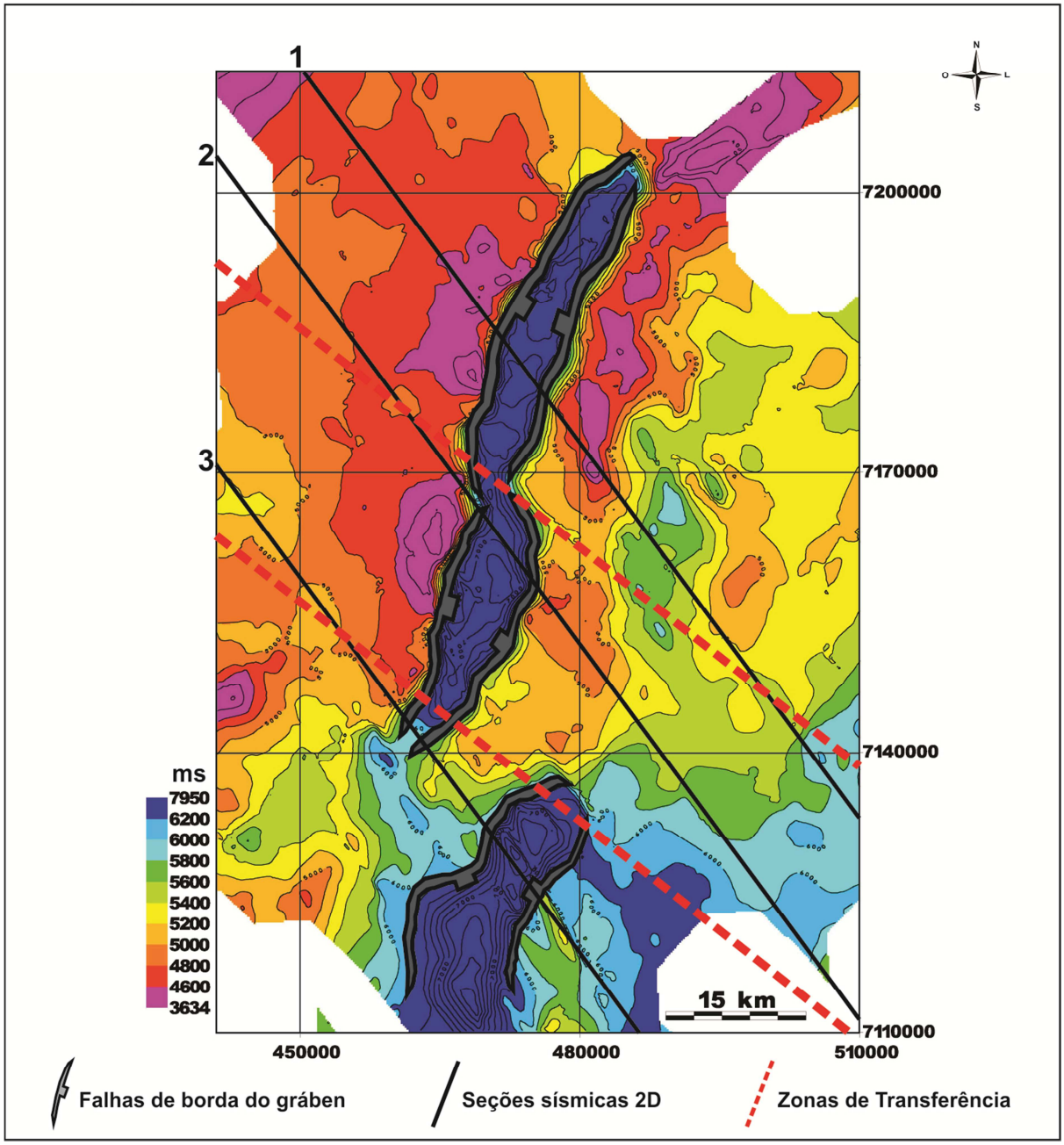
5 DISCUSSÕES

5.1 Geometria da porção norte do Gráben de Merluza

Após a interpretação de todas as seções sísmicas bidimensionais em tempo disponíveis nesse projeto, foi gerado o mapa de contorno da Base da Sequência Evaporítica da Figura 33. O mapa gerado permite estimar uma extensão de mais de 60 km e uma direção aproximada N10E a N20E para a porção norte do Gráben de Merluza, em um formato curvado aproximado com a letra S suave. No mapa de isócronas do sal da Bacia de Santos mostrado na figura 23b, é possível verificar que o sal condiciona um sistema de mini-bacias nas imediações do Gráben de Merluza, que possuem uma direção principal aproximadamente paralela à do gráben. Na mesma região também é possível observar uma maior isópaca de sal na borda leste da porção norte do gráben. O rejeito da falha principal do Gráben atinge mais de 1,5 segundos nas porções mais profundas dessa região, o que pode representar um deslocamento de mais de 3000 metros desse horizonte, conforme pode ser observado nas seções sísmicas 248-0041 (Figura 27) e 248-0048 (Figura 31).

O mapeamento das falhas de borda dessa porção do Gráben de Merluza, melhor visualizadas nas linhas “dip”, resultou aqui na observação de um gráben assimétrico onde a falha principal é antitética e a falha