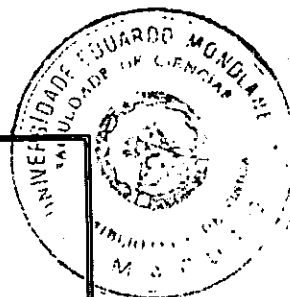


FIS-19



**Universidade Eduardo Mondlane**  
**Faculdade de Ciências**  
**Departamento de Física**

Trabalho de Licenciatura

**Caracterização biogeoquímica do fluxo de  
nutrientes, em relação aos processos  
oceanográficos no estuário do rio Incomáti,  
durante a estação seca**

Autor:  
**Issufo F. Halo**

Supervisores:  
**Prof. Dr. António M. Hogueane**  
**Prof. Dr. Pedro M. Monteiro**

**Agosto de 2004**

**Universidade Eduardo Mondlane**

**Faculdade de Ciências**

**Departamento de Física**

Maputo

**Caracterização biogeoquímica do fluxo de nutrientes,  
em relação aos processos oceanográficos no estuário do  
rio Incomáti, durante a estação seca**

**Issufo Ferrão M. Halo**

## RESUMO

O rio Incomáti é um dos rios internacionais que percorre o território moçambicano e desagua na parte norte da Baía de Maputo. Durante o seu percurso, este transporta diversos tipos de nutrientes que contribuem para o aumento da produtividade do estuário e da baía de Maputo, cujos recursos sustentam a vida de muitas famílias de pescadores e rende cerca de 3.5 milhões de dolares americanos ao país.

Como resultado da interação das águas do rio Incomáti e da Baía de Maputo, os principais nutrientes nomeadamente, amónia, fosfato, nitrato e sílica são exportados do estuário para a baía. Esta conclusão foi provada por meio de uma observação directa e por modelação (*One Box Model*), através da compreensão dos parâmetros físicos oceanográficos que governam o transporte e a distribuição destes nutrientes na coluna de água estuarina. Esta compreensão também foi feita por meio da identificação das principais fontes dos nutrientes mencionados e a quantificação dos mesmos nos cursos das marés, durante o período transitório da maré viva para a maré morta, na estação seca do mês de Setembro.

Os resultados deste estudo mostram que o rio Incomáti é a principal fonte de sílica e de fosfato, sendo os mangais as principais fontes de amónia. O nitrato é proveniente da remineralização de amónia pelos microorganismos do sistema. A temperatura e a salinidade são de pequena importância no fluxo destes nutrientes. A energia das marés e os ventos são relevantes no fluxo, porque contribuem no processo de mistura das águas do rio e da baía, de tal modo que o transporte e distribuição da amónia, fosfato, nitrato e sílica, são governados pelos processos de difusão turbulenta.

Estes resultados são relevantes porque lançam a plataforma da investigação do impacto das actividades humanas numa bacia hidrográfica sobre os recursos costeiros adjacentes, bem como o entendimento de vários processos ecológicos, físicos, e biogeoquímicos do estuário e da Baía de Maputo, o que contribuirá na gestão sustentável dos seus recursos.

### DECLARAÇÃO DE HONRA

Juro por minha honra que o presente trabalho é da minha autoria e que o mesmo teve uma assistência cabal dos meus supervisores.

### DEDICATÓRIA

O presente trabalho dedico aos meus pais, Mário Halo e Chaurina Ferrão, minha avô Margarida Ofinar e aos meus irmãos Rafique, Rosalina, Suraia, Baxir e Faruque.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CSIR</b>	Council for Scientific and Industrial Research
<b>CTD</b>	Conductivity Depth Temperature
<b>DIC</b>	Carbono Inorgânico Dissolvido
<b>DIN</b>	Dissolved Inorganic Nitrogen
<b>DIP</b>	Dissolved Inorganic Phosphor
<b>DNA</b>	Direcção Nacional de Águas
<b>DON</b>	Dissolved Organic Nitrogen
<b>DOP</b>	Dissolved Organic Phosphor
<b>EB</b>	Estuarine Bay Boundary
<b>GPS</b>	Global System Position
<b>GTA</b>	Grupo de Trabalho Ambiental
<b>IGBP</b>	International Geosphere Biosphere Program
<b>IIP</b>	Instituto de Investigação Pesqueira
<b>INAHINA</b>	Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação
<b>LOICZ</b>	Land Ocean Interaction in Coastal Zone
<b>UCT</b>	Universidade de Cape Town
<b>UEM</b>	Universidade Eduardo Mondlane

## AGRADECIMENTOS

Enderesso os meus sinceros agradecimentos a todos amigos e instituições, que de uma maneira directa ou indirecta contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente:

À meu supervisor Prof. Doutor António M. Hogueane (Departamento de Física, UEM), pela instrução preparatória nas disciplinas de Oceanografia, supervisão prestada, e confiança que depositou em mim para a realização deste trabalho.

À meu co-supervisor Prof. Doutor Pedro M. Monteiro (Departamento de Oceanografia, UCT), pelo tempo disponível mesmo nos momentos inconvenientes, boa vontade demonstrada e apóio prestado nas diversas fases do trabalho. Desde a amostragem até à discussão dos resultados. Pela maneira inteligente que tutorou o trabalho, respondendo questões por meio de perguntas, indicações de publicações apropriadas com palavras tais como: "...Porquê que achas que deve ser assim.," "...Lêia os seguintes livros...nos seguintes capítulos...e nas seguintes páginas..." "...Vá ao corredor X ou Y, e lêia os seguintes posters..." "...Faça cópias dos seguintes artigos...". Desde modo pude responder questões levantadas por mim mesmo.

À Dr. Adriano Macia (Departamento de Biologia, UEM), pela provisão de artigos científicos e sites de internet, para uma pesquisa mais avançada de processos biológicos. À Dr. João (Departamento de Oceanografia-Portugal), por ter-se mostrado disponível na procura de artigos mais recentes e pela supervisão que prestou na fase inicial do trabalho.

À dr. Fernando Saíde (Departamento de Física, UEM), pela preparação dos instrumentos de campo, tratamento dos dados, acima de tudo pelo apóio moral. Aos dr. Ibrahim e Gilberto (Departamento de Física, UEM), pelas contribuições nas disciplinas de Meteorologia e Hidrologia geral.

Ao Dr. Rogério Uthui, Dr. Maphossa, Dr. Cumbane (Departamento de Física, UEM), pelas suas contribuições em vários aspectos da minha formação superior.

À Mr. Andrew Pascal, Warren Joubert, Sebastian Brown e Alistar Adonis (CSIR-Stellenbsch), pelo processamento das análises químicas e discussão dos resultados.

Ao dr. Emídio e ao técnico Daniel (Departamento de Oceanografia, IIP), Pela conservação das amostras a temperaturas recomendadas.

À dr.<sup>a</sup> Verónica Dove (Departamento de Física, UEM), á dr.<sup>a</sup> Cândida Sete (Departamento de Oceanografia, INAHINA), pelo apóio moral nos momentos mais estressantes do trabalho.

À equipa de amostragem do projecto Catchment2Coast, nas pessoas de Dr.<sup>a</sup> Jenny, Mr Andrew, dr. Farisse, dr. Carvalho, dr Edson, João e Machava. A minha colega Sónia Nordez por ter usado a maior parte do seu tempo na filtragem das amostras.

À turma do quarto ano do curso de Oceanografia e a todos colegas do curso nas pessoas de dr. Ataíde, Badru, Edson, Moiane, Messias, Nhacuong, Claire, Ivódia, Carvalho. À João Luís, Meque, Marrenjo, Clousa, Pascoal e Herminia

Ao Projecto Catchment2Coast e a intuição da CSIR – Stellenbosch, pelas inúmeras facilidades concedidas no uso dos diversos equipamentos tais como os Computadores, Fotocopiadoras, Impressoras a cores. A instituição do GTA e a Cátedra das Ciências Marinhas e Oceanografia da UEM, nas pessoas do sr<sup>o</sup> Nordino e a sr.<sup>a</sup> Otilia, por terem tratado de diversos assuntos relacionados com as minhas deslocações dentro e fora do país.

À Louis Watt e a Sharifa, pela hospitalidade concedida, aos meus pais Mário Halo e Chaurina Ferrão, aos meus irmãos Rafik, Baxir, Rosalina, Suraia e Faruk. Aos meus tios Justino e Fátima Lobo, aos primos Miro, Ivan, Nino, Papaíto e Maira. Aos meus amigos Macheque, Bonga, Mavume, Nélio, Adilson, Sónia, Olança, Rute, Buramuge, Guedes e Eugénio.



## INDICE

<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
I.1 Hipótese.....	4
I.2 Objectivos.....	4
I.2.1 Objectivos específicos.....	4
I.2.2 Objectivos específicos.....	4
<b>II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
II.1 Caracterização de ambientes e processos estuarinos.....	5
II.1.1 Definição de estuário.....	5
II.2 Classificação dos estuários.....	6
II.2.1 Definição de tipos de estuários.....	6
II.2.1.1 Estuários de costas planas.....	6
II.2.1.2 Estuários do tipo tectónicos.....	7
II.2.1.3 Estuários formados por barreiras.....	8
II.2.1.4 Fjords.....	8
II.2.1.5 Estuário fortemente estratificado ou de cunha salina.....	9
II.2.1.6 Estuário parcialmente misturado ou moderado.....	10
II.2.1.7 Estuário completamente misturado ou verticalmente homogéneo.....	10
II.3 Importância dos estuários.....	11
II.4 Factores que governam a produtividade dos estuários.....	11
II.5 Processos físicos.....	11
II.5.1 Processos de difusão.....	12
II.5.2 Parâmetros estuarinos.....	13
II.5.3 Caracterização dos fluxos.....	14
II.6 Origem e importância dos nutrientes no mar.....	15
II.6.1 Disponibilidade dos nutrientes no mar.....	15
II.6.2 Descrição dos nutrientes.....	16
II.6.2.1 Amónia ( $\text{NH}_4^+$ ).....	16
II.6.2.2 Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).....	17
II.6.2.3 Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	17
II.6.2.4 Silica ( $\text{SiO}_2$ ).....	18
<b>III MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
III.1 Amostragem (trabalho de campo).....	19
III.1.1 Análises químicas (trabalho laboratorial).....	19
III.2 Caracterização da área de estudo.....	20
III.3 Ordem de execução da amostragem.....	22
III.3.1 Conservação das amostras.....	22
III.3.2 Métodos químicos utilizados.....	22
III.3.2.1 Amónia ( $\text{NH}_4^+$ ).....	22

III.3.2.2 Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	23
III.3.2.3 Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).....	23
III.3.2.4 Silica ( $\text{SiO}_2$ ).....	23
III.4 Medições físicas.....	24
III.5 Metodologias de cálculo.....	24
III.5.1 Fluxos integrados.....	24
III.5.2 Modelação da taxa de orçamento dos nutrientes.....	26
III.5.3 Componentes do modelo.....	26
III.5.3.1 Taxa de água do sistema.....	26
III.5.3.2 Taxa da salinidade.....	27
III.5.3.3 Taxa dos nutrientes.....	27
III.5.3.4 Relações estequiométricas.....	28
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
Parte IV.1 Quantificação dos nutrientes.....	29
Parte IV.1.1 Determinação do fluxo residual.....	34
Parte IV.1.2 Resultados do modelo.....	35
Parte IV.1.3 Variações de nutrientes com a transição da maré.....	36
Parte IV.1.4 Relações de Redfield – Richards.....	46
Parte IV.1.5 Variação da temperatura e da salinidade em função da maré.....	49
<b>V. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
V.1 Componente física.....	54
V.2 Componente biogeoquímica.....	55
V.3 Discussão do modelo.....	56
<b>VI. CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>VII. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>VIII. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>58</b>
<b>IX. ANEXOS.....</b>	<b>60</b>
IX.1 Imagens de alguns instrumentos usados no trabalho de campo.....	60
IX.1 General Oceanic.....	60
IX.1.1 GPS.....	60
IX.1.2 CTD.....	61
IX.1.3 Correntómetro.....	61



A Figura 2.1, Ilustra as bacias hidrográficas do Incomáti (cor amarela), do Maputo (cor vermelha) e do Umbelúze (cor cinzenta).

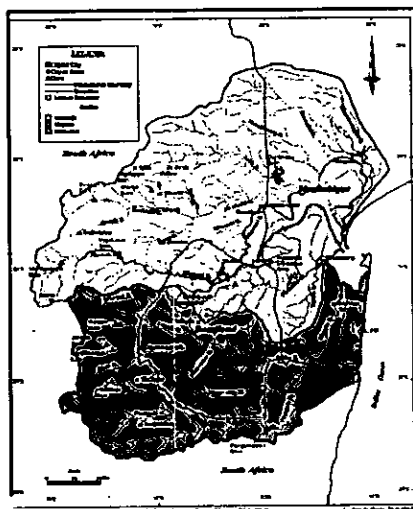


Figura 2.1 Representa as bacias hidrográficas ligadas a Baía de Maputo.

Fonte: Monteiro e Matthews (2003).

No território moçambicano o rio Incomáti, tem um comprimento de cerca de 280 Km e recebe a contribuição das águas provenientes de diferentes rios, sendo os mais importantes os rios Crocodile, Sabié e Komati (DNA, 1991). A confluência do rio Incomáti com a Baía de Maputo cria o estuário do Incomáti, que se estende 20 Km a montante do rio, como resultado da interação entre o rio e o mar. Nesta interação uma parte das águas do mar sobe o rio durante a enchente da maré, durante a vazante ocorre o contrário, de modo que os nutrientes que são importantes para a flora e a fauna são despejados do meio estuarino. Neste caso pensa-se que o estuário do rio Incomáti seja um exportador de nutrientes para a Baía de Maputo.

O caudal do rio Incomáti transporta várias formas de nutrientes que contribuem para a produtividade da zona estuarina e da Baía de Maputo, onde se desenvolve uma extensiva actividade pesqueira, que para além de alimentar a população local, contribui para a entrada de divisas no país. Como exemplo, o camarão capturado nesta baía tem variado entre 400 à 800 toneladas anuais, com um valor estimado em mais de 4 milhões de dólares americanos (IIP, 2001).

Os estuários são zonas de grande importância ecológica pela contribuição que fazem para a produção e biodiversidade dos ecossistemas, razão porque precisam ser compreendidos. Trabalhos de compreensão dos ecossistemas através de exportações e importações de nutrientes estão sendo desenvolvidos no mundo pela LOICZ (*Land-Ocean Interacion in Coastal Zone*), que é um co-projecto da IGBP (*International Geosphere-Biosphere Program*), estabelecido em 1993. A LOICZ estuda o papel dos sub-sistemas costeiros no funcionamento do sistema terrestre, elabora modelos numéricos simples que descrevem a dinâmica biogeoquímica dos elementos importantes (Carbono, Fósforo e Nitrogénio) na zona costeira, em escala regional e global, identificando e quantificando os fluxos importantes que entram e saem da zona costeira (LOICZ, 1996).

Deste modo, o presente trabalho pretende compreender o transporte e a distribuição de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nomeadamente Amónia, Fosfato, Nitrato e a Silica, no sistema estuarino. Isso é feito através da compreensão de parâmetros físicos oceanográficos que governam o transporte e a distribuição destes nutrientes na coluna da água estuarina. Através do fluxo das águas que entram em jogo na interação entre o rio e o mar. O estudo aborda o problema numa altura em que a contribuição fluvial é baixa e analisa os dados usando um modelo simples (*One Box Model*), para o cálculo da taxa de orçamento destes nutrientes.

Os resultados e as conclusões deste trabalho são relevantes, porque lançam a plataforma da investigação e modelação do impacto das actividades humanas numa bacia hidrográfica sobre os recursos costeiros adjacentes, o que poderá contribuir para uma gestão sustentável dos mesmos, através da divulgação duma informação fiável sobre os custos e os benefícios ecológicos, numa relação de modelos ecológicos e económicos.

Este estudo também lança a base do entendimento de vários processos ecológicos, físicos, biogeoquímicos e bem como para o maneio da qualidade da água da Bacia do Incomáti, do estuário e da Baía de Maputo, que são usados para diversos fins económicos-agrícolas, industriais e urbanos.

A abordagem do estudo é feita na vertente do tempo e do espaço, durante a estação seca do mês de setembro (entre os dias 13 à 18 de Setembro de 2003), no período transitório da maré viva para a maré morta.

O trabalho faz parte dum programa de actividade internacional e multidisciplinar de investigação (Programa *Catchment2Coast*), o qual pretende verificar como é que as actividades humanas numa bacia hidrográfica, tais como a agricultura, irrigação e utilização de água para fins industriais, afectam os recursos costeiros ([www.Catchment2coast.org](http://www.Catchment2coast.org)). Sendo o recurso de camarão da Baía de Maputo e do rio Incomáti o caso específico em estudo (Monteiro e Matthews, 2003).

### **I.1 Hipótese**

O estuário do rio Incomáti é um exportador de nutrientes para Baía de Maputo.

### **I.2 Objectivos**

#### **I.2.1 Objectivos gerais**

- Compreender a influência das características oceanográficas da região, nomeadamente temperatura, salinidade, correntes e o vento, no fluxo de nutrientes inorgânico dissolvidos, nomeadamente Amónia, Fosfato, Nitrato e Silica durante o período transitório da maré viva para a maré morta.
- Identificar as principais fontes destes nutrientes no sistema.
- Avaliar o fluxo de energia da maré envolvida no transporte e distribuição destes nutrientes na coluna da água estuarina.

#### **I.2.2 Objectivos específicos**

- Determinar o fluxo resultante de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nomeadamente Amónia, Fosfato, Nitrato e Silica, durante a passagem da maré viva para a maré morta, afim de determinar-se o sentido do despejo destes nutrientes.
- Estimar as quantidades e a distribuição destes nutrientes na coluna da água superficial durante as incursões da maré.
- Aplicar um modelo simples (*One Box Model*), para o cálculo da taxa de orçamento de nutrientes (Nitrogénio e Fósforo), inorgânicos dissolvidos no sistema.

## II. Revisão bibliográfica

### II.1 Caracterização de ambientes e processos estuarinos

#### II.1.1 Definição de estuário

Um estuário é uma massa de água costeira semi-cercada que têm uma ligação livre com o mar, que é fortemente influenciada pela acção das marés, onde no seu interior a água do mar mistura-se com água doce proveniente da drenagem terrestre (Pritchard, 1967).

