

FEIÇÕES FIOGRÁFICAS SUBMARINAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO RIO GRANDE DO NORTE VISÍVEIS POR IMAGENS DE SATÉLITE

Marcio L. Vianna e Reynaldo Solewicz
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515, 12201 - S.J. dos Campos - SP

RESUMO

Análises multitemporais de imagens do TM-Landsat do oceano costeiro do Estado do Rio Grande do Norte revelaram feições fisiográficas submarinas de grande expressão até a isóbata de 30 m. Estudos preliminares por "transects" ecobatimétricos, fotografia submarina e coleta de sedimentos em unidades imageadas confirmaram a importância do método de levantamento de feições de fundo assistidas por imagens de satélite. Como exemplos, oferecemos a confirmação de que um grande lineamento em torno da profundidade de 20 m era de fato uma antiga face de praia (pelo estudo de um recife de "beach-rock" sobre o lineamento) e apresentamos o estudo de um campo de dunas transversais assimétricas neste terraço não assinalado na literatura.

ABSTRACT

Multitemporal analysis of TM-Landsat images of the coastal ocean of the State of Rio Grande do Norte revealed bottom features of regional importance down to 30 m depth. Preliminary studies by echosounder transects, underwater photography and sediment sampling by diving over targets recorded in the images confirmed the importance of the method of image-assisted shallow-ocean surveying. As examples we confirm the nature of a great lineament around the 20 m depth contour as referring to an ancient shore-face (by analyzing a beach-rock reef over it) and present the study of a field of asymmetric transverse bedforms over this terrace not recorded in the literature.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação aqui descrita visa introduzir no Brasil uma metodologia de pesquisa oceanográfica em águas rasas, através da apresentação de resultados inéditos obtidos com a utilização de imagens TM-Landsat adequadamente tratadas por processamento digital, para o apoio às operações marítimas, para a detecção, localização e classificação de feições de fundo, cujo estudo aprofundado *in situ* pode ser realizado com o auxílio de instrumentação barata e pequenas embarcações locais, libertando o pesquisador da dependência fatal da disponibilidade de tempo dos poucos navios oceanográficos existentes no país. Apresentamos como exemplos as descobertas de unidades geológicas entre 20 m e 30 m de profundidade, realizadas por análise de imagens TM, e caracterizações preliminares das feições através de dados obtidos por mergulho, fotografia submarina e perfilagem batimétrica, na costa do Rio Grande do Norte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de trabalho escolhida se localiza em torno de Touros, RN, cidade próxima ao Cabo Calcanhar, onde a costa do Brasil vira para noroeste. A escolha desta área foi feita com base na diversidade de feições submarinas observadas, e na claridade da água, que deve ser consequência da predominância das correntes paralelas à costa dirigidas para o norte, pois estas provocam a subsidência das águas frias pouco transparentes e uma vazão barotrópica de águas quentes com pouquíssimo material em suspensão por falta de estuários de grandes rios na costa adjacente. A área de trabalho está contida no quadrante A da órbita-ponto 214.64, do TM-Landsat (ver Fig. 1).

Imagens corrigidas geometricamente correspondentes às passagens de 10/06/84, 17/11/84 e 20/05/88, gravadas em fitas CCT nas bandas 1, 2 e 4, foram analisadas no sistema Image-100 do INPE. Para efeito deste trabalho, a utilização

