

## **XI - INDICADORES PARA A DISTINÇÃO ENTRE EVENTOS MAGMÁTICOS E NÃO MAGMÁTICOS NA ÁREA DE ESTUDO**

### **XI.1 - Introdução**

Neste capítulo serão mostradas as assinaturas sísmicas de eventos magmáticos e não-magmáticos, assim como uma diferente gama de feições geológicas que podem confundir os geofísicos e geólogos que interpretam tais feições. Entre elas, destacamos principalmente os evaporitos, *mounds* turbidíticos, vulcões de lama originados pelo escape de gás, sismofácies de escorregamentos e seções carbonáticas. A determinação de eventos magmáticos em seções sísmicas é atualmente bem conhecida, graças a trabalhos publicados, tanto no Brasil (Oreiro, 2002, Oreiro *et al.*, 2003), quanto no exterior. O objetivo deste capítulo é apresentar uma discussão sobre os fatores que podem confundir os intérpretes de seções sísmicas, uma vez que algumas feições geológicas podem ser confundidas com intrusões e principalmente extrusões magmáticas (Oreiro e Guerra, 2005).

### **XI.2 Possível magmatismo eocênico no sul da Bacia de Santos**

A análise detalhada das seções sísmicas tridimensionais da porção sul da Bacia de Santos revelou possíveis edifícios vulcânicos no Eoceno Médio e Superior, normalmente isolados e de pequena magnitude (fig. 53), não excedendo 100 m de altura por 1 km de diâmetro.

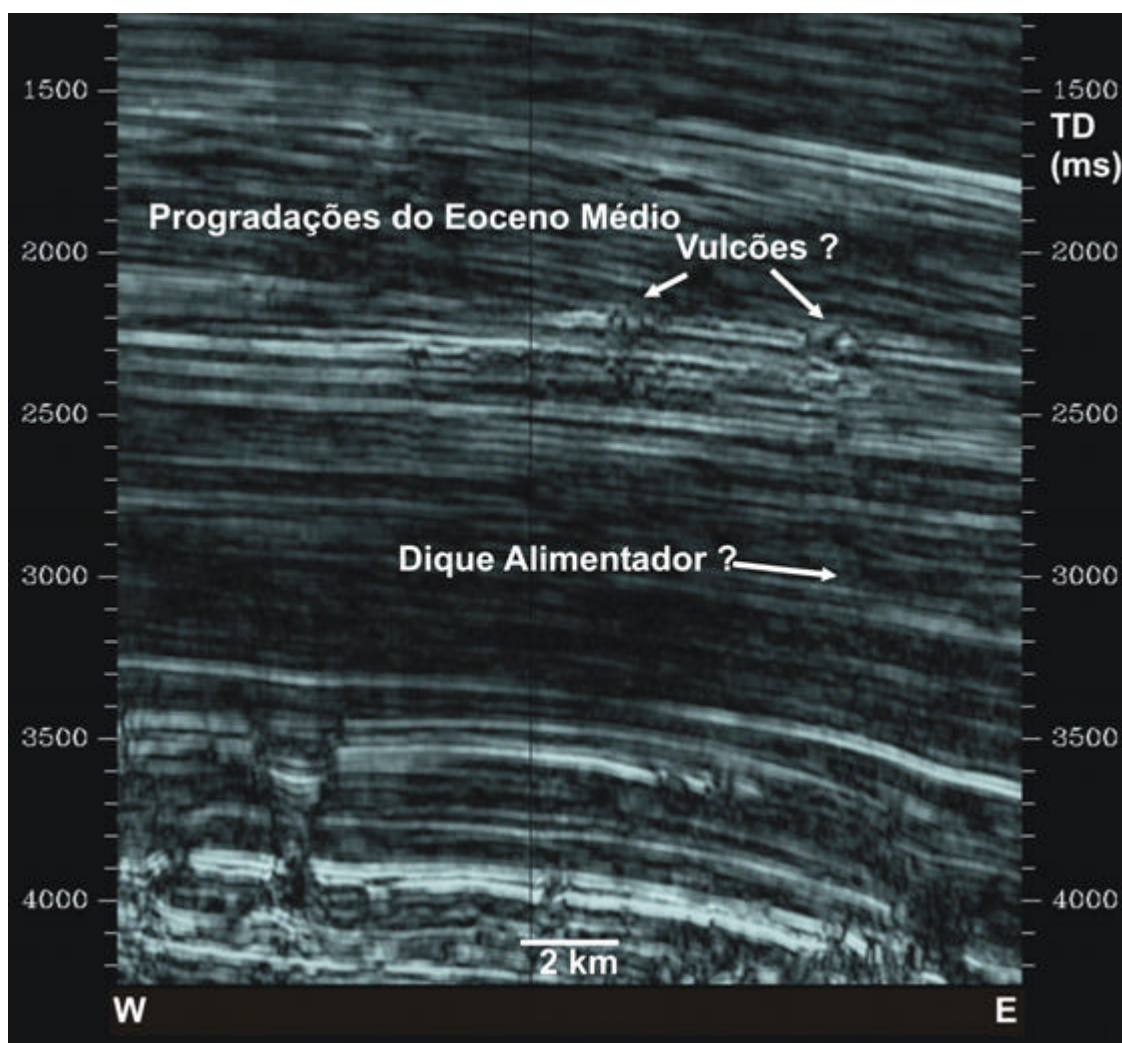


Figura 53 - Seção sísmica 3D na parte sul da Bacia de Santos, processada com a Técnica VA de Bulhões e Amorim (2005). Nesta imagem a interpretação mais provável é a de que as feições com formato de cones vulcânicos sejam, na verdade, *mounds* turbidíticos de base de progradação. O “dique alimentador” pode ser simplesmente um plano de falha.

A raridade de feições intrusivas associadas (foi observado apenas um possível dique), a pequena magnitude dos cones e o fato de que só foi detectado um único cone em seção sísmica 2 D, situado em águas mais profundas (fig. 54) denotam a pequena expressão deste provável magmatismo, em contraste com a abundância de feições extrusivas e intrusivas no Santoniano e no Campaniano Inferior. Adjacente aos cones, ocorre uma sismofácies caótica, a qual tanto pode corresponder ao magmatismo extrusivo quanto a feições de turbiditos, pois sabemos que a assinatura sísmica desses eventos muitas vezes é semelhante e

que ambos ocorrem no Eoceno da Bacia de Santos. No caso da área onde se situa a fig. 53, a interpretação mais provável é a de que os *mounds* correspondam a turbiditos posicionados na base das progradações do Eoceno Médio.