subordinada sintética, considerando que o mergulho das principais zonas de falha da bacia é para leste. Como as suas bordas são marcadas por duas falhas que possuem rejeitos consideráveis, não pode ser classificado como um meio-gráben típico. O limite sul dessa porção é dado por uma zona de transferência, que possui uma direção NW-SE, onde é verificado um deslocamento na posição das suas falhas de borda. A sul dessa zona de transferência a falha principal do gráben é aquela com mergulho para leste, ao contrário do observado na sua porção norte, em uma configuração parecida com a descrita por Fossen (2010) e representada na Figura 11.

Figura 33: Mapa de Contorno da Base da Sequência Evaporítica na Porção Norte do Gráben de Merluza e parte da Porção Central.



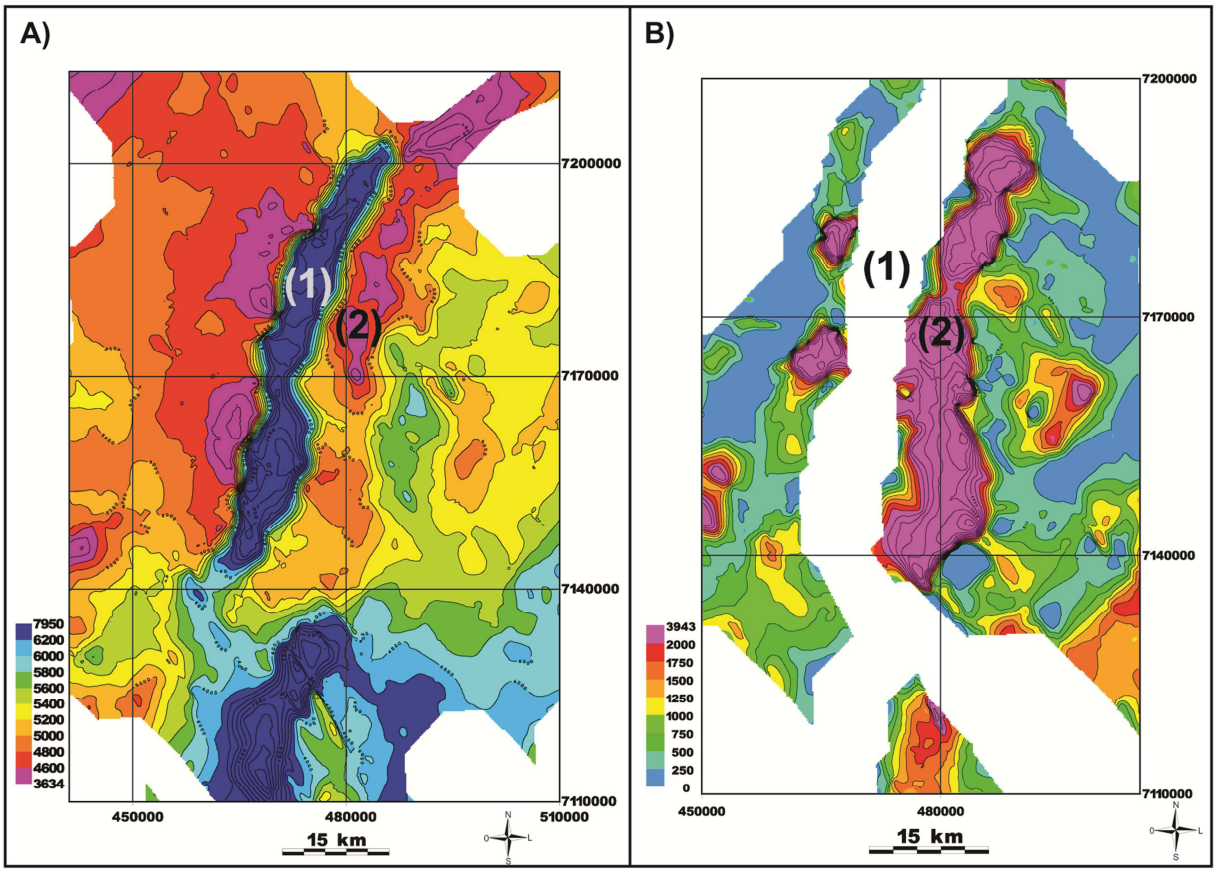
Legenda: Mapa gerado com a interpolação de onze linhas sísmicas. A porção norte do Gráben de Merluza é a calha com fundo azul e direção aproximada NNE. As linhas pretas contínuas com direção aproximada NW-SE mostram a posição dos trechos interpretados das três seções sísmicas detalhadas nessa dissertação: (1) Linha 248-0041, (2) Linha 248-0045 e (3) Linha 248-0048. O mapa é cortado por duas zonas de transferência, sendo a mais a sul a que separa as porções norte e central do gráben.
Fonte: CARVALHO, 2013.

