

A influência da refração de ondas e da deriva litorânea na dinâmica do pontal arenoso de Ponta dos Mangues

J.K. Guimarães & J.M.L. Dominguez

Instituto de Geociências - UFBA, Campus Universitário da Federação, 40170-290, Salvador, Bahia, Brasil, e-mail: juniakg@gmail.com, landim@ufba.br

Abstract This study focus on the growth of the spit of Ponta dos Mangues, located in the São Francisco delta, Sergipe State, Brazil. The building of spits is strongly related with the longshore drift. In this work the wave refraction was modeled and the longshore drift calculated for the study area. The spit evolution was recognized by air-photography and satellite images between the years 1971-2005. The results suggest that the spit has a cyclic behavior - it progrades in the longshore drift direction and then it is breached in its proximal side. After that, it progrades again. The breaching is due the loss of the tide channels transporting efficiency as a result of the spit progradation. The breaching occurs in the spit's proximal position because this is the shortest way by which the tide channels can arrive to the ocean. After the breaching, a new spit begins to prograde southwards and erodes at the same time the relict part of the old spit located south of the breaching. These results show that the spit presents a high risk of erosion related to the cyclic breachings followed by erosion of the older spits southern side.

Keywords: São Francisco delta, spit, longshore drift, wave refraction.

INTRODUÇÃO Os pontais - feições alongadas, anexadas ao continente por uma extremidade – são fortemente influenciados pela deriva litorânea. Essa pode determinar a sua extensão para sotamar e a sua erosão, no caso de uma inversão de sentido. Pelo fato de serem estruturas estreitas, pouco consolidadas e expostas à alta energia da zona de surfe, eles são ambientes muito suscetíveis às mudanças ambientais.

O objetivo deste trabalho é abordar, preliminarmente, a evolução do pontal de Ponta dos Mangues, correlacionando-o com a refração de ondas e a deriva litorânea da área de estudo.

ÁREA DE ESTUDO A região de Ponta dos Mangues localiza-se no norte do estado de Sergipe, no delta do rio São Francisco, entre a desembocadura desse rio e a extremidade norte do campo de dunas ativas do delta (Fig. 1). Na linha de costa dessa região encontra-se um pontal, objeto deste estudo, que está segmentado em duas partes, aqui denominadas de NE e SW, conforme indicado na Fig. 1.

Essa região destaca-se pela presença de extenso manguezal, que inexistente em outras partes do delta. O manguezal localiza-se na retaguarda dos pontais e é entrecortado por canais de maré, entre os quais se destaca o canal do Parapuça, que tem uma ligação com a margem direita do rio São Francisco (Fig. 1).

A região encontra-se dentro do cinturão de ventos alísios recebendo ventos de E e de SE.

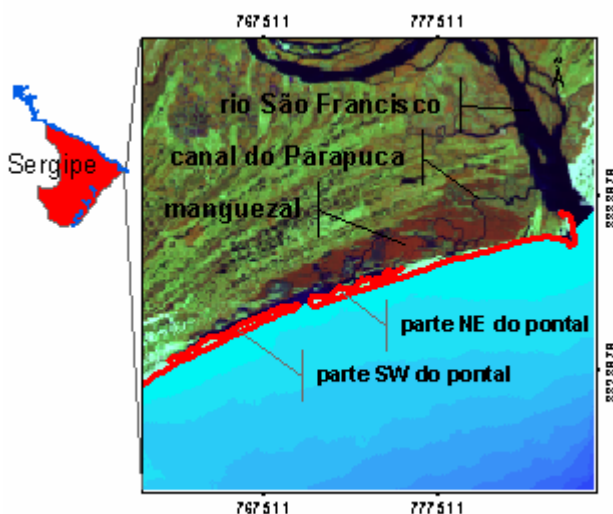


Figura 1. Área de estudo (imagem de satélite Landsat TM5 para o ano de 1986)

Segundo dados de ondas observados em mar profundo, sistematizados em Hogben & Lumb (1967), as frentes-de-onda que incidem com mais frequência são as provenientes de E, seguidas pelas de ENE, e de ESE, com alturas entre 1 e 1,5m, e períodos entre 5 e 6,5s (Fig. 2). Há uma pequena variação nessas condições no inverno, quando as ondas de E são mais frequentes, seguidas pelas ondas de ESE, e ENE, com alturas entre 1 e 2m e períodos entre 5 e 6,5s. Observa-se que nesse período as ondas de ESE se tornam mais frequentes que as de ENE e as ondas

alcançam alturas mais elevadas, diferentemente do que ocorre na maior parte do ano (Fig. 2).