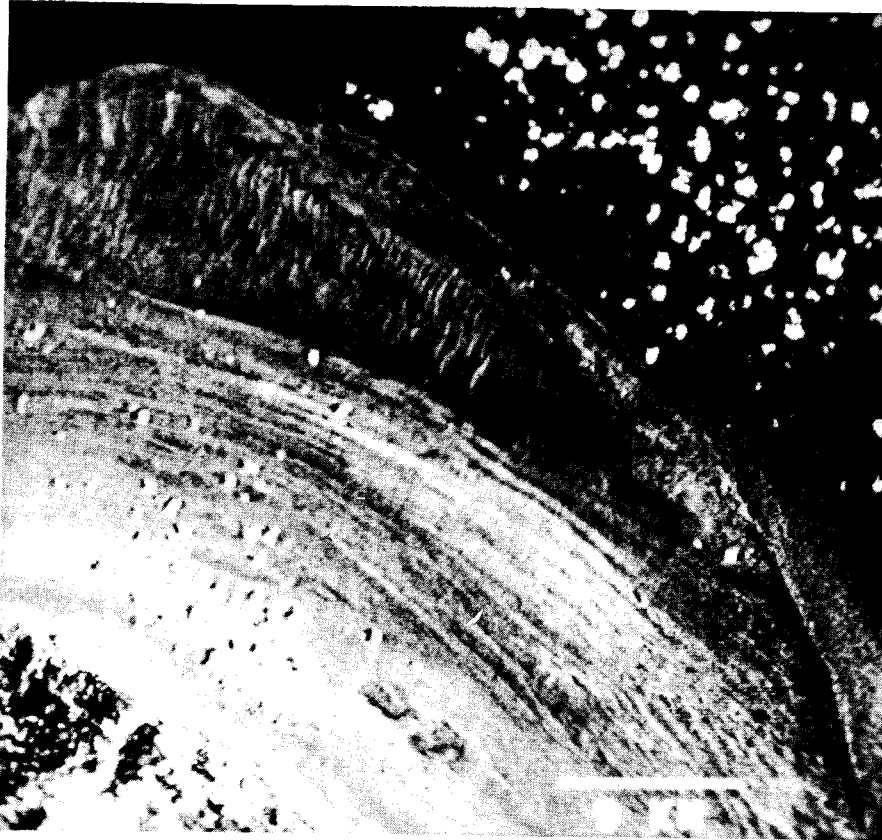


Fig. 1. Imagem TM-Landsat, órbita-ponto 214.64 quadrante A de 17/11/84, bandas 1 e 2 sobre o mar e banda 4 sobre a terra (quadrante inferior esquerdo). Fundo do mar bastante visível até a borda do terraço de 20 m de profundidade (lineamento superior), que é uma face de praia. Feições também visíveis: campo de dunas transversais (quadrante superior esquerdo); uma cobertura sedimentar parece se sobrepor à face de praia submersa (canto superior esquerdo); os lineamentos paralelos à costa abaixo das dunas transversais parecem ser "sand ribbons". Baixo do Rio do Fogo, com a parte aflorante constituindo as duas "ilhas" no centro da imagem.

