

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Caracterização de Padrões de Formas de Fundo da Foz do Rio São Francisco

Helenice Vital, Arno Maschmann de Oliveira, Werner Farkatt Tabosa
Pesquisas em Geociências, 28 (2): 125-131, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20277>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2002.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Caracterização de Padrões de Formas de Fundo da Foz do Rio São Francisco

HELENICE VITAL¹, ARNO MASCHMANN DE OLIVEIRA² & WERNER FARKATT TABOSA³

¹ Departamento de Geologia, UFRN, Caixa Postal 1596, 59072-970, Natal/RN – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) – Pesquisadora do CNPq – helenice@geologia.ufrn.br

² Departamento de Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, UFAL, Maceió/AL

³ Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), UFRN, C.P.1596, 59.072-970, Natal/RN
Bolsista da Agência Nacional do Petróleo (PRH-ANP 22)

(Recebido em 10/01. Aceito para publicação em 05/02)

Abstract - On the basis of a regional side-scan sonar survey covering a distance of 12 km on the São Francisco River Mouth between Piaçabuçu and Cabeço-Pontal da Barra (NE Brazil) a variety of bedforms have been distinguished. The river bed morphology of this area can be characterized by three main patterns: dunes, ripples and planar beds. Sand dunes occur as extensive 2D and 3D dune fields. Between Piaçabuçu and Fitinha Island the dunes are asymmetric indicating a sand movement toward the river mouth. These dunes range in height from 1 to 2 m, and in wavelength from 30 to 90 m. Between Fitinha Island and Negra Island large asymmetric dunes with smaller symmetric ones superimposed can be seen, showing tidal influence. At the river mouth, the dunes give place to symmetrical ripples with height smaller than 0,3 m and wavelength shorter than 1 m. The dune and ripples fields can be intercalated by planar beds.

Keywords - São Francisco River Mouth, Bedforms, Side scan sonar records.

INTRODUÇÃO

A regularização do baixo Rio São Francisco com o controle da vazão, eliminou as fortes correntezas das enchentes, reduzindo a potencialidade cíclica do rio de transportar sedimentos. A redução do transporte de sedimento pelo rio tem gerado assoreamentos que dificultam a navegação e alteram os nichos ecológicos e produzem uma acelerada erosão de algumas praias próximas da foz. Com o objetivo de melhor compreender os processos de dispersão e transporte dos sedimentos transportados pelo rio São Francisco, estudos batimétricos e sonográficos, foram realizados pela primeira vez nesta região, para caracterizar a morfologia de fundo e distribuição de sedimentos, ao longo do Baixo São Francisco. Mais especificamente, no trecho compreendido entre Piaçabuçu e sua desembocadura, entre as praias do Cabeço e Pontal da Barra (Fig. 1).

O RIO SÃO FRANCISCO

O Rio São Francisco tem 2.800 km de extensão e drena uma área de aproximadamente 641.000 km². Nasce em Minas Gerais, na Serra da Canastra, desembocando no Oceano Atlântico entre os estados de Sergipe e Alagoas. Maior rio situado totalmente em território brasileiro, apresenta declividade média de 8,8 cm/km, com uma descarga média, na região da foz,

de 2.943 m³/seg e velocidade média da corrente de 0,8 m/seg. (www.portaldosaofrancisco.hpg.com.br). O regime de maré é semi-diurna, com amplitude média das marés de 2,6 m nas marés equinociais. As correntes litorâneas são predominantemente paralelas a linha de costa e o transporte litorâneo dominante ocorre de nordeste para sudoeste (Fontes, 2001).

As condições pluviométricas, no baixo curso do São Francisco, diferem das constatadas no médio e alto cursos. No baixo vale os meses mais chuvosos são geralmente os de maio, junho e julho. O período de estiagem perdura de setembro a fevereiro, sendo outubro o mês menos chuvoso.

Do ponto de vista geológico sedimentar existe discussão sobre a denominação para a desembocadura do rio São Francisco que na literatura ora é apresentada como delta dominado por ondas (Bacoccoli, 1971; Galloway, 1975; Bandeira Jr. *et al.*, 1979; Dias, 1981; Dias & Gorini, 1980; Suter, 1994) ora como “beach-ridge strandplain” (Dominguez *et al.*, 1981, 1987, 1992; Dominguez & Wanless, 1991). Cada classificação esta relacionada a diferentes processos deposicionais e erosionais, que se refletem na capacidade de transporte de sedimentos pelo rio.