Trabalhos anteriores calcularam e inferiram com base na assimetria do delta um sentido de deriva prevalecente de norte para sul nessa região (Bittencourt *et al.* 1982, 2002, 2005).

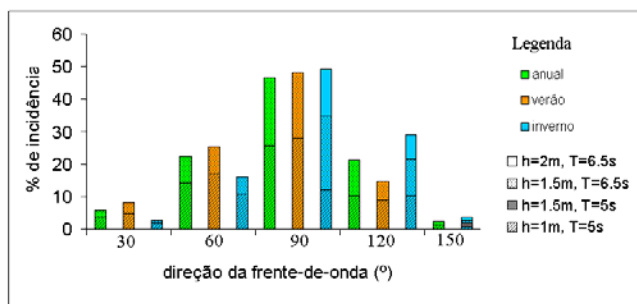


Figura 2. Clima de ondas da área de estudo, segundo Hogben e Lumb (1967)

METODOLOGIA Primeiramente foram geradas com o programa MIKE 21 as refrações para as ondas mais freqüentes, aquelas apresentadas na Fig. 2. Com isso, obteve-se a direção e a altura das ondas na zona de arrebenção, dados que foram utilizados no

cálculo da deriva litorânea. Essa foi calculada segundo metodologia exposta em Bittencourt *et al.* (2002, 2005). Essa metodologia fornece como resultado valores relativos de deriva litorânea, utilizando a equação:

$$I = H^2 \sin(\alpha) \cos(\alpha) \cdot 100$$

onde I é a intensidade da deriva, H é a altura da onda próxima à linha de costa e α o ângulo formado entre a frente-de-onda e a linha de costa.

A soma das derivas obtidas para cada condição de onda multiplicada por sua freqüência de incidência gera a deriva efetiva. Neste trabalho essa foi calculada para os períodos anual, de verão e de inverno.

O reconhecimento das feições geomorfológicas e de suas modificações foi feita para os anos de 1971 (fotografias aéreas escala 1:70.000), 1986 (imagem Landsat TM5), 2003 (fotografias aéreas escala 1:25.000) e 2005 (imagem CBERS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO A refração de ondas foi feita para todas as frentes-de-onda apresentadas na Fig. 2. As refrações das ondas de ENE, E e de ESE, com altura de 1.5m e período de 6.5s, estão apresentadas na Fig. 3.

