



## Plataforma carbonática do Membro Siri - Uma típica plataforma com borda

Georges Waisman PETROBRAS S/A, Brasil.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The integrated interpretation of seismic and geological data carried out in the southern area of Campos Basin allowed improvements on the understanding of carbonatic Tertiary shelf development of Siri Member. Based on sequence stratigraphic principles three depositional sequences were defined, each one showing two main system tracts; the highstand system tract and the lowstand system tract. The main features developed during the highstand time are prograding bioclastic bars and reefal build-ups at the shelf break. Both act as rims, creating barriers to open sea circulation especially in protected lagoonal area. During the lowstand system tract period a set of incised valleys were formed on exposed shallow platform, while a framework of straight submarine channels had cut the slope basinward. Some karstic surfaces were produced due to subaerial exposure. These can be observed on seismic horizon slices as amplitude patches near the main incised valley system. A radiogenic shale near the top of the youngest sequence MIO-1 marks the end of expressive carbonatic deposition in this part of the basin. It fits well with the transgressive flank of the TB2.3 cycle of the global eustatic curve (Haq *et alii*, 1988) indicating drowning as an important mechanism for the end of carbonate deposition.

### Introdução

O Membro Siri da Formação Emborê, definido originalmente por Schaller (Schaller, 1973), designa carbonatos bioclásticos formados predominantemente por fragmentos de algas vermelhas e macroforaminíferos. Concentram-se preferencialmente nas bordas de plataformas do terciário da Bacia de Campos na forma de bioconstruções recifais ou de barras progradantes (fig. 1). Criam obstáculos à livre circulação oceânica e condicionam a distribuição das fácies.

No presente artigo serão discutidos aspectos relativos à deposição e distribuição dos carbonatos do Membro Siri pertencentes às séries Oligoceno e Mioceno, numa região localizada ao sul da Bacia de Campos, nas proximidades do Campo de Linguado, onde ocorrem acumulações sub-comerciais de hidrocarbonetos (fig. 2). Em função disto, aspectos ligados à história diagenética destas rochas, bem como, as respectivas propriedades petrofísicas não serão comentados.

Ao final serão exibidos blocos diagramas mostrando as principais características deste sistema deposicional, extraídas de uma interpretação integrada onde foram utilizados dados sísmicos, de perfis e de rocha. Na concepção destes adotou-se como base teórica a Estratigrafia de Seqüências.

### Base de dados utilizada

A base de dados sísmicos utilizada constituiu-se de seções sísmicas verticais e sub-horizontais<sup>(1)</sup> extraídas do levantamento 3D de sul de Pampo. Tratam-se de dados migrados em tempo com amostragem espacial de 53m X 53m recobrimdo uma área total de 200km<sup>2</sup> (fig.3).

Utilizou-se ainda os perfis de raios gama e sônico de 13 poços, bem como as respectivas descrições litológicas baseadas em amostras de calha. Estas, após manipulação em planilha EXCELL, permitiram a confecção de diversos mapas de razão litológica. Em dois poços foram feitas lâminas petrográficas, a partir de testemunhos (poço C) e amostras de calha (poço D) (Waisman, 2001). Esta base de dados litológica permitiu a individualização de fácies e sua posterior correlação com os dados sísmicos.

Para o posicionamento temporal das seqüências carbonáticas identificadas adotou-se o zoneamento bioestratigráfico definido para a margem leste brasileira, baseado em nanofósseis calcários (Richter *et alii*, 1993). Embora as formas diagnósticas das nanozonas não tenham sido identificadas no interior das barras e bioconstruções carbonáticas, estas o foram nas porções condensadas crono-equivalentes situadas bacia adentro.

### Metodologia

Inicialmente foram rastreados os principais limites de seqüências segundo critério definido por Mitchum (Mitchum *et alii*, 1977), baseado em terminações de refletores. As principais seqüências carbonáticas identificadas, denominadas de OLIGO-1, OLIGO-2 e MIO-1, limitaram-se tanto na base como topo por discordâncias erosivas e/ou suas concordâncias relativas (fig. 4). Estes limites foram posteriormente transportados para os poços e ajustados às "quebras" mais próximas observadas nos perfis de raios gama e sônico (fig. 5).

<sup>(1)</sup> Seções sub-horizontais referem-se a cortes feitos no volume sísmico 3D paralelos a um refletor mapeado.

No interior de cada seqüência procedeu-se a uma análise de sismofácies, buscando-se identificar tanto a geometria externa como as configurações internas principais.

Nas seções sub-horizontais estes padrões de arranjo dos refletores delimitaram domínios de sismofácies correlacionáveis às litofácies identificadas nos poços C e D e nos mapas de razão a partir de amostras de calha.

