

ASPECTOS DA DINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO, PE.**LUIZ LIRA**

Prof. Adjunto do Dep. de Pesca da
UFRPE.
Bolsista do CNPq.

MARIA CONSUELO ZAPATA

Eng. de Pesca. Pós-Graduada da
universidade de Massachusetts

VERÔNICA GOMES DA FONSECA

Prof. Colaborador do Centro de Ciên-
cias Biológicas da Universidade Fede-
ral de Pernambuco

O estuário do Rio Formoso do ponto de vista geológico é de planície costeira, existindo dois padrões de distribuição de salinidade de suas águas. Na zona estuarina média e inferior a salinidade é em média 25‰, na superior 6,5‰. As velocidades de correntes variam também nos diferentes trechos do estuário correspondendo aos valores máximos de 63cm/s, 52cm/s e 29cm/s para o alto, médio e baixo cursos respectivamente. Os maiores valores de salinidade e de material em suspensão foram registrados nas preamares. O flushing-time calculado para descarga fluvial de 5m³/s é de aproximadamente 11-12 dias. Segundo os parâmetros de circulação e estratificação o estuário é do tipo bem misturado. A cobertura sedimentar especialmente no baixo curso, compõe-se de material terrígeno em mistura com organismos predominantemente marinhos.

INTRODUÇÃO

Com aproximadamente 7.000 quilômetros de litoral, o Brasil exibe uma gama de baías, estuários e lagoas costeiras que contribuem para o input de micro e macro nutrientes, fundamentalmente necessários para a produção primária na plataforma continental, base do processo trófico dos oceanos. No entanto, é desrespeitoso constatar que esses ambientes transicionais, suporte da produção orgânica das zonas tropicais, são somente utilizados como receptáculos de resíduos industriais e urbanos.

Do saldo, advém o fracasso ecológico e a morte prematura desses reservatórios que, em consequência, encerram o sucesso adaptativo de espécies comerciáveis como peixes, moluscos e crustáceos, alimento de alto teor proteico, obviamente necessários na dieta da população.

Urge a necessidade de uma política de pesquisa, a nível nacional, que objetive o reforço do conhecimento científico a cerca dos ambientes costeiros, sendo imperativo que as investigações se verifiquem de forma interrelacionadas, para que o ecossistema venha a ser considerado sob um leque mais amplo de opções.

Dentro desta concepção, a pesquisa realizada no estuário do Rio Formoso, situado a 76 km ao sul do Recife, capital de Pernambuco e a 4 km ao norte da Baía de Tamandaré, enfoca, sob um prisma de integração, aspectos de geologia ambiental e das características físicas e químicas de suas águas, fatores estes, cujas relações determinam a harmonia da unidade operacional estabelecida entre os organismos e o ambiente, tentando, por outro lado, fornecer parâmetros ecológicos necessários para o incremento de atividades de cultivo de espécies aquáticas de valor comercial.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas, mecanicamente, 25 amostras superficiais de sedimento, visando a dominância e a diversidade dos componentes bióticos da fração areia, adotando-se a metodologia expressa por DROOGER & RAASCHIETER² (1958), apud TINOCO (1972).

Para referência da determinação dos principais acidentes morfológicos do leito do estuário, realizou-se o estudo batimétrico, considerando a linha d'água zero referente àquela da mais baixa maré que ocorreu na Baía de Tamandaré no ano de 1978. Os registros batimétricos foram obtidos através de ecobatímetro portátil, permitindo a efetuação dos perfis perpendiculares ao eixo do estuário.

A coleta das amostras d'água para as observações das variações de salinidade e temperatura e dosagem do material em suspensão, foram realizadas de 18 a 20 de julho e de 10 a 12 de novembro de 1978, correspondentes aos períodos de chuva e estiagem respectivamente (figura 1).

A metodologia empregada na coleta d'água, observações de campo e análises de laboratório encontram-se detalhadas nos trabalhos de LIRA^{5 6} (1978).

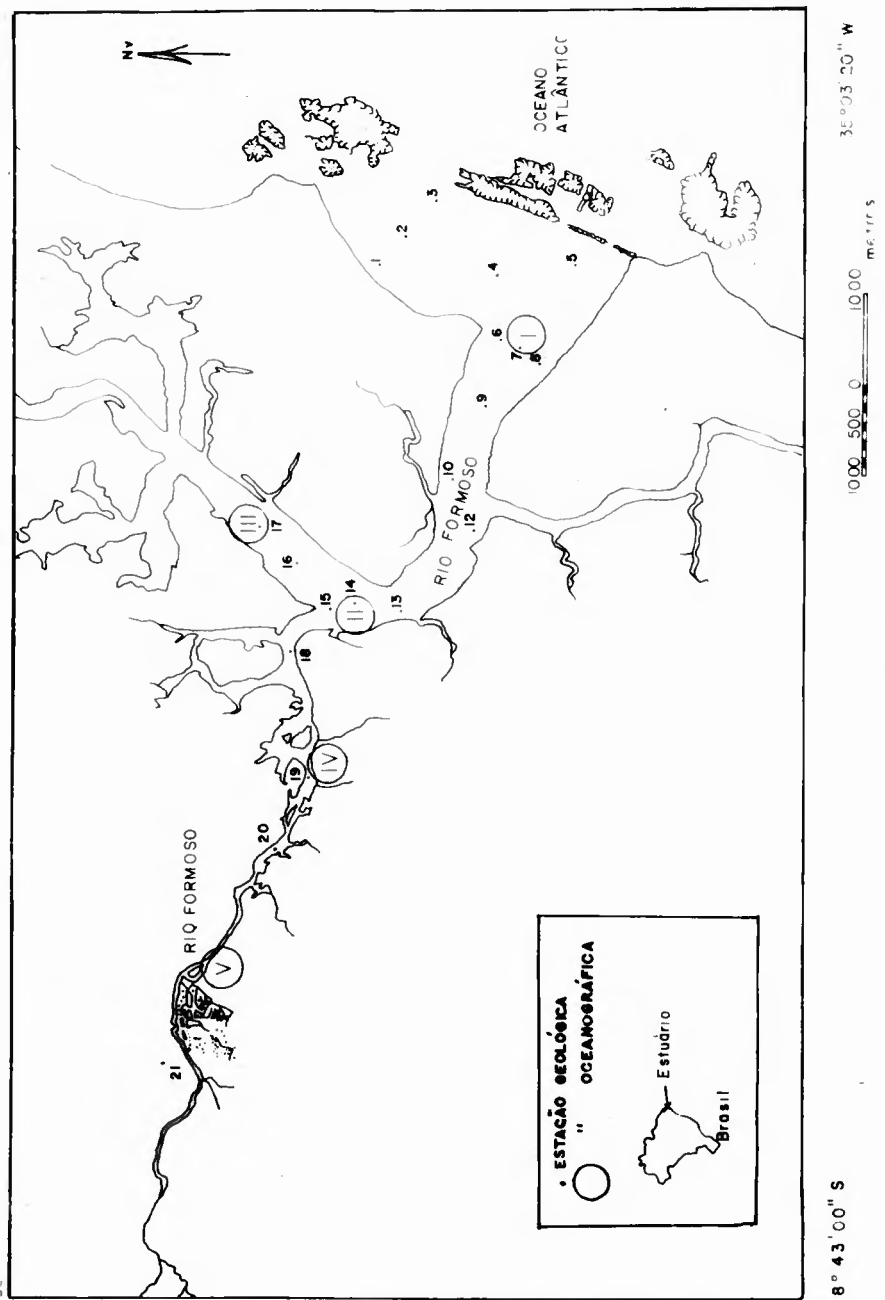


Figura 1 - Estuário do Rio Formoso. Mapa de localização das estações.

