

5 ARCABOUÇO ESTRUTURAL DAS OCORRÊNCIAS DE ARENITOS ASFÁLTICOS

5.1 Introdução

Neste capítulo será dada ênfase à geologia estrutural das ocorrências de arenitos asfálticos encontradas na área de estudo, de modo a correlacionar as escalas de trabalho até então abordadas com dados estruturais de afloramentos, a fim de definir um padrão estrutural na escala de detalhe.

As expedições de campo realizadas em junho de 2013 e julho de 2014 tiveram abordagens e escalas de trabalho diferentes. No primeiro, com caráter de reconhecimento regional, foram feitos perfis de modo a acompanhar a estratigrafia das unidades que compõe a Supersequência Gondwana I em que o Sistema Petrolífero Irati-Piramboia (!) está inserido, e ainda visitas a afloramentos da Formação Piramboia com – denotando uma ocorrência de arenito asfáltico - ou sem impregnação de óleo em sua porosidade. Por sua vez, a segunda expedição foi focada na geologia estrutural das ocorrências reconhecidas em Araújo *et al.* (2004), com adensamento e análise das medidas estruturais das ocorrências alvos deste trabalho.

5.2 Padrão estrutural das ocorrências

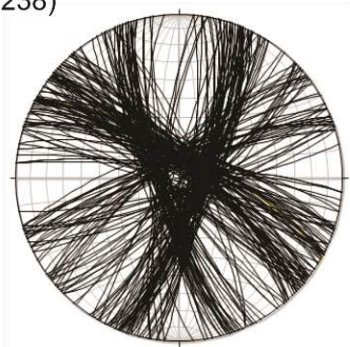
As expedições renderam um total de 238 medidas de estruturas, em sua maioria fraturas reconhecidas como falhas quando associadas a algum padrão de zona de falha já que não foram verificados deslocamentos importantes que indicassem tipologia e cinemática (146 medidas), além de diáclases (86 medidas).

As mediadas permitiram apontar as direções preferenciais das fraturas como NE-SW e NW-SE ocorrendo quase sempre na forma de pares conjugados, e raramente E-W, com mergulhos subverticais variando de 70° a 89° (Figura 62).

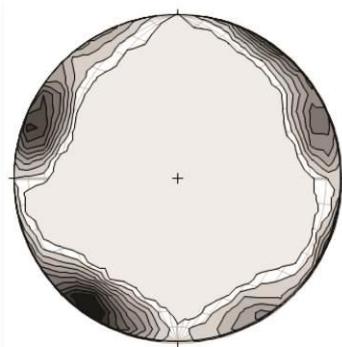
A tendência estrutural dos padrões medidos e observados na mesoescala condiz com o padrão regional da Bacia do Paraná, amplamente discutido no Capítulo 2.

Figura 62 – Projeções estereográficas
Projeções estereográfica
dos planos

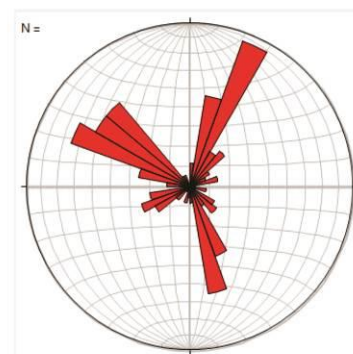
Total (n=238)



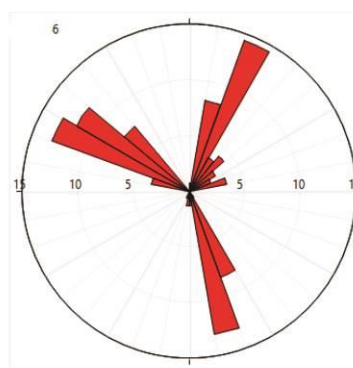
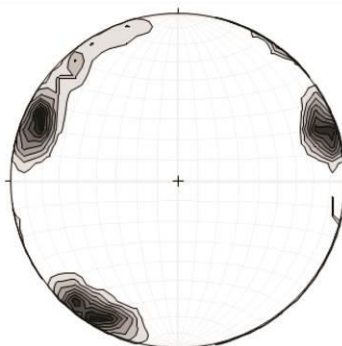
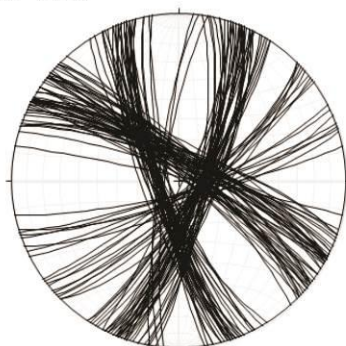
Diagramas de contorno
para a densidade dos polos



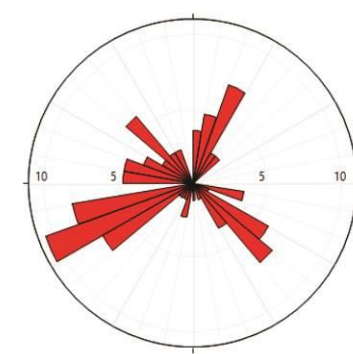
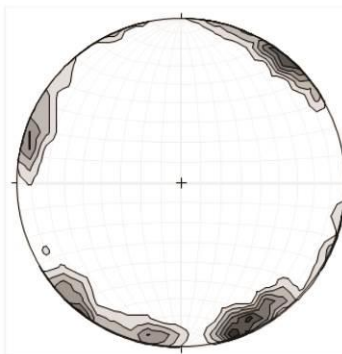
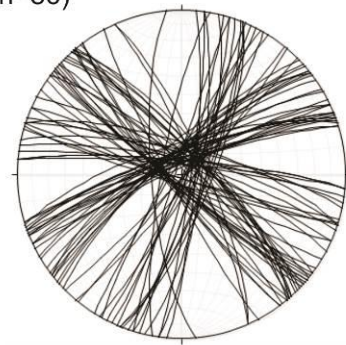
Diagramas de roseta



Falhas (n=146)



Juntas (n=86)



Nota: Projeções estereográficas dos planos de fraturas, diagramas de contorno para a densidade dos polos e diagramas de roseta indicando as direções preferenciais das medidas totais (primeira fila), falhas (fila do meio) e juntas (última fila).

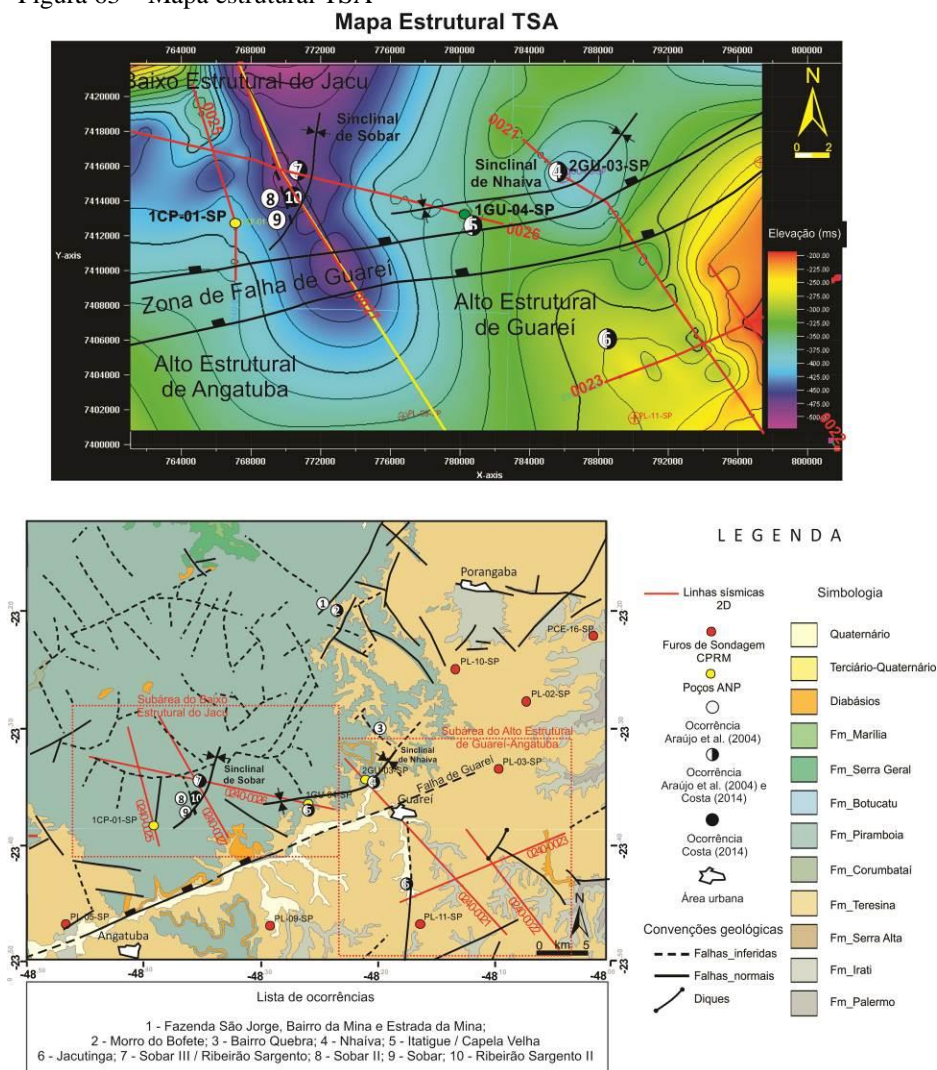
Fonte: O autor, 2015.

É perceptível que a redução na quantidade de medidas numa mesma projeção (como é o caso das juntas), pode ressaltar tendências subsidiárias omitidas, como foi o aparecimento do padrão E-W contra os predominantes NE e NW. Por tanto, individualizar as medidas numa análise por ocorrência se faz necessário.

5.3 Análise das ocorrências de Guareí

As escalas de trabalhos até então analisadas (gravimetria, magnetometria e sensoriamento remoto) e principalmente a interpretação sísmica, permitiram compartimentar as ocorrências da região de Guareí em três domínios estruturais. As ocorrências de Nhaíva e Capela Velha estão inseridas no contexto do Sinclinal de Nhaíva, as ocorrências de Ribeirão Sargento e Sobar no Sinclinal de Sobar (ambos no bloco baixo da Zona de Falha de Guareí) e a ocorrência de Jacutinga associada a falhas reversas a SW da Zona de Falha de Guareí (Figura 63).