### Análise dos dados

A primeira seqüência analisada, OLIGO-1 engloba as biozonas N-530 e N-540, correspondendo ao período situado entre a porção superior do Eo-Oligoceno a porção média do Neo-Oligoceno. Possui geometria externa em forma de cunha, com isópacas aumentando de noroeste para sudeste. Predominam refletores plano - paralelos com amplitudes fracas a moderadas no interior da seqüência. Nos mapas de razões litológicas observa-se a preponderância de sedimentos finos tanto carbonáticos como siliciclásticos às expensas das frações mais grossas observadas tão somente em torno dos poços D, E, F e G (figs. 6, 7 e 8).

Nos perfis de raios gama observa-se um aumento de argilosidade da base para o topo da seqüência (fig. 9). Nas descrições de amostras de calha dos poços I, J, K, L e M os maiores valores de radioatividade associam-se aos maiores percentuais de fragmentos de folhelho.

A seqüência seguinte depositou-se durante o Oligoceno superior, englobando em sua totalidade a biozona N-545. É a seqüência que possui os depósitos carbonáticos mais expressivos da área estudada. No seu limite superior observam-se vales incisos e feições cársticas sobre a paleo-plataforma, enquanto que na região do talude forma-se uma densa miríade de canais. A partir do sopé deste, alguns dos canais oriundos da plataforma, prolongam-se bacia afora adquirindo um comportamento sinuoso. Podem construir diques marginais, localmente rompidos produzindo depósitos de extravasamento.

Nas diversas seções sub-horizontais confeccionadas a partir do limite superior da seqüência, observam-se além das feições descritas acima, regiões delimitadas por padrões de sismofácies distintas. A primeira, localizada no quadrante NW, em amarelo na figura 10, caracteriza-se pela alternância de faixas de amplitudes segundo um padrão sinuoso. Trata-se de uma região de plataforma rasa dominada pela sedimentação mista, carbonática e siliciclástica, conforme descrição das amostras de calha do poço A. Nos mapas de percentagem das respectivas litologias observa-se numericamente a relação de proporcionalidade mencionada (figs. 11 e 12).

O limite deste domínio sismofaciológico para E/NE é brusco, podendo estar condicionado a uma zona de falhas associada à tectônica halocinética.

Em azul, ocorre o segundo domínio, situado em parte sobre a respectiva paleo-plataforma e o paleo-talude. Na primeira, observam-se faixas retílineas estreitas de amplitudes ora positivas (faixas escuras) ora negativas (faixas claras) segundo orientação N/S. Nas seções sísmicas verticais este domínio é caracterizado por clinofórmulas oblíquas progradantes correspondentes a empilhamentos de camadas carbonáticas com arranjo interno do tipo *shallowing-upward* (fig. 13). No poço D, na

base de camada, predominam *wackestones* enquanto que no topo *rudstones*, ambos formados predominantemente por fragmentos de algas vermelhas (fig.14). Para a identificação das fácies nas amostras de calha do poço D, adotou-se como referência as fácies identificadas nos testemunhos do poço C (Waisman *op cit.*).

Localmente ocorrem interrupções no domínio de sismofácies azul, principalmente quando da incisão de canais por sobre a plataforma, como observado na figura 10. Lateralmente ao principal canal presente na área, ocorrem manchas de amplitudes negativas, provavelmente relacionadas a uma maior dissolução carbonática ocorrida em suas circunvizinhanças.

Adiante da “quebra” da plataforma pode ser visto um sistema de canais retílineos que se prolongam até o sopé do talude. Compõem uma densa rede de canais interrompida apenas ao sul do poço D, em função do término da sedimentação carbonática junto à borda da plataforma e conseqüentemente sobre o talude.

A jusante do referido sistema de canais podem ser vistos pequenos canais meandantes que se prolongam bacia afora, dentro do terceiro domínio sismofaciológico, em roxo. Constitui-se de região desprovida de contrastes significativos de amplitudes, em função do predomínio de sedimentação fina, formada por folhelhos e margas. Convém destacar a presença de feição erosiva sub-paralela ao sopé do talude, indicando possivelmente a atuação de correntes de fundo.

Nas seções sub-horizontais deslocadas de 15, 23 e 31 ms a partir do topo da seqüência em apreço, além da manutenção das feições previamente observadas, sobressaem dois domínios de amplitudes negativas com geometria em forma de delta, localizadas sobre o paleo-talude carbonático (fig.15). Em função do seu posicionamento à frente do principal sistema de vales incisos sobre a plataforma, sugere-se que se tratem de depósitos gerados por fluxos gravitacionais, provavelmente constituídos de sedimentos siliciclásticos.

