

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA

BSLCM

ESTUDO COMPARATIVO DA MIGRAÇÃO DA EMBOCADURA
DO RIO MACEIOZINHO
(FORTALEZA – CEARÁ – BRASIL)

Ricardo Lincoln Barreira

*Dissertação apresentada ao Departamento
de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como
parte das exigências para a obtenção do título
de Engenheiro de Pesca.*

FORTALEZA – CEARÁ – BRASIL
Dezembro de 1976

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B254e Barreira, Ricardo Lincoln.
Estudo comparativo da migração da embocadura do rio Maceiozinho / Ricardo Lincoln Barreira. – 1976.
35 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 1976.
Orientação: Prof. Erasmo da Silva Pitombeira.

1. Engenharia de Pesca. I. Título.

CDD 639.2

Supervisor

Aux. Ens. Erasmo da Silva Pitombeira

Comissão Examinadora

Aux. Ens. Erasmo da Silva Pitombeira

Prof. Ass. Jäder Onofre de Moraes

Prof. Colab. Moisés Almeida de Oliveira

Visto:

Prof. Ass. Gustavo Hitzchky Fernandes Vieira
Chefe do Departamento de Eng. de Pesca

Prof. Adj. Maria Ivone Mota Alves
Coordenadora do Curso de Eng. de Pesca

AGRADECIMENTOS

- Presto aqui os meus agradecimentos ao Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, particularmente ao Setor de Oceanografia Abiótica, onde obtive dados e o apoio necessário à confecção deste trabalho.
- Ao Prof. Erasmo da Silva Pitombeira, pela orientação na execução e redação deste trabalho.
- Ao Prof. Michel Henri Arthaud, que com toda a boa vontade apresentou as críticas e sugestões nas fases finais de redação deste trabalho.
- Ao Prof. Antonio Aduino Fonteles Filho, pela colaboração prestada na redação deste trabalho.
- Aos meus colegas, especialmente a Mozart Marinho Junior pelo estímulo e consideração dedicados, os meus agradecimentos.

ESTUDO COMPARATIVO DA MIGRAÇÃO DA EMBOCADURA

DO RIO MACEIOZINHO

(FORTALEZA - CEARÁ - BRASIL)

Ricardo Lincoln Barreira

Capítulo 1: INTRODUÇÃO

1.1 - O Rio Maceiozinho tem origem na região denominada Papicu, ao sopê das dunas. A citada região é recoberta em grande parte por um complexo lagunar, no qual destaca-se a própria lagoa do Papicu.

Pequenos córregos ao longo do baixio dos bairros do Mucuripe e do Planalto da Aldeota, são responsáveis pela sua formação e engrandecimento. O Rio Maceiozinho pode ser considerado quase perene, pois servindo de escoadouro pluvial ou dando vazão sanitária a inúmeras residências que o margeiam, nunca seca completamente.

Desemboca na praia do Meireles, onde sua carga hidráulica variável com a época do ano, sofre mudanças na conformação de sua embocadura. Conforme veremos mais adiante, a migração de sua embocadura destrói partes efetivas da praia quando em agradação, ou área do coqueiral, quando em degradação (Moraes & Pitombeira, 1974). Fig. 1.1.

1.2 - O transporte litorâneo, definido como: "o transporte paralelo à costa realizado pelas ondas na linha de rebenção, devido à direção oblíqua com que as ondas atacam as praias" (Pitombeira, 1973), desempenha importante papel na conformação da costa, despertando também interesse o seu estudo, quando tratando de construções realizadas na praia pelo homem.

É justamente a carência de dados informativos a esse respeito, que tem levado vários projetos marítimos a seu total desmoronamento, pelos indevidos aprisionamento e conseqüente acúmulo de sedimentos ou ainda, a total destruição de áreas de lazer nas praias. A praia de Iracema em Fortaleza, Estado do Ceará, é uma ilustração típica do caso, que teve sua destruição causada por obras na costa de Fortaleza, sem um devido estudo prévio.

Pelos fatos já citados, vemos que os estudos com respeito ao mar ainda deixam muito a desejar, há entretanto a esperança de que ainda se venha a ter um domínio parcial ou mesmo total do oceano, e mais especificamente, em se tratando de transporte litorâneo.

Trabalhos realizados neste sentido já vêm sendo feitos, exemplifica-se com: o terminal petrolífero em São Francisco do Sul e a barra do Rio Grande, no sul do País, ambos efetuados pelo Engenheiro Civil Victor Freire Motta, Encarregado da Divisão Marítima do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

1.3 - No que se refere a transporte litorâneo, a costa brasileira, dada à sua imensidão, apresenta características bem interessantes. Entretanto como frisamos anteriormente, a escassez de estudos nesse campo, limitando-se aos estudos realizados pelo Eng. Jefferson Vianna Bandeira na costa do Estado de Sergipe, e outros pelos Engenheiros Victor Freire Motta e Erasmo da Silva Pitombeira, ambos no sul do País, o último envolvendo um cálculo do valor do transporte litorâneo de sedimentos na costa do Rio Grande do Sul - Tramandaí, é sem dúvida a causa de efeitos danosos do mar em várias regiões da costa brasileira.

Estudos feitos a esse respeito procuram estabelecer, à partir de dados relativos, as fórmulas teóricas para o cálculo do valor do material posto em jogo. O interesse é avaliar

o volume transportado da unidade de tempo e daí, o valor total anual, dado básico para o projeto e execução de uma obra costeira.

A primeira fórmula foi estabelecida no Waterloopkundig Laboratorium em Delf, quando efetuava-se um estudo na costa do Marfim. Tal fórmula estabelece a proporcionalidade entre a capacidade de transporte e a direção de ataque da onda. É dada por:

$$Q_s = K H_o L_o \text{ sen } \alpha_o, \text{ onde:}$$

Q_s - transporte litorâneo;

H_o - altura da onda;

L_o - comprimento da onda;

α_o - ângulo de ataque da onda com relação à costa;

K - constante.

O valor de K é estabelecido por métodos práticos em função das características da praia, tais como características do material desta, conformação plana e em perfil. Surgiram posteriormente trabalhos tentando modificar o termo relacionado com a onda.

Em 1955, surgiu um novo trabalho proposto por Vincent & Saint Marc, afirmando ser o transporte na linha de rebentação feito por suspensão e arraste. No Laboratório de Grenoble (França), baseado em ensaios, foram estabelecidas curvas que dão a relação entre a capacidade de transporte e a esbeltez da onda (Fig. 1.2).

À partir dessas curvas, ainda por Vincent & Saint Marc, foi estabelecida uma relação dando a influência da esbeltez. Foi com base nessas considerações que Larras (1957-1961) propôs a seguinte expressão matemática:

$$Q = K \frac{L_o}{H_o} H^2 T \operatorname{sen} \frac{7\alpha}{4}, \text{ sendo } T \text{ o período da onda}$$

e K dado em função da granulometria da praia.

A fórmula de Larras considera a esbeltez da onda mas só pode ser usada se seu valor for pequeno.

Posteriormente Sitars (1963), no Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou (França), pôs em evidência outro fator: "o tipo de perfil da praia". Evidencia a existência de barras submersas, formadoras de uma espécie de canal por onde as correntes longitudinais se desenvolvem, usando-se como orientação (Fig. 1.3).

A fórmula mais acabada e coerente foi proposta por Caldwell, que apesar de não considerar a esbeltez da onda, faz o relacionamento do transporte de sedimentos com a potência das ondas, à partir de medições na natureza. É expressa em fórmula métrica por:

$$Q_s = 5006 \cdot P_t^{0,8}, \text{ onde:}$$

Q_s - transporte litorâneo em m^3 por segundo;

P_t - potência transmitida à onda Joule/metro/segundo.

Castanho, quando na apresentação de seu trabalho para concurso de investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Lisboa, partindo de princípios físicos no marco inicial, relacionando transporte com energia transmitida pela rebentação oblíqua, apresentou uma tentativa de estudo do mecanismo de transporte litorâneo.

II.1 - Explicação do mecanismo: de um modo geral, há uma contínua mudança na maior parte do limite ar-mar ("sea-level"). Em qualquer que seja o local, esse nível é alternada mente elevado e abaixado de sua posição de equilíbrio, formando ondas (Fig. 2.1).

Elevação (η) - é a distância vertical instantânea da superfície a um ponto do nível de equilíbrio, medido com a onda se propagando sem turbidez ou empolamento.

Altura da onda (H) - é a distância horizontal entre a crista e o cavado adjacente de uma mesma onda.

Amplitude (α) - é a distância vertical medida na cris ta, ao nível de equilíbrio de uma onda. É a metade da altura da onda ($\alpha = H/2$).

