

# 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## TÍTULO DO TRABALHO:

CONDICIONANTES GEOLÓGICOS EM TURBIDITOS E DEPÓSITOS DE TRANSPORTE EM MASSA: ELUCIDAÇÕES A PARTIR DO ESTUDO DE AFLORAMENTOS E SEÇÕES SÍSMICAS NAS BACIAS DO PARANÁ E DE SANTOS

## AUTORES:

Carvalho, A.H., Berton, F., Schemiko, D.C.B., Vesely, F.F.

## INSTITUIÇÃO:

UFPR – PRH-24

*Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.*

## **CONDICIONANTES GEOLÓGICOS EM TURBIDITOS E DEPÓSITOS DE TRANSPORTE EM MASSA: ELUCIDAÇÕES A PARTIR DO ESTUDO DE AFLORAMENTOS E SEÇÕES SÍSMICAS NAS BACIAS DO PARANÁ E DE SANTOS**

### **Abstract**

The understanding of the nature and geometry of reservoirs is very important for the development of hydrocarbon fields. In Brazil, turbidites are among the most significant oil and gas producing reservoirs and occur closely associated with mass-transport deposits (MTDs). Three areas, one in Santos Basin and two in Paraná Basin, were selected for the analysis of field and seismic data in order to investigate the controlling factors on turbidites and MTDs. It was recognized that MTDs are, in all studied cases, genetically related with deltaic progradations under the effect of falling sea level and/or high sediment supply. This relationship was described in the glacially influenced permocarboniferous record of the Paraná Basin – it is believed that the meltwater of the glaciers may have provided enough sediment to overcome the relative rising of sea level caused by the glaciers retreat. The high rate of sedimentation may have acted as a trigger for mass movements in the river mouth and delta slope. Turbidites were generated by hyperpycnal flows which entered the basin carrying sandy sediments to deeper waters during floods and occur preferentially associated with forced regressions. MTDs recognized in seismic data from the Santos Basin were triggered by sea level fall following periods of sediment storage on the shelf-margin.

### **Introdução**

Turbiditos constituem os principais reservatórios de petróleo em ambiente marinho profundo (Stow & Mayall, 2000) e respondem por grande parte da produção de petróleo no Brasil. Formam-se especialmente em condições de alto aporte sedimentar e rebaixamentos do nível relativo do mar, condições favoráveis à transferência de sedimentos clásticos grossos do continente para o ambiente marinho profundo através de sistemas fluvio-deltaicos. Intimamente associados aos turbiditos e depósitos fluvio-deltaicos ocorrem depósitos de transporte em massa (DTMs), resultantes de instabilização e colapso gravitacional de sedimentos em taludes submarinos.

Avaliar o relacionamento genético, espacial e estratigráfico entre associações de fácies deltaicas e marinhas profundas visa estabelecer critérios geológicos de suporte à exploração e desenvolvimento de reservatórios turbidíticos, principalmente no que se refere à predição desses depósitos no registro estratigráfico e suas relações espaciais com rochas argilosas de baixa permeabilidade. Neste artigo são exploradas essas relações a partir do estudo de afloramentos na borda leste da Bacia do Paraná e de dados sísmicos de excelente qualidade na porção norte da Bacia de Santos (Figura 1). Ambos os casos estudados permitem avaliar o papel do nível relativo do mar e do aporte sedimentar na deposição de DTMs e turbiditos em águas profundas, principal objetivo deste trabalho.

