



## Interpretação de Registros Sonográficos *Deep Tow* em Águas Profundas da Bacia de Campos

Claudio Cesar S. Marques, Onicélia C. R. da Rosa & Jacqueline de Oliveira Amorim, Petrobras/E&P-SERV/US-SUB/GM

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Resumo

O presente trabalho se propõe a caracterizar feições deposicionais em águas profundas e possíveis elementos indicativos de risco geológico. Para isso, utilizou-se a integração de dados de sonar, sísmica de alta resolução (SBP – *Sub Bottom Profiler* 3,5kHz) e sísmica 3D. A área de estudo está localizada no sul da Bacia de Campos, no limite entre a Plataforma e o Talude Continental. As principais feições geológicas identificadas no fundo do mar são: pavimentos e *mounds* carbonáticos, formações coralíneas, marcas de onda (*sand waves*), ravinas e cicatrizes de escorregamento com depósitos de movimento de massa associados, além de falhamentos rasos. As falhas apresentam padrão principal NW-SE, coincidente com as direções preferenciais dos cânions e ravinas existentes nessa região, tendo sido possivelmente uma das causas para o colapso da plataforma nesta área.

### Introdução

Antes de iniciar as atividades operacionais para a exploração de petróleo, é imprescindível a avaliação de feições geológicas com potencial de risco às operações, ao patrimônio, ao meio ambiente e às pessoas durante operações de instalação de equipamentos submarinos e durante a produção. O PROCAP 3000 (Programa de Capacitação Tecnológica em Águas Profundas e Ultraprofundas) é um programa de estudos realizado pela Petrobras com o objetivo de viabilizar sistemas de produção de petróleo em águas profundas e ultra-profundas. Uma parte deste programa consiste na caracterização do solo para instalação de equipamentos submarinos. Para isto foram selecionadas diversas áreas com feições marcantes e distintas, sendo uma delas aqui apresentada (Área 9).

Localizada no sul da Bacia de Campos, a cerca de 100 km da costa do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), esta área possui 110 km<sup>2</sup> e foi escolhida em função da existência de quebra abrupta da borda da Plataforma Continental.

Parte da área situa-se sobre a Plataforma, com gradiente variando de 0 a 2 graus e profundidades entre -180 e -250 metros. Nesta área, as feições mais marcantes são

os pavimentos carbonáticos (*boundstone banks*) e *mounds* carbonáticos (*boundstone mounds*). A borda da plataforma é marcada pela presença de degraus (patamares – Figura 2).

Na porção localizada no Talude Continental, o gradiente predominante varia entre 4 e 8 graus e as isóbatas de -250 a -820 metros. Na maior parte da área observa-se o predomínio de ravinas, marcando a quebra abrupta da plataforma, com gradientes que atingem até 60 graus. A parte leste apresenta relevo mais suave e com ocorrências locais de cicatrizes de escorregamento. Nos locais com relevo mais proeminente ocorrem prováveis formações de corais de águas profundas (Figura 2).

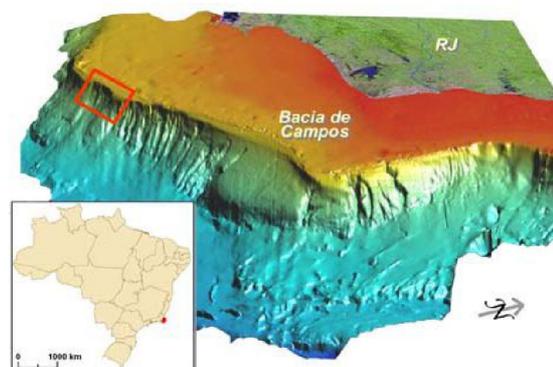


Figura 1 – Imagem da batimetria regional da Bacia de Campos com a localização da área de estudo (mod. de Adriano R. Viana, Cizia M. Hercos & Rosângela B. Torres)

### Metodologia

O trabalho teve como base os dados provenientes de sonar (*side scan sonar*) e sísmica de alta frequência SBP (*sub-bottom profiler* de 3,5kHz) da Área 9 do PROCAP 3000.