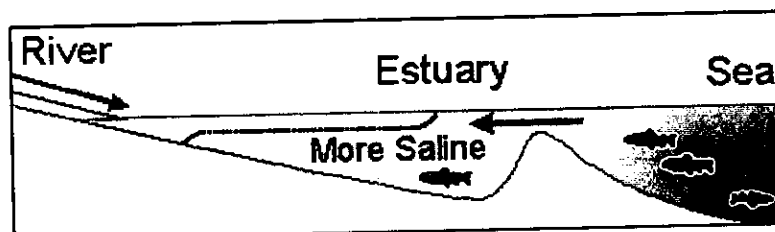


Figura 1.II, Ilustra um ambiente estuarino, dominado pela acção das marés.

Fonte: [www.CSIR.co.za](http://www.CSIR.co.za)

Os ambientes estuarinos são ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, sendo áreas de encontro dos rios com o mar. São os únicos sistemas aquáticos onde ocorre a interação dinâmica entre as águas doces, águas marinhas, o sistema terrestre e a atmosfera. Por esta razão, os estuários estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo e também entre os mais vulneráveis (Day *et al.*, 1989).

A sua abundante e diversificada comunidade e capacidade de renovação periódica de suas águas, faz destes ecossistemas locais onde ocorrem intensas transformações da matéria orgânica, representando um importante elo de ligação entre os ecossistemas fluvial e marinho (Braga *et al.*, 2000; Pereira Filho *et al.*, 2001).

Várias alterações nas características químicas e na qualidade da água dos estuários têm sido registadas como resultado da alteração de fluxos biogeoquímicos, com várias consequências ecológicas, tal como a alteração da composição das espécies (Beukema, 1991).

Muitos factores como no caso da topografia, fluxo dos rios e a acção das marés, influenciam a proporção de extensão da mistura do sal e da água fresca proveniente dos rios, o que permite que os estuários sejam classificados de acordo com os parâmetros a usar (George, 1967).

## II.2 Classificação dos estuários

Os estuários podem classificar-se segundo a topografia e a estrutura da salinidade.

Segundo a topografia, Pritchard (1952) classificou os estuários em quatro tipos:

- Estuários de costas planas
- Estuários do tipo tectônicos
- Estuários formado por barreiras
- Fjords

Segundo a estrutura da salinidade, Pritchard (1955), Cameron & Pritchard (1963) classificaram os estuários em três tipos:

- Estuário fortemente estratificado ou de cunha salina
- Estuário parcialmente misturado ou moderadamente estratificado
- Estuário homogêneo ou completamente misturado

### II.2.1 Definição de tipos de estuários

#### II.2.1.1 Estuários de costas planas

Os estuários de costas planas, são geralmente confinados em latitudes temperadas, onde apesar do fluxo do rio ser maior em função do tempo, as quantidades dos sedimentos descarregados pelo rio é relativamente baixa. Mas este fluxo quando comparado com o volume do prisma tidal é geralmente pequeno. Estes estuários desenvolvem-se principalmente ao longo das linhas da costa com planícies costeiras relativamente baixas e largas. As maiores profundidades que se podem observar nestes estuários raramente ultrapassam 30 metros (veja a Figura 2.II).

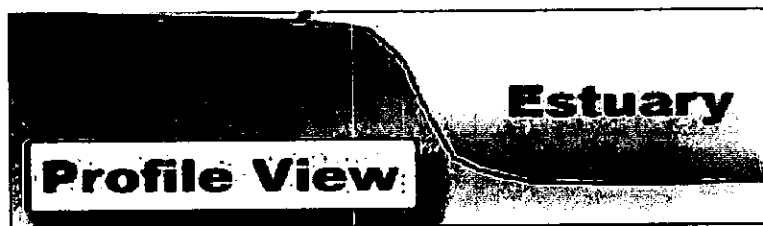


(a)

Figura 2.II (a). Vista aérea de um estuário de costas planas, com planícies costeiras baixas e largas. Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>



Figura 2.II (b), mostra o perfil do fundo de um estuário de costas planas.

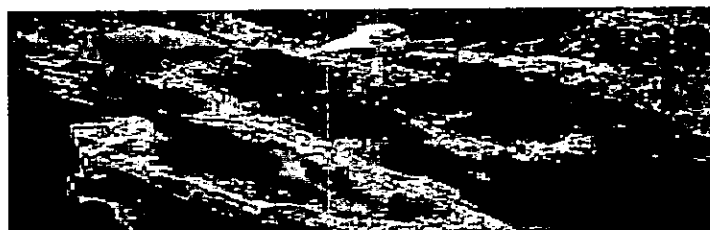


(b)

Fonte: [www.CSIR.co.za](http://www.CSIR.co.za)

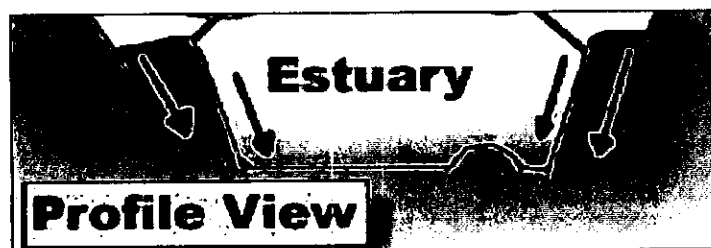
### II.2.1.2 Estuários do tipo tectônicos

Estes estuários são formados por dobras ou falhas da superfície terrestre e são encontrados ao longo das maiores linhas de falhas (Veja a Figura 3.II).



(a)

Figura 3.II (a). Vista aérea de um estuário do tipo tectônico, ilustrando as linhas de falhas. Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>



(b)

Figura 3.II (b). Perfil do fundo de um estuário do tipo tectônico.

Fonte: [www.CSIR.co.za](http://www.CSIR.co.za)

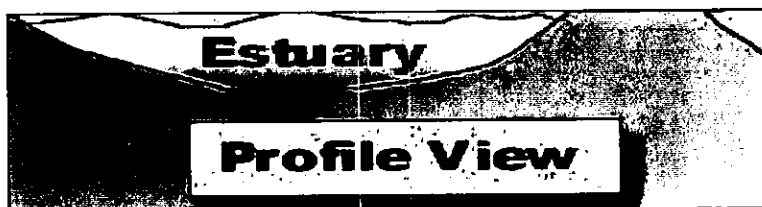
### II.2.1.3 Estuários formados por barreiras

Estes estuários, são geralmente de pequenas profundidades e muitas vezes com lagoas extensivas. O percurso das águas é geralmente raso mesmo dentro da boca do estuário. São bacias de águas baixas, muitas vezes parcialmente descobertas na maré baixa, cercada por uma cadeia de bancos de areia ou conjunto de ilhotas. Nelas abrem-se algumas entradas que permitem uma ligação livre com o mar (Figura 4.II).



(a)

A Figura 4.II (a), mostra vista aérea de um estuário formado por barreiras, ilustrando a cadeia de bancos. Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>



(b)

Figura 4.II(b). Perfil do fundo de um estuário formado por barreiras.

Fonte: [www.CSIR.co.za](http://www.CSIR.co.za)

### II.2.1.4 Fjords

Os Fjords são geralmente estuários de fundo pedregosos, com sedimentos de aparência muito finos, que geralmente dispõem-se de forma restrita na cabeça do estuário onde os principais rios entram. São reentrâncias costeiras profundas em forma de U, cavadas pelos glaciares e geralmente com um patamar pouco profundo na sua foz, formado pelos depósitos terminais do glaciar. A descarga dos rios é pequena quando comparada com o volume total do Fjord, mas o fluxo do rio é muitas vezes maior em relação ao prisma de maré. A sua ocorrência é confinada a altas latitudes, em áreas montanhosas (Figura 5.II).

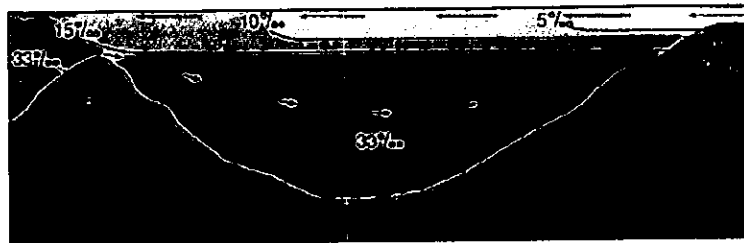
A Figura 5.II, representa um Fjord e as áreas de sua ocorrência.



(a)

Figura 5.II (a) Estuário do tipo fjord. Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>

A Figura 5.II (b) mostra perfil do fundo de um estuário do tipo Fjord.



(b)

Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>

#### II.2.1.5 Estuário fortemente estratificado ou de cunha salina

Designa-se estuário fortemente estratificado quando a corrente de água do rio domina fortemente a acção da maré, tendendo a sobrepôr-se a água salgada por esta ser mais pesada. Nestas condições, estende-se uma cunha salina sobre o fundo. O estuário assim apresenta uma variação acentuada da salinidade desde a superfície até ao fundo (Veja a Figura 6.II).

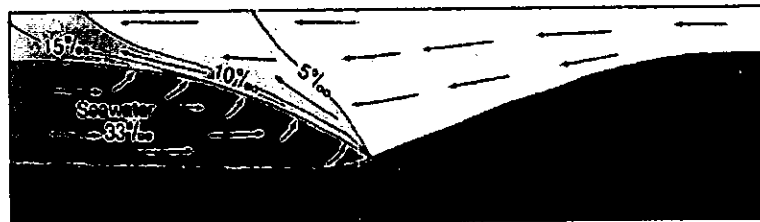


Figura 6.II. Perfil do fundo de um estuário fortemente estratificado.

Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>

### II.2.1.6 Estuário parcialmente misturado ou moderado

Um estuário é parcialmente misturado ou moderado, quando as correntes de entrada de água doce e de maré forem aproximadamente iguais. A turbulência causada pela maré é o agente principal responsável pela mistura. Nestas condições o perfil da salinidade é menos variável (Figura 7.II).

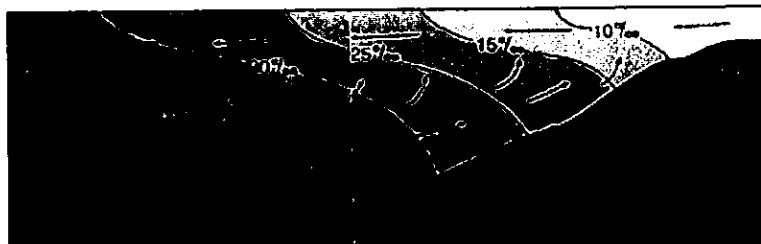


Figura 7.II. Perfil do fundo de um estuário parcialmente misturado.

Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>

### II.2.1.7 Estuário completamente misturado ou verticalmente homogêneo

Um estuário completamente misturado ou verticalmente homogêneo é caracterizado por uma ação forte da maré. A água do mar e do rio tendem a ficar completamente misturada em toda coluna de água. Nestas condições, o perfil da salinidade é quase vertical (Veja Figura 8.II).

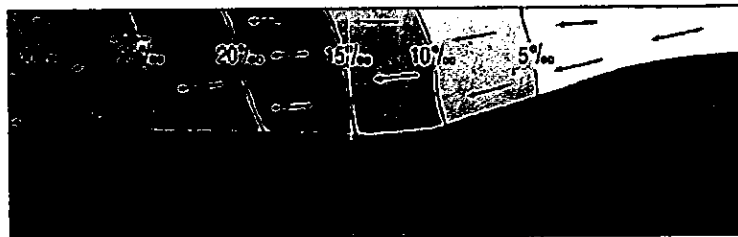


Figura 8.II. Perfil do fundo de um estuário completamente misturado.

Fonte: <http://omp.gso.uri.edu>

### II.3 Importância dos estuários

Os estuários são zonas de importância

- Ecológica
- Económica
- Recreativa.

### II.4 Factores que governam a produtividade dos estuários

Os estuários destacam-se pela sua alta produção biológica, que ocorre como reflexo da alta diversidade de sistemas produtores tais como os mangais, fanerógamas submersas, algas bentónicas, marismas e fitoplâncton, do abundante suprimento de nutrientes provenientes dos aportes pluviais, fluviais e antrópicos (Nixon, 1992).

Segundo Day *et al.*, (1989), a produtividade dos estuários também depende dos processos de renovação da qualidade da água nos ciclos das marés, da rápida mineralização e conservação de nutrientes através de uma complexa teia trófica, que inclui organismos detritívoros e filtradores. Outro aspecto está relacionado com a troca de nutrientes e outras propriedades biogeoquímicas entre o sistema bentónico e a coluna de água estuarina, através dos processos de erosão e ressuspensão dos sedimentos do fundo (Nichols, 1986).

### II. 5 Processos físicos

Segundo Lauff (1967), os princípios básicos que governam a circulação e a mistura das águas nos estuários são as equações de movimento, a equação de continuidade de volume e a de conservação do sal.

#### Equação de movimento

$$\frac{Du}{Dt} - fv = -\alpha \left( \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \quad (a)$$

$$\frac{Dv}{Dt} + fu = -\alpha \left( \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) \quad (b) \quad (1.II.5)$$

$$0 = -\alpha \frac{\partial p}{\partial z} + g \quad (c)$$

**Equação de conservação de volume**

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.II.5)$$

**Equação de conservação de sal**

$$\frac{DS}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (3.II.5)$$

A equação (1.II.5), representa a equação de movimento nas componentes  $xyz$ , respectivamente.

Onde:

$$(D/Dt) = (\partial/\partial t) + [u(\partial/\partial x)] + [v(\partial/\partial y)] + [w(\partial/\partial z)]$$

$K_x$ ,  $K_y$  e  $K_z$  são os coeficientes de difusão de *Eddy* ao longo das direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$  respectivamente,  $S$  é a salinidade

$f$  é o parâmetro de Coriôles

$u$ ,  $v$  e  $w$  são as componentes da velocidade nas direcções  $x$ ,  $y$  e  $z$  respectivamente

$p$  é a pressão hidrostática

$\alpha$  é o volume específico

$\tau$  é o stress

$g$  é a aceleração de gravidade.

**II.5.1 Processos de difusão**

A dispersão e a advecção das massas de água e das suas propriedades ocorrem devido aos processos de difusão molecular, difusão turbulenta, gradientes de densidade, fricção com o fundo, cisalhamento lateral entre as massas de água com diferentes velocidades e o movimento oscilatório das marés que subsidiam energia externa ao estuário (Ketchum, 1983).

Por ser de baixa profundidade e negligenciando a velocidade vertical dada a sua pequena importância, assumindo um fluxo unidirecional na direcção  $x$ , montante a jusante ou vice-versa, a equação de Stommel de difusão horizontal e dispersão do sal pode ser aplicada para a dispersão dos nutrientes por cada unidade de volume (Dyer, 1973).

Assim a equação da dispersão dos nutrientes toma a seguinte forma:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial X} = \frac{\partial}{\partial X} \left( Kx \frac{\partial \eta}{\partial X} \right) + Q \quad (1.II.5.1)$$

Tal que 
$$Kx = R\eta / A \frac{\partial \eta}{\partial X} \quad (2.II.5.1)$$

Onde:

$\eta$  representa a concentração dos nutrientes

$Q$  é a proporção em que os nutrientes são introduzidos por cada unidade de volume

$u$  é a velocidade principal da descarga do rio

$R$  é a descarga do rio

$A$  é a área de secção.

Nos estuários onde os aportes de água doce e a acção das ondas geradas pelo vento são relativamente baixos, a circulação é basicamente guiada pelas correntes da maré (Day *et al.*, 1989). Deste modo, durante um ou mais ciclos da maré pode-se acessar as quantidades de importação ou exportação da água e dos materiais do sistema (Kjerfve *et al.*, 1982).

### II.5.2 Parâmetros estuarinos

Certas características do fluxo em fluidos homogêneos e estratificados são representados por dois parâmetros adimensionais, o número de Reynolds ( $Re$ ) e o número de Richardson ( $Ri$ ). O número de Reynolds compara a importância relativa das forças inerciais e a força de viscosidade na determinação da resistência dos fluxos e é dada pela expressão:

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (1.II.5.2)$$

Onde:

$U$  é a velocidade do fluido

$D$  é a profundidade

$\nu$  é a viscosidade cinética do fluido

O parâmetro de Richardson ( $Ri$ ), é uma comparação das forças de estabilização da estratificação da densidade pela influência da desestabilização da velocidade pelo cisalhamento e pode ser definida pela seguinte expressão:

$$Ri = \frac{g \partial \delta}{\partial Z} \bigg/ \left( \frac{\partial u}{\partial Z} \right)^2 \quad (2.II.5.2)$$

Onde:

$g$  é a aceleração de gravidade

$Z$  é a profundidade

$u$  e  $\delta$  representam a velocidade e a densidade do fluido respectivamente.

Assim estes parâmetros estuarinos caracterizam os fluxos de acordo com as Tabelas II.8 e II.8.1.

### II.5.3 Caracterização dos fluxos

Tabela II.8. Caracterização do parâmetro de Reynold ( $Re$ ).

Parâmetro de ( $Re$ )	Características do fluido
$Re \cong 2000$	Laminar
$Re \cong 100000$	Turbulento
$100000 > Re > 2000$	Transicional

A tabela II.8, representa os valores adimensionais de Reynolds, pelos quais os fluidos assumem diferentes características.

Tabela II.8.1. Caracterização do parâmetro de Richardson ( $Ri$ ).

Parâmetro de ( $Ri$ )	Características do fluido
$Ri > 0$	Estratificação
$Ri = 0$	Neutro
$Ri < 0$	Instável

A Tabela II.8.1, representa os valores adimensionais de *Richardson*, pelos quais os fluidos assumem diferentes estados.



## II.6 Origem e importância dos nutrientes no mar

A produtividade de um ecossistema depende fundamentalmente dos teores e tipos de nutrientes que nele lhe são impostos (Levitus *et al.*, 1993). Assim, os nutrientes se tornam elementos básicos na capacidade produtiva dos recursos hídricos, que suportam potencialmente os limites dos processos metabólicos nos cursos das águas (Allan, 1995). De acordo com Libes (1992), as principais fontes de nutrientes são as descargas dos rios, nos sistemas costeiros ligados à fronteira ocidental dos oceanos.