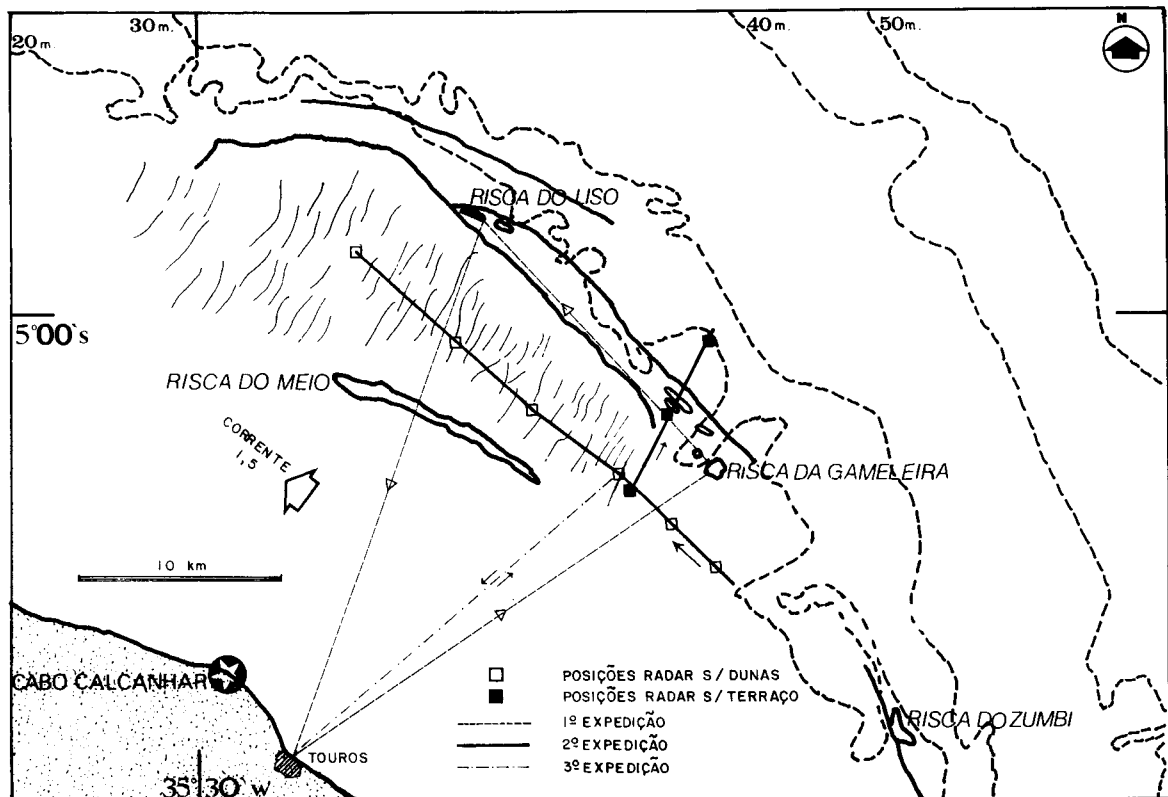


Fig. 2. Interpretação da Fig. 1 em relação à carta Batimétrica B800 da Diretoria de Hidrografia e Navegação, exibindo as rotas seguidas em três expedições; as posições dos altos-fundos Risca do Zumbi e Risca da Gameleira (de 9 m, não contido na B800, mas assinalado na 800 e na 803, e de existência comprovada por nós); lineamentos (da terra para o mar); a Risca do Meio - fundo rochoso; o campo de dunas; o limite da cobertura de areia; a borda do terraço de 20 m; lineamento a 30 m; a Risca do Liso: recife de "beach rock"; □- posição das marcações RADAR no transect sobre campo de dunas; ■- posição das marcações RADAR no transect de determinação da posição da borda do terraço, que coincidiu com a imagem, e não coincidiu com a carta B800; a corrente de 1,5 nós foi estimada comparando a diferença de velocidade do navio na ida e na volta sobre o campo de dunas, constituindo-se num limite superior.

automática dos programas de "contrast-stretch" lineares do I-100 oferece resultados satisfatórios. A banda 4 foi usada sobre as áreas terrestres, para o bom delineamento da costa, e as bandas penetrantes 1 e 2 sobre as áreas marítimas. Imagens em papel, nas escalas de 1:250000 em composição colorida e 1:50000 em preto e branco serviram de apoio aos trabalhos de levantamento. Estas imagens foram produzidas na projeção UTM no INPE-Cachoeira Paulista, e devido ao fato da área de estudo ser de baixa latitude, não apresentaram diferença quanto à linha da costa e recifes aflorantes, quando comparadas com as Cartas Náuticas 800, B800 e 803 da Diretoria de Hidrografia e Navegação. As imagens apresentadas aqui foram de cromos obtidos do monitor de vídeo do I-100. A navegação sobre as áreas de teste foi realizada com auxílio de "overlay" contendo as feições visualizadas (em escala da Carta Náutica), sobre a Carta Náutica. Na Fig. 2 indicamos os "transects" realizados, assinalados com referência a dados contidos na Carta Batimétrica B800. Os perfis ecobatimétricos foram realizados graças à cooperação do 3º. Distrito Naval e do Grupamento Naval do Nordeste, com o Navio de Patrulha Costeira "Penedo". A navegação foi realizada com Radar Decca 150, Agulha Giroscópica e dois ecobatímetros, um Coester E.T.SQN 3V e um Raytheon CRP DE-721A. As operações de mergulho foram realizadas com barcos de pesca. A navegação estimada neste caso consistiu numa combinação da utilização de bússolas e do conhecimento do Mestre (Aloísio, de Touros) das marcações de posição das feições de nosso interesse. Este método preciso de localização já é do conhecimento da literatura antropológica internacional desde Forman (1967) e não constitui novidade para nós (Vianna, 1983). Como as correntes locais podem ultrapassar 50 cm/s (1 nó) (Metcalf, 1968), utilizamos um compressor Schulz de 15 pcm com duas mangueiras de 1/4" e 100 m de comprimento assistidas por 2 mangueiros, e garrafas de mergulho US Divers. As fotos submarinas foram obtidas com equipamento Nikonos V e luz ambiente, e a profundidade foi medida com dois profundímetros de óleo.