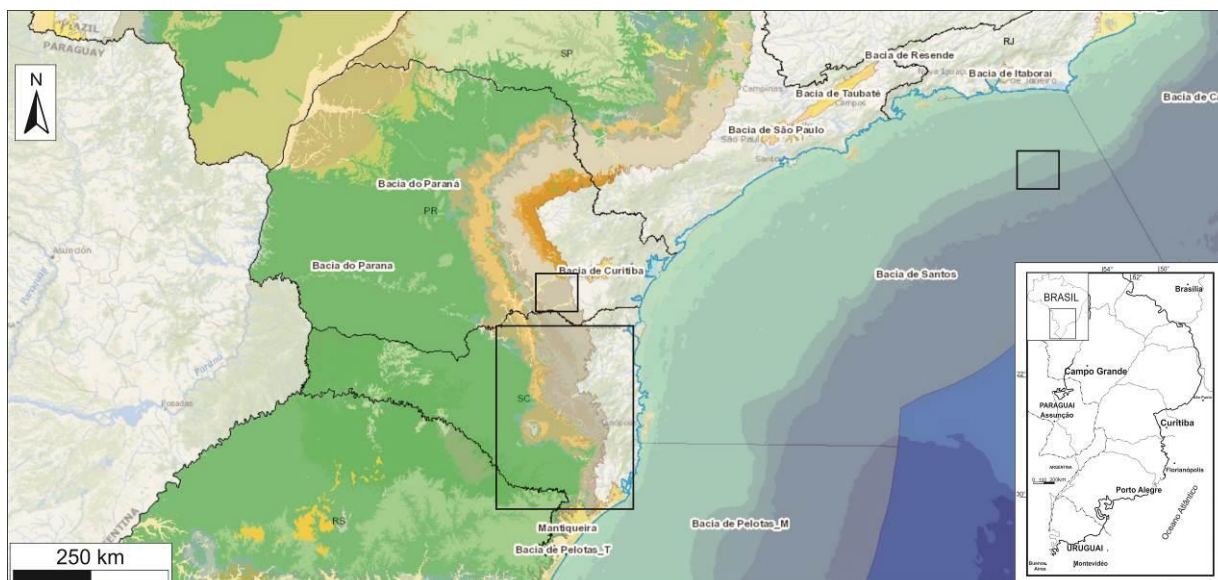


Figura 1: Localização das áreas de estudo nas bacias do Paraná e de Santos, sul-sudeste do Brasil.

## Contexto Geológico

### Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica com cerca de 1.600.000 km<sup>2</sup>, localizada no sul da América do Sul, que abrange territórios brasileiros, paraguaios, uruguaios e argentinos (Milani *et al.*, 2007). Seu registro sedimentar abrange rochas desde o Ordoviciano ao Cretáceo, incluindo unidades sedimentares predominantemente siliciclásticas e rochas magmáticas efusivas e intrusivas associadas à abertura do Atlântico Sul. O intervalo analisado neste trabalho está incluído na porção inferior da sequência permocarbonífera da bacia, litoestratigraficamente compreendido no Grupo Itararé. O Grupo Itararé foi depositado num ambiente essencialmente marinho sob influência glacial, onde predominaram processos de fluxos gravitacionais provavelmente controlados pelas altas taxas de sedimentação impulsionadas pelo degelo.

### Bacia de Santos

A Bacia de Santos está localizada na margem sudeste do Brasil, limitada a norte pelo Alto de Cabo Frio e a sul pelo Alto de Florianópolis. Sua evolução está relacionada aos processos de abertura do Oceano Atlântico Sul a partir do Cretáceo (Moreira *et al.*, 2007). O alto aporte sedimentar consequente à denudação da Serra do Mar, a partir do Neocretáceo, condicionou uma fase persistente de progradações que se estendeu até o Eoceno (Mohriak & Magalhães, 1993), chamada de progradação Juréia (Macedo, 1989). Durante este período, o influxo clástico no norte da bacia foi controlado pelo paleossistema de drenagens do rio Paraíba do Sul (Ribeiro, 2007). Ao final do período, a reorganização e migração deste paleossistema para a Bacia de Campos (Karner & Driscoll, 1999) tornou o norte da Bacia de Santos faminto, iniciando uma fase de transgressão e retrabalhamento por correntes de fundo (Duarte & Viana, 2007). Neste trabalho é analisado o intervalo Eoceno, porção superior da progradação Juréia, caracterizado por espessas clinoformas progradaçãoais de talude, às quais se associam sistemas deltaicos, turbiditos e DTMs (Mohriak & Magalhães, 1993; d'Ávila *et al.*, 2008).