Os nutrientes mais importantes para a vida, são fosfato, nitrato, amónia, e a sílica. Estes ocorrem em várias formas químicas como iões ou gases dissolvidos em solução (Allan, 1995). Especialmente o fosfato e o nitrato, são tão deluídos de tal modo que as suas concentrações variam consideravelmente de lugar para lugar e de estação para estação (Odum, 1968<sup>a</sup>).

Nos oceanos e nos sistemas costeiros, o nitrogénio é o nutriente que limita o potencial da produção primária. Segundo Odum (1971), nestes ambientes este nutriente apresenta-se sob forma de  $\text{NO}_3^-$  (Nitrato),  $\text{NH}_4^+$  (Amónia), PON (Nitrogénio Orgânico Particulado) e DON (Nitrogénio Orgânico Dissolvido).

### II.6.1 Disponibilidade dos nutrientes no mar

O perfil vertical da distribuição dos nutrientes na água do mar é caracterizado pelo decréscimo da concentração próximo a superfície. Esta distribuição é resultante da interação de processos físicos e biogeoquímicos, tais como o movimento das águas, o clima, a descarga dos rios e o surgimento do fitoplâncton na zona eufótica (Libes, 1992). O fitoplâncton produz partículas biogénicas na superfície das águas das bacias oceanicas através do processo da fotossíntese. Muitas destas partículas se dirigem para o fundo do mar e depois são remineralizadas (Brown. *et al.*, 1989).

O fluxo das partículas biogénicas aumenta a concentração de nutrientes nas massas de águas profundas, tal que as concentrações de nutrientes aumentam a medida que as águas tornam-se mais velhas. Assim estas águas acumulam o produto da remineralização da matéria orgânica particulada e o seu gradiente é determinado pela

proporção do movimento das águas, fluxo das partículas biogénicas e a eficiência de reciclagem de nutrientes (Libes, 1992).

Dependendo da circulação das águas, estes nutrientes são transportados pelos oceanos, do fundo à superfície através dos *upwelling*, que são fluxos lentos e ascendentes das massas de águas profundas originadas pela circulação termohalina e pela difusão de *Eddy*, resultante dos ventos dirigidos ao equador (Libes, 1992).

Observações extensivas da composição elementar do fitoplâncton demonstraram que a proporção atómica de carbono (*C*), nitrogénio (*N*) e fósforo (*P*) nos seus tecidos é igual a proporção encontrada nas águas marinhas, sendo 106 para *C*, 16 para *N* e 1 para *P*. Estas proporções são designadas *Redfield-Richards Ratio* (Redfield, 1934).

A estequiometria da respiração aeróbica e a utilização aparente do oxigénio no mar, podem ser usadas para prever as mudanças químicas da água, que resultam da decomposição da matéria orgânica particulada. Estas previsões podem ser inválidas caso se observem desvios estequiométricos de *Redfield-Richards Ratio* (Libes, 1992).

Os desvios de *Redfield-Richards* devem-se às decomposições da matéria orgânica particulada tais como *feces*, *molts* e tecidos dos animais que não possuem *Redfield-Richards Ratio* ou resultado da oxidação incompleta dos detritos do plâncton (Laausson e Ingemar, 1980).

## II.6.2 Descrição dos nutrientes

### II.6.2.1 Amónia ( $\text{NH}_4^+$ )

Amónia é a forma mais reduzida e mais abundante do nitrogénio inorgânico nas superfícies do mar após o período da produtividade. A sua concentração nas camadas onde se encontra o fitoplâncton é geralmente muito baixa (Grasshoff e Kremling, 1983).

No fundo do mar a amónia é produzida a partir do apodrecimento de compostos orgânicos nitrogenados solúveis na água, decompostos por acção das bactérias proteolíticas e também do excremento dos animais marinhos (Dentener., Crutzen, 1994., Prospero *et al.*, 1996).

No processo de assimilação do fitoplâncton, a amónia é utilizada para a sintetização das proteínas. A sua importância para os organismos produtores deve-se ao facto de sua absorção ser energeticamente mais viável (Greenberg *et al.*, 1995). Em concentrações elevadas a amónia causa grandes implicações ecológicas, influenciando a dinâmica do oxigénio dissolvido no meio, o que afecta negativamente a comunidade dos peixes (Valiela, 1995).

#### II.6.2.2 Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

O nitrato é o produto final da oxidação de compostos de nitrogénio na água do mar e é considerado termodinamicamente como o único nível de oxidação do nitrogénio na presença de oxigénio na água do mar (Sillén, 1961). O nitrato é geralmente mais abundante nos rios do que nos mares, rodando entre 1-25  $\mu\text{mol/l}$ , ou menos. Raramente excede 25  $\mu\text{mol/l}$  (Valiela, 1995).

Na maioria dos casos o nitrato constitui a principal fonte do nitrogénio para os vegetais na região fitoplantónica. Em muitas zonas do mar o Nitrato é considerado micronutriente controlando a produção primária na zona eufótica e a sua concentração é governada pelo transporte advectivo na superfície, pela oxidação microbiana da Amónia e da remoção pelos produtores primários (Paerl, 1995).

#### II.6.2.3 Fósforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Toda forma de fósforo presente em águas naturais, quer na forma iónica, quer na forma complexa, encontra-se sob forma de fosfato. O fosfato é um dos produtos provenientes da dissociação do ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) e é a forma mais abundante do fósforo (Valiela, 1995).

As fontes do fosfato nas águas do mar são a descarga fluvial, pluvial, vento e o lixiviamento da rocha mãe. A sua principal fonte de regeneração é o apodrecimento do fósforo orgânico particulado (*POP*) e dos animais. Alguns fosfatos são excretados por bactérias e fósforo inorgânico dissolvido (*DIP*), também são providos por hidrólises microbiais de ester do fósforo orgânico dissolvido (*DOP*), embora em quantidades muito reduzidas (Wazer, 1973).

O range da concentração do fosfato nas águas dos rios é quase a mesma que nos mares, rodando entre 0-3  $\mu\text{mol/l}$  (Valiela, 1995). Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal factor limitante da produtividade e apontado como o principal responsável pela eutrofização. O fósforo é um dos mais importantes nutrientes devido a sua participação no armazenamento de energia e estruturação da membrana celular (Lazier e Mann, 1996).

#### II.6.2.4 Silica ( $\text{SiO}_2$ )

A Silica embora em si não seja um nutriente é necessário para a formação do material esquelético nas diatomáceas, um dos mais importantes e abundantes produtores de alimentos (Jessen, 1998). Segundo Timothy e Carol (1997), a silica entra na composição das conchas fitozoárias seguindo um ciclo similar a dos nutrientes, dada a sua particular importância nas diatomáceas.

A silica deriva da meteorização da crosta das rochas. Ocorre nos oceanos na forma iônica como quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), dissolvido em suspensão ou mesmo nos materiais de argila (Jessen, 1998). Altas concentrações de silica são encontradas dissolvidas em rios que emanam das fontes vulcânicas. Na água do mar este material é libertado dos organismos mortos tais como diatomáceas e esponjas de silício (Mcmanus *et al.*, 1995).

### III. Materiais e Métodos

Para a realização do presente trabalho foram usados os seguintes materiais necessários:

#### III.1 Amostragem (trabalho de campo)

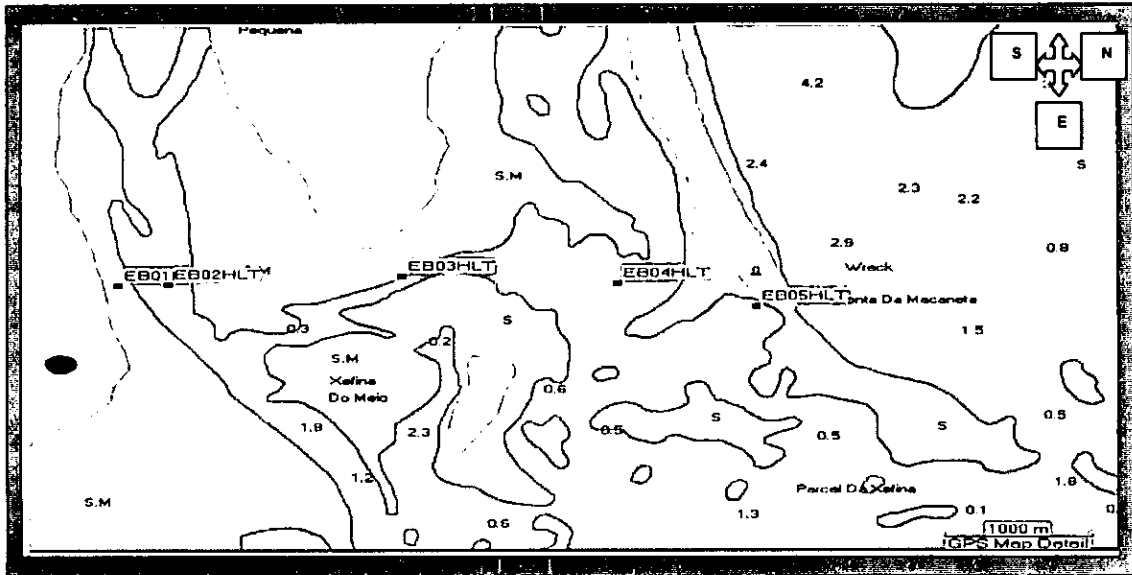
- Barco semi-industrial
- Computador portátil
- GPS (*Global System Position*)
- CTD (*Conductivity Depth Temperature*)
- Cóleman
- Garrafa de amostragem (*General Oceanic*)
- Marégrafo
- Correntómetro
- Mapa da região em estudo
- Bóias plásticas
- Garrafas plásticas de 1litro.

#### III.1.1 Análises químicas (trabalho laboratorial)

- Beakers de polietileno de 250 ml
- Pipetas de 100 ml
- Autoanalizadores
- Filtros GF/F de 0.45  $\mu\text{m}$  de porosidade
- Seringas descartáveis
- Frascos volumétricos
- Copinhos plásticos para autoanalizadores
- Balança
- Medidor de pH
- Conta gotas
- Luvas plasticas
- Óculos de protecção
- Reagentes químicos

### III.2 Caracterização da área de estudo

Figura 1.III.2. Representação da área de amostragem



A Figura 1.III.2, ilustra a imagem aérea da zona de estudo, no estuário do rio Incomati, com representações das estações de amostragem (em quadrados pretos), profundidades (em dígitos) e áreas abrangidas pela maré viva (em cor verde) e pela maré morta (em cor azul).

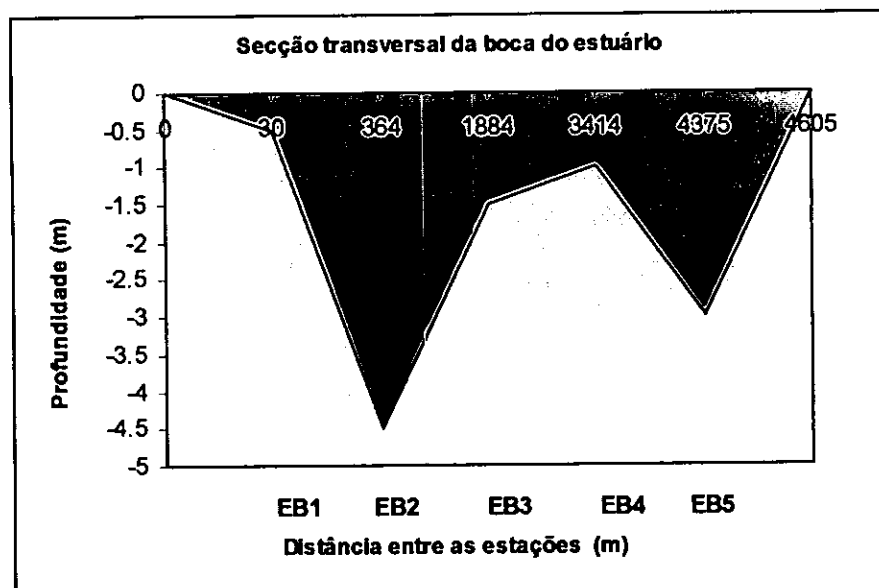
O estuário do rio Incomati sustenta vários habitats ligados, incluindo a península de Macaneta, que separa o estuário do mar, uma série de ilhas e a linha continental Este (Hatton eds, 1995). Uma extensiva floresta de terra húmida com 5 espécies de mangais desempenha um papel importante na abundância de crustáceos e espécies de peixes (Macia *et al.*, submetido).

De acordo com Hogueane & Sete (2001), o sistema dos ventos predominantes são os alíseos de sueste (*SE*), com velocidade média de  $4 \text{ ms}^{-1}$  durante a época seca e deslocam as águas para o lado ocidental da baía. Por vezes periodicamente sopra um vento forte e instantâneo de nordeste (*NE*).

As descargas anuais na zona de fronteira entre o estuário do Incomati e a Baía de Maputo são de  $3.2 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$  (Achimo, 2002).

correntes de maré variam de lugar para lugar, com valores máximos observados nos canais em  $1.3$  à  $3.5 \text{ ms}^{-1}$  durante a estação seca (Brigada do porto sul, 1954; Moura, 1973).

O comprimento da linha de fronteira entre o estuário e a baía e as profundidades médias de cada estação forneceram uma área de secção transversal de aproximadamente  $9.000 \text{ m}^2$ . Esta área varia com a situação da maré.



A Figura 2.III, representa a área da secção Transversal na boca do estuário do rio Incomati.

Tabela III.2.1. Localização das estações.

Estações	EB1	EB2	EB3	EB4	EB5
Latitude	25°51.858	25°51.855	25°51.809	25°51.847	25°51.99
Longitude	32°41.997	32°42.203	32°43.142	32°44.002	32°44.564
Profundidade (m)	0.5	4.5	1.5	1	3
Distância (m)	0	334	1520	1350	961

A Tabela III.2.1, representa as coordenadas de cada estação, as profundidades médias de cada e as distâncias de separação entre elas.

### III.3 Ordem de execução da amostragem

A execução do presente trabalho obedeceu a seguinte metodologia:

Definição de cinco estações de amostragem ao longo da linha de fronteira entre o estuário e a baía, com as designações de EB1, EB2, EB3, EB4 e EB5, com as respectivas localizações e características, especificadas na Tabela III.2.1 acima representada.

A deslocação de uma estação para outra, utilizou-se uma embarcação semi industrial de 75 cavalos, orientada por um *GPS 72 Garmin*, e equipada por um *CTD sonda SBE* model nº10500M e série nº05M0133, para a colecta de dados referentes a temperatura, salinidade, profundidade, oxigénio dissolvido, fluorescência e a pressão de cada estação, com um tempo de estabilização de 3 minutos e uma garrafa de amostragem *General Oceanic* para a colecta de amostras de água à 1 metro de superfície.

#### III.3.1 Conservação das amostras

Em cada estação as amostras de água foram recolhidas durante os períodos da enchente e da vazante da maré, armazenadas em garrafas plásticas de 1 litro com o registo da hora, dia, mês, ano e local da colecta. Em seguida estas eram conservadas num coleman e transportadas no mesmo dia para o IIP (Instituto de Investigação Pesqueira), onde eram filtradas e congeladas.

#### III.3.2 Métodos químicos utilizados

A composição química das amostras foram analisadas na África de Sul, Cidade do Cabo, no laboratório de nutrientes da CSIR (*Council for Scientific and Industrial Research*) de Stellenbosh, afim de determinar-se as concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos presentes. Para o efeito utilizaram-se os métodos colorimétricos propostos por Kirkwood, Grasshoff e Strickland & Parsons.

##### III.3.2.1 Amónia ( $\text{NH}_4^+$ )

Para amónia ( $\text{NH}_4^+$ ) a metodologia usada baseiou-se no método automático colorimétrico proposto por Kirkwood (1994), que faz a medição da amónia total dissolvida. Este método consiste no estabelecimento de condições alcalinas, num nível de pH entre 8.0 à 11.5, onde a amónia reage com hipoclorito, formando monocloraamina.



A monocloroamina na presença de fenol e excesso do hipoclorito forma o indofenol, que é um composto de cor azul. A absorvância deste produto é medida num comprimento de onda de 630 nanómetros. Neste método a combinação dos reagentes tem sido alterada para melhorar a estabilidade da reacção que ocorre à temperatura de 65 à 80°C.

### III.3.2.2 Fosfato ( $PO_4^{3-}$ )

Para os fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ), a metodologia usada também baseiou-se no método automático colorimétrico proposto por Kirkwood (1994). Este método consiste na reacção do Ortofosfato e o reagente molibdato acidificado, formando-se ácido Dodecaheteropoly que é subsequentemente reduzido a um composto de cor azul intensa. Em seguida este ácido é reduzido por ácido ascórbico numa reacção à 70°C.

### III.3.2.3 Nitrato ( $NO_3^-$ )

Para o nitrato ( $NO_3^-$ ) foi usada a metodologia proposta por Grasshoff (1970). Este método consiste na redução do nitrato em nitrito. Esta redução é feita por meio de uma reacção heterogênea usando graus de cádmio. As condições de redução são ajustáveis de tal modo que todo nitrato seja reduzido em nitrito sem que ocorra a oxidação.

Esta redução depende do metal usado como redutor, do pH da solução e da actividade do ião de hidrogénio. A quantidade total do nitrito obtido quando subtraída a quantidade originalmente presente na solução, fornece a quantidade do nitrato desejado.

### III.3.2.4 Silica ( $SiO_2$ )

Quanto a silica ( $SiO_2$ ), a metodologia usada baseiou-se no método proposto por Strickland & Parsons (1972). Neste método o silicato reactivo é combinado com ácido molibdato, para formar um isómero  $\beta$ -1/12 do ácido silicomolibdico. São aperfeiçoadas relações de reagentes e um pH a favor da formação do isómero  $\beta$ , que é reduzido através do ácido ascórbico para um complexo de cor azul estável. A isomerização do isómero  $\beta$ -1/12 do ácido silicomolibdico ocorre a um nível de pH igual a 2.0.

Apesar deste nível de pH, o fosfomolibdato de formas complexas interfere na estimação do silicato. Esta interferência, pode ser evitada pela adição do ácido oxálico, que

previne a redução do molibdato em excesso. O isómero  $\beta$  é então reduzido através do metol para formar um ácido heteropoly de cor azul. A absorvância deste ácido é medida num comprimento de onda de 820 nanómetros.