Figura 63 – Mapa estrutural TSA



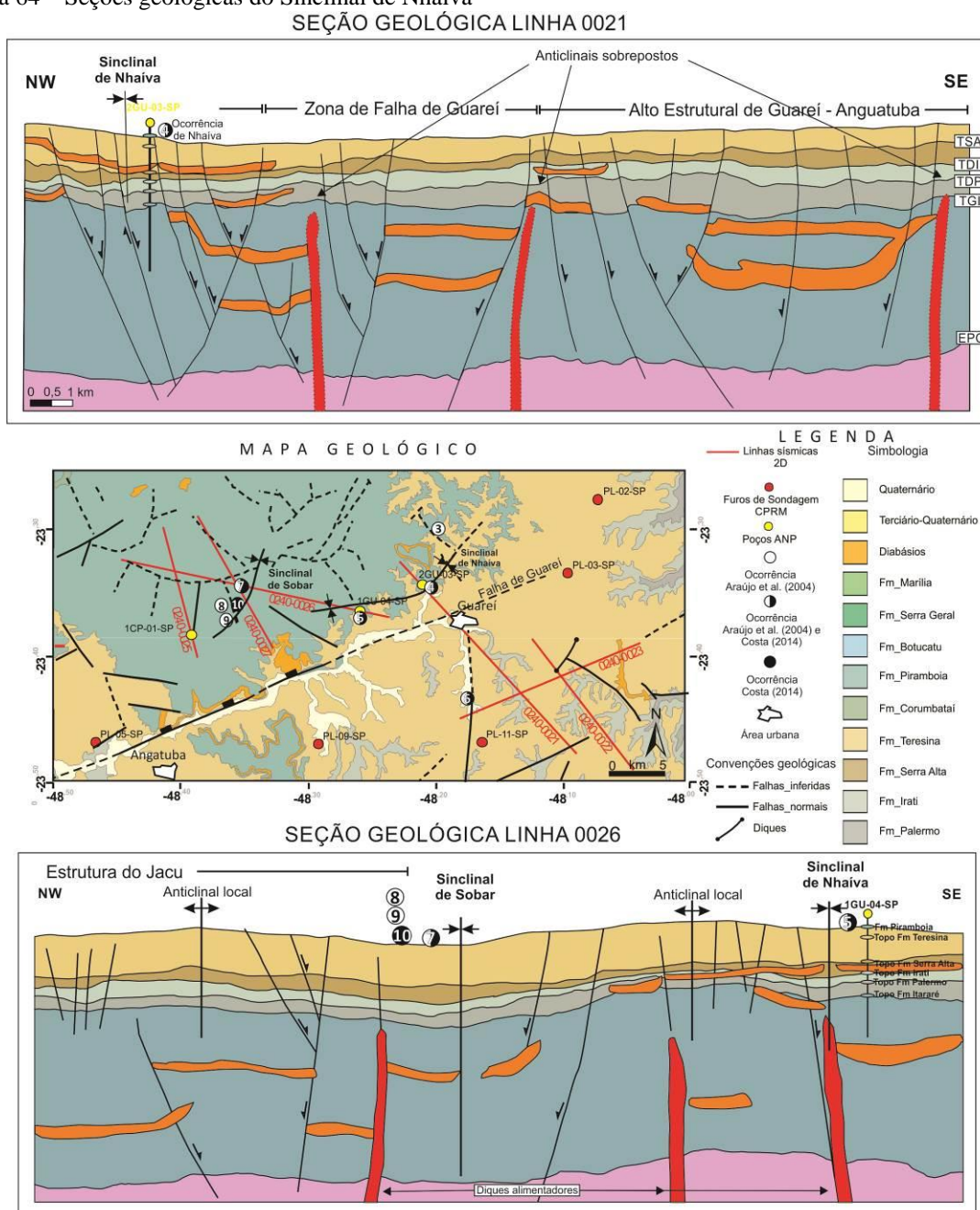
Nota: Mapa Estrutural TSA (topo da Formação Serra Alta) mostrando os compartimentos estruturais do Sinclinal de Sobar e Sinclinal de Nhaíva, e o Mapa Geológico da CPRM com adição das estruturas reconhecidas nesse trabalho.

Fonte: O autor, 2015.

5.3.1 O Sinclinal Nhaíva e as ocorrências de Nhaíva e Capela Velha

O Sinclinal de Nhaíva foi definido a partir da interpretação sísmica das linhas 0021 e 0026, que cortam o seu eixo (NE com inflexão ENE) em seções *dip* (perpendicular) e de baixo ângulo (quase *strike*), respectivamente (Figura 5.3).

Figura 64 – Seções geológicas do Sinclinal de Nhaíva



Nota: Seções geológicas para as linhas 0021 e 0026 que permitiram a interpretação do Sinclinal de Nhaíva. Esta feição de direção NE é controlada por falhas normais e compartimenta estruturalmente as ocorrências de Nhaíva (4) e Capela Velha (5).

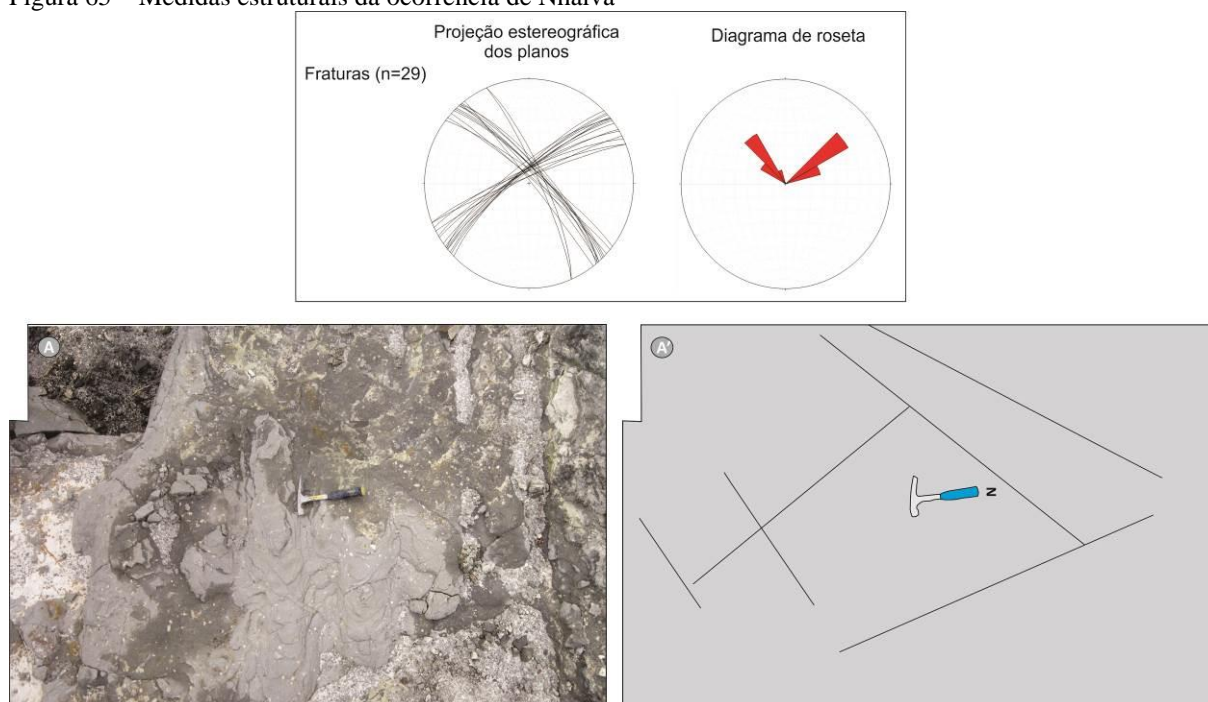
Fonte: O autor, 2015.

Em ambas as seções é possível verificar que o dobramento do sinclinal local é dado por uma sucessão de falhas normais tanto com o embasamento envolvido, quanto associado à intrusão de soleiras em formato de pires irregular e diques. As falhas mergulham para NW e SE, conjugando um sistema de direção predominantemente NE que acompanha o eixo do sinclinal.

Tal padrão direcional também foi observado nas medidas estruturais parametrizadas nas ocorrências de Nhaíva e Capela Velha.

Analisando individualmente a ocorrência da Nhaíva localizada a noroeste da área urbana de Guareí e onde foi perfurado o poço 2GU-03-SP, foram medidas 29 juntas configuradas sob a forma de pares conjugados nas direções NE e NW (Figura 65).

Figura 65 – Medidas estruturais da ocorrência de Nhaíva



Nota: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas para as 29 medidas de fraturas na ocorrência de Nhaíva mostrando um padrão NE e NW. Em A (fotomosaico) e A' (interpretação), mostrando a configuração das juntas.

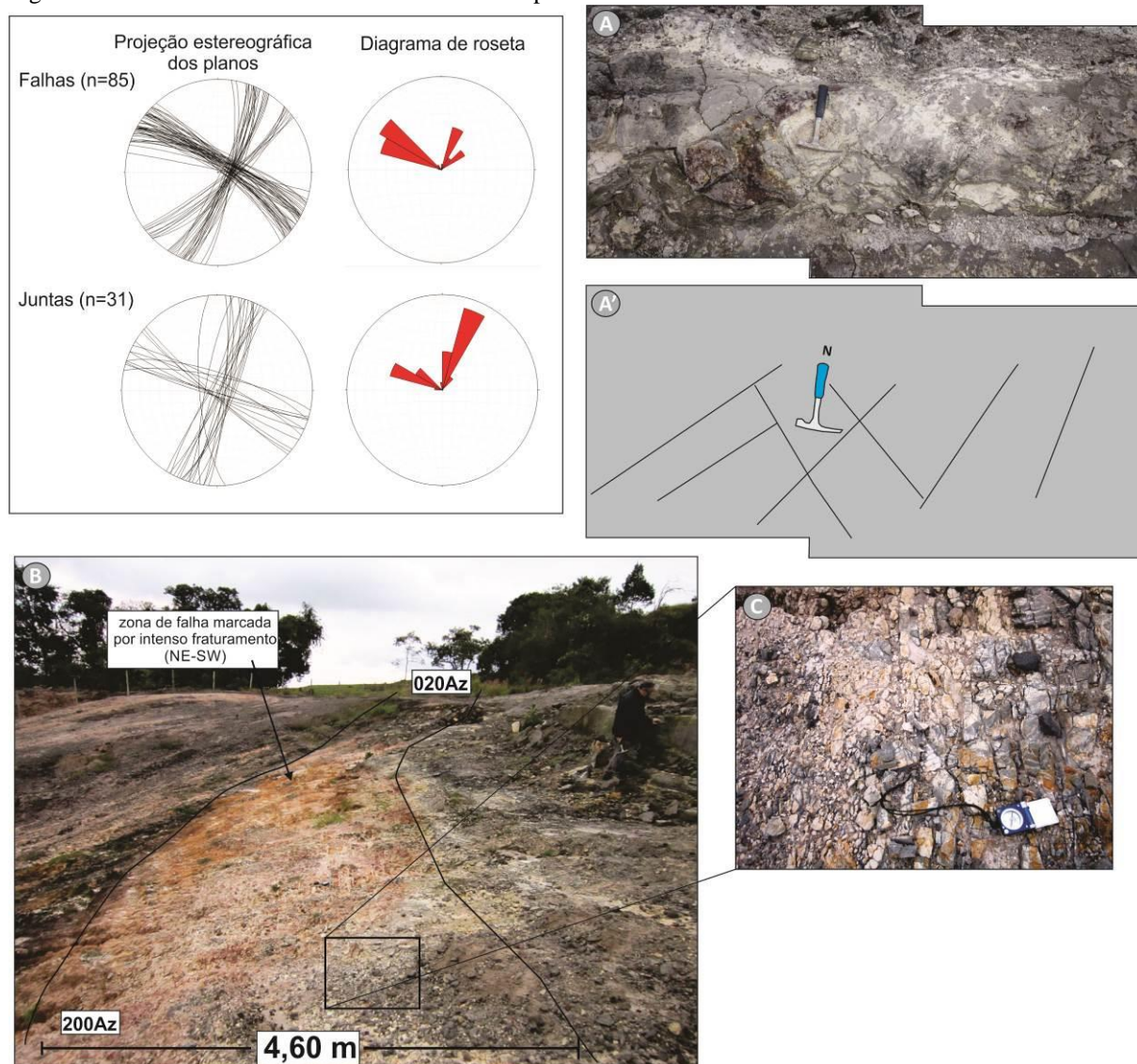
Fonte: O autor, 2015.