Comprimento da onda (L) - é a distância horizontal en tre cristas adjacentes medida na direção de proporção da onda. Relaciona-se pela expressão:

$$K = \frac{2 \pi}{L}$$

Período da onda (T) - é o intervalo de tempo entre a ocorrência de duas cristas sucessivas, com referência a um pon to fixo. O inverso do período ($1/T$) chama-se "frequência", sen do esta expressa através do número de cristas que ocorrem em um ponto fixo na unidade de tempo. Expressa-se através da frequência angular (δ), onde:

$$\delta = \frac{2 \pi}{T}$$

A formação de tais ondas requer a intervenção de um agente interno ou externo ao meio no qual se propagam. É sabido há muito, que ventos fortes provocam ondas fortes e de gran

de altura, que ao tornarem-se ondas largas, têm grandes períodos.

A obtenção de uma relação mais quantitativa, requer um grande número de dados empíricos que são coletados e correlacionados. Dados históricos são fornecidos por navios que, pesquisando ventos, vagas e ondulações, publicam-os por códigos padronizados, geograficamente posicionados por latitude e longitude. É talvez a do CORNISH (1934), a melhor coleta de dados e observações visuais que se tem, pois durante longo período, dedicou-se ao estudo das ondas oceânicas e ao fenômeno da maré-vermelha ("red-tide"). Seus dados resumidos são dados na tabela 2.1.

veloc do vento(m/h)	veloc do onda(m/h)	período da onda(seg.)	comp. da onda(ft)	altura da onda (ft)	esbeltez da onda,dada por (H/L)
31,0	25,0	7,0	250	22,0	0,088
35,0	28,0	8,0	330	24,5	0,074
42,0	33,5	9,5	470	29,5	0,063
50,0	40,0	11,5	670	35,0	0,052
59,0	47,0	13,5	930	41,5	0,045
68,0	54,5	15,5	1230	47,5	0,039

Note-se que para ondas que se propagam com grande velocidade, enquanto a altura aumenta, a esbeltez diminui, logo há também diminuição no comprimento da onda.

Alguns métodos sofisticados têm se desenvolvido com base na observação de ondas provocadas pelo vento, apoiados em variáveis tais como o efeito da onda, duração e velocidade do vento. O sistema desenvolvido por Sverdrup & Munk (1947) é baseado na teoria clássica da onda, e usa uma combinação de relações teóricas e empíricas. O sistema de Pierson-Neumann-James (1955), baseia-se mais fortemente em considerações teóricas, entretanto, leva em conta também dados empíricos do espectro ondulatório.

Sabe-se da Física Ondulatória que conforme o meio em que uma onda se propaga, esta pode ser classificada em uni, bi e tridimensional. As ondas que se propagam na água são dimensionais. Estas ondas sofrerão modificações tais como: difração, refração, reflexão etc., conforme a existência ou não de obstáculos à sua normal propagação. Analizaremos aqui a refração de ondas.

Uma vez que a velocidade de propagação varia de acordo com a profundidade ($c = \sqrt{gH}$), as ondas que se propagam em águas rasas são refratadas para regiões de menor profundidade. Em praias com declividade uniforme, todas as ondas tendem a se aproximar paralelamente à costa, isto é, à linha de rebentação (Fig. 2.2).

11.2 - O fenômeno geral da rebentação - Quando uma onda se propaga, à medida que a profundidade vai diminuindo, o seu comprimento vai também diminuindo, enquanto que sua altura vai aumentando. Quando essa profundidade desce aquém de um determinado valor, a onda torna-se instável e rebenta. A rebentação relaciona-se com um estado de desagregação da onda, associado a uma forte turbulência.

Segundo a observação, a onda pode rebentar de dois modos bem distintos, a Rebentação Progressiva e a Rebentação Mergulhante (ou em voluta). A rebentação progressiva dá-se quando a onda empola, mantendo sua simetria até que uma emulsão de água aparece na crista ou em suas proximidades. A rebentação mergulhante ou em voluta é um processo mais rápido e violento, com respeito à dissipação de energia. A frente da onda ao tornar-se vertical, a parte superior da crista galga a parte inferior, caindo então em mergulho ou em voluta.

Fatores tais como a inclinação da praia e a declividade da onda estão relacionados com ambos os tipos de rebentação. Assim sendo, em praias suaves dá-se a rebentação progressiva,

enquanto que em praias declivosas a rebentação é mergulhante. Levando-se em conta a declividade da onda, tem-se para fortes declividades da onda favorecida a rebentação progressiva, enquanto que para fracas declividades a rebentação mergulhante. Em um quadro esquemático, pode-se resumir assim:

PRAIA SUAVE	FORTE DECLIVIDADE DA ONDA	REBENTAÇÃO PROGRESSIVA
PRAIA DECLIVOSA	FRACA DECLIVIDADE DA ONDA	REBENTAÇÃO MERGULHANTE

O fenômeno da rebentação em si não é bem conhecido, en tretanto há dois critérios que ajudam a entendê-lo: o da velocidade limite e o da forma limite. Quanto ao da velocidade limite, estabelece-se que quando a velocidade das partículas na crista atingem a velocidade de propagação da onda, dá-se a rebentação progressiva. Com respeito ao segundo critério, o da forma limite, é estabelecido que quando a frente da onda se tor na vertical, devido à parte posterior da onda se propagar com velocidade maior que a parte inferior, o perfil torna-se assimétrico havendo a rebentação, no caso a rebentação mergulhante.

11.3 - Correntes geradas pela rebentação oblíqua:

11.3 a) O ataque oblíquo - pelos métodos usados para a previsão de ondas ao largo, tem-se dados de sua altura, perí do e direção. Com respeito ao período, se considerarmos ondas monocromáticas, como o fazemos em todo o trabalho, não há aparecimento de novas ondas nem o desaparecimento das existentes. No caso da direção, há modificação, pois como vimos anteriormente, à medida que a profundidade desce a um certo valor, o fundo começa a exercer uma certa influência na direção de propagação das ondas, provocando uma rotação nas cristas e tornan do-as paralelas às batimétricas. A isto dá-se o nome de "Refr ação de Ondas", uma vez que provoca variação na sua velocidade

de propagação. É por esse motivo, que tem-se a impressão de que, numa praia, as ondas chegam de frente.

Acontece certos casos em que antes da crista se tornar perfeitamente paralela à costa, as ondas rebentam, e uma certa obliquidade ainda persiste na rebentação. Geralmente esta é da ordem de cinco ou dez graus, podendo entretanto atingir valores maiores dependendo da característica de ondas ao largo.

As características das ondas junto à costa, são normalmente ligadas ao conjunto de características destas ao largo, daí a razão de ter-se que considerar o fenômeno da refração.

Baseado nisso, é que autores tais como Brebner e Kamphius preferem estudar as correntes geradas pela rebentação em função de suas características ao largo.

11.3 b) Características da rebentação oblíqua - em alguns casos, a batimetria da praia é bastante complicada e o estudo de ondas requer um traçado especial, com interpretação adequada por parte do operador. Porém, na maioria dos casos, considera-se as batimétricas paralelas entre si e à linha da costa, o que facilita bastante o estudo, tornando ainda possível um estudo analítico. Considera-se também as "praias ideais", com declividade constante.

Consideremos uma onda em profundidade infinita (Fig. 3.2), sendo α_1 o ângulo formado entre as batimétricas e a direção das cristas. As ortogonais são afastadas de b . Com o efeito da refração, o ângulo torna-se α_2 , onde α_2 é menor que α_1 .

Pela Lei de Snell, temos:

$$\frac{\text{sen } \alpha_1}{c_1} = \frac{\text{sen } \alpha_2}{c_2}$$

onde os índices (1) e (2) representam respectivamente as profundidades (1) e (2).

11.3 c) Geração de correntes paralelas à praia - como raciocínio inicial diríamos que quando uma onda rebenta, uma certa massa de água é lançada na zona situada entre a linha de rebentação e a costa ("inshore-zone"). O problema surgido é saber-se qual o destino dessa massa d'água aí lançada. Há dois casos:

i) Se o ataque é frontal, ou seja, se as cristas são paralelas à linha da costa, essa massa de água tende a acumúlar-se aí. Com o acúmulo, a própria massa de água provoca uma carga de retorno da referida água para o largo, de tal modo que equilibram-se os volumes de água que passam num e noutra sentido, apesar da não constância da velocidade de retorno da água.

Mesmo no caso de ondas de grande período, o retorno dar-se-á em um maior ou menor espaço de tempo, de modo que cessará antes da chegada da onda consecutiva. Já no caso de pequenos períodos, não havendo tempo suficiente ao retorno, haverá a superposição de ondas, provocando então uma resultante no sentido dominante, variando conforme o caso.

ii) No caso do ataque oblíquo, que mais nos interessa neste estudo, dá-se a formação de uma corrente paralela à linha da costa, além de haver também um acúmulo de material junto à costa. A esta corrente dá-se o nome de corrente longitudinal ("longshore current").

Tal como no caso anterior, a massa de água dirigida à costa não pode acumular-se aí indefinidamente, devendo também voltar ao largo. Esse retorno pode se processar de dois modos: sob a forma de retorno imediato ou, sob a forma de correntes de concentração ("rip currents").