### III.4 Medições físicas

Para a determinação da intensidade da corrente e da amplitude da maré usou-se um correntómetro ancorado à 1 metro de profundidade e um marégrafo preso entre duas estacas firmemente enterradas, programados com um tempo de observação de 10 em 10 minutos, com as localizações indicadas na Tabela III.4.

Tabela III.4. Localização dos instrumentos.

Coordenadas	Correntómetro	Marégrafo
Latitude	25°52.001	25°51.948
Longitude	32°44.533	32°44.699

A Tabela III.4, representa as posições em que o correntómetro e o marégrafo foram ancorados durante os dias de amostragens.

O correntómetro e o marégrafo permaneceram ancorados durante 6 dias consecutivos e sinalizados com bóias superficiais afim de facilitar a localização. As linhas de amostragens eram cobertas durante um intervalo de tempo de 1 em 1 hora. Em cada estação ancorava-se o barco, afim de minimizar os efeitos da deriva causados pela corrente da água.

### III.5 Metodologias de cálculo

#### III.5.1 Fluxos integrados

Para a determinação do fluxo dos nutrientes que atravessam a linha de fronteira entre o estuário e a baía, foi necessário multiplicar a concentração média dos nutrientes ao fluxo de água nos cursos da maré enchente e vazante.

O fluxo de água foi determinado pela equação matemática estabelecida por Gauss.

$$Q = \int \vec{v} \cdot d\vec{s} = \vec{v} A \quad (1.III.5.1)$$

Onde:

$\vec{v}$  é a velocidade da corrente de água

$A$  é a área de secção transversal na linha de fronteira entre o estuário e a baía.

Deste modo as equações usadas para a determinação dos fluxos dos nutrientes durante a enchente e a vazante da maré tomam as seguintes representações:

$$Q_e = \eta_e \vec{v} A \quad (2.III.5.1) \quad \text{e} \quad Q_v = \eta_v \vec{v} A \quad (3.III.5.1)$$

A determinação das concentrações médias dos nutrientes consistiu na soma parcial das concentrações de cada nutriente, dividido pelo número de amostragens feitas em cada estação. Para o efeito usou-se a seguinte equação matemática:

$$\eta = \frac{\sum n_i}{N} \quad (4.III.5.1)$$

Onde:

$n_i$  são as concentrações parciais,

$N$ , o número total de amostragens feitas em cada estação.

Para a determinação do sentido do fluxo, calculou-se o fluxo resultante através da soma algébrica dos fluxos parciais. Para tal assumiu-se o sentido positivo como sendo o sentido da enchente da maré e o sentido negativo, a vazante.

Assim obtêm-se:  $Q_r = Q_e + (-Q_v) \quad (5.III.5.1)$

O fluxo de energia da maré foi determinada pela equação:

$$\Phi = \frac{1}{2} \rho g a^2 \sqrt{ghb} \quad (6.III.5.1)$$

Onde:

$\rho$  é a densidade média da água estuarina

$g$  é aceleração de gravidade

$h$  e  $b$  são a profundidade e a largura média da boca do estuário

$a$  amplitude média da maré na boca do estuário durante a passagem da maré viva para a morta.

O escoamento a superfície é superior ao do fundo, desta forma a maré quando actua na direcção do gradiente da densidade, empurra a água menos densa por cima da mais densa, o que acentua a estratificação. Quando o processo é invertido a coluna de água mistura-se (Simpson *et al.*, 1990; Sharples e Simpson, 1995).

### III.5.2 Modelação da taxa de orçamento dos nutrientes

O modelo usado para a determinação das taxas de orçamento dos nutrientes foi o modelo de uma caixa (*One Box Model*). Este modelo é usado quando o sistema é horizontal e verticalmente uniforme (Gordon *et al.*, 1996). Esses são casos em que existe um pequeno fluxo de entrada de água do rio, quando comparada ao volume do sistema, e/ou quando existe uma mistura da coluna da água. Este caso aplica-se ao presente estudo.

### III.5.3 Componentes do modelo

- Taxa de água envolvida no sistema.
- Taxa da salinidade do sistema.
- Taxas de nutrientes (Nitrogénio e Fosforo).
- Relações estequiométricas.

#### III.5.3.1 Taxa de água do sistema

A taxa de água consiste nas taxas das descargas dos rios ( $V_r$ ), precipitação ( $V_p$ ), evaporação ( $V_e$ ), águas subterrânea ( $V_g$ ), e a descarga dos esgotos ( $V_o$ ).

A taxa do fluxo residual ( $V_r$ ), é obtida pela diferença entre a taxa de saída de água do sistema ( $V_{saída}$ ) e a taxa de entrada ( $V_{entrada}$ ). Assim obtém-se:

Taxa do fluxo residual do sistema:

$$V_r = V_{saída} - V_{entrada} = V_e - (V_q + V_p + V_g + V_o) \quad (1.III.5.3.1)$$

No presente trabalho assume-se que as taxas de  $V_e$ ,  $V_p$ ,  $V_g$  e  $V_o$  são nulas, por terem baixa contribuição quando comparadas a taxa de descarga do rio.

De modo que a equação (1.III.5.3.1), simplifica-se em:  $V_r = -V_q$  (2.III.5.3.1)

### III.5.3.2 Taxa da salinidade

A taxa da salinidade consiste nas taxas de salinidade do sistema ( $S_{estuario}$ ), taxa da Salinidade adjacente ao oceano ( $S_{baía}$ ), taxa da salinidade média na fronteira na zona de fronteira ( $S_r$ ), também designada taxa residual. A taxa de salinidade residual é dada pela equação:

$$S_r = (S_{baía} + S_{estuario})/2 \quad (1.III.5.3.2)$$

O balanço existente entre o fluxo de salinidade descarregada pelo rio e a taxa da mistura no sistema é dada pela equação:

$$V_r S_r = -V_x S_x \quad (2.III.5.3.2)$$

Onde:

$V_x$ , é o volume do fluxo de mistura e é dada pela fórmula:

$$V_x = -V_r S_r / S_x \quad (3.III.5.3.2)$$

Tal que,  $S_x = (S_{baía} - S_{estuario})$  (4.III.5.3.2)

### III.5.3.3 Taxa de nutrientes

A taxa dos nutrientes consiste nas concentrações do Nitrogénio Inorgânico Dissolvido ( $DIN$ ) que inclui (*nitratos, nitritos amónia*), e do Fósforo Inorgânico Dissolvido ( $DIP$ ), no estuário ( $DIN_{estuário}$ ,  $DIP_{estuário}$ ), na baía ( $DIN_{baía}$ ,  $DIP_{baía}$ ), e as taxas descarregadas pelo rio ( $DIN_q$  e  $DIP_q$ ).

Deste modo o fluxo do nitrogénio inorgânico dissolvido transportado pelo rio corresponde ao termo  $V_qDIN_q$ , e o fluxo residual  $V_rDIN_r$ , tal que :

$$DIN_r = (DIN_{baía} + DIN_{estuário})/2 \quad (1.III.5.3.3)$$

O fluxo do nitrogénio inorgânico dissolvido misturado é representado pelo termo  $V_xDIN_x$ . De modo que :

$$DIN_x = (DIN_{baía} - DIN_{estuário}) \quad (2.III.5.3.3)$$

Deste modo a taxa de orçamento do nitrogénio inorgânico dissolvido é dada por  $\Delta DIN$ .

$$\Delta DIN = flux\ saída - flux\ entrada = - (V_xDIN_x + V_rDIN_r + V_qDIN_q) \quad (3.III.5.3.3)$$

A taxa de variação do fósforo  $\Delta DIP$  é calculada seguindo os mesmos procedimentos usados para o cálculo da taxa do nitrogénio.

#### III.5.3.4 Relações estequiométricas

Nestas relações, assumem-se que os fluxos não conservativos do fósforo  $DIP$  com respeito ao sal e água é uma aproximação do proceso do metabolismo (fotossíntese e respiração) no sistema. E o fluxo do nitrogénio  $DIN$  é uma aproximação de fixação e denitrificação.

Assim:

$$(p - r) = -\Delta DIP(C : P) \quad (1.III.5.3.4)$$

$$Nfix - denitr = \Delta DIN - \Delta DIP(N : P) \quad (2.III.5.3.4)$$

Onde:

$(p - r)$ , significa o balanço entre a fotossíntese e a respiração

$Nfix - denitr$ , balanço entre a fixação e a denitrificação.

$(C:P)$  e  $(N:P)$ , são as proporções estequiométricas da matéria orgânica reactantes no sistema.

## IV. Resultados

## Parte IV.1 Quantificação dos nutrientes.

As análises químicas das amostras de águas recolhidas nas estações acima mencionadas forneceram as seguintes quantidades de nutrientes.

Tabela IV.1(a), Concentrações dos nutrientes durante a enchente da maré na estação EB01.

Estação	Data	Hora	SiO <sub>2</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]
EB 01	15/09/2003	10:43	72,8	2,6	7,1	0,2	46,62	3,33	6,55	0,47
EB 01	16/09/2003	08:10	66,7	2,4	5,0	0,2	34,62	2,47	3,06	0,22
EB 01	16/09/2003	08:54	54,4	1,9	3,8	0,1	23,75	1,70	6,12	0,44
EB 01	16/09/2003	10:18	50,0	1,8	3,8	0,1	26,28	1,88	4,08	0,29
EB 01	17/09/2003	06:27	140,6	5,0	5,3	0,2	38,69	2,76	3,66	0,26
EB 01	17/09/2003	08:24	96,8	3,4	6,6	0,2	20,19	1,44	9,76	0,70
EB 01	18/09/2003	08:50	91,3	3,2	3,9	0,1	19,12	1,36	5,56	0,40
EB 01	18/09/2003	07:54	127,1	4,5	5,3	0,2	12,50	0,89	11,11	0,79

A Tabela IV.1(a), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [µg/l] e em micromol por litro [µmol/l], observadas na estação EB 01 no período da enchente da maré, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(b) Concentrações dos nutrientes durante a vazante da maré na estação EB01.

Estação	Data	Hora	SiO <sub>2</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]
EB 01	15/09/2003	16:59	76,3	2,7	6,0	0,2	57,29	4,09	5,36	0,38
EB 01	15/09/2003	17:43	57,0	2,0	4,8	0,2	68,75	4,91	7,74	0,55
EB 01	16/09/2003	16:00	131,5	4,7	8,8	0,3	45,51	3,25	12,76	0,91
EB 01	17/09/2003	16:37	116,7	4,2	7,9	0,3	43,45	3,10	14,02	1,00
EB 01	17/09/2003	18:02	138,5	4,9	7,9	0,3	24,04	1,72	11,59	0,83

A Tabela IV.1(b), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [µg/l] e em micromol por litro [µmol/l], observadas na estação EB 01 no período da vazante da maré, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(c) Concentrações dos nutrientes durante a enchente da maré na estação EB02.

Nome	Data	Hora	SiO <sub>2</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]
EB 02	13/09/2003	09:34	47,0	1,7	6,0	0,2	29,73	2,12	0,60	0,04
EB 02	15/09/2003	12:04	104,6	3,7	8,3	0,3	47,30	3,38	11,31	0,81
EB 02	15/09/2003	10:32	54,4	1,9	6,3	0,2	54,17	3,87	10,71	0,76
EB 02	15/09/2003	10:32	71,9	2,6	10,0	0,3	61,46	4,39	11,90	0,85
EB 02	15/09/2003	10:56	88,6	3,2	8,8	0,3	54,69	3,90	12,50	0,89
EB 02	16/09/2003	08:04	33,3	1,2	5,0	0,2	28,21	2,01	3,57	0,25
EB 02	16/09/2003	08:04	34,8	1,2	5,0	0,2	25,00	1,78	3,57	0,25
EB 02	16/09/2003	08:58	37,9	1,3	3,8	0,1	30,13	2,15	3,57	0,25
EB 02	16/09/2003	10:24	58,8	2,1	2,5	0,1	21,88	1,56	7,65	0,55
EB 02	17/09/2003	06:36	1190,5	4,2	7,9	0,3	23,56	1,68	26,63	1,90
EB 02	17/09/2003	06:37	108,3	3,9	9,2	0,3	6,62	0,47	18,33	1,31
EB 02	17/09/2003	06:46	90,5	3,2	7,9	0,3	13,24	0,94	11,11	0,79
EB 02	18/09/2003	07:47	89,7	3,2	5,3	0,2	21,32	1,52	13,33	0,95
EB 02	18/09/2003	07:48	69,8	2,5	3,9	0,1	21,32	1,52	13,33	0,95
EB 02	18/09/2003	08:19	69,0	2,5	5,3	0,2	16,18	1,15	13,33	0,95
EB 02	18/09/2003	09:04	84,1	3,0	5,3	0,2	15,44	1,10	6,11	0,44
EB 02	18/09/2003	09:06	99,2	3,5	3,9	0,1	30,30	2,16	7,78	0,56

Tabela IV.1(d) Concentrações dos nutrientes durante a vazante da maré na estação EB02.

Nome	Data	Hora	SiO <sub>2</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]	[µg/l]	[µmol/l]
EB 02	13/09/2003	17:02	38,6	1,4	6,0	0,2	37,84	2,70	1,19	0,08
EB 02	15/09/2003	12:04	104,6	3,7	8,3	0,3	47,30	3,38	11,31	0,81
EB 02	15/09/2003	16:50	57,9	2,1	8,8	0,3	45,27	3,23	4,76	0,34
EB 02	15/09/2003	16:49	57,9	2,1	7,5	0,2	50,52	3,61	7,14	0,51
EB 02	15/09/2003	17:04	59,6	2,1	5,0	0,2	38,51	2,75	4,17	0,30
EB 02	15/09/2003	17:39	37,1	1,3	5,0	0,2	40,54	2,89	5,95	0,42
EB 02	16/09/2003	16:09	77,2	2,7	2,5	0,1	23,13	1,65	1,02	0,07
EB 02	16/09/2003	16:11	61,4	2,2	3,8	0,1	41,67	2,97	4,08	0,29
EB 02	17/09/2003	16:43	139,6	5,0	6,6	0,2	11,76	0,84	6,11	0,44
EB 02	18/09/2003	17:56	91,3	3,2	5,3	0,2	10,29	0,73	5,56	0,40



As Tabelas IV.1 (c) e IV.1 (d), representam as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observadas na estação EB02 no período da vazante da maré durante a passagem da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(e) Concentrações dos nutrientes durante a enchente da maré na estação EB03.

Estação	Data	Hora	SiO <sub>2</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 03	15/09/2003	10:13	70,2	2,5	7,5	0,2	55,21	3,94	5,95	0,42
EB 03	16/09/2003	07:57	21,1	0,7	3,8	0,1	13,46	0,96	1,22	0,09
EB 03	16/09/2003	09:04	43,2	1,5	2,5	0,1	13,46	0,96	0,61	0,04
EB 03	16/09/2003	10:31	50,9	1,8	5,0	0,2	17,31	1,24	1,83	0,13
EB 03	17/09/2003	08:12	65,1	2,3	5,3	0,2	12,50	0,89	8,33	0,59
EB 03	18/09/2003	07:34	76,2	2,7	6,6	0,2	9,56	0,68	5,56	0,40
EB 03	18/09/2003	09:20	71,4	2,5	6,6	0,2	7,35	0,52	1,67	0,12

A Tabela VI.1 (e), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observadas na estação EB 03 no período da enchente da maré, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(f). Concentrações dos nutrientes durante a vazante da maré na estação EB03.

Estação	Data	Hora	SiO <sub>2</sub>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 03	13/09/2003	16:54	19,0	0,7	3,6	0,1	47,97	3,42	1,19	0,08
EB 03	15/09/2003	16:40	67,5	2,4	6,3	0,2	69,27	4,95	5,36	0,38
EB 03	15/09/2003	16:40	71,9	2,6	6,3	0,2	51,04	3,64	7,14	0,51
EB 03	15/09/2003	17:12	54,4	1,9	6,3	0,2	23,75	1,70	3,57	0,25
EB 03	15/09/2003	17:34	26,5	0,9	3,8	0,1	32,69	2,33	6,12	0,44
EB 03	16/09/2003	16:18	64,0	2,3	3,8	0,1	14,90	1,06	2,44	0,17
EB 03	16/09/2003	16:20	51,8	1,8	3,8	0,1	20,67	1,48	2,44	0,17
EB 03	17/09/2003	17:50	129,2	4,6	6,6	0,2	14,71	1,05	5,56	0,40
EB 03	17/09/2003	17:53	128,1	4,6	3,9	0,1	8,82	0,63	3,89	0,28

A Tabela IV.1 (f), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observadas na estação EB 03 no período da vazante da maré, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(g) Concentrações dos nutrientes durante a vazante da maré na estação EB04.

Estação	Data	Hora	$\text{SiO}_2$		$\text{PO}_4^{3-}$		$\text{NH}_4^+$		$\text{NO}_3^-$	
			[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 04	16/09/2003	07:49	13,2	0,5	2,5	0,1	13,94	1,00	1,83	0,13
EB 04	16/09/2003	07:50	11,8	0,4	2,5	0,1	12,50	0,89	1,83	0,13
EB 04	16/09/2003	09:10	15,8	0,6	3,8	0,1	21,63	1,54	2,44	0,17
EB 04	16/09/2003	10:38	20,4	0,7	3,8	0,1	14,42	1,03	3,05	0,22
EB 04	17/09/2003	06:55	29,3	1,0	3,9	0,1	25,00	1,78	10,56	0,75
EB 04	17/09/2003	08:04	24,4	0,9	3,9	0,1	8,82	0,63	3,89	0,28
EB 04	18/09/2003	07:20	13,8	0,5	4,2	0,1	11,03	0,79	2,78	0,20
EB 04	18/09/2003	09:20	13,1	0,5	2,1	0,1	14,71	1,05	5,56	0,40

A Tabela IV.1(g), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observadas na estação EB 04 no período da enchente da maré durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(h). Concentrações dos nutrientes durante a vazante da maré na estação EB04.