Na porção norte do gráben ocorre um horst que acompanha a parte leste de toda a extensão do gráben. Sobre tal horst há um espesso pacote evaporítico em praticamente toda a sua extensão. Como o sal apresenta o comportamento de se

movimentar lateralmente, a presença desse pacote de sal sobre esse alto de embasamento pode corroborar a ideia de que a tectônica de sal está em muitos casos diretamente ligada à tectônica de reativação do embasamento. No flanco oeste, o sal apresenta uma configuração diferente, ocorrendo na forma de alguns pequenos domos e apenas um domo de maior dimensão na parte sul da porção norte.

A Figura 34 mostra uma comparação entre o mapa da base do sal e o mapa de isócronas de sal aqui interpretado na região do projeto.

Figura 34: Comparação entre o Mapa da Base do Sal e a Isócrona de Sal do Gráben de Merluza.



Legenda: (A) Mapa da Base do Sal e (B) Isócrona do Sal. Nas duas figuras: (1) Calha da Porção Norte do Gráben de Merluza; (2) Horst a leste do gráben. Na figura B, as partes brancas indicam ausência de sal (na calha do gráben) e falta de dados interpretados (nas outras partes). As maiores espessuras de sal encontram-se sobre o horst a leste do gráben (isócronas na cor rosa).
Fonte: CARVALHO, 2013.

Na porção central do Gráben de Merluza, vista apenas na Seção Sísmica 248-0048 (Figura 31), foi verificado que a oeste da falha principal há um sistema de falhas quase paralelas a ela, apresentando um caráter de blocos basculados num

padrão de dominó, mas com uma pequena diminuição de mergulho à medida que aumenta a profundidade. Tais falhas atingem o horizonte que representa a base do sal e eventualmente podem atingir até pacotes de idade mais recente, como o Albiano. Tal interpretação pode indicar uma atividade sin-rifte desse sistema de falhas e considerar que o rifte foi ativo pelo menos até tal idade nessa porção da bacia.

