

Estuários

Estuários:

- importância
- definição,
- tipos (os sistemas costeiros),

Circulação de sistemas estuarinos

- escalas temporais envolvidas
- o efeito da maré
- o efeito do vento
- o efeito da descarga fluvial

Lagoas Costeiras

- formação
- classificação
- localização
- lagoas costeiras brasileiras
- A Lagoa dos Patos

Tempo de residência

Levantamento e análise de dados

Estuários

- Uma das definições mais comumente adotadas é a de Cameron e Pritchard (1963): **Estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado, com ligação livre com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mesuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.**
- A definição dada por Dyer (1997), é uma adaptação da definição proposta por Cameron e Pritchard (1963):
- ***Estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado, com ligação livre com o oceano aberto, que se estende ao longo do rio até o limite de influência da maré, no interior do qual a água do mar é mesuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.***

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS ESTUÁRIOS



PORQUE ESTUDAR OS ESTUÁRIOS?

- ★ Cerca de 60% das grandes cidades distribuídas ao redor da Terra estão localizadas nas proximidades dos estuários;
- ★ Os estuários são um dos sistemas biologicamente mais produtivos do mundo!
- ★ Mais de 2/3 da produção de peixes e crustáceos passa parte das suas vidas nos estuários;
- ★ Facilidades para instalações portuárias comerciais e navais;
- ★ Capacidade natural de renovar periódica e sistematicamente suas águas;
- ★ Via de acesso para o continente;
- ★ Facilidades que favorecem atividades econômicas e de lazer. Milhões de pessoas praticam atividades como pesca e navegação, e outras tantas se beneficiam dos estuários como fonte de alimentação e de renda.

A descarga de água doce na parte interna, a entrada de água do mar, e o transporte de sedimento em suspensão e nutrientes orgânicos e inorgânicos são processos de grande importância para o desenvolvimento urbano, social e econômico das regiões estuarinas.

Uma parte dessas substâncias é utilizada como alimento pelos organismos marinhos, mas os poluentes que também são transportados juntamente com substâncias naturais, podem afetar uma grande variedade da biota marinha e representar uma ameaça para a saúde das populações que utilizam esses recursos naturais como alimento. As principais fontes destas substâncias são:

- ★ Despejos municipais (fontes de organismos patogênicos, matéria orgânica, e nutrientes);
- ★ Atividades agrícolas (fontes de pesticidas e herbicidas);
- ★ Indústrias, portos, marinas e navegação (fontes de metais pesados, óleos e substâncias químicas tóxicas);
- ★ Usinas de eletricidade (fontes de calor);
- ★ Atividades de pavimentação, agricultura, e obras portuárias (fontes de sedimento).

APLICAÇÕES DO ESTUDO DA DINÂMICA DOS ESTUÁRIOS

- ★ Avaliar os impactos de alterações na bacia hidrográfica e na geometria dos estuários;
- ★ Identificar as zonas de erosão/deposição de sedimento, que podem prejudicar a navegação;
- ★ Identificar zonas apropriadas para deposição de material dragado
- ★ Acompanhar a ocorrência da Zona de Turbidez Máxima
- ★ Calcular o tempo de permanência de substâncias no interior do estuário;
- ★ Avaliar a distribuição de propriedades físicas, químicas e biológicas para suportar projetos de aquicultura;
- ★ Prever o comportamento do sistema no caso de acidentes portuários (Navio Bahamas, por exemplo);
- ★ Estudar a dispersão de poluentes;
- ★ Estudar a dinâmica da pluma estuarina;
- ★ Estudar o aporte de sedimento do estuário para a zona costeira adjacente (formação de bancos de lama).

FORMAÇÃO E IDADE GEOLÓGICA DOS ESTUÁRIOS

Com algumas exceções, os estuários formam-se em regiões de transição relativamente estreitas entre o mar e o continente.

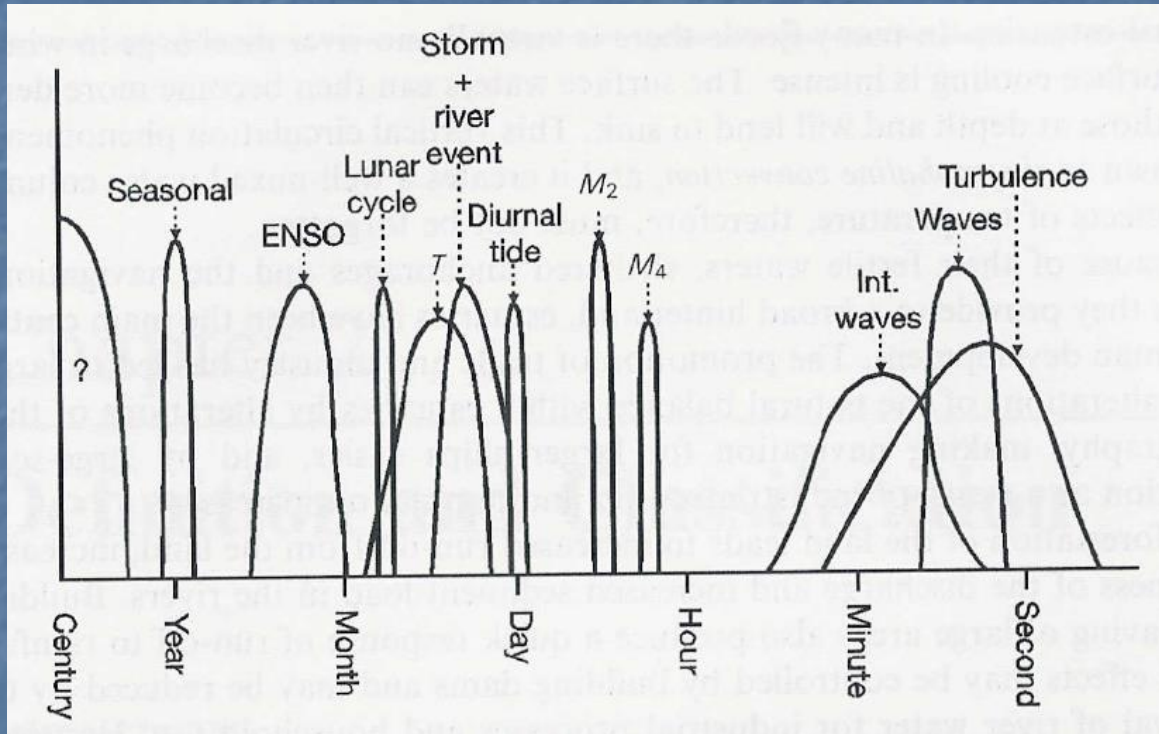
São ambientes de época geológica muito recente (< 5 mil anos), e a sua forma e extensão é constantemente alterada pela erosão e deposição de sedimento, e por alterações seculares no nível do mar. Estas alterações no nível do mar podem ser decorrentes de variações:

★ **Eustáticas:** variações de massa (por congelamento ou degelo) e de volume (por alterações da concentração de calor, aquecimento e resfriamento dos oceanos);

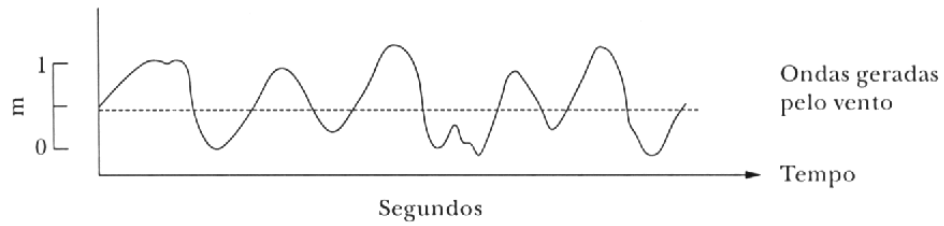
★ **Isostáticas.** movimentos da crosta terrestre, variações da geometria das bacias oceânicas, compactação e erosão de sedimentos não consolidados.

A última transgressão marinha, denominada **transgressão Flandriana**, teve início há cerca de 15 mil anos atrás e até 7 mil anos atrás houve uma rápida ascensão do nível do mar. Ao final deste processo transgressivo, o mar atingiu aproximadamente o nível atual, e as planícies costeiras e os vales dos rios foram gradativamente inundados, dando origem aos estuários, enseadas, baías e lagunas costeiras.

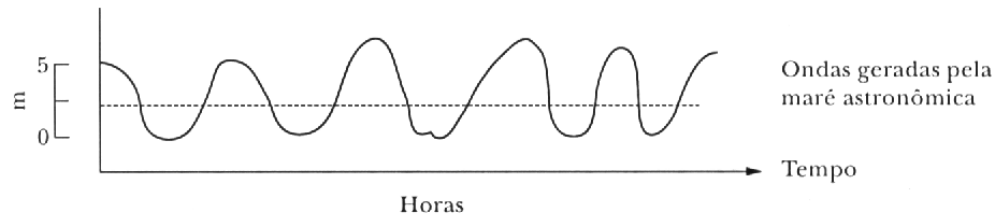
Escalas Temporais



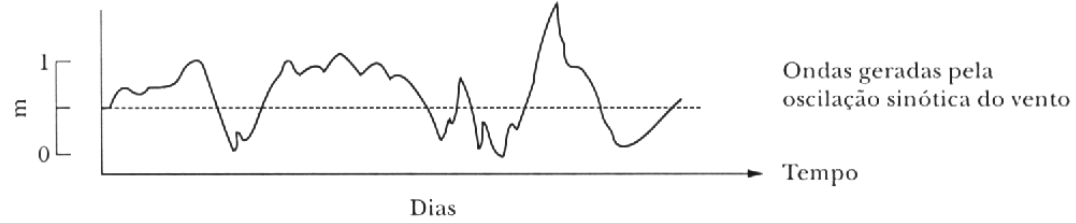
(a)



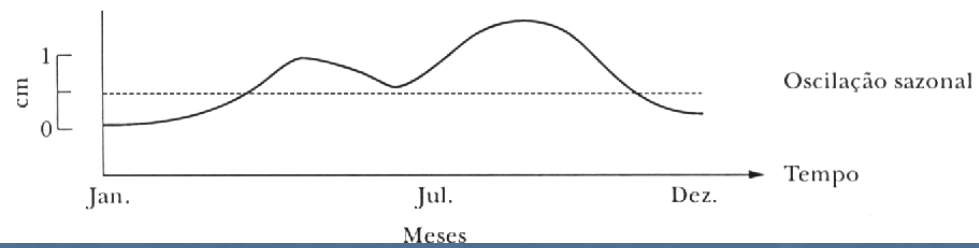
(b)



(c)



(d)



No presente estão ocorrendo variações do nível do mar no litoral de alguns países devido a oscilações naturais e antropogênicas da crosta terrestre (isostáticas), que podem ter futuras implicações na sobrevivência dos estuários. Exemplos:

- ★ A linha de costa da Escócia está se elevando a uma taxa de 3 mm/ano (abaixamento relativo do nível de -0.3 m/século), em resposta ao decréscimo do peso sobre o continente ocasionado pelo derretimento de camadas de gelo decorrente do aquecimento climático.
- ★ Uma subsidência da linha de costa está acontecendo na Holanda, com uma taxa de afundamento da ordem de 2 mm/ano (elevação relativa do nível do mar de 0,2 m/século).
- ★ A região sudeste da Inglaterra também está sendo submetida a um sério processo de subsidência da linha de costa, pois a elevação natural do nível do mar está ocorrendo simultaneamente ao abaixamento do litoral, aumentando o movimento relativo.

PREVISÕES ANIMADORAS:

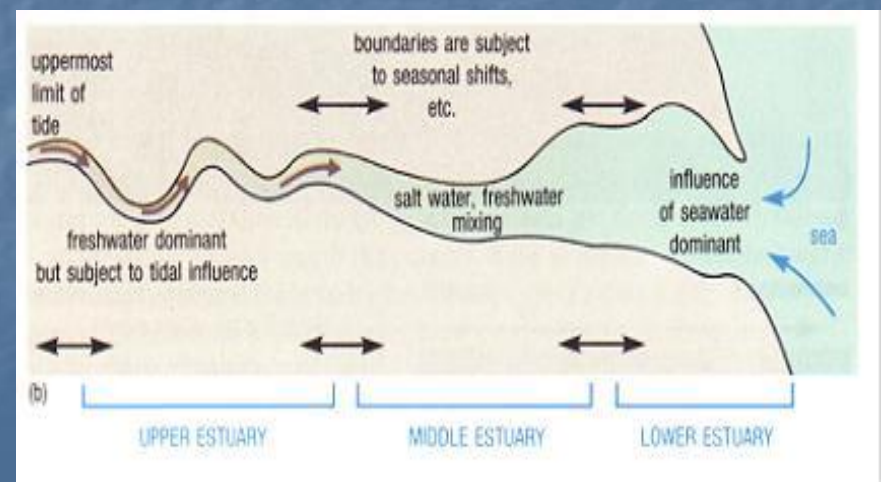
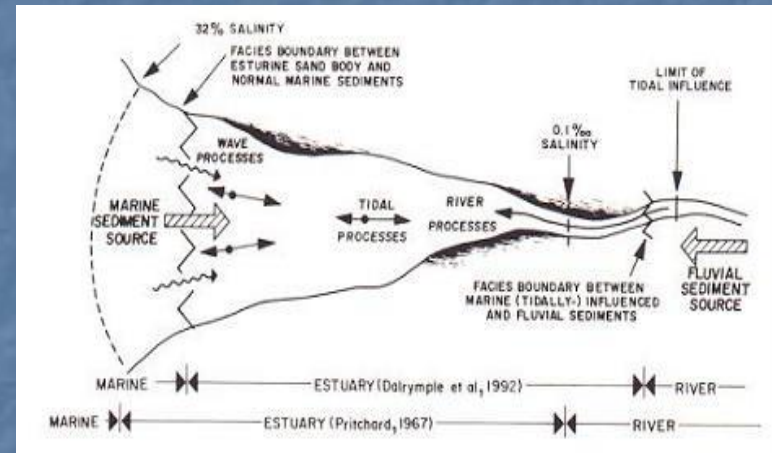
Para os próximos anos foi estimado um aquecimento entre 1,5 e 3 °C na temperatura da superfície do mar, o que terá uma grande influência no comportamento hidrodinâmico dos estuários e outros ambientes costeiros.

- ★ Existem previsões de que o aumento do nível do mar deverá ser acelerado devido ao *global warming*, atingindo um aumento de 1 m até o ano de 2100 (Dyer, 1997).
- ★ Se toda calota polar descongelar o nível do mar se elevará cerca de 30 metros (Dyer, 1997). Nesse caso, os atuais estuários serão inundados formando-se novos ambientes estuarinos na parte superior dos rios....

Melhor sair do Cassino....

Estuários

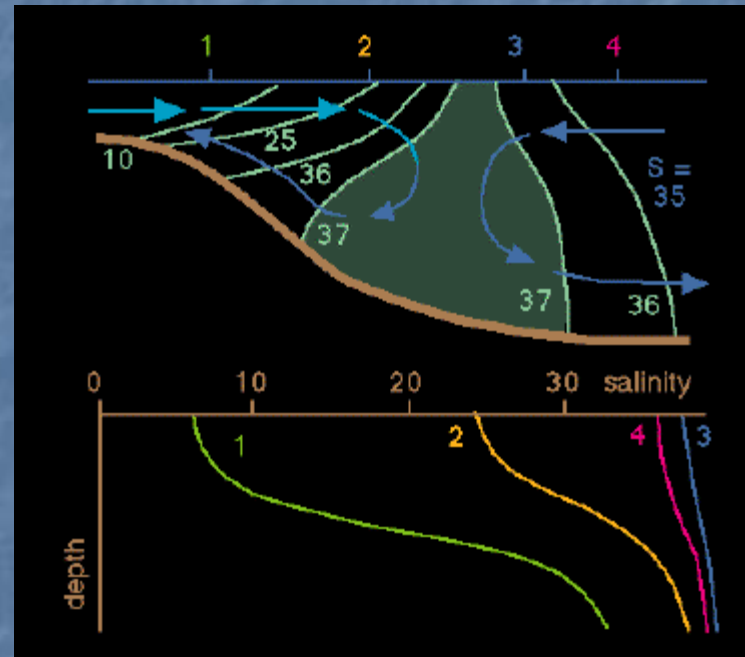
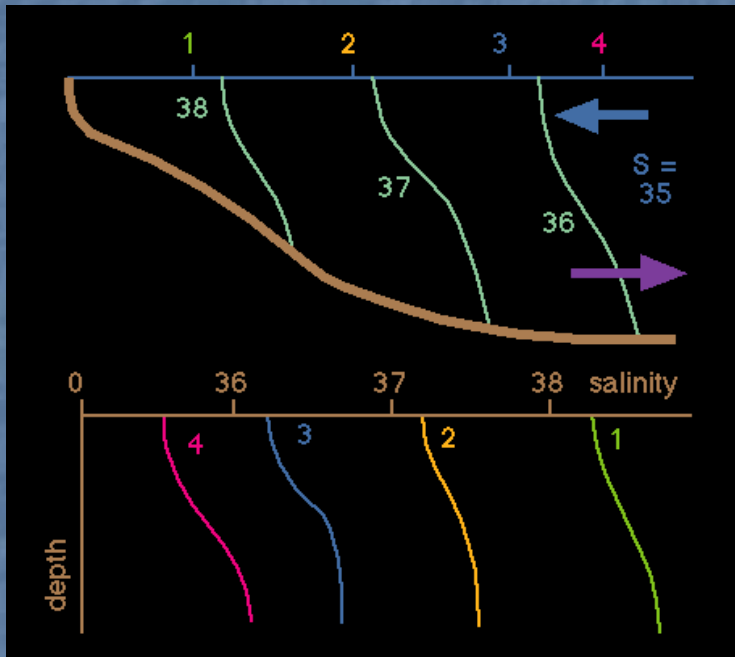
- Kjerfve (1984) enfatizou as diversas regiões de um estuário mostrando que este pode ser dividido em três áreas distintas:
- 1) zona costeira externa, área da pluma; 2) zona de mistura; 3) área de influência da maré no rio caracterizada por águas continentais mas sujeita à influência diária da maré.



