

EVOLUÇÃO SEDIMENTAR DA ÁREA ADJACENTE AO PORTO DE ITAQUI, ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL ⁽¹⁾

Jáder Onofre de Morais ⁽²⁾

Laboratório de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza — Ceará — Brasil

A Praia do Boqueirão (figura 1), situada na margem leste da Baía de São Marcos, na área adjacente ao norte do Porto de Itaqui, distando aproximadamente 12km da cidade de São Luís, foi o local escolhido para servir de terminal portuário para o minério de ferro, proveniente de Carajás, no Estado do Pará. Em São Luís deverá ser implantada uma usina siderúrgica para processamento deste minério.

Uma série de marcas de ondulações de areias com altitude variando em torno de 1 metro foi observada, e a definição da sua formação, migração ou assoreamento constitui o objetivo principal deste trabalho, tendo em vista as conseqüências danosas que estas ondulações poderiam trazer para a implantação do terminal portuário.

Sondagens a rotação e percussão proporcionaram uma visão geral do quadro estratigráfico da área, permitindo delinear com maior detalhe a evolução sedimentar dos bancos de areia, plataforma de abrasão e baixios de marés que constituem a Praia do Boqueirão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de campo foi realizado durante marés de sizígia, quadratura e interdiárias. Foram feitas medições de altura e

comprimento de ondas nas "sandwaves", medições de correntes com derivadores nas regiões adjacentes e coleta de sedimentos. O tipo de fundo foi analisado durante os diferentes tipos de marés quando os bancos e baixios de marés ficavam expostos na sua quase totalidade. A área foi sobrevoada, utilizando-se avião bimotor pertencente ao Governo do Estado do Maranhão, para visão global do comportamento das "sandwaves".

Em laboratório, foram analisados os sedimentos do ponto de vista textural e mineralógico, para definir processos de migração e proveniência. Fotografias aéreas, obtidas na empresa PROSPEC S. A., no Rio de Janeiro, foram interpretadas, resultando em uma defi-

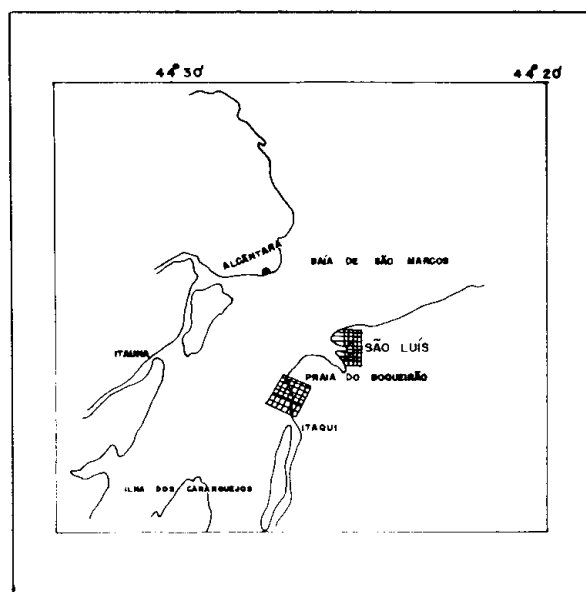


Figura 1 — Localização da Praia do Boqueirão.

(1) Trabalho apresentado no IX Simpósio de Geologia do Nordeste, em outubro de 1979.

(2) Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

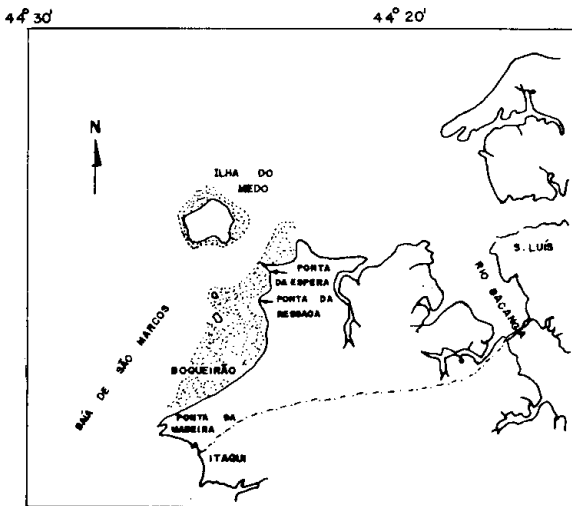


Figura 2 – Localização das feições morfológicas da Praia do Boqueirão.

nição do comportamento das correntes sobre os bancos e baixios de marés.

MORFOLOGIA DA PRAIA DO BOQUEIRÃO

Esta praia estende-se desde a Ponta da Madeira, limite norte do Porto de Itaquí, inclui as ilhas Irmã de Fora e Irmã de Dentro

e contorna a Ponta da Ressaca até Ponta da Espera, em frente à Ilha do Medo (figura 2), bem próxima à cidade de São Luís. Mergulha suavemente próximo à linha de praia, tornando-se quase plana ao meio caminho do limite externo dos bancos, onde forma um canal de escoamento. Um canal forma-se periodicamente entre as marés de sizígia e quadratura, em volta da Ilha Irmã de Dentro. A maior reentrância, que constitui propriamente a Praia do Boqueirão, está situada entre a Ponta da Madeira e Ponta da Ressaca.