A partir da interpretação detalhada de três seções sísmicas dip que atravessam a porção norte e parte da porção central do Gráben de Merluza, foi possível a identificação de alguns aspectos estruturais e estratigráficos e a divisão do pacote sedimentar em tectonossequências. As relações de contato entre essas sequências e a atividade tectônica serão discutidas nesse capítulo.

5.2 Evolução tectônica do Gráben de Merluza e reativação do embasamento

Conforme mencionado no capítulo anterior, o Gráben de Merluza é um gráben assimétrico definido por uma falha principal lístrica que corta uma espessa seção estratigráfica, e por uma falha secundária antitética em relação à falha principal. Na seção pré-sal a geometria é definida ora por um arranjo de falhas em grábens e horsts, ora por falhas em que diminuem de mergulho em profundidade, num arranjo que remete ao modelo de cisalhamento simples. A falha principal pode atingir grandes profundidades numa configuração de um descolamento (*detachment*). As duas falhas que delimitam o gráben em sua porção norte variam de dimensão, mas sempre afetam sequências pré e pós-deposição do pacote evaporítico, sendo que em determinadas regiões atingem o fundo do assoalho oceânico.

No entorno do gráben ocorrem diversas falhas que não controlam os depocentros, mas deformam diversas unidades do pós-sal. Essas estruturas, bem mais recentes que o evento de abertura do Gráben de Merluza, podem estar relacionadas a períodos de reativação das falhas que delimitam o gráben e afetam a região do seu entorno.

Na Seção Sísmica 248-0041 (Figura 27), a Sequência I é caracterizada por um leve espessamento de camada dentro do gráben quando em comparação com as porções adjacentes. Mas esse espessamento é mais visível próximo à falha

secundária. Parece haver também um pequeno crescimento de seção contra a falha principal, indicando uma movimentação da falha concomitante ao preenchimento sedimentar. A Sequência II mostra um afinamento da seção em direção ao fundo da calha do gráben na forma de um downlap sobre a Sequência I, o que pode indicar uma possível mudança de fácies por estar em um ambiente de água profunda. A deposição sedimentar das duas primeiras sequências da seção pós-sal está controlada por um pequeno domo de sal localizado no flanco oeste do gráben. Essas duas sequências podem também ser interpretadas como rochas com idade do Albiano ao Turoniano. Devido a um grande aporte sedimentar, a Sequência III trunca abruptamente a Sequência II dentro da calha do gráben. Ocorre aqui um grande espessamento de seção em direção ao fundo do gráben, principalmente nas proximidades da falha principal, a leste. Isso pode indicar um grande aporte sedimentar num período de movimentação da falha principal ou ainda devido à presença de uma calha assimétrica. O aporte sedimentar ainda cresce significativamente durante a deposição da Sequência IV, mostrando um espessamento contra o domo de sal sobre o flanco leste do gráben. Tal fato indica uma contínua abertura e movimentação do sal durante esse período.

Entre as sequências IV e VII há uma falha com pequeno rejeito que as corta, que pode ter sido formada por uma mudança na declividade resultando numa mudança de mergulho. A Sequência IV apresenta um aumento de volume sedimentar para dentro do gráben a partir dessa falha. As espessuras das camadas sobrejacentes se mantêm após o plano dessa falha. As duas sequências superiores, VIII e IX, não parecem ser afetadas por essa falha nessa seção sísmica.

Pelas seções sísmicas 248-0041 e 248-0045 é possível verificar que a Sequência Pré-Sal é afetada pela tectônica do gráben, pois há um enorme rejeito dado pelas duas falhas de borda. No entanto não é possível concluir a idade da abertura inicial do gráben, pelo fato de não haver aqui estruturas que indiquem o tempo da deposição versus o tempo de abertura. O pacote evaporítico existente sobre o flanco oeste do Gráben de Merluza observado na seção sísmica 248-0045 permite concluir que o grande aporte sedimentar das sequências de I a VII empurrou o sal presente na região em direção ao alto estrutural da borda oeste do gráben. Essa movimentação foi concomitante à movimentação das suas falhas de borda, que foram responsáveis pela elevação relativa dos flancos do gráben. Há um espessamento da sequência II contra a falha secundária, indicando uma

movimentação maior dessa falha nesse período em relação à falha principal. Durante a deposição das Sequências III e IV há uma importante movimentação da falha principal. As sequências de V a VII não mostram espessamento dentro do gráben, mas são diretamente afetadas pela movimentação do sal a oeste do gráben, onde o sal parece ter invadido essas camadas. A geometria da seção sísmica 248-0045 mostra quase que um full-gráben, podendo indicar o início da mudança do caráter da borda principal que predomina a sul.