Verificou-se próximo a ocorrência vários blocos de diabásio e segundo o trabalho de Araújo *et al.* (2004), aflora ali um dique de rocha básica de atitude N15E. Além disso, uma espessa seção de soleira aflora intercalada entre os arenitos da Formação Piramboia e da Formação Botucatu numa escarpa a menos de 1 km da ocorrência (vide mapa geológico). A presença das ígneas, tanto na forma de soleiras quanto de diques foi reconhecida na sísmica e parecem oferecer um papel estrutural condicionante para a acumulação.

O mesmo padrão direcional foi reconhecido na ocorrência de Capela Velha, localizada no bairro homônimo nas imediações da capela Nossa Senhora Aparecida. É perceptível no afloramento que ali já houve extrativismo e durante a década de 40 funcionava como pedreira para a extração de gasolina pela Itatigue S.A. (Araújo, *et al.* 2004).

Foram medidas 116 atitudes estruturais, sendo 85 de falhas ocorrendo numa zona de falha de 4,60 m e orientação 020-200 Az, e 31 medidas de juntas (Figura 66).

Figura 66 – Medidas estruturais da ocorrência de Capela Velha



Nota: Projeções estereográficas e diagramas de rosetas para 85 medidas de falhas e 31 medidas de juntas na ocorrência de Capela Velha mostrando um padrão NE e NW. Em A (fotomosaico) e A' (interpretação), mostrando o padrão conjugado das juntas. Em B, visão panorâmica da zona de falha de 4,60 m de largura marcando um intenso fraturamento do arenito (zoom em C).

Fonte: O autor, 2015.

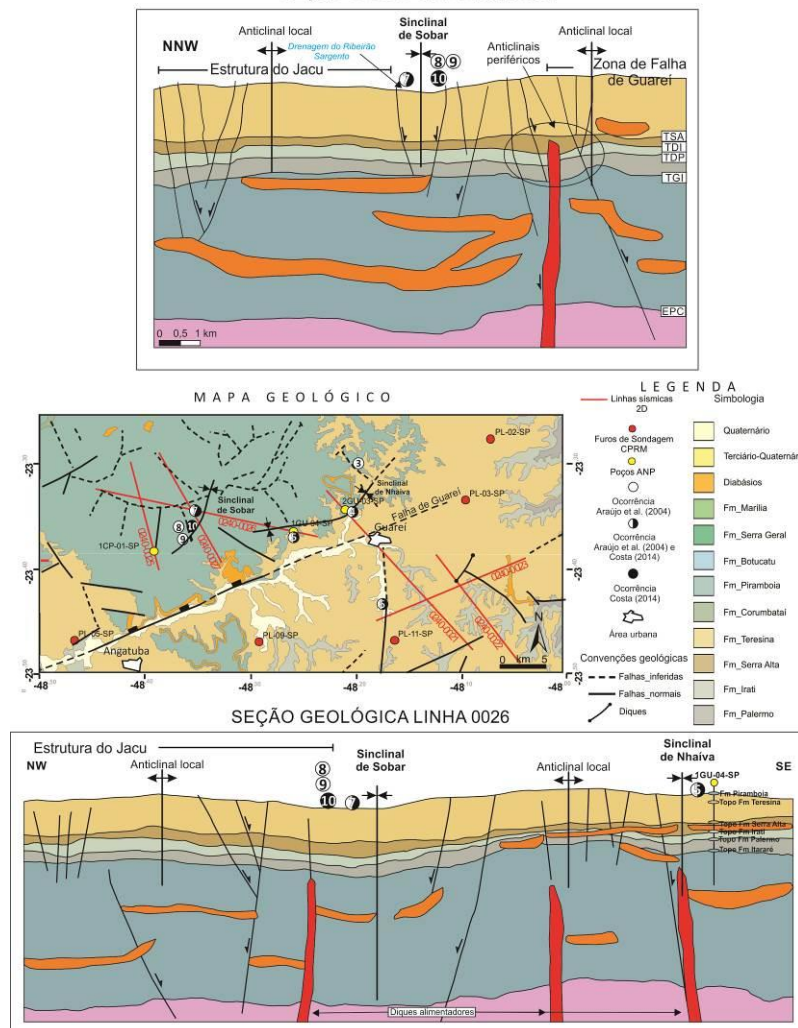
O grau de fraturamento na zona de dano da falha foi o suficiente para haver cominuição dos grãos e forte desagregação na forma de blocos facilitando a percolação de

fluidos e ação do intemperismo (notar a diferença de coloração bem marcada em função da oxidação), configurando uma brecha de falha.

5.3.2 O Sinclinal de Sobar e as ocorrências de Ribeirão Sargento

O Sinclinal de Sobar, por sua vez, foi definido a partir da interpretação sísmica das linhas 0027 e 0026, que cortam o seu plano axial (NNE-SSW) em seções de alto ângulo aproximadamente *dip* (Figura 67).

Figura 67 – Seções geológicas do Sinclinal de Sobar
SEÇÃO GEOLÓGICA LINHA 0027

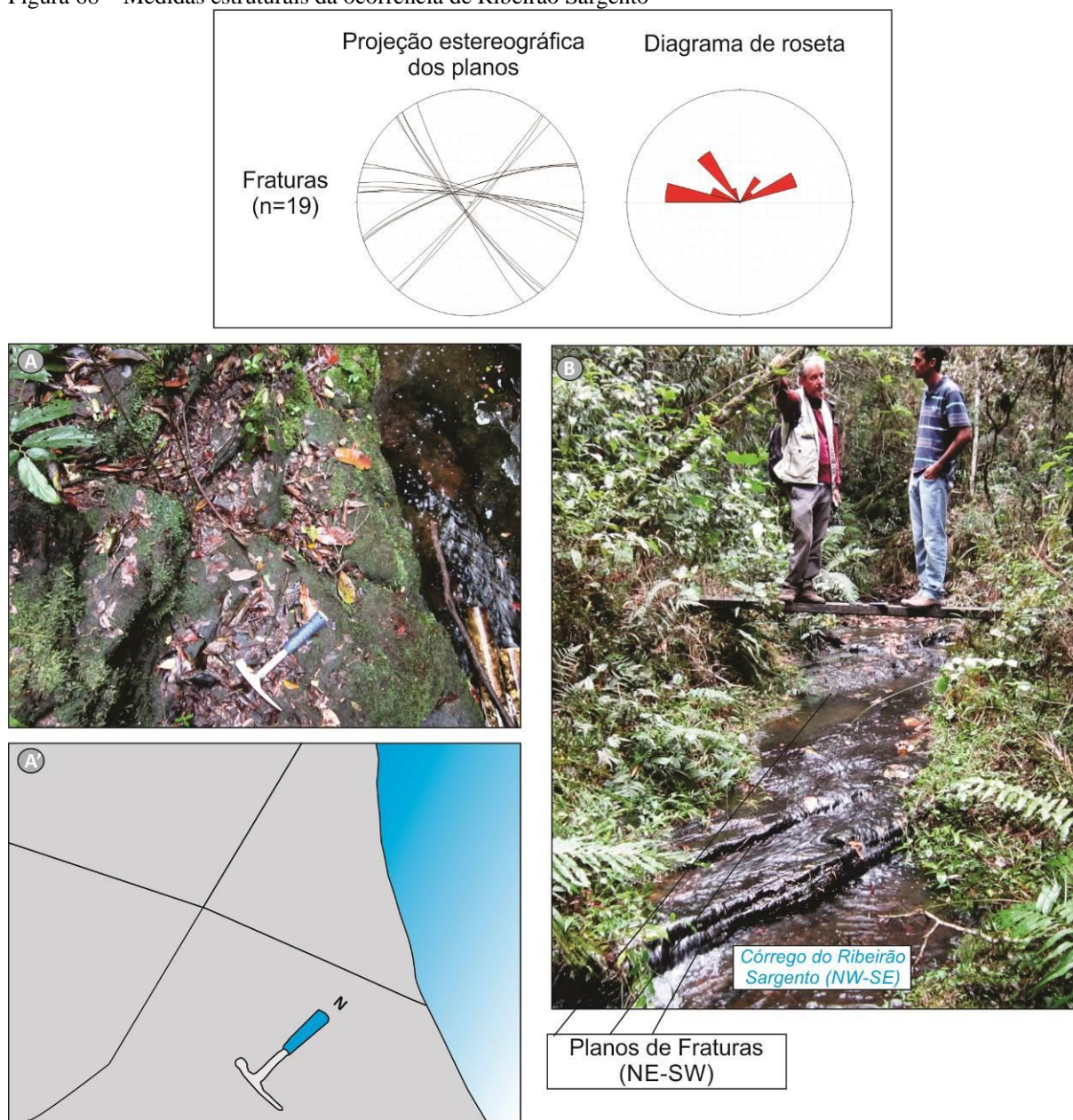


Nota: Seções geológicas para as linhas 0021 e 0026 que permitiram a interpretação do Sinclinal de Sobar. Esta feição de direção NE é controlada por falhas normais e compartimenta estruturalmente as ocorrências de Ribeirão Sargento I e II e de Sobar I e II.

Fonte: O autor, 2015.

A ocorrência de Ribeirão Sargento ou Sobar III está localizada no leito de um afluente do Rio Capivari, o Ribeirão Sargento, nos fundos de uma madeiraira. O córrego tem uma direção NW-SE seguindo o padrão de drenagem dos lineamentos radiais da Estrutura do Jacu. As fraturas medidas são predominantemente NE e NW com juntas de orientação ENE e WNW subsidiárias (Figura 68).

Figura 68 – Medidas estruturais da ocorrência de Ribeirão Sargento



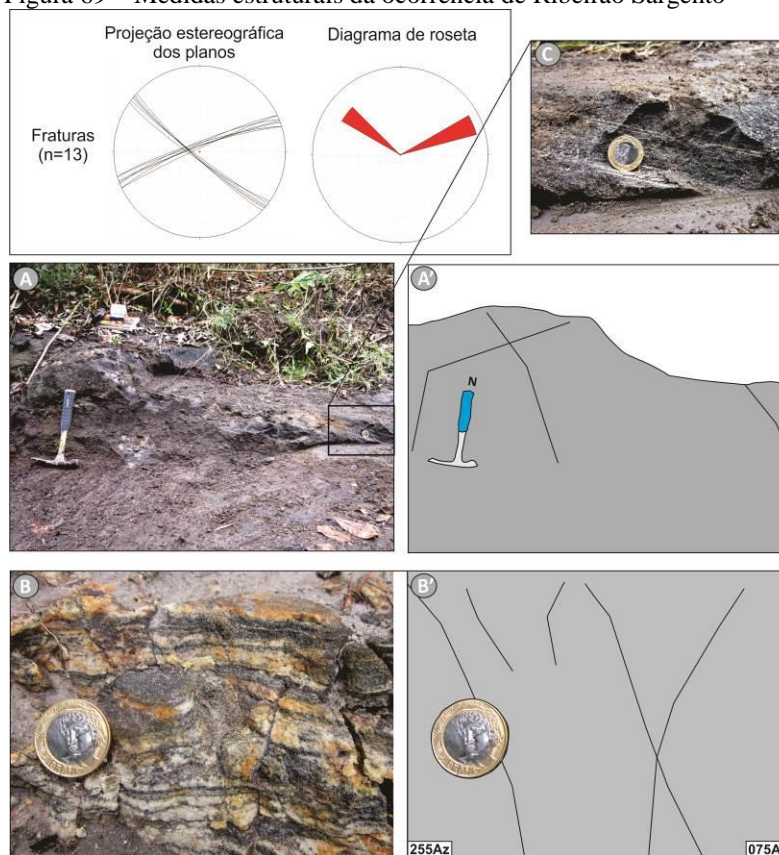
Nota: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas para 19 atitudes de juntas na ocorrência de Ribeirão Sargento mostrando um padrão predominante NE e NW, subordinado por um padrão ENE/NNW. Em A (foto) e A' (interpretação), mostrando o padrão conjugado das juntas. Em B, foto do leito do córrego Ribeirão Sargento onde aflora o arenito impregnado mostrando um padrão de fraturamento conjugado (NE) ao lineamento (NW) subsidiário a Estrutura do Jacu.

