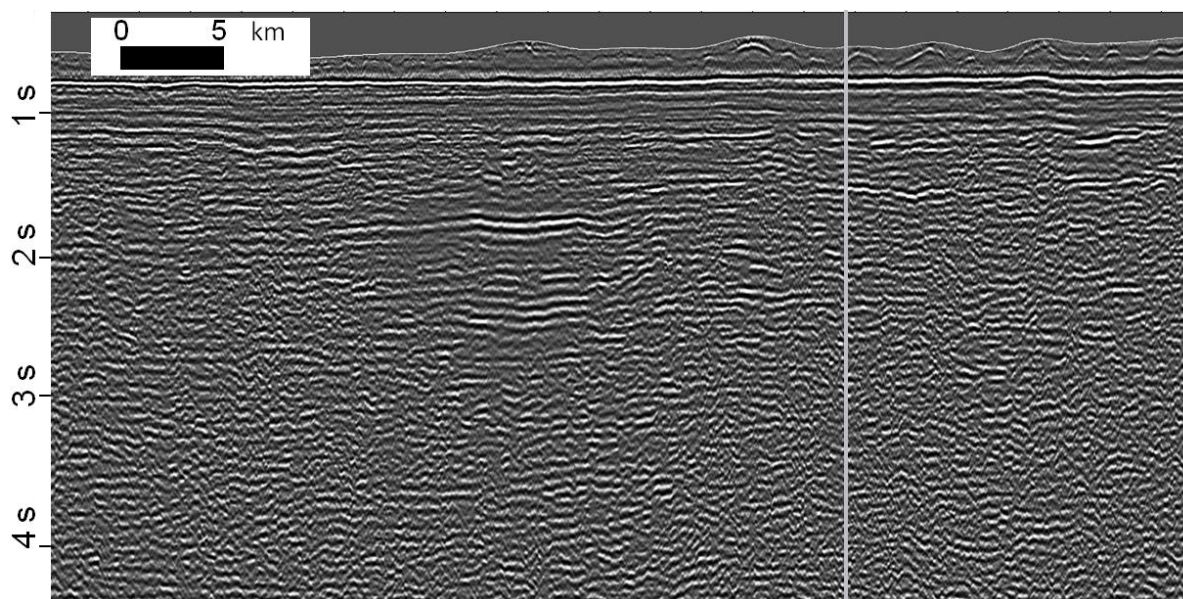


Figura 37: Trecho de interesse da linha sísmica 0301-0002.

