



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

RECONSTRUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA 3D DAS BACIAS DE SANTOS E CAMPOS: DO ALBIANO AO MAASTRICHTIANO

Luca Pallozzi Lavorante¹, Hans Dirk Ebert²

¹ DPM/IGCE/UNESP, Av. 24-A, 1515 - 13506-900 -Rio Claro (SP), lucapl@rc.unesp.br

² DPM/IGCE/UNESP, Av. 24-A, 1515 - 13506-900 -Rio Claro (SP), hdebert@rc.unesp.br

Resumo – Neste projeto foram aplicadas técnicas de Computação Gráfica 3D e Visualização Científica para modelar dados paleobatimétricos das bacias de Campos e Santos, utilizando o programa GOCAD. Através destas técnicas, objetivou-se ampliar as capacidades de interpretação de mapas bidimensionais utilizados para estudos da evolução paleoambiental no meso-Neocretáceo destas bacias. As técnicas de modelagem 3D utilizadas permitiram integrar os dados de paleobatimetria com informações complementares para enriquecer seu potencial descritivo. Tal integração de dados constitui uma importante ferramenta para o melhor entendimento da evolução destas bacias sedimentares no contexto regional, e consequentemente contribui para a redução dos custos exploratórios e dos danos ambientais decorrentes.

Palavras-Chave: Bacia de Santos, Bacia de Campos, Paleobatimetria, Modelagem 3D, GOCAD

Abstract – The purpose of this project was the application of advanced 3D Computer Graphics and Scientific Visualization techniques to model paleobathymetric data from Campos and Santos basins. By using these techniques, it was possible to extend the interpretative potential of 2D maps used to study the paleogeographic evolution of the two basins during the mid-Early Cretaceous. These 3D Modelling tools allowed the integration of paleobathymetric data with additional informations, in order to enhance their descriptive power. This data integration represents an important technique to improve the study of the evolution of these sedimentary basins in a regional framework, therefore allowing the reduction of exploratory costs as well as environmental damages.

Keywords: Santos Basin, Campos Basin, Paleobathymetry, 3D Modelling, GOCAD

1. Introdução

As pesquisas em geociências tendem cada vez mais a envolver a construção de modelos geométricos tridimensionais, aperfeiçoando a visualização dos dados e a interpretação dos resultados. A modelagem 3D permite a visualização simultânea e conseqüentemente uma interpretação integrada de diferentes elementos geológicos como topografia, estruturas tectônicas, horizontes estratigráficos e parâmetros geofísicos. Dentre as principais vantagens, é possível destacar:

- Detecção de erros nas interpretações geométricas, freqüentemente imperceptíveis nos mapas bidimensionais;
- Aumento das capacidades de interpretação através de: representação simultânea de modelos e parâmetros distintos; mudança no ponto de observação, no exagero vertical, etc.; representação de estruturas geológicas que são tridimensionais na natureza.

A visualização de modelos 3D integrando dados estratigráficos, paleoambientais e tectônicos é aplicada no estudo da evolução geológica das bacias como técnica poderosa para as atividades de exploração do petróleo.

Neste trabalho utilizou-se uma ferramenta de modelagem geológica 3D (programa GOCAD), para visualizar dados paleobatimétricos bidimensionais referentes às bacias de Santos e Campos (Viviers, 1986 e Azevedo et al., 1987) durante o meso-Neocretáceo (Albiano ao Maastrichtiano). Os trabalhos contendo estes dados estudam a evolução dos paleoambientes deposicionais das bacias a partir da interpretação integrada de dados bioestratigráficos, paleoecológicos, litoestratigráficos e sismoestratigráficos.

2. Métodos e Técnicas Utilizadas

A técnica mais difundida de representação de dados geológicos tridimensionais baseia-se na construção de superfícies poligonais sombreadas que delimitam corpos geológicos (contatos) ou que representam planos tectônicos (falhas). Para criar estas superfícies, este projeto utilizou o programa GOCAD, uma ferramenta de modelagem e visualização 3D de dados geológicos cujo desenvolvimento é financiado por um consórcio internacional de empresas de petróleo (incluindo a Petrobrás) e universidades, que no Brasil incluem a UNESP e PUC.