Estuários - classificações

- Classificação por amplitude de maré
- Classificação geomorfológica
 - Planície costeira
 - Barra
 - Fjord
 - Outros
- Sistemas costeiros (Magill e Kjerfve, 1989)
- Classificação por estrutura halina
 - Altamente estratificado
 - Parcialmente estratificado
 - Bem misturado

Estuários invertidos



Alligator river, Austrália

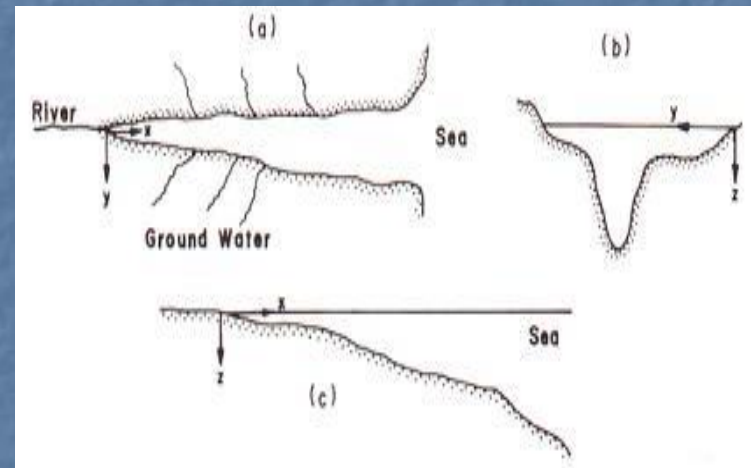
Classificação pela maré:

- **Micromaré:** altura de maré < 2m
 - A circulação é dominada pela ação do vento e das ondas, e o efeito da maré fica restrito as proximidades da boca do estuário.
 - **Exemplos: Baía de Chesapeake**
 - **Lagoa dos Patos**
- **Mesomaré:** 2m < altura de maré < 4m
 - São os estuários mais estudados. A circulação é controlada pelas correntes de maré.
 - **Exemplos: São dominantes nas costas E e W dos EUA**
 - **Predominam na Indonésia**
 - **Baía Blanca, Argentina**
- **Macromaré:** 4m < altura de maré < 6 m
 - São os estuários menos estudados. A circulação é dominada pelo efeito da maré e o efeito das ondas é importante na boca do estuário.
 - **Exemplos: Gironde, França**
- **Hipermaré: Bay of Fundy, Canadá**

Classificação pela geomorfologia

Estuários de Planície Costeira:

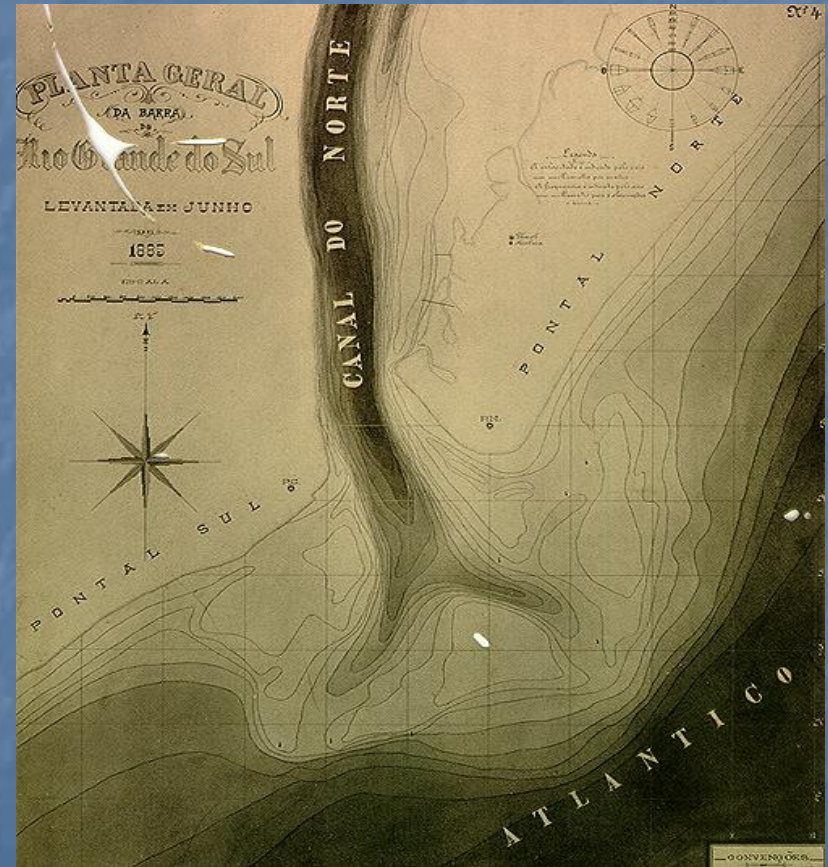
- São típicos de regiões de planície costeira (!) e se formaram durante a transgressão do mar que inundou os vales dos rios no Holoceno.
- São relativamente rasos, raramente excedendo 30 m de profundidade, com as maiores profundidades localizadas próximas à boca do estuário.
- Geralmente são orientados na direção perpendicular à costa, em forma de V.
- A área da secção transversal (largura x profundidade) tem forma de V, sendo maior próximo à boca do estuário e diminuindo estuário acima.
- $S_x = S_0 e^{-kx}$
- Como a razão largura/profundidade é grande, o fluxo depende da intensidade da descarga fluvial e da altura da maré.



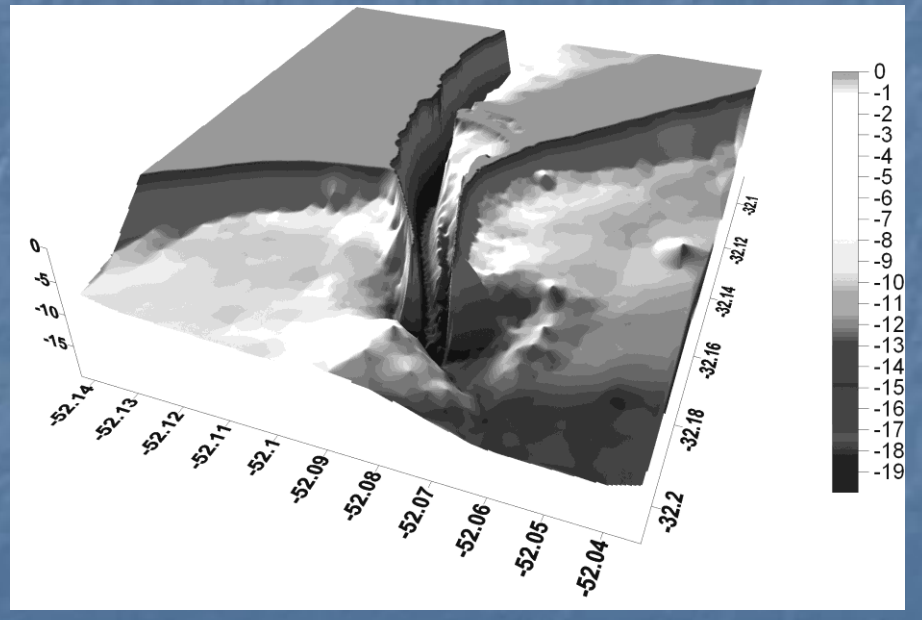
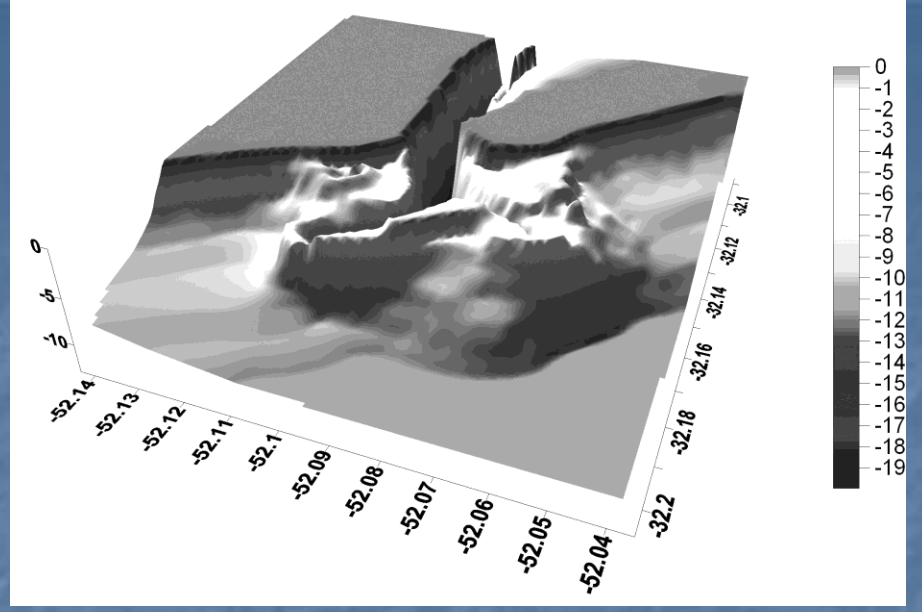
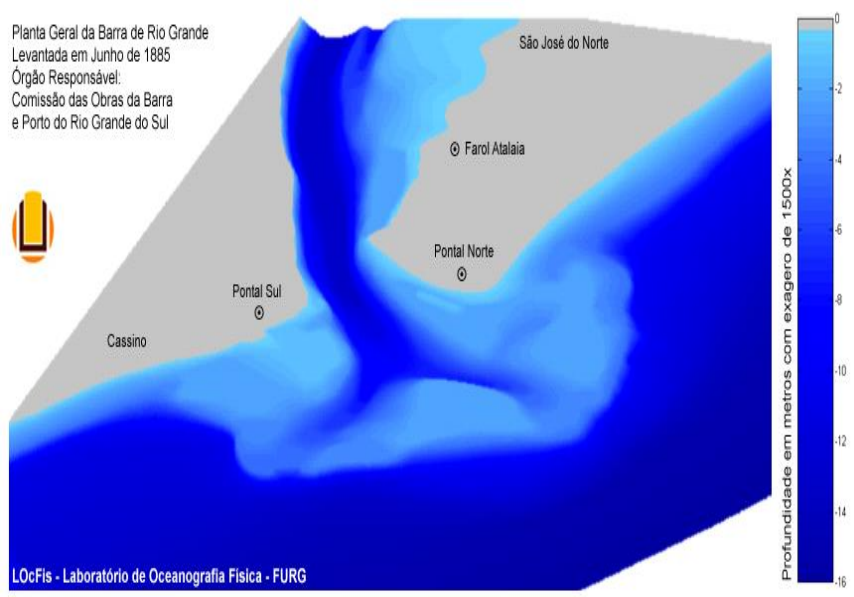
Classificação pela geomorfologia

- **Estuários construídos por barras:** lagoas costeiras
- - Também são estuários formados pela inundação de vales primitivos de rios durante a transgressão marinha, mas a sedimentação recente ocasionou a formação de barras na sua boca. Portanto, estes ambientes estão associados a regiões costeiras que podem sofrer processos erosivos com facilidade, produzindo grandes quantidades de sedimento que são re-trabalhados pelas ondas e transportados pelas correntes litorâneas para formar as barras.
 - Esses sistemas são rasos, com profundidade não superior a 20-30 m, e podem apresentar canais e lagunas extensas no seu interior.
 - O sistema de rios que alimenta estes estuários apresentam descarga fluvial variável de acordo com a estação do ano e podem transportar grande concentração de sedimento em suspensão, ocasionando alterações sazonais na geometria da boca do estuário.

Classificação pela geomorfologia



Planta Geral da Barra de Rio Grande
Levantada em Junho de 1885
Órgão Responsável:
Comissão das Obras da Barra
e Porto do Rio Grande do Sul



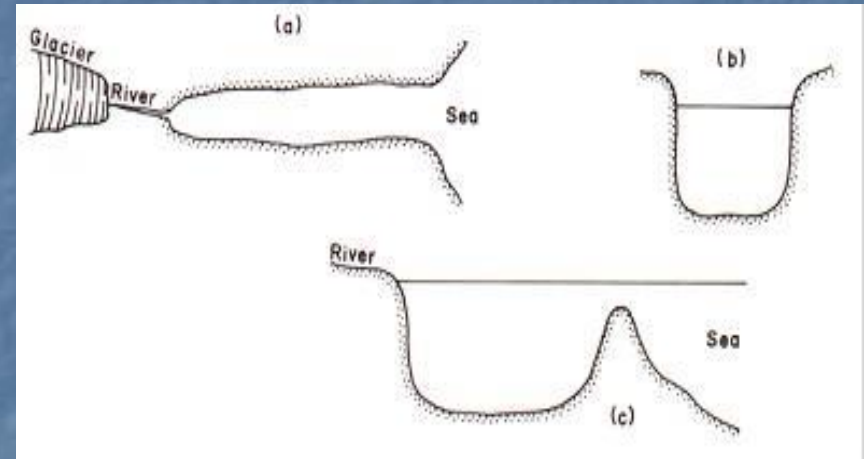
Classificação pela geomorfologia

Fiordes

- Formaram-se em regiões que durante o Pleistoceno estavam cobertas pelas calotas de gelo. As calotas de gelo invadiram os vales dos rios primitivos e a sua pressão sobre os blocos continentais e os efeitos erosivos durante o descongelamento aprofundaram os vales dos rios primitivos e criaram um vale totalmente diferente, que foi inundado a medida que o mar avançou.
- A profundidade dos vales pode variar entre 200 e 800 m, alcançando um máximo de 1200 m.
- São sistemas profundos e a razão largura profundidade é relativamente pequena quando comparada com estuários de planície costeira. A secção transversal é aproximadamente retangular.

Exemplos:

- Fiordes Osla e Hardanger, Noruega, h ~ 1200 m.
- Mercier Channel, Chile, h ~ 1200 m.
- Milford Sound, Nova Zelândia.
- Loch Etive, Escócia.



Classificação pela geomorfologia

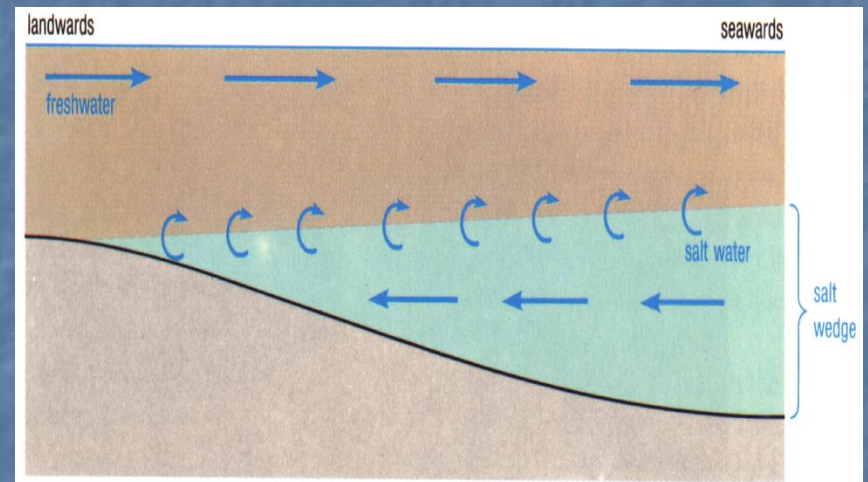
■ Outros

■ Originados por

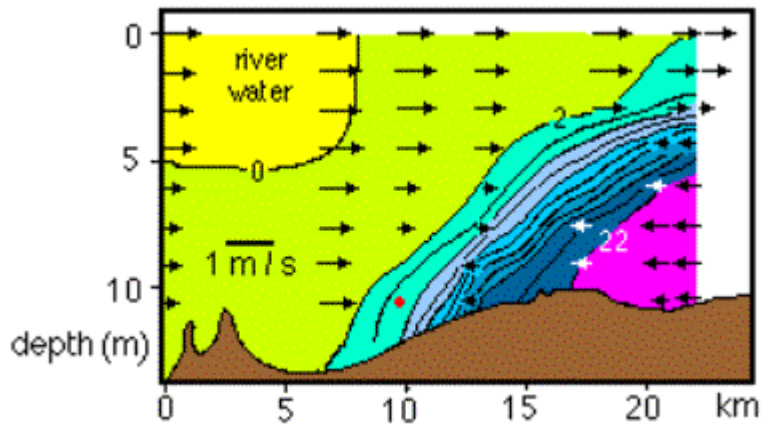
- A) falhas tectônicas – Baía da Califórnia
- B) erupções vulcânicas
- C) morfologia alterada por sedimentação recente
 - Deltas
 - Rias

Classificação pela estratificação de salinidade

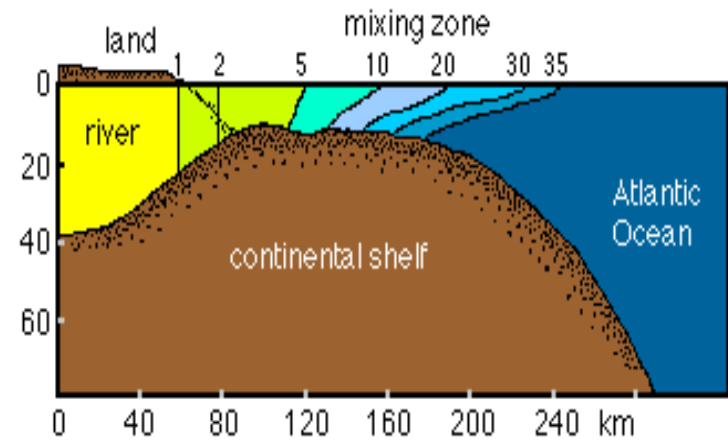
- **A. CUNHA SALINA**
- São típicos de regiões de micromaré e de lugares em que predominam condições de grande descarga fluvial.
- A camada superficial menos densa se desloca estuário abaixo sobre a camada de fundo mais densa (alta salinidade). O cisalhamento da velocidade na interface gera a tensão interfacial de atrito que, pelo processo de entranhamento, transporta parcelas de água do mar para a camada superficial (*one way process*). Se a velocidade relativa entre as camadas da superfície e do fundo for suficientemente intensa, as ondas internas formadas nesta interface quebram, gerando turbulência e aumentando a mistura entre as camadas.
- A interface entre a camada superficial (água doce) e de fundo (água salgada) é chamada de HALOCLINA.
- A continuidade de massa é preservada pelo movimento de pequena intensidade da cunha salina estuário acima, para substituir a parcela de água do mar que é advectada estuário abaixo na camada superficial.
- O processo de entranhamento adiciona volume à camada superficial e conseqüentemente aumenta a descarga em direção à boca do estuário.



CUNHA SALINA



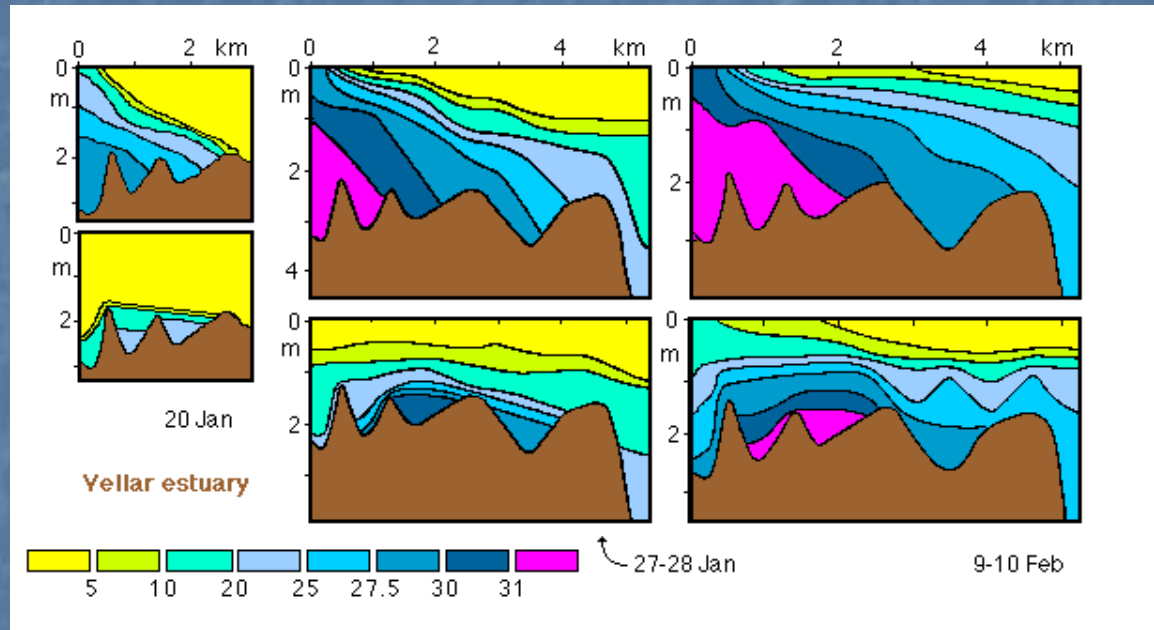
Salinity and velocity section across the interface between the freshwater layer and the salt wedge in the Mississippi River. Observe the change in current direction across the interface between the two layers.



Salinity in the mixing region of the Amazon River on the continental shelf of South America. River water has a salinity < 0.05 , the ocean salinity is > 35 . Salinity at isohalines is indicated above the section.

CUNHA SALINA

SALT WEDGE ESTUARY



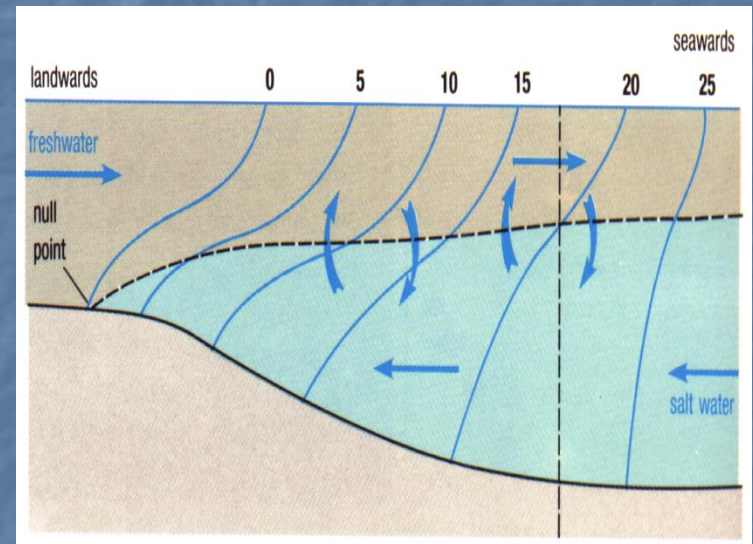
Salinity in the Vellar estuary, southern India. Top figures show the situation at high water, bottom figures at low water. Notice that isohalines are not evenly spaced.

The observation period was preceded by heavy rain. On 20 January the estuary displays the structure of a salt wedge with a mixing region of about 1 km width. During low tide the freshwater pushes the salt wedge back beyond the observation point; water with high salinity is then found only in some depressions.