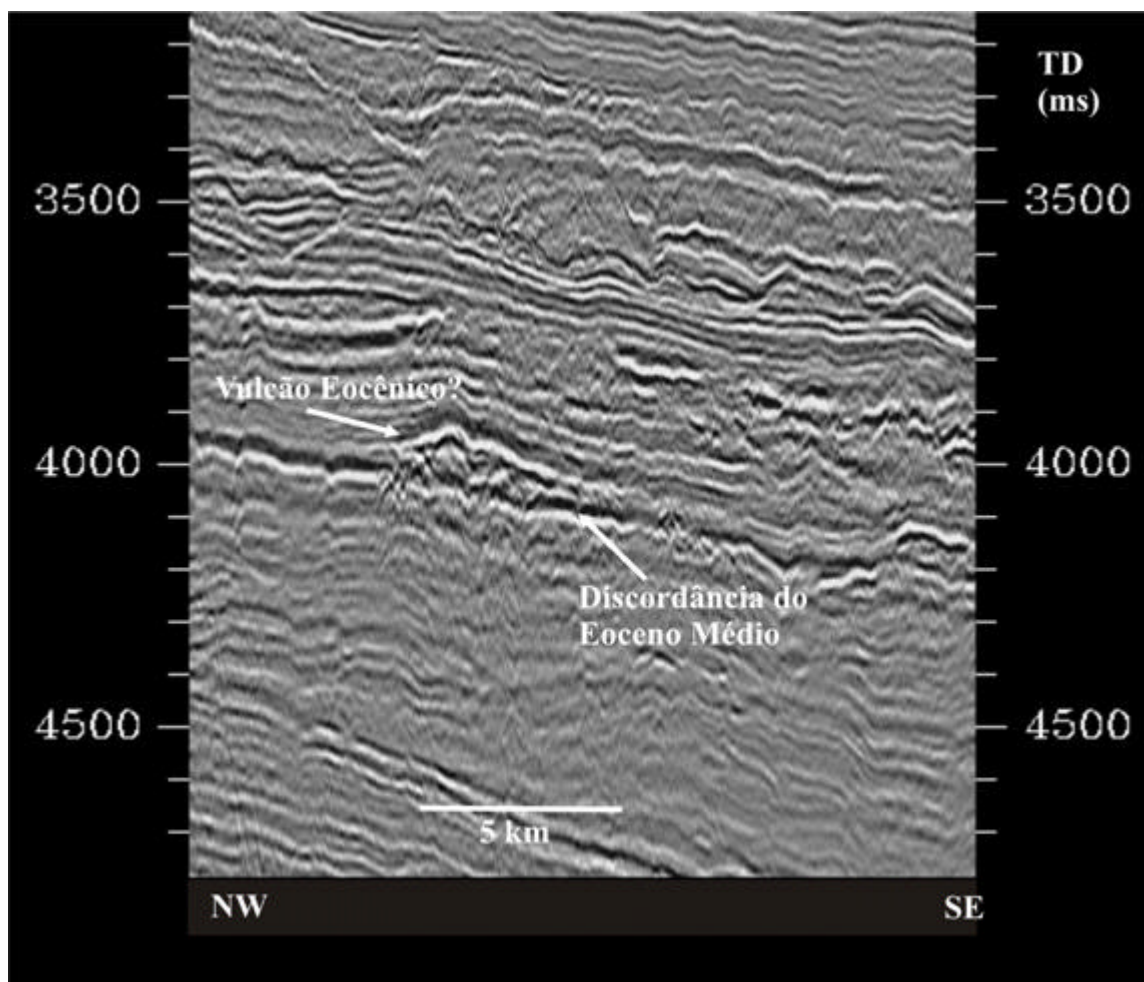


Figura 54 - Seção sísmica situada no extremo SW da Bacia de Santos, mostrando uma possível feição vulcânica no Eoceno Médio, numa área onde a cobertura sísmica atual é insuficiente para se avaliar a extensão deste provável magmatismo. Como interpretações alternativas, pode-se associar essa sismofácies a um *mound* turbidítico (embora não esteja situada em base de progradações) ou a sismofácies de escorregamento.

Aparentemente, na área de onde foram obtidas as figs. 53 e 54, as prováveis feições magmáticas estão associadas à interseção de um sistema de falhas NE com outro de direção NW. Entretanto, não há um controle tectônico

evidente desse possível magmatismo, ao contrário daquele do Cretáceo Superior, o qual está indubitavelmente relacionado a reativações de falhas do embasamento, cortando a base dos evaporitos. Se houve tal magmatismo cenozóico na parte sul da Bacia de Santos, seu mecanismo de formação deve estar relacionado a reativações tectônicas terciárias, responsáveis pela formação da Serra do Mar (Almeida e Carneiro, 1998) e correlatas a importantes discordâncias regionais nas bacias de Santos e Campos, bem como sismofácies de *slumps* na parte NE da Bacia de Santos. A fig. 55 mostra um edifício vulcânico no Albiano na parte NE da Bacia de Santos

