



Caracterização sonográfica das feições arenosas de fundo da plataforma continental interna e média a sul da Bacia de Campos.

Anderson Luiz Moreira Lopes – LAGEMAR-UFF – alopes@igeo.uff.br.

Cleverson Guizan Silva – LAGEMAR-UFF – cleverson@igeo.uff.br.

Gilberto Tavares de Macedo Dias – LAGEMAR – UFF – gilberto@igeo.uff.br.

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th 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

A side scan sonar survey was conducted on the inner to middle continental shelf south of Campos Basin, Rio de Janeiro, Brazil. This survey revealed a series of bedforms which were investigated and correlated with the seabed sedimentary facies.

The observed bedforms occurring within 20 to 40 m depth are in equilibrium with the present wave conditions for the area, which permitted the estimation of near bottom current velocities of 0.51 to 0.91 m/sec.

Areas covered by coarse sands present NE-SW oriented megaripples on the inner shelf. These bedforms change in orientation towards the middle shelf, following the main orientation of the isobaths along a sedimentary lobe.

Areas covered by fine to very fine sands form NE-SW elongated strips of sand sheets and sand patches, which can be related to the effect of SW or SE wave conditions.

Introdução

Os principais fatores na construção de formas de fundo em substratos compostos por sedimentos arenosos inconsolidados são velocidade do fluxo junto ao fundo e diâmetro dos grãos (Harms e outros, 1982).

Em plataformas continentais sob regime de micro-maré a ação das ondas, das correntes oceânicas (quando estas migram sobre a plataforma) e de correntes geradas por ventos são as principais responsáveis pelas condições hidráulicas impostas ao assoalho submarino e, conseqüentemente, pela movimentação dos sedimentos inconsolidados.

Na plataforma continental da Bacia de Campos, a presença de formas de fundo é reportada por poucas publicações. Viana e outros (1998) e Correa (2001) observaram tais feições através de levantamentos sonográficos realizados na porção externa da plataforma. Em águas mais rasas, apenas Alves e Ponzi (1984) identificaram, ao largo do Cabo de São Tomé, bancos, cristas e ondas arenosas com o auxílio de perfis batimétricos.

Este trabalho tem o objetivo caracterizar as formas de fundo observadas entre as profundidades de 15 a 40

metros da plataforma continental ao sul da Bacia de Campos, na região imediatamente ao norte de Macaé (figura 1), através de imagens sonográficas e amostras de sedimentos.

Esta porção da plataforma continental apresenta como característica marcante do seu relevo um aumento do gradiente a partir da isóbata de 30 metros praticamente ao longo de toda a bacia (Silva, 1987). Contudo os contornos batimétricos a leste se apresentam em forma lobada, interrompendo a continuidade do escarpamento, como mostra a figura 1. A cobertura sedimentar deste trecho é caracterizada como predominantemente siliciclástica (Kowsman e Costa, 1979). Ao sul do Cabo de São Tomé estes sedimentos são constituídos por areias grossas subangulosas a subarredondadas que se misturam com areias finas e polidas ao largo de Macaé (Alves e Ponzi, 1984). Estas fácies têm sua distribuição generalizada no mapa de Dias (2000) (figura 2).

Saavedra (em PETROBRAS, 1999) obteve medições de correntes próximas ao fundo em dois pontos (plataformas de Pargo e Pampo) na plataforma continental da Bacia de Campos. A tendência geral dos fluxos observados indica um movimento de sul para norte. Particularmente para a plataforma de Pargo, obteve-se um fluxo médio proveniente de sudoeste, paralelo à costa, durante o verão, além de outros componentes secundários apontando de sul e sudeste, em direção à costa. No inverno todos os fluxos resultantes apresentaram-se dirigidos à costa. Na plataforma de Pampo, durante o verão, as velocidades obtidas variaram de, aproximadamente, 0,20 a 0,50 m/s oriundos do quadrante sudoeste-noroeste, em um primeiro momento. Na segunda campanha foram verificados fluxos resultantes em torno de 0,35 m/s de sul-sudoeste, aproximadamente paralelos à linha de costa. No inverno foram observadas correntes com intensidades amenas, na maioria inferiores a 0,10 m/s, com todos os eventos dirigidos ao continente.