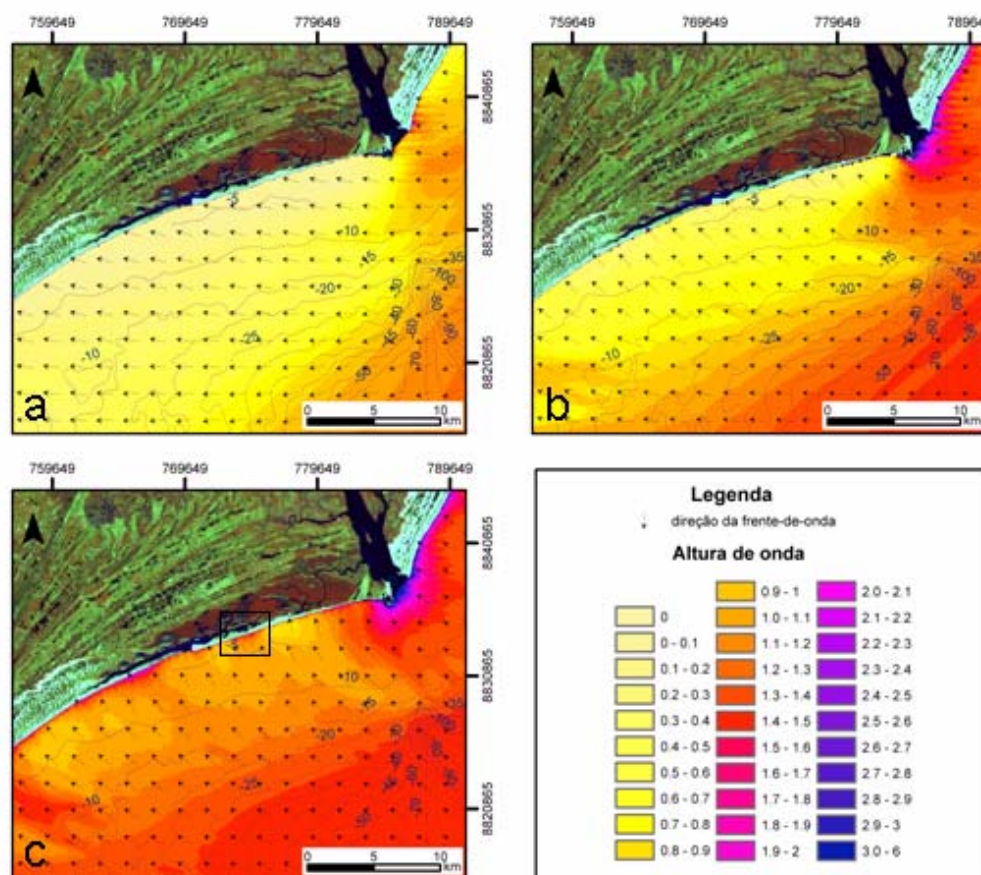


Figura 3. Direção (setas) e altura das ondas refratadas de (a) ENE (b) E e (c) ESE, com alturas de 1,5m e períodos de 6,5s (imagem de satélite 1986). Em destaque local onde ocorreu o rompimento do pontal em 1971

Apesar das ondas possuírem a mesma altura em mar aberto, observa-se que as mesmas chegam com altura diferenciada na linha de costa. A altura das ondas de ENE diminui acentuadamente, chegando próxima à linha de costa com valores próximos a zero (Fig. 3a). A altura das ondas de E também diminui, embora em menor grau do que a de ENE. Para as ondas de E há um aumento de altura apenas junto à foz do rio São Francisco (Fig. 3b). Em alguns trechos da linha de costa, as ondas provenientes de ESE também sofrem uma diminuição de altura, mas menor que nos casos anteriores, enquanto em outros trechos elas sofrem um aumento de altura, como na foz do rio e em alguns locais adjacentes às partes SW e NE do pontal (manchas avermelhadas na Fig. 3c).

A deriva litorânea gerada para cada frente-de-onda está apresentada na Fig. 4:

1. ondas de ENE - não gera deriva;
2. ondas de E - deriva para SW, de baixa intensidade, e
3. ondas de ESE - deriva predominante para SW com algumas inversões, próximas às porções NE e SW do pontal (trechos C e B, respectivamente, na Fig. 4), e deriva predominante para NE, próxima à parte SW do pontal (trecho A na Fig. 4), com intensidade pouco mais elevada que a aquela causada pelas ondas de E.

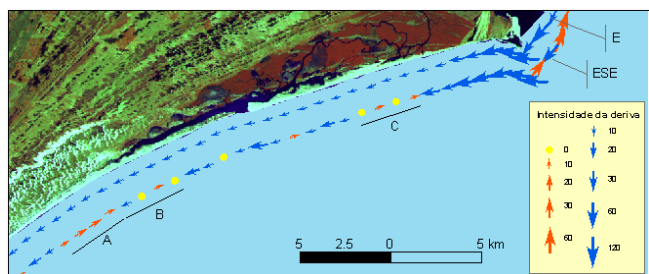


Figura 4. Deriva litorânea gerada pelas frentes-de-onda de altura 1,5m e período de 6,5s de E e de ESE (imagem de satélite 1986)

Os valores de deriva mais elevados, gerados pelas ondas de ESE, refletem a altura mais elevada com que essas ondas chegam à linha de costa.

A deriva efetiva calculada para o ano, verão e inverno, é apresentada na Fig. 5. No verão a deriva é de NE para SW, com exceção do trecho A e de um ponto no trecho C, onde a deriva é inversa. No inverno a deriva é para SW, com exceção do trecho A e C, onde a deriva é para NE, e do trecho B onde ela sofre inversões. A deriva efetiva anual está orientada predominantemente para SW com exceção do trecho A, onde ela é para NE, e do trecho C, onde ela sofre inversões.