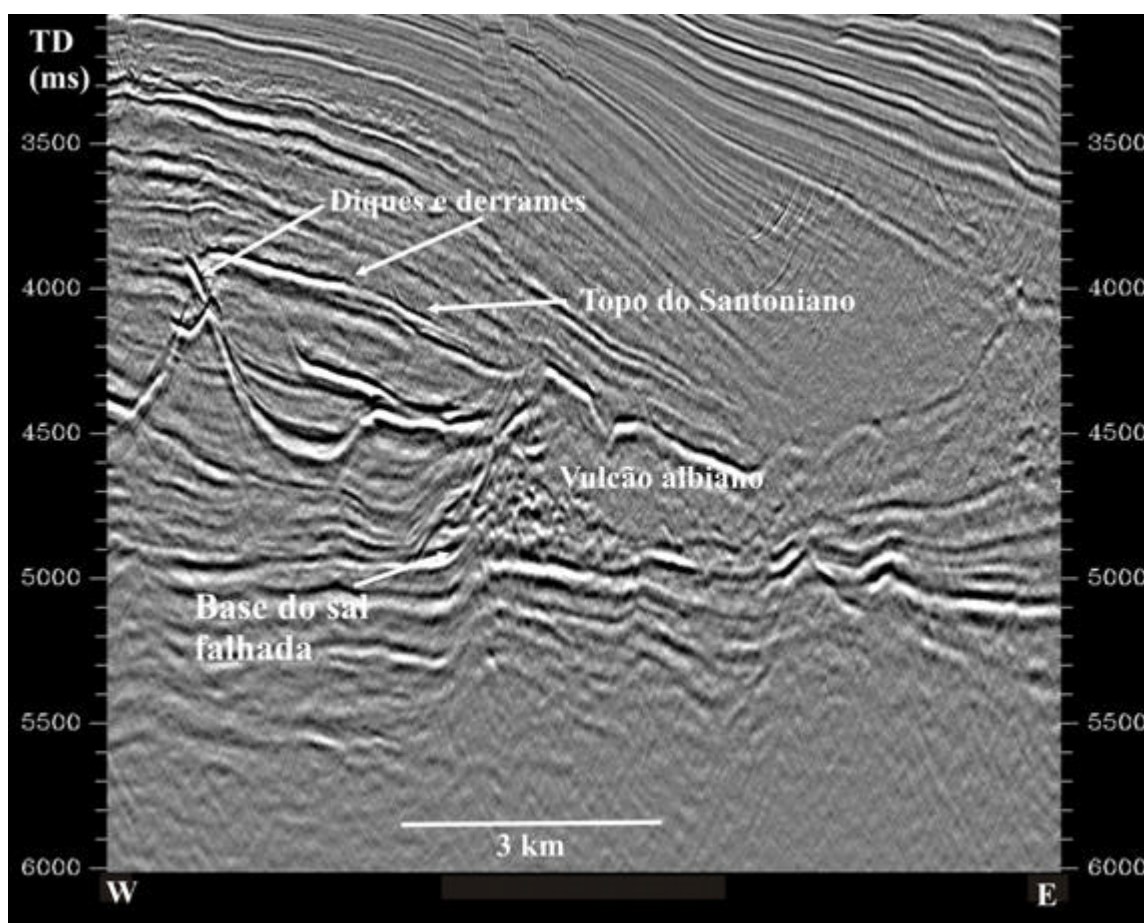


Figura 55 – Seção sísmica mostrando um edifício vulcânico de idade albiana na parte NE da Bacia de Santos.

O provável magmatismo eocênico da parte sul da Bacia de Santos, aqui descrito pela primeira vez, manifesta-se principalmente por pequenos edifícios

vulcânicos. Tal evento de magmatismo fraco ocorre numa região pouco tectonizada, embora todos os cones estejam posicionados sobre falhas de pequeno rejeito ou adjacentes a elas (fig. 53).

### **XI.3 Sismofácies de sal e carbonatos em áreas onde ocorreu magmatismo ativo**

Em muitas partes da Bacia de Santos, ocorrem feições halocinéticas que podem ser confundidas com eventos magmáticos. Moreira *et al.* (2003) citam a presença de cones vulcânicos no Albiano na porção NE da referida bacia, o que também vem sendo observado há um certo tempo pelo autor da presente pesquisa (fig. 55). Muitas vezes torna-se difícil fazer a distinção entre almofadas ou pequenos diápiros de sal de cones vulcânicos (fig. 56), ou então entre os fortes refletos que caracterizam topo e base dos evaporitos com aqueles correspondentes a intrusões magmáticas, como diques de baixo ângulo (fig. 57).

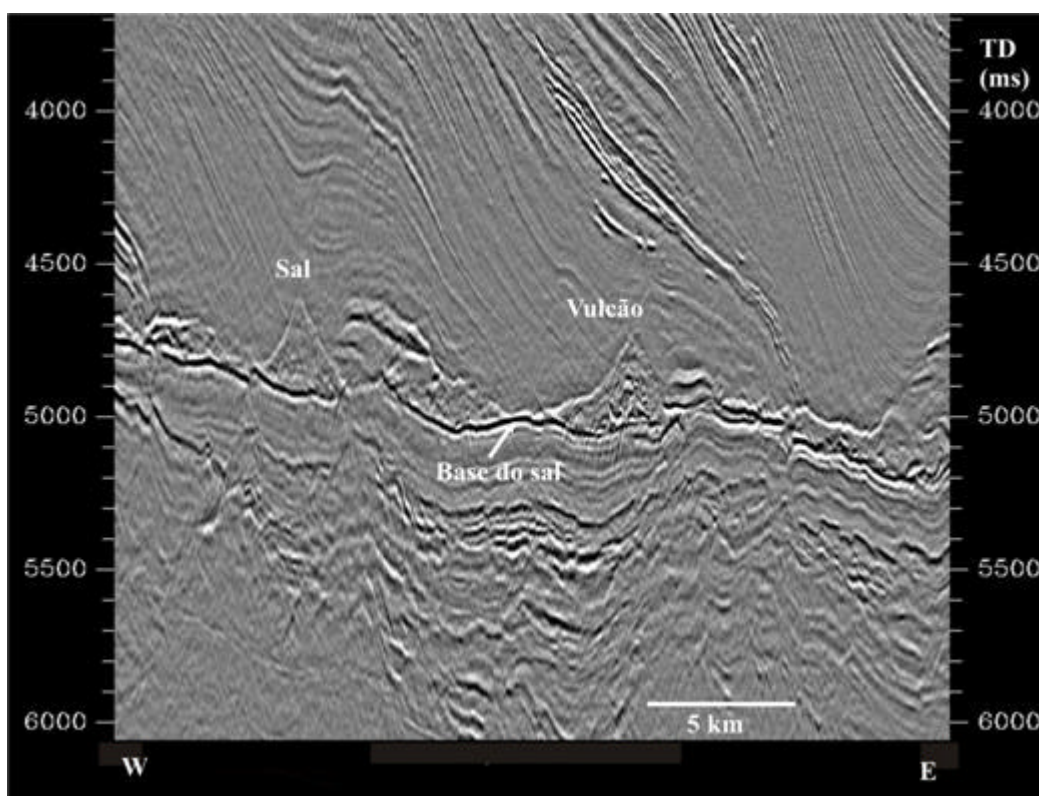


Figura 56 – Seção sísmica exemplificando a dificuldade de se distinguir entre feições magmáticas e halocinéticas. Aqui, há uma possibilidade de que o cone da esquerda seja constituído por sal e, o

da direita, por rochas magmáticas; o mais provável, entretanto, é que ambos constituam pequenos diápiros de sal.