Em relação ao clima de ondas na Bacia de Campos, este está diretamente relacionado aos sistemas meteorológicos (Pinho, 2003). Este trabalho classificou os mares em função dos principais sistemas meteorológicos que dominam a circulação da Bacia de Campos, a partir de dados de ondas e ventos coletados durante 4 anos na Bacia de Campos, e encontrou maiores médias de valores de parâmetros de ventos e ondas sob condição de mau tempo de sudoeste (SO), vide tabela 1.

Métodos

As imagens aqui apresentadas foram coletadas por um sistema CODA de aquisição digital de sonar de varredura lateral, com peixe EGG 272 TD, operando na frequência

de 100kHz. Estes registros fazem parte de cerca de 40 km de levantamento conduzidos em Maio de 2002 a bordo do navio Diadorim, do Instituto de Pesquisas Almirante Paulo Moreira da Marinha Brasileira.

O sonar foi rebocado a cerca de 3 metros de profundidade utilizando-se um intervalo de 100 m de varredura para cada lado da linha navegada.

Além das imagens, também foi determinada a granulometria relativa às feições observadas a partir da análise de amostras de sedimentos coletados ao longo do levantamento.

Resultados

As imagens sonográficas permitiram a visualização de formas aqui chamadas de manchas arenosas e dunas subaquosas (figura 1).

As manchas arenosas apresentam largura variável nas imagens adquiridas, alcançando dezenas de metros, sobre um substrato de areias finas a muito finas. Nas imagens do sonar, caracterizam-se por faixas alongadas e de coloração mais clara. Esta forma não apresenta relevo nem formas sobrepostas, ao menos formas perceptíveis à resolução do sonar.

As dunas têm forma de ondas com distância entre cristas variando de 1,5 a 3 metros, aproximadamente, e não chegam a produzir sombra capaz de proporcionar a determinação de suas alturas. Estas formas ocorrem em áreas cobertas por sedimentos de maior granulometria (areia grossa) e suas cristas, apesar de apresentarem um alinhamento geral acompanhando as isóbatas, e quando observadas em detalhe apresentam-se sinuosas.

Ao longo do levantamento as manchas de areia muito fina e as dunas apresentam-se intercaladas proporcionando um padrão de faixas claras e escuras, respectivamente. Este contraste se deve à diferença na intensidade da reflexão do sinal sonográfico por parte das distintas fácies.

O padrão geral de orientação das dunas subaquosas segue a disposição das isóbatas, enquanto as manchas arenosas parecem estar dispostas segundo orientação sudoeste-nordeste.

Discussão

Segundo Johnson e Baldwin (1986), em plataformas continentais dominadas por marés, existe uma gradação entre as formas de fundo e a velocidade da corrente próximo ao fundo em regiões recobertas por sedimentos arenosos inconsolidados (Figura3). Aumentando-se a velocidade do fluxo junto ao fundo, de valores de 0.5 m/s para 1.5 m/s, observam-se sucessivamente as seguintes formas de fundo: (1) manchas arenosas (*sand patches*); (2) lençóis arenosos com marcas de ondas (*rippled sand sheet*); (3) pequenas ondas de areia e dunas (*small sand-waves* e *megaripples*); (4) grandes ondas de areia (*large sand-waves*); (5) faixas arenosas (*sand-ribbons*); (6) sulcos e ondas de areia (*furrows* e *sand-waves*).