No segundo caso, a velocidade da corrente de concentração irá oscilar de um valor mínimo (zero) até um valor máximo ($V. max$), no instante de encontro com a corrente de concentração, (Fig. 2.3).

É fácil notar que este valor máximo é função das características da onda incidente, bem como do espaçamento entre as correntes de concentração.

Este tipo de retorno se verifica mais comumente em praias com barras pronunciadas, onde a água atirada na zona próximo à costa seria canalizada, formando-se então a corrente de concentração numa descontinuidade da barra.

No caso de praias sem barras e com batimétricas sensivelmente paralelas, é mais provável que o retorno se dê uniformemente ao longo de toda a linha de rebentação.

Em comparação com o ataque frontal, quando a incidência e retorno eram as duas únicas componentes, variando a resultante num ou noutro sentido, no caso do ataque oblíquo, a velocidade da corrente resultante varia de acordo com três componentes: a onda incidente, a corrente longitudinal e o próprio retorno.

Um corpo flutuante (p. ex.: os sedimentos transportados), locomove-se de um modo geral paralelo à linha da costa quando lançado na "inshore zone"; a direção do movimento varia de acordo com o instante em que a onda se encontra, assim, dirige-se para a terra na chegada da onda, enquanto que após a passagem desta, dirige-se ligeiramente para o mar. Na chegada da onda há a combinação da onda incidente de velocidade variável, com a corrente longitudinal de velocidade constante. Ao passar a onda, são combinados os efeitos da corrente de retorno, também de velocidade variável, que se combinam com a corrente longitudinal paralela à praia (Fig. 2.4).

Conforme a figura 2.4, os casos (1), (2) e (3) correspondem à passagem incidente da onda, sendo sua máxima intensidade em (2). A situação (4), mostra o instante compreendido entre a incidência e o retorno da onda, e finalmente o caso (5), caracterizando o retorno da onda. A figura 2.5, mostra a trajetória geral das partículas (Fig. 2.5).

11.4 - O transporte de sedimentos: como vimos anteriormente, o ataque das ondas ao continente dá-se frontal ou obliquamente. Conforme o caso, há uma ação sobre a linha da costa, modificando-a ou mesmo estabelecendo equilíbrios dinâmicos, variáveis com fatores característicos da zona e com o sistema de ondas local. Assim sendo, ter-se-ã o transporte frontal e o transporte longitudinal, pelo ataque obliquo.

11.4 a) O transporte frontal - a grosso modo podemos dizer que o transporte frontal se processa com um engordamento (perfil de verão) ou um emagrecimento (perfil de inverno), (Fig. 2.6).

Como já citado, o transporte frontal se deve ao ataque perpendicular à linha da costa, atuando sobre os sedimentos no sentido do continente, ou levando-os ao largo. Dando-se o equilíbrio, isto é, havendo a mesma quantidade de material em jogo num e noutro sentido, tem-se um transporte anual nulo, mantendo constante a conformação da praia. Não há dúvidas de que este material posto em jogo representa um grande volume, entretanto, não é fator que venha a criar problemas, devendo-se apenas estar aberta à erosão provocada pelos perfis de inverno.

11.4 b) O transporte longitudinal - diferentemente do transporte frontal, há um transporte longitudinal, efetuado pelas correntes longitudinais, que desempenham papel importante na conformação, estabilidade e topografia geral da costa. O sedimento é assim carregado à partir de águas profundas, ajuntando-se ao volume essencialmente transportado pela corrente longitudinal, paralelamente à costa. Tais correntes têm a habilidade de carrear os sedimentos quer por arraste ou por suspensão (devida à turbulência).

A maior parte dos sedimentos transportados acumulam-se muitas vezes em barras existentes próximo à costa, havendo

também um movimento dos sedimentos ao largo. Além de barras, existem muitas feições costeiras que podem bloquear esta areia transportada ("river of sand"), (Fig. 2.7).

Feições costeiras artificiais também modificam as modalidades do transporte longitudinal. A presença de molhes, por exemplo, causará um empilhamento do material na parte anterior enquanto que quebra-mares, protegem as praias da ação violenta das ondas, conseqüentemente, a corrente longitudinal é ausente a sotomar, dando como resultado a interrupção do "river of sand" (Fig. 2.8).

Estes exemplos mostram que o homem na tentativa de alterar o curso do transporte, bem como a atividade das ondas, pode criar sérios problemas tais como o da Praia de Iracema, já citado no início deste trabalho. Entretanto, é possível alterar o movimento dos sedimentos em sua trajetória longitudinal e, temporariamente, o material permanecer nas praias em áreas próximas à costa. Obviamente o sedimento não permanece nessa zona indefinidamente, podendo ser removido quer na direção do mar, quer na direção da terra. Ventos costeiros sopram a areia da praia para o continente formando dunas costeiras.

O transporte total é a resultante do transporte por arraste e por suspensão, podendo ser estudado de maneira global.

Capítulo III: O MECANISMO DE INTERAÇÃO ENTRE O TRANSPORTE LONGITUDINAL E OS ESCOAMENTOS FLUVIAIS NA EMOCADURA. EXPLICAÇÃO DO FENÔMENO DA MIGRAÇÃO.

Em termos naturais a embocadura é considerada como um ponto de descontinuidade da costa, havendo duas ações antagônicas: a do rio e a do mar. No mar, o transporte longitudinal tende a fechar a embocadura enquanto que o rio, tende a manter constante a profundidade em frente à embocadura, afastando para o largo o material transportado pela corrente longitudinal.

III.1 - A formação da barra deve-se ao fato de nem o escoamento fluvial conseguir manter a mesma profundidade na embocadura, nem o transporte longitudinal conseguir barrá-lo. Dá-se então a composição entre a força dos sedimentos carreados num ou noutro sentido, havendo um deslocamento para o largo destes sedimentos, localizando-se a barra a uma maior ou menor distância da costa conforme o sentido da resultante das duas forças opostas às quais está submetido todo o material.

III.2 - Migração da embocadura: uma parte predominante do material transportado passa por cima da barra (responsável pela alimentação da praia) com direção ao largo. Outra parte do material, devido ao efeito do "espigão hidráulico" formado pelo rio, é detido na costa, a barlar da embocadura (pontal de barlar). Aparece então a sotamar da embocadura, um desequilíbrio entre a capacidade de transporte das ondas e a areia que está sendo transportada, ocasionando então a erosão a sotamar e o resultado é a migração da embocadura, havendo um aumento na extensão do rio e uma diminuição na declividade da linha d'água (Fig. 3.1). Entretanto, como será descrito mais adiante, a migração da embocadura de um rio não torna-se estacionária após a migração, e sim, desenvolve-se em um ciclo de formação e rompimento variável com a carga hidráulica do rio.

III - A modificação da declividade vai diminuir o transporte pelo escoamento fluvial. Aos poucos, o transporte longitudinal se torna preponderante em relação ao transporte fluvial, diminuindo a profundidade na embocadura, dando como consequência o represamento e subsequente aumento no nível das lagoas das quais o rio é emissário. Pela continuidade do processo, dá-se o aparecimento de uma restinga que, por sua vez, sujeita ao ataque frontal das ondas e à carga hidráulica das lagoas, tende a romper-se, voltando a embocadura ao seu lugar de origem. Depois de rompida, fecha-se a embocadura na ponta da restinga e, na nova embocadura, inicia-se o novo processo de migração e rompimento.

A migração de embocadura de rios é um fenômeno de importância tanto na conformação da costa, como na própria batimetria de praias adjacentes (a migração da embocadura do Rio Mampituba (RS), causou problemas à navegação e inundação em zonas ribeirinhas pelo aumento do nível das lagoas). Em tais casos, o homem pode intervir, construindo molhes que interceptem os sedimentos transportados, ou simplesmente rompendo a embocadura em sua saída normal.

Capítulo IV: O REGIME DE ONDAS LOCAL

Os presentes dados se referem à costa de Fortaleza, Estado do Ceará, fornecidos no ano de 1970 (de janeiro a dezembro), por ocasião do plano de execução do Pier Petroleiro do Porto de Mucuripe. Baseiam-se em dados de frequência fornecidos em termos de percentagens, relativos à direção de ataque das ondas. As tabelas 4.1 e 4.2 constam do número de "sea" e "swell" ocorrentes, com suas respectivas direções de ataque, ou seja: Norte (N), Nordeste (NE), Leste (E), Sudeste (SE), Sul (S) ou Sudoeste (SW).