Adapted from [Dyer and Ramamoorthy \(1969\)](#).

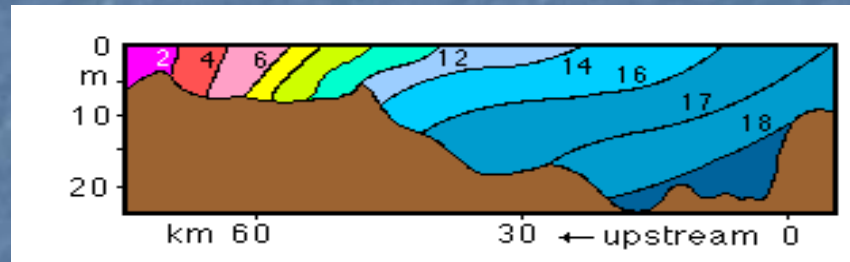
Classificação pela estratificação de salinidade

- **B. PARCIALMENTE MISTURADO**
- Ocorre quando os rios deságuam em zonas costeiras moderadamente influenciadas pela maré. Nesta situação, a co-oscilação da maré agita periodicamente todo volume de água no interior do estuário, oscilando para dentro e para fora do estuário de acordo com as correntes de enchente e vazante.
- A energia de maré envolvida neste processo é grande e produz turbulência interna. Os vórtices turbulentos gerados perdem sua energia cinética realizando trabalho contra os gradientes de densidade, aumentando desta forma a energia potencial da coluna d'água e gerando calor (através da dissipação viscosa). Estes vórtices turbulentos podem movimentar a água salgada para cima e a água doce para baixo. Conseqüentemente, a salinidade na camada superficial é consideravelmente aumentada.
- Para que a camada acima da haloclina transporte um volume de água igual ao descarregado pelo rio, este volume deve aumentar consideravelmente. Simultaneamente, o transporte de água do mar estuário acima nas camadas mais profundas também aumenta, desenvolvendo-se um movimento em duas camadas e de sentidos opostos.
- A amplitude de maré pode variar significativamente entre os ciclos de maré de sizígia e quadratura. Em marés de sizígia a circulação gravitacional tende a aumentar, e aumentam também as trocas turbulentas de sal e água entre as camadas. Como conseqüência a estratificação diminui.

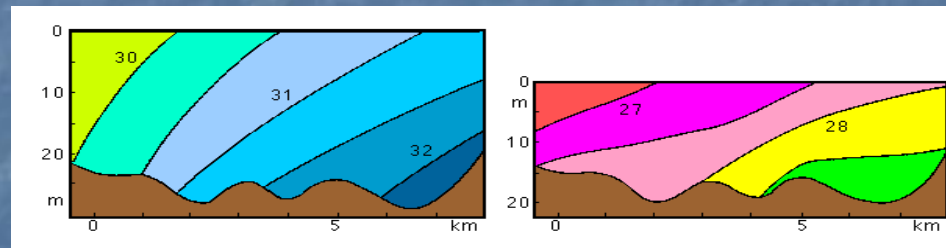


Classificação pela estratificação de salinidade

SLIGHTLY STRATIFIED ESTUARY



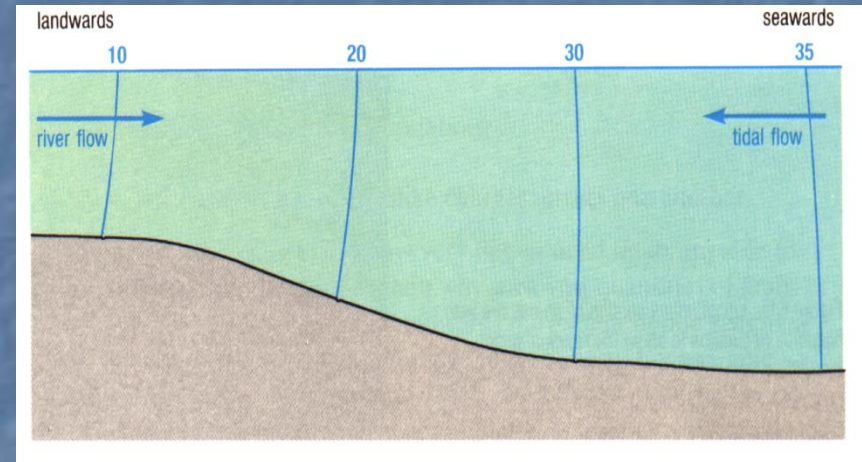
A salinity section along the axis of Chesapeake Bay, USA.



Salinity sections along the axis of the Mersey Narrows, England, at high tide (left) and at low tide (right).

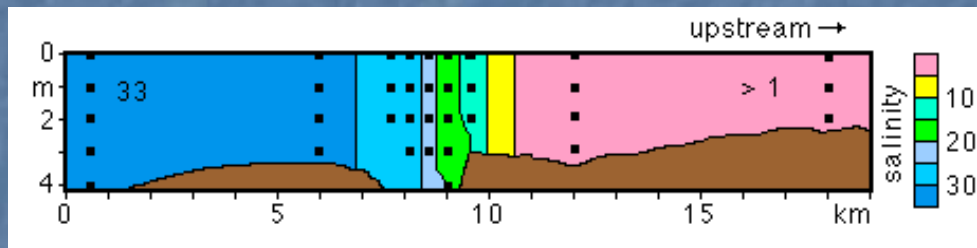
Classificação pela estratificação de salinidade

- **C. VERTICALMENTE HOMOGÊNEO**
- Esse tipo de estuário forma-se em canais rasos e estreitos forçados por descarga fluvial pequena.
- Esse tipo de estuário ocorre quando a amplitude de maré é grande em comparação à profundidade local. Neste caso, o cisalhamento das correntes no fundo produz turbulência, que normalmente é suficiente para misturar completamente a coluna d'água e produzir condições de homogeneidade, eliminando a haloclina.
- Nestes estuários as correntes de maré serão muito maiores que a descarga dos rios, e isso requer condições de macromaré.
- Estes estuários apresentam pequena estratificação vertical de salinidade, tornando o fluxo vertical de sal desprezível, e o processo de mistura ocorre principalmente na direção longitudinal.
- Embora a salinidade praticamente não varie verticalmente, ela pode variar consideravelmente na secção transversal do estuário.
- A intensidade do gradiente longitudinal de salinidade é menor do que no estuário parcialmente misturado, e o componente baroclínico da força de gradiente de pressão não é capaz de gerar circulação gravitacional. Sendo assim, o movimento estacionário é predominantemente unidirecional e estuário abaixo (da terra para o mar).



Classificação pela estratificação de salinidade

VERTICALLY MIXED ESTUARY



A salinity section along the axis of the Myall River channel in New South Wales, Australia. Black squares indicate where salinity was measured. Isohalines are spaced 5 units apart. Note the rapid transition from salinities < 5 to > 30 over a distance of a few km. At some distance from the mixing region salinities are uniform and close to 1 and 33 as indicated.

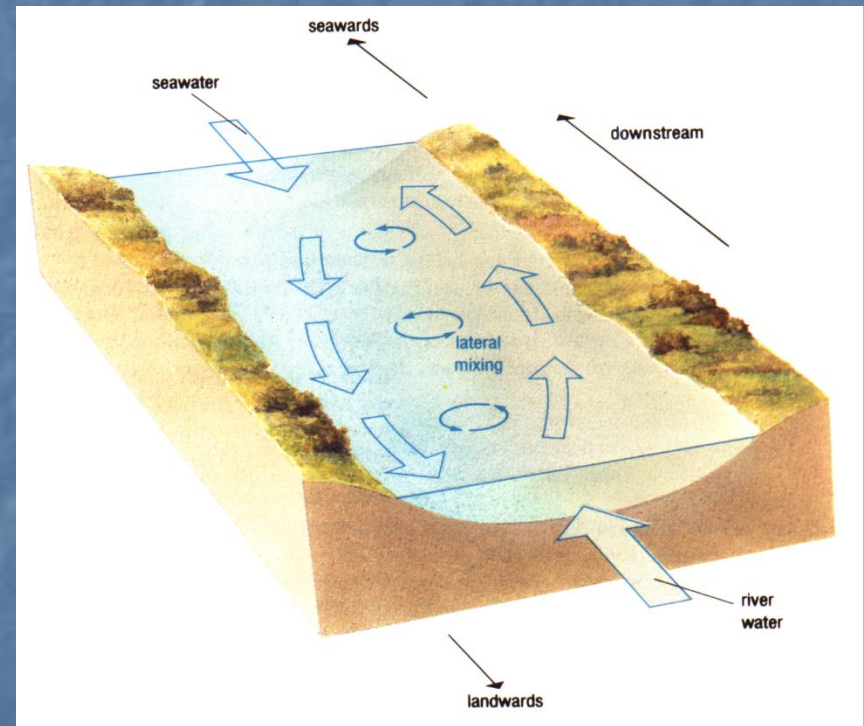
Classificação pela estratificação de salinidade

Lateralmente Estratificado (tipo C)

- - ocorrência depende das dimensões do estuário –
- - se $W \gg c/f$

Lateralmente Bem Misturado (tipo D)

- Em canais estuarinos estreitos, o cisalhamento lateral poderá ser suficientemente intenso para gerar condições de homogeneidade lateral. Nestas condições, a salinidade aumenta gradativamente estuário abaixo e o movimento médio está orientado nesta direção em todas as profundidades.
- Embora este movimento tenha a tendência de transportar sal para fora do estuário, o balanço é atingido pelo transporte de sal estuário acima por difusão turbulenta, que está associado ao efeito à irregularidades topográficas e ao atrito com o fundo na corrente de maré (dispersão da maré).



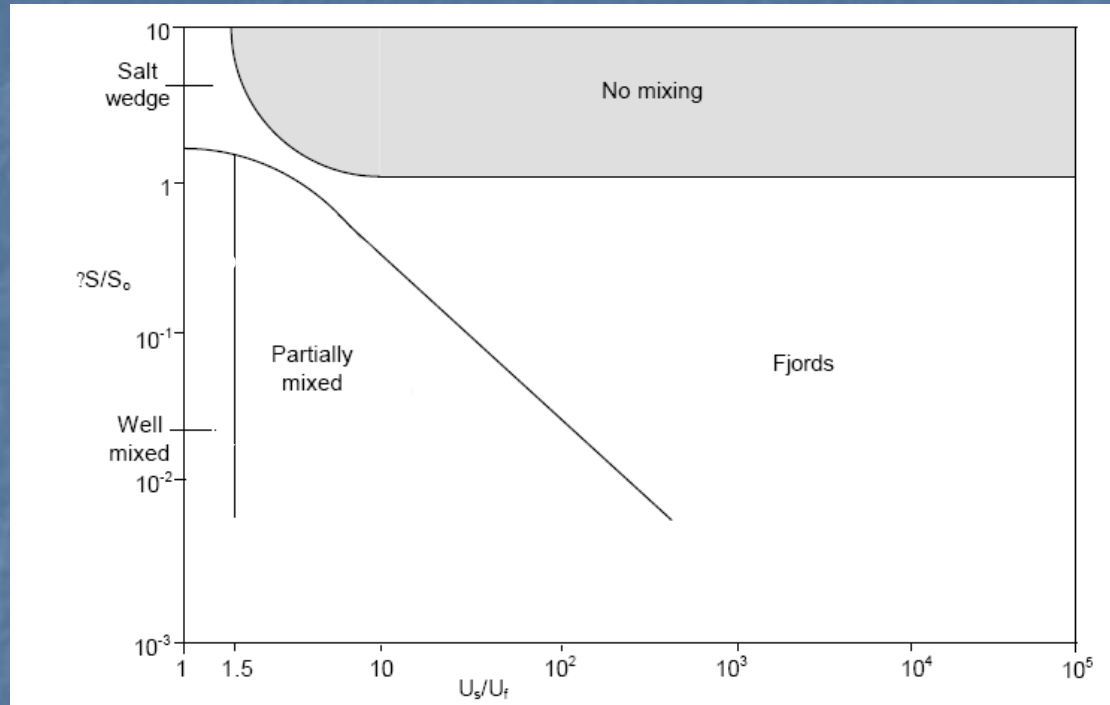
Diagramas de Classificação

- Simmons (1955)
- Ippen e Harleman (1961)
- Hansen e Rattray (1966)
- Prandle (1985)
- Jay e Smith (1988)
 - Todos assumem condições estacionárias e estuários estreitos. Levam em conta:
 - Dissipação de energia
 - Ganho de energia potencial
 - Características estacionárias da velocidade

Classificação de Simmons (1955)

- Estuary classification as a ratio of river inflow and tidal flow (R) over a tidal cycle,
- **R** **Classification**
- $1 \leq R$ highly stratified or salt wedge
- $R \approx 0.25$ partially mixed
- $R \leq 0.1$ well mixed

Diagrama de Hansen e Rattray 1966. Limnol. & Oceanogr. 11, 319-326



$\Delta S/S_o$ – parâmetro de estratificação onde:

$\Delta S \rightarrow S_{\text{fun}} - S_{\text{sup}}$ (médias em ciclos de maré)

S_o – salinidade média da coluna de água (média em ciclos de maré)

U_s/U_f – razão entre a velocidade de superfície (U_s) e a média da coluna (U_f) – médias em ciclos de maré -

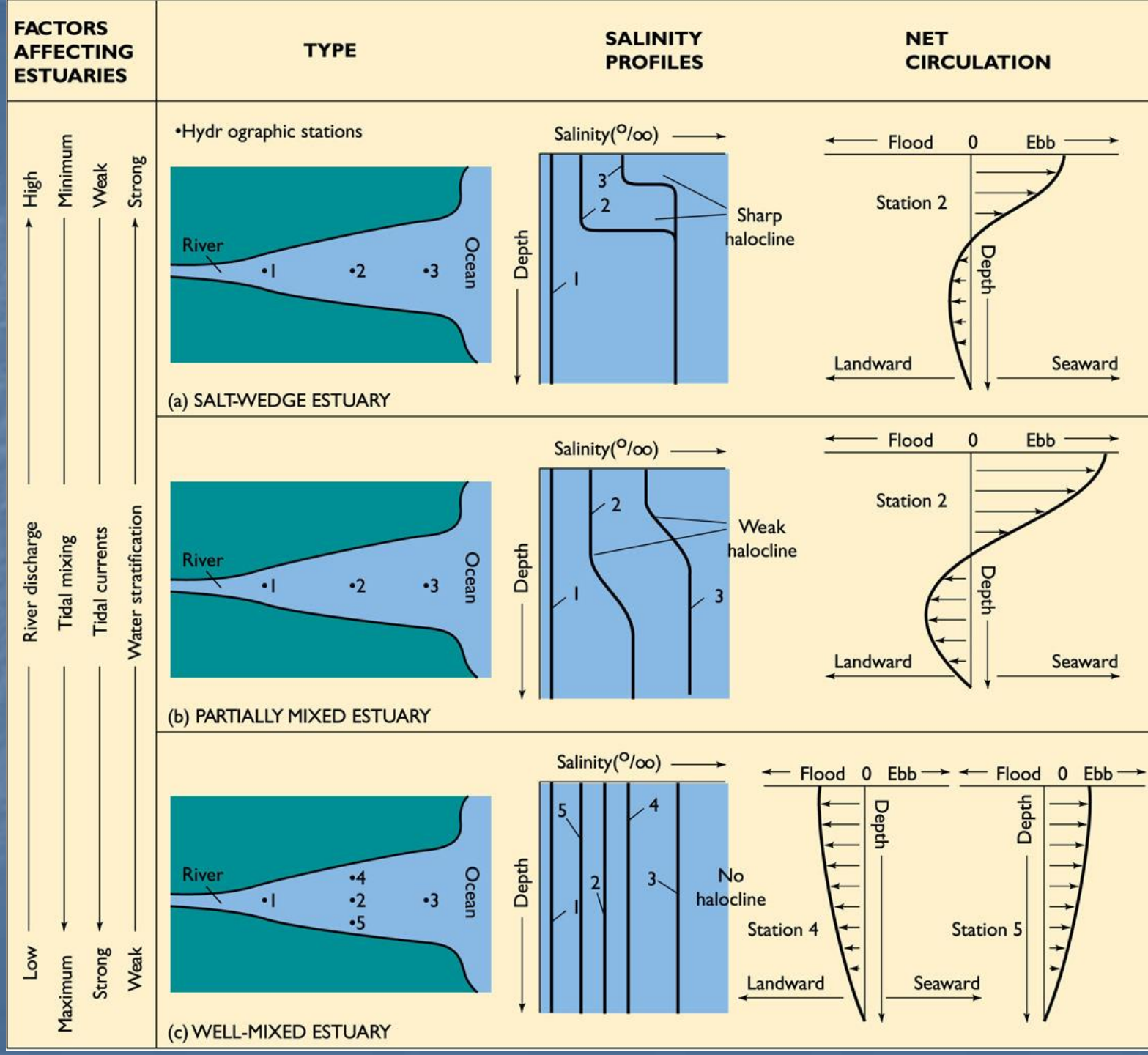
$$\left(\frac{\Delta S}{S_o}\right)^{-1} \left[210 + 252 \left(\frac{U_s}{U_f} - \frac{3}{2} \right) \right] v^2 + \left[32 - \left(\frac{\Delta S}{S_o}\right)^{-1} \left(210 + 252 \left(\frac{U_s}{U_f} - \frac{3}{2} \right) \right) \right] + 76 \left(\frac{U_s}{U_f} - \frac{3}{2} \right) + \frac{152}{3} \left(\frac{U_s}{U_f} - \frac{3}{2} \right)^2 \right] v = 0$$

v fração do transporte de sal causada por difusão. Varia de $0 < v \leq 1$.