As areias são predominantemente fina a média e moderadamente selecionadas, na região entre Piaçabuçu e Ilha da Criminosa. A partir daí, em direção a jusante, há um predomínio das areias finas e bem selecionadas.

Em respeito ao meio ambiente, este número foi impresso em papel branqueado por processo parcialmente isento de cloro (ECF).

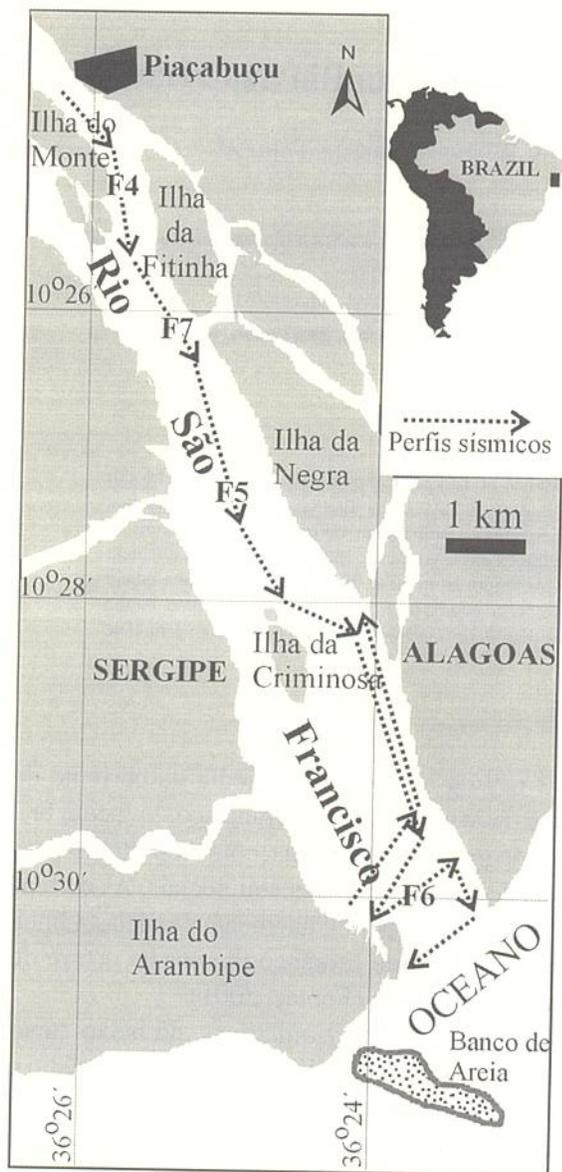


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada e dos perfis sísmicos. F(n) refere-se a localização de figuras citadas no texto (p.ex.: F4 = localização do sonograma mostrado na figura 4).

METODOLOGIA

Princípios do método

De acordo com Sieck & Self (1977), a geofísica de alta resolução deveria ser mais apropriadamente denominada "acústica de alta resolução" ou "perfilagem acústica contínua". Os sistemas acústicos fornecem uma análise da estrutura pela utilização de geradores e receptores de som, e registros gráficos. Um pulso de som é transmitido a partir do meio flutuante através da água, e dependendo da frequência é refletido pelo fundo e recebido novamente pelo meio flutuante (Fig. 2). O intervalo entre a transmissão e a

recepção do eco fornece uma medida da profundidade, utilizando a velocidade conhecida do som na água. Sistemas acústicos diferentes fornecem dados diferentes. Por exemplo, ecobatímetros definem a profundidade da água para mapeamento batimétrico (Fig. 2a). Já o sonar de varredura lateral ("side scan sonar"), perfila não apenas a linha diretamente abaixo do navio, mas também a região lateral (Fig. 2b), permitindo uma visão em planta do fundo, equivalente a um mosaico de fotografias aéreas. A imagem obtida é chamada de sonografia e representa a intensidade da reflexão (Fig. 2b).