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

A figura 3 mostra os locais na Praia do Boqueirão onde foram feitas as perfurações. O primeiro perfil (figura 4), aproximadamente na direção norte sul e paralelo à borda externa dos bancos, está a uma profundidade média de 35 metros. Este perfil mostra a espessura da camada superficial de areia que varia de 0 m no furo SR-12 (figuras 3 e 4) a 4,04 m no furo SR-5. Nos demais furos deste perfil, esta camada de areia tem, em média, 0,5 m de espessura. Foi ao longo deste perfil que foram escolhidos os locais para instalação dos "piers".

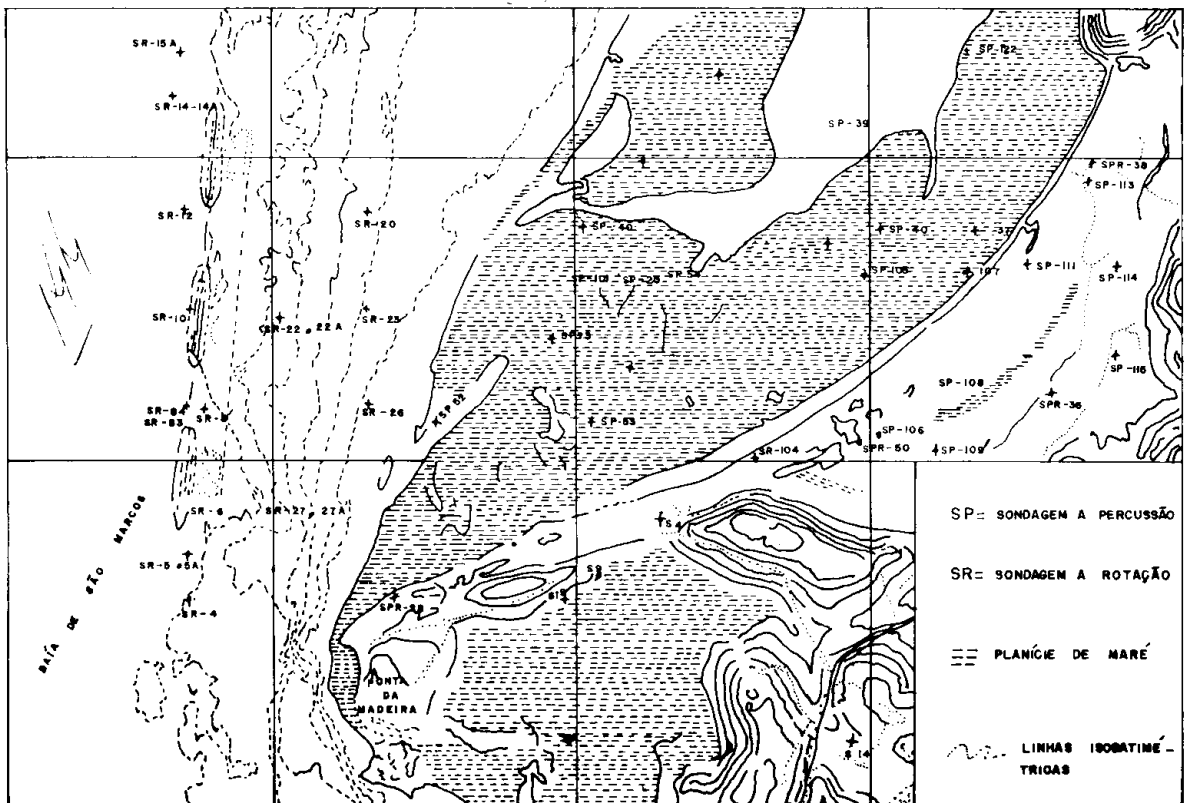


Figura 3 – Locais de perfuração na Praia do Boqueirão.

Esta camada de areia repousa diretamente sobre sedimentos cretácicos, que variam litologicamente de furo a furo. SR-4 mostra à profundidade de 34 m camada de arenito verde acinzentado fraturado gradando a argilito para baixo. Um aspecto importante neste arenito está a -40,98 m (as profundidades estão relacionadas ao nível do mar), onde

ocorrem folhelhos fraturados e laminados em lentes de fragmentos de vegetais em arenito. Este arenito contém apreciável quantidade de mica e está na mesma profundidade em todos os furos deste perfil, estendendo-se em alguns deles a uma profundidade de 50 metros. SR-6 mostra uma grande quantidade de blocos de rochas sólidas derivadas das Bar-