Estação	Data	Hora	$\text{SiO}_2$		$\text{PO}_4^{3-}$		$\text{NH}_4^+$		$\text{NO}_3^-$	
			[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 04	13/09/2003	17:33	14,9	0,5	3,6	0,1	46,62	3,33	5,36	0,38
EB 04	15/09/2003	16:23	23,7	0,8	3,8	0,1	22,50	1,61	3,06	0,22
EB 04	15/09/2003	17:18	27,3	1,0	3,8	0,1	16,25	1,16	3,06	0,22
EB 04	15/09/2003	17:29	26,5	0,9	3,8	0,1	16,25	1,16	4,08	0,29
EB 04	16/09/2003	16:29	21,7	0,8	3,8	0,1	21,63	1,54	3,05	0,22
EB 04	17/09/2003	17:00	32,8	1,2	5,3	0,2	14,71	1,05	6,11	0,44
EB 04	18/09/2003	17:43	13,8	0,5	3,1	0,1	8,82	0,63	2,78	0,20

A Tabela IV.1 (h), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observadas na estação EB 04 no período da vazante da maré durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(i) Concentrações dos nutrientes durante a enchente da maré na estação EB05.

Estação	Data	Hora	$\text{SiO}_2$		$\text{PO}_4^{3-}$		$\text{NH}_4^+$		$\text{NO}_3^-$	
			[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 05	13/09/2003	10:35	21,4	0,8	4,8	0,2	55,73	3,98	2,98	0,21
EB 05	15/09/2003	09:48	16,4	0,6	2,5	0,1	21,88	1,56	3,06	0,22
EB 05	15/09/2003	09:48	15,1	0,5	2,5	0,1	27,56	1,97	3,57	0,25
EB 05	16/09/2003	07:38	7,1	0,3	3,9	0,1	15,87	1,13	1,22	0,09
EB 05	16/09/2003	07:43	10,7	0,4	3,9	0,1	17,79	1,27	1,22	0,09
EB 05	16/09/2003	09:15	11,9	0,4	2,6	0,1	16,83	1,20	1,83	0,13
EB 05	16/09/2003	10:45	19,6	0,7	2,6	0,1	20,19	1,44	2,44	0,17
EB 05	17/09/2003	07:04	24,4	0,9	3,9	0,1	12,50	0,89	2,78	0,20
EB 05	17/09/2003	07:05	22,6	0,8	3,9	0,1	16,91	1,21	5,00	0,36
EB 05	17/09/2003	07:56	16,7	0,6	3,9	0,1	19,12	1,36	4,44	0,32
EB 05	18/09/2003	07:06	16,9	0,6	4,2	0,1	14,71	1,05	10,00	0,71
EB 05	18/09/2003	07:10	14,4	0,5	4,2	0,1	13,97	1,00	6,67	0,48

A Tabela IV.1 (i), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observada na estação EB 05 no período da enchente da maré, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(j). Concentrações dos nutrientes durante a vazante da maré na estação EB05.

Estação	Data	Hora	$\text{SiO}_2$		$\text{PO}_4^{3-}$		$\text{NH}_4^+$		$\text{NO}_3^-$	
			[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 05	15/09/2003	16:17	18,4	0,7	2,5	0,1	21,88	1,56	2,04	0,15
EB 05	15/09/2003	16:25	19,1	0,7	3,8	0,1	21,88	1,56	5,10	0,36
EB 05	15/09/2003	17:23	9,2	0,3	2,5	0,1	26,92	1,92	3,06	0,22
EB 05	16/09/2003	16:36	23,8	0,8	3,9	0,1	18,27	1,30	2,44	0,17
EB 05	17/09/2003	17:08	13,7	0,5	3,9	0,1	16,18	1,15	16,67	1,19
EB 05	17/09/2003	17:36	19,0	0,7	3,9	0,1	21,32	1,52	3,33	0,24

A Tabela IV.1(j), representa as concentrações dos nutrientes em micrograma por litro [ $\mu\text{g/l}$ ] e em micromol por litro [ $\mu\text{mol/l}$ ], observadas na estação EB 05 no período da vazante da maré, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Tabela IV.1(k) Concentrações médias dos nutrientes em cada curso da maré.

Estação	Escursão da maré	$\text{SiO}_2$		$\text{PO}_4^{3-}$		$\text{NH}_4^+$		$\text{NO}_3^-$	
		[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]	[ $\mu\text{g/l}$ ]	[ $\mu\text{mol/l}$ ]
EB 01	Vazante	104	3,70	7,10	0,26	47,8	3,41	10,3	0,73
	Enchente	87,5	3,10	5,10	0,16	27,7	1,98	6,20	0,45
EB 02	Vazante	72,5	2,58	5,90	0,20	34,7	2,45	5,10	0,37
	Enchente	137,2	2,64	6,10	0,21	29,4	2,10	10,3	0,74
EB 03	Vazante	68,1	2,42	4,90	0,14	31,5	2,25	4,20	0,30
	Enchente	56,9	2,00	5,30	0,17	18,4	1,31	3,60	0,26
EB 04	Vazante	22,9	0,81	3,90	0,11	21,0	1,50	3,90	0,28
	Enchente	17,7	0,64	3,30	0,10	15,3	1,10	4,00	0,29
EB 05	Vazante	17,2	0,62	3,40	0,10	22,2	1,50	5,40	0,39
	Enchente	16,4	0,59	3,60	0,11	21,1	1,51	3,80	0,27

A Tabela IV.1 (k), representa as concentrações medias de cada nutriente em cada estação, determinadas pela equação (4.III.5.1), as quais foram usadas para o cálculo dos fluxos dos nutrientes.

#### Parte IV.1.1 Determinação do fluxo residual

Tabela IV.1.1 Fluxo total dos nutrientes observados em cada curso da maré.

Escursão da maré	Q [ $\text{mmol/s}$ ]	Q [ $\text{mmol/s}$ ]	Q [ $\text{mmol/s}$ ]	Q [ $\text{mmol/s}$ ]
	$\text{SiO}_2$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
Enchente	15.79	2.83	35.07	10.47
Vazante	56.12	4.54	61.72	11.47
$Q_r$	- 40.33	- 1.71	- 26.65	- 1

A Tabela IV.1.1, mostra os fluxos totais dos nutrientes observados durante as enchentes, vazantes, e o fluxo resultante durante o período transitório da maré viva para a maré morta na boca do estuário, determinadas pelas equações (2.III.5.1), (3.III.5.1) e (5.III.5.1).

Tabela IV.1.1.1 Fluxos de energia das marés.

Fluxos de Energia	Situação da maré	
	Viva	Morta
Q (Joules)	392.000	24.787

A Tabela IV.1.1.1, representa as quantidades de energia da maré envolvidas no processo de mistura das águas do mar e do rio, determinadas pela equação (6.III.5.1).

#### Parte IV.1.2 Resultados do modelo

Tabela IV.1.2 (a) Fluxos de água que entram ( $Q_e$ ) e que saem ( $Q_s$ ) do sistema.

Fluxos de água do sistema						
$Q_e(m^3/s)$				$Q_s(m^3/s)$		
$Q_q(m^3/s)$	$Q_p(m^3/s)$	$Q_g(m^3/s)$	$Q_o(m^3/s)$	$Q_v(m^3/s)$	$Q_r(m^3/s)$	$Q_x(m^3/s)$
5.54	0	0	0	0	-5.54	120

Tabela IV.1.2 (b) Taxas da salinidade, determinadas pelas equações (1.III.5.3.2) e (2.III.5.3.2)

Taxas de salinidade			
$S_{est}(psu)$	$S_b(psua)$	$S_r(psua)$	$S_x(psua)$
33.77	35.37	34.57	1.6

Tabela IV.1.2 (c) Concentrações do nitrogénio inorgânico do dissolvido no sistema.

Concentrações do Nitrogénio Inorgânico Dissolvido (DIN)				
$DIN_q(mmola^{-3})$	$DIN_{est}(mmola^{-3})$	$DIN_b(mmola^{-3})$	$DIN_r(mmola^{-3})$	$DIN_x(mmola^{-3})$
5.6	2.3	1	1.15	-1.3

Tabela IV.1.2 (e) Fluxos de nitrogénio inorgânico dissolvido e a taxa de orçamento de N, determinadas pela equação (3.III.5.3.3).

Fluxos do DIN			Taxa de Orçamento de N
$F_q(Kg/Dia)$	$f_r(Kg/Dia)$	$f_x(Kg/Dia)$	$\Delta DIN(Kg/Dia)$
37.55	-7.70	-188.8	158.9

Tabela IV.1.2 (d) Concentrações do fósforo inorgânico dissolvido no sistema.

Concentrações do Fósforo Inorgânico Dissolvido (DIP)				
$DIP_q(mmola^{-3})$	$DIP_{est}(mmola^{-3})$	$DIP_b(mmola^{-3})$	$DIP_r(mmola^{-3})$	$DIP_x(mmola^{-3})$
0.3	0.2	0.1	0.15	-0.1

Tabela IV.1.2 (e) Fluxos do fósforo inorgânico dissolvido e a taxa de orçamento de P, determinadas pelo mesmo procedimento da equação (3.III.5.3.3).

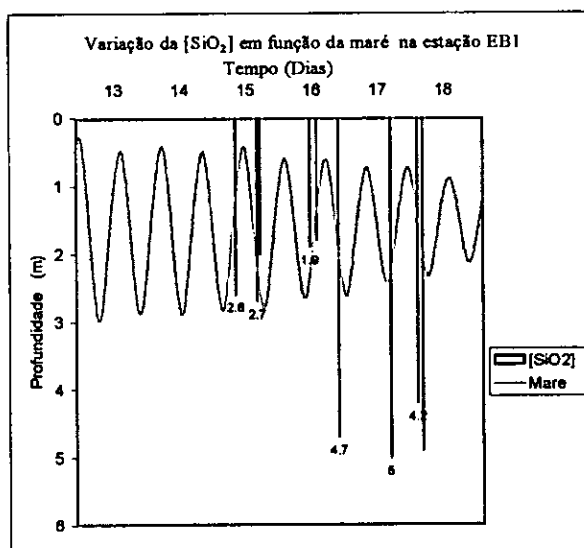
Fluxos do DIP		Taxa de Orçamento de P	
$f_q$ (Kg/Dia)	$f_r$ (Kg/Dia)	$f_x$ (Kg/Dia)	$\Delta$ DIP (Kg/Dia)
4.44	- 2.22	- 32.11	29.88

O Processo biológico (p-r), ocorrente no sistema é de -3.17 Kg/Dia. Este quantifica o balanço entre a fotossíntese e a respiração. O valor foi determinado pela equação (1.III.5.3.4).

#### Parte IV.1.3 Variações de nutrientes em função da maré

Os graficos abaixo representam a variação das concentrações dos nutrientes em cada estação durante o período transitório da maré viva para a maré morta.

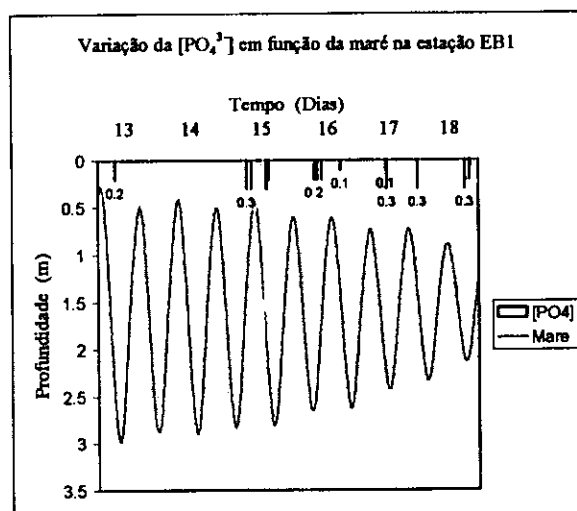
Figura IV.1.3 (a). Variação de Silica com a variação da maré na estação EB1.



(a)

A Figura IV.1.3 (a), mostra o aumento da concentração de sílica em  $\mu\text{mol/l}$ , com a diminuição da amplitude da maré, na estação EB1 durante a transição da maré viva para a maré morta.

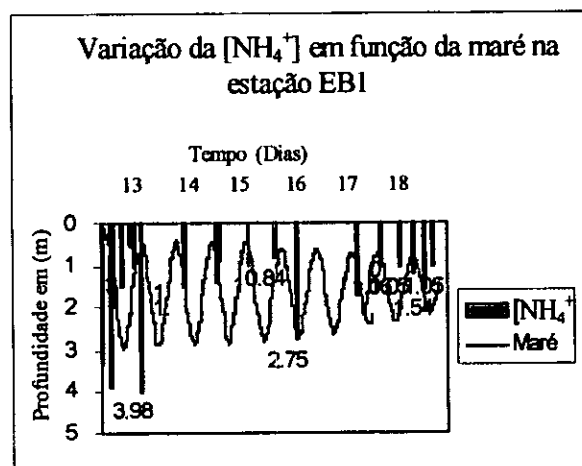
Figura IV.1.3 (b). Variação de fosfato com a variação da maré na estação EB1.



(b)

A Figura IV.1.3 (b), representa a constância da concentração de fosfato em  $\mu\text{mol/l}$ , independentemente da situação da maré na estação EB1, durante a transição da maré viva para a maré morta.

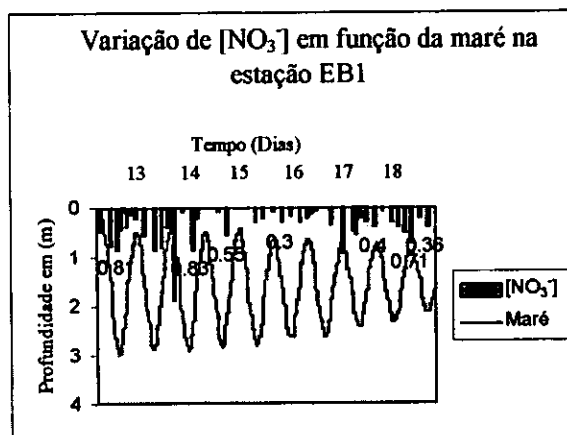
Figura IV.1.3 (c). Variação de Amónia com a variação da maré na estação EB1.



(c)

A Figura IV.1.3 (c), mostra a diminuição da concentração de amónia, com a diminuição da amplitude da maré na estação EB1, durante a transição da maré viva para a maré morta.

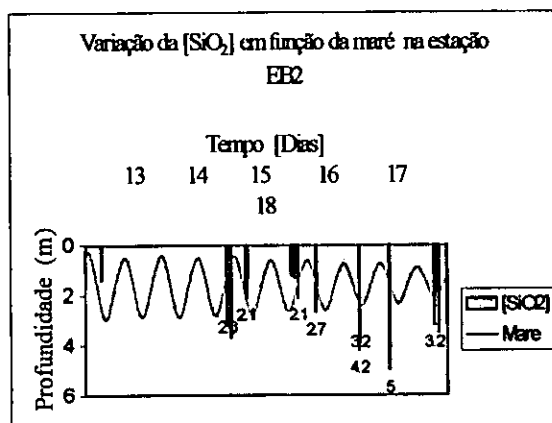
Figura IV.1.3 (d). Variação de nitrato com a variação da maré na estação EB01



(d)

A Figura IV.1.3 (d), representa a variação pouco sensível a maré, e oscilante de nitrato em  $\mu\text{mol/l}$  observada na estação EB1, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Figura IV.1.3.1 (a). Variação de Silica com a variação da maré na estação EB02.

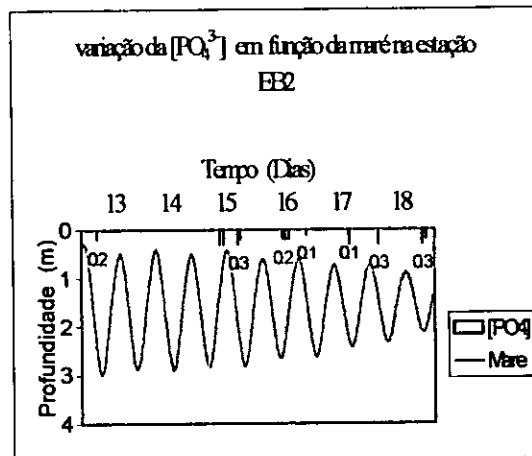


(a)

A Figura IV.1.3.1 (a), ilustra o aumento da concentração de silício em  $\mu\text{mol/l}$ , com a diminuição da amplitude da maré, na estação EB2 durante a transição da maré viva para a maré morta.



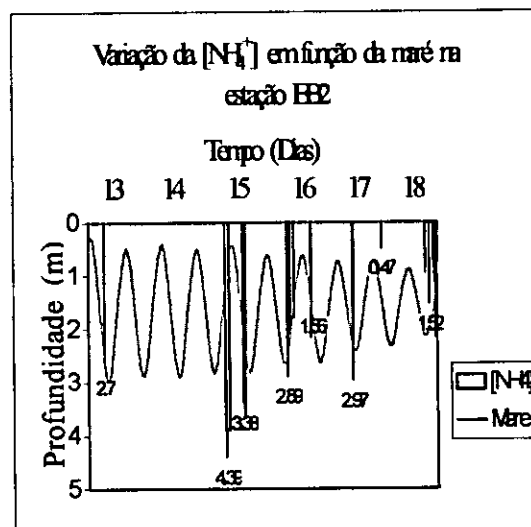
Figura IV.1.3.1 (b). Variação de fosfato com a variação da maré na estação EB02.



(b)

A Figura IV.1.3.1 (b), representa a constância da concentração de fosfato em  $\mu\text{mol/l}$ , independentemente da situação da maré na estação EB02, durante a transição da maré viva para a maré morta.

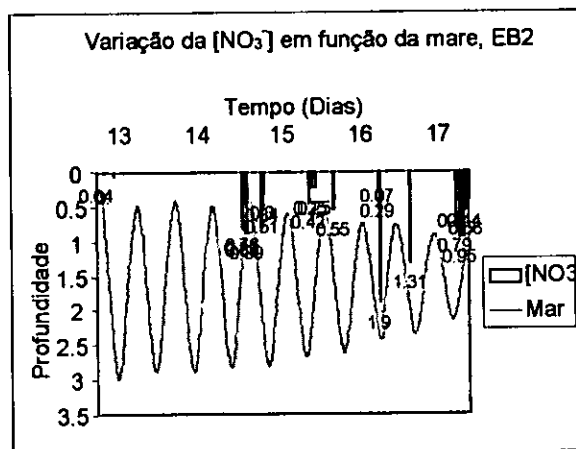
Figura IV.1.3.1 (c). Variação de Amônia com a variação da maré na estação EB02.



