UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAYANE LUCIA PEREIRA

METABOLISMO PELÁGICO NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ- PR

PONTAL DO PARANÁ

2012

THAYANE LUCIA PEREIRA

METABOLISMO PELÁGICO NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ- PR

Monografia apresentada
ao Curso de Graduação em Oceanografia
Setor de Ciências da Terra da Universidade
Federal do Paraná, como requisito parcial
a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.
Orientadora: Profº Dra. Eunice C. Machado.

PONTAL DO PARANÁ

2012

CATALOGAÇÃO NA FONTE:

UFPR / SIBI - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar

Pereira, Thayane Lucia
P436m Metabolismo Pelágico no Complexo Estuarino de Paranaguá. / Thayane Lucia Pereira. – Pontal do Paraná, 2012.
48 f.; 29 cm.

Orientador: Drª Eunice da Costa Machado.

Monografia (graduação) - Curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

1. Oceanografia química. 2. Fontes de CO_2. 3. Estuários. 4. Complexo Estuarino de Paranaguá. 5. Metabolismo Pelágico. I. Título. II. Eunice da Costa Machado. III. Universidade Federal do Paraná.

Dedico este estudo aos meus pais,

Francisco e Ana Lúcia, minha irmã Thuanny e aos meus amigos

Bianca Salvador, Gilberto, Luana Mocelin, Mirella, Natiely e Valéria.

Agradecimentos

A Deus, pela infinita bondade e me confortar nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram nesta profissão, agradeço pelo infinito apoio, mesmo distantes, nos momentos mais difíceis, e espero poder compensá-los ao ver suas duas filhas formadas, cada uma seguindo sua profissão.

A minha irmã Thuanny, pelo apoio a minha futura profissão, aos ensinamentos do curso de Medicina Veterinária, que apesar de cada uma seguir o seu caminho, nós sempre estaremos ligadas uma com a outra.

A Prof° Dra. Eunice da Costa Machado, por me aceitar já no quinto ano da graduação, auxiliando-me durante toda a etapa da monografia, pela paciência e dedicação. Agradeço por me apresentar ao Profº Dr.Charrid Resgalla Jr. e a oportunidade de realizar um estágio no laboratório de Ecotoxicologia da UNIVALI.

Ao Prof° Maurício Camargo, pelo auxílio nas estatísticas do projeto, pela dedicação e paciência, bem como aos orientados Guilherme Seiji, Eliandro Gilbert, que me ajudaram com o programa R.

As bolsas de Monitoria e Probem, que me ajudaram a me manter no curso.

Ao GRR2008, por ser uma turma tão exemplar, pelas conversas, risadas, pelos churrascos e idéias para os temas das festas.

A Comissão de Formatura, que fez o que pode para sair uma formatura que ficasse memorável para todos, pelas discussões, que serviram para que buscássemos novas possibilidades.

As minhas companheiras de casa, Bianca Salvador e Valéria Coelho, que estiveram comigo durante os dois últimos anos, pelas conversas, por estarmos normalmente em sintonia a respeito da casa, pela grande amizade e experiência que pude ter com vocês.

Aos meus amigos, a quem dediquei este trabalho, Bianca Salvador, Gilberto Ougo, Mirella Leis, Natiely Dolci e Valéria Coelho, pela amizade durante estes cinco anos, pelas conversas, pelos conselhos e por estarem comigo em todos os momentos.

As minhas amigas do Laboratório de Biogeoquímica Marinha, Laís e Joana, que me ajudaram durante o projeto, desde a coleta até as análises no laboratório.

Agradeço a Liciane C. Silva, por me ensinar as práticas do laboratório, e pela amizade.

“Nunca desista de seus sonhos”