Fonte: O autor, 2015.

Embora não tenha sido possível verificar as ocorrências de Sobar e Sobar II por motivos de acesso, durante a tentativa foi encontrado um novo ponto de afloramento de arenito asfáltico na triangulação destas com a do Ribeirão Sargento. Esta nova ocorrência foi chamada aqui de Ribeirão Sargento II, e ocorre em dois pontos distantes aproximadamente 50 m, caracterizando assim uma mesma ocorrência. São exposições em planta, chapadas em acessos precários feitos por tratores em área de plantações de Pinus para a extração de resina. As coordenadas dos pontos para verificação são: (-48,35721°W / -23,35920°S ; -48,35793°W / -23,35875°S).

Na maior parte das exposições, os arenitos estão bastante impregnados, com algumas faixas não impregnadas (Figura 69.C) e onde ocorrem maior densidade de fraturas a impregnação é menor com oxidação associada (Figura 69.B). Há indícios de intrusivas associadas pela quantidade de blocos desagregados de rocha ígnea básica por toda a área da ocorrência.

Figura 69 – Medidas estruturais da ocorrência de Ribeirão Sargento



Nota: Projeção estereográfica e diagrama de rosetas para 13 atitudes de juntas na ocorrência de Ribeirão Sargento II mostrando um padrão predominante NE e NW. Em A (foto) e A' (interpretação), mostrando o padrão conjugado das juntas. Em B, foto evidenciando menor grau de impregnação em relação a C, devido a intensificação do fraturamento.

Fonte: O autor, 2015.

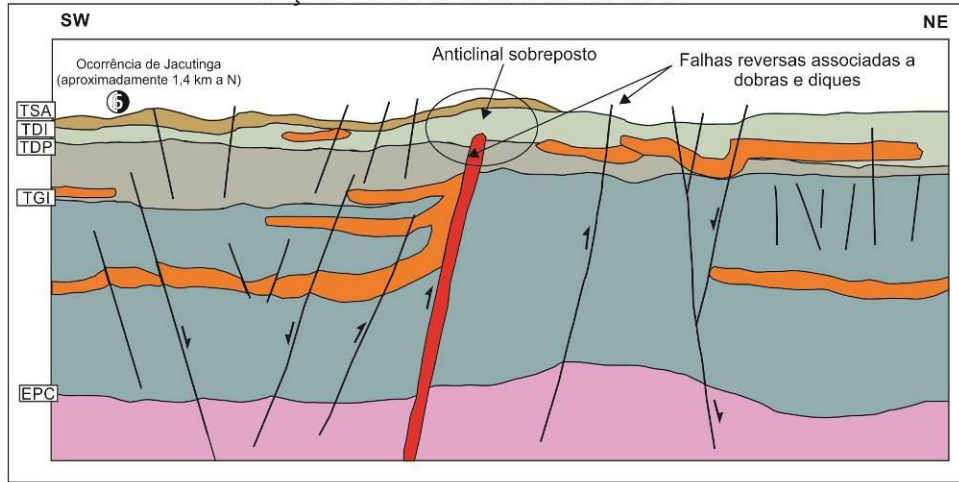
5.3.3 A ocorrência de Jacutinga

A ocorrência de Jacutinga localizada a sudoeste do município de Guareí foi descrita por Araújo *et al.* (2004) como um afloramento de arenito grosso da Formação Tatuí (equivalente a Formação Rio Bonito) impregnado com betume. Embora bem referenciado e com uma toponímia localizada na segunda expedição de campo (300 m da Capela Santa Cruz, em um barranco de riacho), não se constatou o afloramento *in situ*, apenas fragmentos de rocha. No lugar, apenas verificou-se afloramento de siltitos da Formação Serra Alta.

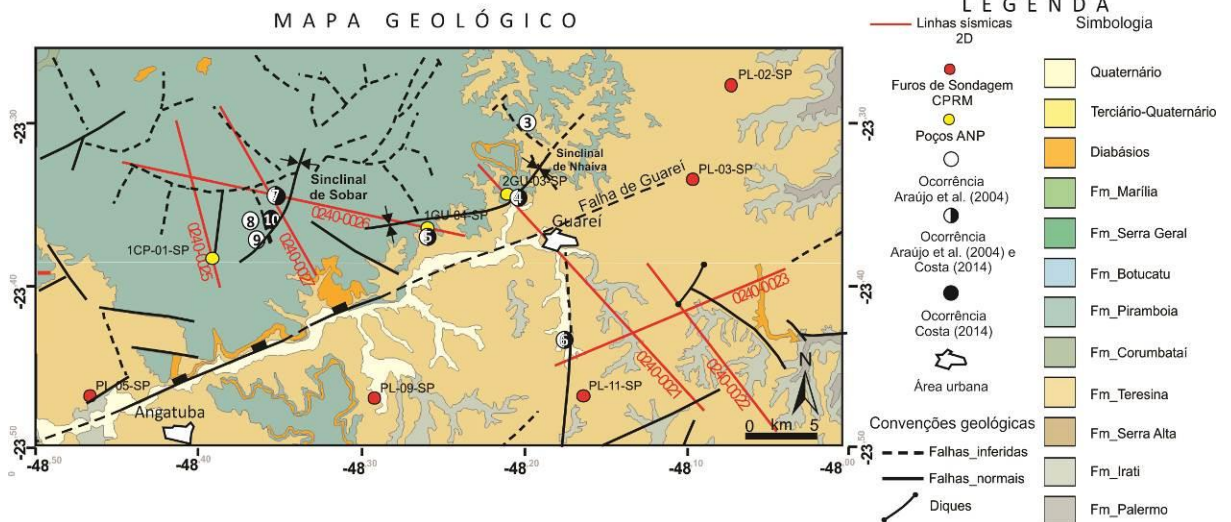
Todavia, a interpretação sísmica da linha 0023 que passa a 1,4 km dali, permitiu contextualizar a ocorrência como associada a falhas reversas que possivelmente colocaram em contato lateral a geradora da Formação Irati (estratigraficamente acima) com os arenitos da Formação Rio Bonito (estratigraficamente abaixo) possibilitando a migração. A geologia de superfície corrobora com essa possibilidade, onde a unidade Formação Irati aflora em meio a rochas da Formação Serra Alta (Figura 70).

Figura 70 – Seção geológica da ocorrência de Jacutinga

SEÇÃO GEOLÓGICA LINHA 0023



MAPA GEOLÓGICO



LEGENDA

Simbologia

- Linhas sísmicas 2D
- Furos de Sondagem CPRM
- Poços ANP
- Ocorrência Araújo et al. (2004)
- Ocorrência Araújo et al. (2004) e Costa (2014)
- Ocorrência Costa (2014)
- Área urbana
- Quaternário
- Terciário-Quaternário
- Diabásios
- Fm_Marília
- Fm_Serra Geral
- Fm_Botucatu
- Fm_Pirambóia
- Fm_Corumbataí
- Fm_Teresina
- Fm_Serra Alta
- Fm_Irati
- Fm_Palermo

Convenções geológicas

- - - Falhas_inferidas
- Falhas_normais
- ↗ Diques

Nota: Seção geológica para a linha 0023 que permitiu a interpretação de falhas reversas associadas a intrusão de dique e dobramentos locais. O mapa geológico corrobora com essa interpretação, de onde é possível verificar um dique de direção NE-SW mapeado, associado a uma falha reversa (NW-SE) que possibilitou o afloramento da Formação Irati em meio a Formação Serra Alta / Teresina.

Fonte: O autor, 2015.

6 MODELO DE MIGRAÇÃO E ARMADILHAS DE HIDROCARBONETOS

6.1 Introdução

Alguns modelos de geração, migração e trapeamento para os sistemas petrolíferos da Bacia do Paraná - inclusive em específico para as acumulações de arenitos asfálticos do centro-leste paulista - já foram amplamente discutidos e debatidos na literatura. Desse modo, caberá a este capítulo abordar alguns destes modelos focados na migração e formação de armadilhas para as ocorrências de arenitos asfálticos deste contexto.

Em soma, apresentar os resultados obtidos neste trabalho na tentativa de contribuir para a discussão, formulando um modelo de migração e armadilhas específico e na escala de detalhe para as ocorrências de Nhaíva, Capela Velha, Ribeirão Sargento I e II e Jacutinga, na região do município de Guareí-SP.

6.2 Resgate bibliográfico

Sob a perspectiva da escala de bacia, Zalán & Milani (1999), enfatizam que a maturação dos sistemas petrolíferos Irati-Rio Bonito (!) e Irati-Piramboia (!) é não-convencional, amplamente influenciada pelo calor derivado das soleiras de diabásio que intrudiram próximo ou nas rochas geradoras, sendo a maior parte da geração dada pelo contato direto dos diabásios com o folhelho gerador imaturo. No que diz respeito aos selos, a rocha capeadora para o reservatório da Formação Rio Bonito é dada por fácies argilosas da própria unidade, enquanto que os selos para os reservatórios do Piramboia são rochas basálticas. As trapas são em sua maioria estrutural.

Quando se analisa os elementos, processos e sincronismo dos sistemas na escala local das ocorrências, outros detalhes emergem e necessitam de discussão, como por exemplo, a própria heterogeneidade do reservatório dada por fácies de duna arenosas e de interduna mais argilosas, que parecem funcionar como selo já que notadamente não apresentam impregnação.