Muito embora na Bacia de Campos domine o regime de micro-marés (amplitude menor do que 2 m), as formas de

fundo encontradas na área assemelham-se àquelas descritas por Johnson e Baldwin (1986) como manchas arenosas (*sand patches*); lençóis arenosos com marcas de ondas (*rippled sand sheet*); e pequenas ondas de areia e dunas (*small sand-waves* e *megaripples*). Estas formas de fundo têm origem a partir de correntes com velocidades inferiores a 0,75 m/s, segundo este modelo. Uma relação simples para ondas propagando-se sobre águas rasas, permite estimar a velocidade máxima da corrente junto ao fundo através da relação:

$$U_{max} = \{H(gd)^{1/2}\}/2d$$

Onde: H = altura da onda.

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

d = profundidade da lâmina d'água.

Substituindo-se nesta relação os valores de H observados na Tabela 1 e assumindo-se uma profundidade de 20 metros, obtêm-se velocidades de 0,91 m/s para as condições médias associadas a ondas de mau tempo (SO) e velocidades de 0,71 m/s para as condições médias associadas a ondas de SE. Para as ondas de NE, esperam-se velocidades máximas de 0,63 m/s, no entanto, a influência destas ondas é diminuída, em função da proteção natural provocada pelo Cabo de São Tomé. A mesma estimativa pode ser feita para profundidades de 30 metros, onde se obtêm velocidades de 0,74 m/s para as ondas de SO, 0,63 m/s para as de SE e 0,51 m/s para as de NE.

Observa-se, portanto, que as velocidades máximas das correntes próximas ao fundo são compatíveis, ou ligeiramente superiores àquelas propostas pelo modelo, para as três situações de mar mais constantes na Bacia de Campos. Sugere-se ainda que mesmo à profundidades de 30 m, podem-se formar correntes com intensidade suficiente para transporte dos sedimentos e formação das formas de fundo observadas.

Os valores indicados acima são apenas estimativos, porém foram calculados a partir dos parâmetros observados por Pinho (2003) com base em uma série contínua de 5 anos de medições. Contudo, observa-se que os valores medidos por Saavedra (em Petrobrás, 1999) são sempre inferiores aos valores estimados.

A figura 4a relaciona o tamanho do grão e a velocidade da corrente à feição de fundo, observa-se que para as velocidades estimadas para as profundidades de 20 e 30 metros, considerando-se um fundo formado por areia grossa (0,5 a 1 mm de diâmetro do grão), desenvolvem-se dunas (*megaripples*), em concordância com as imagens observadas. Para areias muito finas (diâmetro do grão entre 0,062 e 0,125 mm), desenvolvem-se lençóis arenosos (*sand sheets*) em profundidades de 20 metros, ou marcas de ondas (*ripples*) em profundidades de 30 metros. Para as profundidades de 20 metros os resultados são compatíveis com as imagens observadas. O mesmo não se aplica à profundidade de 30 metros, no entanto pode-se supor que as marcas de onda (*ripples*) não foram detectadas em função da resolução das imagens sonográficas.

Observa-se na figura 4b, que para as condições de mar presentes na Bacia de Campos, sedimentos arenosos de granulometria média são transportados a partir de profundidades de 70 m (para alturas de onda de 2,6 m)

ou 50 m (para alturas de onda de 1,8 m). As areias muito finas, por sua vez podem ser transportadas a partir de profundidades de 95 m (para alturas de onda de 2,6 m) ou 75 m (para alturas de onda de 1,8 m). Considera-se, portanto, que existem condições suficientes para transporte de areias médias e finas em toda a faixa de profundidades da área de pesquisa. Esta constatação sugere, portanto, que as formas de fundo observadas são feições atuais, compatíveis com o regime de ondas observado na Bacia de Campos para as profundidades analisadas.

As dunas subaquosas observadas nas faixas de areia grossa possuem suas cristas alinhadas na direção NE/SW, paralelas às isóbatas. Isto sugere que estas feições são provavelmente associadas às ondulações provenientes de sul-sudoeste. Estas são as ondas de maior energia observadas na Bacia de Campos (tabela 1). Quando observadas em detalhe, estas feições apresentam cristas sinuosas, sendo classificadas como dunas tridimensionais de acordo com Rubin (1987).