3. ANTIGAS FACES DE PRAIA

A 20 m E 30 m DE PROFUNDIDADE

O lineamento externo conspicuo visível na Fig. 1, sugere uma antiga face de praia, que por observação da carta B800 devia ocorrer em torno da profundidade de 20 m. A Fig. 3, detalhe da Fig. 1, mostra claramente um recife estreito e longo, que parece sugerir ser de "beach-rock". Esta conjectura foi confirmada. A estrutura do recife, observada por mergulho, é típica de recifes de arenito de praia, com as grandes cavernas de dissolução (Fig. 4) que caracterizam sua morfologia kárstica. A análise do arenito apresentou o seguinte resultado (Leão, 1988): arenito quartzoso. O cimento carbonático é formado por cristais de calcita magnésiana de tamanhos entre 5 e 10 micra, o teste de coloração com "amarelo titânico" sendo usado para diagnóstico. A rocha é constituída predominantemente por

grãos de quartzo, sem orientação alguma, com tamanhos médios entre 0,500 e 0,250 mm, os maiores arredondados e os menores sub-arredondados. Seixos de até 1 cm foram encontrados, mas conchas e restos de fauna de origem marinha estavam ausentes. Fica então confirmado que o lineamento supracitado é uma antiga face de praia, a 20 m, nível este já detectado por outros autores para outros Estados (Correa et al, 1980).

Outro lineamento, acima do primeiro na Fig. 3, correspondendo à profundidade de 30 m, é claramente visível. Acreditamos que corresponda à estabilização do nível do mar citada por Correa et al (1980) em 30 m de profundidade.

4. DUNAS TRANSVERSAIS

A ocorrência de dunas transversais no Brasil tem sido objeto de alguns estudos, com a apresentação de perfis batimétricos e de sonar de varredura lateral (Barreto et al., 1975; Adams et al., 1986), em ocorrências próximas ao estuário do Amazonas. O estudo mais detalhado de um campo de dunas transversais usando estas técnicas é o de Aliotta & Perillo (1987), realizado na Argentina. Apresentamos aqui a primeira visualização de um campo de dunas transversais assimétricas por satélite na isóbata de 20 m, com alturas variando de 5 a 7 m (Fig. 5), cada uma com uma extensão transversal de 500 m, distância entre cristas de até 1700 m e faces de sotavento as mais íngremes já registradas (Belderson et al., 1982) com inclinação em torno de 45º (Fig. 6). "Ripples" irregulares de 5 cm de altura e 20 cm de comprimento de onda foram vistos sobre a crista. A observação do movimento da água nos permitiu concluir o seguinte sobre a hidrodinâmica da formação da duna:

(a) A camada limite, com uma velocidade em torno de 1.5 nós sobre a primeira duna, se separa no topo da crista. No cavado de sotavento, um acúmulo de algas em suspensão serve de traçador, que demonstra a existência de um grande vórtice, com a corrente de fundo no cavado sendo oposta à do fluxo médio, e inclusive subindo pela encosta. Isto deve explicar a estabilidade da face e o contraste de granulometria observado entre a crista e o cavado, a ser relatado em outro trabalho. As algas em suspensão são responsáveis pelos contrastes de radiância entre crista e cavado na imagem. A estimativa da velocidade foi feita por "ship drift", pelo Ten. Alvaro, navegador do "Penedo".

(b) Com registro simultâneo em canais diferentes do I-100, fizemos a superposição das imagens de 17/11/84 e 20/05/88, para verificar se as dunas se deslocaram. Pudemos estabelecer preliminarmente que dentro da resolução disponível (30 m), se houve deslocamento, a velocidade é de menos de 10 m por ano, bem inferior ao caso argentino, cuja velocidade é de 33 m por ano (Aliotta & Perillo, 1987).