O levantamento de sonar e de SBP foi feito ao longo de 14 linhas na direção NE-SW com o equipamento SIS 3000 (*deep towed*), com altura média de voo de 60 a 70 metros do fundo do mar. A maior profundidade visível no SBP foi em torno de 30 metros abaixo do fundo do mar. As faixas de sonar possuem *range* lateral de 375 metros.

Como complemento, foi utilizado um programa sísmico 3D que apresenta espaçamento de 12,5 x 12,5 metros entre linhas e traços e espessura mapeável para o trecho

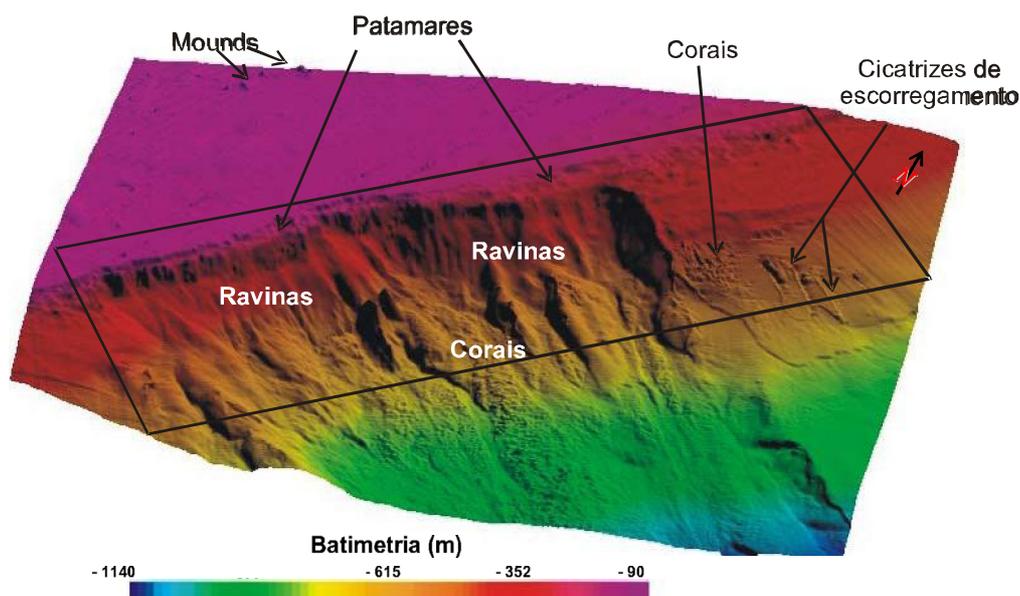


Figura 2 – Visualização tridimensional do fundo do mar com exagero vertical, ressaltando as feições fisiográficas (o retângulo indica a área de concentração deste estudo).

analisado de 8,951ms (7 metros, para a velocidade de 1580 ms).

Para interpretação dos dados 3D foi utilizado o aplicativo *OpenWorks SeisWorks 2003* e para interpretação dos dados de sonar e SBP foram usados os programas *Isis Sonar* e *Delphmap*. No padrão de cores utilizadas na interpretação do sonar e nas figuras mostradas, o branco corresponde à sombra e preto à reflexão. Para o tratamento de imagens e confecção dos mapas o programa usado foi o *Geomedia*.

A geologia do fundo do mar nesta região ainda é pouco conhecida, pois há escassez de dados de solo. Contribuíram para a interpretação sedimentológica 19 testemunhos à pistão do tipo *kulleberg* existentes no banco de dados da Geologia Marinha. Estas amostras foram coletadas em outras áreas distantes no máximo 10 km e situadas em feições semelhantes às aqui observadas, sendo 9 no Talude e 10 no limite entre a Plataforma e o Talude Continental.

## Resultados

### Plataforma Continental

Através da interpretação das imagens de sonar e SBP, amostras geológicas e estudos em áreas próximas com características semelhantes (Petrobras, 2007), foram diferenciadas três fácies na Plataforma: *grainstones*, pavimentos carbonáticos (*boundstone banks*) e *mounds* carbonáticos (*boundstone mounds*).