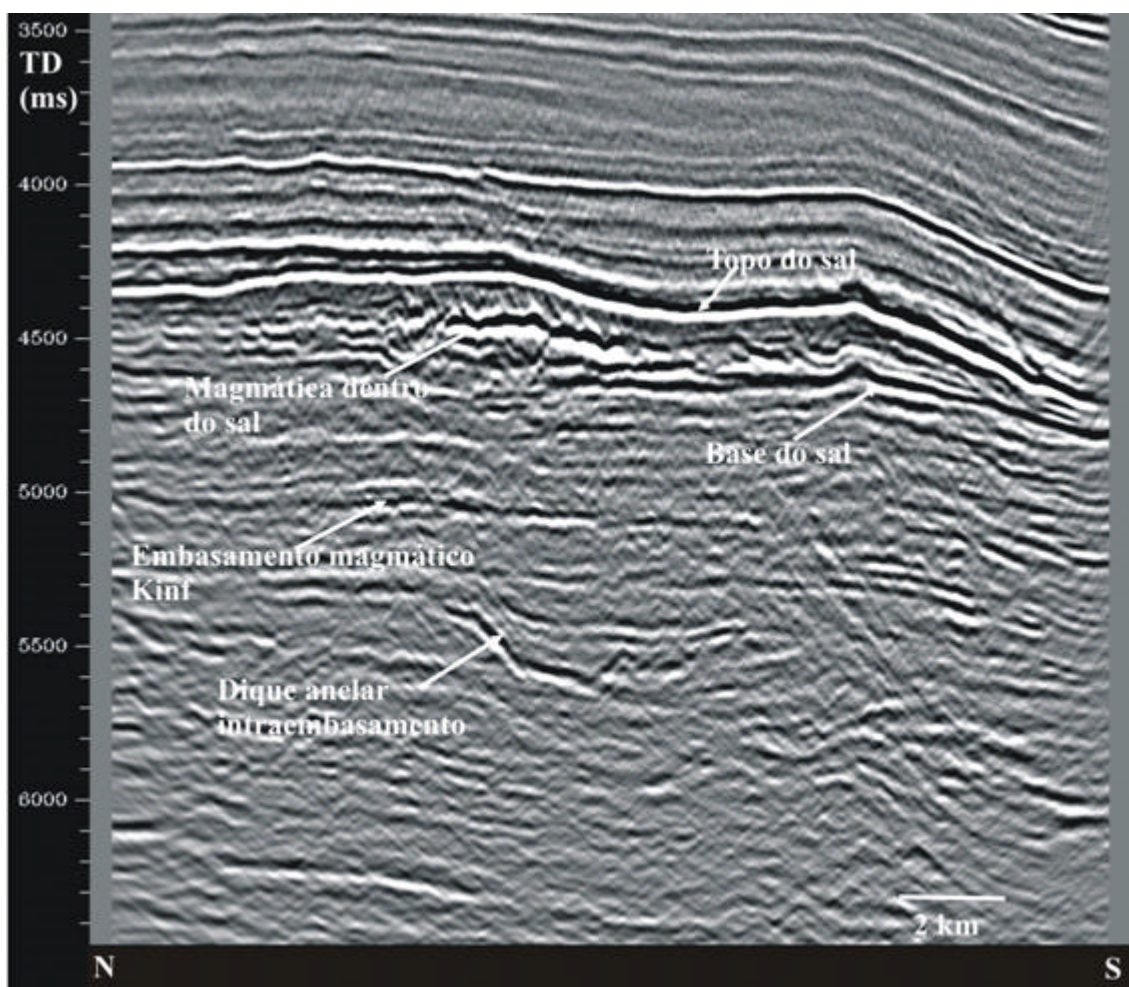


Figura 57 – Seção sísmica na parte sul da Bacia de Santos. A forte reflexão dentro da seção evaporítica deve-se a uma intrusão magmática, provavelmente de idade santoniana. Notar um exemplo de dique anelar dentro do embasamento econômico. O fato de o dique anelar aparecer nitidamente na seção sísmica denota elevado contraste de impedância acústica entre o mesmo e as rochas encaixantes, levando a crer que o embasamento, nesse ponto, é constituído por rochas cristalinas pré-cambrianas e não por basaltos do Cretáceo Inferior. Uma interpretação alternativa seria a possível presença de uma bacia paleozóica sob a Bacia de Santos, à semelhança do que foi proposto por Fontana (1996) para a Bacia de Pelotas, ou então a ocorrências de sedimentos correspondentes a uma fase pré-rifte. Em ambas as situações, o dique anelar teria cortado

sedimentos paleozóicos ou mesozóicos. A interpretação acima foi feita em conjunto com o geofísico José Joaquim Gonçalves Rodrigues. Também é possível que o dique anelar seja uma soleira (ver capítulo X, página 97, fig. 49).