Aquisição dos dados

Os trabalhos de campo foram realizados a bordo da jangada CELACANTO apropriada para operar em águas rasas (até 1,0 m de profundidade), pertencente à Universidade Federal de Alagoas-UFAL. O equipamento sísmico utilizado consistiu de um Sistema de ecosondas portátil "all-in-one" da marca Odom Hydrographic, modelo hydrotac (Fig. 2c e 2d), pertencente ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Meio Ambiente-GGEMMA do PPGG/UFRN. Este sistema opera na frequência de 200 kHz, com resolução de 0.01 metro, precisão de $\pm 0.1\%$ da profundidade e contém porta para ecobatímetro (modelo SM200-10), para sonar de varredura lateral (modelo SM200SSS) e receptor GPS interno (marca Starlink invicta, modelo MBA-2). Os dados batimétricos são fornecidos tanto na forma digital quanto analógica, enquanto o sonar de varredura lateral fornece apenas dados analógicos. Este sonar de varredura lateral emite ondas apenas de um lado do "peixe" e tem recobrimento máximo de 80 metros. Foram realizados perfis tanto longitudinais quanto transversais ao leito do rio (Fig. 1).

Processamento dos dados

Os perfis obtidos em campo foram posteriormente digitalizados, plotados na carta náutica de acordo com os dados de GPS adquiridos em campo, e corrigidos os fatores de distorção de escala. Alvos maiores como canais, crista e dunas subaquosas, além de serem bons refletores, produzem zonas de sombra acústica correspondentes a áreas adjacentes a eles, onde o registro é interrompido. A largura dessa sombra e a posição do objeto em relação ao peixe são elementos utilizados para o cálculo da altura de tais objetos. Segundo Flemming (1976), as principais fontes de