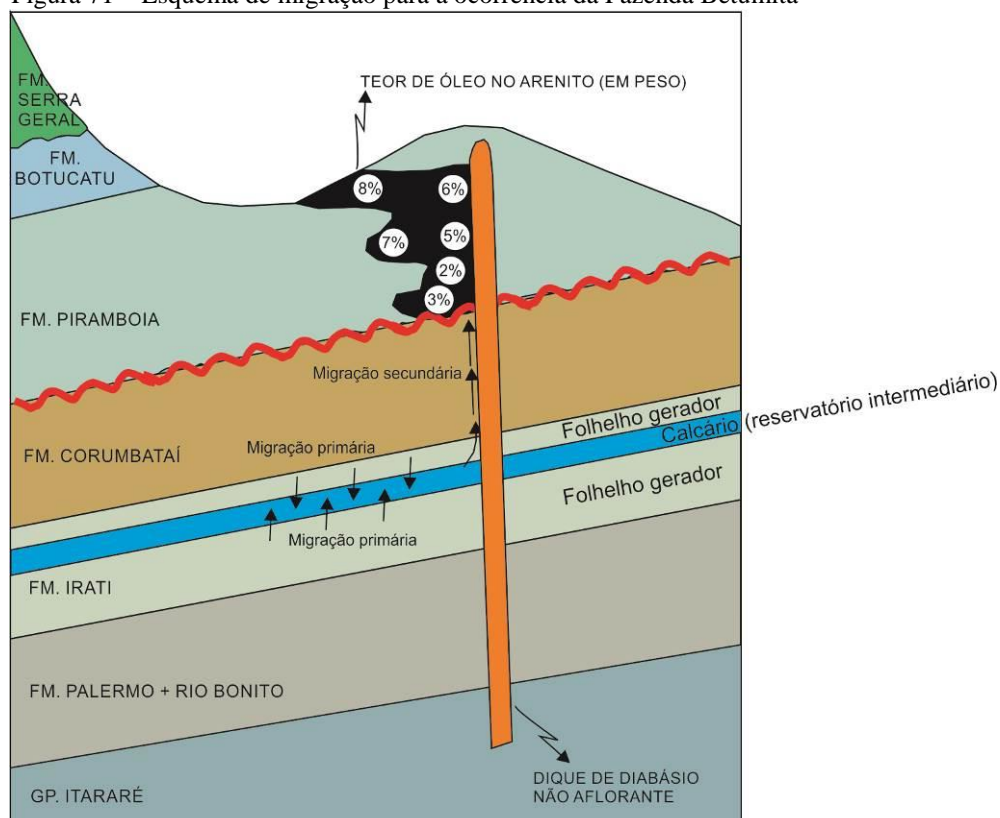
A interpretação sísmica também sugere que além da compartimentação de origem tectônica dada por falhas, ocorrem associadas estruturas de origem atectônica fruto da

intrusão de soleiras e de diques de diabásio, o que torna obrigatório um resgate bibliográfico dos eventos na escala das ocorrências.

Pelo menos três trabalhos apresentaram modelos relevantes a este estudo, o trabalho de Thomaz Filho (1982) voltado para a ocorrência da Fazenda Betumita (Anhembi-SP); o estudo de Araújo *et al.* (2005) para as ocorrências de arenitos asfálticos do Triássico Inferior no centro-leste paulista (que compila vários autores); e o trabalho de Araújo *et al.* (2006) focado nas ocorrências do Alto Estrutural de Anhembi.

Thomaz Filho (op. cit.) em referência O Quadros (1981), sugere que houve uma migração primária do óleo gerado não-convencionalmente nos folhelhos da Formação Irati, para os calcários porosos e permeáveis que ocorrem intercalados a estes, funcionando como um reservatório intermediário, de onde, numa fase seguinte, migraria secundariamente para os arenitos eólicos da Fm Piramboia decorrente ao intenso fraturamento causado pelo Magmatismo Serra Geral no Cretáceo Inferior (Figura 71).

Figura 71 – Esquema de migração para a ocorrência da Fazenda Betumita



Nota: O autor sustenta a hipótese de que os calcários da Fm Irati que intercalam o folhelho gerador funciona como um reservatório intermediário. No modelo, o autor também associa o controle estrutural associado a diques de diabásio no trapeamento horizontal das acumulações.

Fonte: Adaptado de Thomaz Filho, 1982. P. 2348, figura 5.

A partir de perfurações na ocorrência da Fazenda Betumita, Thomaz Filho (op. cit.) sugere ainda que um dique não aflorante amostrado em 4 dos 26 poços, controla estruturalmente o traçamento horizontal da acumulação. Em adendo, suporta a ideia de que por a acumulação ocorrer apenas em um dos lados do dique, há um fluxo hidrodinâmico de dentro para fora da bacia envolvido enfatizando a importância dos diques na migração vertical do óleo (o maior volume impregnado ocorre próximo a ele) e no aprisionamento lateral do óleo funcionando como uma barreira impermeável (vide Figura 71).

Partindo para um contexto local, mas que abrange várias ocorrências, Araújo *et al.* (2005), enfatizam que o principal controlador para a formação das trapas, magmatismo e maturação, e caminhos de migração é a rede estrutural dominada por lineamentos NW e NE controladas pela reativação de falhas pré-existentes do embasamento durante o episódio tectônico do Juro-Cretáceo. Compilando vários autores, propuseram o esquema exposto na Figura 72 um sumário dos caminhos de migração para as acumulações de arenitos asfálticos do centro leste paulista (A) e a evolução sistemática da estratigrafia, estrutural, magmatismo e migração em 4 episódios ao longo do tempo (1, 2, 3 e 4).

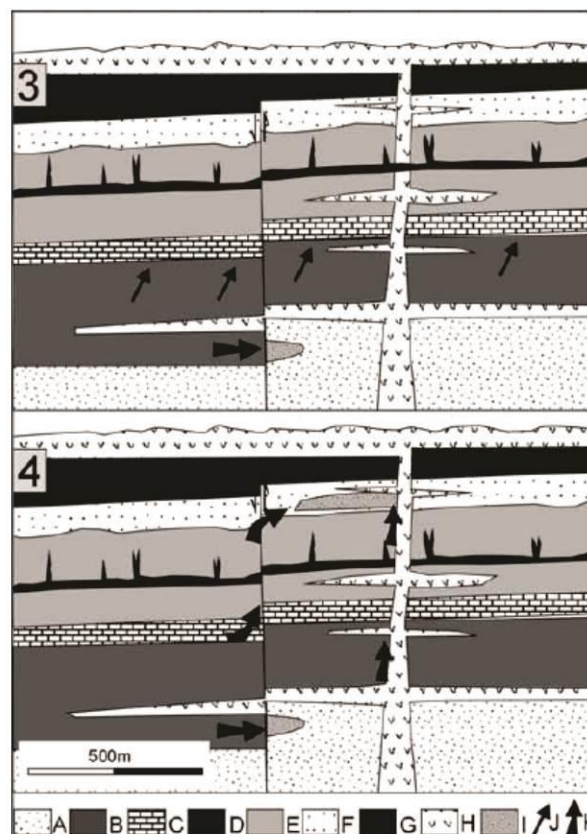
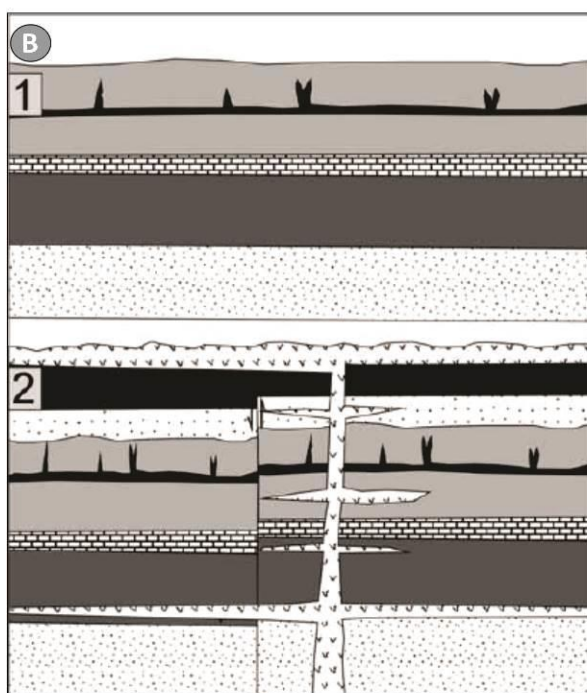
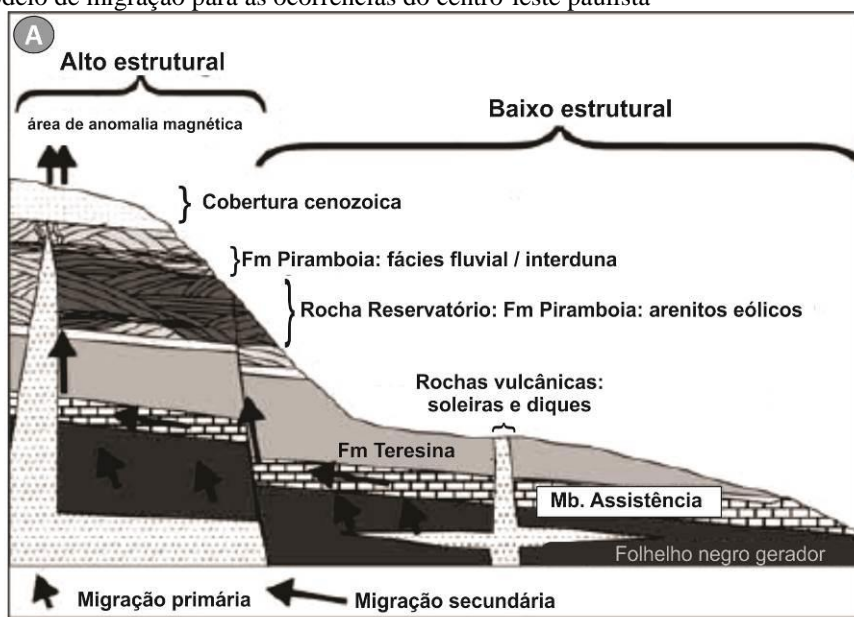
Em (1), houve o aquecimento anômalo da rocha geradora contida na Formação Irati (Permiano Superior) resultante da maturação termal pelo magmatismo basáltico do Cretáceo Inferior, que intruiu vários níveis estratigráficos da bacia na forma de soleiras e diques de diabásio além de uma enorme capa de derrame de lavas.

Um estágio à frente (2), a migração aconteceu ao longo de zonas de falhas reativadas durante o ciclo tectônico do Juro-Cretáceo, e ao longo de outras discontinuidades no preenchimento da bacia. Esta atividade estrutural teria criado um arranjo de blocos estruturais controlado por falhas que focaram a migração ao longo de suas margens, e proporcionaram o dobramento forçado da cobertura sedimentar próximo do contato das falhas. Tanto a rocha geradora quanto a reservatório estão próximas desses altos estruturais na área de ocorrência das acumulações.

No estágio que segue (3), a reativação estrutural resultou não somente no fraturamento dos pacotes envolvidos aumentando a sua permeabilidade, como também a dilatação tridimensional junto de falhas transcorrentes (NW) e diques (NE) funcionando como barreira local para a migração.

Finalmente, em (4), as acumulações ocupam os estratos basais da Formação Piramboia - principalmente as fácies eólicas do arenito - ocorrem abaixo de selos argilosos e contra as paredes de diques.