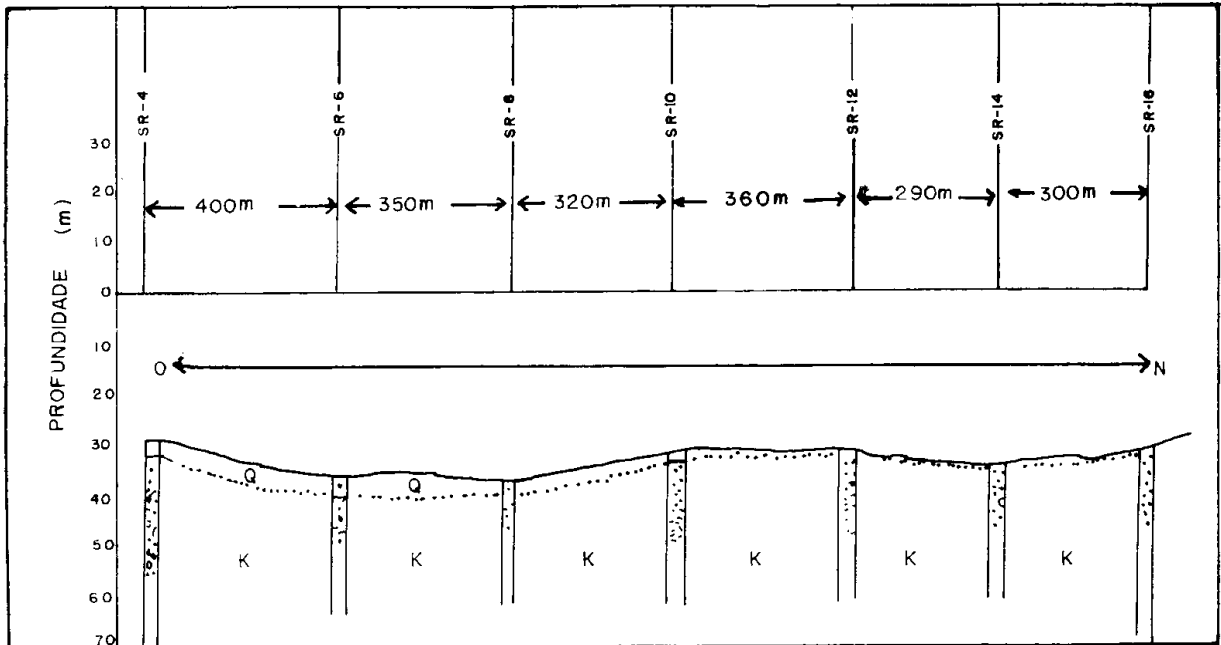


Figura 4 — Perfil das perfurações no local de instalação dos "piers".

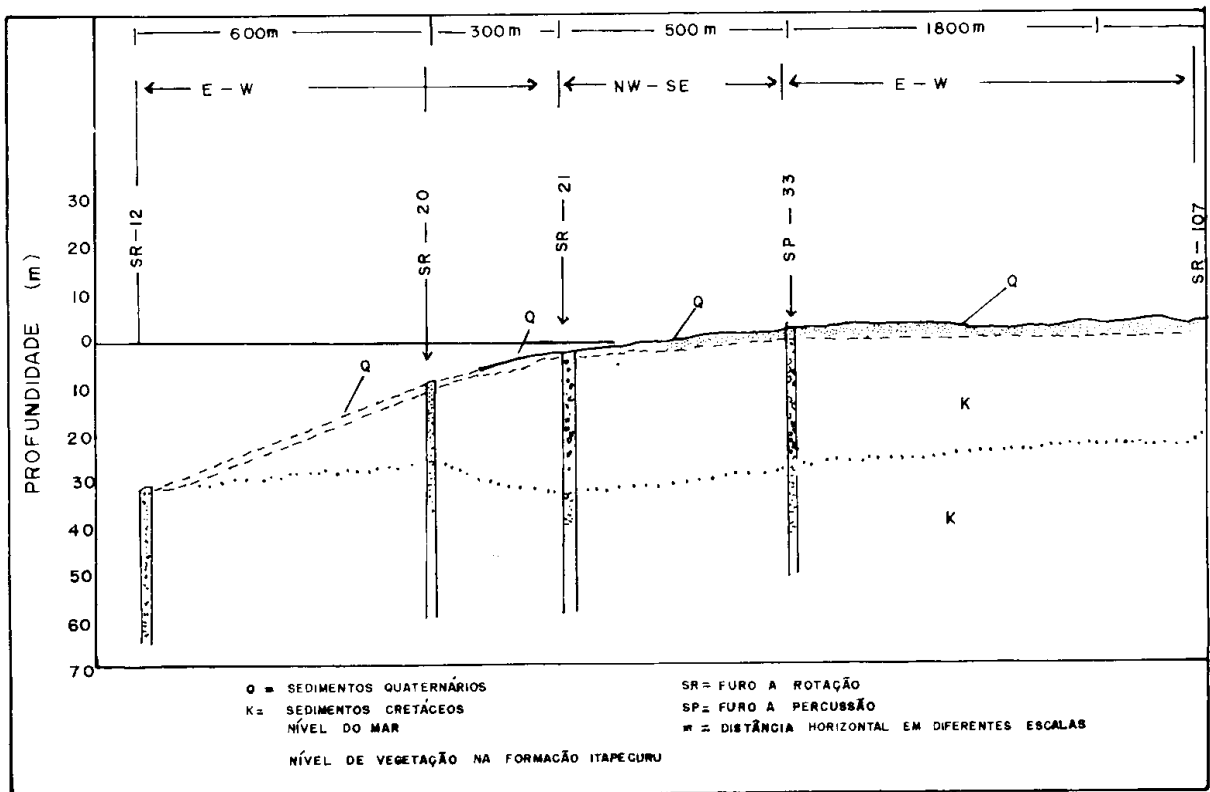


Figura 5 — Contato dos sedimentos quaternários e cretáceos, mostrando o nível de vegetação da Formação Itapecuru.

reiras, misturadas com sedimentos recentes.