As manchas arenosas, com disposição geral NE-SW, podem também ser associadas ao regime de ondas de SW e S, no entanto, não descarta-se a possibilidade de retrabalhamento das areias finas pelas ondas de SE, ou NE. Como se nota na figura 4a, para as profundidades analisadas, as condições médias de velocidade da corrente junto ao fundo, sobre um substrato de areias finas resulta em formas de lençol ou manchas de areia. Deve-se ressaltar, no entanto, que a plataforma interna, acha-se protegida pelo Cabo de São Tomé, o que indica que as ondas de NE tenham menor influencia nesta região.

Conclusões

As feições de fundo da plataforma continental interna e média ao sul da Bacia de Campos, entre profundidades de 20 a 40 m, são feições atuais, compatíveis com as condições de ondas observadas na área.

As dunas subaquosas (*megaripples*), ocorrem associadas a areias grossas e têm a orientação de suas cristas paralelas às isóbatas. Na plataforma interna alinham-se segundo a direção NE-SW, enquanto que na plataforma média, mudam para a direção NW-SE, acompanhando a mudança de direção das isóbatas em função da presença de um lobo arenoso submarino com orientação NE-SW. Estas feições são provavelmente associadas às ondas de SW.

As manchas e lençóis arenosos são alinhadas na direção NE-SW e provavelmente podem ser resultantes de quaisquer condições de mar, considerando-se as alturas médias de ondas para a Bacia de Campos.

Referências

- ALVES, E. C. e PONZI, V. R., 1984. Características morfológico-sedimentares da plataforma continental e talude superior da margem continental sudeste do Brasil. 38º Cong. Bras. Geologia. 1629-1642.
- BROWN, J., COLLING, A., PARK, D., PHILIPS, J., ROTHERY, D., WRIGHT, J., 1989. Waves, tides, and shallow-water processes. Open University. 187p.
- CORREA, A. C. T. 2001. Estudo das feições morfológicas do assoalho marinho na plataforma externa ba Bacia de Campos pela interpretação de imagens de *side scan sonar*, de perfis batimétricos e de amostras litológicas. Universidade Federal Fluminense, Depto de Geologia. 77p.
- DIAS, G. T. M., 2000. Carta de sedimentos marinhos superficiais da Bacia de Campos, Universidade Federal Fluminense, Depto de Geologia.
- HARMS, J. C., SOUTHARD, J. B. e WALKER, R. G. , 1982. Structures and sequences in clastic rocks. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Short Course 9 (páginas sem numeração sequencial)
- JOHNSON, H. D. e BALDWIN, C. T. 1986. Shallow Siliciclastic Seas. Em: H. G. Reading, org: Sedimentary Environments and Facies, 2nd ed., 229-282,
- KOWSMANN, R. O. e COSTA, M. A. 1979. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. CENPES. DINTEP, 55p. (Série Projeto REMAC, n.8).
- PETROBRAS. Pré-Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos e Cabiúnas - Plataforma de Produção. PETROBRAS. Rio de Janeiro - RJ. 1999.
- PINHO, U. F. 2003. Caracterização do estado do mar na Bacia de Campos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Tese de Mestrado, 145p.
- RUBIN, D. M. 1987. Cross-bedding, bedforms and paleocurrents. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Concepts in Sedimentology and Paleontology, vol. 1. 187p.
- VIANA, A. R., FAUGERES, J. C., KOWSMANN, R. O., LIMA, J. A. M., CADDIAH, L. G. F., RIZZO, J. G. 1998. Hydrology, morphology e sedimentology of the Campos continental margin, offshore Brazil. Sedimentary Geology, 115: 133-157.