FENÔMENOS DINÂMICOS NO ESTUÁRIO

Os fenômenos dinâmicos que têm lugar num estuário, são de primordial importância, principalmente nas zonas dos estuários mais próximos do mar onde é possível associar as ações das correntes de maré e da ondulação (ABECASIS & MATIAS¹, 1971).

A penetração da maré, o aporte de água doce e sua renovação dentro do estuário, a variação da salinidade, velocidade de corrente e o comportamento do material em suspensão, foram os fenômenos estudados para a compreensão da dinâmica do Estuário do Rio Formoso.

Penetração da maré

A penetração da maré nos estuários depende de vários fatores: amplitude de maré, declividade do leito do rio, tanto na zona estuarina como na zona à montante adjacente a esta, da morfologia do estuário e da vazão do rio, OTTMANN¹⁰ (1968) apud MOURA (1973).

“Esta penetração de maré encerra dois aspectos fundamentais: as variações do nível das águas, isto é, a maré dinâmica, e a penetração das águas salgadas e sua mistura com a água doce, que é chamada maré de salinidade”, OTTMANN¹⁰ (1968) apud MOURA (1973)

A maré dinâmica do estuário do Rio Formoso atingiu, no período estudado, o nível máximo de 1.73m na sua foz. Em estação no fundo do estuário a cota máxima observada foi de 1.17m para o mesmo período de observações. Os estudos realizados referentes a maré dinâmica na boca e no fundo do estuário revelaram um retardo de cerca de 90-120 min. para que as oscilações que ocorrem na foz se façam sentir no fundo do estuário.

As curvas de maré obtidas das observações realizadas em réguas graduadas na desembocadura do corpo estuarino, revelaram-se simétricas, refletindo seis horas de fluxo e seis de refluxo das águas. Esta simetria da curva sofre alteração quando há um aumento na descarga líquida do Rio Formoso. Este fato foi verificado quando a vazão do rio atingiu 5.10m³/s em julho de 1978. É necessário citar que as marés da região são de pequenas amplitudes (1.24m em média para a Baía de Tamandaré). As curvas de maré vão se tornando assimétricas à medida que o aporte de água doce aumenta. Na estação do fundo, a curva de maré obtida revelou 4 horas de fluxo das águas contra 8 horas de refluxo no ciclo completo de maré observado.

ABECASIS & MATIAS¹ (1971), estudando o estuário do Zambeze (Moçambique), verificaram que à medida que a influência marinha diminui sobre o estuário, as curvas de marés tornam-se cada vez mais assimétricas.

A penetração da maré de salinidade foi estimada em 10.5 quilômetros. Como foi referido, a incursão salina em um estuário depende, entre outros fatores, do aporte de água doce proveniente do rio. Desta maneira, para descargas líquidas do Rio Formoso de $5.12\text{m}^3/\text{s}$ e $4.78\text{m}^3/\text{s}$, calculadas em julho e novembro de 1978 respectivamente, foi possível elaborar as seguintes fórmulas matemáticas:

$$S = 36.28 - 3.23x \quad (1)$$

$$S = 34.17 - 3.18x \quad (2)$$

Onde: S = salinidade em partes por mil
 x = distância em km da foz do estuário

que permitem calcular o valor da salinidade em função da distância da boca do estuário.

A penetração máxima da maré salina foi determinada nas proximidades da cidade do Rio Formoso, onde verificaram-se valores médios de salinidade de 1.38‰ (novembro) e 0.7‰ (julho) nos períodos de preamar. Na baixamar, quando a influência marinha no Rio Formoso diminui, a zona, próxima à cidade, apresentou quantidade de sólidos dissolvidos menor que 0.5‰ ou seja, água doce.

Prisma de maré

Considerando-se a média dos níveis de maré no estuário do Rio Formoso de 1.65m para a foz e 1.05m para a zona do fundo do estuário, calculou-se em $24.269.406\text{m}^3$ o volume de água presente em uma preamar. O volume d'água na baixamar foi estimado em $12.355.000\text{m}^3$. A diferença entre estes dois volumes sugere que, aproximadamente $11.914.406\text{m}^3$ de água, foram introduzidos no estuário durante um fluxo de maré. Esta quantidade denominada de prisma de maré, aumenta o volume do estuário de 96.4% aproximadamente.

Variação da salinidade

"A morfologia do estuário, o fluxo de água doce e as oscilações de marés são as variáveis dominantes na determinação da distribuição da salinidade dentro de um estuário" (HANSEN & RATTRAY⁴, 1966).

No estuário do Rio Formoso identificaram-se dois padrões de distribuição longitudinal de salinidade. No baixo e médio cursos do estuário, os valores médios da salinidade variaram de 27.07‰, a 26.40‰. No alto curso, onde a morfologia estuarina é mais complexa, verificou-se um decréscimo acentuado nos valores médios de salinidade de 5.90‰ a 7.26‰. A zona do alto curso do estuário sofre importante influência fluvial enquanto as dos médios e baixo cursos, além de existirem condições favoráveis à livre penetração da maré salina, não se verifica um fornecimento expressivo

de água doce pelos cursos d'água que lá desagüam. É importante referir que o Rio Arinquiná, o mais importante afluente do Rio Formoso, é paralelo à linha da praia em grande parte do seu curso, possuindo por isso, gradiente menor que o do Rio Formoso, sendo, provavelmente, pouco significativo como um curso d'água que influi no processo de mistura ou de diluição das águas.

O gradiente longitudinal da salinidade no estuário do Rio Formoso é para o mar. Somente na estação III, localizada fora do "eixo do estuário" é que se observou valores de salinidade maiores do que em trechos situados à sua jusante. Este fato, deve-se possivelmente, ao represamento de águas nas "gamboas" que facilitam as maiores concentrações de sais dissolvidos na água devido à evaporação. Nestes corpos semi-fechados, a circulação da água é deficiente, ocorrendo somente fluxo de água em marés muito baixas. O refluxo de maré consegue trazer de volta águas de salinidade elevada (32‰). Por outro lado, a pouca intensidade dos ventos na região e a intensa vegetação que se desenvolve na periferia das gamboas diminuem a possibilidade de troca de águas facilitando o fenômeno da evaporação e, conseqüentemente, o da elevação da salinidade. Contudo, a salinidade média da zona da foz do estuário foi determinada em 27.7‰.

De um modo geral, os valores máximos e mínimos de salinidade ao longo do estuário, corresponderam aos períodos de preamar e baixamar, respectivamente. Para a zona de alto curso do estuário, as águas somente atingem seus limites máximos de salinidade, depois de uma hora após a maré alta.

A distribuição vertical da salinidade, ao longo do estuário, não revelou diferenças marcantes. Normalmente, as diferenças nos valores da salinidade entre as águas de superfície e de fundo não ultrapassaram a 2‰ para as estações dos médios e baixo curso do estuário. Entretanto, no alto curso, quando a penetração da maré de salinidade é máxima, verifica-se uma estratificação vertical, sendo registradas diferenças de salinidade de 6‰ até 8.6‰ entre as águas de superfície e de fundo. É necessário revelar que esta estratificação salina no curso superior tem duração de, aproximadamente, 2 horas, desaparecendo, imediatamente, durante a virada da maré, sugerindo que a turbulência causada pelo refluxo das águas, em período de baixamar, é suficiente para o fenômeno de mistura.

Velocidade de corrente

"A morfologia do estuário, o fluxo de água doce e as marés são as variáveis dominantes na determinação da circulação dentro do estuário", (HANSEN & RAT-TRAY4, 1966).

No estuário do Rio Formoso foram identificados três padrões de velocidade de corrente relacionados às suas zonas morfologicamente distintas (figura 2).