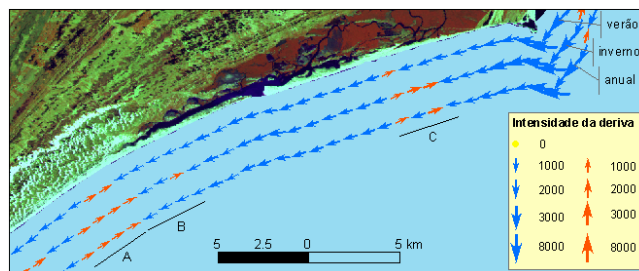


Figura 5. Deriva litorânea efetiva anual, no verão e no inverno (imagem de satélite 1986)

A deriva efetiva obtida para o verão reflete a influência da frente-de-onda de ESE, que mesmo tendo uma incidência menor do que a de E, alcança a linha de costa com uma altura maior do que essa e, portanto, gera uma deriva mais elevada. A influência dessas ondas se faz notar no trecho A onde a deriva resultante é para NE mesmo no verão.

É possível que a acentuada diminuição da intensidade da deriva direcionada para SW, na proximidade da desembocadura do rio São Francisco, e a inversão de deriva no trecho A favoreçam o acúmulo de sedimentos na região do pontal. Essas condições de deriva ocorrem ao longo de todo o ano (Fig. 5).

As fotos e imagens de satélite mostram a evolução do pontal ao longo dos últimos 34 anos (Figs. 6 e 7). Em 1971 os canais de maré na retaguarda do pontal apresentavam saída para o mar em uma posição mais a NE do que a atual. A sucessão de imagens e foto posteriores mostra uma contínua migração da parte NE do pontal em direção a SW totalizando uma extensão longitudinal de 9 km.

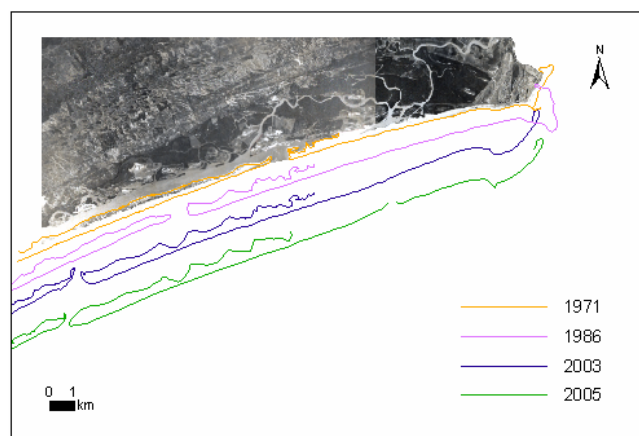


Figura 6. Evolução do pontal de Ponta dos Mangues entre os anos de 1971 e 2005 (fotos de 1971)

A feição erosiva da embocadura em 1971 mostra que essa foi formada pelo rompimento de um pontal mais antigo que abrigava toda a área de estudo. Indicadores geomorfológicos na parte SW do pontal

mostram que esse migrou de NE para SW em um episódio anterior, reforçando a hipótese de que as partes NE e SW constituíam no passado, antes do rompimento registrado nas fotos de 1971, um único pontal, que fechou completamente os canais de maré na sua retaguarda.

A extensão do pontal para SW está associada à deriva com a mesma direção durante todo o ano. O pontal, conforme registrado na imagem de 2005, se estendeu até o limite com o trecho B (Fig. 7). Nesse

trecho, no inverno, sob a influência das ondas de ESE, a deriva efetiva apresenta algumas inversões de sentido que podem diminuir ou reverter o sentido de migração do pontal (Fig. 5). No verão sob ondas de E, no entanto, a deriva é para SW no trecho B, o que deve favorecer a extensão do mesmo até o limite com o trecho A, onde então as condições de deriva se tornam desfavoráveis à sua extensão para SW, uma vez que nesse trecho, tanto no verão como no inverno, a deriva é para NE (Fig. 5).