A última seqüência analisada MIO-1, depositou-se durante o intervalo de tempo compreendido entre a base do Mioceno e a porção intermediária do Meso-Mioceno. Possui os últimos registros expressivos da sedimentação carbonática na região estudada.

Nos perfis de raios gama observa-se um aumento de radioatividade da base para o topo da seqüência, culminando com a deposição de um marco radioativo observável em todos os poços da área de estudo, exceto nos poços D e F, onde encontra-se erodido pela discordância da base da seqüência sobrejacente. Constitui-se em um importante marco estratigráfico, podendo ser utilizado como *datum* em seções estratigráficas (fig. 16).

Nas seções sub-horizontais permanecem os mesmos domínios de sismofácies descritos na seqüência OLIGO-2, porém os seus limites de abrangência se modificam, principalmente em função da expansão do domínio amarelo em detrimento do azul, este último, associado à sedimentação carbonática. Este avanço dos sistemas deposicionais siliciclásticos em direção à borda da

plataforma, junto com a deposição do marco radioativo, contribuíram sobremaneira para o término da sedimentação carbonática nesta área da bacia.

Na seqüência MIO-1 em particular, além do empilhamento de barras carbonáticas formando conjuntos agradacionais / progradacionais junto à borda da plataforma, observam-se bioconstruções recifais criando obstáculos à livre circulação oceânica (fig. 17). A sedimentação para além do sopé do talude compõe-se basicamente de margas e folhelhos, a exemplo das seqüências anteriores.

Nas figuras 18 e 19 podem ser vistos bloco-diagramas exemplificando as principais características e sistemas deposicionais presentes nas seqüências estudadas. O primeiro reproduz condições de nível do mar relativo alto, onde desenvolvem-se as progradações carbonáticas concomitantemente com a formação de recifes de borda de plataforma.

No segundo formam-se vales incisos e feições cársticas sobre a plataforma e desenvolve-se o sistema de canais sobre o talude, como resposta ao rebaixamento do nível relativo do mar.

Frente à curva de variação do nível do mar relativo de Haq (Haq *et alli*, 1988) observa-se que os limites das seqüências definidos neste trabalho, de um modo geral, não coincidem com os limites dos ciclos de 3ª ordem da referida curva, exceção feita apenas ao limite superior da seqüência MIO-1 e inferior da OLIGO-2, correspondentes aos limites basais dos ciclos TB2.5 e TB1.4 respectivamente.

Com relação ao marco radioativo identificado no topo da seqüência MIO-1, constata-se o perfeito ajuste entre este e o flanco ascendente do ciclo TB2.3, permitindo que se o interprete como resultado de um evento transgressivo de curta duração.

Ao observarmos a curva eustática suavizada, em azul na figura 20, constatamos que durante a deposição das seqüências OLIGO-1, OLIGO-2 e MIO-1, registram-se valores elevados do nível global dos oceanos, produzindo na referida curva um patamar em torno de 150m. Os rebaixamentos eustáticos por ventura existentes parecem não ter produzido interrupções significativas no registro geológico na região estudada ou estão relacionados a ciclos de curta duração. Desta forma, não é incoerente supor que os principais depósitos carbonáticos tenham se depositado durante uma grande período interglacial, situado entre os ciclos TB1.4 e TB2.4.

### Conclusões

O mapeamento de superfícies erosivas e/ou das respectivas concordâncias relativas, permitiu a individualização de 3 seqüências deposicionais mistas no interior das séries Oligoceno e Mioceno ;

O arranjo interno dos refletores, e seu posicionamento dentro das seqüências, permitiu a identificação dos tratos de sistemas nas seqüências analisadas;

Com o auxílio das seções sísmicas sub-horizontais foi possível a identificação de 3 domínios texturais no interior das seqüências OLIGO-2 e MIO-1. Estes delimitaram regiões dominadas por sedimentação mista de outras

onde predominam sedimentos carbonáticos, tanto na região de borda de plataforma como sobre o talude/bacia.

As seções sub-horizontais se mostraram úteis também na identificação de feições morfológicas tais como vales incisos, canais sobre o talude e canais na região de bacia.

O término da sedimentação carbonática expressiva parece estar condicionado a dois fatores principais: a um pulso transgressivo de curta duração, associado ao ciclo TB2.3 de Haq, e a progradação siliciclástica iniciada a partir do Meso-Mioceno. O pulso transgressivo foi responsável pela deposição de um marco radioativo, presente em vários poços, inserido no interior da biozona N-570, ou na passagem do Burdigaliano para o Langhiano.