O alto curso do estuário, zona onde este corpo d'água possui largura da ordem de 60 metros, caracteriza-se pela apresentação de uma ampla variação nas velocidades das águas. Registrou-se velocidade de 63cm/s até valores mínimos, onde o correntômetro não conseguia registro. As mais altas velocidades foram sempre registradas no refluxo das águas e as mínimas, em período de "estofa de maré". Nesta zona, os máximos valores de velocidade de preamar estiverem em torno de 23cm/s, valores de 10cm/s foram anotados como mínimos, ainda na preamar.

No médio curso do estuário os valores de velocidade também apresentaram uma ampla variação (52cm/s a 1cm/s), acontecendo os máximos de velocidade no refluxo das águas e na preamar. Já na zona de baixo curso do estuário as velocidades médias registradas foram de 29cm/s e o mínimo de 13cm/s de velocidade.

A circulação e a intensidade das águas em um estuário, associada à distribuição da salinidade e aos graus de oscilação de temperatura, guardam uma estreita relação com a taxa de sedimentação, poder de transporte e capacidade de carga suspensa no ambiente.

O curso d'água em questão, possui em sua porção superior maior velocidade, estando o seu leito atapetado por areia quartzosa, de distribuição binodal, onde a areia grossa domina sobre os demais componentes. Nas zonas média e inferior, ocorrem areias médias principalmente nos canais, cuja circulação da água é mais evidenciada nos locais mais abrigados pela vegetação do mangal, onde normalmente a circulação é menor e a salinidade aumenta com a evaporação, podendo-se observar sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica.

O comportamento do deslocamento da água de profundidade é consideravelmente semelhante ao determinado para a água de superfície, em profundidade a velocidade da circulação apresenta valores menores em virtude do atrito estabelecido pelo contato direto com as irregularidades do leito.

Renovação da água doce no estuário

"Dentro de muitos ambientes estuarinos existe uma taxa relativamente regular e uniforme de transporte de água, isto é, o volume de água estuarina cedido ao mar na foz do estuário é essencialmente compensado pela quantidade de água doce introduzida pelo rio ao sistema na região superior do mesmo", (REID & WOOD¹, 1976). Este transporte de água é um processo lento, devido à circulação estuarina e pode levar uma quantidade de água doce proveniente do rio a permanecer no estuário por algum tempo antes de ser lançado ao mar.

O tempo necessário para renovar a quantidade de água doce existente no estuário, a uma razão igual a vazão do rio é conhecido como "flushing time" e o mesmo

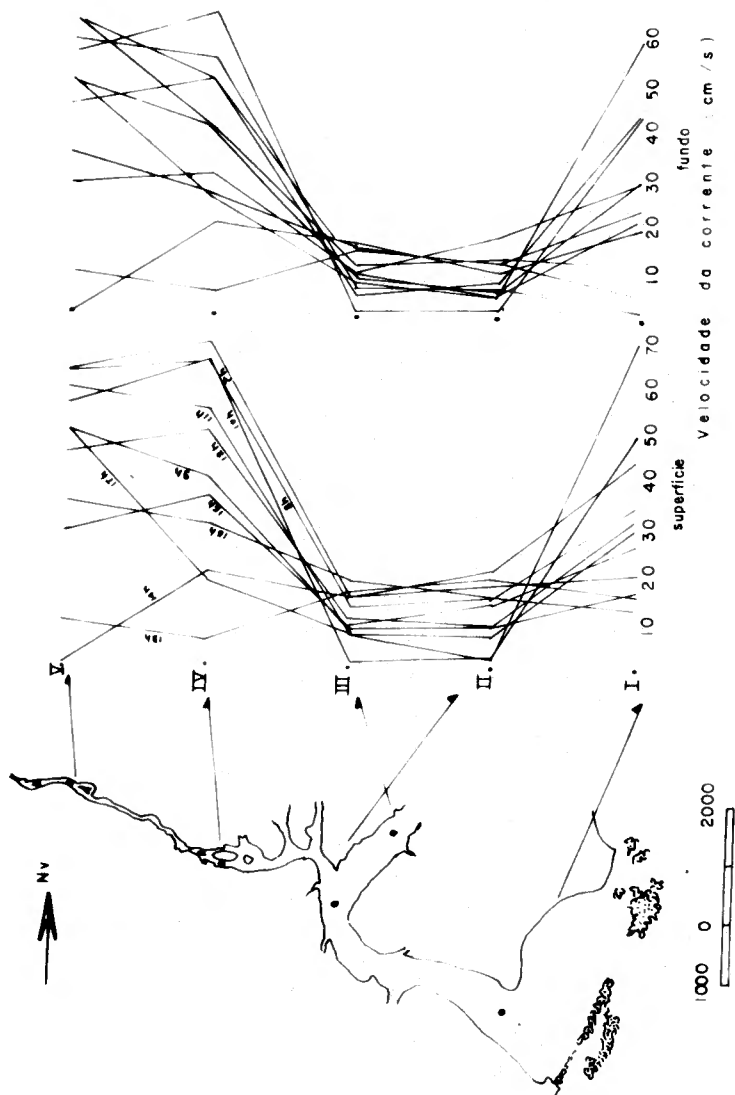


Figura 2 Estuário do Rio Formoso. Velocidade da corrente através do ciclo da maré, julho/78

varia de alguns dias, alguns meses e até anos. Matematicamente, ele pode ser expresso por $T = \frac{Q}{R}$, onde Q é igual ao volume total de água doce acumulada no estuário e R é a descarga líquida do rio.

Para a determinação do "flushing time" do estuário do Rio Formoso, utilizou-se o método da fração de água doce. Esse, consiste no cálculo da fração média de água doce numa secção qualquer do estuário, sendo $f = \frac{S_s - S_n}{S_s}$, onde S_s é a salinidade da água do mar e S_n é a salinidade média numa secção do estuário. O volume total Q é encontrado por $Q = \sum_{i=1}^n f_i V_i$, sendo f_i a fração de água doce na secção i e V_i , o volume de água na porção i do estuário.

O modelo foi aplicado considerando-se vazões de 4.78m³/s e 5.12m³/s, registradas em novembro e julho de 1978, obtendo-se como resultado, em 11 a 12 dias, tempo necessário para a renovação da água doce. Este resultado, mesmo que tenha sido efetuado para vazões pontuais, reveste-se de importância prática, uma vez que é possível prever a capacidade de autodepuração do ambiente no que se refere à tolerância residual admitida, sem atingir níveis alarmantes de poluição.

CLASSIFICAÇÃO DO ESTUÁRIO SEGUNDO OS PRINCÍPIOS: ESTRATIFICAÇÃO E CIRCULAÇÃO

Em relação aos parâmetros de velocidade e salinidade, HANSEN & RAT-TRAY⁴ (1966) apresentaram um diagrama de classificação de estuários em função da estratificação e circulação, na qual o valor da primeira SS/S_o é colocado no eixo das ordenadas, sendo SS a diferença de salinidade entre fundo e superfície; S_o a salinidade média na secção sobre o valor da circulação U_s/U_f encontrada no eixo das abcissas, onde U_s é a velocidade na superfície e U_f a velocidade média na secção.

De acordo com o modelo proposto sete tipos de estuários foram apresentados.

Os valores de estratificação e circulação determinados para o estuário do Rio Formoso revelam ser este tipo 1, bem misturado, apresentando leve estratificação na zona estuarina superior (figuras 3 e 4)

MATERIAL EM SUSPENSÃO

A velocidade das correntes e o grau de mistura entre a água doce e salgada são os fatores mais importantes que regulam a distribuição do material em suspensão no estuário do Rio Formoso.