A figura 5 mostra o perfil formado pelos furos SR-12, SR-20 e SR-33 e o contato dos sedimentos quaternários com as formações cretácicas e a camada guia de datação através do estudo de pólen. Os sedimentos quaternários aí são representados por areias inconsolidadas misturadas com argilas. Os sedimentos cretácicos são formados por arenitos esverdeados alternando com siltitos, às

vezes muito laminados. A figura 6 mostra uma seqüência aproximadamente paralela à primeira, mas aqui já é possível inferir o contato Terciário/Cretáceo.

Neste perfil, a Praia do Boqueirão se estende por 705 metros, sendo formada quase inteiramente por sedimentos cretácicos recobertos por sedimentos recentes. Os sedimentos terciários são idênticos aos do Grupo Barreiras, já descritos por Silva *et al.* (1972).

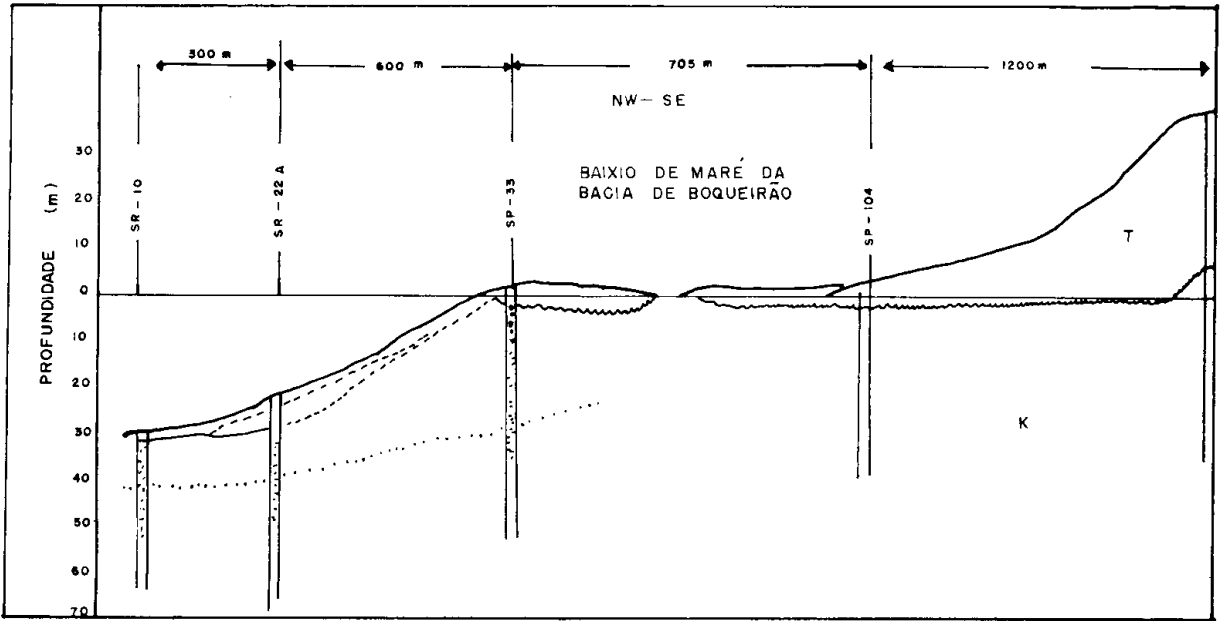


Figura 6 – Contato dos sedimentos terciários e cretáceos.