Figura 72 – Modelo de migração para as ocorrências do centro-leste paulista



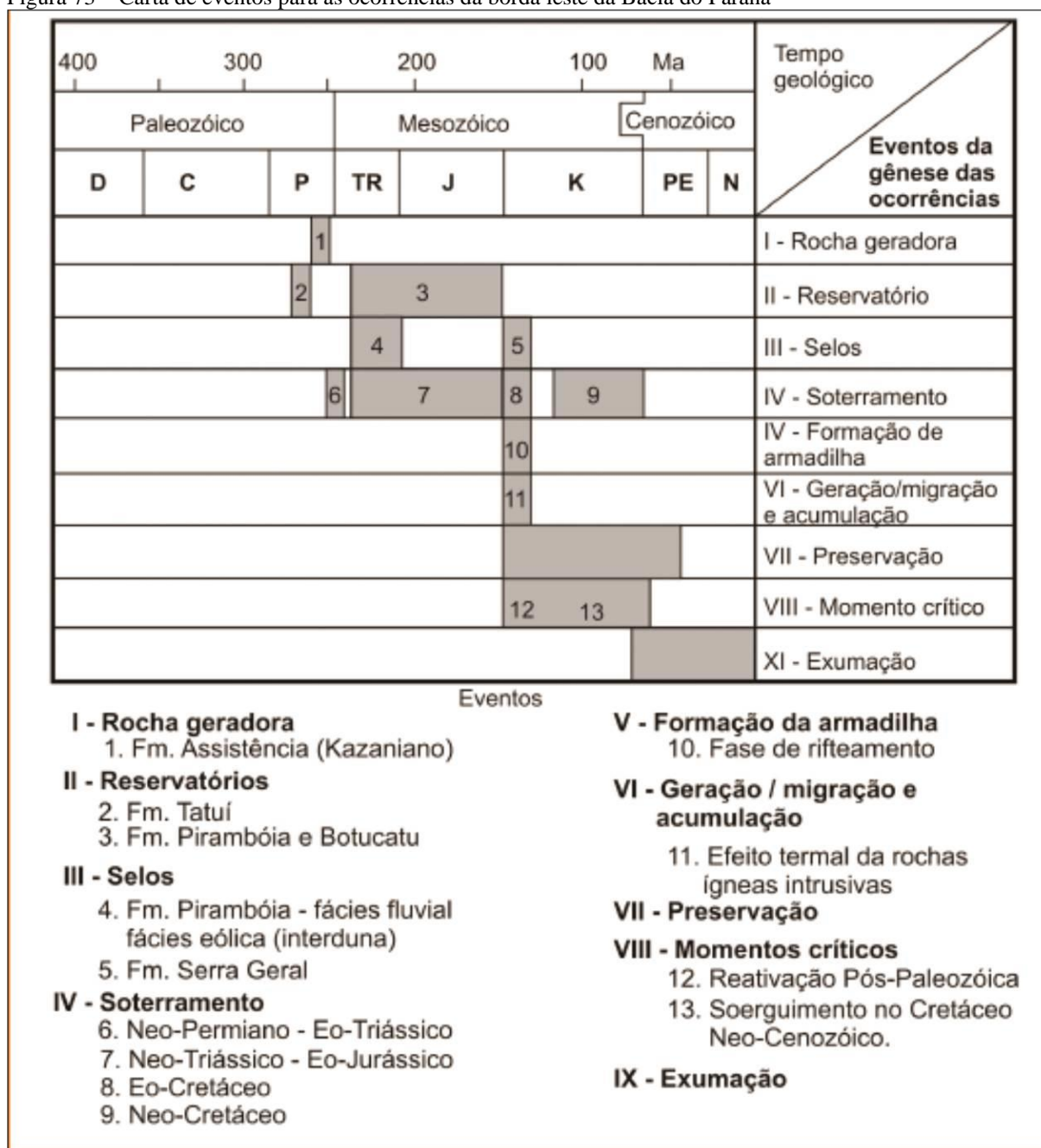
A: Fm Tatui (Rio Bonito); E: Fm Teresina; I: Arenitos asfálticos;
 B: Mb Taquaral da Fm Irati; F: Fm Piramboia; J: Migração primária;
 C: Mb Assistência da Fm Irati; G: Fm Botucatu; K: Migração secundária.
 D: Sismitos na Fm Teresina; H: Fm Serra Geral;

Nota: Em (A), sumário dos caminhos de migração e acumulações. Em (B), evolução sistemática em 4 episódios dos eventos que culminaram com as acumulações de arenitos asfálticos (vide texto).

Fonte: Araújo *et al.*, 2005. p. 682, figura 8.

Para as acumulações do Alto Estrutural de Anhembi, a norte da área de estudos, Araújo *et al.* (2006) modificado de Araújo (2000), elenca no tempo os principais elementos e cronologia relacionados a gênese dos arenitos asfálticos da borda leste da Bacia do Paraná na forma de um quadro de eventos expresso na Figura 73.

Figura 73 – Carta de eventos para as ocorrências da borda leste da Bacia do Paraná



Fonte: Araújo *et al.*, 2006. P. 65, figura 12.

A carta de eventos traz consigo dois momentos críticos, o primeiro relacionado a reativação pós-paleozoica (12) associado ao Magmatismo Serra Geral (5) que possibilitou a geração/migração/acumulação (11), bem como a formação de armadilhas (10); e o segundo (13) relacionado o soerguimento no Cretáceo-Neo-Cenozoico que aumentou o soterramento (9) da bacia com os pacotes das Supersequências Gondwana III e Bauru influenciando na preservação (VII).

A exumação apontada em (XI), sugere que as acumulações hoje expostas são áreas remanescentes de altos estruturais erodidos.

Araújo *et al.* (2006), ressalta ainda que houve contemporaneidade dos eventos de geração e migração durante um período de 10 milhões de anos - correspondente a duração do evento tectono-magmático em resposta a reativação mesozoica - e que, esta contemporaneidade também teria proporcionado perda de hidrocarbonetos por falta de sincronismo em locais que não houveram a formação de selos dada por soleiras, diques e derrames.

6.3 Contribuição da implantação das intrusivas aos modelos de migração e armadilhas

Os resultados obtidos nas diversas escalas de observação - principalmente através da interpretação sísmica - permitiram apontar pelo menos dois fatores controladores para a migração e geração de armadilhas que possibilitaram as acumulações de hidrocarbonetos da região de Guareí: um tectônico responsável pela compartimentação e estilo estrutural das trapas, bem como facilitador para a condução e implantação de intrusivas; e um deformacional relacionado a estruturas associadas a soleiras e diques de diabásio (Figura 74).

O primeiro fator contempla a estruturação em resposta aos esforços tectônicos que reativaram as falhas NW e NE da bacia durante o Magmatismo Serra Geral no Eo-Cretáceo. Para este, tem-se na escala local o exemplo da Zona de Falha de Guareí onde foi verificado nas linhas sísmicas (0021, 0025 e 0027 - seções dip à falha) haver uma área de preferência para a intrusão de diques alimentadores.

Além de funcionar como facilitadora de descontinuidades para a intrusão e propagação de magmas, é possível que o caráter normal da Zona de Falha de Guareí (e as suas subsidiárias de menor porte) tenha diminuído consideravelmente a rota de migração colocando a geradora da Formação Irati (estratigraficamente abaixo, Permiano Superior) a uma menor distância vertical com o reservatório da Formação Piramboia (estratigraficamente acima, Triássico Inferior). A mesma justaposição pode ser trazida para a ocorrência de Jacutinga, embora a aproximação/contato se dê sob um cenário de falhas reversas.

Concordantemente a direção da Falha de Guareí, uma sucessão de falhas sintéticas e antitéticas a esta, conjugam altos e baixos estruturais relativos que deslocam e/ou arqueiam as camadas. As ocorrências de arenitos asfálticos tem preferência pelos flancos de subida de um baixo para um alto, como é o caso dos sinclinais de Sobar e Nhaíva.

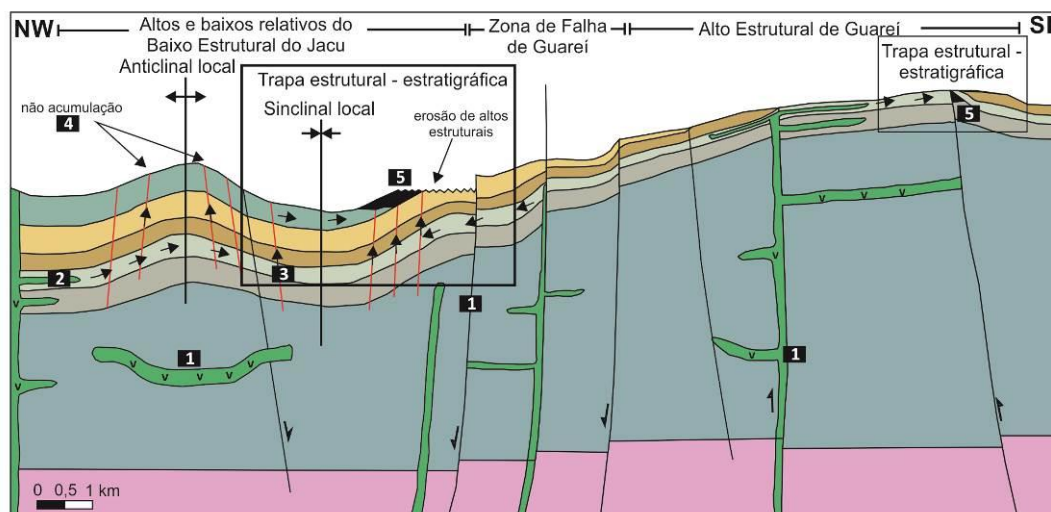
Todavia, a interpretação sísmica permitiu constatar que algumas falhas mais rasas que atingem os elementos do sistema petrolífero em estudo ocorrem preferencialmente acima de soleiras em formato de pires encontradas em todas as linhas interpretadas, com maior frequência no pacote do Grupo Itararé.

Como visto no Capítulo 4, estas falhas estariam associadas a dobramentos forçados sob condições mais avançadas na evolução de uma soleira em formato de pires. Desse modo, há uma relação genética entre a geometria da intrusiva e o dobramento forçado/falhas extensionais que atingem as camadas imediatamente acima dos corpos das soleiras, sendo uma resposta direta a implantação da intrusiva e não a esforços tectônicos aplicados a bacia, havendo uma contribuição deformacional aos fatores controladores da migração e acumulação.

Além dos dobramentos forçados e falhas extensionais, outras estruturas associadas à intrusão de diques também foram reconhecidas, como sinclinais e anticlinais periféricos, anticlinais sobrepostos, dobras e falhas reversas, contribuindo para um arcabouço estrutural complexo.

Com duas gêneses possíveis, o arqueamento estrutural das camadas controladas por falhas normais (fator tectônico) e/ou associados a soleiras e diques de diabásio (consequência da implantação), poderiam explicar a preferência das ocorrências pelos flancos de subida de sinclinais para anticlinais: neste cenário, os siltitos pouco permeáveis da Formação Teresina ocorreriam localmente em contato lateral com o reservatório funcionando como rocha selante.

Figura 74 – Modelo de migração e armadilhas para a área de estudos
Modelo de migração e armadilhas - Arenitos Asfálticos de Guareí



SIMBOLOGIA E EVENTOS

| Estratigrafia | Elementos | Processos | Rotas e Trapas | Acumulações |
|--|---|---|---|---|
| <p>CRETÁCEO</p> <p>Fm Serra Geral</p> | Selo / Rocha Sobreposta | <p>1 2 3 4</p> <p>Rotas de migração</p> | <p>Sinclinal controlado por falhas</p> <p>Falha normal tectônica</p> <p>Falha reversa tectônica</p> <p>Falhas tectônicas e/ou associadas a intrusivas</p> | <p>5</p> <p>Arenitos Asfálticos (Fm Piramboia e Rio Bonito)</p> |
| <p>TRIASSICO</p> <p>Fm Piramboia</p> | Rocha Reservatório | | <p>Trapa faciológica (fácies de interduna)</p> <p>Trapa estratigráfica</p> | |
| <p>PERMIANO</p> <p>Fm Teresina</p> <p>Fm Serra Alta</p> <p>Fm Irati</p> <p>Fm Palermo/Rio Bonito</p> <p>Grupo Itararé</p> | <p>Selo / Rocha Sobreposta</p> <p>Rocha Sobreposta</p> <p>Rocha Geradora</p> <p>Rocha Reservatório</p> <p>Rocha Sotoposta</p> | | | |
| Embasamento | | | | |

Nota: Sumário esquemático das rotas de migração e armadilhas para as acumulações de arenitos asfálticos da região de Guareí.