*Grainstones* são sedimentos carbonáticos desagregados, grão-suportado e sem matriz (Dunhan, 1962). Silva *et al* (2006) identificaram este tipo de sedimento na Plataforma Continental da Bacia de Campos através de sísmica de

alta frequência e imagens gravadas por ROV (veículos operados remotamente). Esses sedimentos devem predominar nesta região, sendo dominados por algas vermelhas, rodólitos e secundariamente por areia siliciclástica muito fina. Na faixa limite entre a Plataforma e o Talude Continental ocorre diminuição na quantidade de sedimentos granulares carbonáticos e um aumento na quantidade de lama siliciclástica.

Por serem sedimentos desagregados de granulometria arenosa, os *grainstones* podem ser mobilizados por correntes de fundo, formando marcas onduladas (*sand waves*), como observado no noroeste da área. Foram mapeadas *sand waves* com direção NNW-SSE (Figura 3), mas com os dados disponíveis não foi possível identificar o sentido da corrente.

Na Plataforma também foram identificados formas e padrões de reflexão característicos de depósitos carbonáticos agregados (*boundstones*), formando pavimentos (*banks*) e *mounds*.

Os pavimentos carbonáticos (*boundstone banks* – Figura 4) são bioconstruções de algas vermelhas que formam camadas enrijecidas irregulares e descontínuas, com presença de areia carbonática e rodólitos (Della Giustina, 2006).

Os *mounds* carbonáticos (*boundstone mounds*) são bioconstruções de algas coralináceas com acumulados bioclásticos finos a muito grossos, que formam montes proeminentes no fundo marinho (Figura 5). Os rodólitos, que formam a fração mais grossa, apresentam tamanhos variados, com diâmetros entre 1cm até acima de 10cm. Eles são formados por incrustações laminares que

crecem agregando outros fragmentos carbonáticos (Della Giustina, 2006).

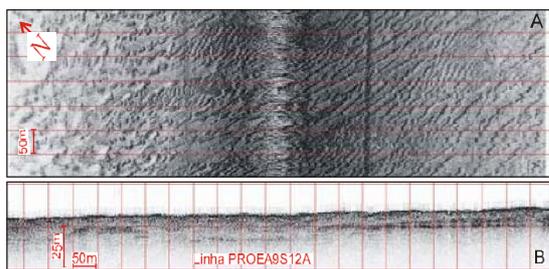


Figura 3 – (A) Imagem de sonar, onde à direita se observam sand waves. (B) Imagem de SBP mostrando a mesma estrutura em perfil.



Figura 4 – Pavimento carbonático (*boundstone bank*) da Plataforma visto em perfil de SBP.

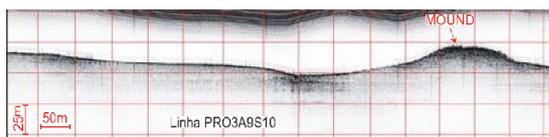


Figura 5 – Mound carbonático (*boundstone mound*) da Plataforma visto em perfil de SBP.

#### Talude Continental

No Talude Continental os tipos de sedimentos observados na seção rasa são: *drape* (cobertura superficial lamosa), depósitos de movimento de massa, afloramentos de lama sobre adensada (*lamito*) e feições indicativas de corais de águas profundas.

O *drape* corresponde a um depósito superficial de lama (argila e silte) depositada por suspensão, com altos teores de carbonato e estrutura interna planoparalela. Esse depósito atinge espessuras de até 30 metros.

No leste da área, o *drape* ocorre com espessuras de 20 a 30 metros, por vezes parcialmente erodido, como em duas faixas identificadas como cicatrizes de escorregamento (Figura 6). Esta feição deve estar associada a eventos erosivos de curta duração, como os processos de queda de rochas, rastejamento, e colapso de blocos citados por Stow (1994).