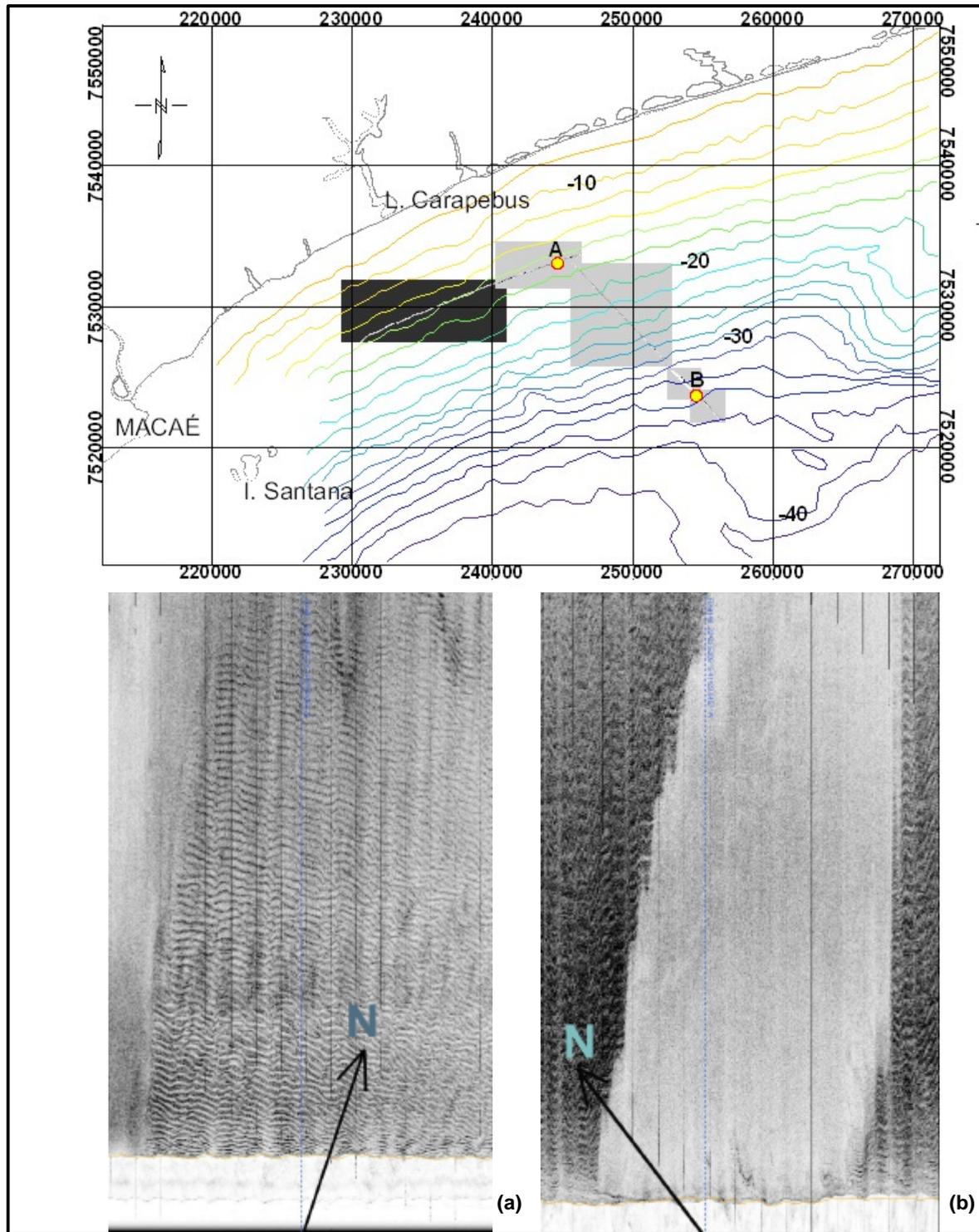


Figura 1. Acima, localização das linhas navegadas ao longo do levantamento sonográfico com a localização das imagens escolhidas como representativas das formas de fundo reconhecidas neste trabalho. Abaixo e à esquerda (a) imagem mostra as dunas com alinhamento leste-nordeste/sul-sudoeste e contato entre as distintas fácies no canto esquerdo. Abaixo e à direita (b), as dunas e mancha arenosa apresentam orientação norte-noroeste/sul-sudeste e norte-noroeste/sul-sudeste, respectivamente, com um notável e brusco contraste entre as fácies constituintes das formas.