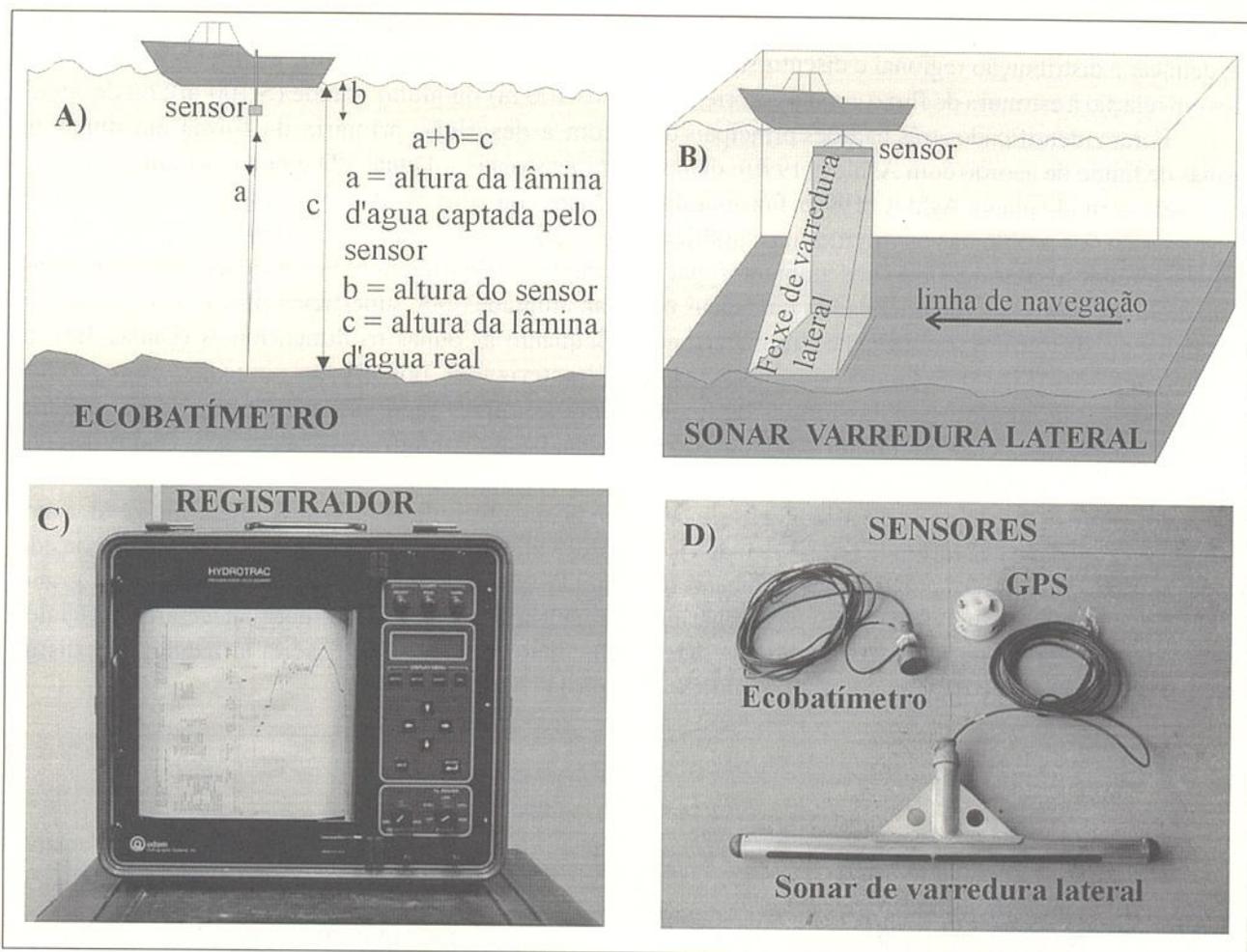


Figura 2 - Princípios dos sistemas acústicos. A) ecobatímetro, B) sonar de varredura lateral, C) e D) equipamento utilizado nesta pesquisa.

distorção nos sonogramas são a variação na velocidade da embarcação, a inclinação do “range” de calibração, o espalhamento horizontal do feixe acústico e as variações na altura do sensor.

Nos sonogramas o escurecimento do papel de registro se dá em função das propriedades do material de fundo e da topografia ou rugosidade da superfície mapeada. Assim, fundos predominantemente arenosos, pouco coesos, são caracterizados por registros relativamente claros. Entretanto, os sedimentos arenosos pouco coesos são facilmente transportados, gerando depressões e zonas de acumulações que caracterizam rugosidades no fundo, sendo evidenciadas no registro por um escurecimento do papel. Fundos lamosos, ao contrário, são mais coesos e caracterizam-se por registros relativamente escurecidos. Nesses fundos a rugosidade é pouco desenvolvida. Fundos extremamente coesos, como rochas por exemplo, escurecem fortemente o papel de registro (Silveira, 1989).

RESULTADOS OBTIDOS: DISCUSSÕES E INTERPRETAÇÕES

O desenvolvimento das formas de fundo está relacionado a três parâmetros principais, granulometria dos sedimentos, profundidade do fluxo e velocidade do fluxo, podendo ocorrer em várias escalas, desde ondulações até dunas e barras. Outros parâmetros, tais como temperatura e viscosidade do fluido, exercem uma menor influência sobre as formas de fundo, podendo ser ignoradas para o estudo da maioria dos sistemas naturais (Miall, 1996). A extensão, tamanho e características das formas de fundo aluviais são produto direto do balanço entre erosão e deposição em diferentes partes do leito. Desta forma a sonografia nos fornece informações sobre a natureza do fundo, como por exemplo textura, composição e orientação das feições.

Uma primeira avaliação destes novos dados sonográficos obtidos na região da foz do rio São Fran-

cisco, possibilitou a descrição de várias formas de fundo, delinear a distribuição regional e discutir suas relações em relação à estrutura de fluxo geral das correntes.

Foram identificados três padrões principais de formas de fundo de acordo com Ashley (1990): dunas, ondulações e fundo plano. Ashley (1990), faz uma síntese e revisão dos problemas envolvidos na classificação das grandes formas de fundo nos ambientes marinho, intermaré e fluvial, recomendando mudanças na nomenclatura, de forma a simplificar e eliminar a maioria das confusões (Fig. 3). Segundo este autor, apesar do amplo leque de morfologias das formas de fundo de grande escala, todas elas (excluindo antidunas) ocupam a mesma posição na seqüência de regime de fluxo inferior, entre ondulações e camadas planas superior. A ampla variedade das formas é um reflexo de efeitos secundários tais como canalização, flutuação do nível da água, e fluxos reversos e não estacionários. Desta forma elas deveriam ser chamadas por um único nome, DUNAS. O termo duna deveria ser modificado