Legenda: Em (1), as reativações tectônicas das estruturas do embasamento de direção NW e NE, que possibilitaram a implantação de diques e soleiras de diabásio durante o Magmatismo Serra Geral. Em (2), geração do folhelho imaturo da Fm. Irati por ação termal das soleiras e diques de diabásio. Em (3), migração da geradora para o reservatório ao longo de fraturas de origem tectônica e associadas à intrusão de soleiras em formato de pires. Em (4), o hidrocarboneto gerado foi perdido pelo sistema por falta de selo. Em (5), acumulação ocorre quando falhas normais conjugam um sinclinal propiciando as acumulações no flanco de subida destes, selada lateralmente por siltitos da Formação Teresina (modelo para as ocorrências do Sinclinal de Sobar e do Sinclinal de Nhaíva). As acumulações também podem ocorrer no contexto de falhas reversas que colocaram em contato lateral direto a rocha geradora com arenitos da Formação Rio Bonito (modelo para a ocorrência de Jacutinga).

Fonte: O autor, 2015.

A justaposição da geradora da Formação Irati com o reservatório da Formação Rio Bonito promovida pelo controle estrutural dado por falhas, também foi observada por Loufí *et al.* (2010) na área carbonífera de Santa Catarina, entretanto, sob um contexto de rejeito

normal, em que a migração ocorreu concomitante ao derrame basáltico associado a Formação Serra Geral.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A observação das ocorrências de arenitos asfálticos da região de Guareí sob as perspectivas da mega, macro e meso escalas, e através de diferentes materiais e métodos (gravimetria, magnetometria, sensoriamento remoto, geologia de superfície, linhas sísmicas 2D, análise e correlação de poços e nível de reservatório), constatou que o arcabouço estrutural que configura a área de ocorrências destas acumulações é complexo, exibindo um fator controlador principal de caráter tectônico em resposta a esforços sofridos pela bacia, e outro deformacional contributivo e associado à intrusão de soleiras e diques de diabásio.

De maneira conclusiva, elencam-se aqui seis tópicos que se considerou relevante à discussão após os resultados obtidos frente aos métodos de interpretação utilizados: 1) geometria das soleiras reconhecidas nas linhas sísmicas 2D; 2) as estruturas que ocorrem associadas as soleiras e diques mapeados na sísmica; 3) a definição de rotas de migração; 4) a definição de trapas mistas como condicionadoras das acumulações; 5) a sincronia dos eventos relacionadas com o Magmatismo Serra Geral; e 6) a confiabilidade da correlação dos dados.

Quanto à geometria das soleiras

Foram reconhecidas cinco geometrias de soleiras na área de estudos segundo a classificação de Planke *et al.* (2005): paralela a camada, levemente em formato de pires, em formato de pires irregular, em formato de pires cavalgante e bloco de falhas. As soleiras ocorrem em todos os pacotes interpretados tendo como preferências o Grupo Itararé e a interface Palermo/Irati.

Como se tratam de linhas 2D, não foi possível caracterizar as medidas de soleiras quando ao diâmetro, nem tampouco a espessura já que não houve conversão tempo-profundidade. Entretanto, os “cortes” das soleiras mapeadas variam de pouco mais de 1 km até pouco mais do que 10 km de largura, e as soleiras mais espessas são reconhecidas intrudindo os pacotes do Grupo Itararé. Isto é corroborado na escala de poço, onde no poço 1-CP-01-SP há uma soleira de 110 m de espessura no pacote basal do Grupo Itararé, enquanto que as soleiras que intrudem as formações Irati e Palermo possuem uma espessura variando entre 2 a 9 metros (Poços 2-GU-03-SP, 1-GU-04-SP, PCE-16-SP e PL-09-SP). No caso da

Formação Irati, ainda há contribuição de afloramentos como análogo, corroborando com essa ordem de espessura.

Soleiras compostas e complexos de soleiras formados pela junção das extremidades ou por confinamento de uma soleira(s) contra a(s) outra(s) foram também observadas, enfatizando a densa e emaranhada rede de soleiras e diques comuns a uma província magmática como é a Bacia do Paraná.

Quanto às estruturas associadas

Relacionam-se as soleiras em formato de pires mapeadas, domeamentos forçados logo acima dos corpos intrusivos, associados a intenso fraturamento de caráter extensional e normal. Através desse reconhecimento na sísmica, foi possível estipular que o padrão anelar com falhas ortogonais associadas que configuram a Estrutural do Jacu, pode ter uma relação de causa e efeito com soleiras em formato de pires sotopostas.

No que diz respeito às estruturas associadas à intrusão de diques, foram reconhecidos anticlinais e sinclinais periféricos, anticlinais sobrepostos, dobras e falhas reversas, além de falhas formais.

As estruturas planares (falhas e fraturas) e feições de arqueamento/dobramento podem contribuir, respectivamente, para a potencialização da migração e trapeamento de hidrocarbonetos no contexto geológico em estudo.

Quanto à migração

A migração ocorre ao longo de falhas e fraturas reativadas durante o Magmatismo Serra Geral, sendo estes caminhos de origem tectônica em resposta a esforços sofridos pela bacia no Eo-Cretáceo, e também ao longo de fraturas associadas à intrusão de soleiras em formato de pires e diques de diabásio que afetam as camadas mais rasas em sobreposição a estes corpos intrusivos.

Estruturas locais importantes como a Zona de Falha de Guareí, através de seu rejeito normal, podem ter diminuído a rota de migração entre a geradora e o reservatório.

Quanto às armadilhas

Foram identificadas dois tipos de trapas mistas (estrutural e estratigráfica) sob dois cenários estruturais diferentes: no primeiro as acumulações ocorrem nos flancos de subida de sinclinais controlados por falhas normais (trapa estrutural), pondo localmente os siltitos selantes da Formação Teresina em contato lateral com o reservatório da Formação Piramboia de modo a impedir a migração do óleo (trapa estratigráfica). O segundo, em um contexto de falhas reversas (trapa estrutural), o folhelho gerador da Formação Irati é justaposto lateralmente a arenitos da Formação Rio Bonito que são selados e aprisionados por trapas estratigráficas.

Pode-se dizer então, que as trapas para as ocorrências do Sinclinal de Nhaíva (ocorrências de Capela Velha e Nhaíva) e do Sinclinal de Sobar (ocorrências de Ribeirão Sargento I e II e Sobar I e II) são trapas mistas estrutural-estratigráfica de origem tectônica e associada à intrusão de soleiras e diques de diabásio.

É contributivo e enfático ressaltar, que devido à grande extensão areal da Bacia do Paraná e da emaranhada rede de soleiras que a configuram como uma província magmática, este trabalho possibilita reduzir a busca exploratória por acumulações de hidrocarbonetos associados aos Sistemas Petrolíferos Irati-Piramboia (!) à regiões sobrepostas a soleiras em formato de pires que apresentem domeamentos locais forçados e falhas associados, pois além de facilitarem a migração, as estruturas podem promover respectivamente, fechamentos em quatro direções ou contra falhas, configurando possíveis armadilhas.

Com isso, o controle estrutural e das intrusivas que possibilitaram as ocorrências aflorantes da região de Guareí-SP, podem ser análogos consideráveis as porções bacia a dentro onde o sistema petrolífero encontra-se sob condições de soterramento.

Quanto à sincronia de eventos

Embora se associe os processos de geração, migração e acumulação a um sincronismo de eventos ocasionado pelo Magmatismo Serra Geral, a interpretação de soleiras com geometria cavalgante (7) e bloco de falhas (9) sugere que há pelo menos dois episódios importantes de manifestação magmática em referência aos esforços de reativação tectônica:

um primeiro sincrônico em que o magma acompanha os saltos estratigráficos durante o deslocamento (fácies cavalgante) aproveitando a zona de fraqueza da falha; e um segundo em que a soleira já formada é deslocada (fácies bloco de falha) junto com a encaixante.

Quanto às escalas de trabalho e a correlação dos dados

A metodologia aplicada na correlação de todos os dados disponíveis trouxeram resultados satisfatórios, havendo confiabilidade e coesão entre as escalas e materiais utilizados.

Enfatizando alguns exemplos, várias das áreas anômalas de baixos e altos gravimétricos foram reconhecidas na sísmica como altos e baixos estruturais do embasamento; anômalos magnéticos interpretados como possíveis soleiras tiveram-nas reconhecidas nas linhas sísmicas 2D; as famílias de lineamentos interpretados nas imagens SRTM condizem com a tendência estrutural da bacia em padrões NE e NW, subordinado por lineamentos E-W. A importância da Zona de Falha de Guareí notada primeiramente nos experimentos de bloco diagrama que levaram em consideração as cotas dos poços, foi reconhecida também na escala da sísmica. As linhas sísmicas 2D só foram interpretadas após a amarração dos poços 1-CP-01-SP, 2-GU-03-SP e 1-GU-04-SP, criando uma relação de tempo e profundidade entre as das escalas de trabalho. A geologia de superfície, através do mapa geológico e de expedições de campo, serviu como análogos diretos para as interpretações e correlações em subsuperfície. As atitudes estruturais medidas nas ocorrências de arenitos asfálticos tem correspondência com os padrões e estilões estruturais reconhecidos na bibliografia para a regional da bacia, bem como tem coesão interna com os lineamentos extraídos das imagens SRTM.

Recomendações

A baixa razão sinal/ruído das linhas sísmicas foi sem dúvida o maior empecilho na interpretação/mapeamento dos horizontes, estruturas e intrusivas, portanto, recomenda-se o

reprocessamento do dado *pré-stack* na tentativa de melhorar esta razão aumentando a confiabilidade das feições mapeadas.

Recomenda-se ainda que sejam feitos mapeamentos geológicos na escala de detalhe (1:10000; 1:25000) para as trapas definidas (Sinclinal de Nhaíva, Sinclinal de Sobar e Falhas Reversas de Jacutinga) na tentativa de verificar os compartimentos estruturais reconhecidos em subsuperfície, bem como verificar se o controle estratigráfico local dos siltitos da Formação Teresina como selos ocorrem de fato, e se ocorrem, se são regra ou exceção para o modelo de trapa definido.