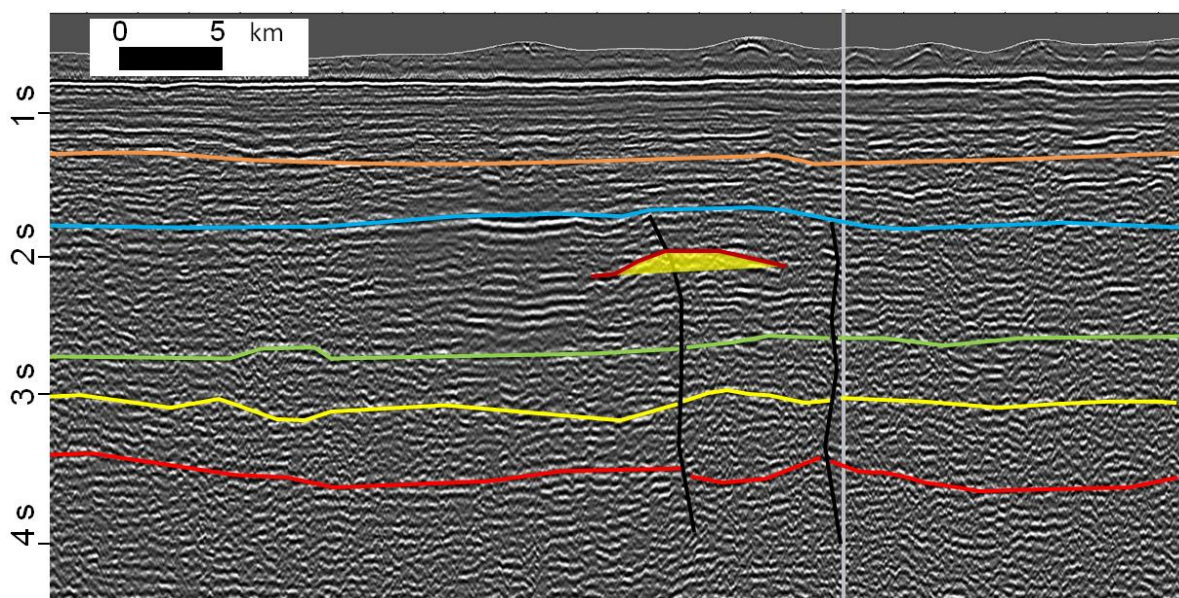


Figura 38: Interpretação da linha 0301-0002 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

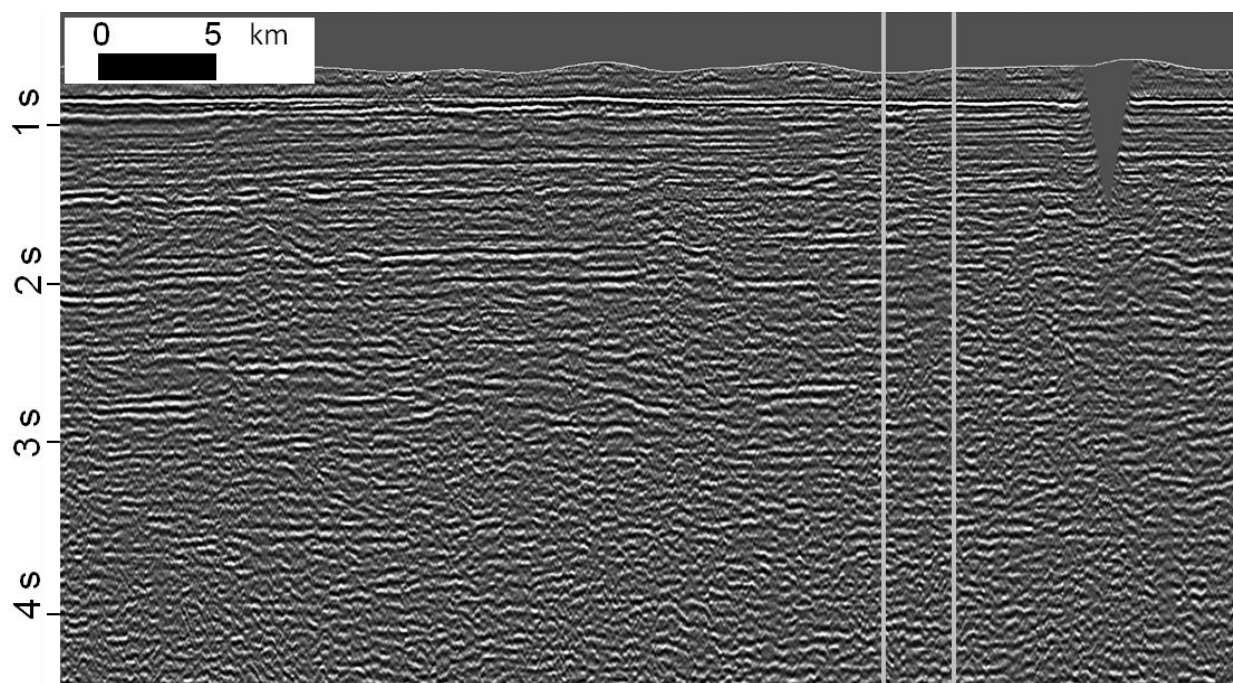


Figura 39: Outro trecho de interesse da linha sísmica 0301-0002.