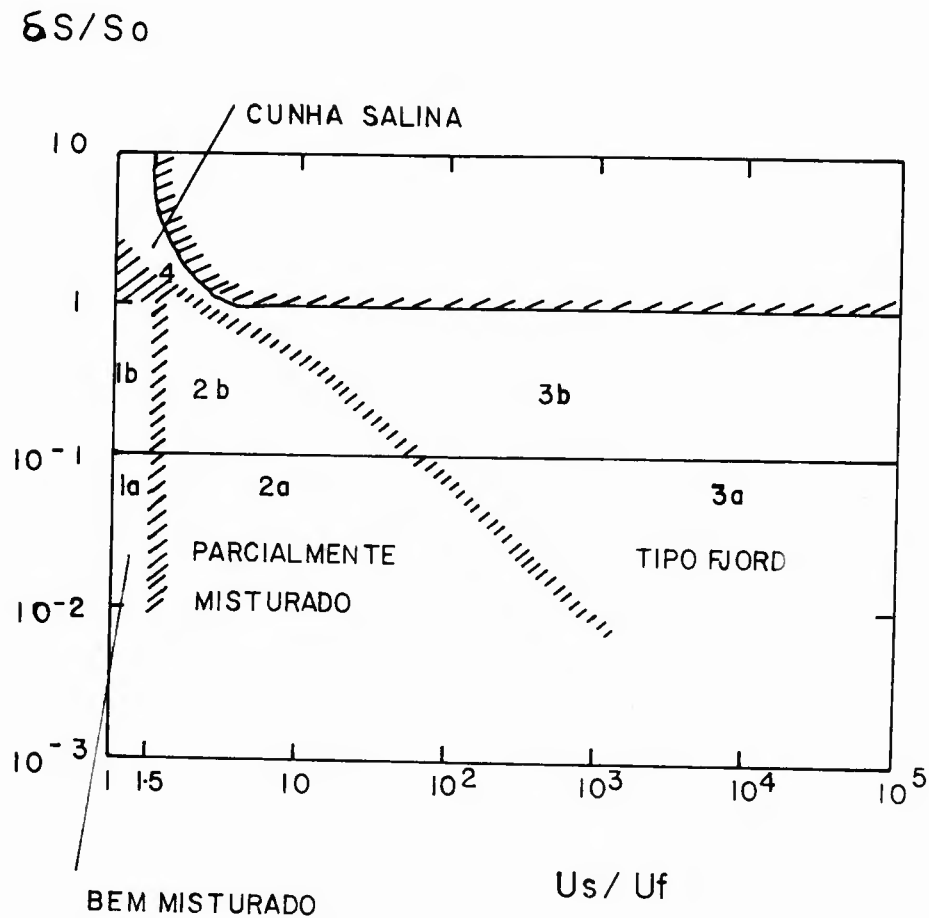


Figura 3 - Diagrama de classificação, segundo HANSEN & RATTRAY⁴ (1966)

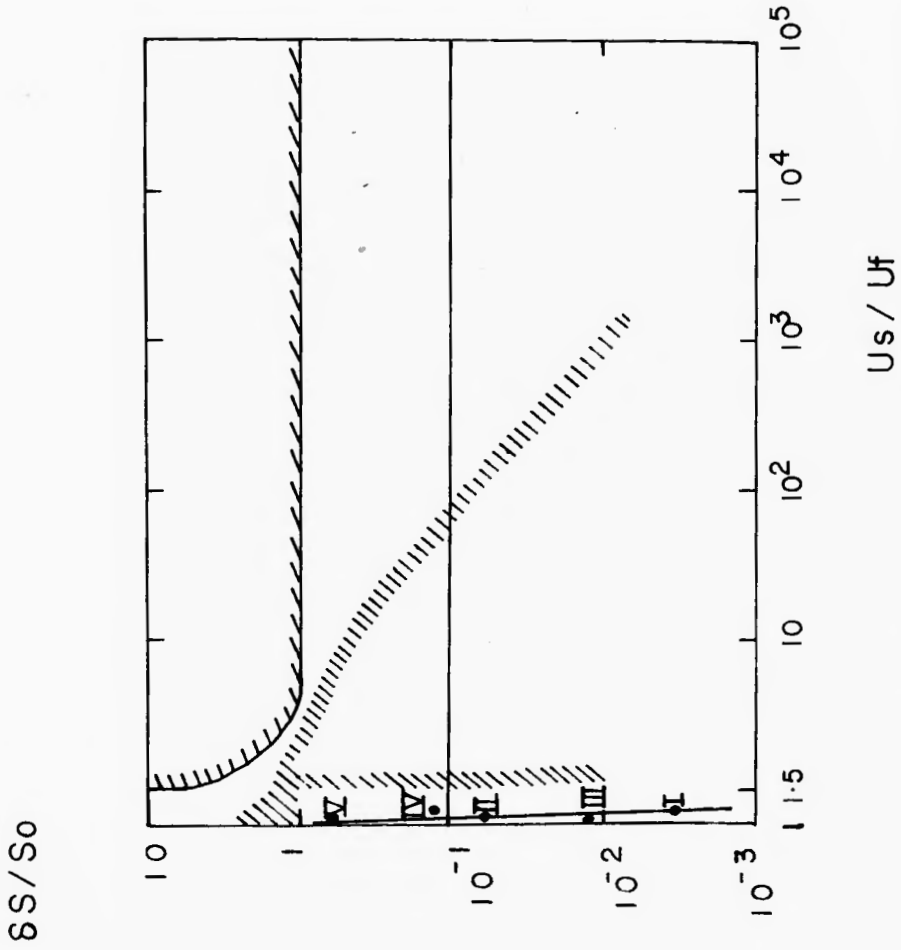


Figura 4 - Classificação do estuário do Rio Formoso.

As oscilações da temperatura que intervêm na viscosidade da água, influenciando na velocidade de sedimentação, das partículas parece somente ter importância relevante nos locais pouco movimentados, como é o caso das "gamboas" cujo aumento de temperatura, principalmente entre 10 e 14 horas acelera o processo de sedimentação. Nestes locais como referido, ocorrem bancos areno-lamosos sendo registrados valores altos de temperatura como 34 graus centígrados verificado às 13 horas. (AL)

As águas estuarinas na região norte-nordeste brasileira processam de forma lenta as trocas de calor com a atmosfera. As diferenças de temperatura em relação à água do mar raramente são maiores do que 4 a 5°C e as oscilações de temperatura são de pequenas amplitudes.

MACEDO⁹ et alli (1973), ESKINAZI-LEÇA³ (1974), verificaram que as variações de temperatura das águas do canal de Santa Cruz normalmente são menores do que 3°C. Resultados semelhantes foram obtidos por LIRA⁶ et alli (1978) estudando o estuário do Mamucaba e por PARANAGUÁ¹¹ et alli (1979) em pesquisa efetuada no estuário do Rio Igarassu, ambos em Pernambuco.

As maiores concentrações de material em suspensão do estuário nas águas superficiais ocorreram na sua zona inferior onde os valores médios variaram de 40.0 mg/l a 43.7mg/l para os períodos de estiagem e chuva, respectivamente. Este fato está aparentemente relacionado com a presença do Rio Arinquiná, que deságua nas proximidades da foz do Rio Formoso. A concentração da zona média do estuário foi estimada em 25mg/l, ocorrendo ocasionalmente valores acima ou abaixo deste. Em período de maior pluviosidade estudado (julho) as concentrações de material em suspensão aumentaram chegando quase a duplicar os valores acima referidos. Entretanto registrou-se para o período de estiagem (novembro), valor médio de 14.6mg/l a montante do estuário.

A distribuição vertical do material em suspensão e sua relação com a velocidade de corrente pode ser vista na figura 5, correspondente ao comportamento do curso médio do estuário. A diferença média entre os valores do material próxima ao leito e à superfície, determinou 14.9mg/l e 9.0mg/l para julho e novembro, respectivamente.

Fontes de material em suspensão

A concentração de sólidos em suspensão no estuário do Rio Formoso é proveniente da zona à montante do estuário, do mar, por ocasião das incursões de maré, das margens do estuário e da atividade orgânica do próprio ambiente.