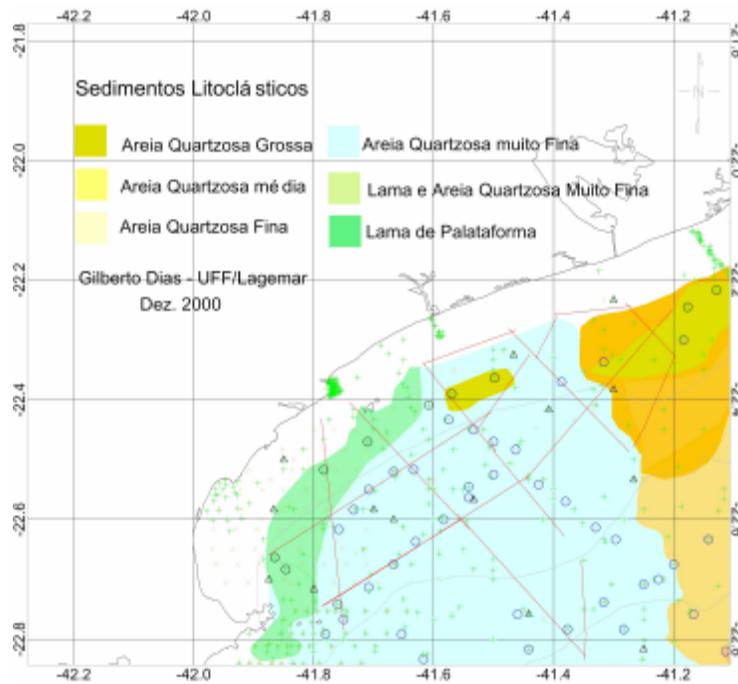


Figura 2. Detalhe da carta de sedimentos superficiais marinhos da Bacia de Campos, cobrindo a área de estudo (Dias, 2000).

Classificação	Ventos		Ondas	
	Intensidade (m/s)	Direção (°)	Altura (m)	Período (s)
Tempo Bom	10.0	36.7	1.8	7.8
Mau Tempo de SO	6.5	218.0	2.6	10.8
Mau Tempo de SE	6.8	134	2.2	10.2

Tabela 1. Classificação dos mares em função dos principais sistemas meteorológicos que dominam a circulação da Bacia de Campos e respectivas médias de valores de parâmetros de ventos e ondas (Pinho, 2003).