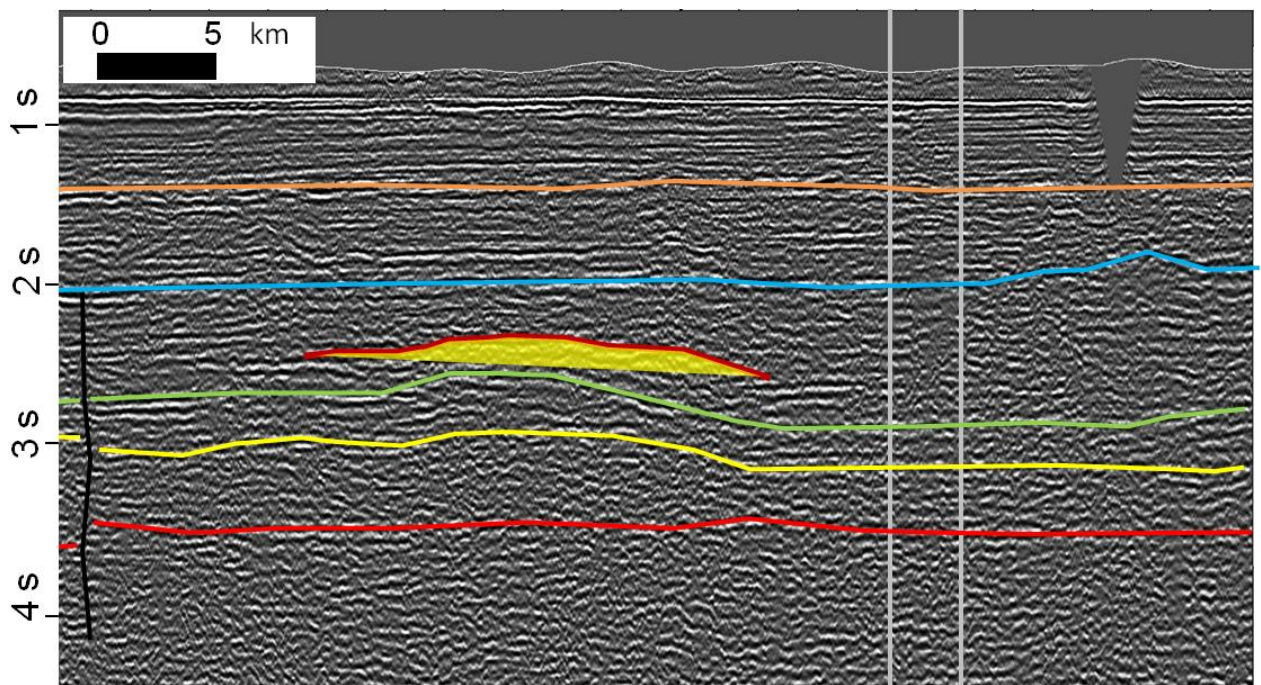


Figura 40: Interpretação deste outro trecho de interesse na linha 0301-0002 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

Na linha 0301-0007 (Figuras 41, 42 e 43) identificaram-se três estruturas associadas a saltos de soleiras que formaram anticlinais de grande porte, ou seja, trapa e selo eficientes. Além disso, todas elas estão conectadas com as rochas geradoras por meio de falhamentos e estão localizadas dentro dos principais reservatórios da bacia. Sendo assim, há uma grande possibilidade de acumulação de hidrocarbonetos nestas estruturas.

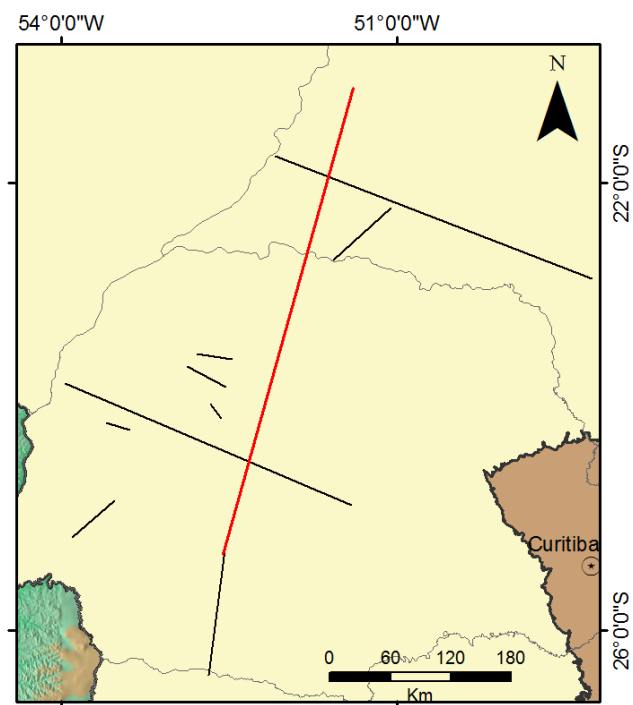


Figura 41: Localização da linha sísmica 0301-0007 (marcada em vermelho).