REFERÊNCIAS

- ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Seminário Técnico-Ambiental da 12ª Rodada de Licitações da ANP, Bacia do Paraná**, 2013. Disponível em: <http://www.brasil-rounds.gov.br/arquivos/Seminarios_R12/apresentacao/r12_06_parana.pdf>. Acesso: em 13 de outubro de 2014.
- ALMEIDA, F.F.M. **Origem e evolução da Plataforma brasileira**. Rio de Janeiro DNPM-DGM, Boletim, 241, p.36. 1967.
- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B., FUCK, R.A. **Brazilian structural provinces: an introduction**. Earth Science Reviews, n. 17, p. 1-29. 1981.
- ANDERSON, E. M. **The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain**. Olivier and Boyd, p. 206. 1951.
- ARAÚJO, C. C., YAMAMOTO, J. K., ROSTIROLLA, S. P. **Distribuição espacial e caracterização geológica dos arenitos asfálticos da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo**. 2004. Revista Brasileira de Geociências 34, p. 187-200, 2004.
- ARAÚJO, C. C., YAMAMOTO, J. K., ROSTIROLLA, S. P. **Arenitos asfálticos na Bacia do Paraná: estudo das ocorrências no Alto Estrutural de Anhembi**. 2006. Bol. Geoc. Petr., v.14, n. 1, p. 47-70, nov.2005/maio 2006.
- ARAÚJO, C. C., YAMAMOTO, J. K., ROSTIROLLA, S. P., MADRUCCI, V., TANKARD, A. **Tar sandstones in the Paraná Basin of Brazil: structural and magmatic controls of hydrocarbon charge**. 2005. Marine and Petroleum Geology, Guildford, v. 22, n. 5, p.671-685, 2005.
- ARAÚJO, L. A., TRIGUIS, J. A., CERQUEIRA, J. R., FREITAS, L. C. S. **The atypical Permian petroleum system of the Paraná Basin, Brazil**. 2000. In: MELLO, M. R., KATZ, B. J. (Editors). Petroleum systems of South Atlantic margins. Tulsa, Okla.: Am. Assoc. Petr. Geol, Memoir 73, p.377-402, 2000.
- BDEP. Banco de Dados de Exploração e Produção, 2002. **Solicitação de dados públicos para fins estritamente acadêmicos**. Disponível em: < <http://www.bdep.gov.br/?id=213> > Acesso: em 28 de janeiro de 2013.
- BJØRLYKKE, K. **Fluid flow in sedimentary basins**. Sedimentary Geology, n. 86, p. 137-158. 1993.
- CABRAL, C. V. **Análise de biomarcadores nos arenitos asfálticos da borda leste da Bacia do Paraná**. 2006. 198p. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

- CHEVALIER, L. & WOODFORD, A. **Morpho-tectonics and mechanism of emplacement of the dolerite rings and sills of the western Karoo, South Africa.** S. Afr. J. Geol. n. 102, 43-54. 1999.
- CONCEIÇÃO, J. C. J.; ZALÁN, P.V.; DAYAN, H. **Deformações em rochas sedimentares induzidas por intrusões magmáticas: classificação e mecanismos de intrusão.** Bol. Geoc. Petr., v.7, n. 1/4, p. 57-91, 1993.
- CORDANI, U. G., BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A., PORTO, R., THOMAZ FILHO, A., CINHA, F. M. B. **Estudo preliminar de integração do pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras.** Ciência Técnica Petróleo, v.15, p.70. 1984.
- COSGROVE, J. W. & AMEEN, M. S. A comparison of the geometry, spatial organization and fracture patterns associated with forced folds and buckle folds. In: Cosgrove, J. W., Ameen, M. S. (Eds.), *Forced Folds and Fractures*. Geological Society, n.169, Special Publications, London, p. 7-21, 2000.
- EINSELE, G., GIESKES, J. M. **Intrusion of basaltic sills into highly porous sediments, and resulting hydrothermal activity.** Nature, n.283, p. 441-445, 1980.
- FIALKO, Y. **On origin of near-axis volcanism and faulting at fast spreading mid-ocean ridges.** Earth Planet. Sci. Lett. n. 190, p. 31-39. 2001.
- FRANCIS, E. H. **Magma and sediment – I. Emplacement mechanism of late Carboniferous tholeiite sills in northern Britain.** J. Geol. Soc. Lond. n. 139, p.1-20. 1982.
- GAMA JUNIOR, E. **A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati), um modelo geomórfico.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.9, n.1, p.1-16, 1979.
- GRETENER, P. E. **On the mechanics of the intrusion of sills.** Canadian J. of Earth Sci., n.6, p.1415-1420. 1969.
- HANSEN, D. M., CARTWRIGHT, J. A., THOMAS, D. **3D seismic analysis of the geometry of igneous sills and sill junctions relationships.** 2004. In: Davis, R J., Cartwright, J.A., Stewart, S.A., Lappin, M., Underhil, J.R. (Eds.), *3D Seismic Technology: Application to the Exploration of Sedimentary Basins*. Geological Society, London, p.199-208. Memoirs 29, 2004.
- HANSEN, D. M. & CARTWRIGHT, J. A. **The three dimensional geometry and growth of forced folds above saucer-shaped igneous sills.** Journal of Structural Geology, v. 28, p.1520-1535, 2006.
- KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I. **Geofísica de Exploração.** Tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. p. 438, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.
- LAVINA, E. L., LOPES, R. C. **A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul.** Paula Coutiana, Porto Alegre, n. 1, p. 51-103, 1986.

LEAMAN, D. E. **Form, mechanism, and control of dolerite intrusions near Hobart, Tasmania.** Journal of the Geological Society of Australia, n. 22, p. 175-186, 1975.

LISS, D., HUTTON, D. H. W., OWENS, W. H. **AMS fabrics and remanence of the Whin Sill (northern England).** European Geophys. Soc., News Letters, n.78, p. 88. 2001.

LOUTFI, I. S., PEREIRA, E., RODRIGUES, R., CARDOSO, C. L. **Controle tectonoestratigráfico dos processos de geração, migração e trapeamento do Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito, na região carbonífera de Santa Catarina.** In: Bol. Geoc. Petr., v.18, n. 2, p. 271-290, 2010.

MALTHE-SØRENSEN, A.; PLANKE, S.; SVENSEN, H.; JAMTVEIT, B. **Formation of saucer-shaped sills.** 2004. Geological Society of London, Special Publications, vol. 234, p. 215-227, 2004.

MAGOON, L. B. & DOW, W.G. **The petroleum system - from source to trap.** 1994. In: Am. Assoc. Petr. Geol, Memoir 60, p.3-24, 1994.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul-ocidental.** 1997. 2 v. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná.** In: Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Ed. Becca, p. 613, 2004.

MILANI, E. J., MELO, J. H. G., SOUSA, P. A., FERNANDES, L. A., FRANÇA, A. B. **Bacia do Paraná.** In: Bol. Geoc. Petr., v.15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MILANI, E. J. & RAMOS, V. A. **Orogenias paleozoicas no domínio sul-continental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, 28, p. 473-484, 1998.

MILANI, E. J., ZALÁN, P.V. **An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America.** Episodes, Ottawa, v. 22, n. 3, p. 199-205, 1999.

MUDGE, M. R. **Depth control of some concordant intrusions.** Geol. Soc. Am. Bull, n. 79, p.315-332. 1968.

NEUMANN, E. R.; PLANKE S.; MALTHE-SØRENSEN, A. **Emplacement mechanisms and magma flows in sheet intrusions in sedimentary basins.** In: Sill Emplacement-NFR, OSLO. VBPR Report, p. 1-10, 2003.

NORTHFLEET, A. A., MEDEIROS, R. A., MUHLMANN, H. **Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná.** Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, v.12, n.3, p.291-346, 1969.

OSRIN (Oil Sands Research and Information Network, University of Alberta). **Glossary of Terms and Acronyms used in Oil Sands Mining, Processing and Environmental Management** – December 2014 Update. 2014. 130p. Universidade de Alberta, Canada.

PEATE, D. W., HAWKESWORT, C. J., MANTOVANI, M. S. M. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution.** Bulletin of Volcanology, Berlin, v.55, p. 119-139, 1992.

PEREIRA, E., CARNEIRO, C. D. R., BERGAMASCHI, S., ALMEIDA, F. F. M. **Evolução das sinéclises paleozoicas: Províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná.** 2012. In: HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R., ALMEIDA, F. F. M., BARTORELLI, A. Geologia do Brasil, Ed. Becca, São Paulo, 2012.

PLANKE, S., RASMUSSEN, T., REY, S.S., MYKLEBUST, R. **Seismic characteristics and distribution of volcanic intrusions and hydrothermal vent complexes in the Vøring and Møre basins.** In: A.G. Doré and B.A. Vining (Editors), Petroleum geology: Northwestern Europe and global perspectives – Proceedings of the 6th Petroleum Geology Conference. Geological Society, London, 2005.

POLLARD, D. D. & JOHSON, A. M. **Mechanics of growth of some laccolithic intrusions in the Henry Mountains, Utah, II. Bending and failure of overburden layers and sill formation.** Tectonophysics, n.18, p. 311-354. 1973.

POLTEAU, S.; MAZZINI, A.; GALLAND, O.; PLANKE, S.; MALTHE-SØRENSEN, A. **Saucer-shaped intrusions: Occurrences, emplacement and implications.** Earth and Planetary Science Letters 266, p. 195-504, 2007.

PORTO, A. L. **Mapeamento sísmico de intrusões ígneas na porção sudeste da Bacia do Parnaíba e suas implicações para um modelo de sistema petrolífero não convencional.** 2014. 99p. Monografia (Graduação) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PROJETO BORDA LESTE CPRM/DNPM. **Integração geológica e avaliação econômica.** Mapas geológicos e furos de sondagens, 1985.

RAMOS, V. Late Proterozoic – **Early Paleozoic of South America: a collisional history.** Episodes 11, p. 168-174. 1988.

SCHNEIDER, R. L., MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F., NOGUEIRA, A. A. 1971. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre. Anais, SBG, v.1, p. 41-65. 1974.

SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., DERZE, G. R. ASMUS, H.E. **Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil (escala 1:2.500.000).** DNPM, p.501. 1984.

SHERIFF, R. E., 2002. **Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics.** Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, Oklahoma, Estados Unidos. 2002.

SILVA, F. D. **Mapeamento sísmico de intrusões ígneas na Bacia do Amazonas e suas implicações para um modelo não-convencional de geração de hidrocarbonetos.** 2012. 91p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

STEARNS, D. W. **Faulting and forced folding in the Rocky Mountains foreland.** Geological Society of America, Memoir 151, p. 1-37. 1978.

SZABÓ, G. A. J., BABINSKI, M., TEIXEIRA, W. **Cap. 16 - Rochas ígneas.** IN: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M. C. M., FAIRCHILD, T. R., TAIOLI, F. (Editors), Decifrando a Terra, p. 558, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2003.

THOMAZ FILHO, A. **Ocorrência de arenito betuminoso em Anhembi (SP) – Cubagem e condicionamento geológico.** 1982. In: XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. V.5, p.2344-2348. Salvador, Bahia.

THOMSON, K. & SCHOFIELD, N. **Lithological and structural controls on the basins emplacement and morphology of sills in sedimentary.** Geological Society, London, Special Publications, v.302; p31-44, 2008.

TOPEX - **The Satellite Geodesy Research Group, Institution of Oceanography, University of California San Diego.** Dado gravimétrico adquirido via online disponível em: < http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi > Acesso: em 08 de julho de 2014.

WHITE, I. C. **Relatório sobre as Coal Measures e rochas associadas ao sul do Brasil. 1908. In: Relatório Final da Comissão dos estudos das Minas de carvão de Pedra Brasil,** Imprensa Nacional, parte 1, p.1-300. 1908.

ZALÁN, P. V., WOLF, S., CONCEIÇÃO, J. C. J., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., APPI, V. T., ZANOTTO, A., MARQUES, A. **Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin.** In: Gondwana Seven Proceedings. São Paulo, 1991. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, p. 83-117.