### Referências

- HAQ, B. U.; HARDENBOL, J.; VAIL, P. R.** 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. In : WILGUS, C.K. ; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.St.C., POSAMANTIER, H.W., ROSS, C.A.& VAN WAGONER, J.C. (eds.) 1988. Sea level changes: an integrated approach. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. p. 71-108.(SEPM Special Publication, 42).
- MITCHUM Jr., R. M; VAIL, P.R. & THOMPSON III, S.** 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, part 2 : The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic analysis. In : PAYTON, C. E. (ed.) 1977. Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 53-62 ( AAPG, memoir 26).
- RICHTER, A. J.; GOMIDE, J.; SHIMABUKURO, S.; ANTUNES, R. L.** 1993. Bioestatigrafia dos Nanofósseis Cenozóicos da Margem Continental Brasileira. PETROBRAS/CENPES/DIVEX – SINTEP nº 650-15085, 45p. (relatório interno).
- SCHALLER, H.** 1973. Estratigrafia da Bacia de Campos. In: XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracajú, 1973. **Anais...** Aracajú: SBG, v.3, p.247-258.
- RANGEL, H. D.; MARTINS, F. A. L.; ESTEVES, F. R.; FEIJÓ, F. J.** 1994. Bacia de Campos. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p. 203-205.
- WAISMAN, G.** 2001. Análise de Seqüências Terciárias com ênfase nos carbonatos do Membro Siri. Região centro-sul da Bacia de Campos. Porto Alegre, 194p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

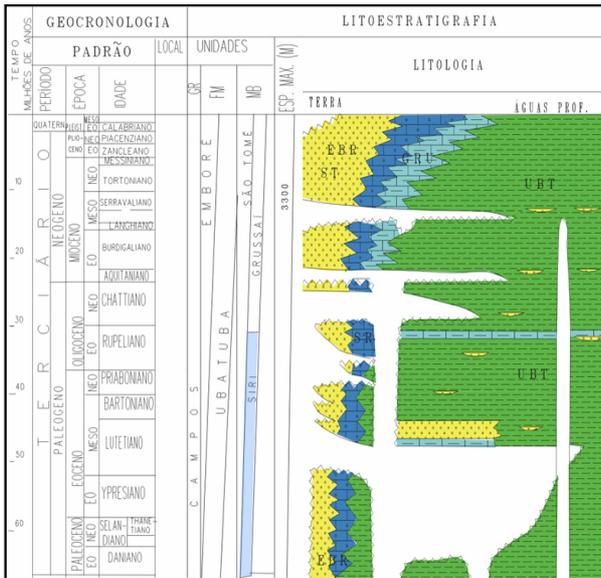


figura 1 – Carta estratigráfica da Bacia de Campos (Rangel et alii, 1994).

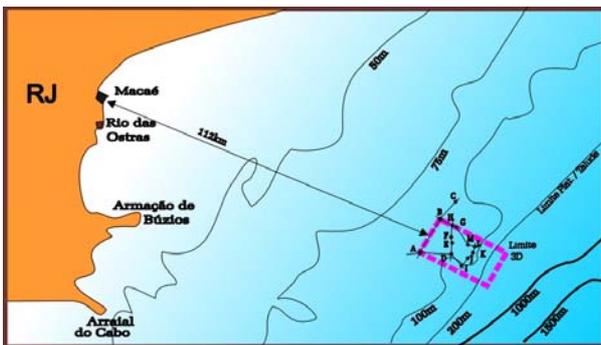


figura 2 – Mapa de localização da área estudada.

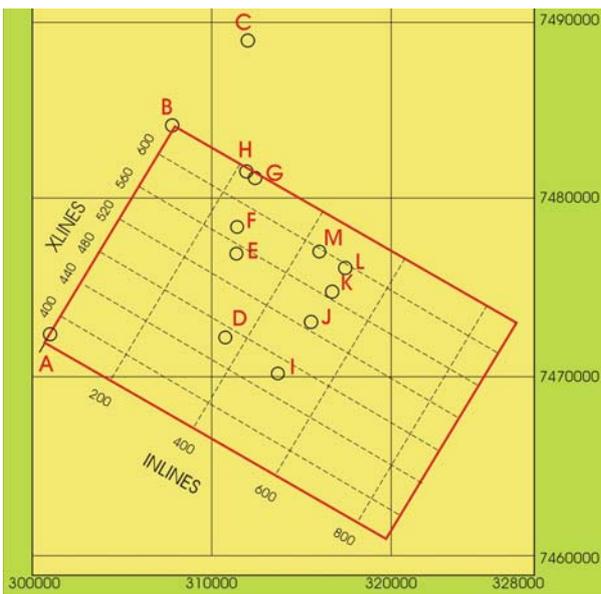


figura 3 – Grid sísmico e poços utilizados.