O ponto de partida do processo de modelagem realizado neste projeto é representado pelos trabalhos de Viviers (1986) e Azevedo et al. (1987), os quais objetivaram estabelecer um arcabouço bioestratigráfico e paleobatimétrico para as bacias de Santos e Campos, respectivamente, no contexto de sua exploração petrolífera. Estes trabalhos, de natureza micropaleontológica, contêm mapas paleobatimétricos associados a topos de seqüências deposicionais identificadas, tendo como base o estudo de amostras de calhas e de testemunhos obtidos a partir de 39 poços para a Bacia de Santos e 49 poços para a Bacia de Campos. A delimitação das biozonas correspondentes, aliada a informações litoestratigráficas e sismoestratigráficas, permitiu inferir a evolução paleoambiental das bacias para o intervalo Albiano-Maastrichtiano.

A seguir são descritas as etapas principais do processo de modelagem.

2.1. Digitalização e Georreferenciamento das Curvas de Isopropundidade

As curvas paleobatimétricas contidas nos trabalhos originais foram digitalizadas com o programa AutocadMap. Foram também digitalizadas as coordenadas dos poços utilizados para a obtenção dos referidos mapas.

Os ambientes de deposição considerados foram o continental, parálico, plataformar, batial e abissal. Isto permitiu atribuir elevações diferentes às curvas que denotam a transição entre ambientes adjacentes, conferindo a informação de profundidade aos dados 2D.

Em seguida, foi realizado o georreferenciamento das informações no sistema de projeção UTM 23S e Datum SAD69, utilizando como referência os dados da linha de costa atual representados nos mapas originais. Os conjuntos de curvas obtidos foram exportados no formato DXF, gerando-se seis arquivos para cada bacia (evolução temporal do Albiano ao Maastrichtiano).

2.2. Confecção de Modelos Digitais de Terreno (MDT's)

Os arquivos DXF foram importados no programa GOCAD, sendo representados por objetos do tipo *Curve* (conjuntos de linhas, ou segmentos interconectados). Em seguida foram extraídos os pontos (*PointSet*) associados a cada idade do período de estudo. Tais pontos foram obtidos durante a etapa de digitalização.

A partir dos pontos de cada idade, foi também extraída uma nova curva, denominada feixe convexo (*Convex Hull*). Tal curva é o menor conjunto de segmentos interconectados que contém as curvas paleobatimétricas. Sua utilização é importante para controlar a qualidade dos modelos digitais gerados.

Finalmente, utilizando o conjunto de pontos para cada idade e seu feixe convexo, foram construídas malhas vazadas 3D (modelos geométricos digitais) através do algoritmo de triangulação *Delaunay* (Watson, 1981). Trata-se de um procedimento de construção de malhas de triângulos a partir de pontos no plano. Tal algoritmo está implementado no programa GOCAD e para sua execução é suficiente criar uma nova superfície (objeto *Surface*) a partir de pontos e curvas. As curvas consistem no feixe convexo associado a cada conjunto de pontos. Sua utilização é necessária para

prover a orientação aproximada de um plano sobre o qual os pontos (distribuídos no espaço 3D) serão projetados, reduzindo a dimensão destes de 3 para 2. Tal exigência deriva da natureza bidimensional do algoritmo de triangulação *Delaunay*.

2.3. Modelagem de Dados Complementares

Visando aumentar o potencial de interpretação associado às superfícies paleobatimétricas criadas, foram utilizadas informações complementares para modelar dados auxiliares da região Sudeste do Brasil. As entidades geométricas criadas foram visualizadas simultaneamente às superfícies paleobatimétricas no ambiente GOCAD.

Dentre as entidades auxiliares modeladas, é possível destacar: a localização dos poços utilizados para os trabalhos originais de Azevedo e Viviers; a linha de costa atual, o relevo topográfico e a rede de drenagens atuais; curvas de evolução da linha de costa do Albiano ao Maastrichtiano, obtidas a partir do conjunto de curvas paleobatimétricas 2D.

2.4. Visualização 3D dos Modelos Digitais

As superfícies paleobatimétricas obtidas foram visualizadas em 3D com o programa GOCAD. Técnicas de computação gráfica permitiram enriquecer o conjunto de informações exibidas. Destaca-se a utilização de uma escala de cores associada à variação batimétrica de cada superfície, com limites predefinidos (vermelho-rosa=continental e parálico, verde=plataformal, azul claro=batial superior a médio, roxo=batial inferior a abissal) para proporcionar uma informação visual imediata de sua elevação (Figura 1). Além disto, a visualização 3D possibilita modificar interativamente o ponto de vista do usuário para realçar determinadas características locais dos modelos, ou estabelecer um exagero vertical adequado à tipologia de dados investigada. Por fim, o ambiente de modelagem do programa GOCAD permite criar animações, ao longo do tempo geológico, da evolução das superfícies estudadas. Isto pode ser realizado gerando-se imagens distintas ou exibindo mais de um objeto na mesma janela 3D.