Tabela 4.1 - FREQUÊNCIA E DIREÇÃO DAS ONDAS OBSERVADAS-"SWELL"-

Mês	Ondas obs.	Frequências Relativas aos Rumos						predominância em (%)
		N	NE	E	SE	S	SW	
Jan	507	-	22	30	36	-	-	SE
Fev	443	11	26	37	22	-	-	E
Mar	450	11	21	32	26	-	-	E
Abr	454	9	49	-	29	-	-	NE
Mai	415	-	11	23	46	8	-	SE
Jun	460	-	-	15	58	12	-	SE
Jul	521	-	-	15	63	12	-	SE
Ago	553	-	-	10	70	7	-	SE
Set	481	-	-	26	57	-	-	SE
Out	521	-	-	28	54	-	-	SE
Nov	449	-	-	43	40	-	-	E
Dez	500	-	-	41	36	-	-	E

Obs.: houve uma maior percentagem de "swell" na direção Sudeste (SE).

Tabela 4.2 - FREQUÊNCIA E DIREÇÃO DAS ONDAS OBSERVADAS - "SEA"-

Mês	Ondas obs.	Frequências Relativas aos Rumos						predominância em (%)
		N	NE	E	SE	S	SW	
Jan	609	-	13	34	48	-	-	SE
Fev	503	-	20	38	35	-	-	E
Mar	529	-	17	30	40	-	-	SE
Abr	495	-	17	29	37	-	-	SE
Mai	488	-	7	18	59	10	-	SE
Jun	532	-	-	14	65	16	-	SE
Jul	632	-	-	18	64	17	-	SE
Ago	678	-	-	11	76	11	-	SE
Set	601	-	-	22	68	-	-	SE
Out	677	-	-	30	60	-	-	SE
Nov	555	-	-	41	53	-	-	SE
Dez	614	-	-	44	47	-	-	SE

Obs.: Houve uma maior percentagem de "sea" na direção Sudeste (SE).

Pelos dados de frequência fornecidos pelas tabelas 4.1 e 4.2, vê-se a notável predominância de "sea" e "swell" na direção Sudeste(SE), conforme constata-se pelo gráfico da fig.4.1.

Tomando-se como base o alinhamento da praia, temos para a direção relativa ao ataque das ondas, os seguintes ângulos (tabela 3.3).

Direção de ataque das ondas	valor do ângulo
Norte (N)	- 55°
Nordeste (NE)	- 10°
Leste (E)	+ 35°
Sudeste (SE)	+ 80°
Sul (S)	+ 125°

A tabela 4.3 fornece os valores dos ângulos tomando-se como base a normal à praia e as respectivas direções de ataque das ondas, sendo dado valor positivo para os ângulos tomados no sentido horário e valores negativos para ângulos tomados no sentido anti-horário. Tem-se ainda que, com respeito ao tempo de atuação, as vagas e ondulações tiveram dados semelhantes.

Ilustrando as direções de ataque das ondas bem como o alinhamento da praia, temos o gráfico da fig. 4.2.

Capítulo V: COMPARAÇÃO DOS DADOS ATUAIS AOS ANTERIORES

V.1 - Dados anteriores e posteriores a 1974: Ao encontrar o molhe do Porto do Mucuripe, os sedimentos transportados pelas ondas eram interceptados em seu trajeto normal, permanecendo acumulados na parte oposta do molhe. Desse modo, a migração da embocadura do Rio Maceiozinho efetuava-se no sentido Oeste-Leste. Entretanto, conforme dados obtidos, verificou-se que a partir de 1974, houve uma inversão no sentido da migração, passando esta a ser de Leste para Oeste, (Fig. 5.1).

As razões para esta inversão estão no fato de que o molhe do Porto do Mucuripe, no aspecto de barragem dos sedimentos carreados, tem-se tornado negligente, havendo a passagem de material pelo seu extremo desde o ano em referência (Morais & Pitombeira, 1974). Desse modo, vê-se justificada a inversão da migração e ainda, levando-nos a crer que dados posteriores a 1974, confirmarão a migração daquela embocadura no sentido Leste-Oeste.

No caso de um possível aumento na extensão do molhe, haveria novamente um retenção dos sedimentos e, até que o acúmulo destes permanecesse inferior à capacidade de retenção pelo molhe, acredita-se que o sentido da migração voltaria a ser Oeste-Leste.

V.2 - Dados obtidos: pelo trabalho de campo realizado em datas distintas, observou-se que o ponto de máxima migração referente ao ano em curso, deu-se por volta do meado do mês de junho, quando era observada a maior extensão da restinga (Fig. 5.2 e tabela 5.1). Na mesma observação, o Rio Maceiozinho apresentava-se com grande volume de água, provocando uma erosão intensa em suas margens, denotando que em um curto período de tempo, houve uma grande modificação no trajeto de escoamento da água, fato deduzido à partir das recentes marcas deixadas pela água.

Os dados referentes à segunda quinzena do mês de agosto, denunciavam o início do fechamento do ciclo da migração, apresentando na ocasião um rompimento na restinga e o aparecimento de uma língua de água morta, demarcando a anterior saída dos escoamentos fluviais (Fig. 5.3). Ao contrário das primeiras observações, nesta última o rio apresentava pequena vazão, provocando pouca ou nenhuma erosão em suas margens. Outro aspecto observado foi com respeito às construções feitas em suas margens, que em aproximadamente dois meses, haviam sido erodidas em cerca de cinco metros, apresentando indicativos de uma próxima destruição.

Tabela 5.1 - DADOS OBTIDOS DAS MEDIÇÕES FEITAS EM JUNHO E AGOSTO DE 1976.

junho	agosto
a - 25,00 metros	a' - 32,00 metros
b - 58,80 metros	b' - 27,50 metros
c - 133,00 metros	c' - 35,80 metros

. 41 .

Capítulo VI: DISCUSSÃO, PREVISÃO E/OU ATENUAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO FENÔMENO E CONCLUSÕES FINAIS.

Pelo que se obteve, a migração da embocadura do Rio Maceiozinho obedece às regras gerais da migração, havendo épocas de maior intensidade devido à maior carga hidráulica, no período de maior intensidade chuvosa.

Estando o processo migratório diretamente ligado à estação do ano, ou mais especificamente, à pluviosidade local, a sua época de atuação máxima pode ser prevista, podendo entretanto oscilar um pouco mediante variações meteorológicas anuais.

Pelo desenrolar do trabalho, vimos ser o fenômeno da migração da embocadura devido ao ataque oblíquo das ondas, ou mais ainda ao transporte longitudinal paralelo à costa, provocado por tal obliquidade. Sendo os molhes obras costeiras que barram a passagem de sedimentos, tem-se no caso do Molhe do Porto do Mucuripe um aprisionamento do material transportado, apesar de à partir de 1974 seu efeito ter-se tornado um tanto quanto negligente sob este aspecto.

Para que fosse invertido o sentido da migração da embocadura do Rio Maceiozinho, far-se-ia necessário à primeira vista, um aumento na extensão do molhe. Tal medida não seria porém razoável por tornar mais intenso o efeito da difração das ondas, acerretando consequências bem mais desastrosas.

Tal como se descreveu anteriormente, a migração de uma embocadura, pelo fato de diminuir a vazão do rio, pela redução da profundidade na embocadura, acarreta inundações em zonas ribeirinhas pelo aumento do nível das lagoas das quais o rio é emissário. Para o Rio Maceiozinho, tal fato não se observa, e mesmo em casos de chuvas mais intensas, não é de vir a causar resultados desastrosos.

A justificativa para isto, é que como definimos anteriormente, o Rio Maceiozinho é alimentado em todo o seu curso

por pequenos córregos e não unicamente pelo complexo lagunar do Papicu.

Por isso, uma retenção na embocadura não implicaria um aumento importante no complexo lagunar do Papicu.

Segundo a bibliografia, para que haja uma fixação na embocadura do Rio Maceiozinho, a solução mais cabível seria a construção de um "guia de correntes" na margem móvel (Morais & Pitombeira, 1974).

Pelos dados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

1 - A migração da embocadura do Rio Maceiozinho é variável com a intensidade chuvosa, alcançando sua maior intensidade em fins do período chuvoso.

2 - Por efeitos da migração da embocadura, a área adjacente do Rio Maceiozinho está sujeita a efeitos de agradacão e degradação (Morais & Pitombeira, 1974).

3 - O transporte frontal na área é de pouca expressão, sendo as modificações causadas quase que unicamente pelo transporte longitudinal.

4 - O sentido de migração da embocadura é regido pelo funcionamento do molhe do Porto de Mucuripe. Quando há passagem dos sedimentos a migração é no sentido Leste-Oeste, enquanto que havendo retenção, faz-se no sentido Oeste-Leste (Morais & Pitombeira, 1974).

5 - Um aumento na extensão do molhe poderia tornar o sentido da migração novamente de Oeste para Leste, porém isto não passaria de uma prorrogacão temporária.

S U M M A R Y

This paper represents an attempt towards explaining the phenomenon of river mouths migration as they enter in contact with the sea. Such is the case with Macieozinho river (Fortaleza, Brasil), which migration is determined by the Mucuripe harbour breakwater, as far as direction is concerned.

Until 1974 this migration was noticed to take place from West to East and from the year onwards, the reverse was true, this change being caused by transfer of material carried beyond the tip of the breakwater.