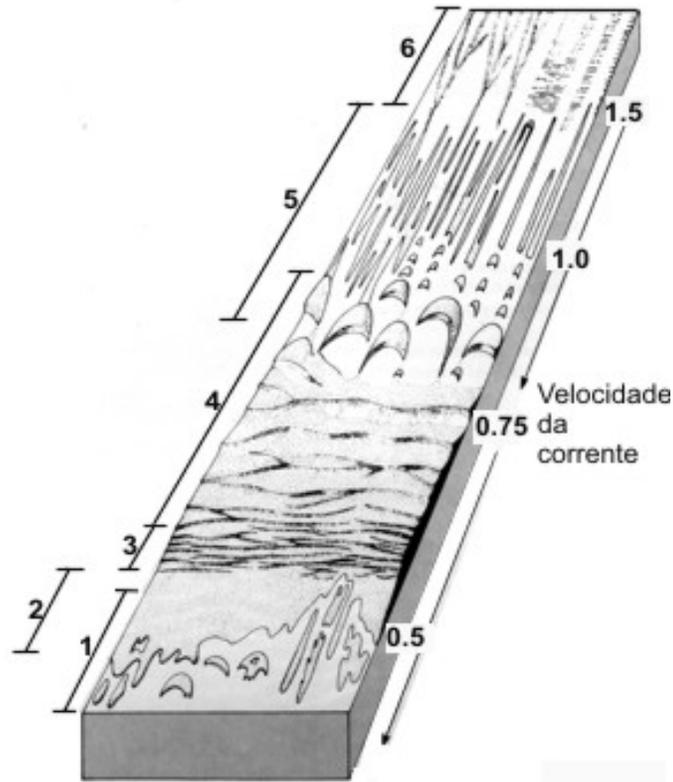


Figura 3 Modelo geral de formas de fundo desenvolvidas ao longo de uma rota de transporte de sedimentos com diminuição de velocidade de corrente (em cm/s). A distância coberta pelo diagrama proposto se distribui por centenas de quilômetros. As formas mostradas neste diagrama são as seguintes: (1) manchas arenosas (*sand patches*); (2) lençóis arenosos com marcas de ondas (*rippled sand sheet*); (3) pequenas ondas de areia e dunas (*small sand-waves e megaripples*); (4) grandes ondas de areia (*large sand-waves*); (5) faixas arenosas (*sand-ribbons*); (6) sulcos e ondas de areia (*furrows e sand-waves*). Modificado de Johnson e Baldwin (1986).

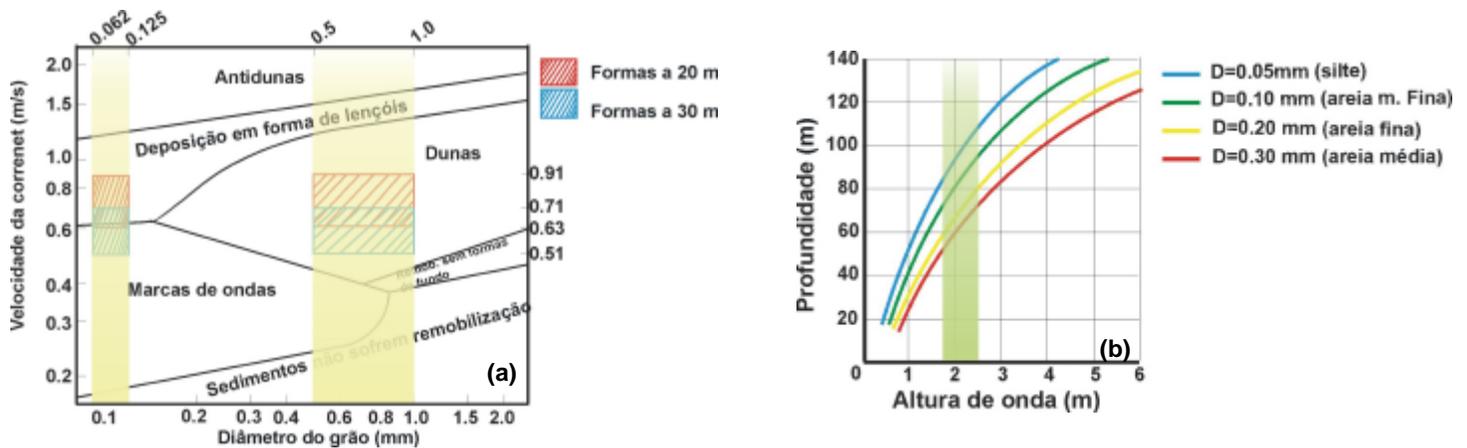


Figura 4. À esquerda (a) estimativa de geração de formas de fundo em função da combinação de velocidade da corrente e diâmetro do grão, com destaque para as características descritas na área de estudo a 20 e 30 m de profundidade. À direita (b) estimativa de granulometria passível de sofrer transporte sob determinada condição de profundidade e altura de onda. A faixa vertical em verde indica a faixa de variação de valores médios de altura de onda apresentadas na tabela 1. Figuras modificadas de Brown e outros (1989).