de acordo com o tamanho, com base no espaçamento, em duna pequena (0.6-5m), média (5-10 m), grande (10-100 m) ou muito grande (> 100 m); ou de acordo com a descrição primária da forma em dunas bi-dimensionais – Dunas 2D e dunas tri-dimensionais – Dunas 3D (Fig.3). As formas bi-dimensionais (Dunas 2D) apresentam seções transversais prismáticas simples e dão origem as estratificações cruzadas tabular, limitadas por superfícies planares de 1ª. ordem. Enquanto as dunas tri-dimensionais (Dunas 3D) são caracterizadas por cristas sinuosas, cujo produto deposicional típico são as estratificações cruzadas acanaladas (“trough cross-bedding”). Dados disponíveis para ambientes fluviais e dominados por marés indicam que as dunas 3-D se formam, em geral, a maiores velocidades do fluxo que as dunas 2-D, considerando que os outros parâmetros, tais como granulometria e profundidade, permaneceram constantes. O adjetivo “subaquosas” seria utilizado, para distingui-las das dunas eólicas.

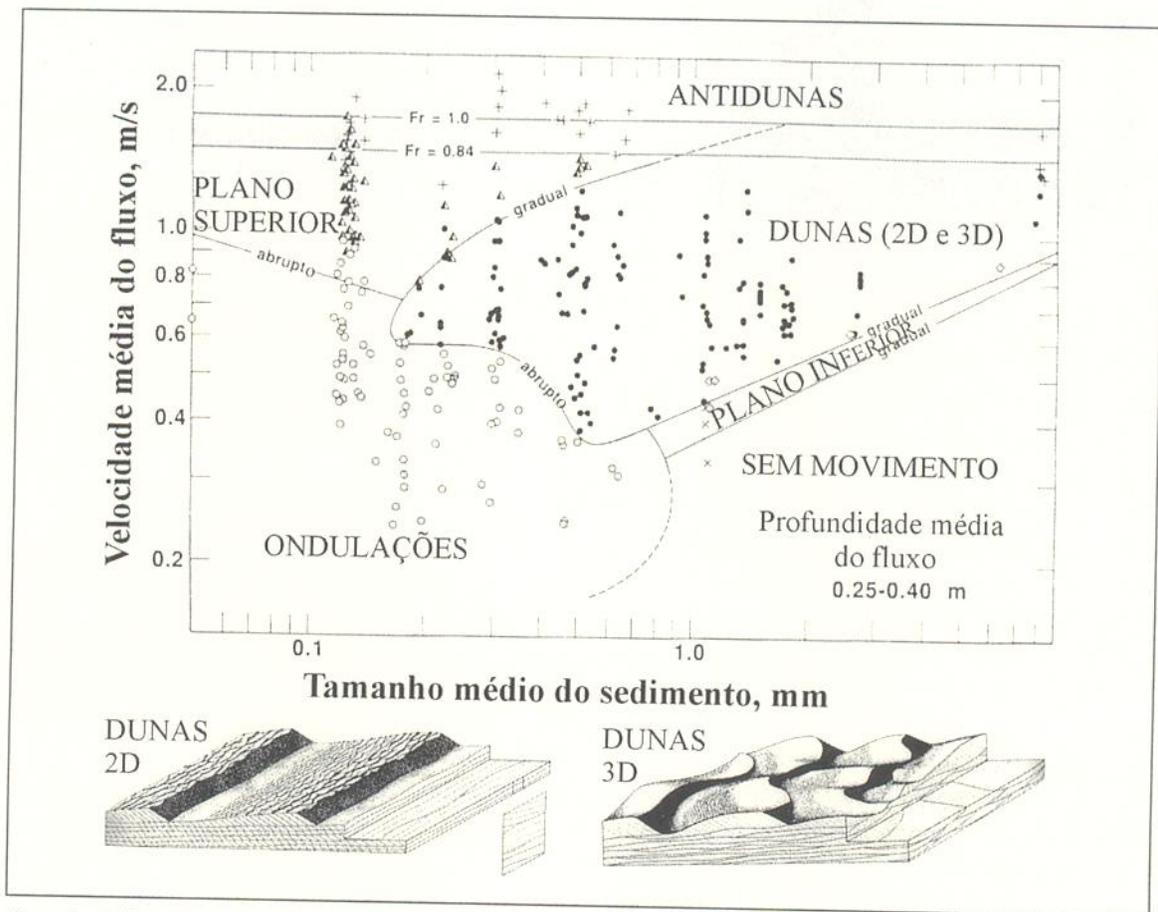


Figura 3 - Gráfico mostrando a relação entre a granulometria dos sedimentos e a velocidade média do fluxo na geração das formas de fundo. Símbolos diferentes indicam as várias fases de fundo, como indicado pelos nomes no centro de cada campo. Observar a superposição entre os campos. Símbolos: x = sem movimento em fundo plano; + = ondulações; O = dunas; Δ = camada plana regime inferior; D = camada plana regime superior; + = antidunas. Fr = velocidade média do número de Froude. (Adaptado de Ashley, 1990). As dunas bi-dimensionais (2D) e tri-dimensionais (3D) são apresentadas abaixo do gráfico.