Augusto Cury

RESUMO

Os estuários possuem papel fundamental na dinâmica do dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, mediada por processos físico-químicos e biológicos, tais como os processos de autotrofia e heterotrofia. Compreendem a produção e mineralização da matéria orgânica, bem como as atividades de precipitação e dissolução do carbonato de cálcio ($CaCO_3$), que podem atuar como fontes ou sumidouros de CO_2. Com o intuito de descrever o metabolismo pelágico e o papel do eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) como fonte ou sumidouro do CO_2 atmosférico, investigou-se a distribuição de variáveis, ao longo do gradiente de salinidade. Para tal, realizou-se uma campanha de amostragem durante a maré de sizígia, nos períodos de enchente e vazante, mensurando-se a temperatura, o pH e a salinidade (*in situ*), a alcalinidade, e o oxigênio dissolvido. O CO_2 total foi determinado a partir de um modelo de interações iônicas, por meio dos dados de alcalinidade, pH, salinidade e temperatura. As temperaturas variaram de 20º a 20,5ºC, a salinidade exibiu um gradiente de 5 a 30, e o pH variou de 7,3 a 8,0, dentro da faixa reportada por estudos pretéritos. A alcalinidade apresentou um gradiente decrescente da desembocadura do setor externo para o interno, causado provavelmente pela diluição e mistura com águas fluviais com baixo teor de carbonatos. As concentrações de CO_2, sempre supersaturadas e maiores do que as concentrações em equilíbrio com a atmosfera apresentaram um gradiente crescente em direção a região interna do estuário, resultante dos aportes de matéria orgânica de origem fluvial e das áreas de manguezais. O teor porcentual de oxigênio dissolvido, revelando um comportamento inverso ao do CO_2%, foi marcadamente mais elevado na região externa e média, associado ao acréscimo de pH e da Salinidade, revelando maior atividade autotrófica na região. Os resultados obtidos permitem inferir um metabolismo predominantemente heterotrófico ao longo de todo o eixo Leste-Oeste do CEP, embora com uma variabilidade em curta escala espacial, atribuída à interação entre os processos autotróficos e heterotróficos com a complexa hidrodinâmica e a influência de aportes laterais. Fluxos diários e em uma base anual de CO_2 na interface estuário-atmosfera, calculados a partir da diferença entre os teores de subsuperfície e de equilíbrio atmosférico, usando um coeficiente de transferência dependente da velocidade do vento, foram de $1{,}71 * 10^2$ $mmol.m^2.d^{-1}$ e 62,5 $mol * m^2.y^{-1}$, respectivamente e estão na faixa reportada para outros sistemas estuarinos. Durante o período investigado, o eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá atuou como uma fonte de CO_2 para a atmosfera, a qual pode ter sido atenuada pelo baixo tempo de residência das águas neste sistema estuarino.

Palavras-chave: 1- Oceanografia Química, 2- Fontes de CO_2, 3- Estuários, 4- Complexo Estuarino de Paranaguá, 5- Metabolismo Pelágico.

ABSTRACT

Estuaries have a fundamental role on atmospheric carbon dioxide dynamics, mediated by physical, chemical and biological processes such as autotrophy and heterotrophy, as well as the activities of precipitation and dissolution of calcium carbonate ($CaCO_3$), which can act as sources or sinks of CO_2. In order to describe the pelagic metabolism and the role of the East-West axis Paranagua Estuarine Complex (CEP) as a source or sink of atmospheric CO_2, were investigated the variation of variables along the salinity gradient. For this, it was carried out a sampling campaign at the spring tide, during periods of flood and ebb, measuring the temperature, pH and salinity (*in situ*), alkalinity, and dissolved oxygen. The total CO_2 was determined based on ionic interaction model, using the alkalinity, pH, salinity and temperature. The temperatures ranged from 20° to 20.5°, salinity exhibited a gradient of 5 to 30, and the pH ranged from 7.3 - 8.0. The alkalinity showed a decreasing gradient from the mouth of the external sector to inner sector, probably caused by dilution and mixing with river water with low carbonate content. Concentrations of carbon dioxide, always supersaturated and larger than concentrations in equilibrium with the atmosphere, showed an increasing gradient toward the inner region of the estuary, attributed to inputs of organic matter from rivers and surround mangrove areas. The Dissolved Oxygen (%), revealing an inverse behavior to CO_2%, was markedly higher in the outer and middle estuarine, due to the relative increase of autotrophic activity. The results allow inferring a predominantly heterotrophic metabolism throughout the East-West Axis CEP, albeit with a short scale spatial variability, attributed to the interaction between the autotrophic and heterotrophic processes with complex hydrodynamics and the influence of lateral inputs. Daily and annual exchange of CO_2 at the estuary-atmosphere interface, calculated from the difference between the concentrations of subsurface and atmospheric equilibrium, using a transfer coefficient dependent on the wind speed, were $1.71*10^2$ $mmol.m^2.d^{-1}$ and 62.5 mol $m^2.y^{-1}$, respectively, and are in the reported range for other estuarine systems. During the period investigated, the East-West axis of the Paranaguá Estuarine Complex acted as a net source of CO_2 to the atmosphere, which can be mitigated by the low residence time of water in this estuarine system.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 1
LISTA DE TABELAS 2
1.Introdução 3
1.1 Objetivos 9
2. Material e Métodos 10
2.1. Área de Estudo- O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) 10
2.2 Amostragem 12
2.3 Procedimentos Analíticos 13
2.4. Tratamento dos dados e análises estatísticas 14
3.Resultados e Discussão 14
3.1. Capítulo 1- Variações espaciais das propriedades físico-químicas investigadas ao longo do eixo Leste-Oeste do CEP 16
3.2. Capítulo 2 – Metabolismo Estuarino e Fluxos de CO_2 na interface estuário-atmosfera..... 23
4. Conclusões 28
5. Referências 29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa dos pontos amostrados no eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá.....12