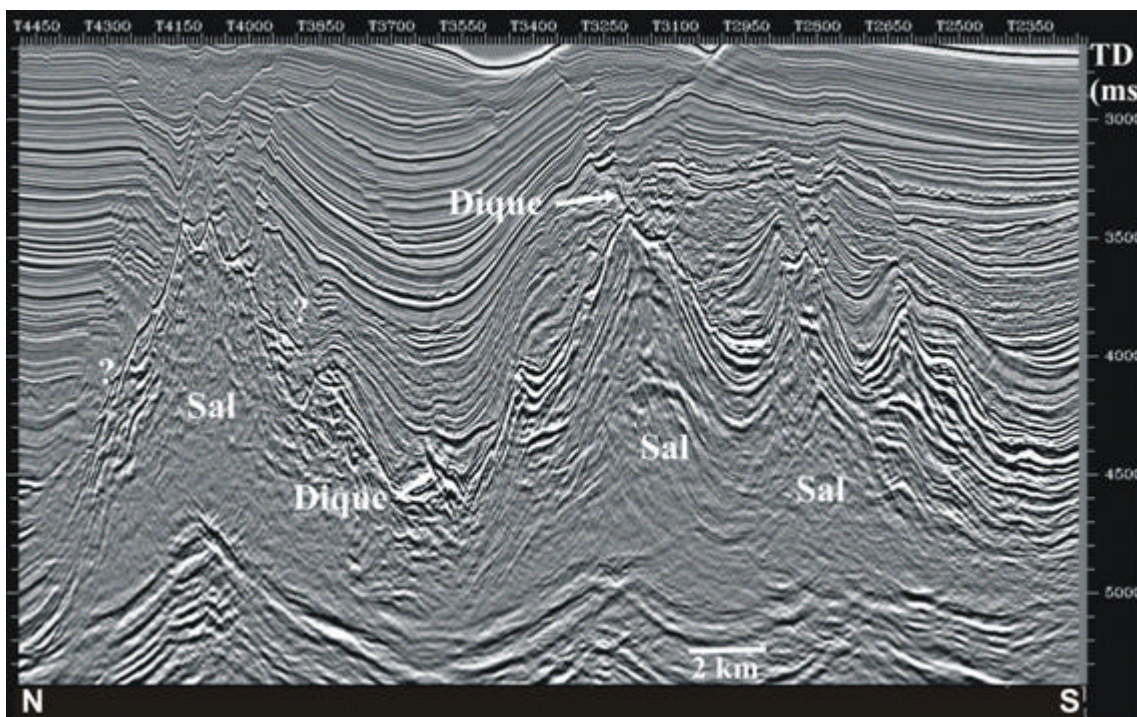


Figura 58 – Seção sísmica mostrando diques preenchendo planos de falha que cortam a seção evaporítica. Os pontos de interrogação marcam sismofácies que tanto podem corresponder a evaporitos quanto a seções magmáticas.

O fato é que, muitas vezes, diques de alto ângulo cortam a seção halocinética (fig. 58). A coexistência espacial de estruturas halocinéticas com rochas magmáticas ocorre em diversas regiões da Bacia de Santos, principalmente próximo ao Alto de Cabo Frio. O contato entre a camada de sal e rochas vulcânicas pode originar um aumento da fluidez do sal e conseqüente aceleração da halocinese.

As seqüências carbonáticas também apresentam fortes refletores, devido ao alto contraste de impedância acústica entre calcarenitos e calcilutitos e entre ambos com eventuais intercalações de rochas siliciclásticas.

#### **XI.4 Vulcões de lama e feições de escape de gás**

Na área de Cabo Frio, foi descoberto um cone de pequenas dimensões na seção sedimentar neógena (Mioceno), o qual, em virtude do elevado contraste de impedância acústica em relação às suas rochas encaixantes, causa um efeito de “sombra” (arrefecimento do sinal sísmico) nas seções sedimentares subjacentes. Como resultado desse efeito, são apenas visíveis as seções sedimentares cujos contatos constituem fortes reflexões (fig. 59). Essa feição pode ser interpretada como uma chaminé de gás, encimada por uma forte reflexão negativa, ou mesmo como um vulcão de lama. Tais vulcões estão associados à geração de gás, em condições de pressão e temperatura elevadas o suficiente para forçar a mistura água/gás/sedimentos em direção à superfície (Shakirov *et al.*, 2004). Essa superfície, no caso aqui mostrado, seria constituída pelo topo dos sedimentos pelíticos ainda pouco consolidados, que foram depositados sobre o fundo do mar da época. Kholodov (2001) concluiu, após ter estudado as ocorrências de vulcões de lama na região do Mar Cáspio, que eles estão intimamente relacionados a súbitas reativações estruturais.



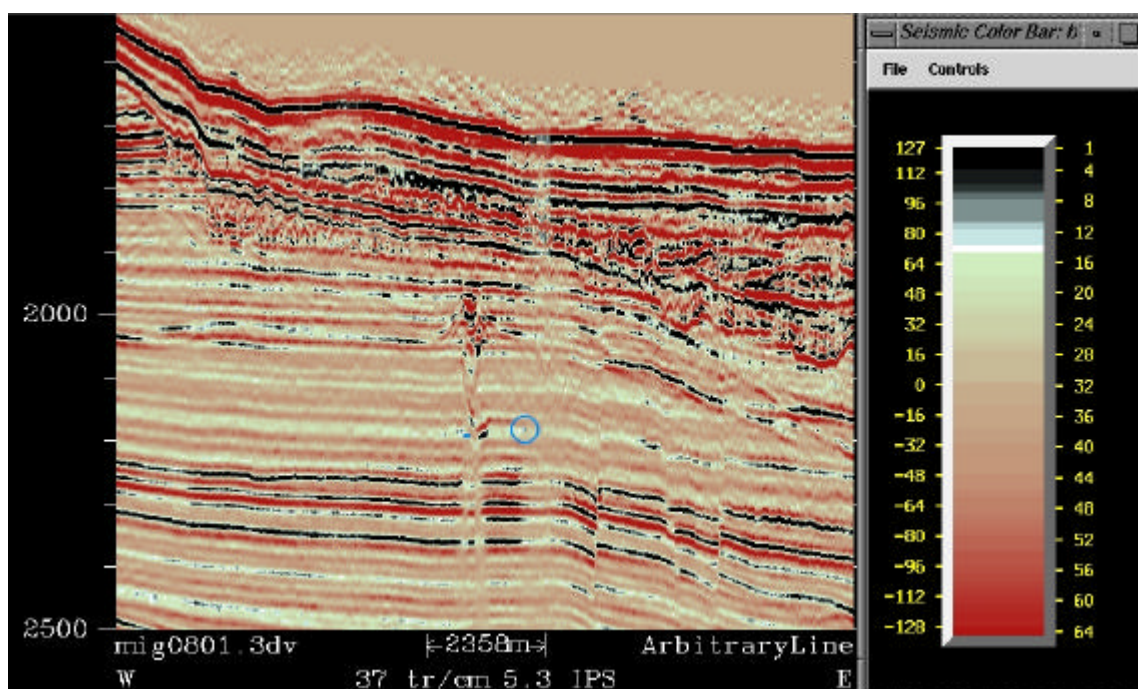


Figura 59 – Seção sísmica mostrando um exemplo de vulcão de lama no Mioceno, nas cercanias do Alto de Cabo Frio, Bacia de Santos. Caso este cone seja de origem magmática, o que é menos provável, ficará pela primeira vez comprovado o magmatismo correspondente àquele período na Região Sudeste do Brasil. O círculo azul marca o topo do Mioceno Inferior.

Assim, os intérpretes que trabalham em áreas sujeitas à presença dessas feições devem estar atentos para diferenciar os eventos magmáticos daqueles relacionados aos escapes de gás. Essa tarefa é dificultada quando tais eventos ocorrem intimamente associados. Um exemplo de dois edifícios vulcânicos erroneamente interpretados como vulcões de lama, na Bacia de Santos, pode ser encontrado na fig. 60.