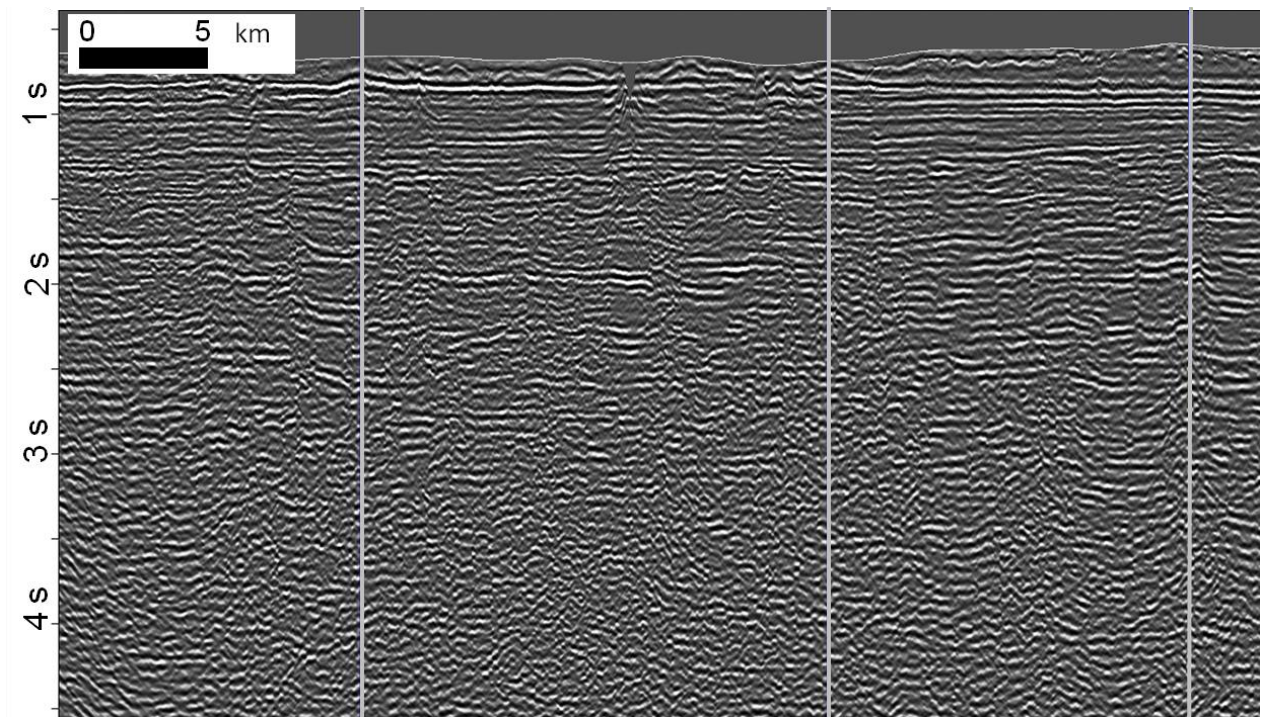


Figura 42: Outro trecho de interesse da linha sísmica 0301-0007.