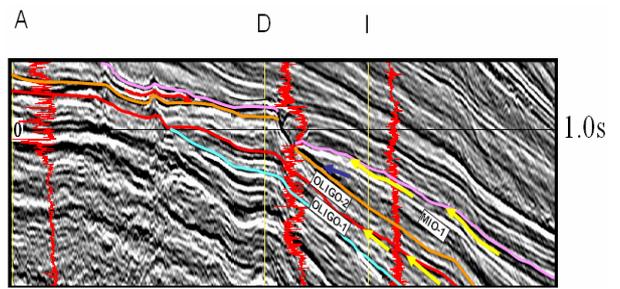


figura 4 – Seção sísmica dip (localização na fig.3)

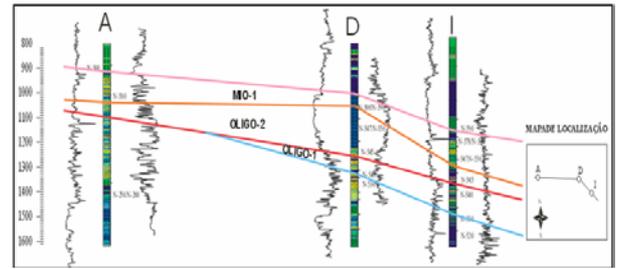


figura 5 – Seção geológica dip (localização na fig.3)

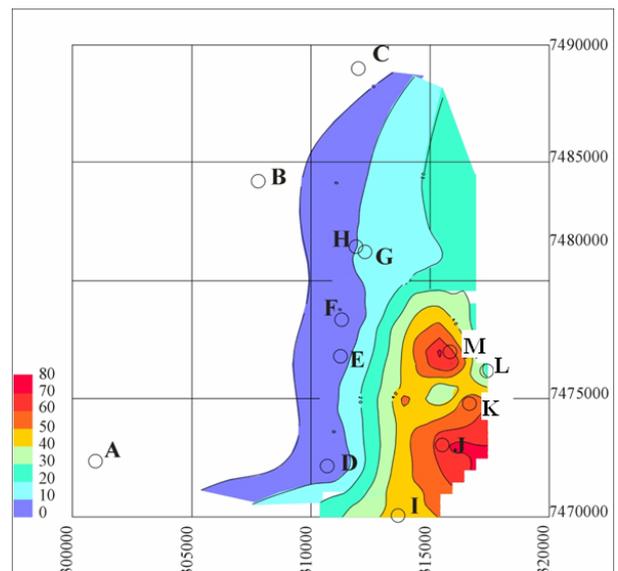


figura 6 – Mapa de percentagem de folhelho na Seqüência OLIGO-1, baseado em amostras de calha.

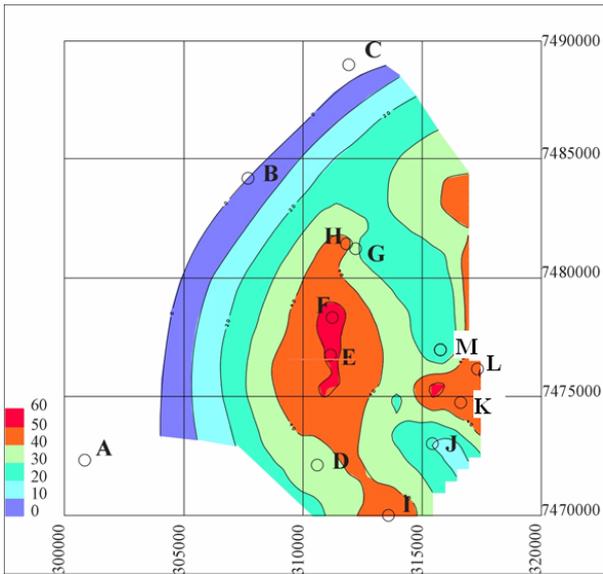


figura 7 – Mapa de percentagem de margas na Seqüência OLIGO-1, baseado em amostras de calha.

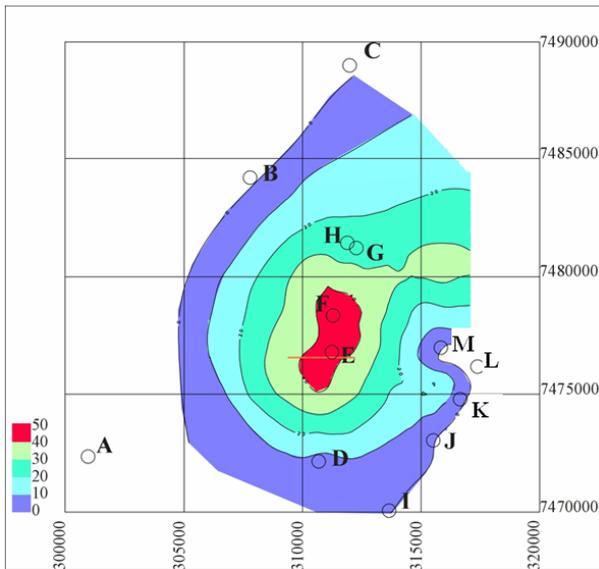


figura 8 – Mapa de percentagem de calcarenitos e calcilitos na Seqüência OLIGO-1, baseado em amostras de calha.