In this study a general description is given of the formation, development and breaking of waves with an example with a local system and formation of a longshore current parallel to the coast on account of a slanting onslaught of local waves. The practical aspects of this work are presented as a comment on the hydraulic discharge and data on the general topography of the coast in adjacent spots.

BIBLIOGRAFIA

Anônimo - 1970 - Pier Petroleiro do Porto de Mucuripe, Inst. Nac. Pesq. Hidrov. Rio de Janeiro, Relatório, 67pp., ilustr.

Castanho, J. - 1966 - Rebentação de Ondas e Transporte Litoral, Lab. Nac. Eng. Civ., Memória, Lisboa, (275):278pp ilustr.

Davis Jr, R.A. - 1972 - Principles of Oceanography. Addison Wesley Publishing Company, Mass., 419 pp., ilustr.

McLellan, H.J. - 1965 - Elements of Physical Oceanography, Oxford, 147 pp., ilustr.

Morais, J.O. - 1972 - Processos de Assoreamento do Porto do Mucuripe. Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, 12(2): 139-149, 8 figs.

Morais, J.O. & Pitombeira, E.S. - 1974 - Processos Migratórios da Embocadura do Rio Maceiozinho (Fortaleza-Ceará), Bol. Ciên. Mar, Fortaleza, (27): 9 pp., 4 figs.

Motta, V.F. - 1970 - A Barra do Rio Grande - Caso "Clínico" de uma Embocadura Lagunar em Mar sem Maré, Inst. Pesq. Hidraul. Porto Alegre, 32 pp.

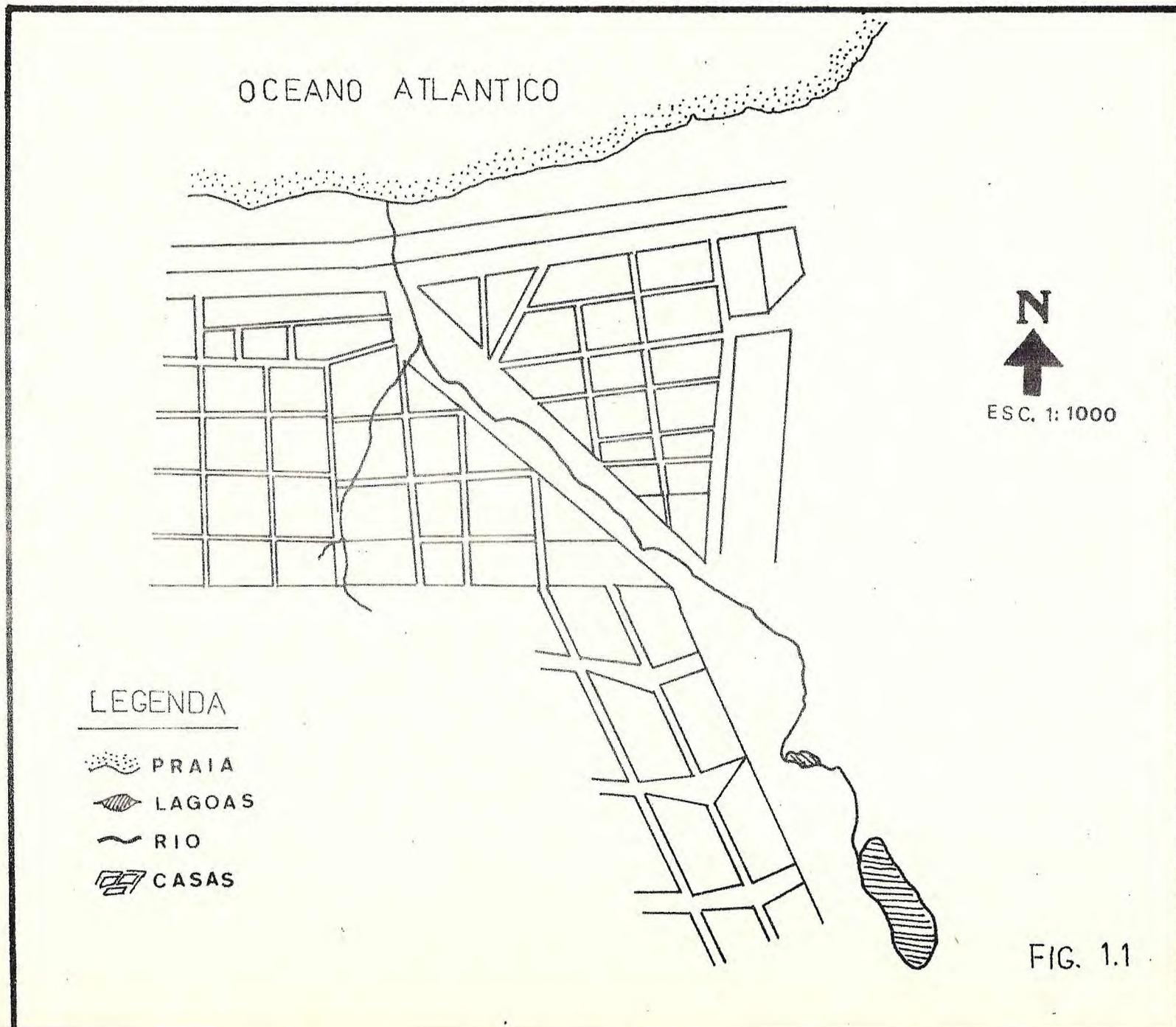
Motta, V.F. - 1973 - Relatório de Consultoria Sobre os Problemas de Engenharia de Costas a Considerar no Projeto do Terminal Petrolífero em São Francisco do Sul(SC), Inst. Pesq. Hidraul., Porto Alegre, 10 pp.

Pitombeira, E.S. - 1972 - Cálculo do Transporte Litorâneo de Sedimentos na Costa do Rio Grande do Sul - Tramadai, Inst. Pesq. Hidraul. Porto Alegre, 96 pp., ilustr., Tese de Mestrado.

LEGENDA DAS FIGURAS:

- Fig. 1.1 - Localização geral do Rio Maceiozinho, no município de Fortaleza (Estado do Ceará - Brasil).
- Fig. 1.2 - Relação gráfica entre o transporte litorâneo e a esbeltez da onda, dada por H/L .
- Fig. 1.3 - Perfil esquemático de uma praia.
- Fig. 2.1 - Configuração teórica de uma onda.
- Fig. 2.2 - Variação no ângulo de aproximação das ondas devido à diminuição da profundidade - REFRAÇÃO.
- Fig. 2.3 - Variação de velocidade da corrente resultante e formação das correntes de concentração ("rip currents").
- Fig. 2.4 - Rebentação oblíqua - trajetória das partículas.
- Fig. 2.5 - Trajetória geral das partículas (movimento em dente de serra).
- Fig. 2.6 - Perfil esquemático das modificações causadas por perfis de inverno e perfis de verão.
- Fig. 2.7 - Desenvolvimento da restinga como resultado da interrupção da corrente longitudinal.
- Fig. 2.8 - Acúmulo de sedimentos a sotamar da embocadura devido à interrupção do transporte de sedimentos.
- Fig. 3.1 - Evolução e fechamento do ciclo da migração de uma embocadura de um rio.
- Fig. 4.1 - Gráfico de frequências de "sea" e "swell" na costa de Fortaleza, Estado do Ceará - Brasil.
- Fig. 4.2 - Gráfico de alinhamento da praia no município de Fortaleza, Estado do Ceará - Brasil.
- Fig. 5.1 - Estado da embocadura do Rio Maceiozinho em épocas anteriores, comparados com os observados no ano de 1974.
- Fig. 5.2 - Aspecto da embocadura do Rio Maceiozinho em junho de 1976.
- Fig. 5.3 - Aspecto da embocadura do Rio Maceiozinho em agosto de 1976.

FIG. 1.1 — Localização geral do Rio Maceiozinho, no município de Fortaleza (Estado do Ceará-Brasil),
(seg. Moraes & Pitombeira, 1974, modif.)



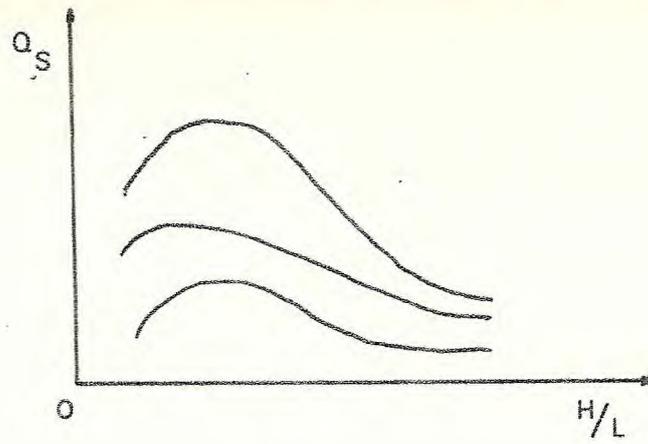


FIG. 1.2 – Relação gráfica entre o transporte litorâneo e a esbeltez da onda, dada por H/L (seg. Pitombeira, 1972).