(c)

A Figura IV.1.3.1 (c), mostra a diminuição da concentração de amônia, com a diminuição da amplitude da maré na estação EB02, durante a transição da maré viva para a maré morta.

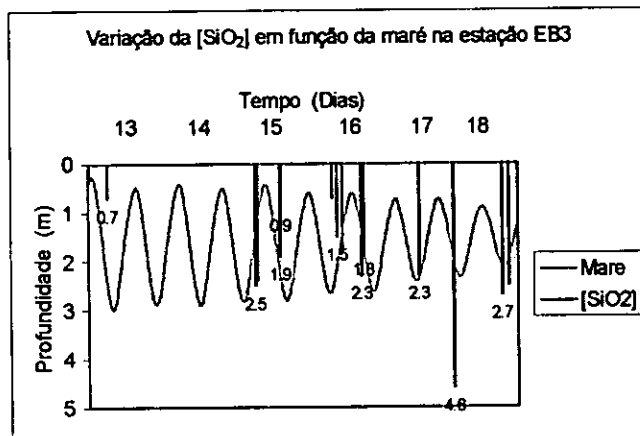
Figura IV.1.3.1 (d). Variação de nitrato com a variação da maré na estação EB02



(d)

A Figura IV.1.3.1 (d), representa a variação oscilante de nitrato em  $\mu\text{mol/l}$  observada na estação EB2, durante a transição da maré viva para a maré morta.

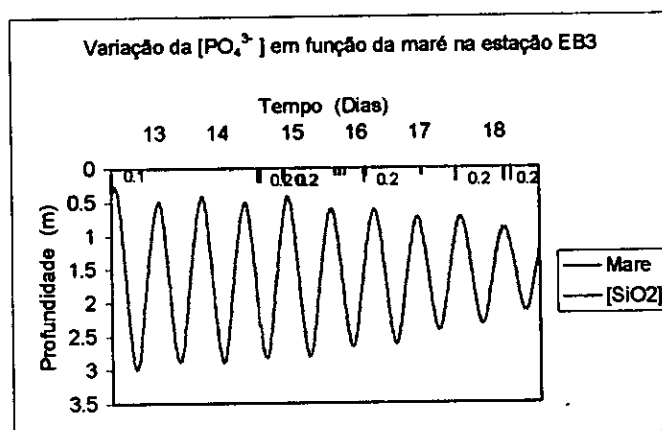
Figura IV.1.3.2 (a). Variação de Silica com a variação da maré na estação EB03.



(a)

A Figura IV.1.3.2 (a), ilustra o aumento da concentração de sílica em  $\mu\text{mol/l}$ , com a diminuição da amplitude da maré, na estação EB3 durante a transição da maré viva para a maré morta.

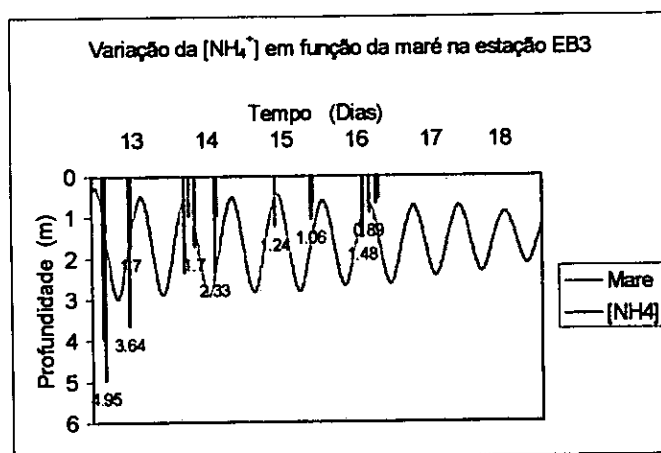
Figura IV.1.3.2 (b). Variação de fosfato com a variação da maré na estação EB03.



(b)

A Figura IV.1.3.2 (b), representa a constância da concentração de fosfato em  $\mu\text{mol/l}$ , independentemente da situação da maré na estação EB03, durante a transição da maré viva para a maré morta.

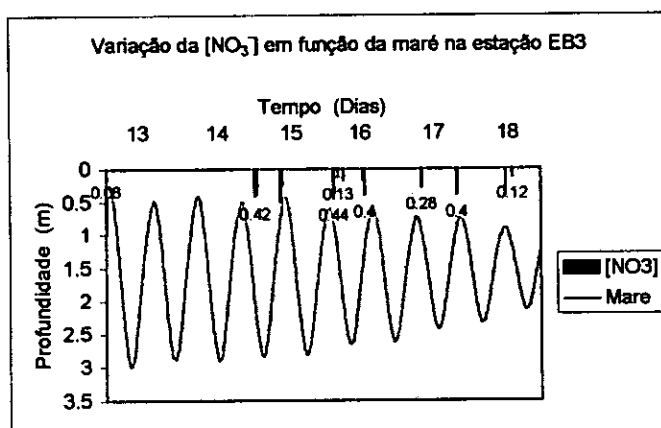
Figura IV.1.3.2(c). Variação de amónia com a variação da maré na estação EB03.



(c)

A Figura IV.1.3.2 (c), mostra a diminuição da concentração de amónia, com a diminuição da amplitude da maré na estação EB03, durante a transição da maré viva para a maré morta.

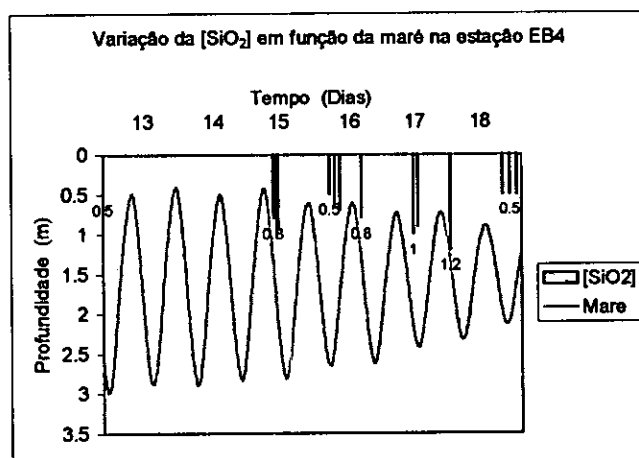
Figura IV.1.3.2 (d). Variação de nitrato com a variação da maré na estação EB03.



(d)

A Figura IV.1.3.2 (d), representa a variação pouco esclarecedora de nitrato em  $\mu\text{mol/l}$  observada na estação EB3, durante a transição da maré viva para a maré morta.

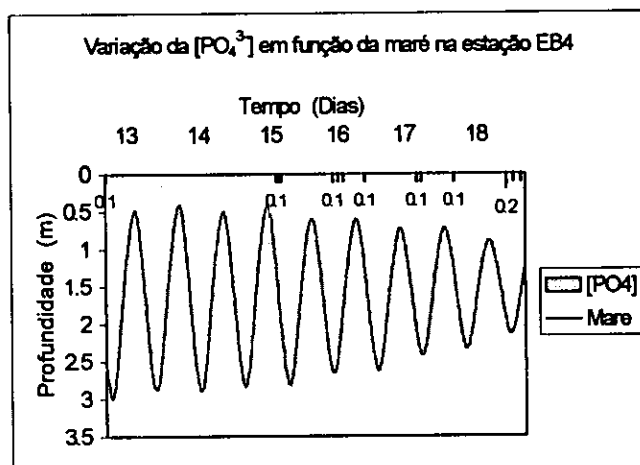
Figura IV.1.3.3 (a). Variação de Silica com a variação da maré na estação EB04.



(a)

A Figura IV.1.3.3 (a), representa a variação oscilante de sílica em  $\mu\text{mol/l}$ , com a diminuição da amplitude da maré observada na estação EB4, durante a transição da maré viva para a maré morta.

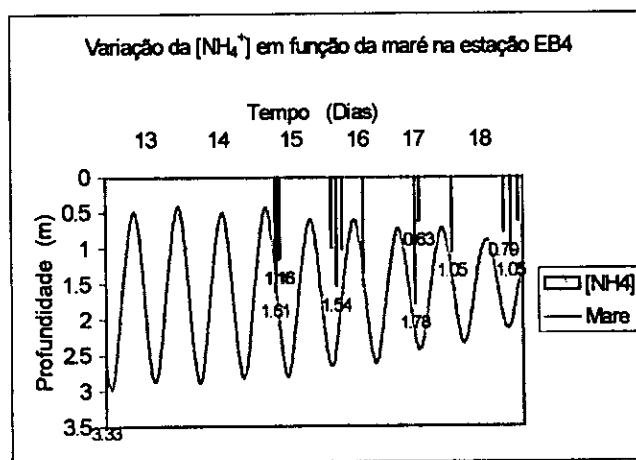
Figura IV.1.3.3 (b). Variação de fosfato com a variação da maré na estação EB04.



(b)

A Figura IV.1.3.3 (b), representa a constância da concentração de fosfato em  $\mu\text{mol/l}$ , independentemente da situação da maré na estação EB4, durante a transição da maré viva para a maré morta.

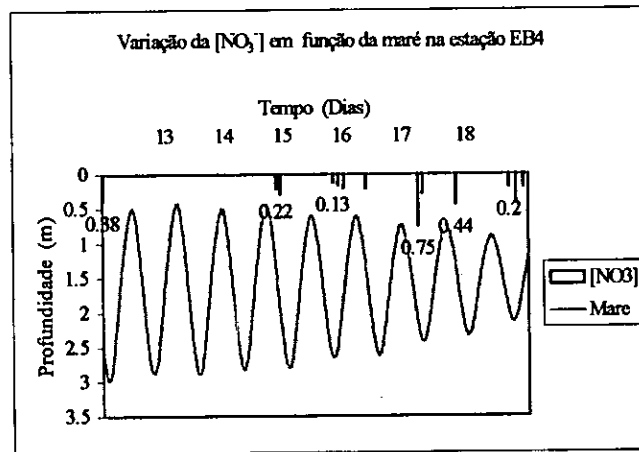
Figura IV.1.3.3 (c). Variação de amônia com a variação da maré na estação EB04.



(c)

A Figura IV.1.3.3 (c), mostra a diminuição da concentração de amônia, com a diminuição da amplitude da maré na estação EB4, durante a transição da maré viva para a maré morta.

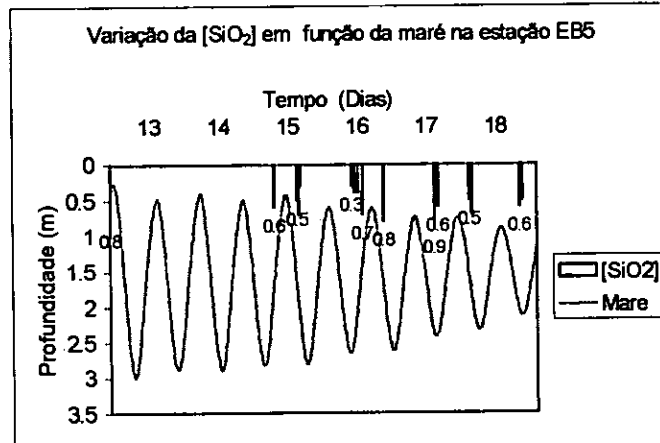
Figura IV.1.3.3 (d). Variação de nitrato com a variação da maré na estação EB04.



(d)

A Figura IV.1.3.3 (d), representa a variação pouco esclarecedora de nitrato em  $\mu\text{mol/l}$  observada na estação EB4, durante a transição da maré viva para a maré morta.

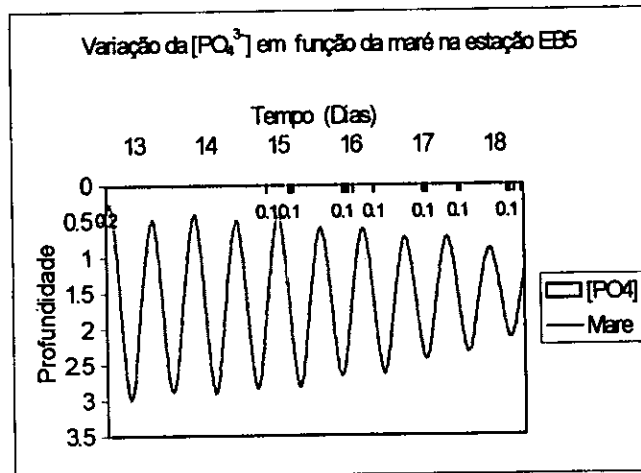
Figura IV.1.3.4 (a). Variação de Sílica com a variação da maré na estação EB05.



(a)

A Figura IV.1.3.4 (a), representa a variação oscilante de sílica em  $\mu\text{mol/l}$ , com a diminuição da amplitude da maré observada na estação EB5, durante a transição da maré viva para a maré morta

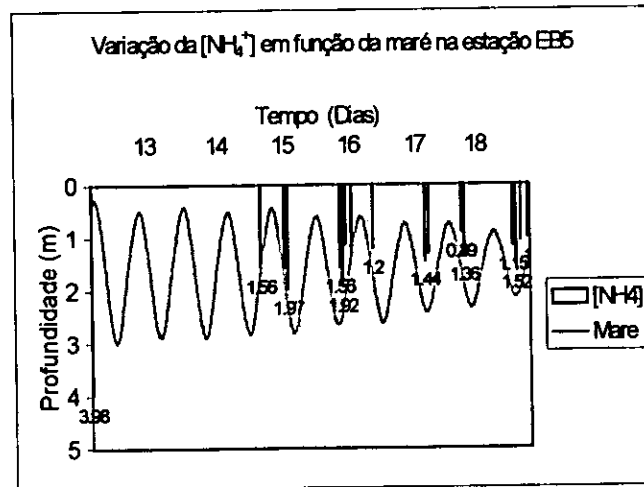
Figura IV.1.3.4(b). Variação de fosfato com a maré na estação EB05.



(b)

A Figura IV.1.3.4 (b), representa a constância da concentração de fosfato em  $\mu\text{mol/l}$ , independentemente da situação da maré na estação EB5, durante a transição da maré viva para a maré morta.

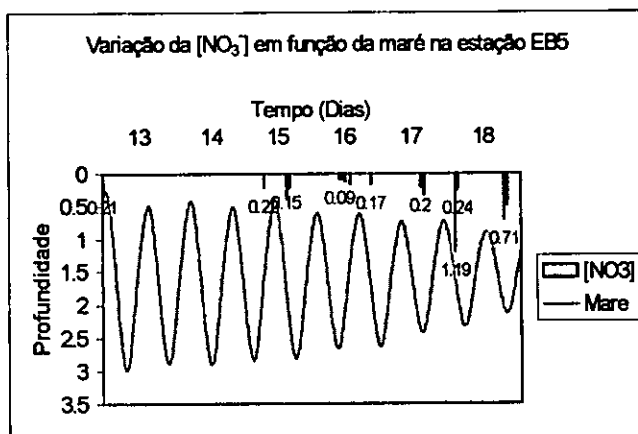
Figura IV.1.3.4 (c). Variação de amônia com a variação da maré na estação EB05.



(c)

A Figura IV.1.3.4 (c), mostra a diminuição da concentração de amônia, com a diminuição da amplitude da maré na estação EB5, durante a transição da maré viva para a maré morta.

Figura IV.1.3.4 (d). Variação de nitrato com a variação da maré na estação EB05.



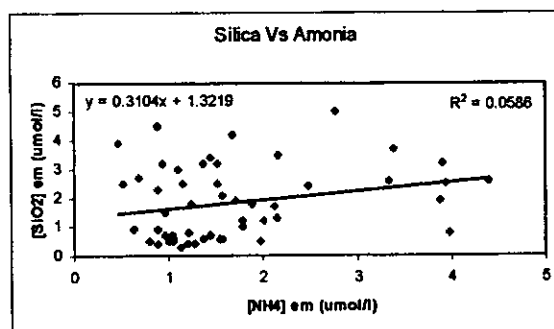
(d)

A Figura IV.1.3.4 (d), representa a variação pouco esclarecedora de nitrato em  $\mu\text{mol/l}$  observado na estação EB5, durante a transição da maré viva para a maré morta.

#### Parte IV.1.4 Relações de Redfield-Richards

Os gráficos abaixo representam a relação *Redfield-Richards ratio*, utilizada na determinação dos processos que governam a origem e a distribuição dos nutrientes dissolvidos na boca do estuário.

Figura IV.1.4 (a). Distribuição de amónia em função de sílica, durante a enchente da maré.

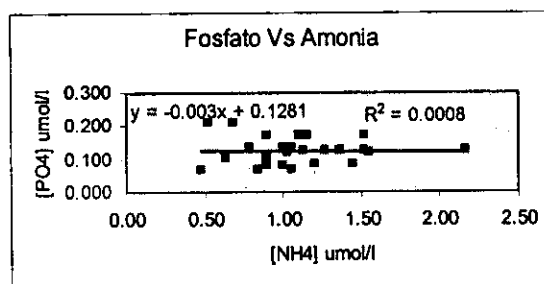


(a)

A Figura IV.1.4 (a), representa a relação *Redfield-Richards ratio*, de sílica e de amónia durante os períodos da enchente da maré. Slope positivo, numa correlação de 0.0586.



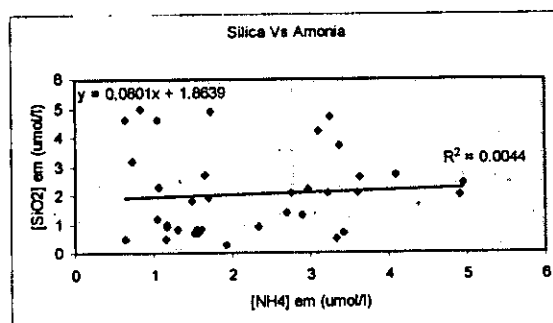
Figura IV.1.4 (b). Distribuição de amónia em função de fosfato durante a enchente da maré



(b)

A Figura IV.1.4 (b), representa a relação *Redfield-Richards ratio*, de fosfato e de amónia durante os períodos da enchente da maré. *Slope* negativo, numa correlação baixa de 0.0008.