Se $v = 1$ transporte de sal é por difusão turbulenta (dispersão, não existe circulação gravitacional)

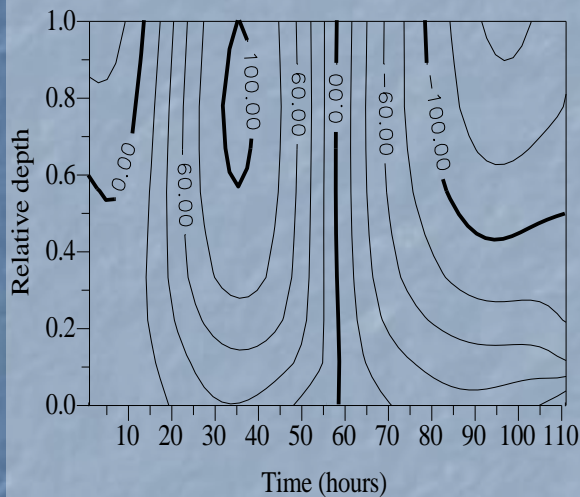
Types of Estuaries According to their Stratification (Pinet, 2003)

Competition between tidal forcing and buoyancy forcing

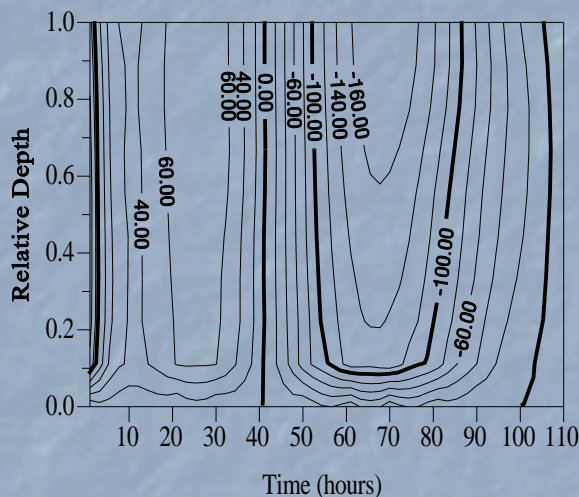


Séries temporais de velocidade de corrente (superior) e salinidade obtidas em fundeios no Canal de Acesso à LP (Möller e Castaing, 1999)

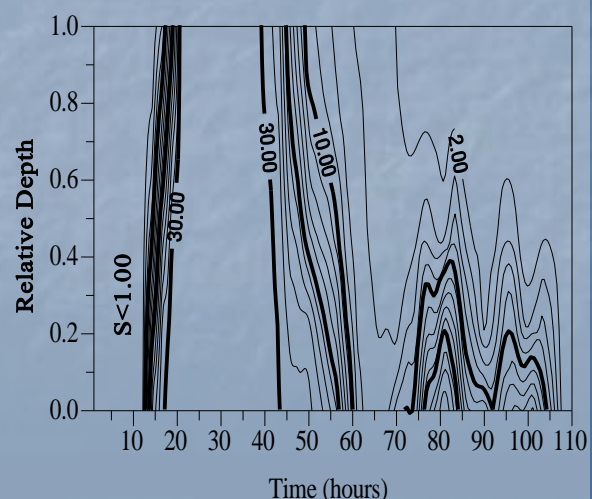
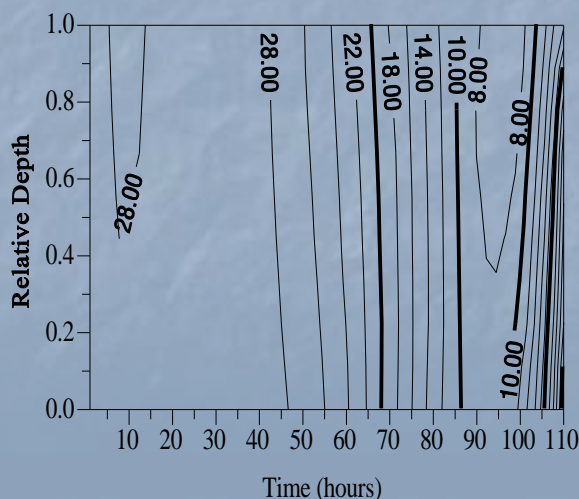
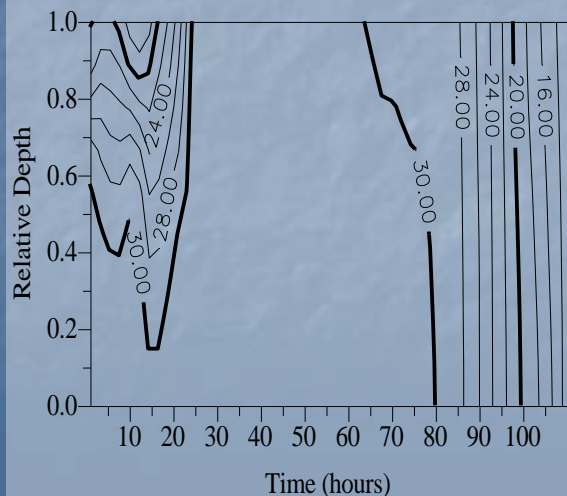
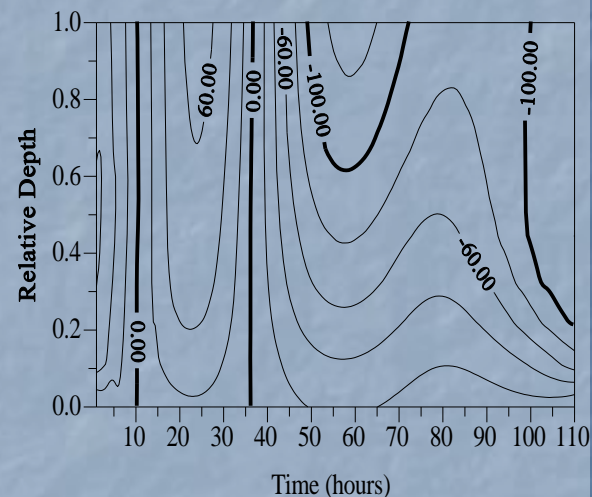
06 - 11/04/92



18 - 23/05/92

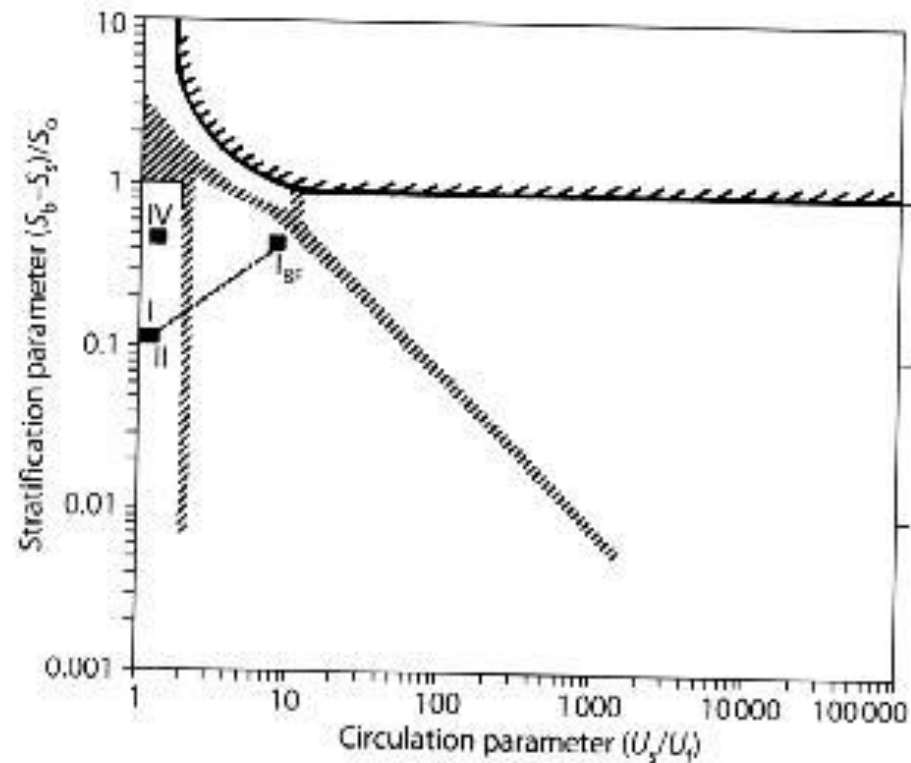


05 - 10/10/92



O diagrama de Hansen e Rattray aplicado à Lagoa dos Patos (Möller e Castaing, 1999)

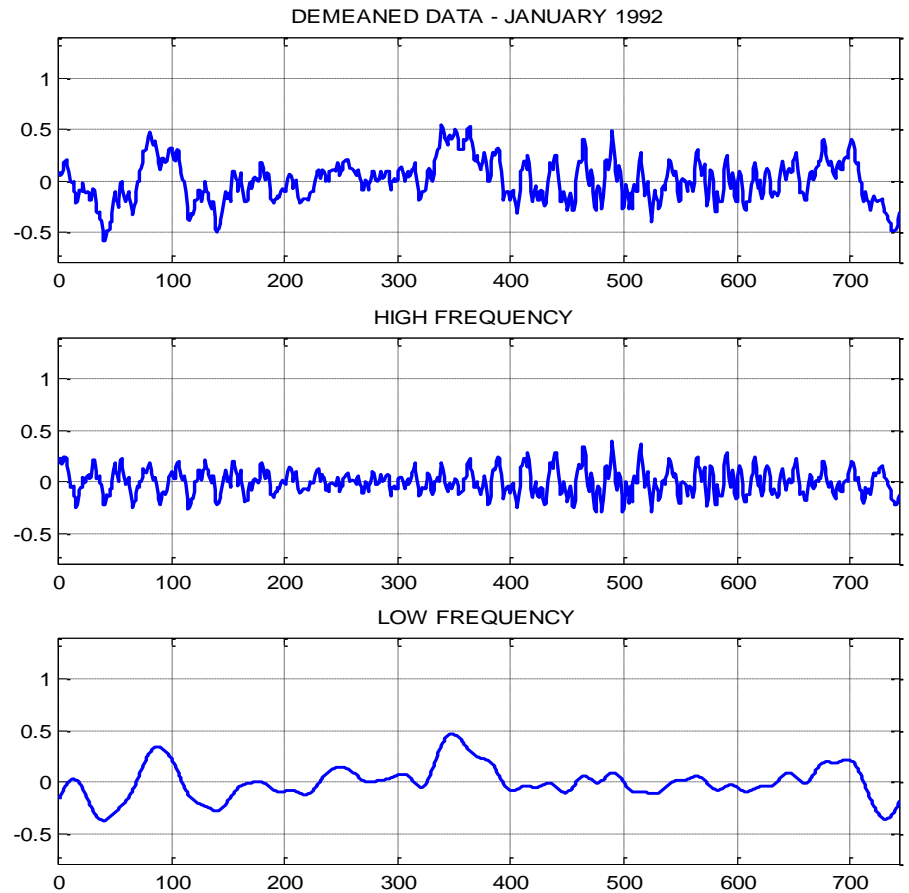
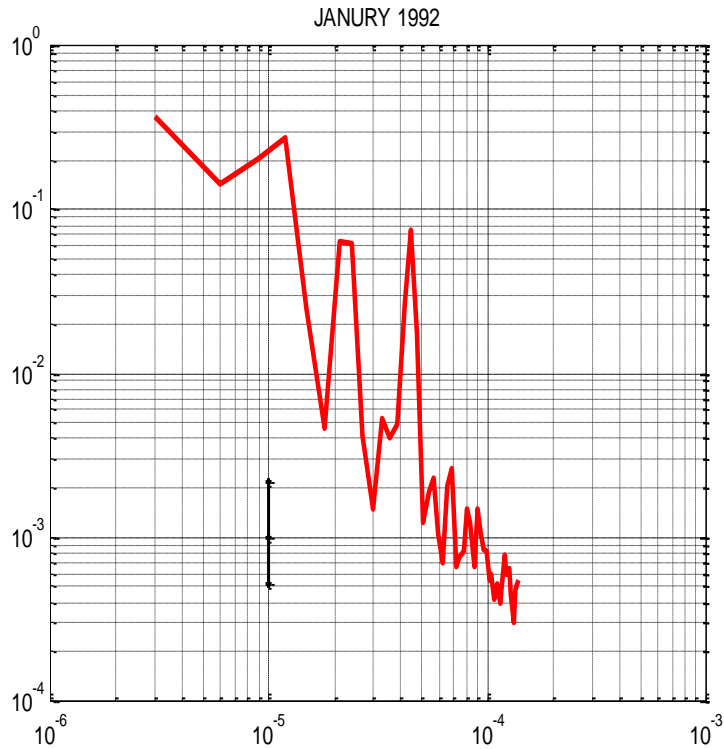
Fig. 5.10. The stratification/circulation diagram for the situations of PLATES I, II and IV. The index "BF" refers to PLATES I data obtained before the meteorological front passage



Circulação estuarina

- Forçantes principais
- Efeito da maré
- Efeito do vento
- Efeito da descarga fluvial

Escalas temporais



Efeito do vento

- Formas de ação (Weisberg, 1976; Elliot and Wang, 1978)
 - Efeito remoto – variações de nível na costa
 - Efeito local – desníveis no interior do estuário
 - (des)intensificação de correntes,

Efeito do vento

■ Efeito remoto

■ Vento paralelo à costa

Hemisfério Sul:

- Ventos de NE - ressurgência – abaixamento de nível
 - Ventos de S (SW) Subsidência – elevação de nível na costa
- Variações de nível – passagens de frente

Efeito do vento

■ Efeito local

■ Desníveis – setup/setdown

■ Dupla circulação – correntes de retorno no fundo

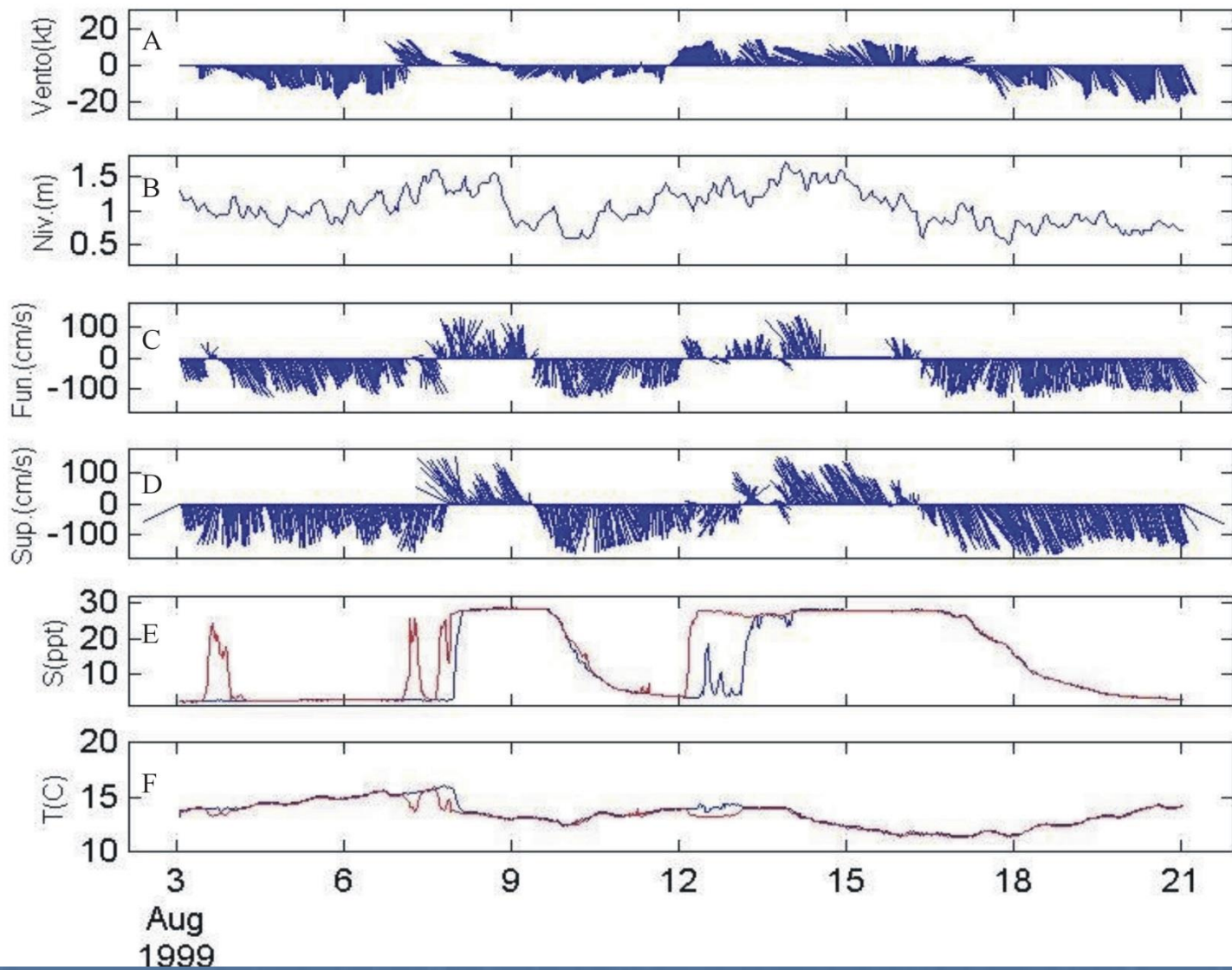
- Upwind return flow – Indian river (Pitts, 1989)

■ Modelos para cálculo

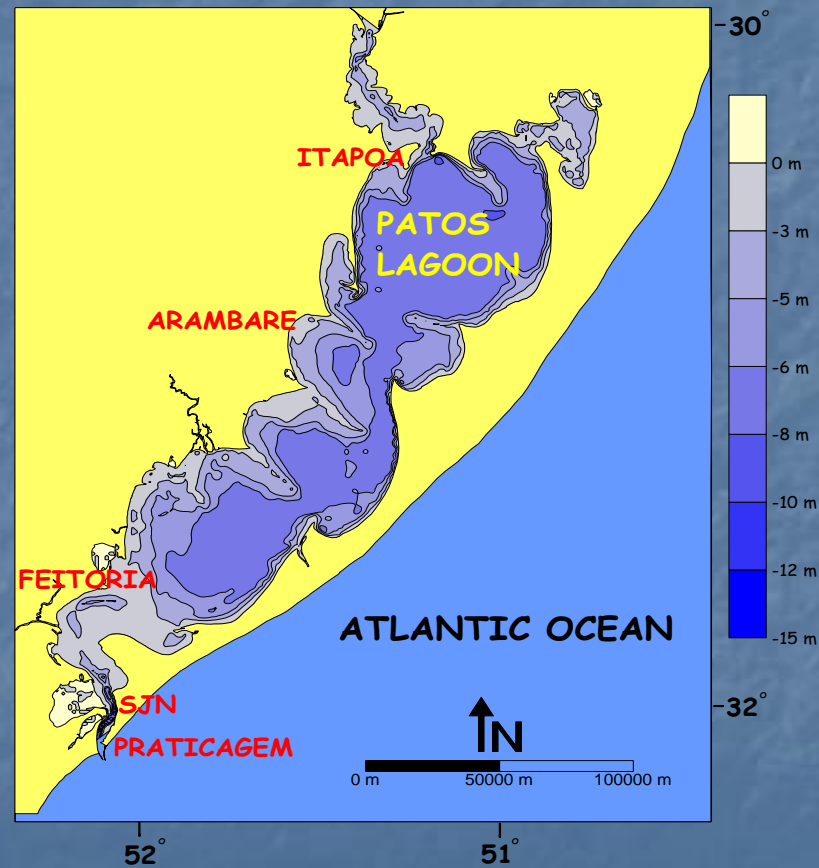
- Van Dorn (1953) – açude, uso de detergente
- Pollak (1961) – Chesapeake Bay
- Garvine (1985) – modelo teórico

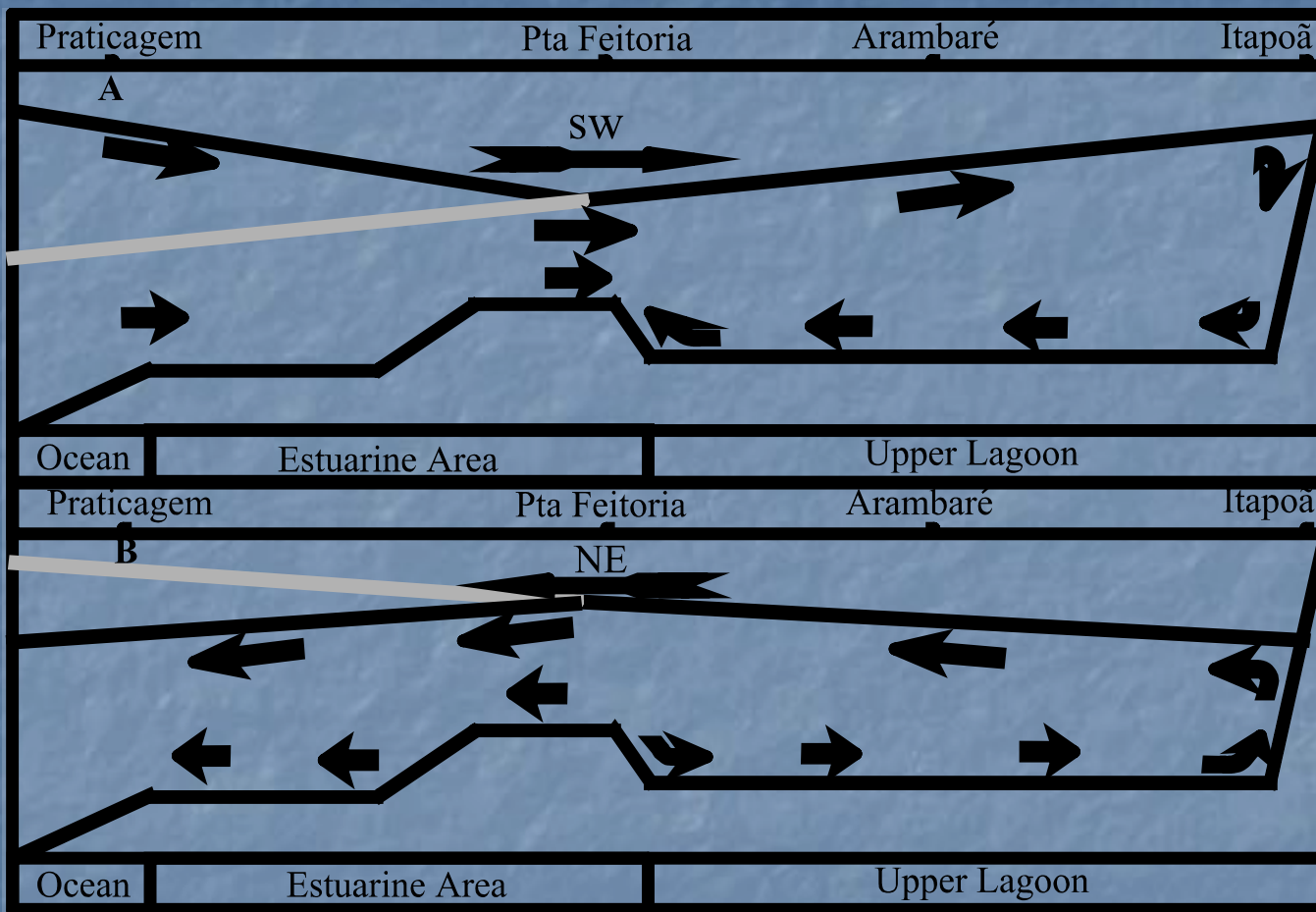
Efeito do vento na costa





Efeito do vento Lagoa dos Patos





Efeito da descarga fluvial

- Aparece sob duas formas:
 - Baroclínica – gradiente de densidade – circulação gravitacional
 - Barotrópica – desnível entre o estuário e a zona costeira adjacente – por vezes difícil de avaliar
- As escalas temporais envolvidas são:
 - Sazonal
 - Interanual
 - “Alta frequência” – passagem de frentes – Chesapeake Bay, L. Patos