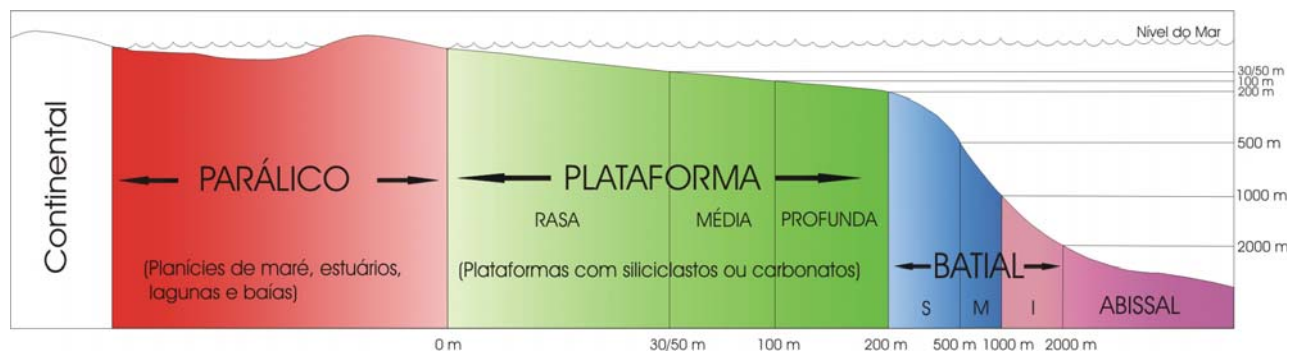


Figura 1. Modelo esquemático dos ambientes deposicionais considerados para representar a variação paleobatimétrica nos modelos digitais construídos. Utiliza-se uma escala de cores do vermelho para o roxo para “colorir” cada modelo digital 3D.

3. Resultados e Conclusões

A Figura 2 mostra a visualização 3D da paleobatimetria da Bacia de Santos, complementada pelas informações dos poços, topografia, hidrografia e linha de costa atuais. Já a Figura 3 mostra um exemplo de integração das informações paleobatimétricas das bacias de Santos e Campos, o que permite observar semelhanças e diferenças durante sua evolução paleoambiental para cada período considerado. As Figuras 4 e 5 mostram a morfologia das bacias ao final do neoalbiano e Maastrichtiano, respectivamente, sendo que as cores atribuídas às superfícies ressaltam os diferentes ambientes deposicionais predominantes. A comparação entre as duas Figuras permite verificar um padrão de deposição comum durante o Albiano, ao passo que a Bacia de Campos apresentou ambientes mais profundos em idades posteriores. Por fim, a determinação da linha de costa para cada idade e a simulação de seu deslocamento em planta ao longo do tempo (Figura 6) permitem visualizar e conseqüentemente interpretar melhor as variações paleoambientais ocorridas na região.

A modelagem 3D de informações paleobatimétricas originalmente 2D aumenta as possibilidades de interpretação dos dados. Por exemplo, visualizando várias superfícies simultaneamente foi possível realçar as relações espaciais entre ambientes de deposição definidos para períodos diferentes. Além disto, a visualização conjunta de dados complementares (relevo continental atual, linhas de charneira, etc.) aumenta o potencial descritivo associado aos mapas paleobatimétricos originais.

A reinterpretação de dados estratigráficos, paleoambientais e tectônicos, realizada através de ferramentas de modelagem e visualização 3D, contribuirá para o avanço do conhecimento geológico das bacias de Santos e Campos e conseqüentemente para a diminuição dos riscos exploratórios. Desta forma será possível aumentar a probabilidade de novas descobertas e diminuir os custos de exploração, bem como os danos ambientais conseqüentes.