O estudo do comportamento do material em suspensão revelou que o rio transporta menos de 15mg/l nos períodos chuvosos, parecendo ser pouco expressivo como fonte de suprimento para o estuário. É necessário ressaltar que o Rio Formoso, a exemplo de outros cursos d'água, da região, são rios costeiros, possuindo grande parte do seu curso sobre a influência marinha.

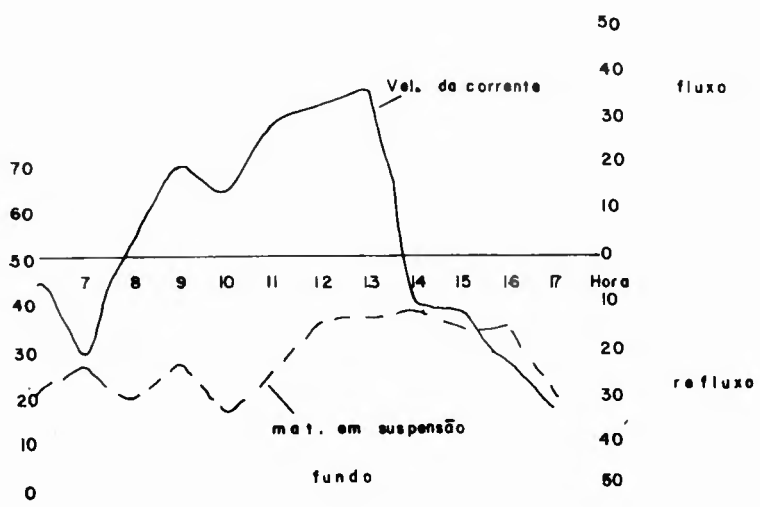
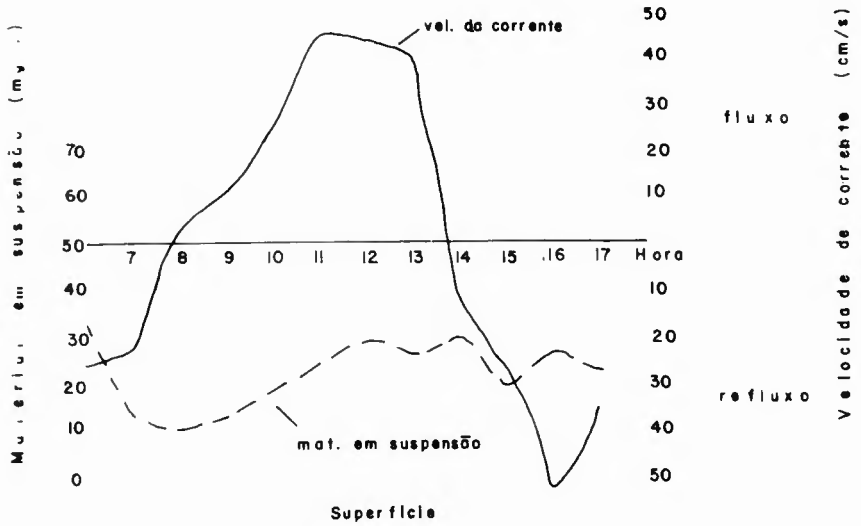


Figura 5 - Material em suspensão e velocidade. 2/nov./78.

Em relação ao material em suspensão, proveniente do mar, supõe-se que, sua contribuição para o estuário, também não é expressiva com base em 3 aspectos: o tipo de cobertura sedimentar da plataforma adjacente, presença de *beach-rocks* nas proximidades da foz do estuário e o comportamento das correntes marinhas costeiras da região.

Os sedimentos que recobrem a plataforma interna da região são formadas predominantemente por areias e cascalho, sobressaindo-se fragmentos de algas calcáreas dos gêneros *Halimeda*, *Lithothamnium*, *Udotea* e *Penicillus*, não existindo portanto, grandes possibilidades do mar fornecer quantidades expressivas de material para o estuário.

LIRA⁶ et alii (1978), estudando o estuário do Rio Mamucaba, localizado a 10.8 km do Rio Formoso constataram a presença de Recifes dispostos na sua desembocadura, não permitindo que o mar aja como significativo supridor do material em suspensão. Comportamento semelhante repete-se no estuário do Rio Formoso dada a presença de *beach-rocks* situados na foz.

Em virtude da dominância dos ventos SE na região (10 meses ao ano) as correntes marinhas costeiras têm sentido geral para N, sendo as partículas em suspensão levadas para longe do estuário. Observa-se ainda que as águas costeiras da região, a Sul do Recife, apresentam menor turbidez quando comparada com as águas ao Norte da capital do Estado.

As margens do estuário do Rio Formoso estão colonizadas em cerca de 80% de mangues, onde predominam sedimentos lamosos de coloração escura ricos em matéria orgânica, os quais parecem que constituem a fonte mais importante de material em suspensão no estuário.

O mecanismo de fornecimento está, entre outros fatores, relacionado com a elevação das águas devido às oscilações da maré dinâmica que, em suas pulsações mais significativas impõem à água importante quantidade de material fino sedimentado no mangal e "trapeado" nas raízes do complexo vegetal existente.

Analisando-se a tendência dos solos em suspensão através de um ciclo de maré, verificou-se que os valores máximos foram encontrados na preamar e no início do refluxo e os mínimos no começo do fluxo. Por outro lado, a velocidade das águas é menor na metade do fluxo e na preamar. Na realidade o aumento do material em suspensão por ocasião da elevação do nível das águas, que coincide com a menor dinâmica do estuário, reforça a hipótese de ser o mangue a mais importante fonte de suprimento de finos para o estuário.

Uma vez que não foi possível realizar um estudo mais aprofundado das atividades biológicas dos organismos, omite-se quaisquer especulações sobre participação dos mesmos como fonte de material orgânico para o ambiente.

MORFOLOGIA DO ESTUÁRIO

Como o estuário do Rio Formoso comporta-se em relação ao parâmetro estratificação e circulação como bem misturado os processos sedimentogenéticos que nele ocorrem estão condicionados, primordialmente, à sua morfologia.

As zonas preferenciais de sedimentação não estão condicionadas pelas pulsações da maré salina por serem diminutos os efeitos do gradiente de densidade no gradiente vertical de salinidade. Isto favorece à morfologia, maior influência na sedimentação. As ilhotas, gamboas e as secções transversais mais largas que provocam perturbações nos regimes de escoamento são diretamente responsáveis pela sedimentação.

O estuário do Rio Formoso (figura 6) pode ser dividido em três zonas distintas:

a) zona estuarina superior

Corresponde à zona situada à montante da maior ilha existente no estuário até o limite máximo de penetração da maré salina, ou seja, até as proximidades da cidade de Rio Formoso. A existência de bancos areno-lamosos recobertos pela vegetação mangal com predomínio de *Rhizophorae mangle* sobre os outros vegetais é assim como, a presença de um único canal com profundidade nunca superior a 2 metros são os aspectos mais característicos. É interessante a presença de bancos areno-lamosos com superfícies aplainadas que suportam grande estoque de moluscos bivalves, de importância comercial como *Mytella* spp. Estes organismos parecem estar condicionados no estuário a baixa salinidade e os locais de menos turbidez;

b) zona estuarina média

O elemento morfológico mais expressivo está representado por um canal de profundidade média de 7.05m que é o eixo de refluxo das águas. Este canal está praticamente ancorado na margem direita do estuário. Esta zona situada entre a desembocadura do Rio Ariquidá forma a ilha maior existente no estuário;

c) zona estuarina inferior

Compreende ao trecho entre a Ponta de Guadalupe e a desembocadura do Rio Arinquindá. A característica mais importante em relação às suas margens é a ausência de mangues. É o trecho mais largo do estuário onde destaca-se a presença de 2 canais, um de fluxo e outro de refluxo, situados próximos às margens e divididas por um pequeno banco arenoso. O canal da margem esquerda tem 5 metros e o da direita 3m de profundidade. (figura 7).