Na porção com quebra abrupta da plataforma e predomínio de ravinas, são frequentes os depósitos de movimentos de massa oriundos de processos gravitacionais do Talude Continental ocorridos no passado geológico. Estes depósitos apresentam base e

topo irregulares e estrutura interna pouco marcada (padrão caótico), por vezes apresentando blocos de lama (Figura 7). No interior destas ravinas o *drape* é pouco espesso ou ausente, podendo ocorrer intercalado a pequenos depósitos de movimento de massa. Nas bordas, por vezes, o *drape* se encontra parcial ou totalmente erodido expondo depósitos de lama sobre-adensada (*lamito* – Figura 8).

No Talude, a partir de lâminas d'água de cerca de -260m foram identificados altos refletivos que podem representar pequenas ocorrências de corais de águas profundas ou esqueletos de corais soterrados (Figura 9). Estas ocorrências se tornam mais frequentes a partir da isóbata de -350m, chegando a apresentar áreas de até 0,6km<sup>2</sup>. Os corais se fixam preferencialmente em altos topográficos com substrato relativamente rígido (Viana, 1994) e aqui ocorrem associados a cicatrizes de escorregamento, a elevações no fundo do mar entre as ravinas e sobre blocos de diamictito no interior das ravinas.

Cabe ressaltar que a presença de altos refletivos não necessariamente confirma a existência de formações coralíneas, necessitando de confirmação por métodos diretos.

Dois padrões de falhamento raso foram identificados no talude (Figura 10): NW-SE (principal) e NE-SW. O padrão NW-SE é o mais expressivo e coincide com as direções preferenciais dos cânions e ravinas, como também foi observado em áreas próximas (Petrobras, 2006).

#### Discussão e Conclusões

O uso dos dados sonográficos e de SBP, comparado à sísmica 3D, permitiu caracterizar com maior detalhe as feições de pequena escala do fundo marinho, principalmente na plataforma, onde os dados da sísmica 3D normalmente possuem baixa qualidade na seção rasa. Os dados de SBP possibilitaram o mapeamento de feições com dimensões de até 10 metros, como corais soterrados e falhas rasas. Os padrões de reflexão dos dados sonográficos permitiram delimitar as fácies mapeadas.

Na área estudada foram identificadas fácies sedimentares carbonáticas desagregadas (*grainstone*) e agregadas (*boundstone banks* e *boundstone mounds*), depósitos de movimento de massa, afloramentos de lama sobre-adensada, cobertura lamosa pelágica (*drape*) e feições indicativas de corais de águas profundas (Figura 11).

Os *grainstones* foram identificados por analogia com outras áreas próximas na Bacia de Campos, uma vez que a área não dispõe de amostras geológicas. Sendo sedimentos carbonáticos granulares, foram remobilizados por correntes submarinas, formando marcas onduladas (*sand waves*) observadas no sonar e no SBP. Estas ondulações costumam ocorrer em áreas com predomínio de areia e normalmente são dinâmicas.

Os pavimentos e *mounds* carbonáticos (*boundstone banks* e *boundstone mounds*) são observados na forma de elevações acentuadas, alinhamentos ou cristas. Estas elevações conferem irregularidade no relevo do fundo marinho que podem até mesmo ser observados em sísmica 3D, mas foram melhor delimitadas com o auxílio do sonar.

Em áreas do talude com relevo proeminente e/ou substrato rígido foram interpretadas reflexões que podem indicar ocorrência de corais aflorantes ou soterrados. Entretanto, isoladamente os métodos acústicos não comprovam com exatidão a existência de bancos de corais, sendo necessárias confirmações por amostragens.

As ravinas são feições acompanhadas de gradientes altos, variações bruscas de relevo, falhas e processos de instabilidade do Talude Continental, onde foram encontrados depósitos lamosos de movimento de massa (diamictitos). Estes depósitos são lateralmente descontínuos e de composição heterogênea, apresentando materiais com composição e graus de consolidação muito variados, exigindo assim estudos geotécnicos específicos para determinação de sua resistência.