## Materiais e Métodos

Afloramentos foram analisados em duas localidades na borda leste da Bacia do Paraná – a região de Lapa – PR, cerca de 70 km a sudoeste de Curitiba e a região de Presidente Getúlio, no leste de Santa Catarina. Os trabalhos realizados consistiram na descrição de fácies, medição de paleocorrentes, levantamento de perfis estratigráficos e confecção e análise de fotomosaicos. A codificação das fácies foi baseada nas propostas de Miall (1977) e de Eyles *et al.* (1983).

O banco de dados de subsuperfície é composto por linhas sísmicas 2D (aproximadamente 2300 km<sup>2</sup> de cobertura total) e volume sísmico 3D (aproximadamente 50 km<sup>2</sup>), abrangendo uma região no extremo norte da Bacia de Santos cerca de 150 km costa afora do litoral do Rio de Janeiro. Os dados foram fornecidos pelo Banco de Dados de Exploração e Produção da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (BDEP-ANP). Para a análise dos dados, foram aplicados conceitos e técnicas da análise de fácies sísmicas e de geomorfologia sísmica utilizando o software OpendTect.

## Resultados e Discussões

### Lapa

O intervalo analisado no município de Lapa – PR corresponde à parte intermediária do Grupo Itararé, de idade neocarbonífera. As fácies descritas foram agrupadas em quatro associações de fácies (Figura 2): A) fluvial – arenitos médios a conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada/planar de grande porte; B) desembocadura fluvial – arenitos finos a conglomeráticos com ondulações de corrente, megaripples cavalgantes e deformações penecontemporâneas; C) depósitos de transporte em massa – lamitos e diamictitos de aspecto caótico e com blocos métricos a decamétricos de arenitos ressedimentados; D) pró-delta com influência glacial – lamitos e ritmitos delgados com clastos caídos, assim como arenitos tabulares de origem turbidítica. Os perfis estratigráficos levantados apontam uma sucessão progradação com cerca de 100 m de espessura que evolui, da base para o topo, da associação D para a associação A. As associações de fácies são interdigitadas, atestando relação genética entre o sistema fluvio deltaico e os fluxos gravitacionais (e.g. d'Ávila *et al.*, 2008). Dessa forma, toda a sucessão pode ser interpretada como resultado de progradação em um contexto de regressão normal, condicionada pelo alto aporte sedimentar proveniente das águas de degelo das geleiras neopaleozoicas. A preservação de depósitos fluviais indica criação de espaço de acomodação e aggradação no *topset*, o que é indicativo de elevação do nível relativo do mar. Interpreta-se que a alta taxa de sedimentação também deve ter atuado como gatilho para os movimentos de massa ocorridos no talude deltaico. Depósitos turbidíticos são restritos e de pequena espessura, sendo relacionados a fluxos hiperpicnais que adentraram a bacia durante cheias fluviais.

### Presidente Getúlio

Nessa localidade afloram rochas da parte superior do Grupo Itararé, de idade eopermiana. O intervalo apresenta cerca de 300 m de espessura e, da base para o topo, abrange folhelhos negros, arenitos turbidíticos (Figura 3) espessos (>50 cm) e delgados (<50 cm), depósitos de transporte em massa com deformação penecontemporânea, fácies heterolíticas com acamamento ondulado de contexto pro-deltaico e arenitos finos a médios com *ripples* cavalgantes interpretados como de frente deltaica. Assim como em Lapa, a sucessão é tentativamente interpretada como resultado de progradação de um talude deltaico propenso ao disparo de fluxos de massa. Difere do caso anterior quanto ao estilo deltaico, de granulometria mais reduzida e quanto à significativa espessura, sugerindo lâmina d'água mais profunda. Outra diferença importante é a maior abundância de turbiditos, o que

provavelmente se deve à existência de um sistema mais eficiente de transferência de areia da desembocadura deltaica para o ambiente profundo.