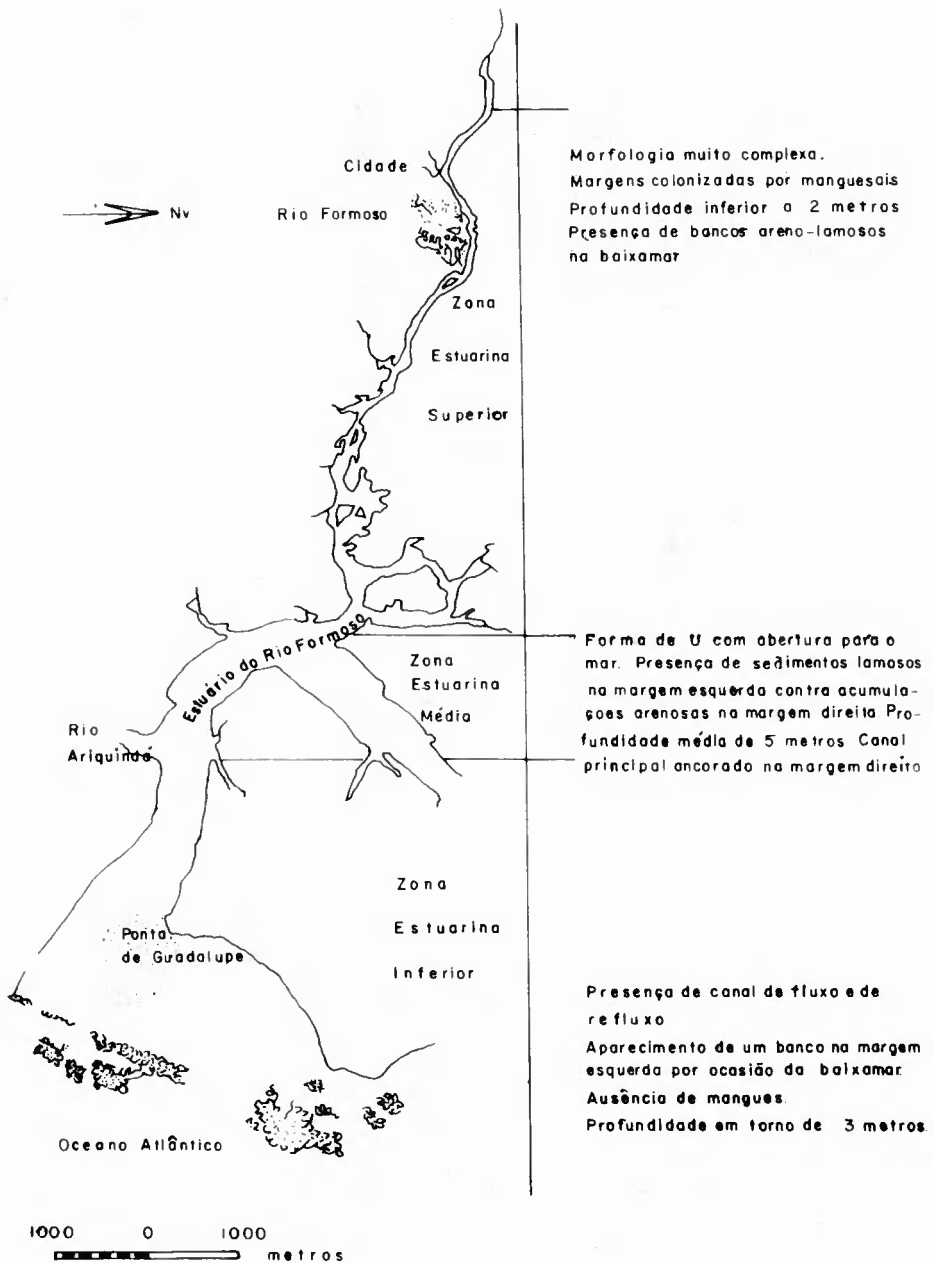


Figura 6 Esquema das zonas estuarinas.

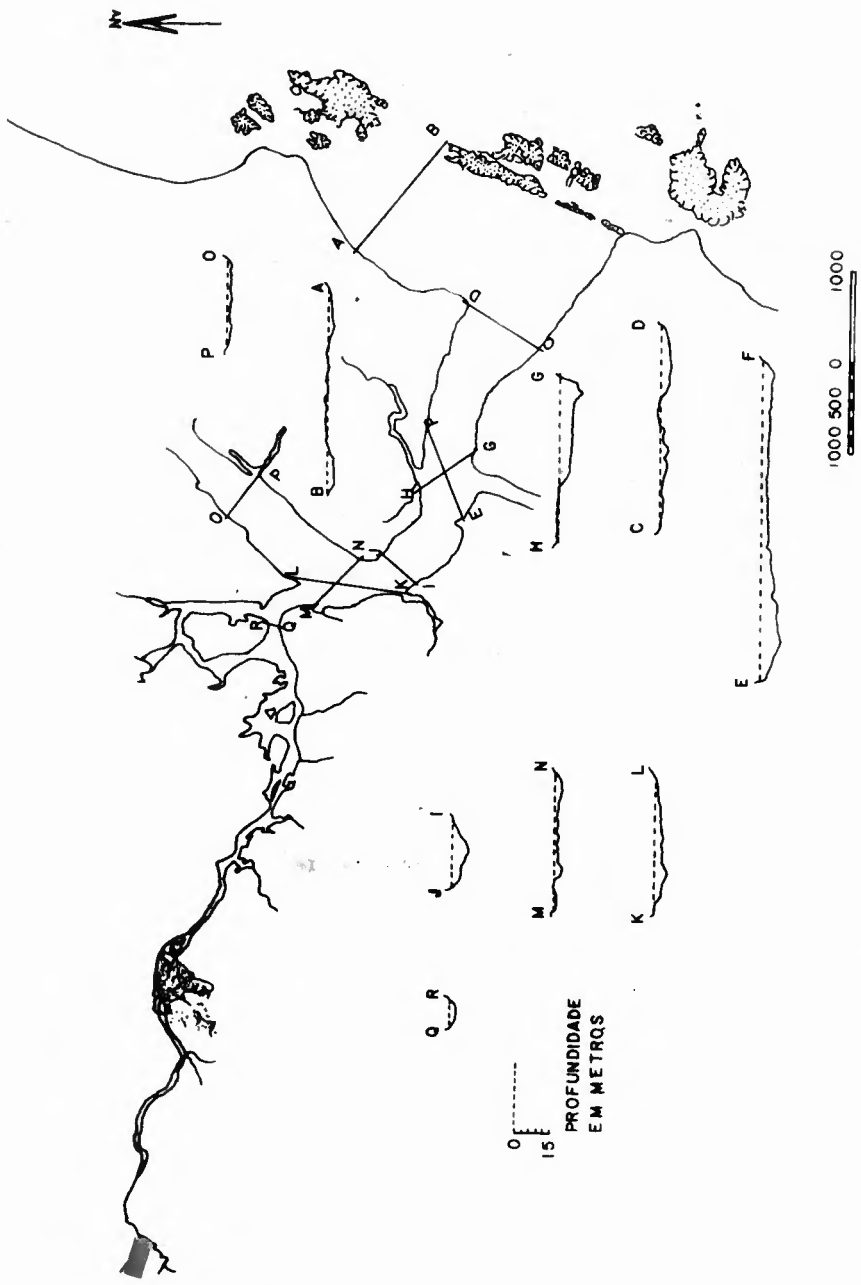


Figura 7 - Estuário do Rio Formoso. Perfis batimétricos.