Na seção sísmica 248-0048 a falha principal do Gráben de Merluza possui um caráter sintético, ao contrário das seções anteriores. Tal falha atravessa toda a seção sísmica atingindo o fundo do mar. Eventualmente esse caráter pode voltar a ser antitético a sul dessa linha, pois depende de estruturas preexistentes à abertura do rifte sul atlântico. Em termos de atividade tectônica, tal falha foi ativa desde o estiramento que levou à abertura da calha do gráben até o topo da Sequência VII, horizonte relacionado ao Paleoceno. A partir daí, a movimentação da falha principal parece ser sempre posterior à deposição da sequência sedimentar, pois não é visível nenhum crescimento de seção sedimentar junto a ela. A atividade tectônica parece ter prosseguido até o Recente, onde é verificado um considerável rejeito dessa falha afetando o fundo do assoalho oceânico.

O sismo ocorrido em 2008, descrito por Assumpção et al. (2011), pode estar relacionado a uma movimentação profunda do sistema de falhas da região, dentre as quais, as falhas de borda do Gráben de Merluza, que comprovadamente afetam o fundo do mar (Figura 31).

5.3 Sobre a Geometria da Zona de Transferência de Merluza

Em termos da geometria da região norte do Gráben de Merluza, e seguindo a classificação proposta por Morley et al.(1990) mostrada na figura 12, há uma zona de transferência conjugada que separa dois segmentos (porções norte e central) do Gráben de Merluza em uma configuração divergente, provavelmente com sobreposição das duas calhas, pois é possível que a porção central do gráben continue presente algumas centenas de metros mais a norte que o limite sul da porção norte do gráben (Figura 35). O mapa da base do sal sugere que tal zona de

transferência seja definida nessa região como um horst que separa a porção norte da porção central do gráben. Esse horst poderia ainda estar representado aqui por uma falha de transferência, de acordo com o exposto em Fossen (2010) (Figura 11b) e também com o observado por Le Gall, Vetel e Morley (2005) no lago Turkana, localizado nos riftes africanos. No entanto, o nível de detalhe envolvido em tal dissertação não permitiu a visualização com clareza de camadas afetadas por uma possível falha de transferência nessa região. Além disso, nem sempre uma zona de transferência é dada por uma falha de transferência, podendo ser marcada por um horst ou por um conjunto de falhas. Esse trabalho sugere que essa zona de transferência é a Zona de Transferência de Merluza, identificada anteriormente em mapas regionais por Demercian e Szatmari (1999). Em mapas regionais (vide Figura 1), essa zona de transferência estaria cruzando o gráben em uma posição um pouco mais a norte da posição interpretada aqui. Além disso, essa zona de transferência seria também relacionada ao Lineamento Capricórnio (BUENO, OLIVEIRA e MARQUES, 2004). Segundo tal trabalho, tal feição teria se originado durante a fase rifte eocretácea, mas a partir do Albiano teria sido reativada, passando a atuar como uma zona de transferência/transformante. A Figura 22 mostra esse lineamento ocupando uma faixa que, segundo Moulin et al. (2010), divide o Platô de São Paulo em duas sub-bacias. Não foi possível identificar tal zona de transferência nas seções sísmicas perpendiculares disponíveis nesse projeto - seções 248-0105 e 248-0107, visualizadas na figura 2. Além dessa, também é possível identificar em mapa uma outra zona de transferência dividindo a porção norte do gráben em duas partes.