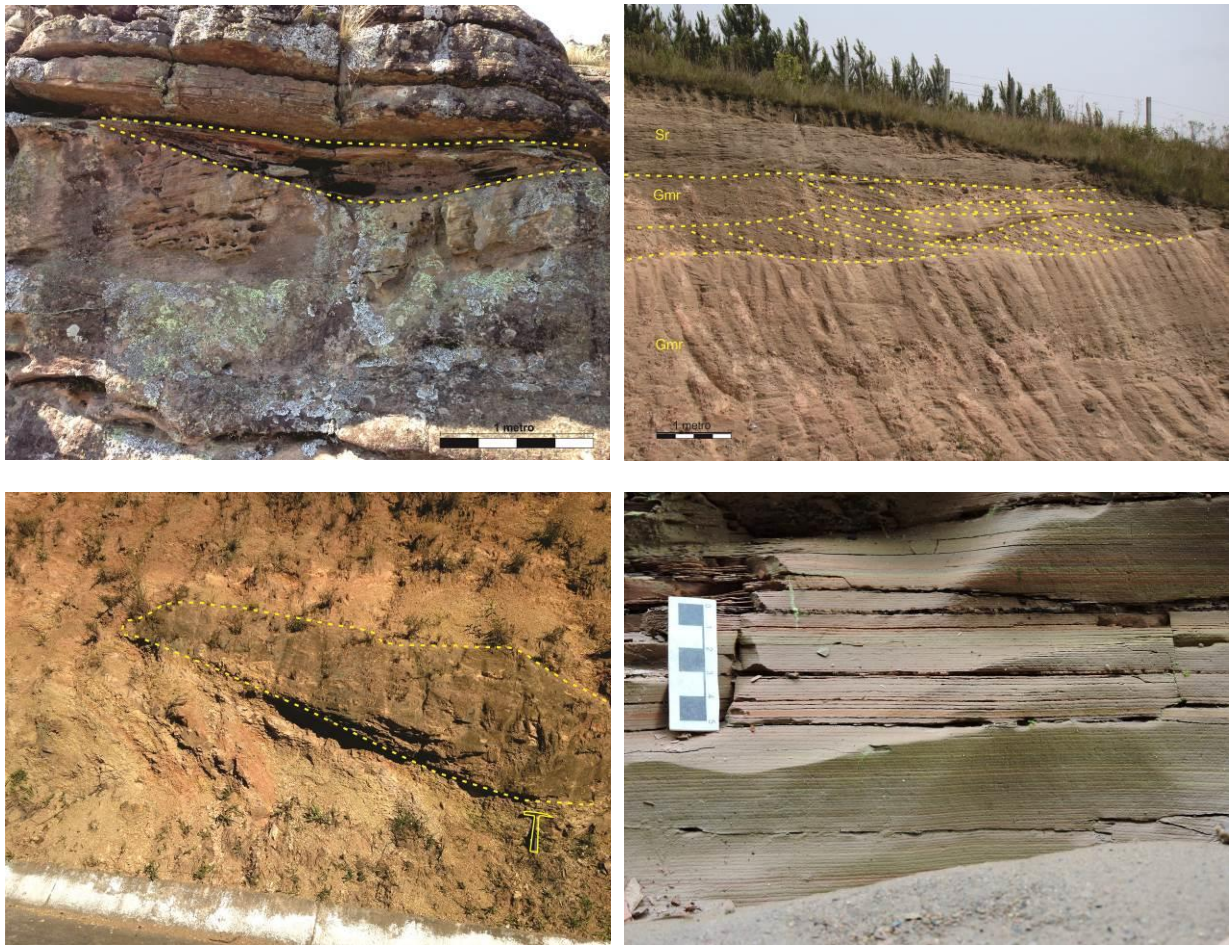


Figura 2 - Aspectos característicos das associações de fácies do Grupo Itararé no município de Lapa – PR. A) Arenitos com estratificação cruzada acanalada ou planar - associação fluvial; B) *megaripples* cavalgantes - associação de desembocadura fluvial; C) bloco métrico de arenito envolto em matriz lamosa - associação de depósitos de transporte em massa; D) ritmitos delgados síltico-argilosos – associação pro-deltaica.



Figura 3 - Turbiditos em meio a folhelhos marinhos profundos descritos na região de Presidente Getúlio, Santa Catarina.