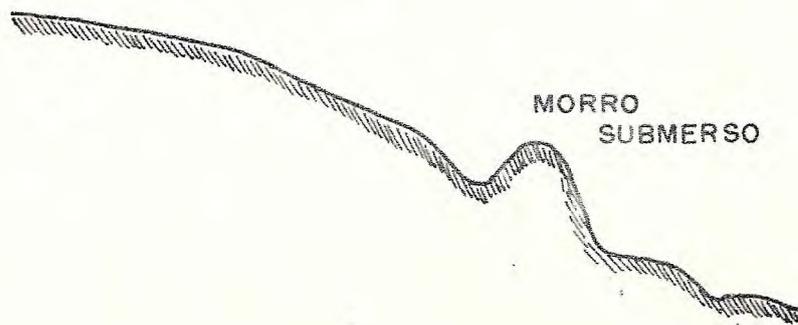


FIG. 1.3 – Perfil esquemático de uma praia (seg. Pitombeira, 1972).

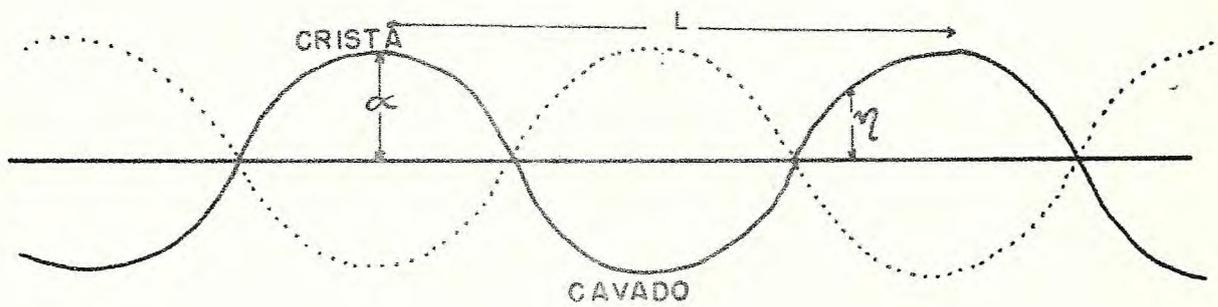


FIG. 2.1 – Configuração teórica de uma onda (seg. McLellan, 1965).

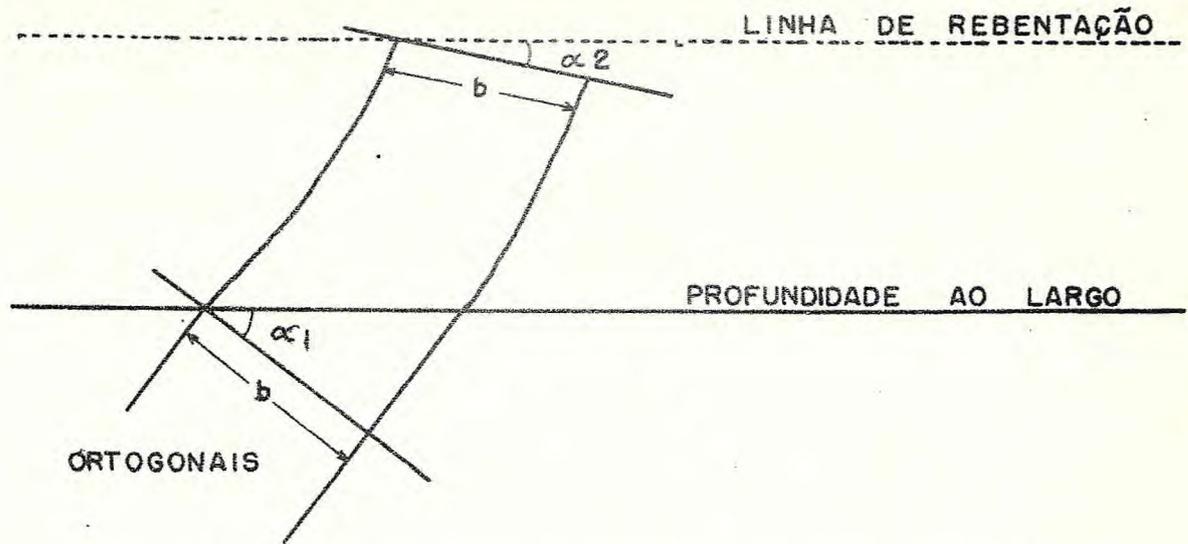


FIG. 2.2 – Variação no ângulo de aproximação das ondas devido à diminuição da profundidade – REFRAÇÃO (seg. Castanho, 1966).

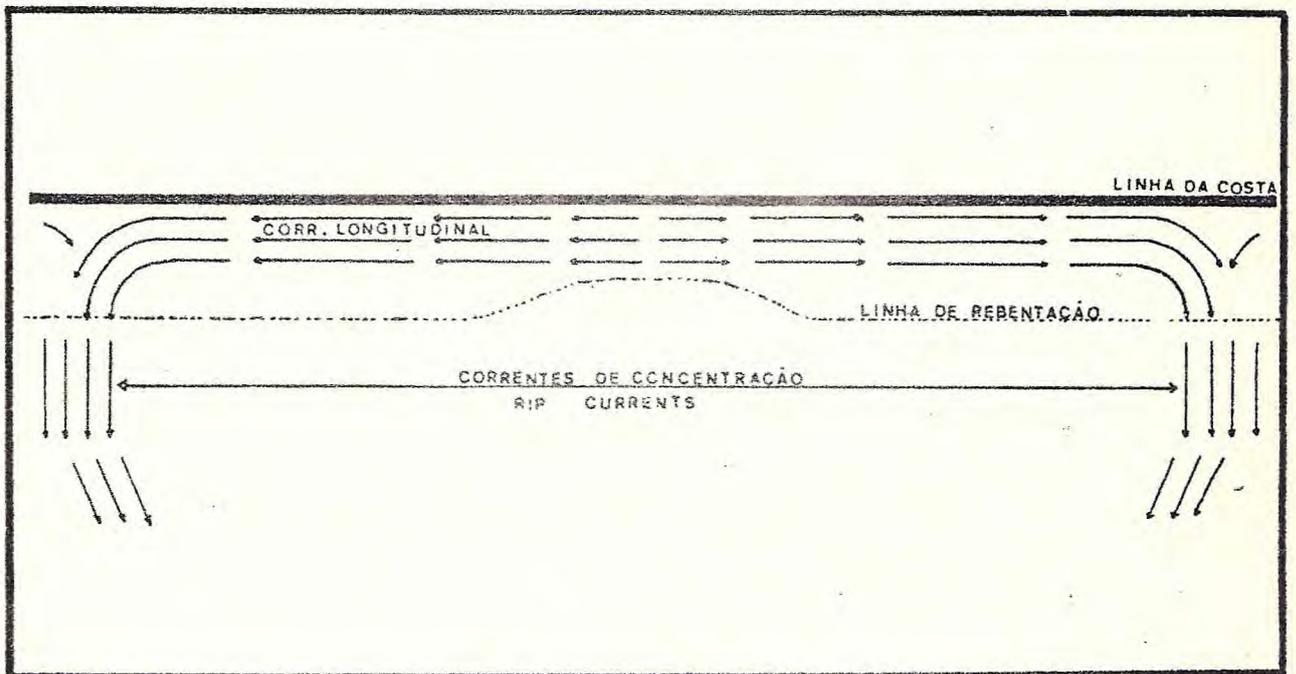


FIG. 2.3 – Variação da velocidade da corrente resultante e formação das correntes de concentração ("rip currents"), (seg. Castanho, 1966).

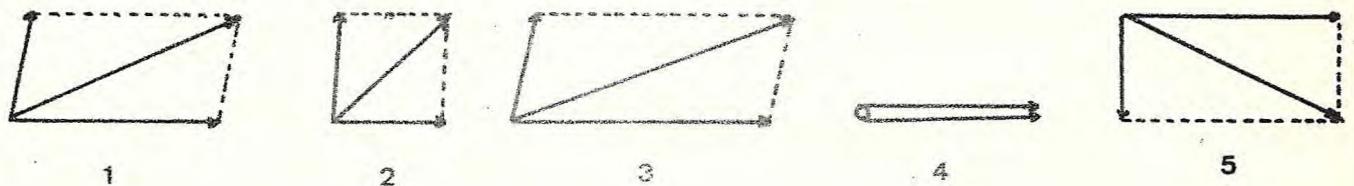


FIG. 2.4 – Rebentação oblíqua – trajetória das partículas (seg. Castanho, 1966).