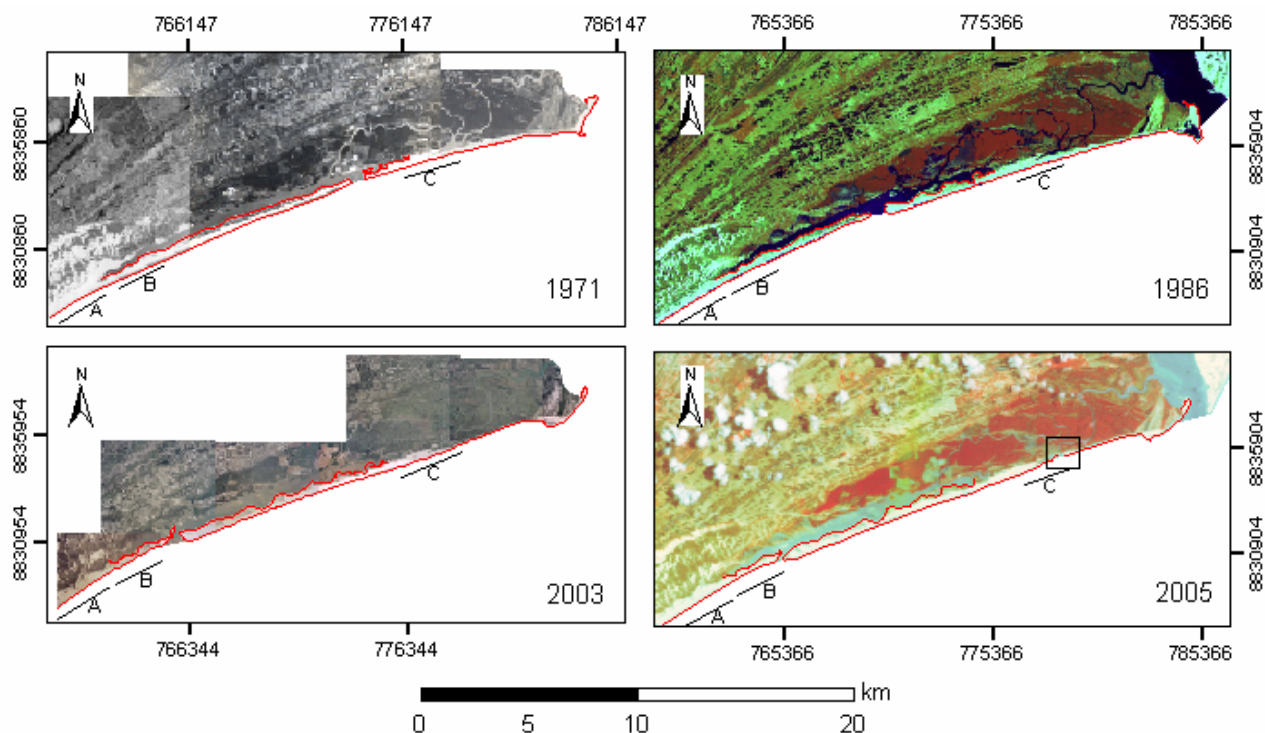


Figura 7. Evolução do pontal de Ponta dos Mangues entre os anos de 1971 e 2005. Em destaque local da abertura ao norte do pontal, registrada na imagem de 2005

Além da embocadura associada ao pontal, a imagem de 2005 mostra a abertura de uma outra embocadura, ao norte do pontal, próximo ao trecho C (destaque na Fig. 7). Essa saída provavelmente é aberta e fechada com frequência como indicam os vários canais interconectados e visivelmente bloqueados pela faixa de areia que bordeja a costa nesse local. A abertura registrada na imagem de 2005 resultou na destruição de uma faixa de terra de 150m de largura, que possuía algumas construções.

Essa embocadura pode estar associada a dois fatores: (i) as inversões de deriva verificadas no trecho C, e sua variabilidade entre verão e inverno (Fig. 5), e (ii) o distanciamento da embocadura associada ao pontal conforme esse migra para SW. O aumento da distância da saída para o mar pode favorecer a abertura de outras embocaduras que diminuam a

distância percorrida pelos canais de maré para alcançar o mar, facilitando o escoamento e aumentando a competência e a capacidade do fluxo.