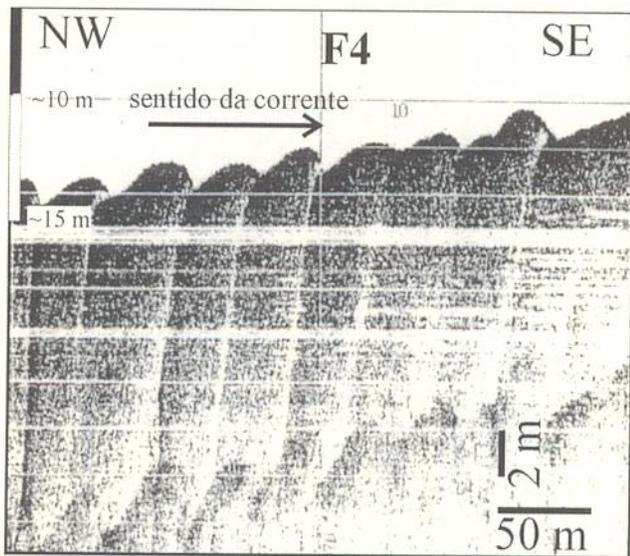


Figura 4 - Campos de dunas assimétricas mostrando direção do transporte de sedimentos. F4 refere-se a localização do sonograma na figura 1.

Dunas: Os sonogramas obtidos revelam a presença de extensos campos de dunas subaquosas. Amostras coletadas "in situ" mostram que o leito composto por estas dunas é constituído predominantemente por areias finas a médias, moderadamente selecionadas. Alternâncias entre dunas 2D e dunas 3D podem ser localmente observadas devido a variações na velocidade do fluxo (de baixo a moderado para moderado a alto), entretanto há um predomínio das dunas 2D. Entre Piaçabuçu e a Ilha da Fitinha (Fig. 1), as dunas são grandes e apresentam-se com forma assimétrica (1ª. ordem), indicando direção do transporte de sedimentos para jusante. Em geral apresentam-se com 40 m de extensão e 1 m de altura, mas podendo variar entre 30 a 90 m de extensão e atingir até 2 m de altura (Fig. 4). Entre a ilha da Fitinha e a Ilha Negra (Fig. 1), elas apresentam-se em geral com extensão de 75 m e altura de 2 m, ainda assimétricas mas superpostas a esta feição maior observa-se a formação de dunas pequenas simétricas (2ª. ordem), em geral com 5 m de extensão e menos de 0,5 m de altura, mostrando a influência das marés (Fig. 5).

Ondulações: Em direção a foz as dunas vão diminuindo progressivamente de extensão e altura até atingir a forma de ondulações simétricas, com menos de 1 m de extensão e média de 0,3 m de altura, apresentando cristas retas (Fig. 6). Amostras coletadas "in situ" mostram que o leito composto por ondulações é constituído predominantemente por areias finas, bem selecionadas. Isto mostra que na região da foz os processos marinhos representados por ondas e marés

obliteram os processos fluviais e que o rio não tem mais competência para transportar sedimentos, pelo menos para este período de medições onde o rio São Francisco apresentou uma das menores vazões do século.

Fundo plano: O fundo plano é observado próximo as margens do rio, bem como na confluência de pequenos rios que deságuam no rio São Francisco, em áreas da planície de inundação, onde sedimentos finos são depositados a partir da suspensão. Localmente, o tipo de fundo marcado pela presença de dunas e ondulações pode ser intercalado a fundo plano (Fig. 7). Neste caso, os fundos planos podem ser constituídos por sedimentos também arenosos, mas depositados com velocidade média do fluxo entre 0,35 a 0,9 m/s (Fig. 3), ou por sedimentos finos mais coesos, sobre os quais os sedimentos arenosos atuais estão sendo transportados.