Figura 2–Diagrama de mistura de CO_2 na maré enchente e vazante nos setores externo, mediano e interno..... 18

Figura 3- Diagrama de Mistura de O.D. na maré enchente e vazante nos setores externo, mediano e interno.....18

Figura 4- Salinidade na maré enchente e vazante nos setores Externo (E), Mediano (M) e Interno (I).....19

Figura 5- Temperatura na maré enchente e vazante nos setores Externo (E), Mediano e Interno (I).....20

Figura 6- Alcalinidade na maré enchente e vazante nos setores Externo (E), Mediano (M) e Interno (I)..... 21

Figura 7- pH na maré enchente e vazante nos setores Externo, Mediano (M) e Interno (I)..... 22

Figura 8- PCA na maré enchente..... 23

Figura 9- PCA na maré vazante..... 23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fluxos de CO_2 nos periodos de enchente e vazante e as variáveis associadas.*Enchente ** Vazante.....37

Tabela 2- Fluxos de CO_2 na interface estuário-atmosfera no eixo Leste-Oeste do CEP, na maré enchente e vazante, em uma base diária e anual.....25

Tabela 3- Fluxos de CO_2 e comportamento de fonte ou sumidouro de alguns sistemas estuarinos, incluindo o eixo Leste-Oeste do CEP (adaptado de Borges *et* al., 2006).....26

1.Introdução

Os oceanos possuem papel fundamental no sequestro de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera, podendo atuar como sumidouro das elevadas concentrações de CO_2, resultada das atividades antropogênicas. O dióxido de carbono (CO_2) tem apresentado mudanças em suas concentrações na atmosfera, resultante das atividades industriais e a agricultura, variando entre 280 a 370 ppm, revelando um acréscimo de 50% nas três últimas décadas (FEELY, *et al*.,2009). Este CO_2 de origem antropogênica sofre dissolução no oceano, e sofre vários processos químicos que acarretam na redução do pH, na concentração do íon carbonato, bem como na alteração do estado de saturação de importantes minerais, tais como a calcita e a aragonita. Assim, a absorção deste CO_2 em excesso tem causado o decréscimo do pH nas águas oceânicas, ocasionando severas consequências para a biota marinha, em especial para os organismos que constroem os seus esqueletos com carbonato de cálcio (FEELY, *et al*.,2009).

As reações químicas do carbonato na água do mar são mediadas por uma infinidade de processos químicos abióticos, como a dissolução do CO_2, reações ácido-base, além de processos biológicos tais como as reações metabólicas, que compreendem as taxas de produção e mineralização da matéria orgânica (fotossíntese, biossíntese, respiração e fermentação), e a precipitação e dissolução do Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) (FEELY, *et al*., 2009). Desta forma, a dissolução do CO_2 nos sistemas oceânicos e costeiros, promove um aumento na concentração dos prótons [H^+], reduzindo o pH e o carbonato [CO_3]. Este resulta na diminuição do estado de saturação do carbonato de cálcio [$CaCO_3$], afetando os organismos que formam as conchas e o esqueleto com este composto, ou seja, as taxas de calcificação são reduzidas (FEELY, et al.,2009). A primeira reação ocorre a partir da dissolução do dióxido de carbono na água do mar, sendo que esta depende de diversos fatores como o coeficiente de viscosidade, a velocidade do vento, a rugosidade da superfície e a pressão parcial de CO_2. A segunda reação compreende a interação do

dióxido de carbono com a água do mar, formando um composto chamado bicarbonato (HCO_3^-), que sofre dissociação em reações ácido-base:

$CO_{2(aq)} + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow 2H^+ + CO_3^{-\cdot}$

A terceira envolve o processo de formação e dissolução do Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$), que envolve a seguinte reação:

$Ca^{+2} + CO_3^- \leftrightarrow CaCO_{3(s)}$.