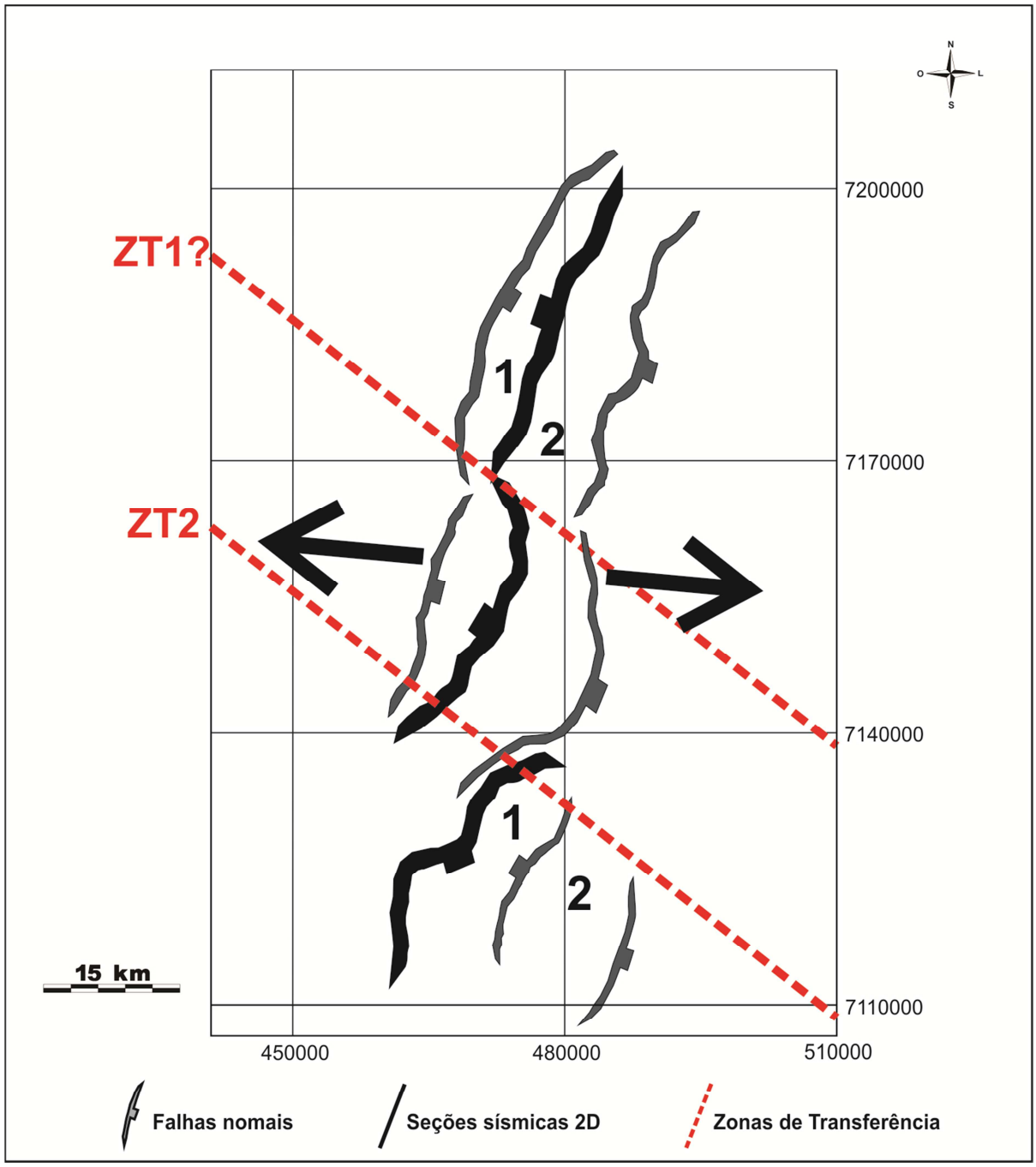
Com exceção da seção sísmica 248-0048, as demais seções indicam que a falha principal ou falha mestra do Gráben de Merluza tem um caráter antitético em relação à borda oeste da bacia. Essa falha pode ser caracterizada como uma falha lístrica, pois o seu mergulho diminui com a profundidade. Ela pode ainda atingir profundidades superiores àquelas aqui interpretadas, tendo em vista que os dados sísmicos aqui disponíveis possuem um tempo de trânsito máximo de 8,5 segundos, o que não deve ser superior à profundidade de 12 quilômetros. Como essa inclinação muda com a profundidade, há a possibilidade de que essa falha possa se transformar num descolamento na base da crosta ou ainda atingir a interface entre o manto superior e inferior. Zalán et al. (2011a) identificou em linhas sísmicas mais profundas, dispostas na direção de mergulho da bacia, algumas falhas que podem atingir ou mesmo atravessar a base da crosta.