A necessidade de escoamento foi também a causa do rompimento do pontal registrado nas fotos de 1971, uma vez que antes desse período, esse fechou completamente os canais de maré em sua retaguarda impedindo o escoamento. A localização do rompimento na parte proximal do pontal está associada à sua proximidade com a saída do canal do Parapuca e seus braços, o que facilita o escoamento desses canais. A localização exata do rompimento do pontal também pode estar associada à refração de ondas. O local do rompimento em 1971 é exposto a uma concentração de ondas de ESE (destaque da Fig. 3c), que apresentam assim maiores alturas do que nos locais adjacentes. A refração dessas ondas pode



favorecer a recorrência do rompimento no mesmo local.

CONCLUSÃO Kidson (1963) discute a evolução de pontais que aparentam crescer de lados opostos em direção a uma desembocadura, como é o caso da área de estudo. Esse autor sugere duas origens para essas formas: a extensão longitudinal em sentidos opostos, convergindo para a desembocadura; e a extensão unidirecional seguida de rompimento. A segunda situação certamente é o caso da área de estudo, onde a deriva é unidirecional em todas as épocas do ano. Nesse caso, o rompimento se dá pela necessidade de uma maior eficiência do escoamento dos canais de maré, que ficam à retaguarda do pontal.

Os dados de deriva e a configuração da área de estudo sugerem que esse mecanismo - extensão seguida de rompimento - atua de forma cíclica. Após o rompimento do pontal, a deriva favorece a extensão de um novo pontal que cresce até o limite com o trecho A, onde a deriva se inverte. Nesse ponto, a saída dos canais de maré pode se manter aberta ou fechada, a depender de fatores como a energia do fluxo dos canais e a quantidade de sedimentos transportados pela deriva. A deriva que converge nesse local é favorável à deposição de sedimentos e ao fechamento da saída. Independentemente dessa se manter aberta ou fechada, a extensão longitudinal do

pontal com a migração da sua extremidade para SW, resulta na perda da eficiência do escoamento dos canais de maré na retaguarda do pontal. A perda de eficiência do escoamento favorecerá o rompimento do pontal em uma posição mais a NE. Com o novo rompimento, o processo de extensão se inicia novamente, e se repete o ciclo.

O mecanismo descrito acima explica o rompimento registrado nas fotos de 1971, bem como sugere que um novo rompimento ocorrerá em um futuro próximo. Ele também explica o rompimento que ocorreu, em 2005, em um ponto mais a NE do pontal, próximo ao trecho C. Esse ponto certamente representa o caminho mais curto para o canal do Parapuça alcançar o mar.

No que se refere à erosão costeira observa-se que todo o trecho de extensão do pontal é uma área de risco para ocupação, uma vez que a cada rompimento, a parte do pontal a SW do mesmo, será erodida. O trecho B, que apresenta algumas construções, também é suscetível à erosão, principalmente no verão. O trecho A, por sua vez, apresenta risco baixo de erosão.

Agradecimentos J.K. Guimarães agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado, ao INPE pela disponibilização da imagem CBERS e ao SEPLANTEC/SE, Tais K. Rodrigues e Soraia C. Bispo pela disponibilização das fotografias aéreas.

Referências

- BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L., MARTIN L., FERREIRA Y.A. 1982. Dados preliminares sobre a evolução do delta do rio São Francisco (SE/AL) durante o Quaternário, influência das variações do nível do mar. *In*: IV Simpósio do Quaternário no Brasil, *Atas*, p. 49-68.
- BITTENCOURT A.C.S.P., MARTIN L., DOMINGUEZ J.M.L., SILVA I.R., SOUSA D.L. 2002. A significant longshore transport divergence zone at northeastern Brazilian coast: implications on coastal quaternary evolution. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **74**:505-518.
- BITTENCOURT A.C.S.P., DOMINGUEZ J.M.L., MARTIN L., SILVA I.R. 2005. Longshore transport on the northeastern Brazilian coast and implications to the location of large scale accumulative and erosive zones: an overview. *Marine Geology*, **219**:219-234.
- HOGBEN N. & LUMB F.E. 1967. Ocean wave statistics. National Physical Lab., Ministry of Technology, London, 263 p.
- KIDSON C. 1963. The Growth of sand and shingle spits across estuaries. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F. Bd. **7**, Heft **1**.