### Bacia de Santos

A geometria geral do intervalo eoceno no norte da Bacia de Campos é de clinoformas progradantes de talude de ângulo moderado a alto, com os *topsets* truncados. As espessuras variam de 230 m nas porções proximais e distais, a 590 m nos prismas de acreção do talude. Estas características são coerentes com um período de alto aporte sedimentar e predomínio de regressões forçadas, favoráveis à deposição de turbiditos em ambientes marinhos profundos. Nas regiões de sopé do talude foram identificadas duas fácies sísmicas: a de alta amplitude e a caótica. Nos *bottomsets* das clinoformas de talude ocorre aumento dos contrastes de amplitude, compondo fácies sísmicas de alta amplitude e baixa frequência com extensão longitudinal variando entre 1,5 e 15 km. Esta fácies é interpretada como turbiditos arenosos que, quando observados em sísmica 3D, mostram uma composição de sistemas de canais submarinos e espraiaamentos frontais. Os canais apresentam sinuosidade baixa a moderada, e largura de até 150 m. Seções destas feições mostram picos de impedância acústica negativa, indicando que seu preenchimento é predominantemente arenoso. Os sistemas de canais terminam em espraiaamentos frontais cujas dimensões são variáveis. Novamente, os picos de impedância negativa associados a essas feições indicam composição arenosa. A alimentação dos sistemas turbidíticos está associada à escavação de cânions submarinos na região do talude, cuja profundidade pode atingir 35 ms. Estes cânions atuaram como vias preferenciais ao transporte de areia para a bacia. Os turbiditos ocorrem de forma irrestrita no intervalo, como reflexo do alto aporte sedimentar que atuou ao longo de todo o Eoceno da Bacia de Santos. A fácies caótica apresenta refletores em padrão predominantemente caótico, com contrastes de amplitude baixos e frequências altas. A forma externa dos corpos é em cunha nos sopés dos paleotaludes, com extensão de até 30 km e espessuras variáveis ente 10 e 350 ms. Assim, a fácies caótica é correspondente a DTMs argilosos. Os DTMs estão associados a horizontes de geometria sigmoide de alto ângulo, que truncam refletores da região da plataforma. Estes horizontes são interpretados como cicatrizes de escorregamento, cuja geração está associada à sobrecarga da plataforma. O colapso gravitacional do talude deu origem aos DTMs. Nas regiões proximais ocorrem falhas normais lístricas que se propagam para as superfícies de descolamento basal dos DTMs, originadas em consequência dos esforços distensivos do escorregamento. Em regiões distais foram identificadas falhas inversas, formadas quando a energia do transporte *en masse* começou a ser superada pela coesão dos sedimentos. Em meio e sobre a fácies caótica são observados *sets* de refletores de padrão subparalelo e com contrastes de amplitude altos. Estes *sets* são interpretados como blocos escorregados da região da plataforma e transportados em um processo de *rafting* sobre o movimento argiloso (Figura 4).

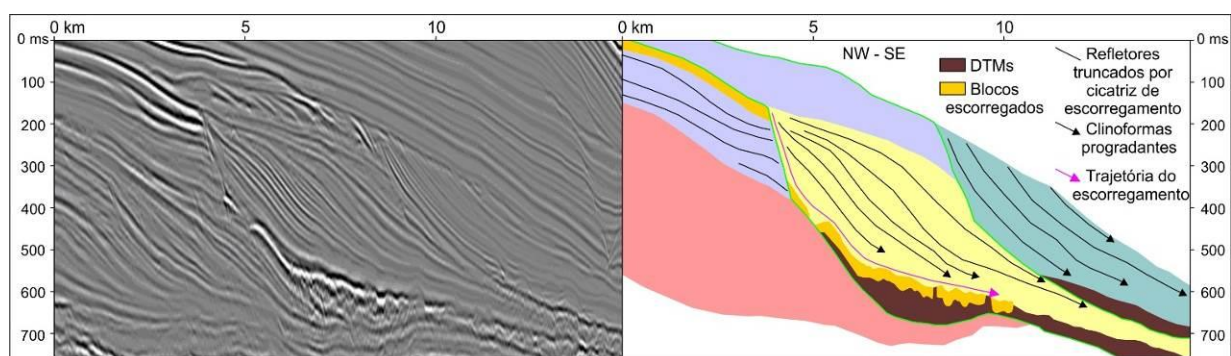


Figura 4 - Interpretação de blocos escorregados da região da plataforma, depositados sobre os DTMs argilosos.