O mapa da base do sal também permitiu subdividir a porção norte do Gráben de Merluza em segmentos de menor extensão, que podem ser os segmentos isolados que existiam nos estágios iniciais de abertura do gráben, conforme modelo representado nas figuras 8 e 9. Esses sistemas de falhas curvadas evoluíram à medida que a distensão na fase rifte aumentava. Devido a isso os segmentos de falhas passaram a ter sobreposições nas suas terminações e essas feições tenderam a gerar rampas de revezamento ou “relay ramps”. A Figura 35 mostra um croqui com a representação desses segmentos de falha e das principais estruturas interpretadas na porção norte do Gráben de Merluza e no início da porção central.

Quanto ao embasamento, por conta do fraco imageamento sísmico, não foi possível estimar precisamente uma idade de abertura do gráben, nem a gênese de sua formação. No entanto, é possível estimar uma idade mínima de atividade no gráben pelo menos a partir do Aptiano, devido à presença de uma seção com rochas do pré-sal dentro de sua calha. Também foi visto um padrão de falhamento típico de regiões com estiramento, ora com grábens e horsts, ora com um sistema de falhas lístricas num padrão em dominó. É provável que o Gráben de Merluza seja uma estrutura com uma gênese parecida com a de outras falhas regionais da Bacia de Santos, tendo sido originada a partir da abertura do rifte do Atlântico. No entanto, devido a uma zona de fraqueza, se movimentou mais do que outras falhas da região, gerando uma calha profunda com intenso preenchimento sedimentar, sobretudo no Cretáceo Superior. Essa zona de fraqueza pode estar à frente do Propagador e ter a sua gênese ligada a ele, mas permaneceu ativa por mais tempo após o Aptiano.

Pelo mesmo motivo, não é possível observar o real conteúdo sedimentar na seção pré-sal, o qual, aparentemente é bem pequeno, especialmente se comparado ao registro sedimentar no pré-sal em outras áreas da Bacia de Santos. A fase “sag” pode estar presente, mas como uma camada bem delgada. Conforme visto em todas as seções sísmicas, há pouca espessura sedimentar do pré-sal sobre o horst a leste do gráben. Isso permite sugerir que tal alto estrutural já estava presente durante essa fase. Por conta disso, é esperado que o sal presente no gráben e nas regiões adjacentes tenha migrado de regiões mais baixas para regiões mais altas, em resposta ao crescente aporte sedimentar do Cretáceo Superior, conforme observado em todas as seções sísmicas que cruzam o horst a leste do gráben.

Figura 35: Croqui com as Subdivisões das Falhas de Borda do Gráben de Merluza.



Legenda: As falhas principais do Gráben de Merluza possuem traçado mais grosso e cor preta, enquanto as falhas secundárias do gráben e as falhas de borda do horst a leste estão na cor cinza. A calha do Gráben de Merluza está indicada pelo número 1 e o horst a leste do gráben pelo número 2. Duas zonas de transferência (ZT1 e ZT2) cortam o gráben na área de estudo, dividindo-o em três segmentos. Os dois segmentos mais a norte são chamados aqui de Porção Norte do Gráben de Merluza. A passagem dessa porção para o Segmento mais a sul na figura é marcada por uma zona de transferência que muda o caráter tectono deposicional de antitético para sintético – A Zona de Transferência de Merluza ou Lineamento Capricórnio.
Fonte: CARVALHO, 2013.