Efeito da descarga fluvial

- Conseqüências
- Baroclínica:
 - Estratificação vertical
 - Gradiente longitudinal de salinidade

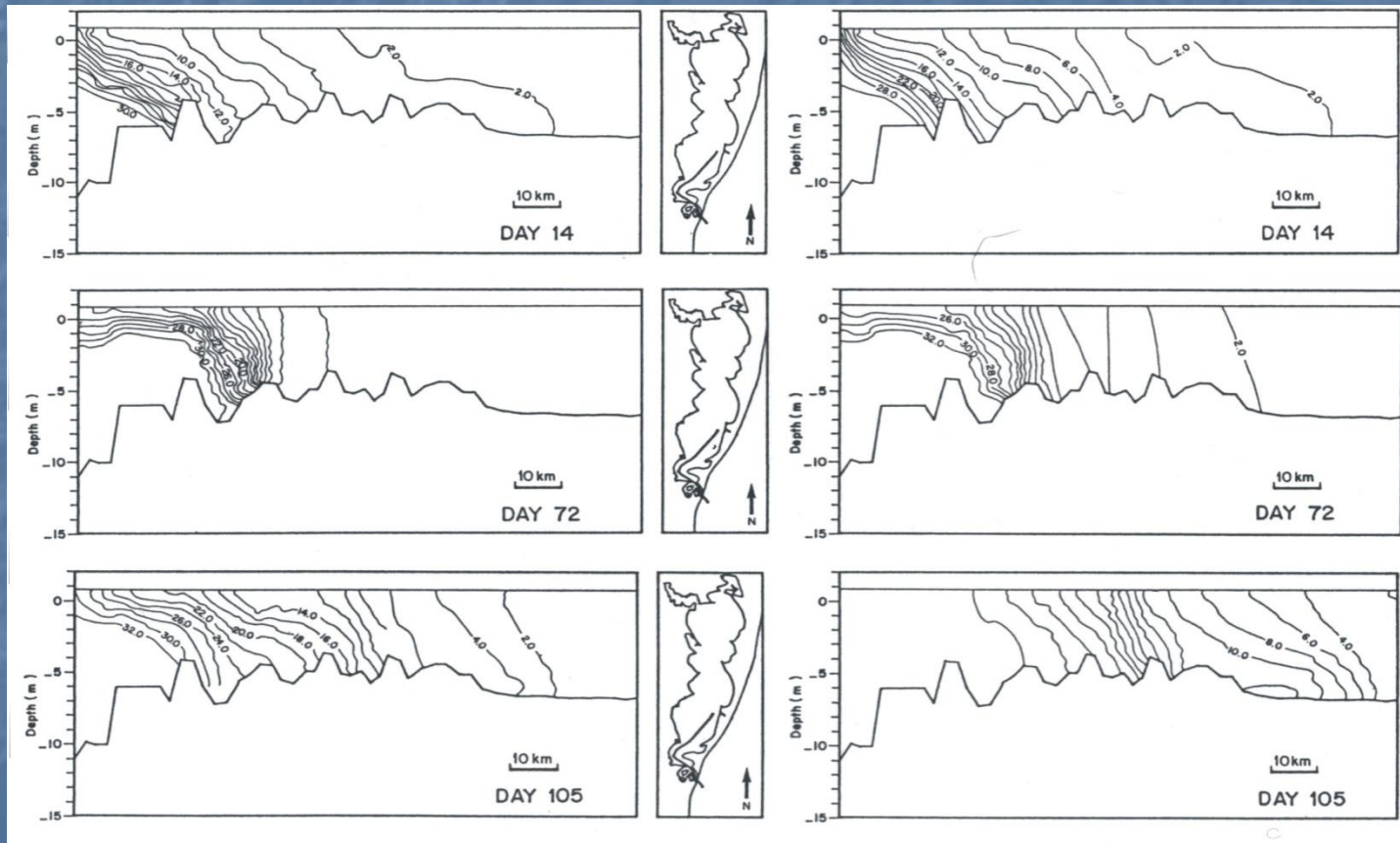
Barotrópica

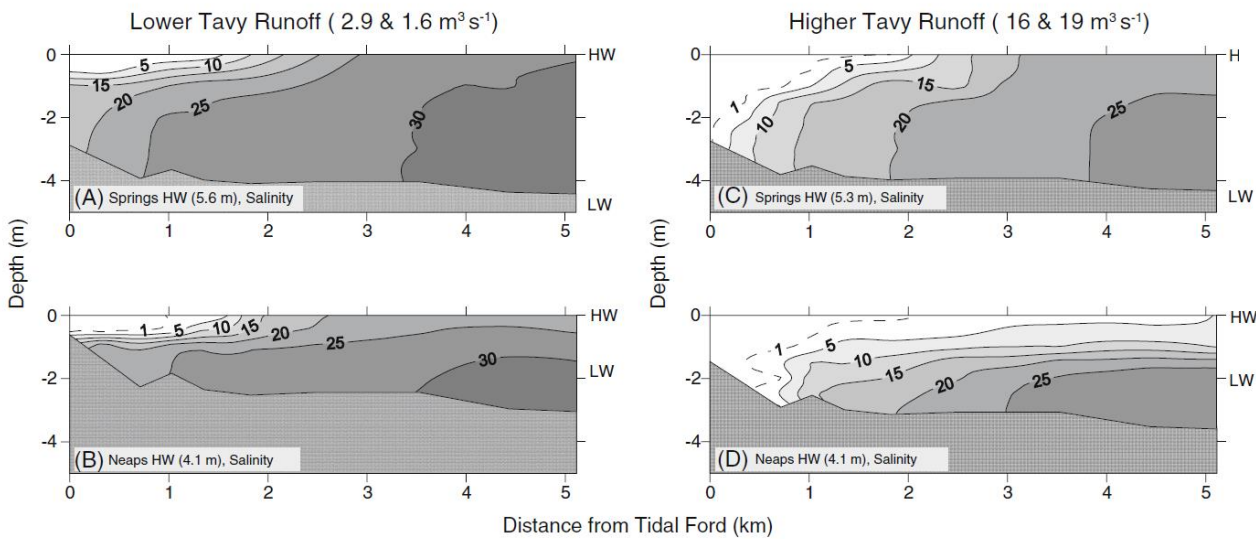
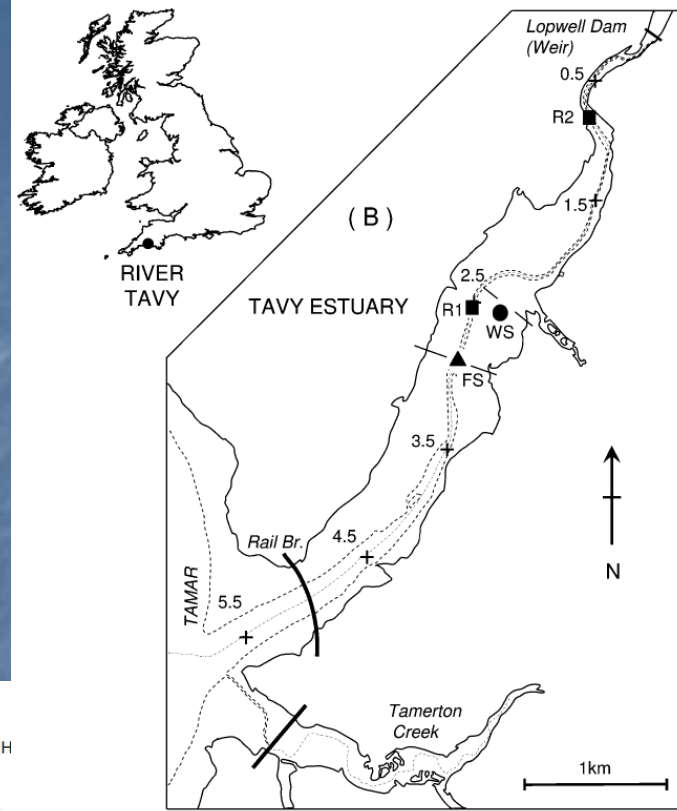
Posição da cunha salina

- Balanço hídrico – descarga, precipitação e evaporação (Mehta, 1990)

Efeito da descarga fluvial

Experimentos com (esq.) e sem efeito do rio





Uncles et al. (2011)

Fig. 3 Salinity distributions from longitudinal and vertical surveys of the Tavy Estuary, undertaken between the tidal ford and the rail bridge close to HW of spring tides (a, c) and neap tides (b, d) and at higher (c, d) and lower (a, b) freshwater runoff

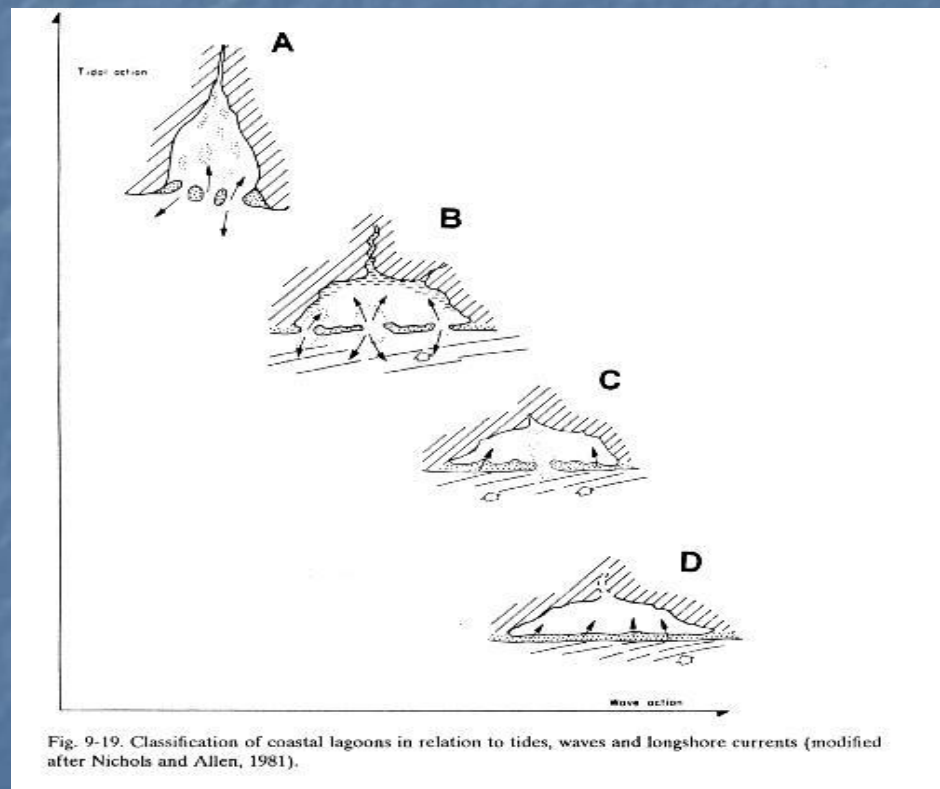
Lagoas Costeiras



Lagoas Costeiras

- Estuários de barra na classificação de Cameron e Pritchard (1963)
- Áreas continentais continuamente inundadas por águas marinhas ou doces, aproximadamente orientadas paralelamente à linha de costa, separadas do oceano por uma barreira arenosa e conectadas a ele por um ou mais canais (Phleger, 1981; Nichols e Allen, 1981).
- Formadas em regiões de fraca influência da maré
- Ambientes comuns em regiões que apresentam plataforma continental ampla em conjunto com planície costeira extensa, com baixa amplitude de maré, regime de ondas de grande energia e grande suprimento de material arenoso (Pheger, 1967; Kjerfve, 1986).
- Ocupam 13% das áreas litorâneas do mundo (Barnes, 1980)
- Ambientes recentes, uma exceção é a Lagoa dos Patos que começou a ser formada a 230.000 anos AP.
- Apresentam formas irregulares, mas alguns padrões são observados e o mais notável é a formação de flechas que podem levar à segmentação da laguna.
- Normalmente rasas e com pouca utilização

Lagoas Costeiras



Lagoas Costeiras

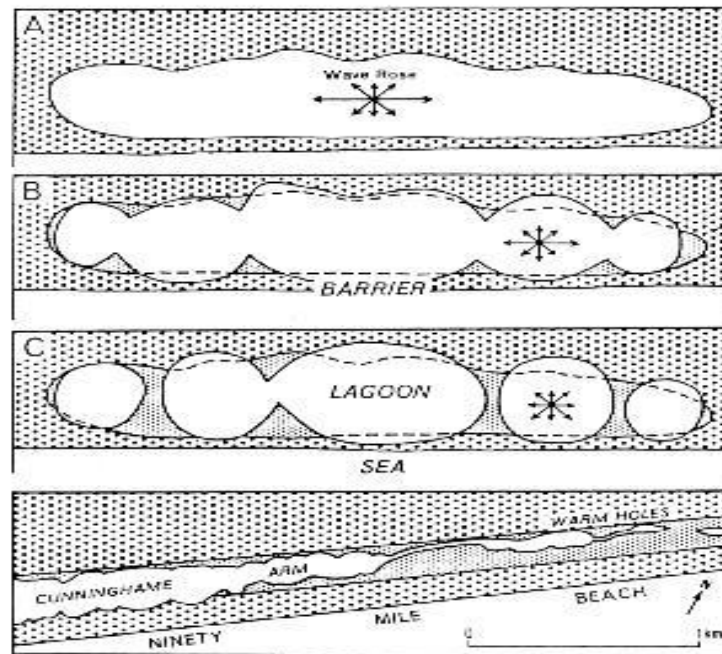
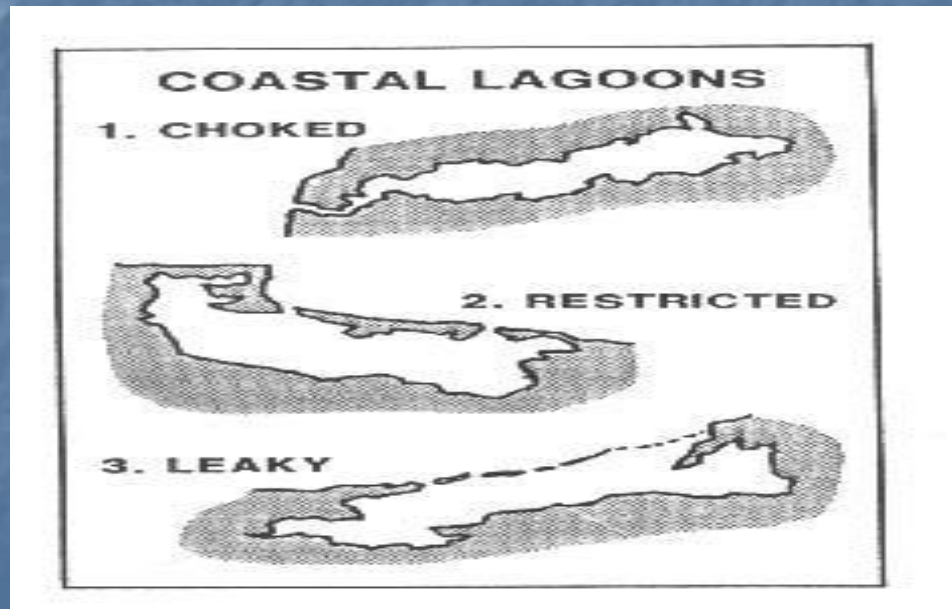


Fig. 2.10. Segmentation of a coastal lagoon by the erosion of embayments and growth of spits and cusped forelands in response to waves generated by local winds.

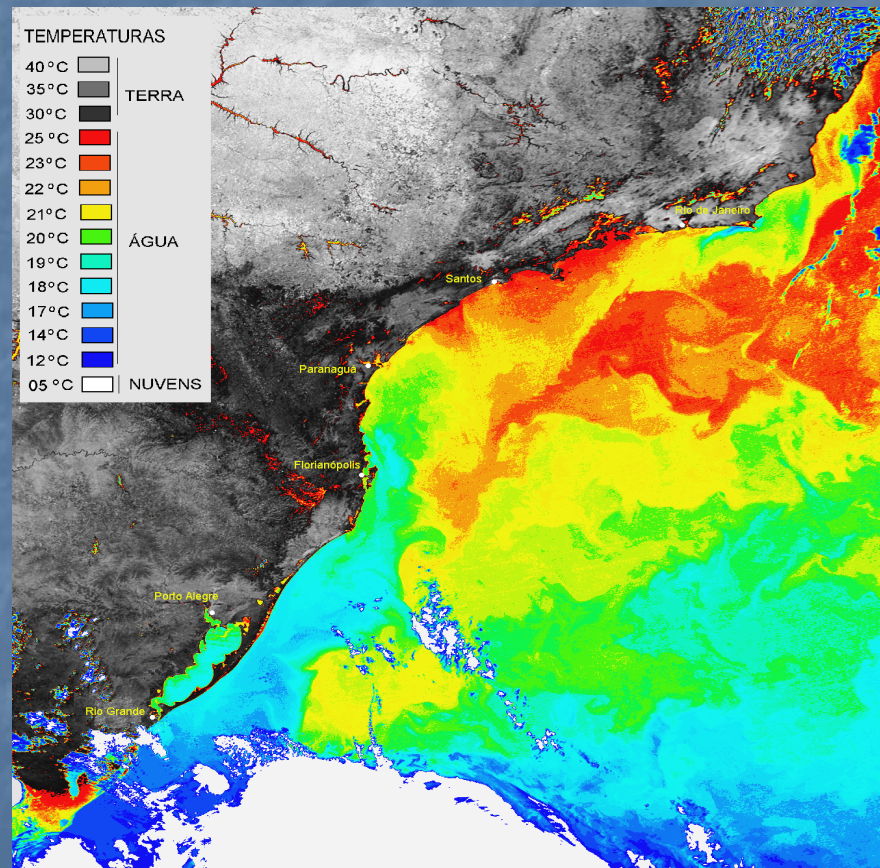
Zenkovitch, 1956

Lagoas Costeiras

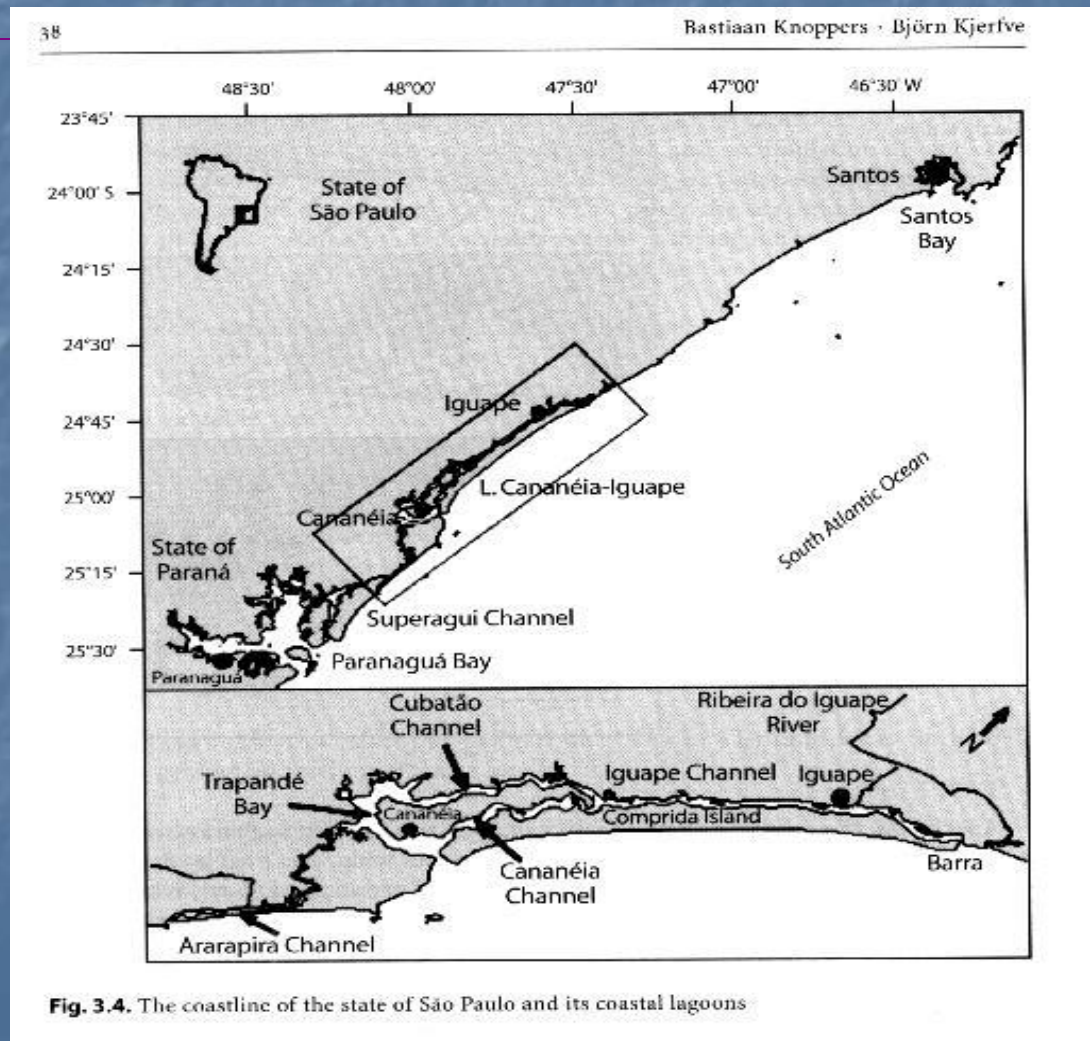
- Classificação de Kjerfve (1986) para lagoas costeiras
 - Estranguladas ou sufocadas (choked) circulação dominada por processos difusivos
 - Trocas são restritas, longos tempos de residência
 - Vazadas ou abertas (leaky) circulação dominada por processos advectivos