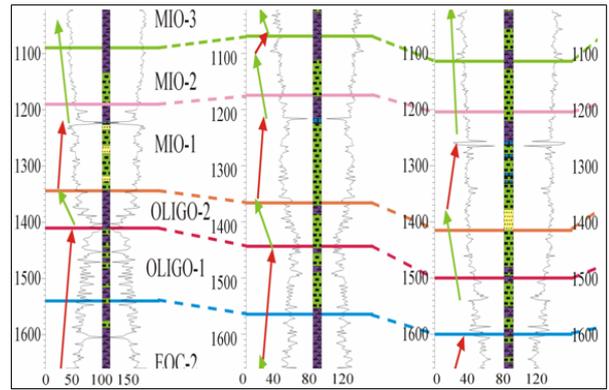


figura 9 – Variações da “argilosidade” decrescente (↘), crescente (↗) e estacionária (↕) obtidos a partir da interpretação dos perfis de raios gama.

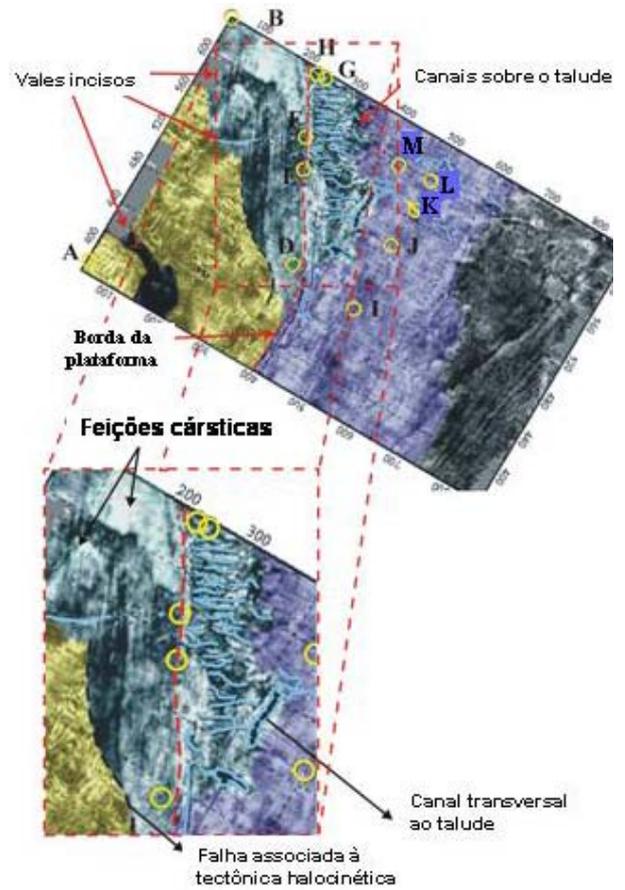


figura 10 - Seção sub-horizontal próxima ao topo da seqüência OLIGO-2 (7ms abaixo do limite superior da seqüência).

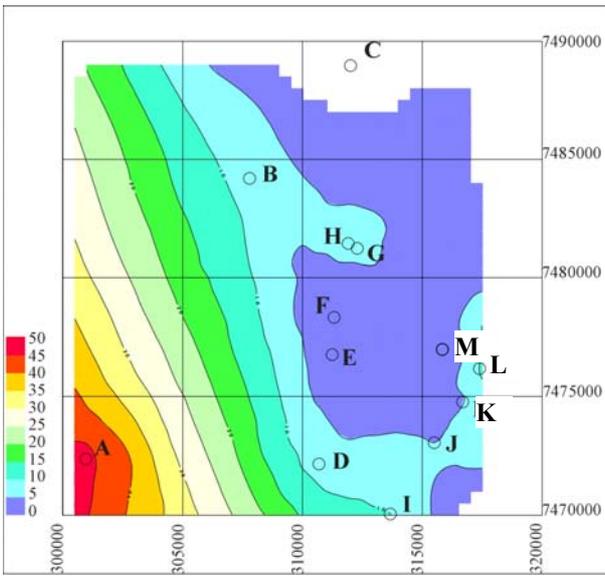


figura 11 - Mapa de percentagem de arenitos na Seqüência OLIGO-2 , baseado em amostras de calha.