CONCLUSÕES

O transporte de areias e padrões das formas de fundo estão distribuídos ao longo dos últimos 12 km do rio São Francisco. Cada variedade de forma de fundo reflete uma velocidade específica das correntes de fundo associada a granulometria dos mesmos. O volume de sedimentos transportados pelo rio, em regime de fluxo inferior, é responsável pelas grandes formas de fundo transversais, aqui denominadas dunas, com predomínio das dunas grandes bi-dimensionais. A forma assimétrica das dunas, com

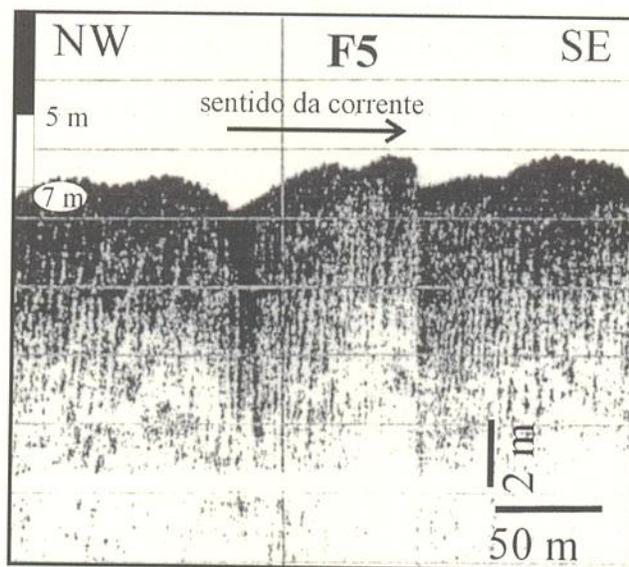


Figura 5 - Campos de dunas grandes assimétricas (1ª. ordem) com superposição de dunas pequenas simétricas (2ª. ordem) mostrando influência das marés. F5 refere-se a localização do sonograma na figura 1.

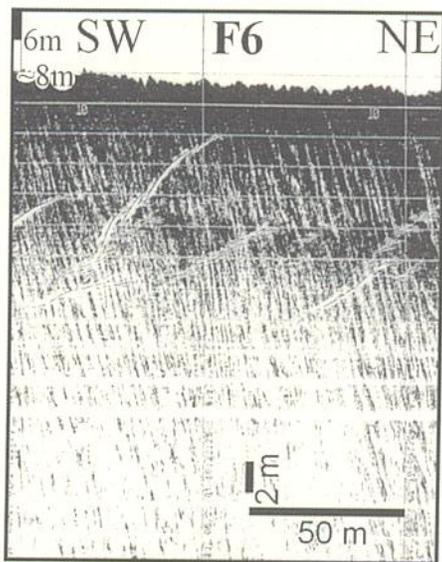


Figura 6 - Campos de ondulações simétricas na foz do rio São Francisco. F6 refere-se a localização do sonograma na figura 1.

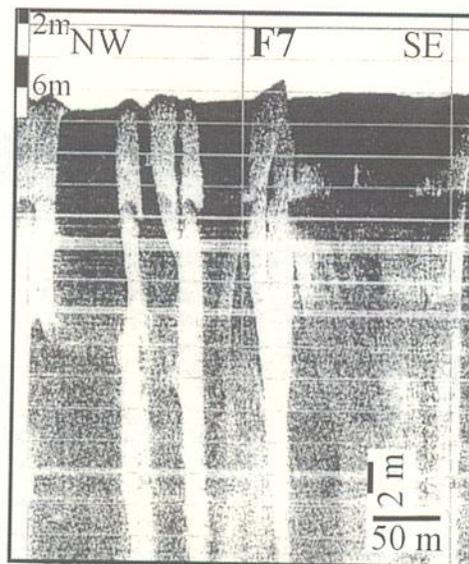


Figura 7 - Fundos planos (tonalidade mais escura) intercalados a dunas. F7 refere-se a localização do sonograma na figura 1.