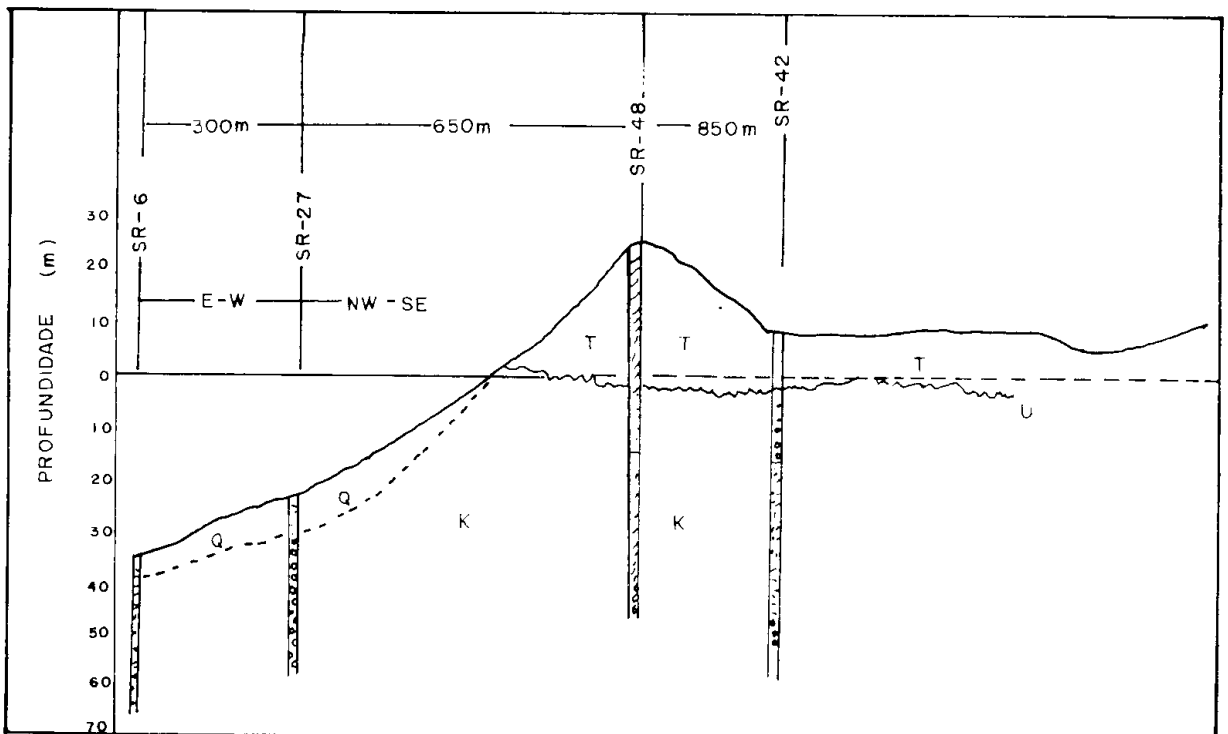


Figura 7 – Afloramento de sedimentos cretáceos na praia.

O contato Terciário/Cretáceo é visto claramente na Ponta da Madeira, aflorando em praia e representado na figura 7. Os níveis de matéria orgânica que encontram-se nos furos SR-47 e SR-48, são compostos da mesma matéria vegetal em que predominam os pólenes da espécie *Elasterosporites protensus*, que são datados do Cretáceo.

Na superfície dos baixios de marés os sedimentos recentes variaram de 0 a 15 metros de espessura.

Outros furos menos profundos feitos nos bancos e baixios (figura 3) (SP-40, SP-41, SP-33, SP-39, SP-105, SP-107) revelam que

a superfície das rochas consolidadas é irregular, dando por isso diferentes espessuras à camada de sedimentos inconsolidados. Isto pode significar uma superfície irregular de erosão que mergulha em direção ao norte e é recoberta por areia, argila siltosa e argila plástica orgânica. Esta última camada está em quase todos os furos, encontrada à máxima profundidade de 9 metros, tendo de 1 a 2 metros de espessura. Tem um caráter tixotrópico, pois quando o trépano a encontra desce suavemente, apenas devido ao peso.

Esta camada não é obtida nos furos realizados no continente ou parte submersa, apenas nos baixios de marés.

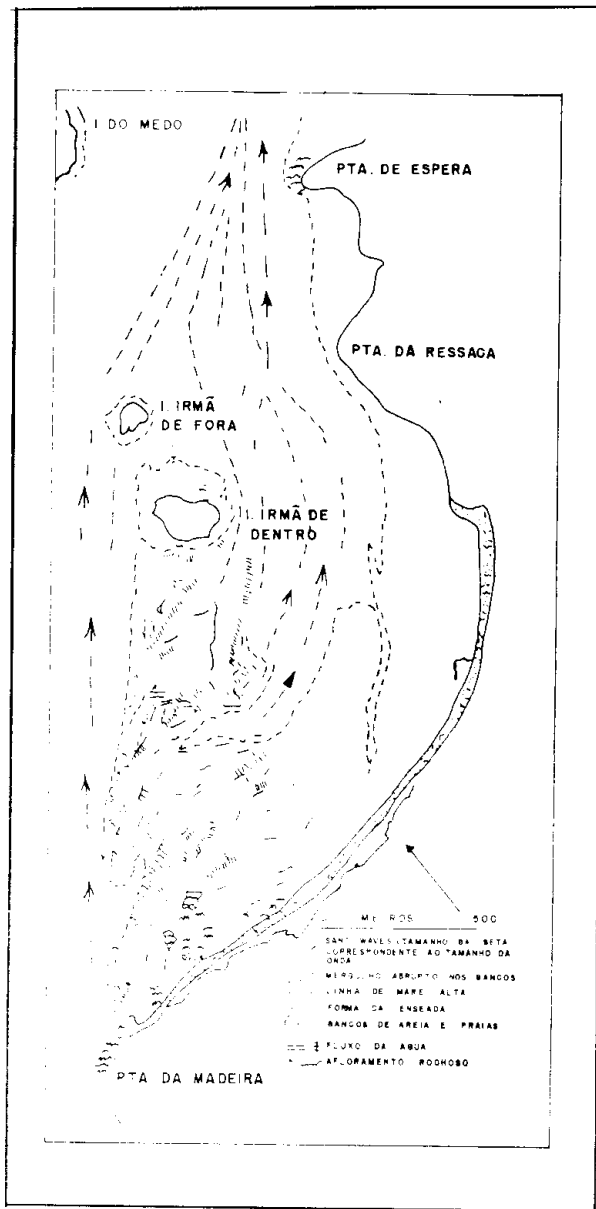
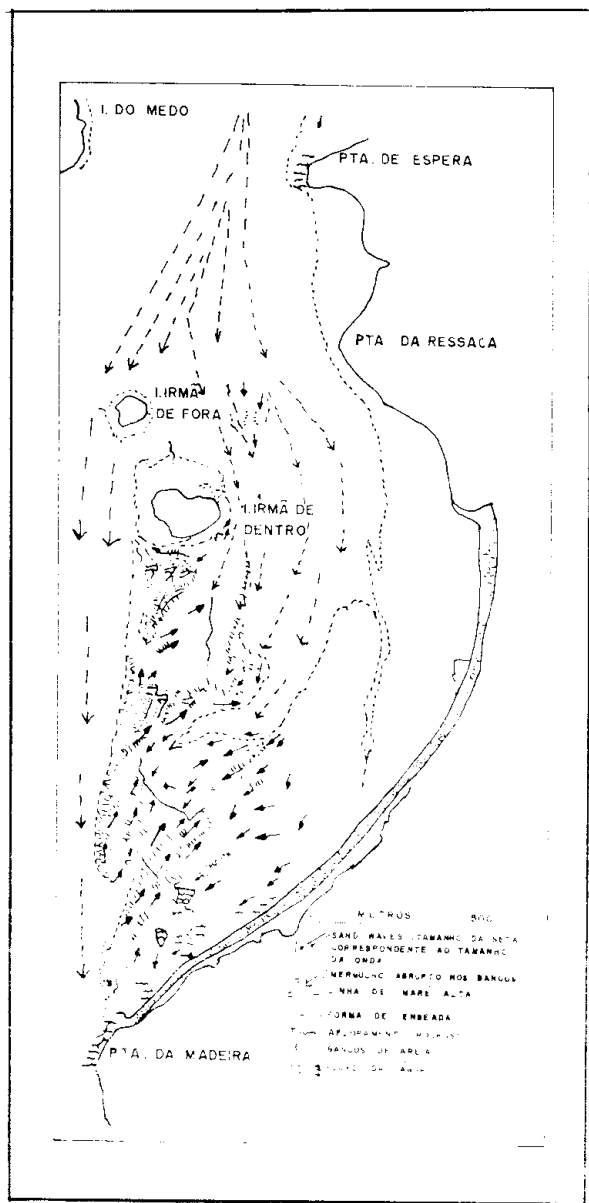