Lagoas Costeiras Brasileiras



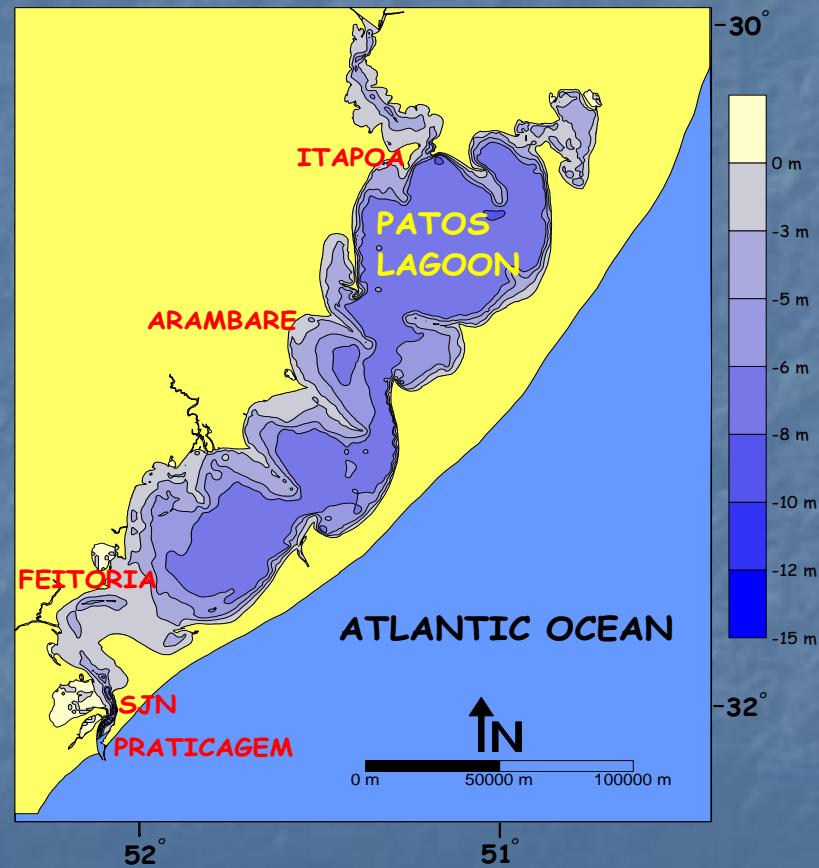
Lagoas costeiras brasileiras



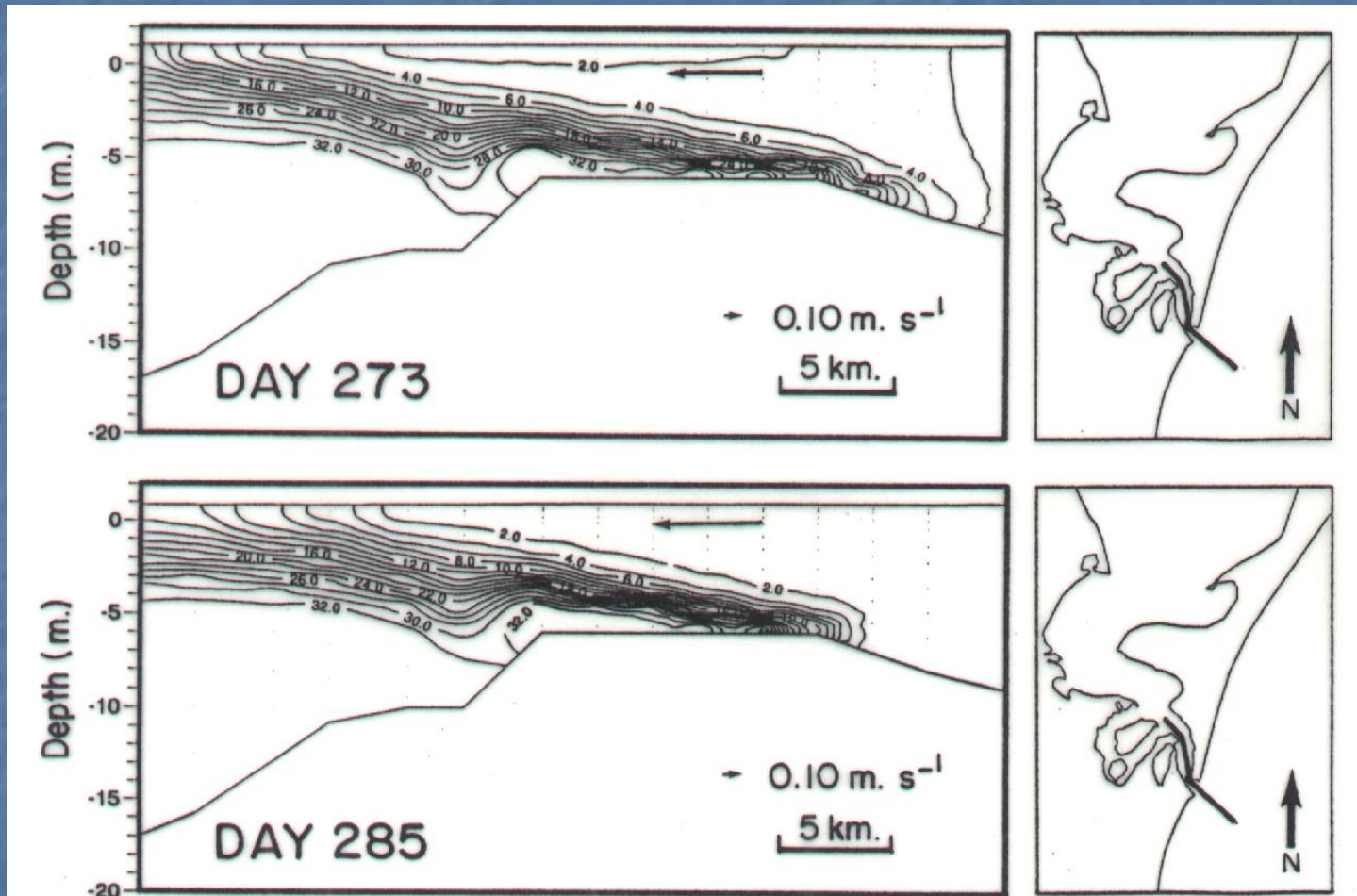
Lagoas costeiras brasileiras

- Localizadas na costa SE/S do Brasil.
- A maior parte do tipo “estrangulada”. A exceção é o sistema Cananéia que é restrito.
- Araruama é a única lagoa costeira brasileira hiperhalina, raras no mundo.
- Lagoa dos Patos é a maior lagoa costeira brasileira e a maior laguna estrangulada do mundo. E, talvez a mais estudada pois os primeiros estudos sobre este sistema tiveram início em 1883 visando a construção dos molhes da barra.
- Um grande número de lagoas costeiras foram segmentadas e separadas do mar – lagoas cordiformes do RS.
- Algumas lagoas costeiras tiveram suas formas alteradas com a construção de molhes para fixação da desembocadura: L. Patos, L. Tramandaí. Quais as consequências para a circulação???
- Mostrar transparência com quadro comparativo das lagoas brasileiras

Efeito do vento Lagoa dos Patos

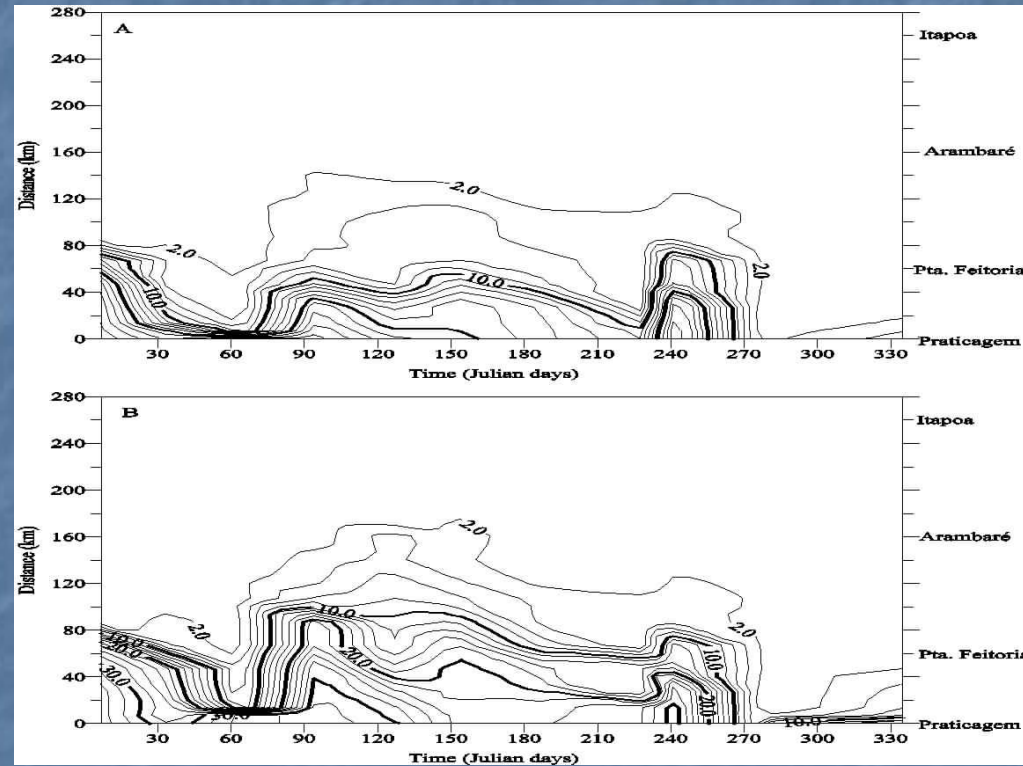
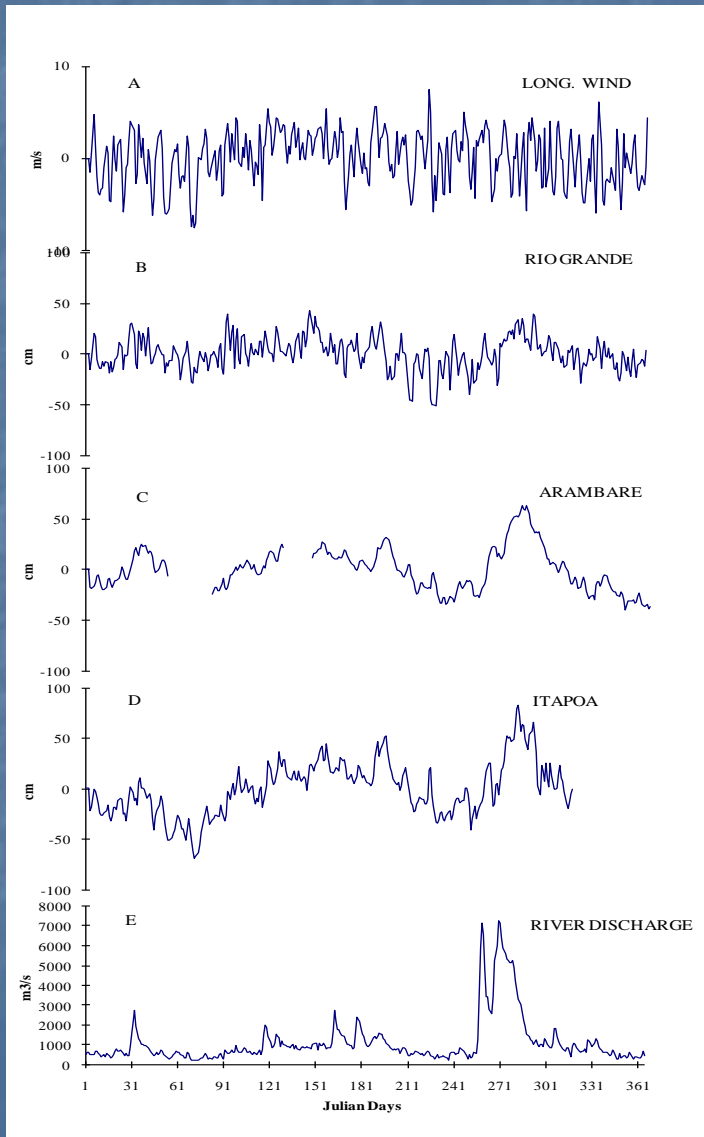


Efeito do rio – alta descarga



Ação do vento e da descarga fluvial

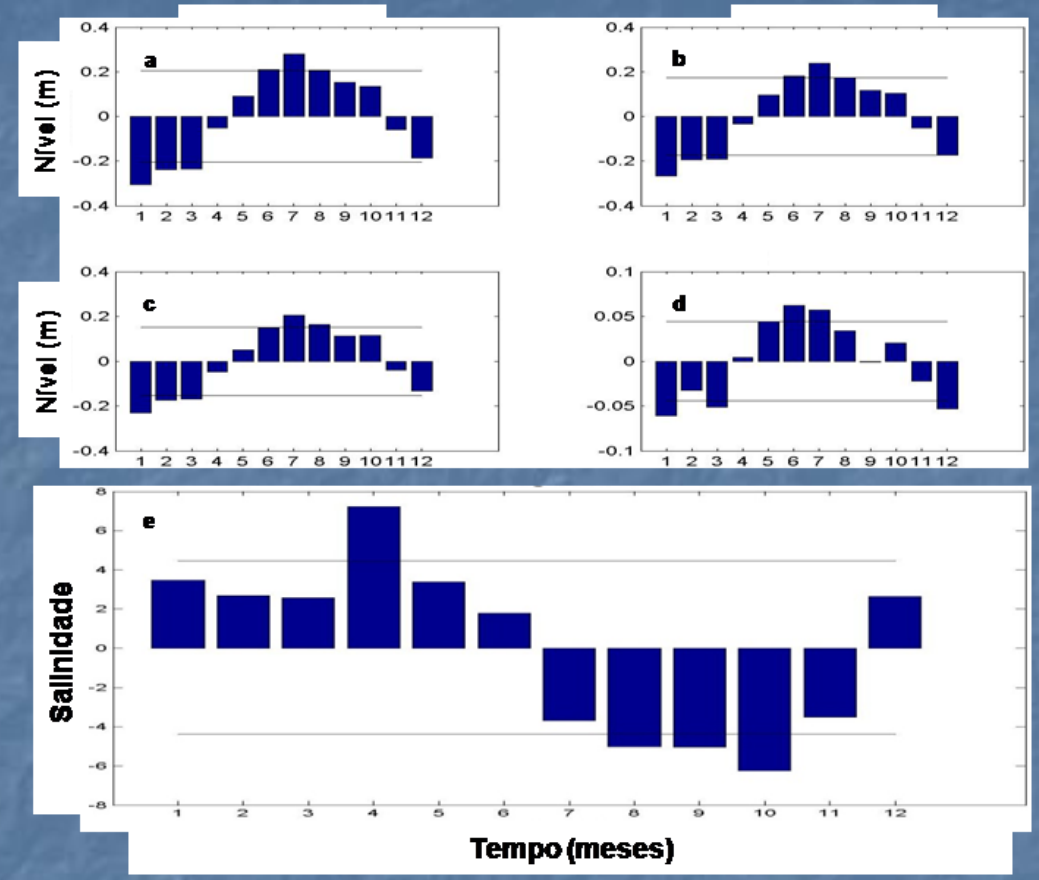
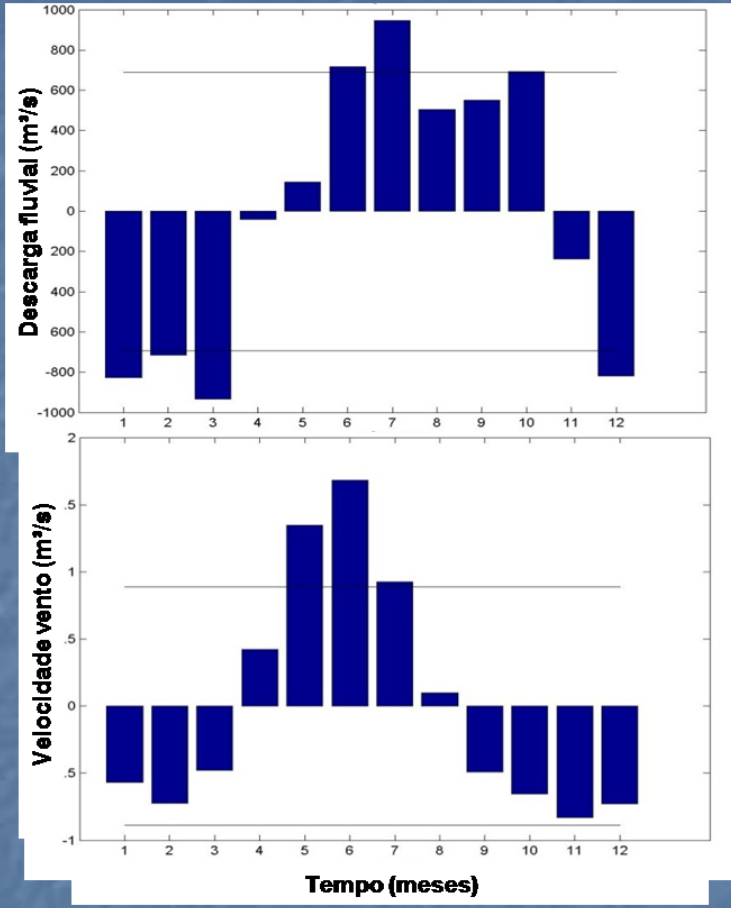
Séries de dados obtida em 1988 - PLP (CIRM/FURG)