Falhas geológicas rasas podem causar fraqueza na estrutura dos sedimentos e os tornar mais susceptíveis a escorregamentos. Os falhamentos observados podem ter sido responsáveis pela instabilidade dos sedimentos na porção superior do Talude que ocasionou o colapso da Plataforma neste local.

O reconhecimento de feições geológicas e elaboração de mapa faciológico, a partir da integração de diferentes ferramentas, podem contribuir com o conhecimento da geologia do fundo do mar como análogos em outras áreas, além de melhor direcionar a elaboração de arranjos submarinos de engenharia.

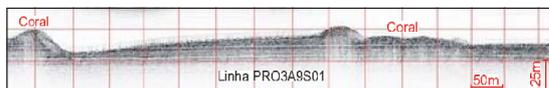


Figura 6 – Perfil em cicatriz de escorregamento onde se observa o truncamento de camadas planoparalelas do drape e a ocorrência de corais.



- Depósito de movimento de massa
- Lama com estrutura planoparalela
- Bloco de lama no interior do depósito de movimento de massa

Figura 7 – Perfil transversal a uma ravina, mostrando depósitos de movimento de massa intercalados a lama. Notar a possível ocorrência de dois blocos estruturados de lama à direita.



Figura 8 – Afloramento de lama sobre-adensada em borda de ravina.

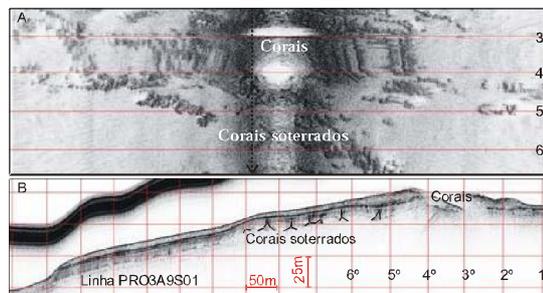


Figura 9 – Corais soterrados e aflorantes vistos em imagem de sonar (A) e em SBP (B).

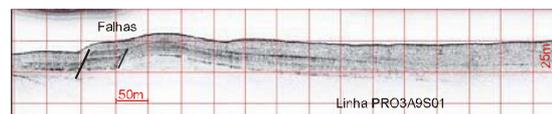


Figura 10 – Exemplo de falhas rasas, com rejeito vertical menor que 5m.

### Agradecimentos

À gerência de Geologia Marinha (E&P-SERV/US-SUB/GM) pelo apoio à publicação deste trabalho. Aos geólogos Luís Cláudio R. Machado, pela revisão do texto; Marco Antônio Silveira e Ivan Della Giustina, pela análise crítica; e Alexandre Lima, pela participação na confecção dos mapas. A Guarani Cavalcanti e Ana Scofano pelas sugestões.

### Referências

Della Giustina, I. D., 2006. Sedimentação carbonática de algas vermelhas coralináceas da Plataforma Continental da Bacia de Campos: um modelo carbonático análogo para o Terciário. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 131pp.

Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures. In: Ham, W. E. (Ed.), Classification of Carbonate Rocks. AAPG Memoir, vol. 1: 108-121.

Petrobras, 2006. Relatório E&P-SERV/US-SUB/GM 972310/06, Relatório Interno, Petróleo Brasileiro SA, Macaé, Rio de Janeiro, Brazil, 31 pp.

Petrobras, 2007. Relatório E&P-SERV/US-SUB/GM 972702/07, Relatório Interno, Petróleo Brasileiro SA, Macaé, Rio de Janeiro, Brasil, 17 pp.

Ponzi, V. R. A., 2007. Sedimentação Marinha. In: Baptista Neto J. A., Ponzi V. R. A. & Sichel S. E. (Org.), Introdução à Geologia Marinha. Interciência, Rio de Janeiro, 2004, p. 219-241.

Silva, M. G. L., Della Giustina, I. D. , Souza, M. B. F. M., Castro, F. C. C., 2006. Relatório E&P-SERV/US-SUB/GM 972500/06, Relatório Interno, Petróleo Brasileiro SA, Macaé, Rio de Janeiro, 14 pp.