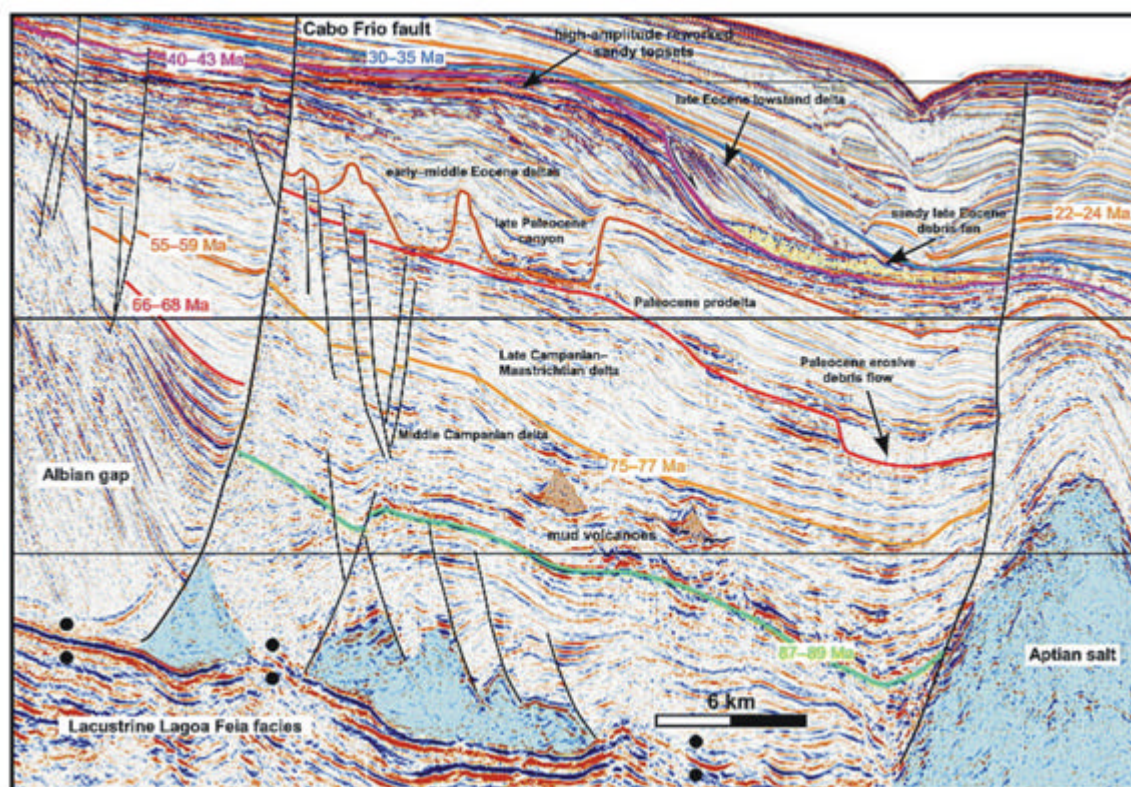


Figura 60 – Seção sísmica na parte central da Bacia de Santos. Os dois edifícios vulcânicos (em laranja), erroneamente interpretados por Modica e Brush (2004) como *mud volcanoes* (vulcões de lama), são na verdade de origem magmática, datados de aproximadamente 83 Ma. A ausência de uma “zona cega” estreita sob tais cones, tal como ocorre sob o cone da figura 57, e a similaridade de posicionamento estratigráfico dessas feições com inúmeras outras comprovadamente de origem magmática, em toda a Bacia de Santos, reforça a interpretação aqui feita. Modificado de Modica e Brush (*op cit.*).

### XI.5. Diápiros: origem magmática ou halocinética?

Nas áreas onde diápiros de sal e *mounds* vulcânicos coexistem, como é o caso do Alto de Cabo Frio e adjacências, muitas vezes torna-se necessário recorrer aos métodos potenciais, uma vez que a expressão sísmica de ambas as feições pode ser semelhante. Por tal motivo, Oreiro (2002, 2006) realizou modelagens gravimétricas e magnéticas de uma linha regional 2D (figs. 61 a 64), com o objetivo de investigar se um diápiro situado próximo à extremidade SE da área de estudo é de origem magmática ou halocinética. Os resultados dessas

modelagens, combinada com o posicionamento geográfico desse diápiro (alinhado com os Montes Submarinos Jean Charcot) indicam que a origem magmática é a mais provável.