CLASSIFICAÇÃO DO ESTUÁRIO DO PONTO DE VISTA GEOLÓGICO

Geologicamente, os estuários podem ser classificados em 3 tipos: estuário de planície costeira ou de vale de um rio afogado, estuário formado por barreira e estuário do tipo fjord (PRITCHARD¹², 1967).

O estuário do rio Formoso é do tipo de planície costeira, em vista aos seguintes aspectos: presença de um canal central com seções transversais, evidenciando calha ligeiramente triangular; profundidade máxima menor do que 15 metros; a razão entre largura e profundidade é maior que 1m. Aliado a estes fatores, o estuário conta com uma pequena planície costeira constituída por sedimentos quaternários.

Cobertura sedimentar

Os sedimentos que recobrem a calha do Rio Formoso são, predominantemente, quartzosos. Dominam áreas médias nas zonas média e inferior. Na zona estuarina superior, em virtude de sua morfologia e maior dinâmica das águas, predominam areias grossas, especialmente, preenchendo o canal principal. Os histogramas da composição granulométrica revelaram uma distribuição bimodal e mal classificada.

MARTINS⁸ et alii (1972), estudando várias praias do litoral de Santa Catarina, citam que "as areias ativadas por índices elevados de energia são unimodais e bem selecionadas. Níveis pouco expressivos de energia revelam areias mal selecionadas, por sua vez bimodais e apresentando elevado número de classes texturais".

A proteção dos recifes na desembocadura do estuário, a baixa amplitude de maré e descarga líquida fluvial de pequeno porte; imprime ao ambiente energia moderada, evidenciada também pela distribuição granulométrica dos sedimentos.

A presença de carbonato de cálcio nos sedimentos do estuário do Rio Formoso é devido, principalmente, a sedimentação carbonática de clorófitas calcáreas do gênero *Halimeda*. Moluscos bivalves e gastrópodos, principalmente, os pertencentes à família *Caecidae*, Briozoários e Foraminíferos bentônicos completam a assembléia carbonática.

O gradiente de CaCO_3 aumenta no sentido do mar. Na zona entre os recifes e a desembocadura do estuário propriamente dita, a porcentagem de CaCO_3 é maior do que 10%, constatando-se valores de até 14%. Nesta área há maior frequência de areias finas, sobre as outras classes na escala de Wentworth. Ao longo do estuário dominam porcentagem de CaCO_3 menor que 5%, encontrando-se com frequências valores mínimos. Destaca-se, principalmente nas zonas média e inferior, manchas isoladas com valor entre 5 a 10% de CaCO_3 . (figura 8).

Não existe fonte de CaCO_3 para o estuário proveniente das terras circundantes, uma vez que a área está representada por rochas cristalinas graníticas, alguns re-

manescentes do vulcanismo mesozóico que ocorre na região do Cabo e sedimentos do grupo Barreiras.

A distribuição das algas do gênero *Halimeda* nos sedimentos mostra-se compatível com a distribuição do Carbonato de Cálcio, já que estas algas constituem a maior fonte de CaCO_3 para o estuário. (figura 9).

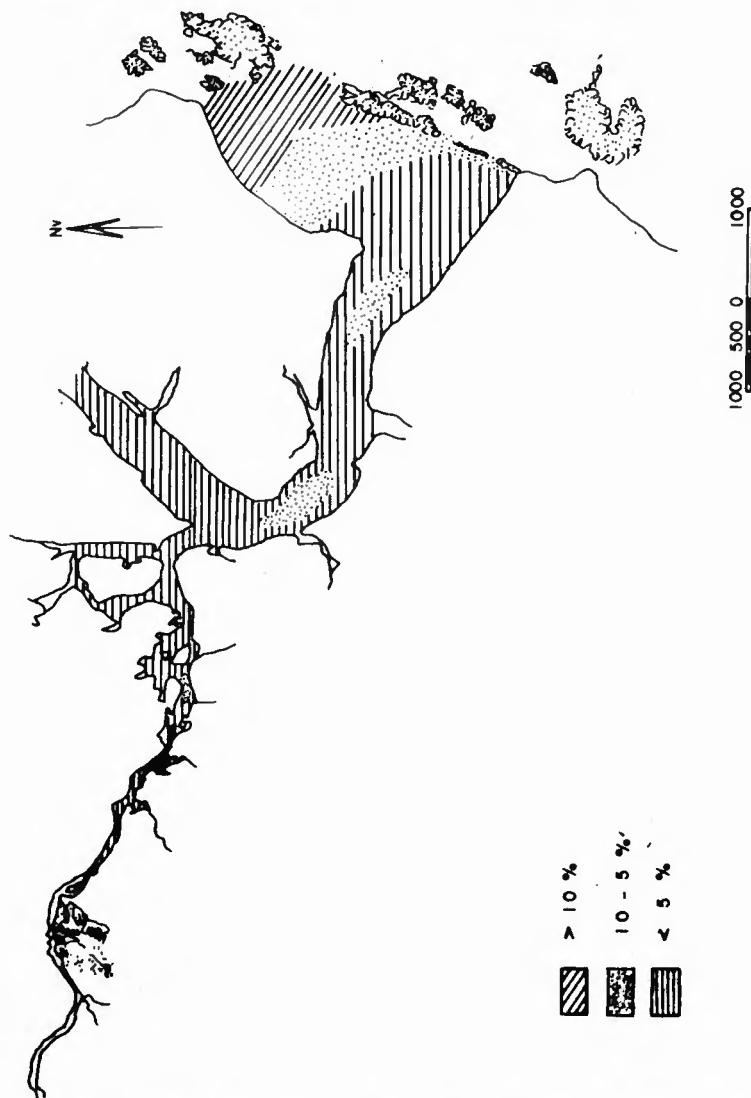


Figura 8 - Estuário do Rio Formoso. Distribuição CaCO_3 no sedimento total;

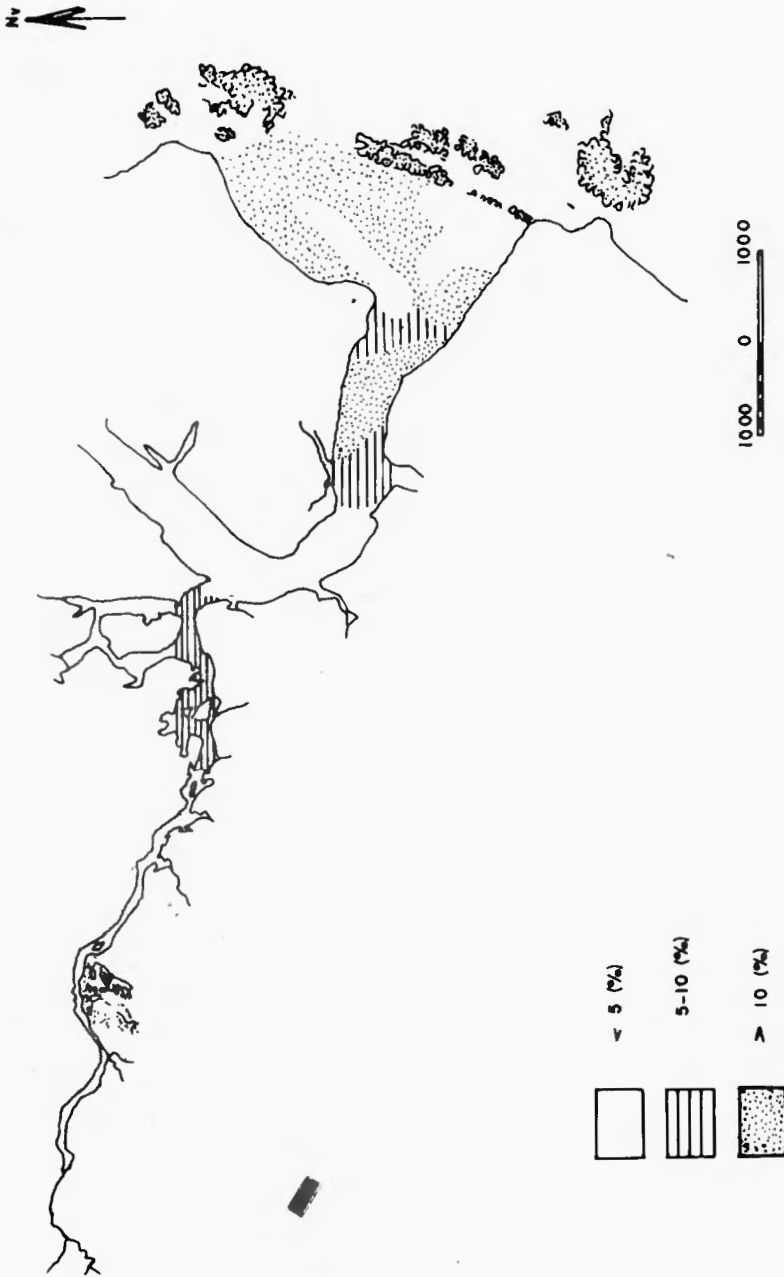


Figura 9 - Estuário do Rio Formoso de Halimeda na fração areia.