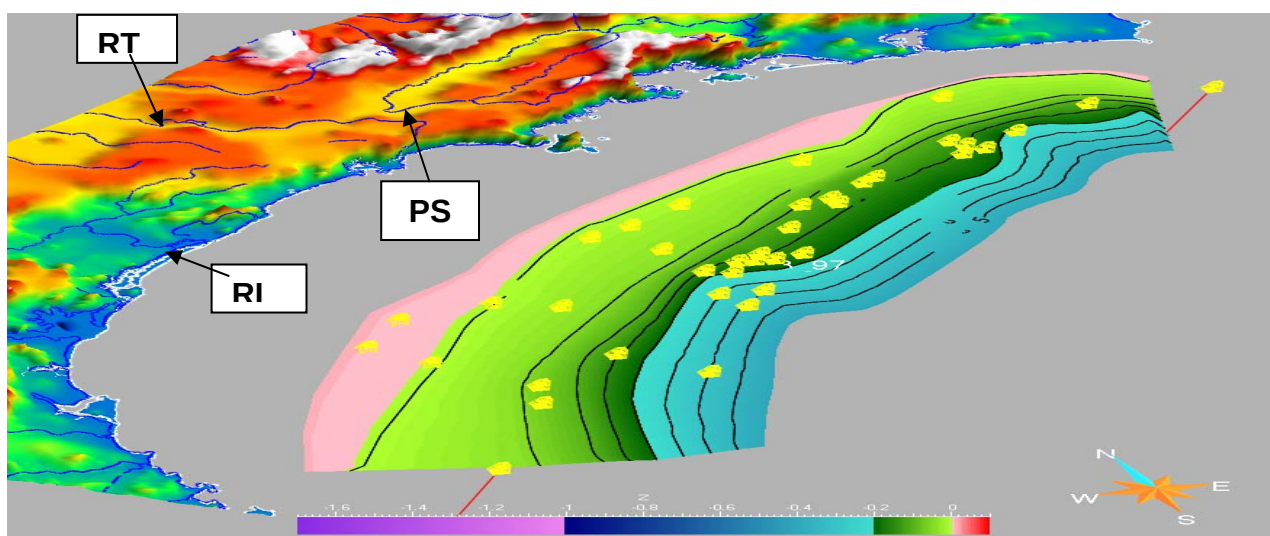


Figura 2. Superfície paleobatimétrica ao “final” do eo-mesoalbio (103 Ma) e poços da Bacia de Santos (direita). No lado esquerdo são visualizados a topografia e a hidrografia atuais (rios Tietê=RT, Ribeira de Iguaçu=RI e Paraíba do Sul=PS). O termo “final” está entre aspas em razão do diacronismo do topo do intervalo estratigráfico. A escala de cores na porção inferior mostra a variação da batimetria em Km, e foi utilizada para “colorir” a superfície.