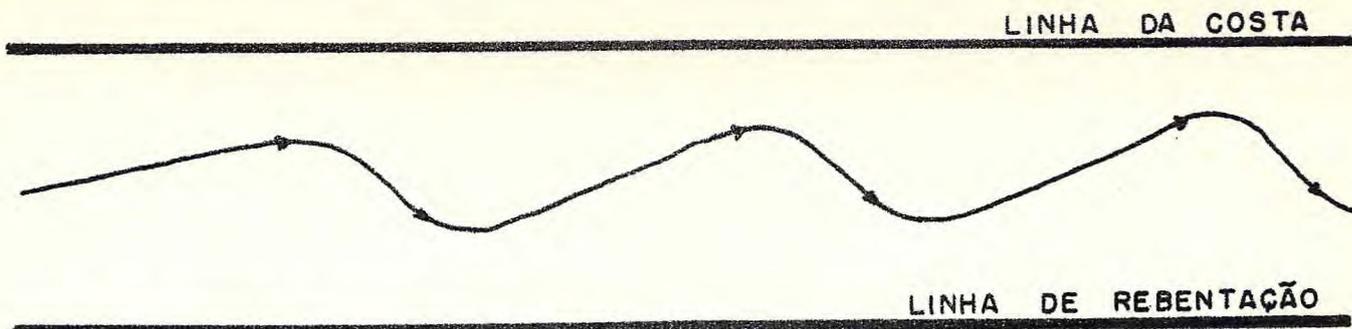


FIG. 2.5 — Trajetória geral das partículas (movimento em dente de serra). (Seg. Castanho, 1966).

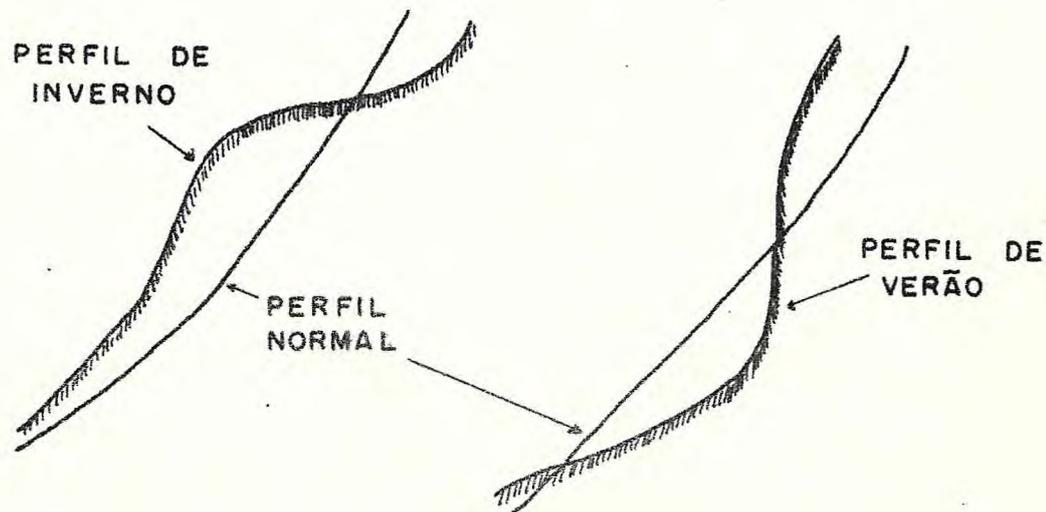


FIG. 2.6 — Perfil esquemático das modificações causadas por perfis de inverno e perfis de verão (seg. Pitombeira, 1972).

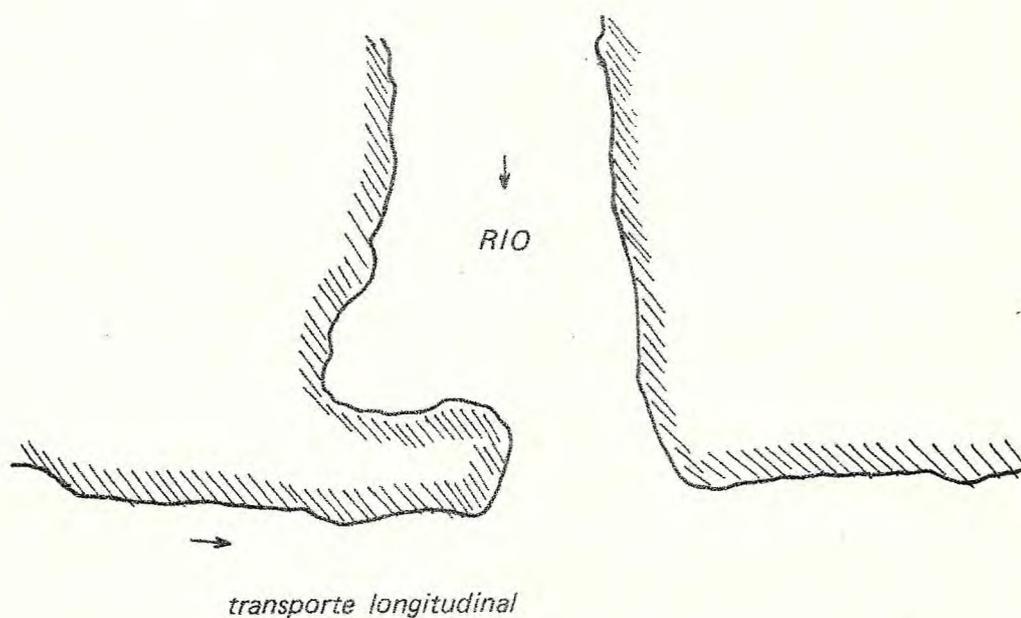


FIG. 2.7 — Desenvolvimento da restinga como resultado da interrupção da corrente longitudinal (seg. Davis Jr., 1973).

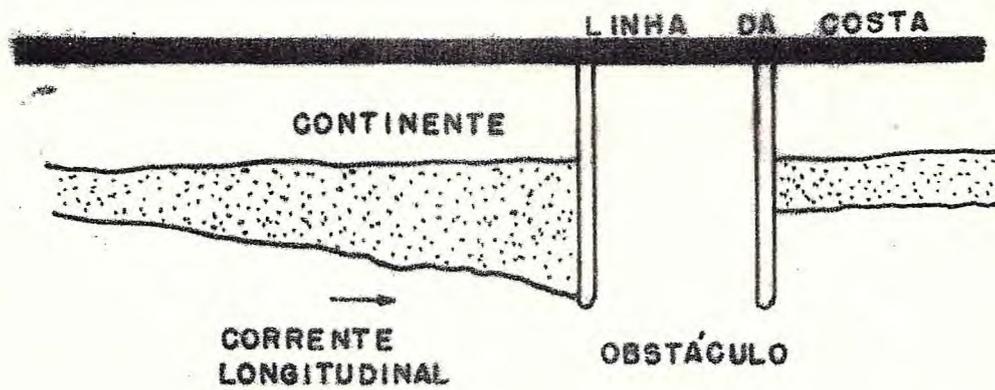


FIG. 2.8 – Acúmulo de sedimentos a sotamar da embocadura devido à interrupção do transporte de sedimentos (seg. Davis Jr., 1973).

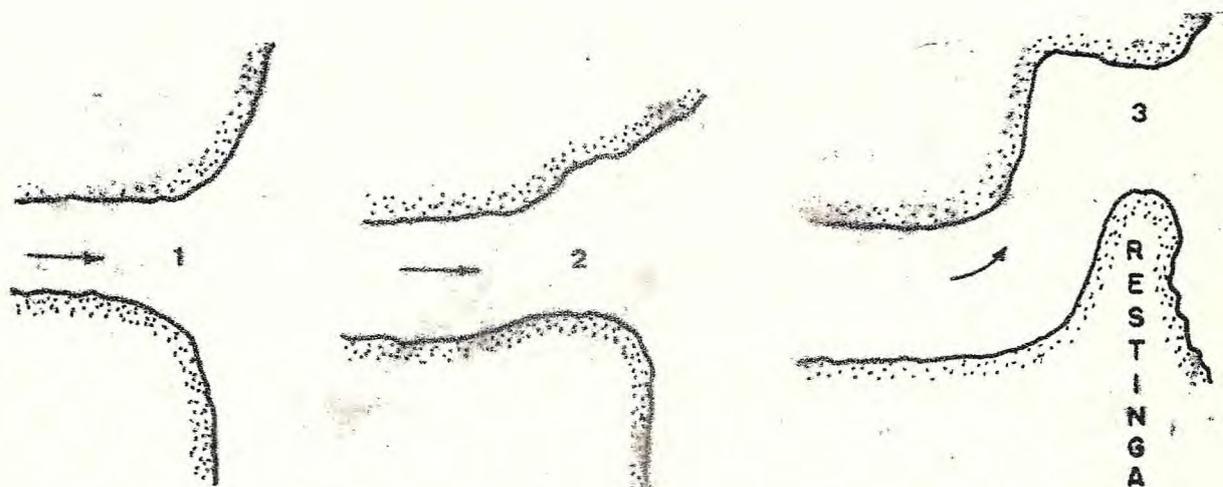


FIG. 3.1 – Evolução e fechamento do ciclo da migração de uma embocadura de um rio (seg. Pitombeira, 1972).