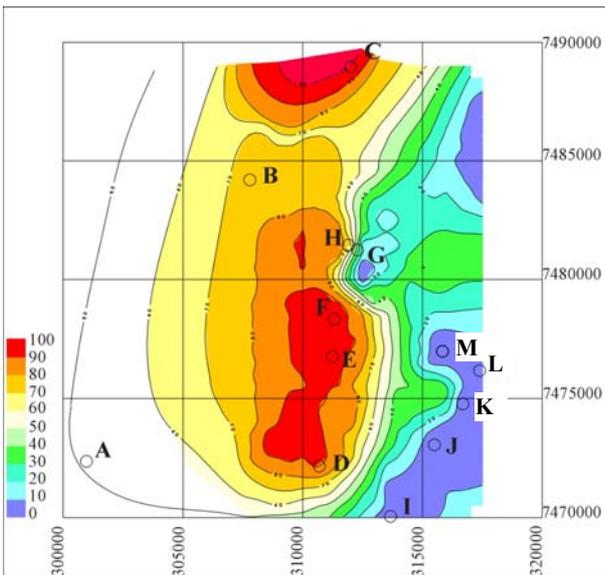


figura 12 - Mapa de percentagem de calcarenitos e calcilitos na Seqüência OLIGO-2 , baseado em amostras de calha.

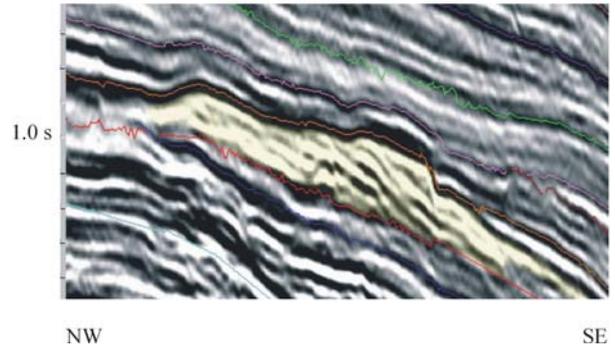


figura 13 – Clinoformas progracionais no interior da seqüência OLIGO-2. Seção *dip* ao sul do poço D.

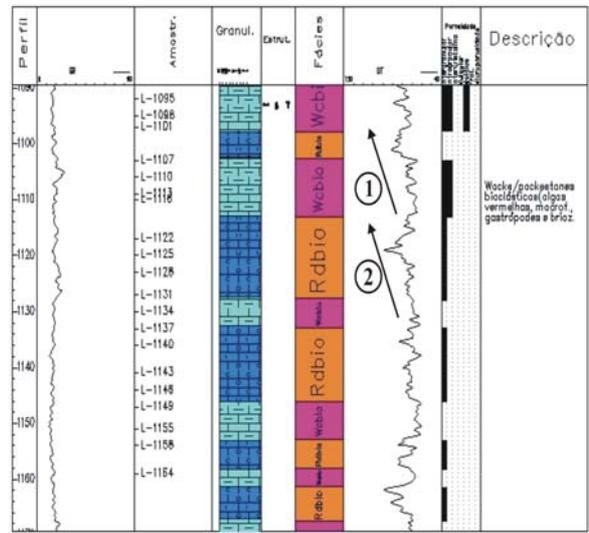


figura 14 – Ciclos de “Shallowing-upward” observados no perfil sônico do poço D

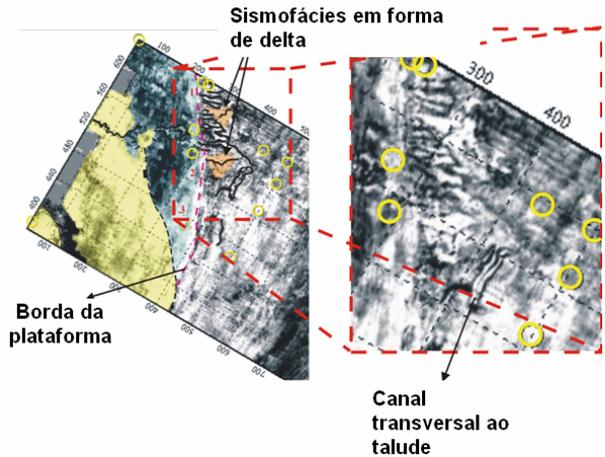


figura 15 - Seção subhorizontal obtida a 15 milissegundos abaixo do topo da seqüência OLIGO-2.

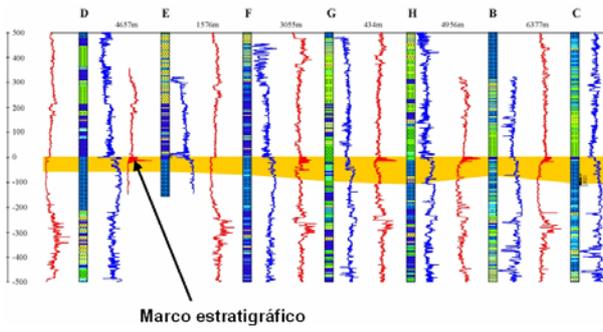


figura 16 - Seção estratigráfica utilizando-se o datum situado no topo da Seqüência MIO-1.