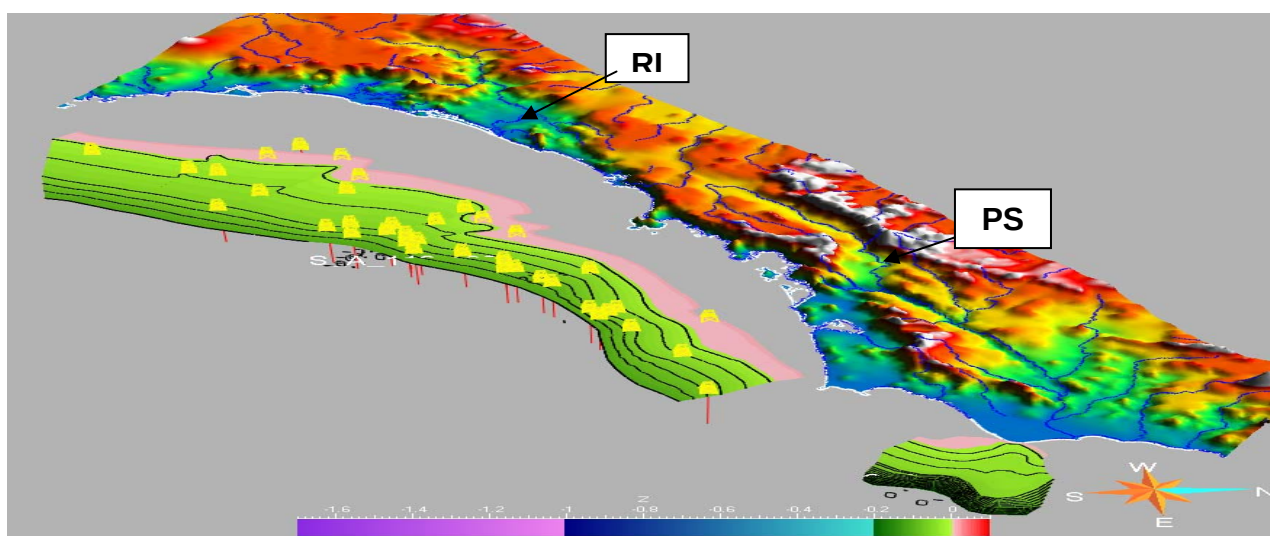


Figura 3. Superfícies paleobatimétricas ao “final” do neo-albio (97,5 Ma) para as bacias de Santos (esquerda) e Campos (direita, inferior), representadas simultaneamente com a topografia e rede hidrográfica atuais (bacias dos rios Ribeira de Iguaçu=RI e Paraíba do Sul=PS). Visada para Oeste.

4. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Programa para a Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-05, UNESP/Rio Claro), conduzido pela Agência Nacional do Petróleo/ANP, que financiou as atividades de pesquisa descritas neste trabalho.

5. Referências

- AZEVEDO, R.L.M.; GOMIDE, J.; VIVIERS, M.C. Geo-história da Bacia de Campos, Brasil, do Albiano ao Maastrichtiano. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 139-146, 1987.
- VIVIERS, M.C. Bioestratigrafia e evolução paleoambiental do Meso-Neocretáceo da Bacia de Santos, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. *Anais...* Goiânia: SBG, 1986, v.1, p. 50-64.
- WATSON, D.F. Computing the n-dimensional Delaunay Tessellation with application to Voronoy polytopes. *The Computer Journal*, v. 24, n. 2, p. 167-172. 1981.