Portanto, como os níveis de CO_2 têm aumentado na água do mar, este gás reage com a água formando o ácido carbônico, sendo que este se dissocia formando os prótons [H^+] e o bicarbonato [HCO_3^-], e a maioria dos prótons [H^+] reage com o [CO_3^-] produzindo um acréscimo de [$H^+CO_3^-$].

Em contraste com as regiões oceânicas profundas, as áreas costeiras constituem sistemas raso complexos que apresentam uma infinidade de processos associados dentre os quais podemos citar as ressurgências, frentes de maré, descargas fluviais, troca com os sedimentos e processos biológicos intensos (MACKENZIE, 1991; WOLLAST,1991). Alguns autores acreditam que o ambiente costeiro é possivelmente heterotrófico, e atua também como fonte de CO_2, pois o carbono orgânico dos rios é amplamente respirado (SMITH & MACKENZIE, 1987, SMITH & HOLLIBAUG, 1993). A evasão de CO_2 é amplamente observada nos estuários e sistemas próximos à costa (FRANKIGNOULLE *et* al., 1996, CAI & WANG, 1998, GATTUSO *et* al., 1998, CAI *et* al., 2003b) sendo raros em grandes plataformas continentais. Em relação ao fluxo de nitrogênio e à síntese de carbono terrestre, e o seu destino para o oceano, CAI (2011) pressupõe que o ambiente costeiro seja heterótrofico. Ou seja, pela queima de carbono orgânico e liberação de CO_2, os fluxos de CO_2 entre a atmosfera e o oceano no ambiente costeiro têm apontado que as maiores plataformas continentais são sumidouros de CO_2, exceto para as baixas latitudes (CAI, 2011). Além disso, em uma escala global, o transporte de substâncias terrestres para o oceano tende a direcioná-lo a um estado mais heterotrófico, sugerindo, desta forma, um grande impacto potencial em relação à heterotrofia nos ambientes costeiros (CAI, 2011).

A entrada de nutrientes e carbono provinda do aporte terrígeno, que chega até o oceano pelas margens continentais, contribui para que o ambiente costeiro seja considerado uma das regiões biogeoquimicamente mais ativas da biosfera. O aporte, a produção, degradação e a exportação da matéria orgânica na região costeira são significativamente mais elevados que na região oceânica (e.g.WOLLAST, 1998). Desta maneira, seria esperado que os fluxos entre o ambiente costeiro e atmosfera seja consideravelmente mais intensos, se comparados com a área superficial relativa destes, bem como importantes contribuintes para o ciclo global do carbono. Diversos estudos têm indicado que o ambiente lacustre e os estuários apresentam uma supersaturação de CO_2 se comparada com a atmosfera, apresentando valores parciais entre 400 e 1000 µatm (MARTINS & PROBST, 1991; FRANKIGNOULLE *et al*., 1996,1998; RAYMOND *et al*.,1997 CAI & WANG 1998, BORGES, 2005, BORGES *et al*, 2006), tornando as águas estuarinas fontes significativas de CO_2 para a atmosfera. Além disso, há afirmações que a desgaseificação de CO_2 poderia contrabalancear a absorção de CO_2 na plataforma continental. Este fluxo de desgaseificação sugere que o carbono orgânico de origem terrestre sofre os processos de respiração durante o transporte na zona estuarina. Segundo Chen & Borges (2009, *apud* Keil *et* al.,1997) aproximadamente 70% do carbono orgânico particulado dos rios é degradado para fornecer uma fonte de CO_2 para a desgaseificação estuarina, sugerindo que os processos de respiração não ocorrem na zona estuarina interna, para rios de médio a grande porte, devido aos seus curtos tempos de residência. Contudo, eles podem ocorrer na maior parte fora da costa, principalmente em sedimentos da plataforma (ALLER, 1998, ALLER *et al*. 2004). A perda de CO_2 em estuários é suportada na maioria, pela atividade microbiana de carbono orgânico produzido nas regiões costeiras.