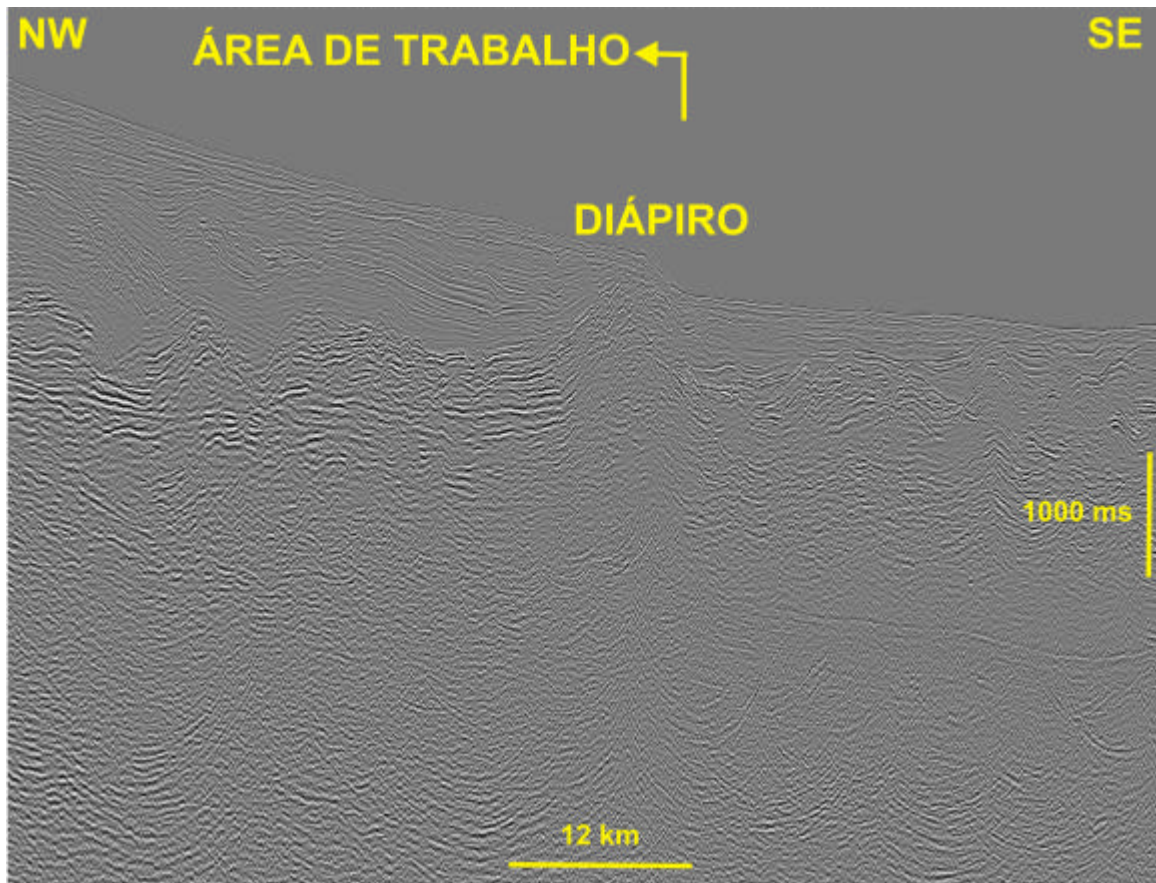


Figura 61 - Seção sísmica (linha 6) sobre um diápiro, situada no extremo SW da Bacia de Campos (localização, fig. 33, pág. 78). As modelagens gravimétricas e magnética mostradas nas três figuras seguintes são baseadas na interpretação desta seção (Oreiro, 2002, 2006).

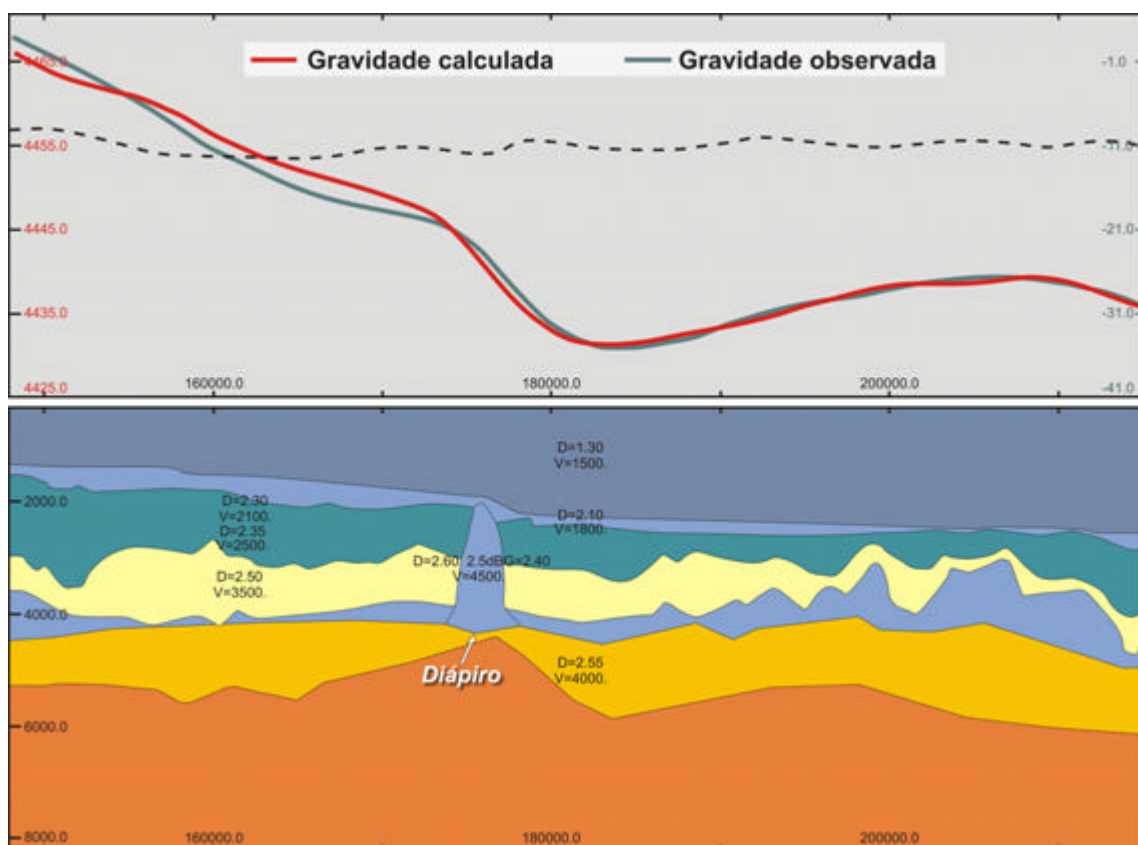


Figura 62 - Modelagem gravimétrica da seção sísmica da figura anterior, considerando a hipótese de o diápiro ser composto por halita. A curva calculada afasta-se da medida sobre o diápiro, sendo que a diferença entre ambas (linha pontilhada) apresenta um máximo sobre ele. Os valores de gravidade estão expressos em miligals, sendo que as diferenças entre eles, em valores absolutos, se devem ao fato de que a gravidade modelada é referente ao contexto local, e a medida, ao centro da terra. Tais valores estão na mesma escala para facilitar a comparação. No gráfico inferior, as densidades estão em  $\text{g/cm}^3$  e as profundidades e distâncias, em metros (Oreiro, 2002, 2006).