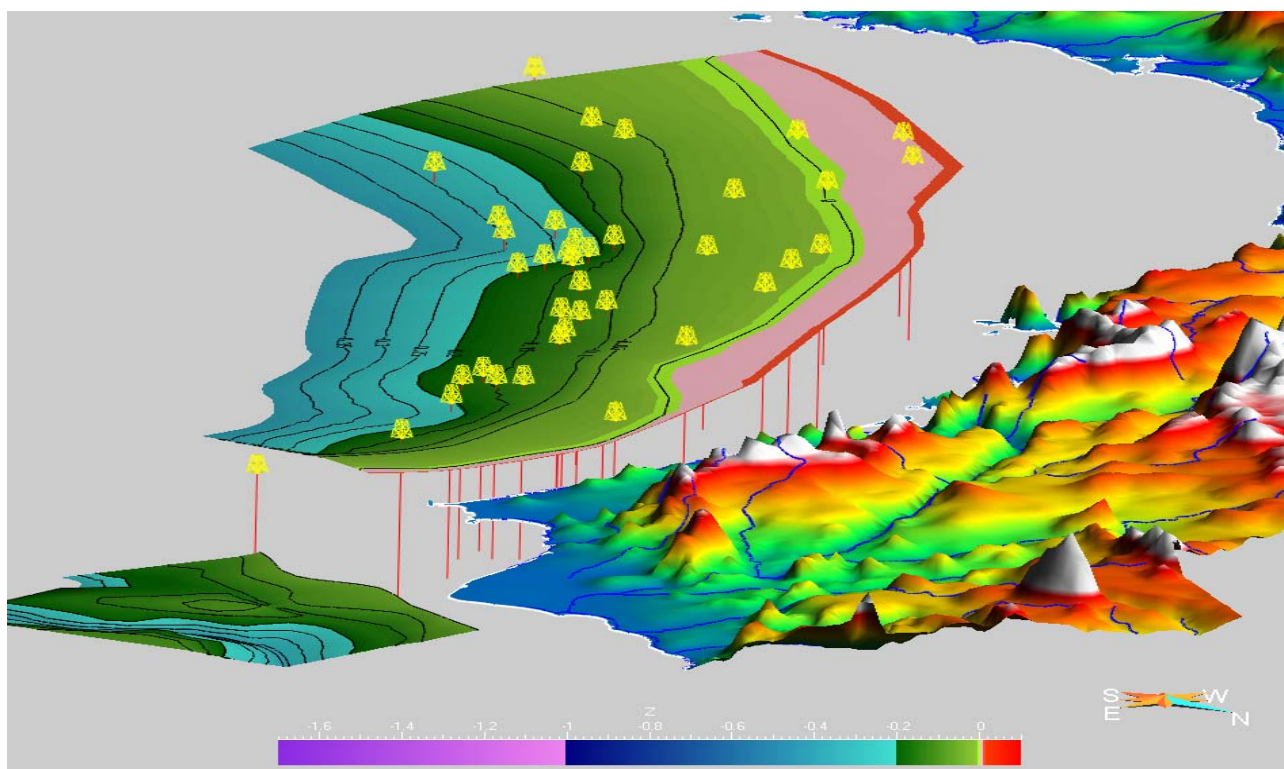


Figura 4. Superfícies paleobatimétricas das bacias de Campos (esquerda, abaixo) e Santos (porção central) ao “final” do neoalbian (97,5 Ma). À esquerda, parte do relevo continental atual. Fator de exagero vertical: 25. Visada para Sudoeste.

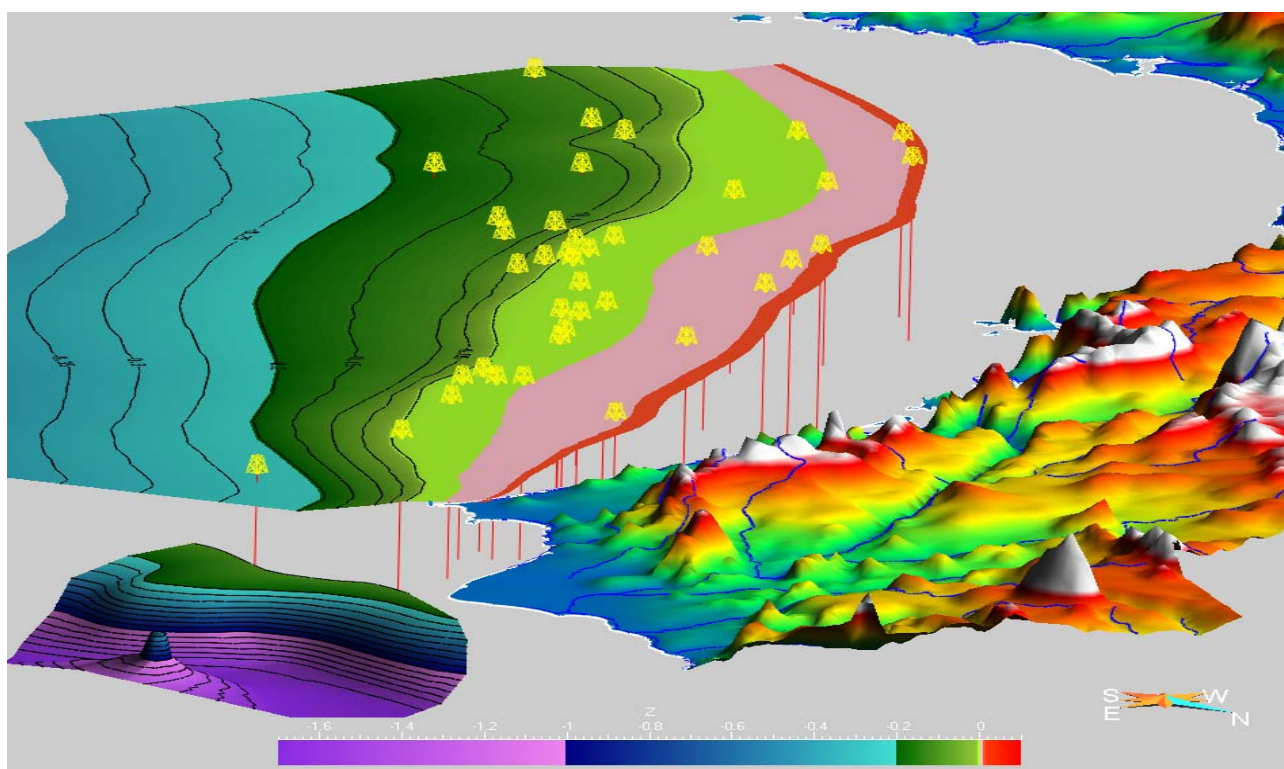


Figura 5. Superfícies paleobatimétricas das bacias de Campos (esquerda, abaixo) e Santos (porção central) ao “final” do Maastrichtiano (65 Ma). Visada para Sudoeste.