Stow, D. A. V., 1994. Deep Sea Process of Sediment Transport and Deposition. In: Sediment Transport and Depositional Processes. Ed. By Pie, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 257-291.

Viana, A. R., 1994. Deep-water coral mounds along the southeastern Brazilian continental slope. In: 14<sup>th</sup> International Sedimentological Congress book of abstracts, IAS, p. D86.

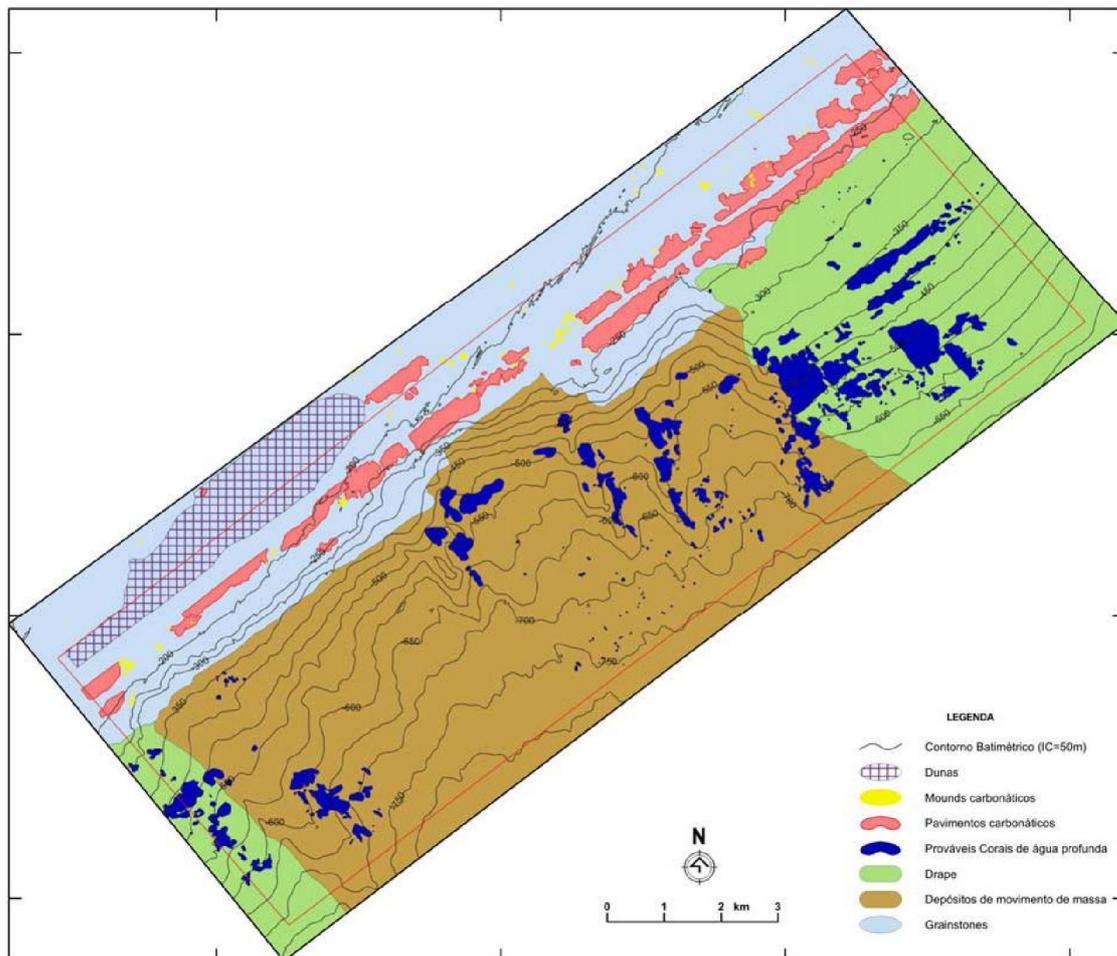


Figura 11 – Mapa faciológico da área.