Möller e Castaing, 1999

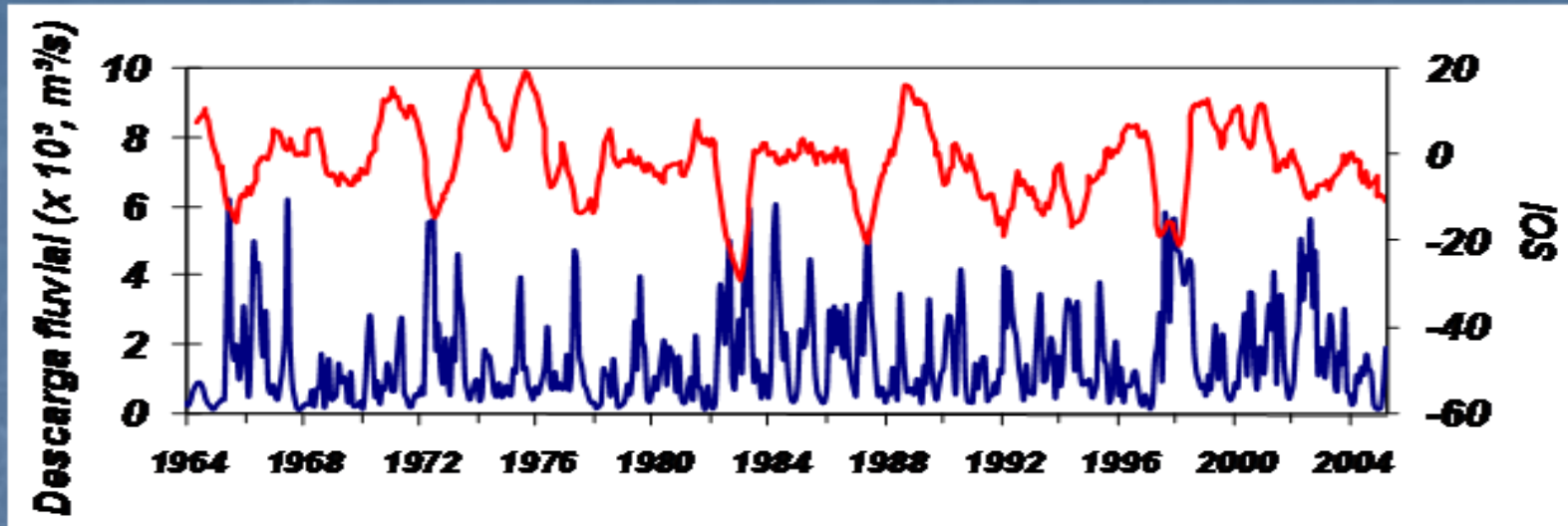
Möller et al., 2001

Variabilidade sazonal: vento e descarga - impactos



Fonte: Marques (2005)

Variabilidade inter-anual

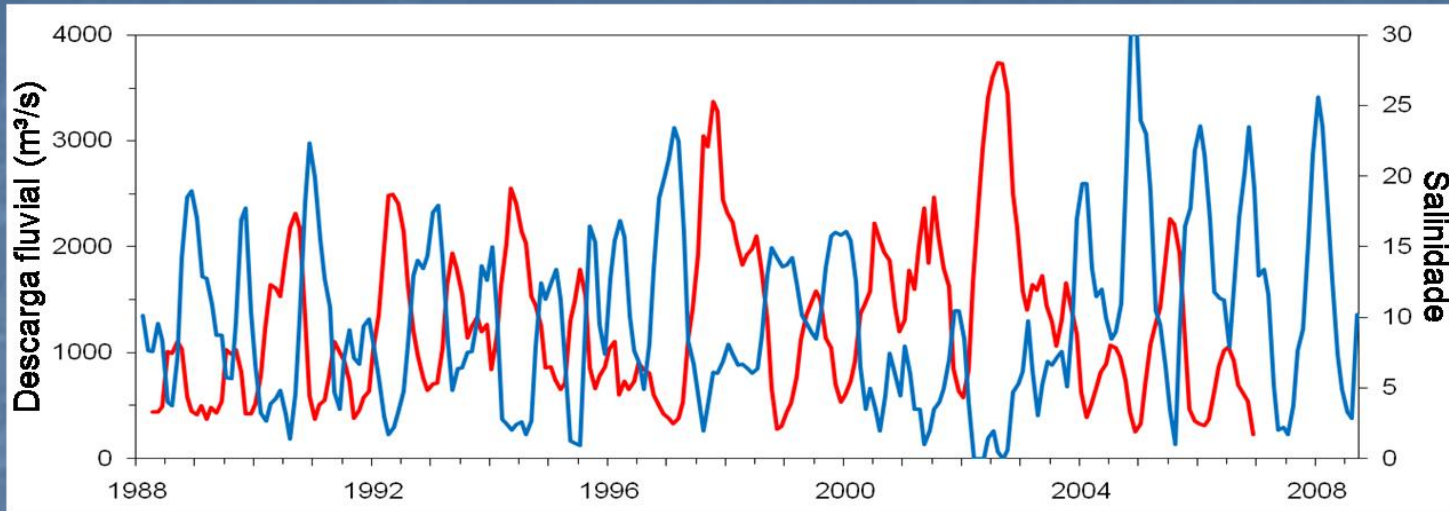


Möller et al. (2009)

Regime de ventos afetado por El Niño (NE) e La Niña (SO) – Barros et al. (2002). Piola et al. (2005) – impactos no deslocamento da Pluma do Rio da Prata.

Tendências?? Cenários

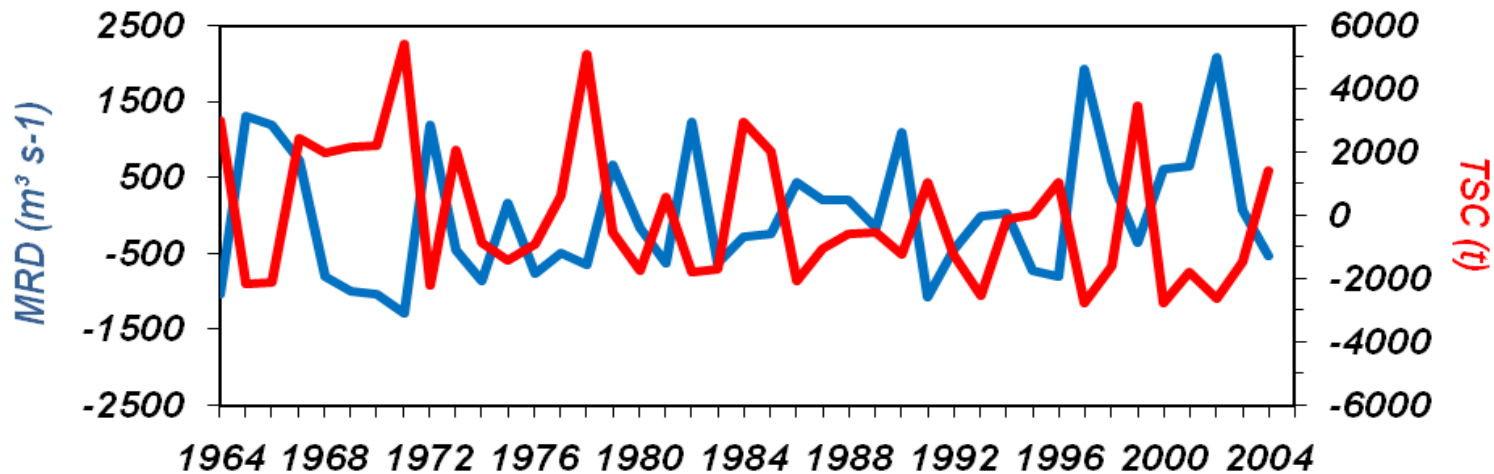
Descarga fluvial - impactos



Möller e Fernandes (2010.)

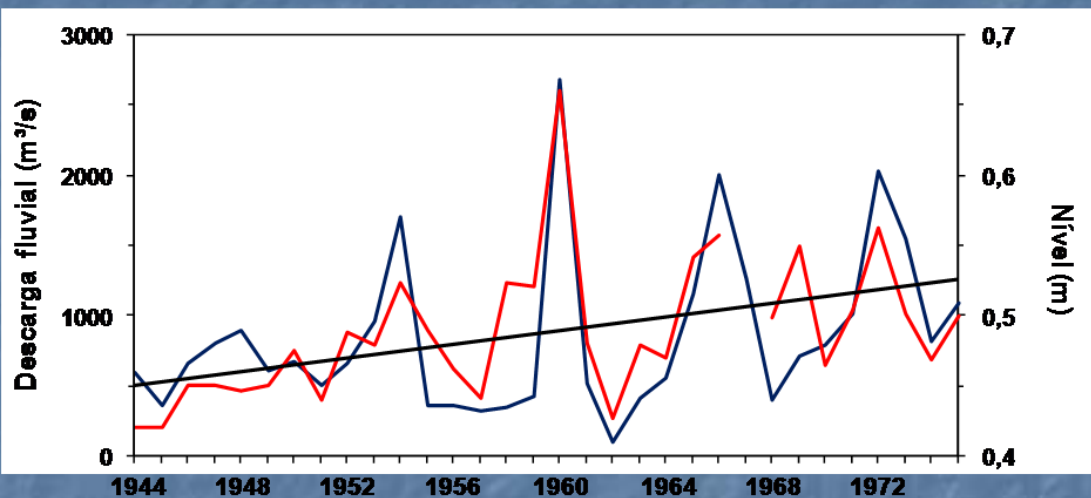
Distância atingida pelo sal?

Em 1988, 2005 e 2007 (La Niña) - 160 km - produção de arroz

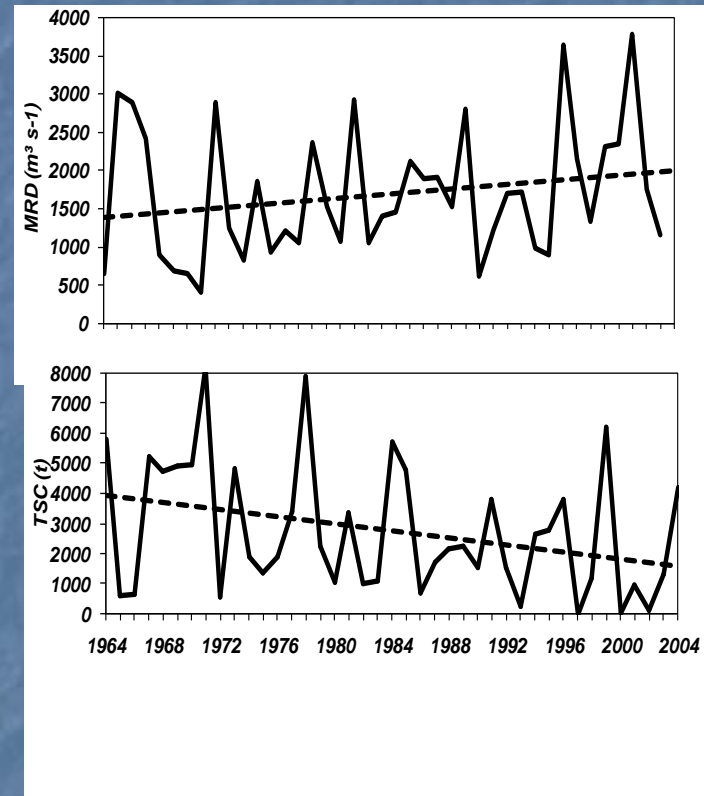


Möller et al. (2009)

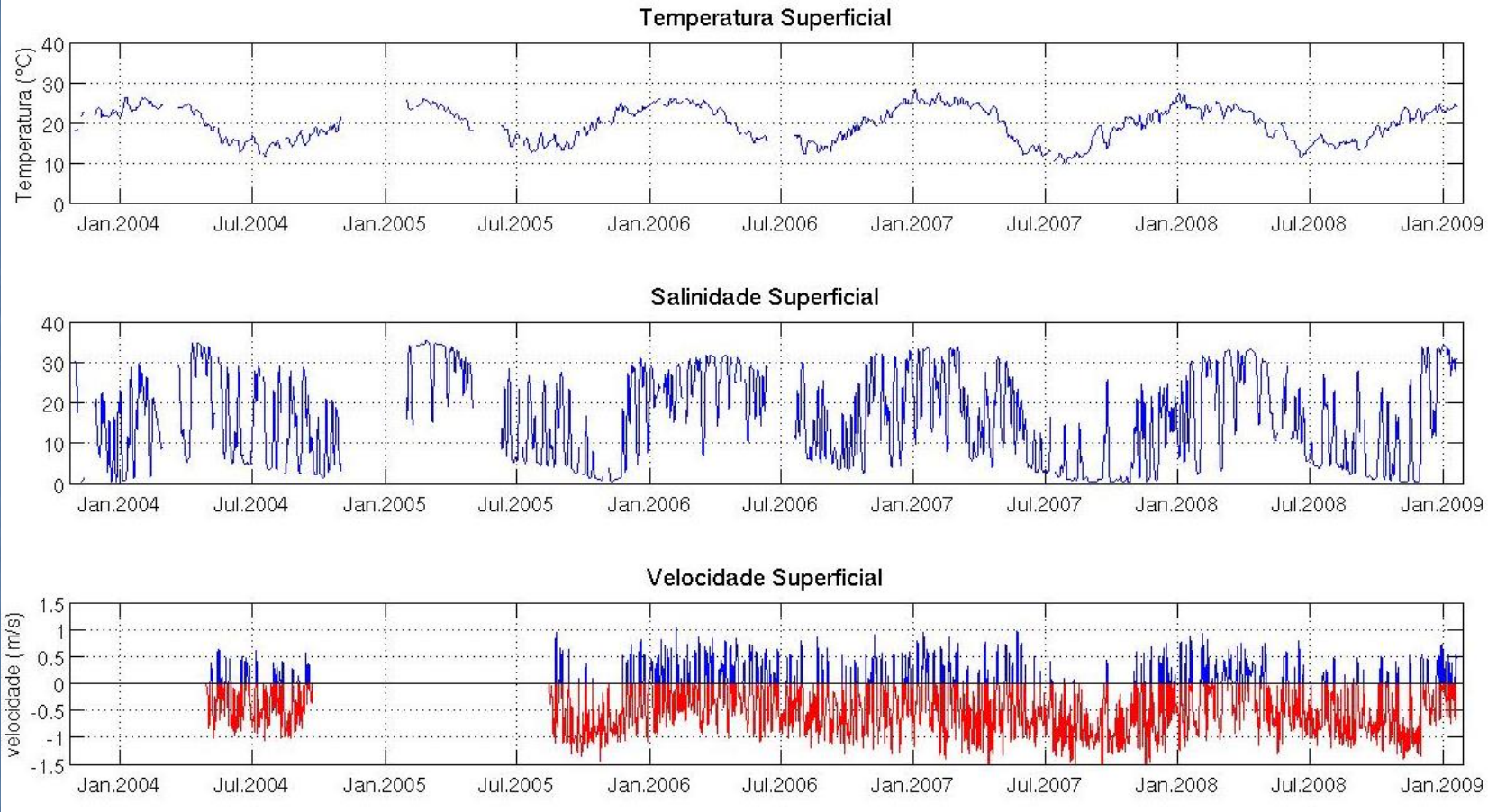
Variabilidade de longo período - impactos



Tendências:
Descarga: 20 m³/s por ano;
Nível: 2.5 mm/ano



Ciclos de salinização das águas



Conclusões sobre os processos de circulação da Lagoa dos Patos

- **A Lagoa dos Patos é um sistema que tem a dinâmica de suas águas condicionada pela descarga de água doce.**
 - Em baixas e moderadas descargas o vento tende a forçar a circulação.
 - Em altas descargas, apenas ventos muito fortes podem forçar entradas de águas salgadas na Lagoa dos Patos
- **Em períodos prolongados de baixas descargas:**
 - Maior salinização das águas
 - Águas mais transparentes
 - Maior produção de espécies de importância comercial
 - Maior tempo de residência das águas e de substâncias introduzidas no meio (problemas de poluição)
 - Problemas para culturas agrícolas – arroz – exemplo de 1988
- **Em períodos prolongados de altas descargas**
 - Menor salinização das águas (fluxo de rio)
 - Águas mais turvas e alto transporte de sedimentos para o oceano – lama do Cassino
 - Menor produção de espécies de importância comercial – entrada de larvas
 - Menor tempo de residência de substâncias introduzidas na laguna – caso BAHAMAS
 - Enriquecimento da zona costeira
 - Autoerosão – transporte de sedimentos contaminados para o oceano
- **As dragagens de manutenção não causam impactos na salinização das águas da Lagoa dos Patos**

CONSEQÜÊNCIAS DOS EFEITOS DA DESCARGA FLUVIAL

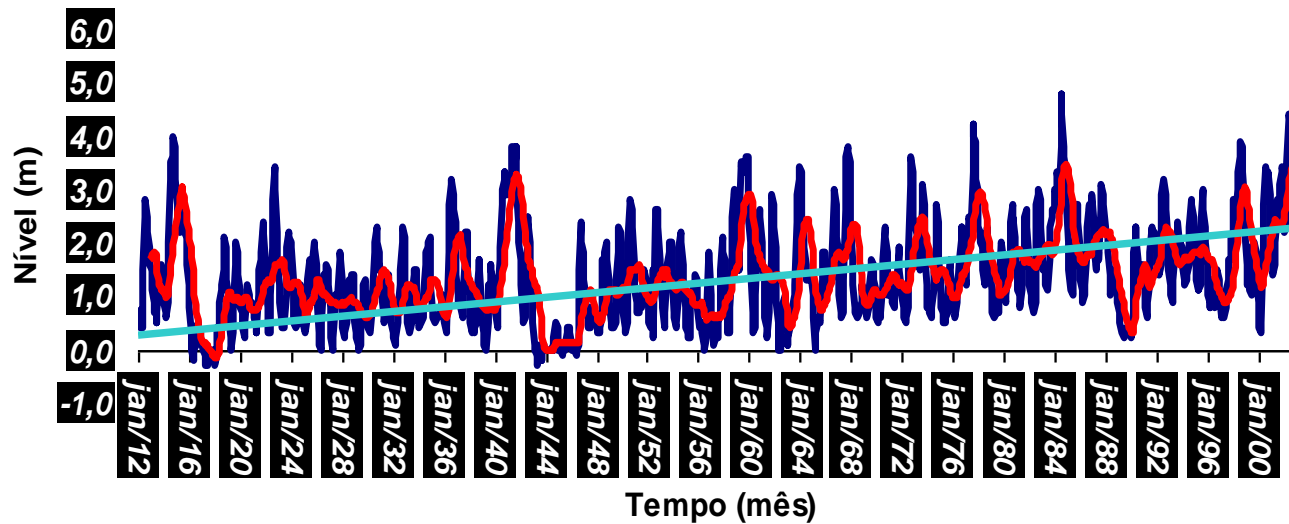
Variação de nível

Pesca de espécies com importância
comercial

Transporte de sedimentos

Alterações climáticas

caso Lagoa Mirim



Tendência:

Geral: 1,6 cm/ano

Entre 1912 e 1975: 0,5 cm/ano

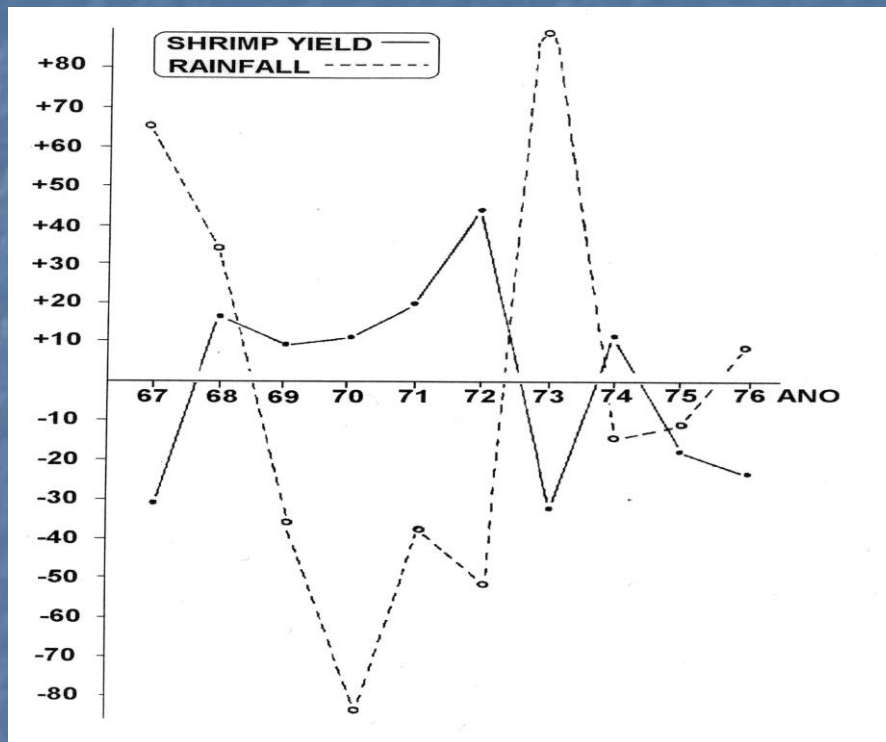
Após 1977: 1,7 cm/ano – efeito da barragem?

O que isto representa?