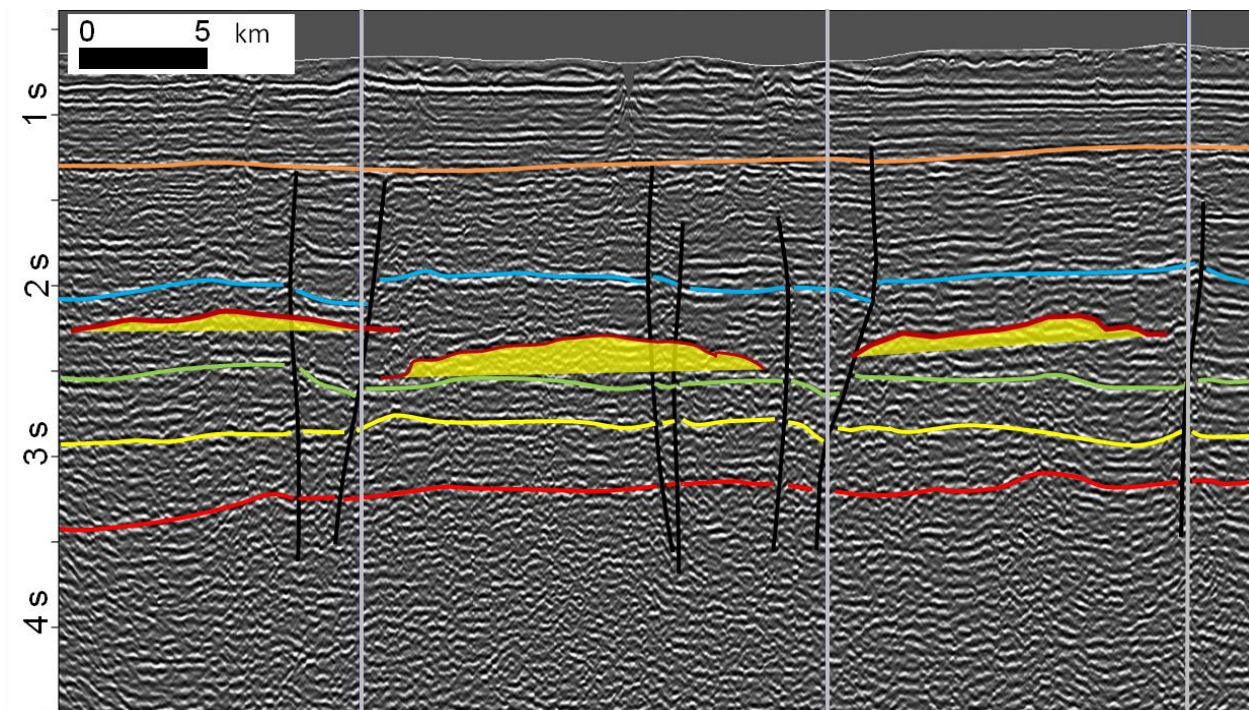


Figura 43: Interpretação deste outro trecho de interesse na linha 0301-0007 - falhas em preto; soleiras que serviram de selos em vermelho escuro; oportunidades exploratórias preenchidas em amarelo transparente; base da Fm. Serra Geral em laranja; topo da Fm. Irati em azul; topo da Fm. Ponta Grossa em verde; topo da Fm. Furnas em amarelo; e embasamento em vermelho claro – as linhas cinza verticais representam limites de blocos exploratórios que foram ofertados na 12ª Rodada de Licitações da ANP.

A interpretação dos dados proporcionou a identificação de diversas oportunidades exploratórias, tanto nos arenitos do Gr. Itararé e Fm. Rio Bonito quanto nos arenitos da Fm. Furnas. Além disso, há possíveis acumulações nos arenitos do Mb. Tibaji. Devido as linhas interpretadas serem de geometria 2D, foi feita uma estimativa para o fechamento das estruturas em mapa (Figura 34).