CONCLUSÕES

Do ponto de vista geológico, o estuário do Rio Formoso é de planície costeira, revelando três zonas morfológicas distintas, destacando-se, no curso inferior, dois canais, um de fluxo e outro de refluxo das águas.

A cobertura sedimentar está composta especialmente por material terrígeno, dominando areias quartzosas grossas na zona de maior influência fluvial, contra sedimentos areno-lamosos com teores de carbonato de cálcio de 16% no máximo, relacionados à presença de organismos marinhos.

A proteção dos recifes na desembocadura do estuário, a baixa amplitude das marés na região e a pequena descarga líquida fluvial, imprimem ao ambiente energia moderada, evidenciada também pela distribuição granulométrica dos sedimentos.

As curvas de marés na foz são em geral simétricas, podendo-se verificar seis horas de fluxo e seis de refluxo das águas. Entretanto, esta simetria altera-se em função da vazão a montante do estuário e a medida que a influência marinha diminui sobre o estuário. Na região superior do estuário a curva de maré, evidenciou 4 horas de fluxo contra 8 horas de refluxo.

A configuração do curso do estuário perpendicular à linha de praia é responsável, entre outros fatores, pela penetração da maré de salinidade de 10.5 quilômetros para o continente, superando as intrusões salinas em outros estuários de Pernambuco de curso paralelo à linha da costa.

Existem dois padrões de distribuição longitudinal da salinidade, correspondendo às zonas do baixo e médio curso, com águas polialinas e a do alto curso com águas mesoalinas, segundo o Sistema Veneza de Classificação. (REID & WOOD¹³, 1976).

O estuário não apresenta estratificação marcante de salinidade. Quando as correntes de enchente atuam, ocorre uma incipiente estratificação de águas, com diferenças máximas de 9‰, que desaparece no início da maré vasante. Este fenômeno foi observado apenas na região superior do estuário.

As velocidades das águas guardam uma estreita relação com a morfologia do estuário, evidenciando padrões de velocidade para cada zona. Os máximos de velocidade acontecem na baixamar, onde as correntes de derrame chegam a 63cm/s.

Em relação aos parâmetros de velocidade e salinidade o estuário é do tipo bem misturado.

O tempo necessário para a renovação da água doce no estuário é de aproximadamente 11-12 dias, correspondendo a descarga líquida fluvial de 5m³/s.

As maiores concentrações de material em suspensão foram determinados na zona estuarina inferior e a mais importante fonte de suprimento parece ser os mangues que liberam para o estuário, na preamar, boa parte de finos "trapeados" nas raízes da vegetação do mangal.

ABSTRACT

From the geological point of view, the Rio Formoso estuary is a plain coastal environment. Two pattern of salinity distribution were determined: one, concerning the middle and lower zones (25‰) and the other to the higher zone (6,5‰). Current velocities showed maximum values of 63cm/s (higner course), 52cm/s (middle course) and 29cm/s at the lower course. No only suspended. Matter given mainly by the shores, but also salinity maximum values are determined during the high tide. Twelve days are the "flushing-time" calculated for the river discharge. According to the circulation and stratification diagram suggested by Hanser and Rattray (1966) the estuary is classified as well mixed. The sedimentary cover of the botton is composed by sand material mixed with organisms scraps, predominantely of marine origen mainly in the lower course.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – ABECASIS, F. & MATIAS, M. F. Relatório do domínio. III. Portos e obras marítimas (tema português). In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 3., Luanda, Lourenço Marques, 1971. p. 42.
- 2 – DROOGER, C. W. & KAASSCHIETER, J. P. H. Foraminefera of the Orinoco-Trinidad-Paris shelf expedition. *Verhand. Kon. Nederl. Akad. Wetensch. Afd. Natuurk.*, 4:108, 1958 apud TINOCO, Ivan de Medeiros. Sugestões para o estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes. *Estudos Sedimentológicos*, Natal, 2(1/2):46, jan./dez. 1972.
- 3 – ESKINAZI-LEÇA, E. *Composição e distribuição do microfítoplâncton na região do Canal de Sta. Cruz (Pernambuco-Brasil)*. Recife, 1974. 129 p. Livre Docência-Instituto de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco.
- 4 – HANSEN, D. V. & RATTRAY Jr., M. New dimension in estuary classification. *Limnology and Oceanography*, Milwaukee, 11:319, 1966.
- 5 – LIRA, Luiz. Distribuição de sedimentos na praia submarina entre Pau Amarelo e Carne de Vaca-PE. *Caderno Ômega da Universidade Federal Rural de Pernambuco*, Recife, 2(2):95-108, dez. 1978.
- 6 – -- et alii. Material em suspensão, temperatura e salinidade no estuário do Rio Mamucaba-PE. *Caderno Ômega da Universidade Federal Rural de Pernambuco*, Recife, 2(1):97-116, jul. 1978.
- 7 – MACÊDO, Silvio J. et alii. Condições hidrológicas do Canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE. *SUDENE. Boletim de Recursos Naturais*, Recife, 11(1/2):55-92, jan./dez. 1973.
- 8 – MARTINS, L. R. et alii. Misturas populacionais e efetividades de energia ambiental. *Pesquisas*, Porto Alegre, 1:13-24, maio, 1972.
- 9 – MOURA, A. Casal. *A dinâmica estuarina e sua influência nos processos sedimentológicos*. Lourenço Marques, I.I.C.M., 1973. Separata de *Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique*, Série B. Ciências Geográficas e Geológicas, Lourenço Marques, 9:53-86, 1973.
- 10 – OTTMANN, F. L'étude des problèmes estuariens. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, Paris, 10(4):320-53, 1968 apud MOURA, A. Casal. *A dinâmica estuarina e sua influência nos processos sedimentogênicos*. Lourenço Marques, I.I.C.M., 1978. Separata de *Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique*, Série B. Ciências Geográficas e Geológicas. Lourenço Marques, 9:56, 1973.

- 11 – PARANAGUÁ, Maryse Nogueira et alii. Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. II. Distribuição do zooplâncton no estuário do Rio Igarassu. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, Recife*, 14:65-92, 1979.
- 12 – PRITCHARD, D. What is an estuary; physical view-point. In: LAUFF, George H. ed. *Estuaries*. Washington, American Association for the Advancement of Science, 1967. (Publication, 83). p. 3-5.
- 13 – REID, George K. & WOOD, Richard D. *Ecology of inland waters and estuaries*. New York, D. Van Nostrand Reinhold, 1976. 375 p.
- 14 – TINOCO, Ivan de Medeiros. Sugestões para o estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes. *Estudos Sedimentogenéticos*, Natal, 2(1/2):43-51, jan./dez. 1972.