Se Verdadeira a tendência:

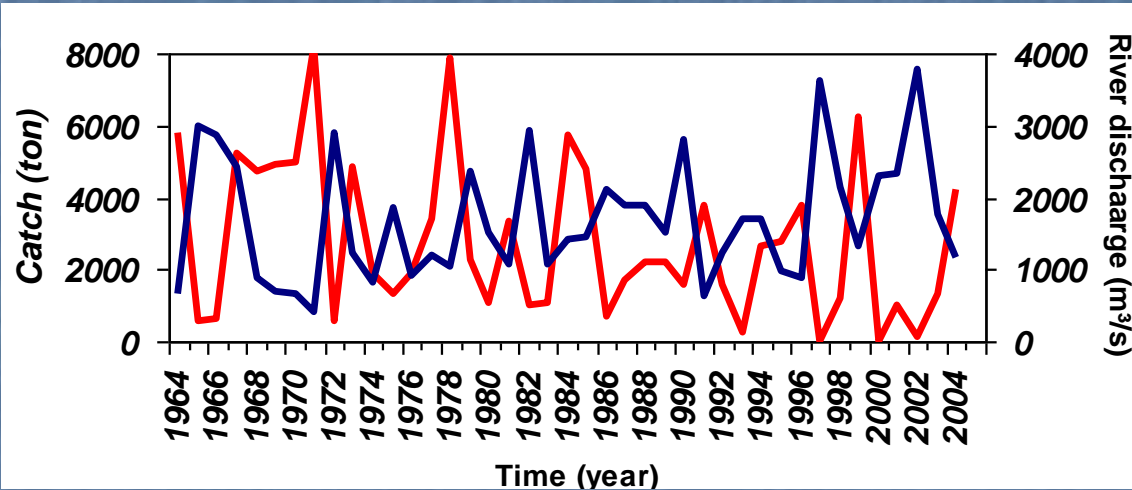
- redução na área de plantio de Arroz;
- Baixa dinâmica acarreta em alto tempo de residência;
- Ondas: erosão de margens;
- aumento de áreas alagadas: problemas de saúde pública ;

Camarão x Precipitação: relação inversa



Negative correlation between rainfall and shrimp catches (from Castello and Möller, 1978)

Camarão x Descarga Fluvial e ventos

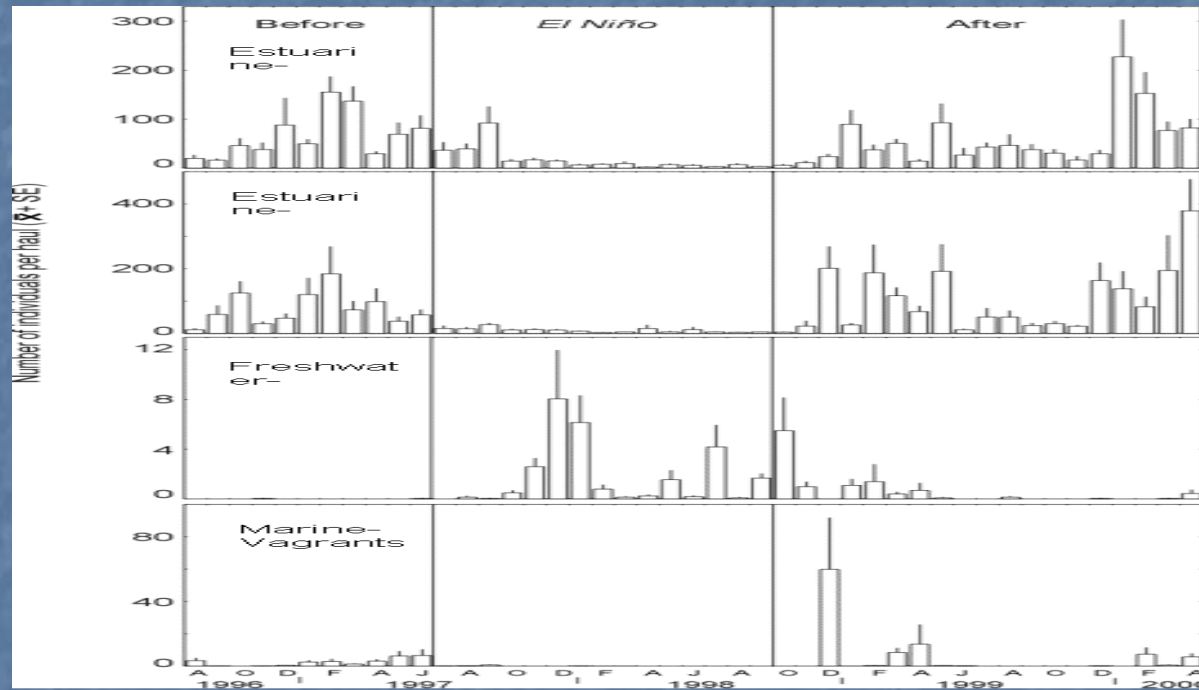


Time series of MRD (blue line) for the period between September to December of one year and Total Shrimp Catches (TSC, red line) from January to May of the following year. Correlation coefficient is -0.67 at 95%.

Möller et al. 2009

Inner lagoon - biological processes

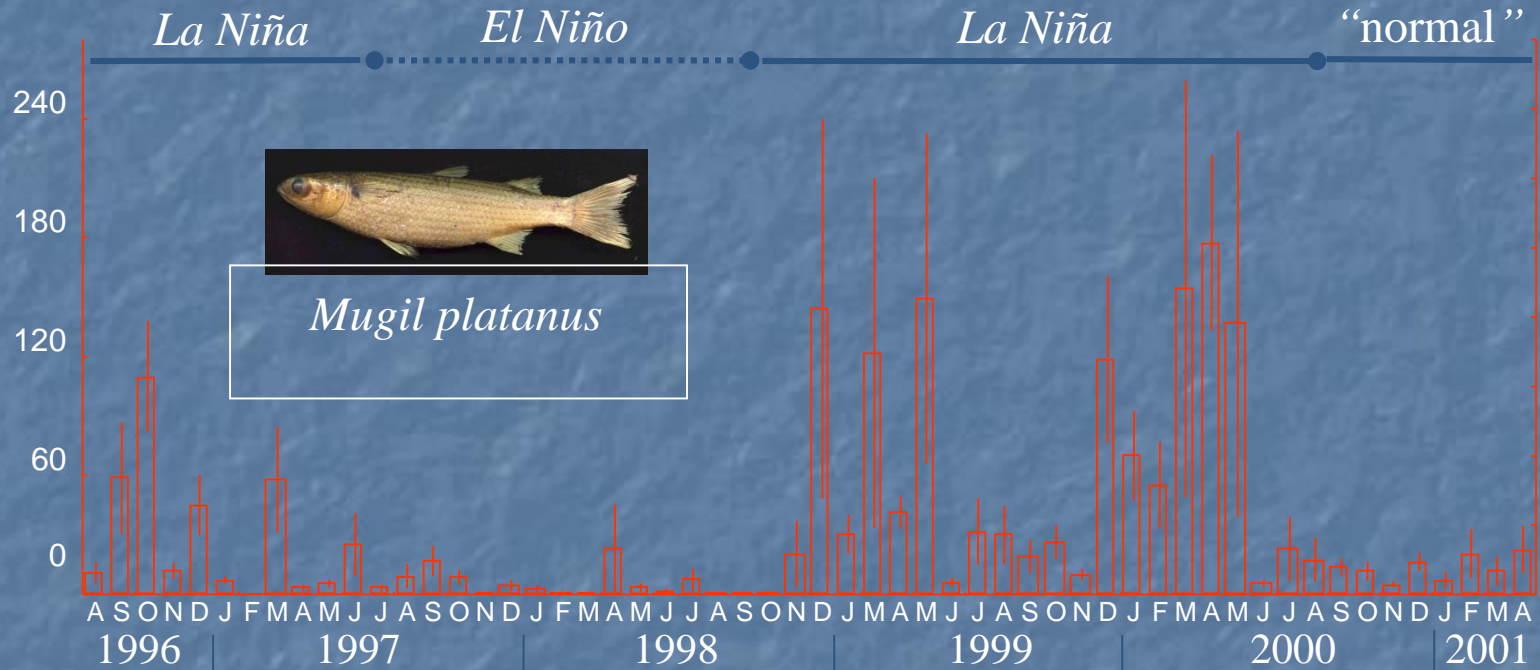
Monthly mean fluctuations of CPUE



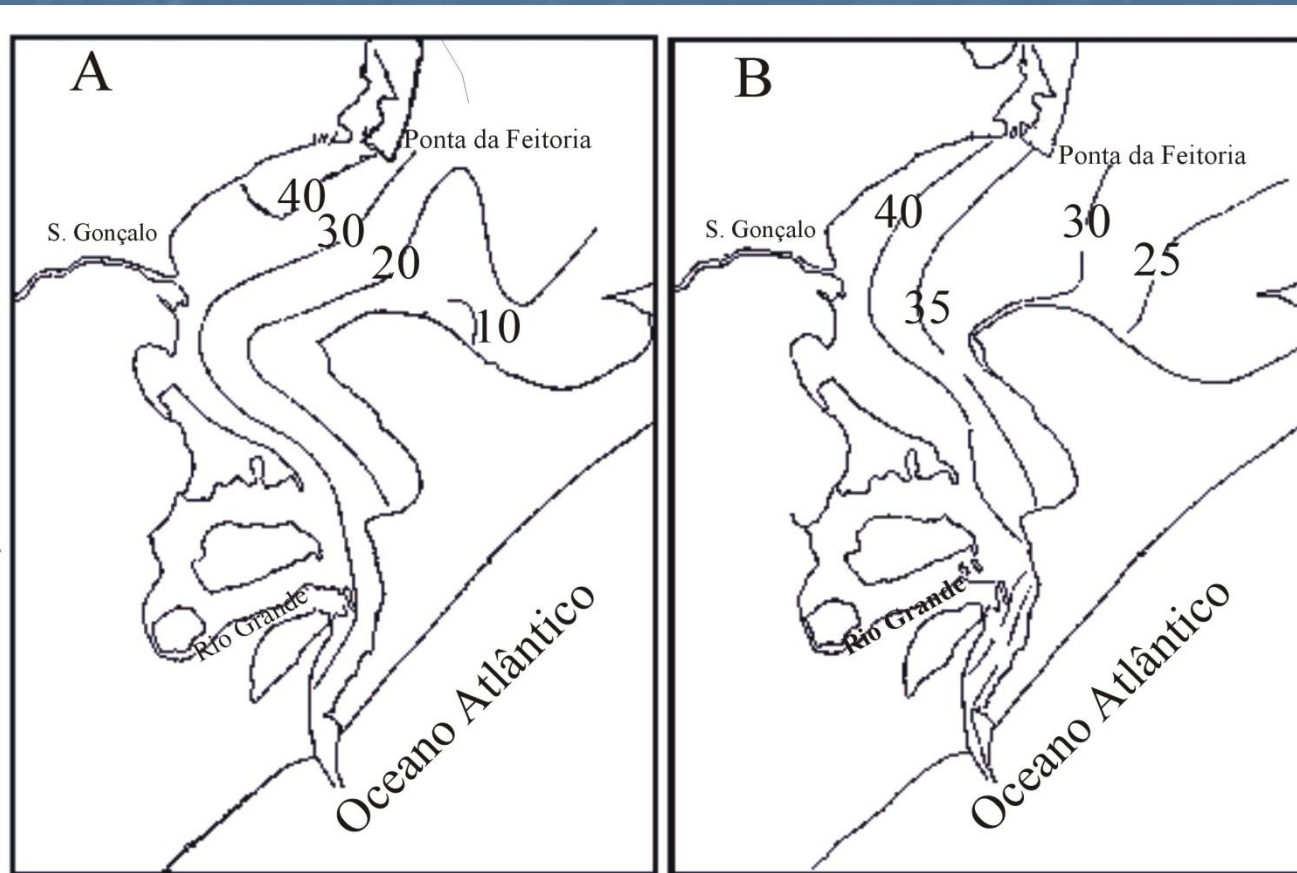
Monthly mean fluctuations of fish CPUE (average number of individuals per seine haul) and 95% **confidence** intervals for four species groups: estuarine residents, estuarine dependents, freshwater vagrants and marine vagrants from August 1996 to April 2000. The 1997-1998 *El Niño* is delimited from July 1997 to september 2000. Garcia et al. (2000)

Variação da abundância de *Mugil platanus* (tainha)

Abundance of mullet juveniles
in the estuary of Patos Lagoon



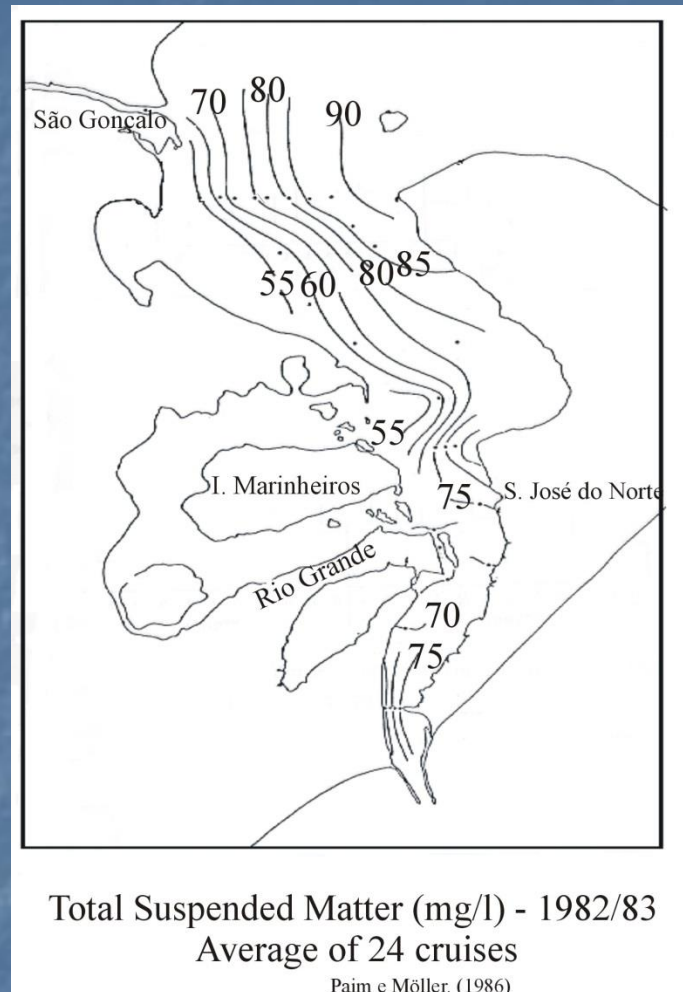
Efeito do rio em processos de transporte sedimentar



Total Suspended Matter (mg/l) 1979/80.. A) Surface; B) Bottom
Average of 15 cruises

: Paim e Möller . (1986)

Efeito do rio em processos de transporte sedimentar



Depósitos de lama formados sobre a praia após fortes tempestades

Origem: sedimentos finos transportados para o mar pela Lagoa dos Patos. Aumento da quantidade em períodos de fortes descargas de rios.



Afeta:

Propagação de ondas

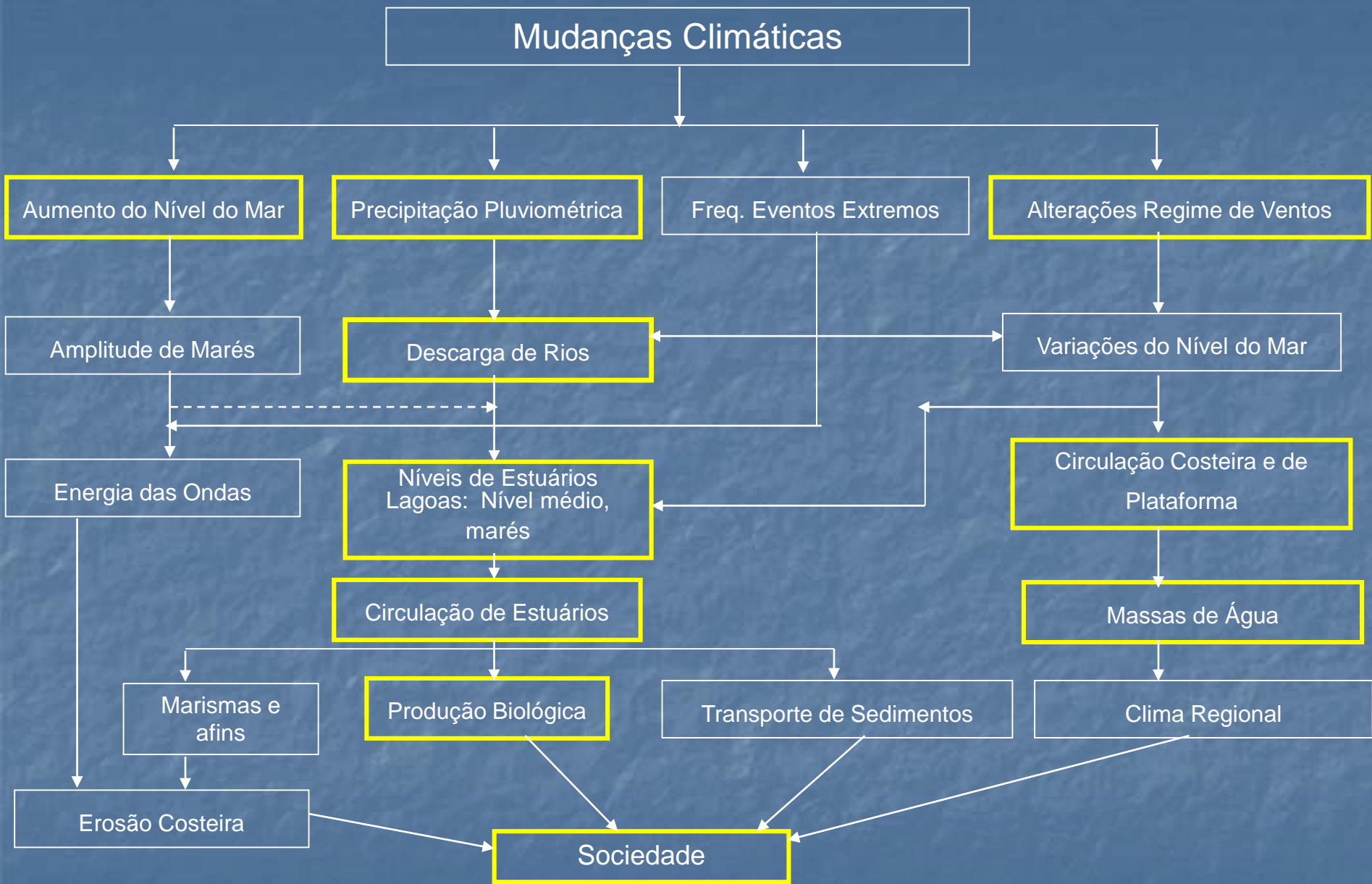
Mata vários tipos de organismos - fundo

Turismo

Segurança para banhistas, surfistas,
tráfego de carros

Mar de lama "medicinal"





Tendências de variações de nível do mar ao longo da costa Atlântica da América do Sul

Cidade	País	Latitude	Longitude	Início	Fim	Tendência (mm/a)	Ref.
Ushuaia	Argentina	54o 49' S	68o 13' W	1957	1969	6,2	1
Puerto Madyn	Argentina	42o 46' S	65o 02' W	1945	1983	3,5	2
Puerto Madyn	Argentina	42o 46' S	65o 02' W	1944	1982	2,6	1
Mar del Plata	Argentina	38o 00' S	57o 33' W	1954	1992	1,4	2
Mar del Plata	Argentina	38o 00' S	57o 33' W	1957	1982	-2,0	1
Buenos Aires	Argentina	34o 36' S	58o 22' W	1905	1992	1,4	2
Buenos Aires	Argentina	34o 36' S	58o 22' W	1957	1982	1,4	1
Colonia	Uruguai	34o 28' S	57o 51' W	1954	1984	3,2	1
La Paloma	Uruguai	34o 39' S	54o 09' W	1955	1984	1,3	1
Imbituba	Brasil	28o 14' S	48o 39' W	1948	1968	0,7	1
Cananéia	Brasil	25o 10' S	47o 56' W	1954	1984	4,2	1
Ilha Fiscal	Brasil	22o 54' S	43o 10' W	1965	1982	16,0	1
Salvador	Brasil	12o 58' S	38o 31' W	1949	1967	2,7	1
Fortaleza	Brasil	03o 43' S	38o 29' W	1948	1968	3,5	1
Fonte:	1 - Emery and Aubrey (1991)						
	2 - Lanfredi et al. (1998)						



Morfologia da entrada da Lagoa dos Patos antes da construção dos molhes