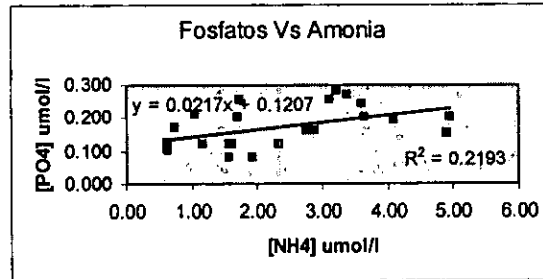
Figura IV.1.4.1 (a). Distribuição de amónia em função de sílica durante a vazante da maré.



(a)

A Figura IV.1.4.1 (a), representa a relação *Redfield-Richards ratio*, da sílica e da amónia durante os períodos da vazante da maré. *Slope* positivo mas baixo, numa correlação de 0.0044.

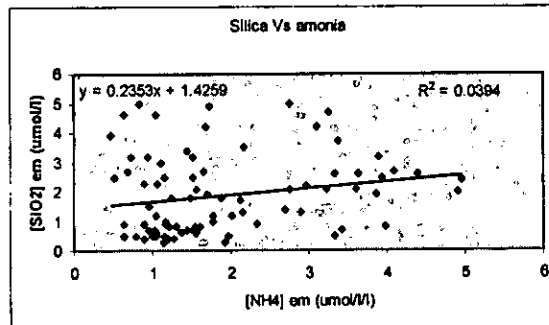
Figura IV.1.4.1 (b). Variação de amónia em função de fosfato durante a vazante da maré.



(b)

A Figura IV.1.4.1 (b), representa a relação *Redfield-Richards ratio*, de fosfato e de amónia durante os períodos da vazante da maré. *Slope* positivo, numa correlação de 0.2193.

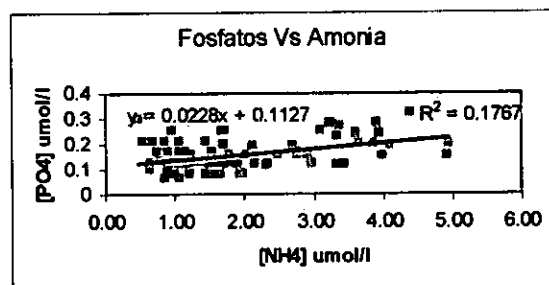
Figura IV.1.4.2 (a). Distribuição de amónia em função de sílica no ciclo completo da maré.



(a)

A Figura IV.1.4.2 (a), representa a relação *Redfield-Richards ratio* de sílica e de amónia durante a enchente e vazante da maré na boca do estuário. *Slope* positivo, e correlação de 0.0394.

Figura IV.1.4.2 (b). Variação de amónia em função de fosfato no ciclo completo da maré.



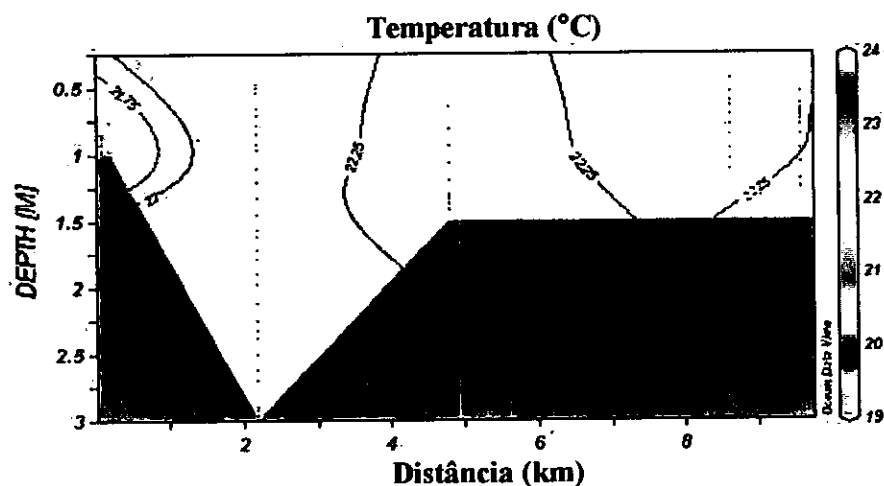
(b)

A Figura IV.1.4.2 (b), representa a relação *Redfield-Richards ratio* de fosfato e de amónia durante o período da enchente e da vazante da maré. *Slope* positivo, e correlação de 0.1767.

#### Parte IV.1.5 Variação da temperatura e da salinidade em função da maré

Os graficos abaixo representam a variação da temperatura e da salinidade observadas na boca do estuário entre os dias 13 à 18 de Setembro de 2003 e durante o período transitório da maré viva para a maré morta.

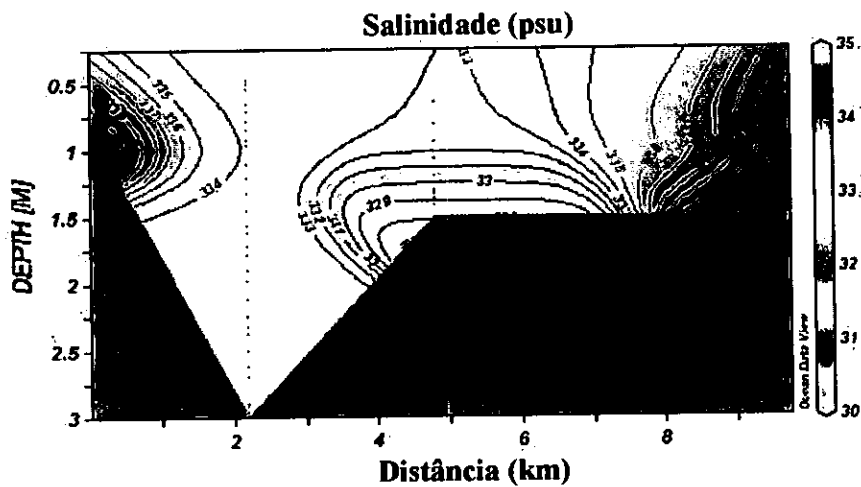
Figura IV.1.5 (a). Situação da temperatura observada no dia 13 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



(a)

A Figura IV.1.5 (a), representa a variação da temperatura (°C) na boca do estuário observada no dia 13 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante a enchente e vazante da maré.

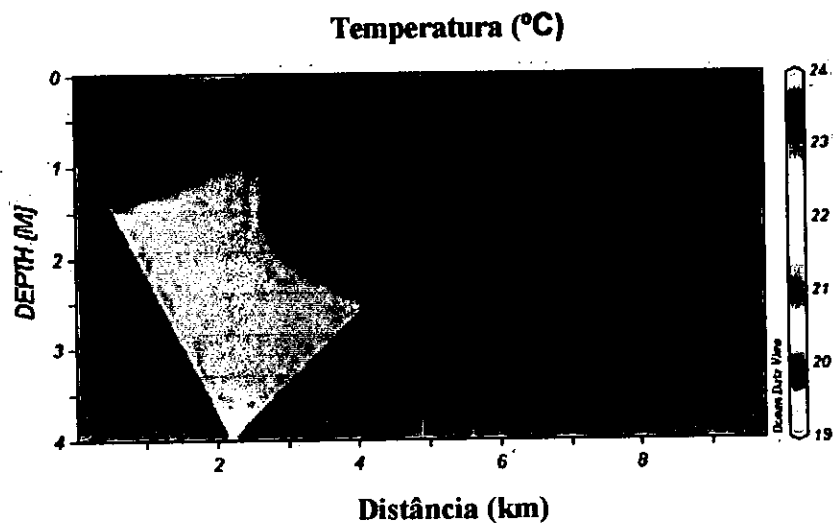
Figura IV.1.5(b). Situação da salinidade observada na dia 13 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



(b)

A Figura IV.1.5(b), representa a variação da salinidade em (psu) na boca do estuário observada no dia 13 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta, e durante a enchente e vazante da maré.

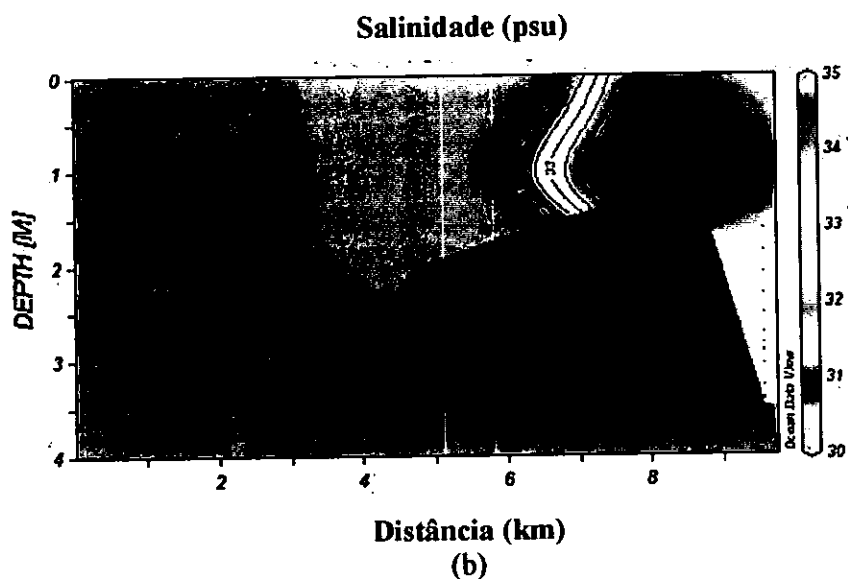
Figura IV.1.5.1 (a). Situação da temperatura observada no dia 15 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



(a)

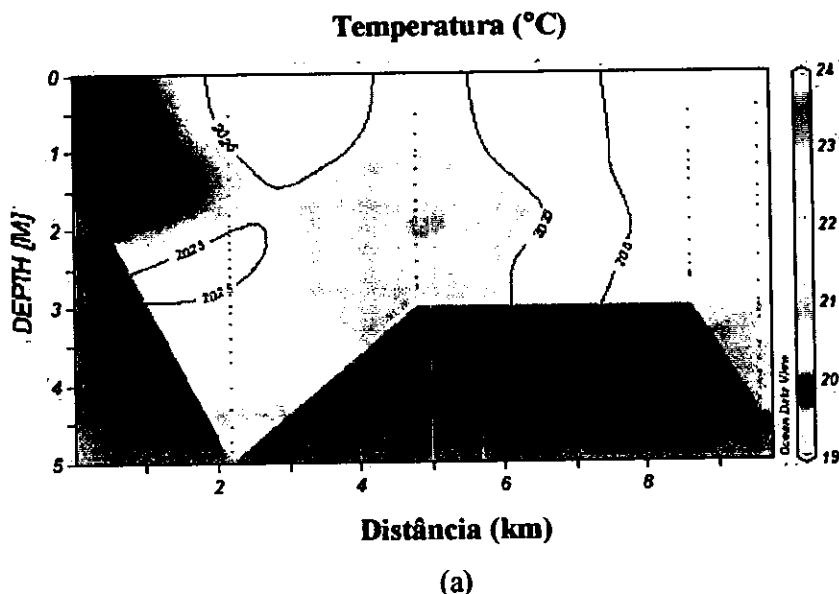
A Figura IV.1.5.1 (a), representa a variação da temperatura (°C) na boca do estuário observada no dia 15 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta, durante a enchente e a vazante da maré.

Figura IV.1.5.1 (b). Situação da salinidade observada no dia 15 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



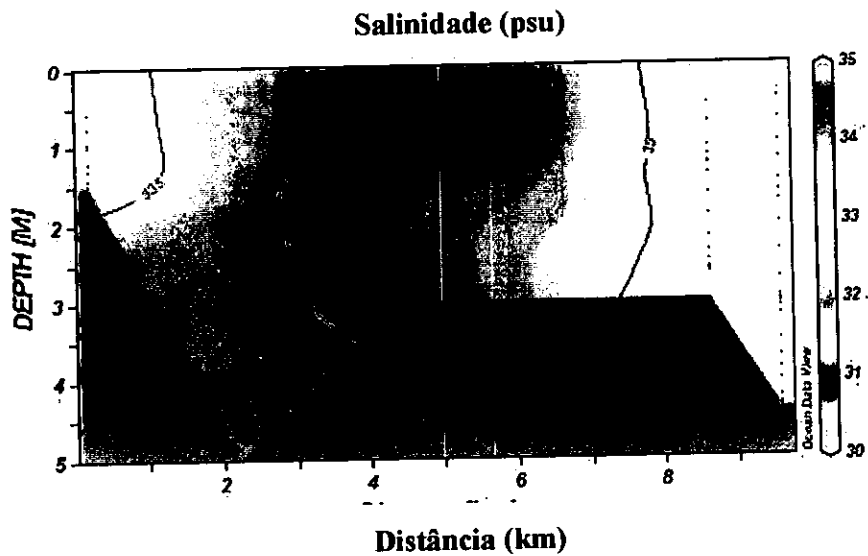
A Figura IV.1.5.1 (b), representa a variação da salinidade em (psu) na boca do estuário observada no dia 15 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante a enchente e a vazante da maré.

Figura IV.1.5.2 (a). Situação da temperatura observada no dia 16 de Setembro, durante a enchente, e a vazante da maré.



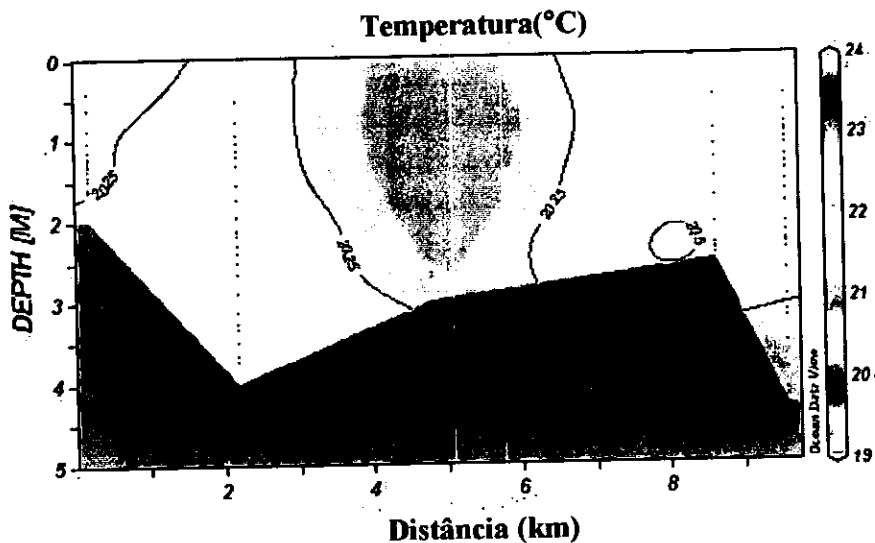
A Figura IV.1.5.2 (a), representa a variação da temperatura (°C) na boca do estuário observada no dia 16 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante a enchente e a vazante da maré.

Figura IV.1.5.2 (b). Situação da salinidade observada no dia 16 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



A Figura IV.1.5.2 (b), representa a variação da salinidade em (psu) na boca do estuário observada no dia 16 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante durante a enchente e a vazante da maré.

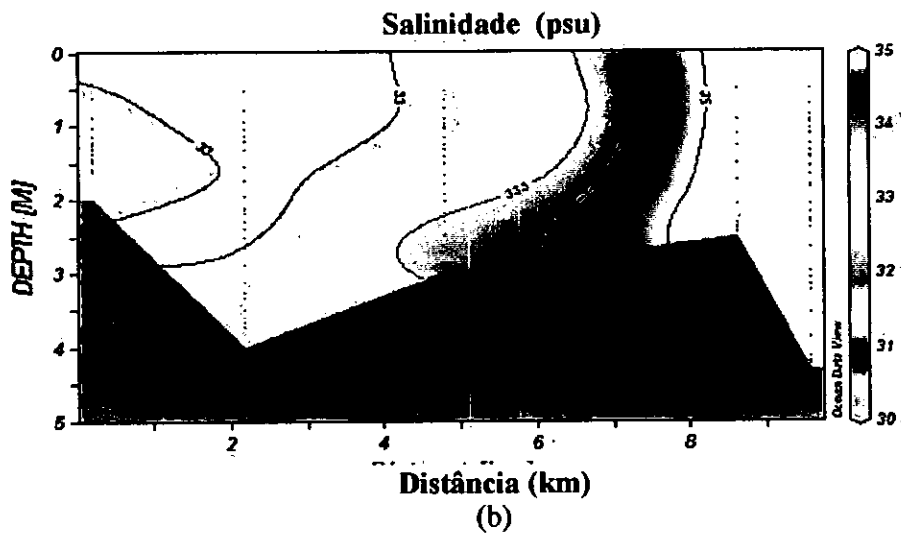
Figura IV.1.5.3 (a). Situação da temperatura observada no dia 17 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



(a)

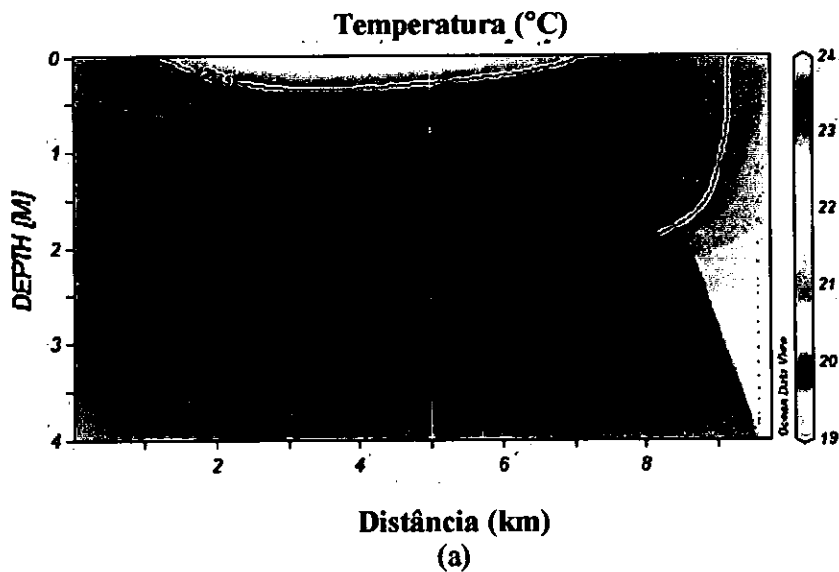
A Figura IV.1.5.3 (a), representa a variação da temperatura (°C) na boca do estuário observada no dia 17 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta.