face de maior inclinação voltada para o mar, indica sentido da corrente para jusante até atingir a ilha da Criminosa. A partir daí, a mudança na direção do fluxo em virtude das correntes de maré, podem ser observadas no fundo do rio pela inversão da assimetria das dunas, que passam a mostrar a face de maior inclinação voltadas para montante. As ondulações, também geradas em condições de fluxo inferior, predominam na interface rio-mar e apresentam forma simétrica indicando a influência das correntes de maré. Estudos semelhantes deveriam ser realizados em outras épocas do ciclo fluvial anual para verificar se este padrão de fundo se repete durante todo o ano.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor e aos dois revisores pelas críticas e sugestões que contribuíram para o resultado final deste artigo. Ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico-DAAD, pela doação do sistema de ecosonda hydrotrac, através do programa de apoio a ex-bolsistas. Ao projeto "BACIA DO SÃO FRANCISCO SRH/GEF/PNUMA/OEA" / Subprojeto 1.1.A "Estudo hidrodinâmico-sedimentológico do Baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente (AL/SE)" pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashley, G.A. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60**:160-172.
- Bacoccoli, G. 1971. Os deltas marinhos holocênicos brasileiros: uma tentativa de classificação. *Boletim Técnico Petrobras*, **14**:5-38.
- Bandeira Jr. A.N.; Petri, S. & Suguio, K. 1979. The Doce River Delta: an example of a highly destructive wave-dominated quaternary delta on the brazilian coastline, State of Espírito Santo. In: K. Suguio, R.R.Fairchild, L.Martin & J.M. Flexor (eds.). *Proceedings of the 1978 International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, São Paulo, p.275-295.
- Dias, G.T.M. 1981. O complexo deltaico do rio Paraíba. IV Simpósio do Quaternário do Brasil (CTCQ/SBG), *Publicação Especial*, RJ, Nº. 2, 58-79.
- Dias, G.T.M. & Gorini, M.A. 1980. A baixada campista: estudo morfológico dos ambientes litorâneos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriu, SC, *Anais...* Cambóriu, SBG. V.1, p. 588-602.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P. & Martin, L. 1981. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltáicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, **11**: 227-237.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P. & Martin, L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea level history, trade winds and climate. *Sedimentary Geology*, **80**: 213-232.
- Dominguez, J.M.L.; Martin, L. & Bittencourt, A.C.S.P. 1987. Sea-level history and Quaternary evolution of river-mouth associated beach-ridge plains along the east-southeast Brazilian coast: a summary. In: Nummedal, D.; Pilkey, O.K.; & Howard, J.D. (eds). *Sea level fluctuations & coastal evolution*. Tulsa, Okla, SEPM Geology, p. 115-127 (SEPM Special Publication, n. 41).
- Dominguez, J.M.L. & Wanless, H.R. 1991. Facies architecture of a falling sea-level strandplain, Doce River coast, Brazil. In: D.J.P. Swift, D.J.P.; Oertel, G.F.; Tilliman, R.T. & Thorne, J.A. (eds). *Shelf sand and sandstone bodies: geometry, facies and sequence stratigraphy*,

- IAS. p. 259-281. (IAS Special. Publication, n. 14).
- Flemming, B.W. 1976. Side -scan sonar: a practical guide. **International Hydrography Review**, 53(1):65-92.
- Fontes, A.L. 2001. Processos erosivos na desembocadura do Rio São Francisco (SE). In: CONGRESSO DA ABEQUA, 8., 2001, Mariluz, Imbé-RS. **Resumos...** Imbé, p.66-67.
- Galloway, W.E. 1975. Process framework for describing the morphologic & stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In: Broussard, M.L. (ed.). **Deltas, models for exploration**. Houston, TX: Houston Geological Society. p.87-98.
- Miall, A.D. 1996. **The Geology of Fluvial Deposits**. Berlin, Springer-Verlag, 582p.
- Sieck, H.C. & Self, G.W. 1977. Analysis of high resolution seismic data. In: Payton, C.E. (ed), **Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration**. American Association Petroleum Geologists, p.353-385 (Memoir 26).
- Silveira, O.F.M. 1989. **Estudo batimétrico sonográfico do estuário Guajará**. Belém-PA. 89p. Dissertação de Mestrado, Centro de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Suter, J.R. 1994. Deltaic coasts. In: Carter, R.W.G. & Woodroffe, C.D. (eds). **Coastal Evolution, Late Quaternary shoreline morphodynamics**. Reino Unido, Cambridge University Press, p.87-120.
www.portaldosaofrancisco.hpg.com.br