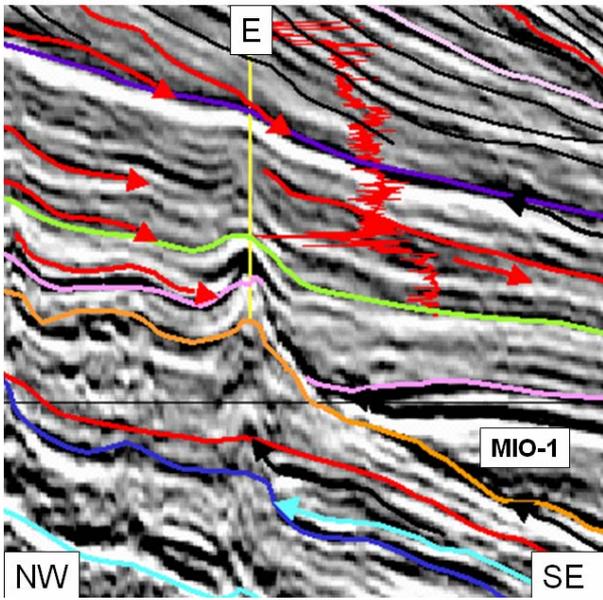


figura 17 – linha sísmica arbitrária passando pelo poço E.

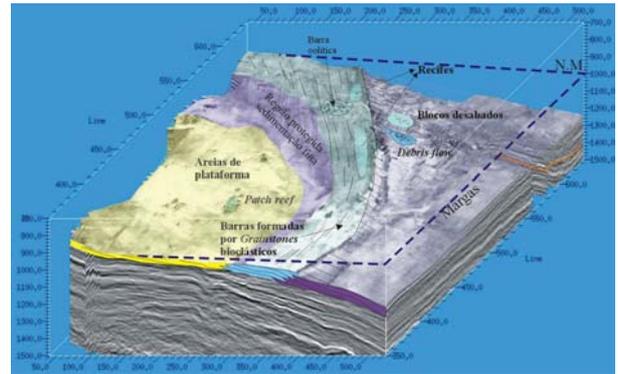


figura 18 - Bloco diagrama mostrando o trato de mar alto das Seqüências OLIGO-2 e MIO-1

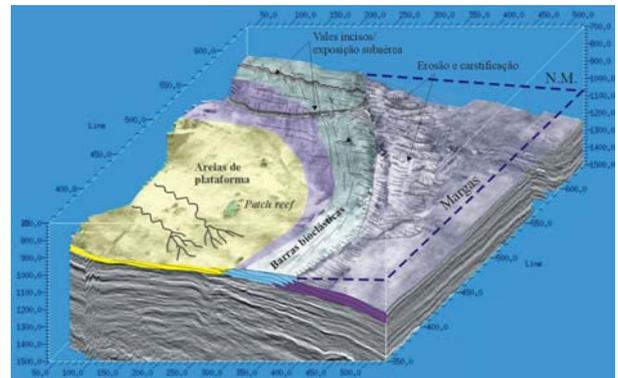


figura 19 - Bloco diagrama mostrando o trato de mar baixo das Seqüências OLIGO-2 e MIO-1

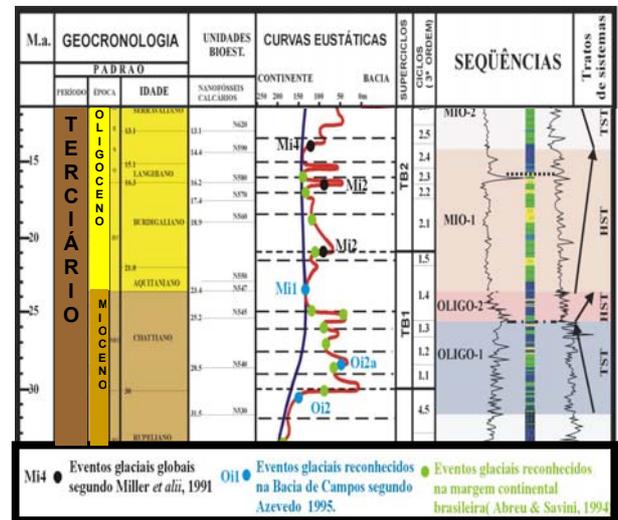


figura 20 - Ajuste entre a carta de variação eustática de Haq (modificada de Haq *et alii*, 1988) e os limites de seqüências e superfícies de inundação.