Figura 8 — Direção das correntes de maré, no período de maré enchente.

Figura 9 — Direção das correntes de maré, no período de maré vazante.

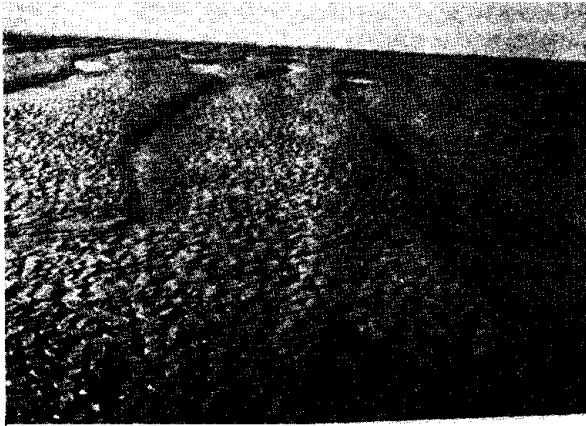


Figura 10 – “Megaripples” mais frequentes na área.



Figura 11 – Marcas de nível d'água de maré vazante.

DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS

A granulometria dos sedimentos aumenta gradativamente à medida que se aproxima do limite com o mar. Argila fina e siltes ocorrem próximo à linha de costa, principalmente na região entre a Ponta da Espera e a Ilha Irmã de Fora. A parte mais distante da linha de costa é dominada por bancos arenosos de granulação fina, sem ocorrência de organismos marinhos. Blocos e fragmentos de arenitos ferruginosos, oriundos do Grupo Barreiras, e mesmo afloramentos deste grupo são encontrados na praia. Os sedimentos são na sua maioria “bem selecionados” a “muito bem selecionados” e a areia fina ($2,5$ a $3,0 \phi$) predomina. Em direção à Ilha Irmã de Fora há uma predominância de areia muito fina formando o banco que cresce em forma de “spit bar”. O valor médio nesta área está em torno de $3,73 \phi$. Nos canais, a seleção é bem melhor do que nos baixios de maré já que naqueles predomina a ação bidirecional das correntes, e nestes é devida principalmente à ação das ondas.

CORRENTES

As correntes atingem velocidades de $2,5$ m/s, dando origem aos “megaripples” encontrados na área.

As correntes de maré enchente bordejam os bancos, penetram nos baixios de marés antes da Ilha Irmã de Dentro (figura 8), passam pela zona do canal e se juntam à altura da Ponta da Espera no canal que separa a Ilha do Medo. As correntes de maré vazante



Figura 12 – Depressões esféricas causadas por blocos do Grupo Barreiras.

fazem o mesmo itinerário em sentido contrário (figura 9).

MARCAS DE ONDULAÇÃO

Marcas de ondulação são aspectos de relevo desenvolvidos nos fundos marinhos pelo fluxo de água como consequência de interação instável entre o fluxo e o material de fundo (Allen, 1968).

A maioria dos “bedforms” são classificados em duas categorias: os que são perpendiculares e os que são paralelos à direção do fluxo d'água (Swift & Ludwick, 1976).

Os “megaripples” de Boqueirão são do tipo “sandwaves”, às vezes retilíneos e por vezes sinuosos (figura 10).

Durante a maré vazante em épocas de sizígia é possível observar *in loco* a variedade de estruturas primárias.