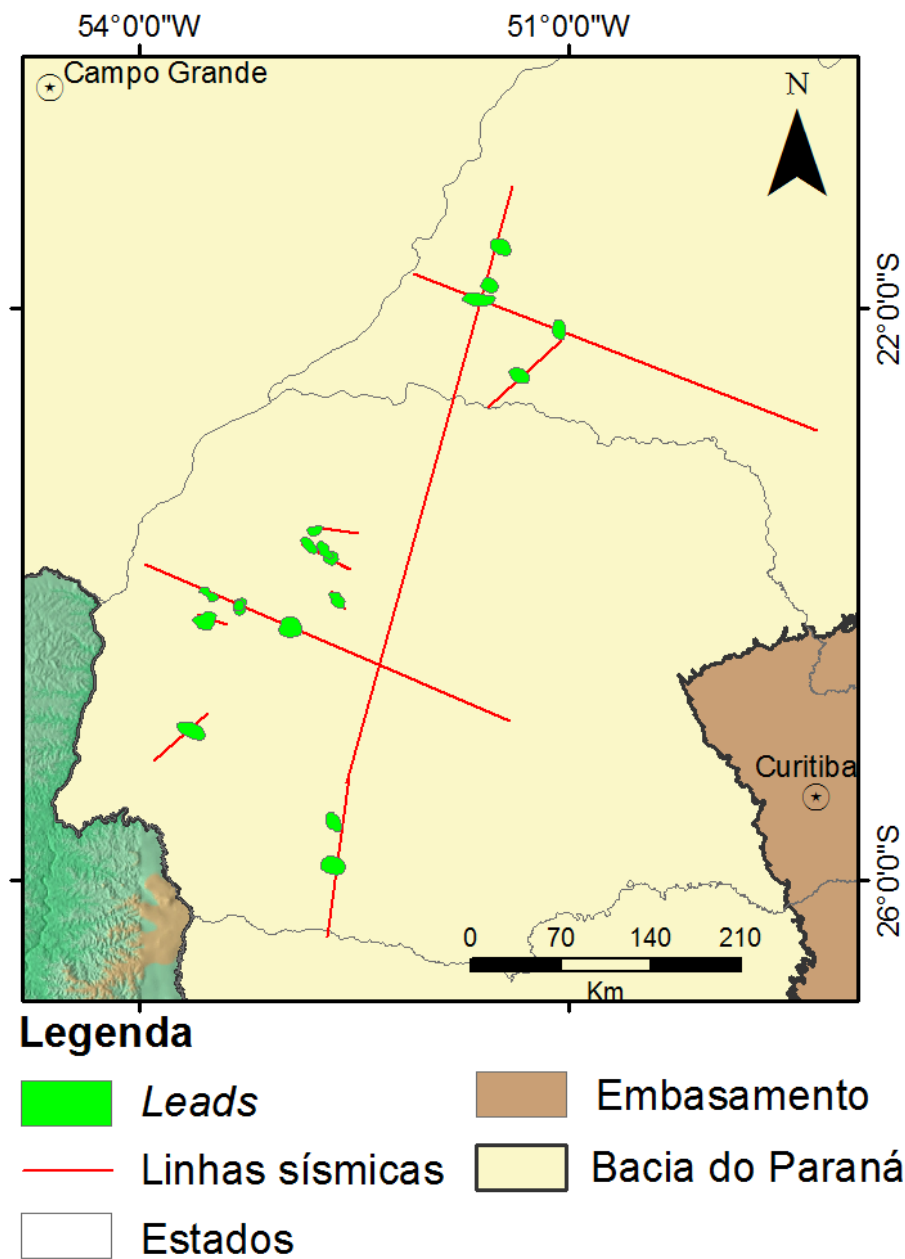


Figura 44: Mapa mostrando a localização das oportunidades exploratórias identificadas através da interpretação sísmica.

5. CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível notar que apesar de a Bacia do Paraná apresentar resposta sísmica prejudicada pelas rochas extrusivas e intrusivas, ainda assim, através de uma análise minuciosa da sísmica, foi possível identificar diversas estruturas que possibilitam a acumulação de hidrocarbonetos. Estas estruturas encontram-se principalmente em arenitos permo-carboníferos do Gr. Itararé e da Fm. Rio Bonito, na maioria das vezes seladas por rochas intrusivas em forma de soleiras de diabásio arqueadas e apresentando falhas como possíveis rotas de migração entre as rochas geradoras da Fm. Ponta Grossa e as rochas reservatórios. Além disso, nota-se que as rochas intrusivas tiveram importância fundamental na maturação e acumulação dos hidrocarbonetos na bacia, pois além do efeito térmico que influenciou na geração, elas servem de trapas estruturais e de rocha selante simultaneamente, e também podem atuar como condutos de migração através dos diques.

Um ponto importante do trabalho foi identificar estruturas semelhantes às acumulações já descobertas na Bacia do Paraná, tais como a descoberta de Mato Rico e a de Barra Bonita. Sendo assim, as oportunidades exploratórias identificadas são modelos já conhecidos e testados para esta bacia, o que corrobora com a possibilidade de acumulação nas estruturas identificadas neste trabalho.