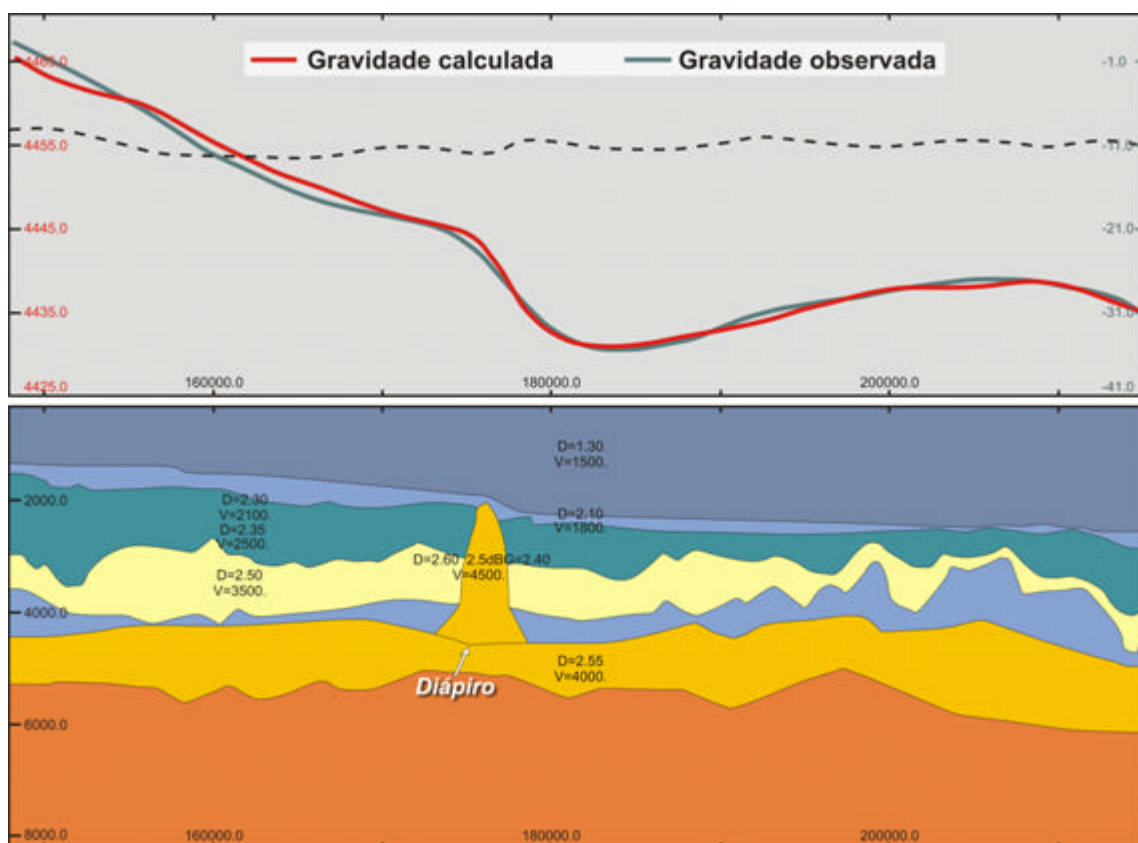


Figura 63 - Modelagem gravimétrica semelhante à mostrada na figura anterior, considerando a hipótese de o diápiro ser composto por rochas magmáticas. Há uma concordância quase perfeita entre a gravidade medida e a calculada, indicando que, por esse método, a origem magmática é mais plausível (Oreiro, 2002, 2006).

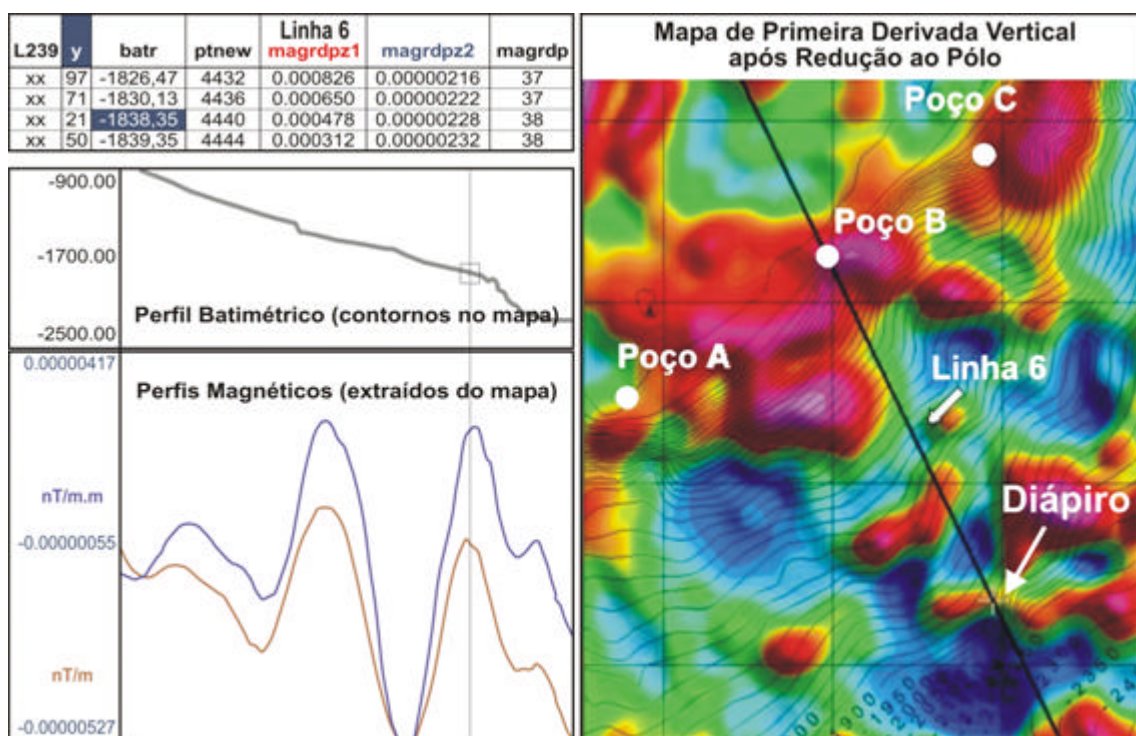


Figura 64 - Mapa de primeira derivada vertical em relação ao pólo, mostrando as anomalias magnéticas correspondentes à seção vulcano-sedimentar na área de estudo (as cores quentes correspondem a anomalias positivas). O diápiro da figura 3 está posicionado sobre elevados valores positivos (em vermelho, nas cercanias do PT 4440 da Linha 6, cuja localização é mostrada na fig. 33, pág. 78). Tal resultado reforça a hipótese de que o diápiro é composto por rochas magmáticas (Oreiro, 2002, 2006).

## XI.6 Conclusões

Edifícios vulcânicos têm sido confundidos com *mounds* turbidíticos e vice-versa, o que às vezes causa desagradáveis surpresas aos que interpretam seções sísmicas para prospecção de petróleo e gás. A associação da halocinese com o magmatismo é um tema que vem sendo cada vez mais abordado pelos geocientistas que estudam a Bacia de Santos, pela íntima associação que ambos os eventos têm entre si, particularmente nas áreas de batimetria média da referida bacia.

Os vulcões de lama são interessantes para os geocientistas que trabalham na prospecção de hidrocarbonetos, pelo fato de sua presença indicar que, na

área, o sistema petrolífero está ativo. Entretanto, a identificação de tais vulcões pode confundir intérpretes pouco experientes no estudo de áreas onde eles ocorrem juntamente com cones de origem magmática.