A seqüência de “megaripples” começa perto da Ponta da Madeira direcionando-se para a Ilha Irmã de Dentro. Têm 8 metros de comprimento e altura aproximada de 1

metro. Variam da forma retilínea para sinuosa com pequenos "ripples" superpostos.

Marcas de nível de água são bons indicadores dos níveis atingidos pelas marés durante baixa-mar e sua influência na formação dos bancos (figura 11).

Depressões esféricas estão claramente associadas com obstáculos tais como blocos, rochas, principalmente resultantes da erosão de Barreiras (figura 12). Elas são formadas por correntes de separação e turbilhonar em volta dos obstáculos embora o fluxo helicoidal e vórtices semi-permanentes possam também ser significantes. Uma quantidade grande de "rill marks" são o testemunho da baixa-mar, que podem adquirir formas diversas controladas principalmente pela morfologia.

Pequenos "ripples" ocorrem na parte leste do canal (depressão) dos baixios de maré. Os "megaripples" mostram padrões característicos de velocidades crescentes. Eles têm cristas retas e medem 1 metro de comprimento na parte leste da depressão constituídos de areia de 0,1 mm. Para o lado oeste da depressão todos os "megaripples" são ondulatorios e seu comprimento e altura variam de acordo com as marés de sizígia e quadratura. De um modo geral, os "megaripples" próximos ao banco "spit bar" são todos sinuosos mostrando que as velocidades aumentam em direção aos bancos.

DISCUSSÃO

A Praia do Boqueirão é a única praia da Baía de São Marcos que apresenta esta série grande de "megaripples" expostos em baixa-mar. Isto é causado pela posição das três ilhas na área adjacente à praia. O canal formado entre a Ilha do Medo e a Ponta da Espera gera uma corrente de maré que atinge uma velocidade de quase 3 m/s, que se bifurca na altura das Ilhas Irmã de Fora e Irmã de Dentro.

Off (1963), estudando diversas partes do mundo que estão sujeitas a grande variação vertical de maré e correntes fortes, descobriu duas características típicas de acumulação de areia. "Tidal current ridges" com orientação paralela à corrente de maré e "sandwave" orientada perpendicularmente. É necessário lembrar que é somente quando as marés estão confinadas, seja pela diminuição gradativa da profundidade, seja pela configuração especial da linha de costa, que as correntes de

marés se tornam suficientemente fortes para mover partículas (Hjulstrom, 1939).

Na Praia do Boqueirão, os furos mostram as rochas da Formação Itapecuru, as quais estão também expostas nas Ilhas Irmã de Fora e Irmã de Dentro e são recobertas pelos sedimentos de Barreiras, mostrando uma inconformidade. A mesma situação pode ser observada imediatamente acima da linha de maré alta na Ponta da Madeira. Estas rochas contribuem com uma pequena quantidade de sedimentos para o sistema de erosão-sedimentação, como foi revelado pelas areias finas na área adjacente. Pouco sedimento parece estar se acumulando na parte do banco no limite com o mar. Perto do limite da água e, presumivelmente relacionadas com marés vazantes, os sedimentos são carregados sobre o banco para sul e sudeste.

A Ponta da Madeira tornou-se uma fonte relativamente pequena de sedimentos, agora que a "wave cut platform" estabeleceu-se. Pouco sedimento pode originar-se das Ilhas Irmã de Dentro e Irmã de Fora, já que elas estão cercadas por sedimentos muito finos. Os baixios têm somente uma camada fina de 10 cm de cobertura de lama, indicando uma mudança relativamente recente. A única fonte restante é da parte de fora do banco. Parece que isto foi uma fonte importante de sedimentos em alguma época, já que os sedimentos neste banco têm uma associação de minerais pesados com predominância de ilmenita e, em ordem decrescente, de turmalina, cianita, granada e epidoto. Estes minerais estão presentes nos testemunhos dos furos. Quanto à camada de argila orgânica plástica a 10 metros de profundidade com uma espessura usual de 1 a 2 metros, parece razoável supor que depois da deposição da Formação Barreiras, houve um período de erosão numa época de nível de mar mais baixo. Subseqüentemente, à medida que o nível do mar subia, argilas ricas em matéria orgânica poderiam ter-se acumulado em depressões e sucedidas por areias e silte até que finalmente o presente regime tenha se estabelecido.

Durante a maré enchente, as correntes originárias do canal do Boqueirão bifurcam-se quando atingem as Ilhas de Irmã de Fora e Irmã de Dentro, criando detrás da Ilha Irmã de Dentro uma zona de sombra onde o banco arenoso acumula-se. As correntes que passam a oeste da ilha alcançam grande velocidade (2,5 m/s), mas as que vêm do lado leste, somente 0,5 m/s. Em maré baixa, há um padrão

semelhante de circulação em sentido inverso e a Ponta da Madeira age em condições idênticas às ilhas, isto é, como divisor de linha de fluxo de corrente.

Duas diferenças marcantes nas estruturas sedimentares foram notadas durante o trabalho de campo, considerando-se as marés de sizígia e as de quadratura.