Figura IV.1.5.3 (b). Situação da salinidade observada no dia 17 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



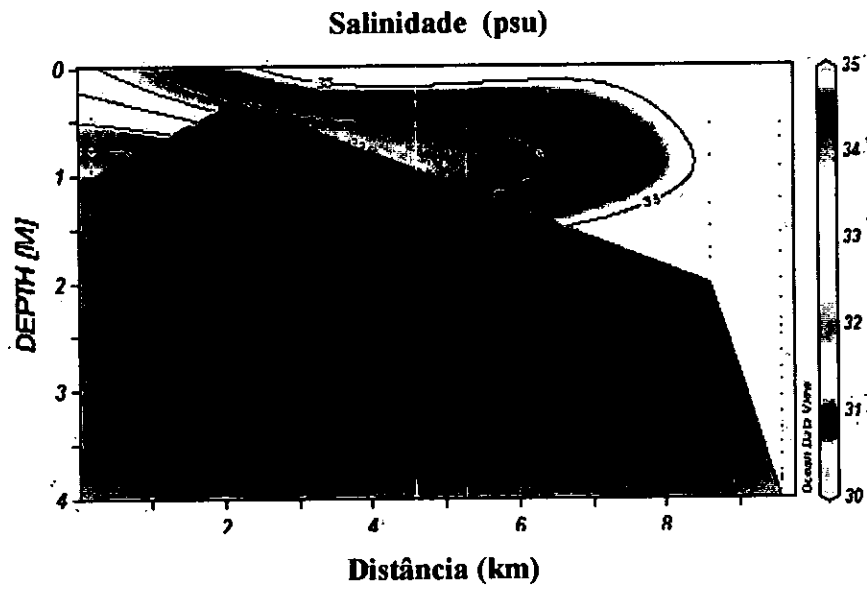
A Figura IV.1.5.3 (b), representa a variação da salinidade em (psu) na boca do estuário observada no dia 17 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante durante a enchente e a vazante da maré.

Figura IV.1.5.4 (a). Situação da temperatura observada no dia 18 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



A Figura IV.1.5.4 (a), representa a variação da temperatura (°C) na boca do estuário observada no dia 18 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante a enchente e a vazante da maré.

Figura IV.1.5.4 (b). Situação da salinidade observada no dia 18 de Setembro, durante a enchente e a vazante da maré.



A Figura IV.1.5.4 (b), representa a variação da salinidade em (psu) na boca do estuário observada no dia 18 de Setembro, durante a transição da maré viva para a morta e durante durante a enchente e a vazante da maré.



## V. Discussão dos resultados

Os resultados deste trabalho são interpretados através das componentes física e biogeoquímica dos processos.

### V.1 Componente física

Nesta época do ano, o range da salinidade e da temperatura no estuário do rio Incomati variam entre 32 à 35 psu e entre 19 à 21°C respectivamente, independentemente da situação da maré. A salinidade contribui na densidade da água do estuário, pois este é completamente dominado pelas águas do mar, como consequência do baixo fluxo do rio ( $\sim 5.45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

As águas do mar misturam-se completamente com as águas provenientes do rio, proporcionando uma troca de nutrientes entre o mar e o rio, de tal modo que a distribuição destes nutrientes é causada por processos de difusão turbulenta (Lauff, 1967).

As correntes de maré no seu período completo de excursão exercem profunda influência no transporte da água através da turbulência e da mistura que causam. Estas correntes quebram a estratificação entre a coluna vertical da água doce e da água salgada, influenciando a concentração de gases e nutrientes. Por vezes estas correntes actuam como factores limitantes, dependendo da sua intensidade.

É de salientar que as velocidades destas correntes foram determinadas através dos fluxos de descarga do rio Incomati e não com o correntómetro, segundo a metodologia desenhada para o presente estudo. Este instrumento não foi capaz de efectuar a leitura da informação prevista durante o trabalho de campo.

O sistema de ventos predominantes e as marés, influenciam o transporte da coluna de água pela transferência do momento através do cisalhamento, gerando ondas superficiais que ajudam a misturar as águas do mar com as águas do rio. Assim, é aceitável o uso do modelo simples (*OneBox Model*, para estimar as taxas de orçamento de nutrientes do sistema.

## V.2 Componente biogeoquímica

As variações das concentrações de diversos nutrientes durante as incursões das marés no período transitório entre a maré viva para a morta, inesperadamente mostram-se completamente independentes uns dos outros. No presente estudo observou-se baixa correlação entre os nutrientes, um comportamento não *Redfield-Richard*. Esta independência significa que o fluxo destes nutrientes são provenientes de diversas fontes independentes.

Durante a transição da maré, as concentrações da sílica ( $SiO_2$ ) aumentam com a diminuição da amplitude da maré. Isso era de esperar porque quando a maré é viva, o volume de água proveniente do mar pobre de sílica domina o estuário, tornando baixo o fluxo das águas do rio. Este processo é invertido no período da maré morta. Assim, a sílica é um nutriente que está sendo governado pelas descargas do rio.

O mesmo comportamento não se observou em relação a amónia ( $NH_4^+$ ). As concentrações da amónia diminuíram com a diminuição da amplitude da maré. Esta variação sugere que o mangal existente próximo a zona de fronteira entre o estuário e a baía, seja a fonte destes nutrientes.

No período da maré viva, quando a maré atinge as máximas amplitudes e quando o volume das águas provenientes do mar é maior, maior se torna a extensão da área do mangal coberta pelas águas do mar. Este facto faz com que a quantidade dos fluxos de remineralização dos mangais exportado se torne maior. O processo inverso ocorre quando a maré é morta. Assim, o fluxo de exportação de ( $NH_4^+$ ) nos mangais, é uma função do grau de inundação da área em que se dá a remineralização.

Durante o período de transição da maré, as concentrações de fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) permaneceram quase invariáveis e em concentrações muito baixas. Visto que a principal fonte do fosfato são os resíduos provenientes das actividades agrícolas, isto sugere que o impacto das actividades agrícolas na bacia do Incomati durante a estação seca se torna baixo, por causa do baixo caudal do rio Incomati. Este cenário poderá ser diferente na época da chuva e das cheias do rio.

Quanto ao nitrato ( $NO_3^-$ ), este apresenta variações pouco esclarecedoras. Provavelmente estes nutrientes estão sendo governados por certos processos biológicos, tais como remineralização- nitrificação de  $NH_4^+$  e dos resíduos agrícolas. Os teores são baixos e pouco significativos.

### V.3 Discussão do modelo.

O modelo simples utilizado para a determinação da taxa de orçamento dos nutrientes ajusta-se muito bem ao estuário do rio Incomáti nesta época do ano, por este apresentar-se completamente misturado. O modelo (*One Box Model*), é ideal para sistemas homogêneos em que o fluxo de entrada de água do rio é baixo.

Os resultados do modelo obtido pela equação (1.III.5.3.4), mostram que  $(p-r) < 0$ . Isso é interpretado como produção de Carbono Inorgânico Dissolvido (*DIC*), por meio da respiração

(Gordon *et al.*, 1996). O balanço entre a fotossíntese e a respiração heterotrófica é em favor da respiração, o que também explica o cálculo do sistema ser um exportador de DIN e DIP.

## VI. Conclusões

- Os resultados obtidos do presente estudo, tanto por observação directa como por modelação, permitem concluir que na época seca o estuário do rio Incomáti é um exportador de Nitrogénio e de Fósforo inorgânico dissolvido para a baía de Maputo. Este resultado foi testado com um modelo simples para calcular os fluxos residuais. Isso significa que o fluxo residual destes nutrientes é no sentido da vazante da maré. Assim, não se conseguiu provar o contrário da hipótese inicial deste estudo.
- O mangal é a principal fonte de  $\text{NH}_4^+$  e o rio é a principal fonte de  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SiO}_2$ . A remineralização de  $\text{NH}_4^+$  é a fonte de  $\text{NO}_3^-$  no sistema estuarino. Os maiores fluxos destes nutrientes são observados durante os períodos da vazante da maré.
- A temperatura e a salinidade são de menor importância no fluxo dos nutrientes durante a época seca, pois aquando da realização do presente estudo, o sistema encontrava-se completamente misturado. As correntes e os ventos, são os parâmetros que contribuem significativamente no fluxo dos nutrientes, por influenciarem o transporte da coluna da água superficial e os processos de mistura entre as águas do mar e as do rio.
- A energia das marés mostrou-se de particular importância por providenciar a energia cinética necessária ao sistema para misturar a coluna de água.

## VII. Recomendações

Visto que a produtividade dum ecossistema depende fundamentalmente dos teores e tipos de nutrientes que nele lhe são imposto, recomenda-se que as instituições ligadas a exploração e gestão dos recursos hídricos nesta bacia que implementem planos de monitorização em todos os rios que desaguam na baía de Maputo. Esta monitorização ajudará a perceber melhor o potencial ecológico e o estado da baía bem como dos seus estuários, visto que os seus recursos contribuem significativamente na economia do país. É importante que estas observações sejam feitas em escalas de tempo de importância para serem úteis na gestão dos ecossistemas costeiros.

## VIII. Bibliografia

- ACHIMO M. (2002) - **Sediment and geochemistry of the recent sediments in Maputo bay, Mozambique.** Stockholm, p. 5-12.
- ALLAN D. J. (1995) - **Stream ecology—Structure and function of running water.** USA,
- BROWN *et al.*, (1989) - **Ocean chemistry and deep – sea sediments.** England, p. 20 – 50.
- CSIR (Council for Scientific and Industry Research). (2002) - **Preliminary analytical methods manual—Estuarine and marine waters, sediments and biological tissue.** Stellenbosh, p 40 – 80.
- DYER K. (1973) - **Estuaries: A physical introduction.** Grã Bretanha, p. 5-25.
- GEORGE H. (1967) – **Estuaries.** Washigton, DC. p. 316-329
- GIANGUZZA PELIZZETTI & SAMMARTANO (2002) - **Chemistry of Marine and Sediments.** New York, p 58 -74.
- GORDON, JR., *et al.*,(1995). LOICZ (Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone) – **Biogeochemical modelling guidelines.** Nether lands, p 1 – 16, 23-43
- GRASWSHOFF K. & KREMLING K. (1983) - **Methods of sea water analysis.** Weinheim, p 159 – 223.
- GROSS & HAROLD. (1979) - **Ocean Dumping and marine pollution.** USA, p 9 – 18.
- HEMSLEY & MAGOON. (1993) - **Ocean waves measurement and analysis.** N. Orleans, P 933.
- HOGUANE A. & SETE C. (2001) - **Corrents and pollutant distribution in maputo bay. Moçambique,**
- <http://omp.gso.uri.edu>
- IIP (Instituto de Investigação Pesqueira). (2001) - **Boletim de divulgação nº34 Seminário sobre pescarias da baía de maputo.** Maputo,
- INAHINA (Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação). (2003) - **Tabela de marés.** Maputo,
- JESSEN M. (1998) - **Apontamentos de oceanografia para geógrafos.** Maputo,

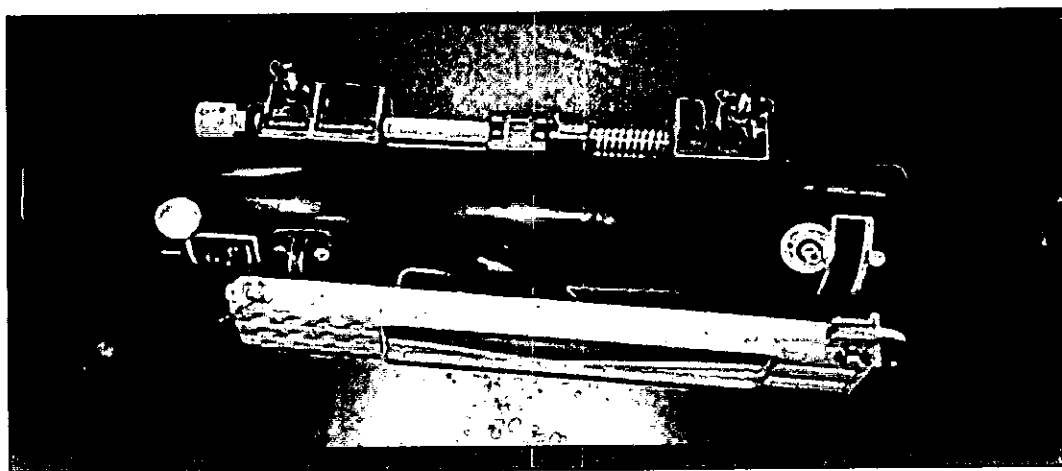
- KETCHUM H. (1983) - **Ecosystem of the world 26 – Estuaries and enclosed seas.** New York,
- KREEKE J. (1984) - **Physics of shallow estuaries and bays.** USA, p 5 – 30.
- LAZIER J. and MANN K. (1996) - **Dynamics of marine ecosystems biological Physical interaction in the ocean.** USA,
- LIBES M. (1992) - **An Introduction to marine biogeochemistry.** USA, p107 – 142.
- MONTEIRO & MATTHEWS. (2003) - **Journal of science 99.** South Africa, p299 – 302.
- ODUM P. (1971) - **Fundamentos de ecología.** Filadelfia,
- OFFICER B. (1976) - **Physical oceanography of estuaries and associated coastal waters.** Canada, p 12 – 45, 155 - 202
- OLAAUSSON & INGEMAR. (1980) - **Chemistry and biogeochemistry of estuaries.** Sweden, p 37 – 70.
- POND & PICKARD. (1983) - **Introductory dynamical oceanography.** Canada,
- STUMM and MORGAN. (1996) - **Aquatic chemistry – Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters.** New York, p 886, 908 – 927.
- TAN., WEIYAN. (1992). **Shallow water hidroynamics.** China, p 400.
- TIMOTHY P. & CAROL M. (1997) - **Biological oceanography an introduction.** Canada,
- VALIELA I. (1995) - **Marine ecological processes.** New York,
- WILEY., MARTIN. (1976) - **Estuarine processes I.** New York, p 67 – 69.
- [www.Catchment2coast.org](http://www.Catchment2coast.org)
- [www.csir.co.za](http://www.csir.co.za)

## IX. Anexos

### IX.1 Imagens de alguns instrumentos usados no trabalho de campo

Figura IX.1

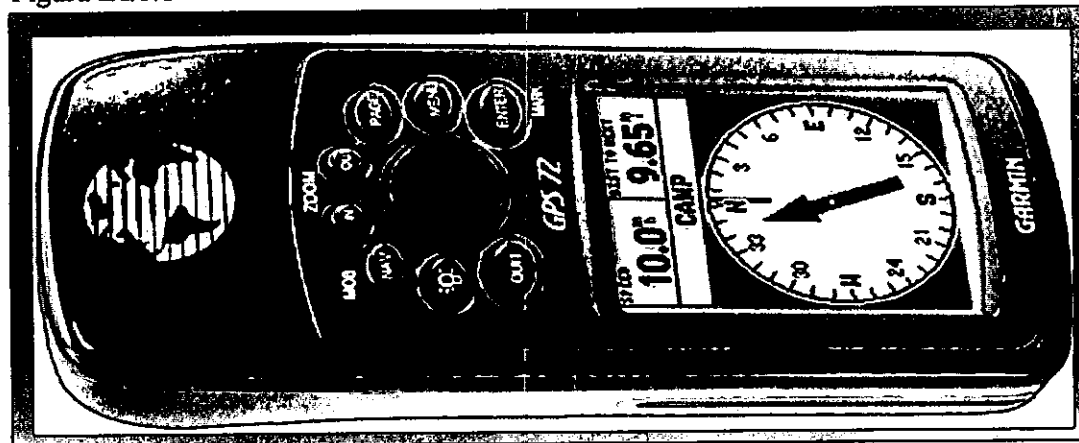
General Oceanic



A Figura IX.1, representa a garrafa de amostragem (*General Oceanic*), utilizada para a colecta de água a 1 metro da superfície.

Figura IX.1.1

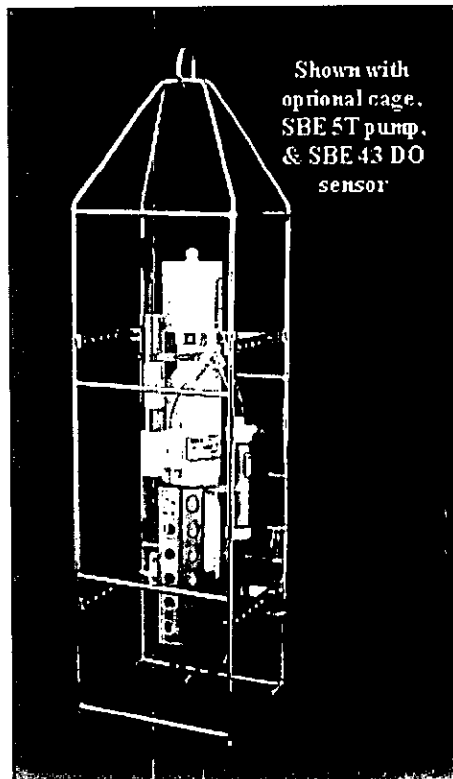
GPS 72 Garmin



A Figura IX.1.1, representa o GPS (*Global System Position*), utilizado para localização das estações durante a actividade de campo

Figura IX.1.2

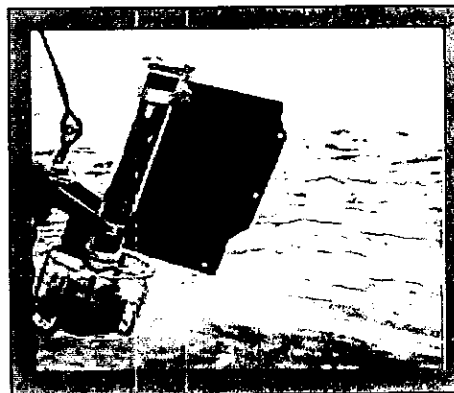
CTD



A Figura IX.1.2, representa o instrumento utilizado para a medição da temperatura, salinidade e a profundidade de cada estação.

Figura IX.1.3.

Correntómetro



A Figura IX.1.3, ilustra o modelo do correntómetro utilizado no trabalho de campo.