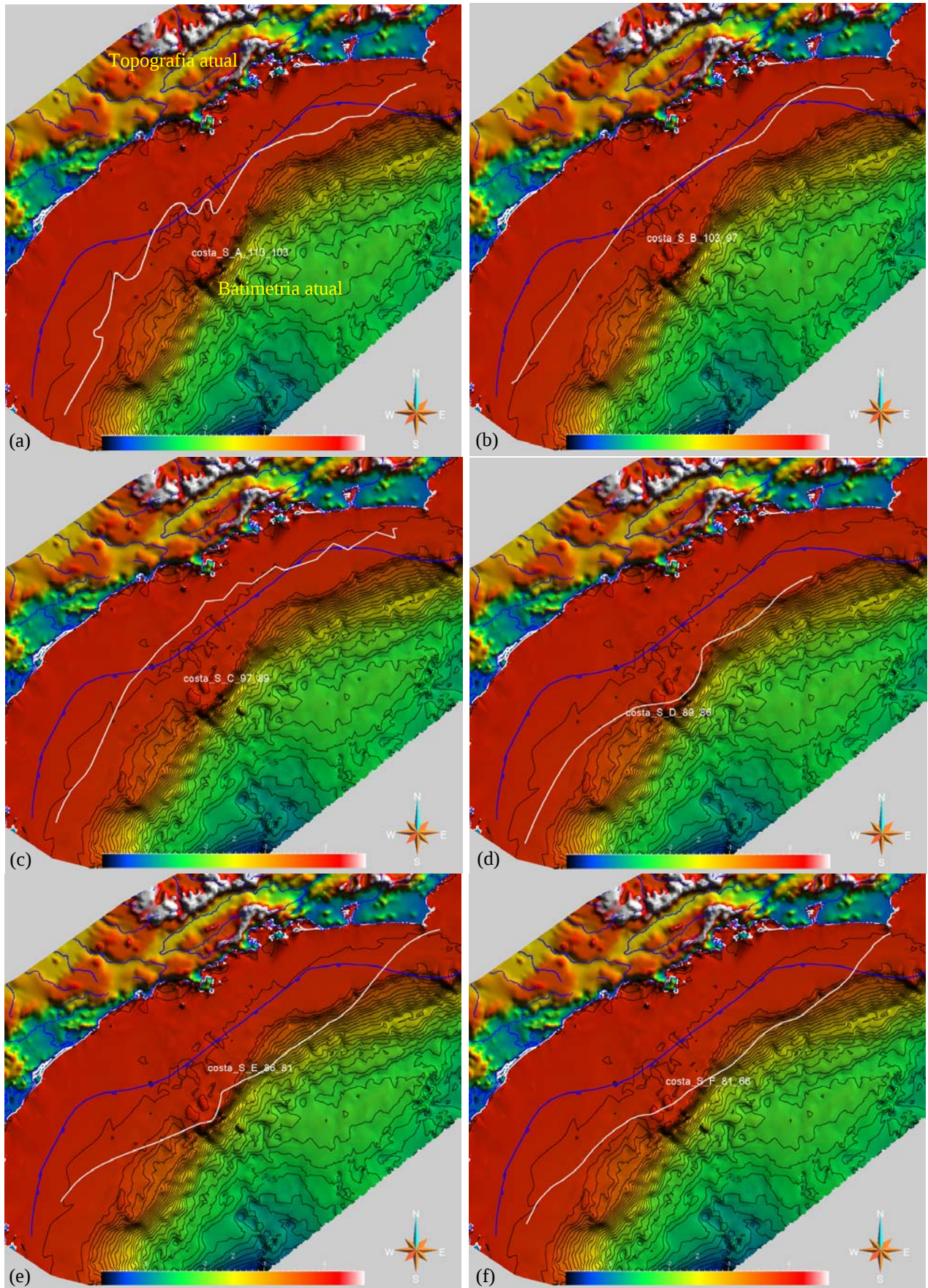


Figura 6. Bacia de Santos: posicionamento da linha de costa (em branco) durante o meso-Neocretáceo. São também visualizadas a topografia, batimetria e linha de costa atuais (também em branco), além da linha de charneira da bacia (em azul). (a) “Final” do eo-mesoalbio. (b) “Final” do neoalbio (97,5 Ma). (c) “Final” do mesoturoniano. (d) “Final” do eosantoniano. (e) “Final” do eocampaniano. (f) “Final” do Maastrichtiano (65 Ma). A escala de cores do vermelho para o azul na porção inferior representa a variação da batimetria atual de 0 a 3000 m de profundidade.