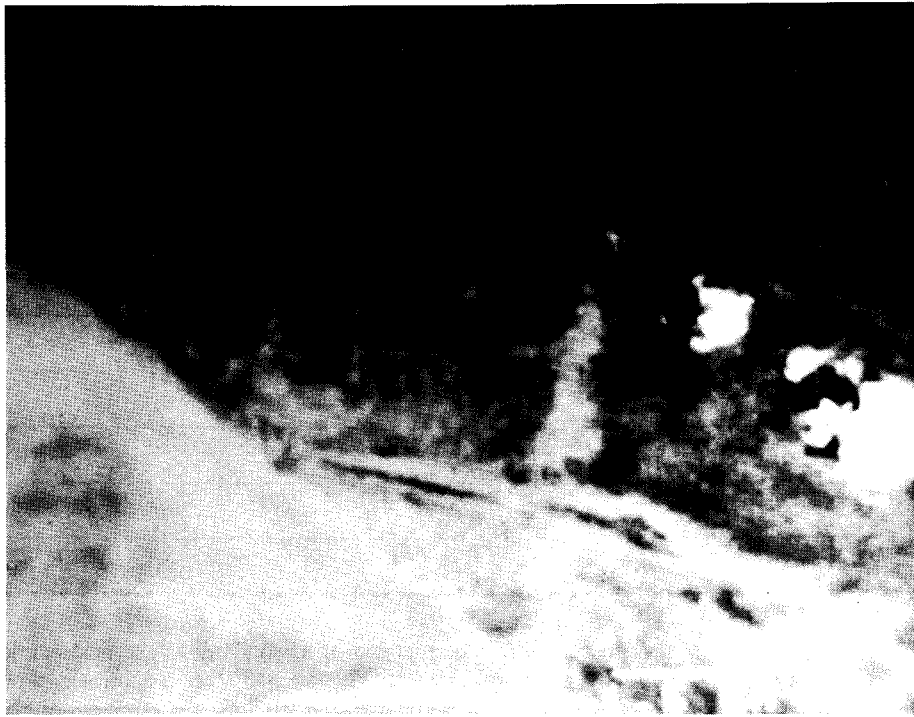


Fig. 3. Detalhe da imagem da Fig. 1, exibindo a área do recife de "beach-rock" chamado Risca do Liso (às vezes chamado Risca do Porto) pelos pescadores. A interrupção do recife em duas seções foi por nós confirmada por observação submarina e o fundo, de textura diferente na imagem, é cascalhoso. O lincamento externo (provavelmente a 30 m de profundidade) e as feições transversais, não foram ainda visitadas.



Fig. 4. Observação submarina da macro-estrutura do recife de "beach-rock" chamado Risca do Liso: uma caverna, com um mero grande em seu interior. Abertura com 1 m de diâmetro. A face superior do recife se encontra a alturas de até 1.50 m no máximo em relação ao solo cascalhoso. Obtivemos uma amostra de sua parede mais escarpada, que é a parede do lado sul (proximal em relação à costa), na entrada da caverna. A parede distal se encontra soterrada. A profundidade acusada nos profundímetros foi de 20 m. (foto de R. Solewicz)