Nas marés de quadratura e marés intermediárias, o padrão de "megaripples" indica três direções de movimento de sedimentos:

a) Perto do limite banco/mar o movimento é em direção à terra, vindo do mar. A mesma direção é observada perto do limite do baixio de maré, de onde são carregadas sobre o banco.

b) Durante a maré enchente as correntes trazem sedimentos de entre as ilhas para o banco. Este movimento pode ser aumentado quando os ventos alíseos de nordeste sopram vigorosamente.

c) Provavelmente relacionado com a maré vazante, há um padrão superposto na direção oeste até a depressão. Durante marés de quadratura esta depressão é mais rasa do que em marés de sizígia, o mesmo acontecendo para o canal em volta das ilhas de Irmã de Dentro e Irmã de Fora. A altura do "megaripple" na parte oeste da depressão não alcança 0,5 m e o índice dos "ripples" é alto.

Durante as marés de sizígia, os "megaripples" são rearranjados em grandes dimensões, cerca de quase 1,5 m de altura. O movimento residual dos sedimentos diferencia-se do de maré de quadratura porque os sedimentos acumulados nas principais depressões e em outras depressões entre a Ilha Irmã de Dentro e Irmã de Fora são removidos para formar grandes "megaripples" e acumular-se nos bancos. Estes bancos foram observados durante sucessivos levantamentos e foi notado que a despeito dos sedimentos serem removidos e redistribuídos nos bancos e baixios, alguma erosão está se processando na depressão durante marés de sizígia. Isto nos conduz a afirmar que se este padrão persiste, o presente banco poderá isolar-se e formar uma nova ilha.

CONCLUSÕES

1 — A Praia do Boqueirão atingiu o estágio de plataforma de abrasão.

2 — As correntes concentram-se em maior escala no canal do Boqueirão entre a

Ilha do Medo e a Ponta de Espera onde atingem 2 m/s.

3 — Existem dois padrões distintos de "megaripples". Quando é tempo de maré de sizígia os "sandwaves" atingem até 2 m de altura; em épocas de maré de quadratura, é menos de 0,5 m.

4 — Há um rearranjo dos sedimentos ao longo dos bancos e canais, principalmente em volta da Ilha Irmã de Dentro, de modo que, em épocas de maré de sizígia, esta fica separada do banco por meio de um canal, ligando-se ao mesmo em marés de quadratura.

5 — Os níveis de argila orgânica plástica podem indicar épocas de erosão quando o nível do mar estava mais baixo.

6 — A Praia do Boqueirão está sobrejacente à Formação Itapecuru.

7 — Os sedimentos do Grupo Barreiras margeiam e assoalham os baixios, mas não estão subjacentes.

8 — A praia está praticamente em equilíbrio dinâmico de escoamento residual de areia.

9 — É perfeitamente viável a implantação de um terminal portuário no banco, desde que se considere a posição do "pier" em relação às correntes.

AGRADECIMENTOS

À Amazônia Mineração S. A., pelo acesso aos dados de perfuração.

Aos técnicos do setor de Geologia Marinha do LABOMAR, pela discussão dos resultados e ajuda nos trabalhos de campo.

SUMMARY

English title: Sedimentary evolution of the area adjacent to the Itaqui harbour, Maranhão State, northeastern Brazil.

The Boqueirão beach lies on the adjacent area of the Itaqui Harbour, in São Marcos Bay, in Maranhão State, 12 km away from São Luis city. This area is bound to assume a significant position in the economy of northeastern Brazil in the near future. Important developments are planned for the next decade when an iron and steel complex will be built for the extraction of the vast iron ore deposits discovered about 100 km away in Pará State. A terminal for receiving the iron ore is supposed to be built in this area, and because of this, data collected

during field work and the interpretation of existing information from a variety of sources are used in this paper.

Sandwaves, either migrating or stationary with amplitude over 1 metre, were found, and their analysis through field work, aerophotogrametry was made, together with current measurements and sediment distribution patterns, in order to ascertain the hydrodynamic-sedimentary behaviour of the area.

Percussion and rotational drills carried out by Amazonia Mineração S. A. were interpreted to define the stratigraphic setting.

There is a great sediment transport during spring tide, which progressively dies out as neap tide is achieved. It has been concluded that the beach is in dynamic equilibrium, and there is no sediment supply which could give rise to the silting up of the area.

BIBLIOGRAFIA

Allen, J. R. L. — 1968 — **Current ripples. Their relation to patterns of water and sediment motion.** North-Holland Publishing Company, XIII + 433 pp., illus., Amsterdam.

Hjulstrom, F. — 1939 — Transportation of detritus by moving water, pp. 5-31, in Trask, P. D. (ed.), **Recent marine sediments.** Dorner Publications Inc., LVI + 736 pp., illus., New York.

Off, T. — 1963 — Rhythmic linear and sand bodies caused by tidal currents. **Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol.**, Tulsa, **47** (2): 324-341, 20 figs.

Silva, A. C.; J. M. Mabeoone & K. Beurlen — 1972 — Estratigrafia do Grupo Barreiras nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. **Rev. Bras. Geol.**, São Paulo, **2** (3): 173-188, 4 figs.

Swift, D. J. P. & J. C. Ludwick — 1976 — Substrate response to hydraulic process: grain-size frequency distributions and bedforms, pp. 159-196, in Stanley, D. J. & D. J. P. Swift (eds.). **Marine sediment transport and environmental management.** John Wiley & Sons, XV + 602 pp., illus., London.