## Conclusões

A integração de dados de superfície e subsuperfície oriundas de duas bacias sedimentares de contextos tectônicos distintos, mas com estilos deposicionais semelhantes, possibilita elucidar alguns aspectos quanto aos fatores controladores da deposição de turbiditos e DTMs:

- Depósitos de transporte em massa ocorrem em sucessões regressivas depositadas tanto durante subidas quanto descidas do nível relativo do mar.
- O excesso de aporte de sedimentos na desembocadura fluvial ou na margem da plataforma é essencial para o disparo de fluxos de massa e correntes de turbidez.
- Turbiditos arenosos de grande volume ocorrem preferencialmente associados a tratos de sistemas de regressão forçada.
- O rebaixamento do nível relativo do mar é um mecanismo eficiente de disparo de fluxos de massa.
- Em muitos casos, DTMs foram depositados sobre turbiditos, apresentando condições favoráveis à atuação como rochas selantes. Entretanto, as falhas que intersectam estes depósitos a partir de sua superfície de descolamento comprometem sua qualidade na retenção de fluidos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em geologia pela infraestrutura, à ANP pelo fornecimento dos dados sísmicos, à CAPES e ao PRH-24 pelas bolsas de estudo e recursos cedidos para a execução dos trabalhos de campo.

## Referências Bibliográficas

- D'ÁVILA, R. S. F.; ARIENTI, L. M.; ARAGÃO, M. A. N. F.; VESELY, F. F.; SANTOS, S. F.; VOELCKER, H. E.; VIANA, A. R.; KOWSMANN, R. O.; MOREIRA, J. L. P.; COURA, A. P. P.; PAIM, P. S. G.; MATOS, R. S.; MACHADO, L. C. R.. Ambientes de águas profundas. In: Silva, A. J. C. L. P.; Aragão, M. A. N. F.; Magalhães, A. J. C. (org.) 2008. *Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil*. Beca, São Paulo, BR, 244-300, 2008.
- EYLES, N., EYLES, C.H. & MIAL, A.D. Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. *Sedimentology*, v. 30, n. 3, p. 393-410, 1983.
- KARNER, G. D.; DRISCOLL, N. W. Tectonic and stratigraphic development of the West African and eastern Brazilian Margins: insights from quantitative basin modeling. In: Cameron, N. R.; Bate, R. H.; Clure, V. S. (eds.). 1999. *The oil and gas habitats of the South Atlantic*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, v. 153, p. 11-40, 1999.
- MACEDO, J. M. Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. *Bol. de Geoc. da Petrobras*, v. 3, p.159-173, 1989.
- MIAL, A.D. A review of the Braided-river Depositional Environment. *Earth-Science Reviews*, v. 13, n. 1, p. 1-62, 1977.
- MILANI E.J., MELO J.H.G., SOUZA P.A., FERNANDES L.A., FRANÇA A.B Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*. Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

## **8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS**

- MOHRIAK, W. U.; MAGALHÃES, J. M. Estratigrafia e evolução estrutural da área norte da Bacia de Santos. *Atas do III Simp. de Geol. do Sudeste*, v. 1, p. 19-26, 1993.
- MOREIRA, J. L. P.; MADEIRA, C. V.; Gil, J. A.; MACHADO, M. A. P. Bacia de Santos. *Bol. de Geoc. da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 531-549, 2007.
- RIBEIRO, M. C. S. *Termocronologia e história denudacional da Serra do Mar e implicações no controle deposicional da Bacia de Santos*. Tese de Doutorado, Rio Claro, Instit. de Geoc. e Ciên. Exat. da Univ. Estad. Paul., 227p., 2007.
- STOW, D. A. V.; MAYALL, M. Deep-water sedimentary systems: new models for the 21st century. *Mar. and Petr. Geol.*, v. 17, p. 25-135, 2000.