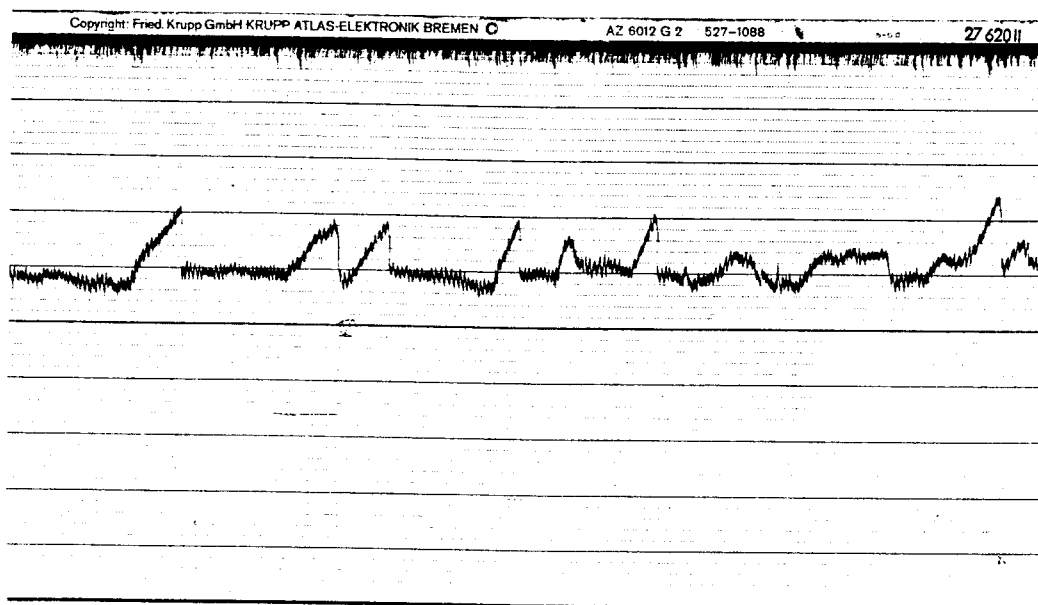


Fig. 5. Perfil ecobatimétrico obtido com o ecobatímetro Coester, com o navio "Penedo" se deslocando na velocidade média de 7.7 nós, na 2ª expedição. Os rumos foram 310°, 305° e 310° (ver trajetória na Fig. 1). Primeira metade do perfil. Escala vertical em metros.



Fig. 6. A base da face de sotavento da duna investigada, com um dos autores (M.V.) portando um saco plástico cheio de areia, que serve para exibir a direção vertical. As dunas são de areias quartzosas com mais de 90% dos grãos sub-angulares de quartzo, pouco retrabalhada, entre 0,297 mm e 2,000 mm, com predominância da fração entre 0,297 mm e 0,500 mm na crista, e a de 0,500 mm a 1,000 mm no cavado. A fração carbonática é de grãos maiores que 2 mm (4% na crista e 7% no cavado). Uma fraca corrente suspende as algas, que sobem a encosta cujo declive é mais suave na base (foto de J. Bezerra Neto).

(c) Tentamos determinar a extensão deste campo de dunas. O exame de imagens da costa norte do Estado demonstrou que o campo se estende para a costa do Estado do Ceará, mas com espaçamentos maiores entre dunas isoladas.

(d) A importância da modelagem numérica da dinâmica destas dunas é evidente, pois os processos de formação são muito lentos. As primeiras tentativas de modelagem das evoluções morfológicas em águas rasas são muito recentes, constituindo-se também em uma área muito ativa de pesquisa de ponta em mecânica de fluidos geofísicos (ver De Vriend, 1987, e bibliografia ali citada). Os modelos matemáticos de dunas em equilíbrio dinâmico constantes da literatura estudam casos onde o efeito da separação da camada limite não é importante, e a falta de dados empíricos de fundo para testar os declives calculados prejudica a elaboração de modelos hidrodinâmicos realísticos (Allen, 1982). O presente método de trabalho constitui uma opção viável para obtenção destes dados. Nossas observações parecem indicar que estas dunas assimétricas são solitons, onde o processo de competição não-linear envolvido é o de crescimento da crista com o aumento do declive na face de sotavento contra a dispersão causada pela avalanche em presença do vórtice. Estamos em fase de elaboração de um projeto multi-disciplinar que inclui a coleta nesta área teste dos dados empíricos necessários para testar as teorias, e incorpora a proposta de uma equação de soliton para descrever a evolução de uma duna.

5. BORDA DO TERRAÇO DE 20 m

Um exame da Fig. 2 mostra discordância entre a linha que limita o terraço de 20 m, quase reta na imagem, e a isóbata de 20 m, da Carta B800, muito irregular. Resolvemos então realizar um transect para determinação da borda do terraço, passando sobre um setor do lineamento que apresenta dois escarpamentos na imagem. A Fig. 7 apresenta o perfil ecobatimétrico que confirma a precisão da interpretação da imagem.

6. CONCLUSÕES

A partir dos experimentos fotobatimétricos da NASA com J. Cousteau (Polcyn, 1976), e do "1980 Photobathymetric Calibration Experiment" com o uso de mergulhadores (Stewart, 1984), ficou demonstrada a viabilidade do uso de imagens TM no processo de construção de cartas náuticas (Tanis & Hallada, 1984). Entretanto, apesar de existirem trabalhos numerosos de aplicação deste método desde 1975 para mapeamento de recifes de corais (Reichelt & Bainbridge, 1988), o método nunca foi aplicado para estudo de feições entre 20 m e 30 m, como estamos realizando.