Outro importante aspecto deste projeto foi a seleção das linhas sísmicas nas áreas ofertadas na 12ª Rodada de Licitações da ANP, já que 16 dos 19 blocos exploratórios licitados na Bacia do Paraná foram arrematados, o que mostra que empresas conceituadas no mercado petrolífero estão com grande expectativa quanto a exploração de hidrocarbonetos na bacia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A. Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo: IPT, 1981, v.1, p.46-81. Escala 1:500.000.
- ARAÚJO, L.M. FRANÇA, A.B. E POTTER, P.E. 1995. Aquífero Gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. UFPR e PETROBRÁS, 16 p. Curitiba, Paraná - Brasil.
- CAMPOS, L., MILANI E., TOLEDO M., QUEIROZ R., CATTO A., SELKE S. 1998. Barra Bonita: a Primeira Acumulação Comercial de Hidrocarbonetos da Bacia do Paraná- Rio Oil and Gas Conference – IBP.
- CAPUTO, M. V.; MELO, J. H. G.; STREEL, M.; ISBELL, J. L. Late Devonian and Early Carboniferous glacial records of South America. In: FIELDING, C. R.; FRANK, T. D.; ISBELL, J. L. (Ed.). Resolving the Late Paleozoic ice age in time and space. Boulder: Geological Society of América, 2008. p. 161-173. Special Paper, 441.
- DAEMON, R. F.; FRANÇA, A. B. 1993. Sedimentos do Westfaliano (Carbonífero Médio) na Formação Lagoa Azul, Grupo Itararé. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., 1993, Rio Claro. Resumos. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1993. p. 36.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A. 1996. Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 195-205.
- FODOR, R. V.; CORWIN, C. T.; ROISEMBERG, A. Petrology of Serra Geral (Paraná) continental flood basalts, southern Brazil: crustal contamination, source material, and South Atlantic magmatism. Contributions to Mineralogy and Petrology, Alemanha, v. 91, p. 54-65, 1985.
- GEOCHEMICAL SOLUTIONS INTERNATIONAL. 2003. Paraná Oil Study. Final Report.

- KALKREUTH, W., HOLZ, M., BURGER, H., SOUZA, M. L. de, RODRIGUES, C., SUFFERT, T. 2000. The Coalbed Methane potential of Permian Coals in the Paraná Basin of Brazil: Preliminary Results – AAPG ANNUAL MEETING, New Orleans, Louisiana.
- MILANI, E. J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com ageodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Porto Alegre. 225p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MILANI, E. J. 2004. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Produções Culturais. p. 265-279.
- MILANI, E. J.; CATTO, E. 1998. Petroleum Geology of the Paraná Basin, Brazil. AAPG, International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, Abstracts. P. 442-443, 1998.
- MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. 1998 Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 527-544.
- MILANI, E.J., ZALÁN P.V. 1998. The Geology of Paleozoic Cratonic Basins and Mesozoic Interior Rifts of Brazil – AAPG Int. Conf. & Exhibition – Rio de Janeiro, Brazil - Short Course Coord. Carminatti, M.
- MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A. 2000. Sedimentary Basins of South América. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, In-Fólio Produção Editorial. p.389-449.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. 1994. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 69-82.
- MILANI, E. J., KINOSHITA, E. M., CUNHA, P. R. C. e ARAÚJO, L. M. 1998. A Bacia do Paraná: Possibilidades Petrolíferas da Calha Central. In: SINTEX – I SEMINÁRIO

DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA, Petrobras, Departamento de Exploração, págs. 35 a 45, Rio de Janeiro.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 265-287.

RAMOS, V; JORDAN, T.; ALLMENDINGER, R.; MPODOZIS, C.; KAY, S.; CORTÊS, J.; PALMA, M. 1986. Paleozoic terrains of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 5:855-880.

THOMAZ FILHO, A. 1982. Ocorrência de Arenito Betuminoso em Anhembi (SP) - Cubagem e Condicionamento Geológico. ANAIS DO XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, SBG, Salvador. BA, v.5, pp 2344 a 2348.

ULIANA, M. A.; BIDDLE, K. Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of southern South America. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 18, p. 172-190, 1988.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. 1990a. The Paraná Basin, Brazil. In: Interior Cratonic Basins. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Memoir 5 I,p.681-707.

ZALAN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J. C. J., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T., ZANOTTO, O. A. 1990. Bacia do Paraná. In: ORIGEM E EVOLUÇÃO DE BACIAS SEDIMENTARES, págs. 135 a 169, Petrobras, Rio de Janeiro.