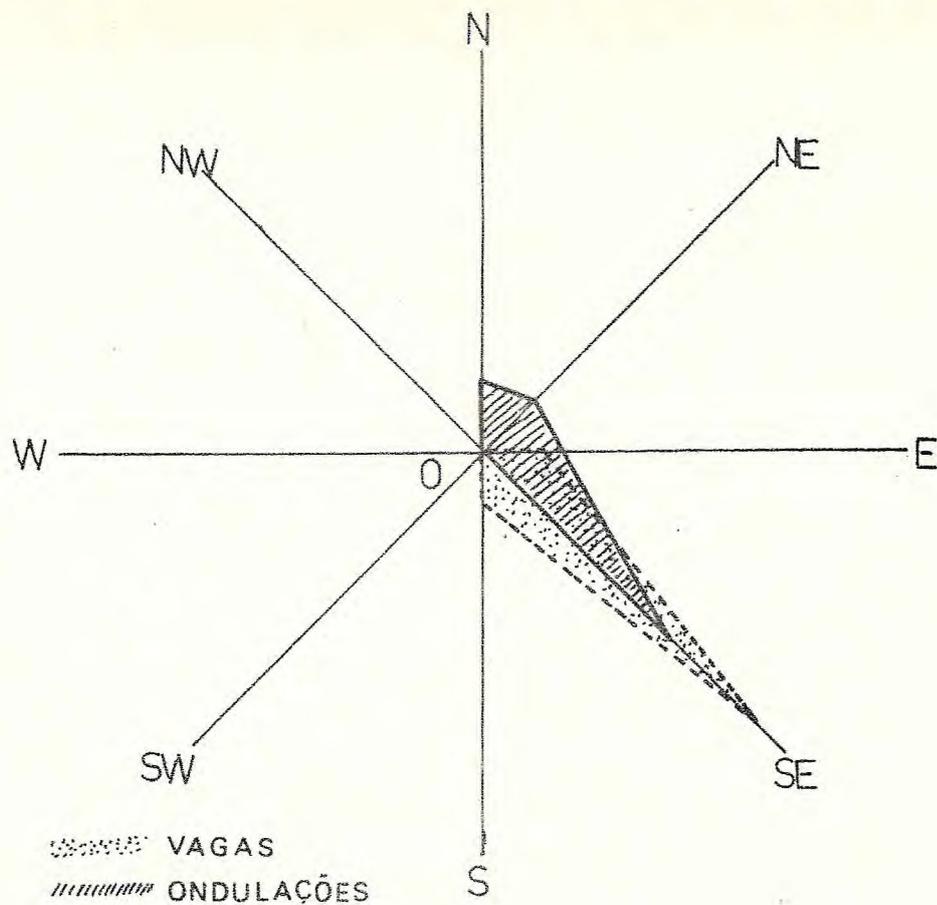


FIG. 4.1 – Gráfico de frequências de “sea” e “swell” na costa de Fortaleza, Estado do Ceará – Brasil (seg. Pitombeira, 1976).

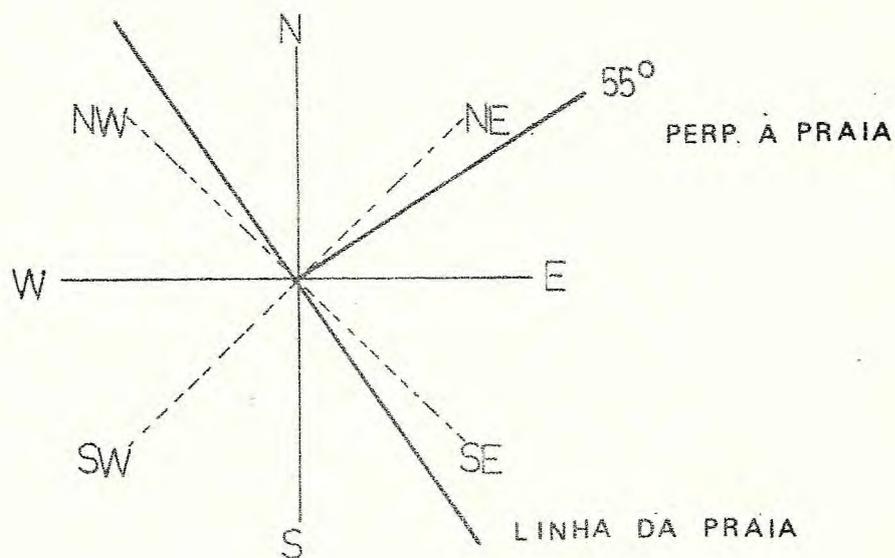


FIG. 4.2 – Gráfico de alinhamento da praia no município de Fortaleza, Estado do Ceará – Brasil (seg. Pitombeira, 1976).

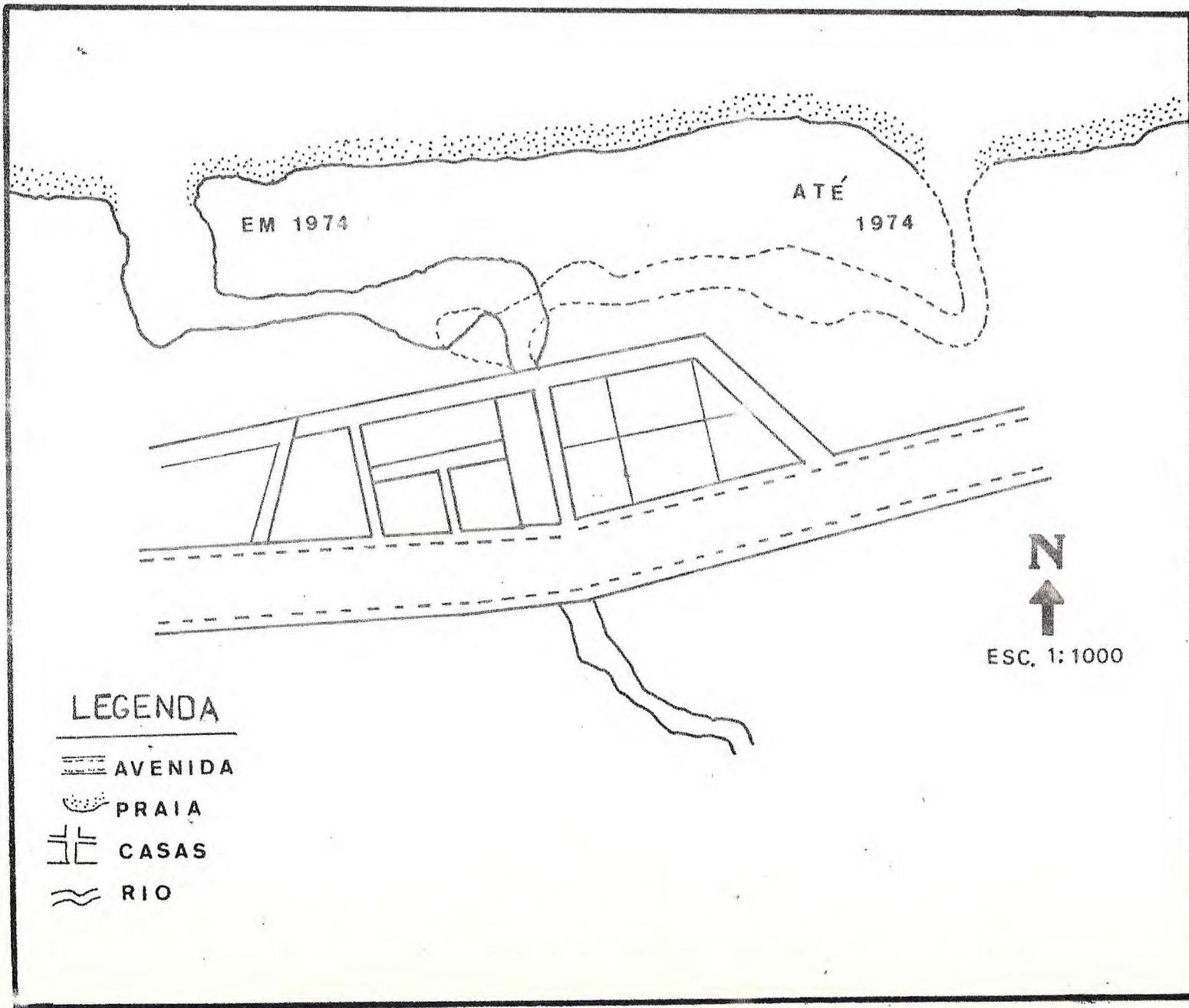


FIG. 5.1 — Estado da embocadura do Rio Maceiozinho em épocas anteriores, com-
parados com os observados no ano de 1974 (seg. Morais & Pitombeira,
1974).

FIG. 5.2 — Aspecto da embocadura do Rio Maceiozinho em junho de 1976.