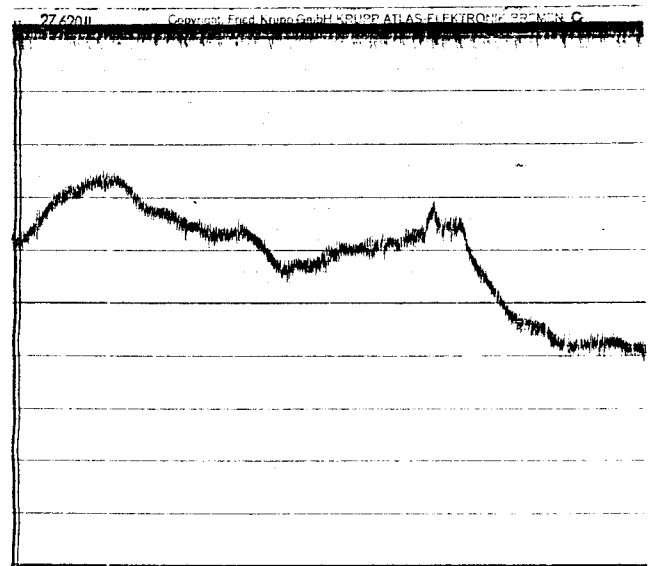


Fig. 7. Perfil ecobatimétrico para localização da borda do terraço de 20 m, apresentando os dois escarpamentos vistos na imagem, e a descida brusca até o nível de 30 m.

7. REFERÊNCIAS

- ADAMS JR., C.; WELLS, J.; COLEMAN, J. Transverse bedforms on the Amazon shelf. *Cont. Shelf Res.* 6:175-187, 1986.
- ALIOTTA, S; PERILLO, G. A sand wave field in the entrance to Bahia Blanca Estuary, Argentina. *Mar. Geol.* 76:1-14, 1987.
- ALLEN, J.R. Simple models for the shape and symmetry of tidal sand waves: (3) dynamically stable asymmetrical equilibrium forms without flow separation. *Mar. Geol.* 48:321-336, 1982.
- BARRETO, L.; MILLIMAN, J.; AMARAL, C.; FRANCISCONI, O. Continental Margin sedimentation off Brazil: northern Brazil. *Contr. Sedimentology* 4:11-43, 1975.
- BELDERSON, R.; JOHNSON, M.; KENYON, N. Bedforms. In: Offshore tidal sands, A. H. Stride, editor, Chapman and Hall, New York, Ch. 3:27-57, 1982.
- CORREA, I.; PONZI, V.; TRINDADE, L. Níveis marinhos quaternários da plataforma continental do Rio de Janeiro, Anais XXXI Congr. Bras. Geol., S. Catarina, v. 1:578-587, 1980.
- DE VRIEND, H. Analysis of horizontally two-dimensional morphological evolutions in shallow water. *J. Geophys. Res.* 92(C4):3877-3893, 1987.
- FORMAN, S. Cognition and the catch: the location of fishing spots in a Brazilian coastal village. *Ethnology* 6:417-426, 1967.

LEÃO, Z.M. Comunicação particular, 1988.

METCALF, W. Shallow currents along the northeastern coast of South America. *J. Mar. Res.* 26:232-243, 1968.

POLCYN, F. NASA/Cousteau Ocean Bathymetry Experiment, ERIM Report, June 1976.

REICHEL, R; BAINBRIDGE, S. Shallow water mapping of coral reef habitats: a case study from the Great Barrier Reef. XVI ISPRS Congress, July 88, Kyoto, Japan, Commission VII:375-383, 1988.

STEWART, L. Diver observations in support of Defense Mapping Agency's Bahamas Photobathymetric Calibration Survey, SAI Report, March, 1984.

TANIS, F; HALLADA, W. Evaluation of LANDSAT Thematic Mapper data for shallow water bathymetry. Proc. 18th Int. Symp. Rem. Sensing of Env., Paris, France:629-643, 1984.

VIANNA, M. Os pesqueiros de lagosta e a pesca artesanal de mergulho do nordeste brasileiro: o novo estilo de uma arte de viver com 5000 anos de história. *UFRN-Cadernos FUNPEC, Ano II (2,3), maio* 83:133-153, 1983.