As trocas de CO_2 na interface oceano-atmosfera possuem efeitos distintos em relação à concentração de CO_2, como por exemplo, o aporte fluvial e as ressurgências levam quantidades relativamente significativas de carbono inorgânico para a plataforma continental, acarretando uma supersaturação de CO_2. Contudo, o aporte fluvial e as ressurgências transportam elevadas concentrações de nutrientes, contribuindo para a produção primária, influenciada ainda por processos físicos como as frentes de pluma estuarina e as marés, os quais geram uma subsaturação

de CO_2 (WATSON, 1995). Os rios transportam uma elevada quantidade de material orgânico, nas formas particuladas e dissolvidas em direção às áreas costeiras. Isto contribui para o aumento no estoque de carbono, propiciando condições anaeróbicas na coluna d'água, bem como acarreta em uma supersaturação de CO_2. (e.g., BROCKMANN *et al*.,1990). E por fim, os efeitos termodinâmicos também afetam as trocas de CO_2 entre a atmosfera e o oceano (OLIVEIRA, *et al*., 2006).

1.1. Regiões Estuarinas

As regiões estuarinas são ambientes de transição entre o oceano e o continente, os quais recebem o aporte de água doce aliada à descarga de nutrientes, fluindo ao encontro da água marinha, aliada aos vetores oceanográficos envolvidos (PRANDLE,2009; PERILLO,1995). Diversos estudos tem mostrado que estes ambientes, apesar de serem caracterizados pelas elevadas taxas de produção primária que mantém uma rica cadeia alimentar, atuam como fontes de CO_2 para a atmosfera (FRANKIGNOULLE et al., 1998; ABRIL & BORGES, 2004) relacionadas com a remineralização do carbono orgânico proveniente do aporte fluvial (GATTUSO *et* al., 1998; ABRIL *et* al., 2002; HOPKINSON &SMITH, 2005).

Segundo Dionne (1963 *apud* Perillo, 1995), o ambiente estuarino é dividido em três porções: a região Marinha, apresenta conexão direta com o mar; o Médio Estuário, onde ocorre o encontro de água proveniente do aporte fluvial e a água do mar e por fim, a porção interna, denominada Fluvial ou alto estuário que apresenta forte influência do aporte de água doce, no entanto, está sujeita a ação das correntes de maré.

A região interna do estuário, apresenta como característica os elevados valores da pressão parcial de CO_2 (pCO_2) acima do equilíbrio atmosférico, indicando que nesta porção do estuário atua como fonte de CO_2 para a atmosfera. Os sistemas bem misturados, possuem menor eficiência em relação à exportação da matéria orgânica e absorção de CO_2 do que sistemas estratificados permanentes ou sazonalmente (BORGES *et al*., 2006).

1.2. Metabolismo

Os ecossistemas apresentam uma evolução contínua de produção de matéria orgânica por meio de processos como a fotossíntese, biossíntese e a mineralização da matéria orgânica, sendo esta decorrente de reações como a respiração. O conjunto destes constitui o metabolismo do ecossistema, o qual é produto da soma de todos os metabolismos existentes na biota. (CARMOUZE, 1994). O balanço metabólico é analisado como sendo um sistema regulador da entrada alóctone de matéria orgânica e a autotrofia é esperada em sistemas com altas concentrações de nutrientes ou sistemas com produção primária substancial (DUARTE *et* al., 1998; COLE *et* al., 2000; HANSON *et* al., 2003).

1.2.1. Autotrofia

Os sistemas nos quais o aumento da produção primária ultrapassa a respiração apresentam uma produção líquida positiva e pertencem à rede autotrófica. Neste sistema, o ambiente não necessita de um agente externo para obter matéria orgânica, se comportando como um acumulador e exportador de matéria orgânica, mas possui obrigatoriamente uma fonte alóctone de nutrientes, atuando como importador e sequestrador destes.

1.2.2. Heterotrofia

Nos sistemas onde a matéria orgânica é mais consumida do que produzida têm-se que a produção líquida do ecossistema é negativa, e corresponde um metabolismo heterotrófico (SADRO *et al*., 2011), necessitando de fontes alóctones de matéria orgânica para manter os ciclos de consumo. Este meio torna-se autodepurador de matéria orgânica e exportador de nutrientes (CARMOUZE, 1994).

O ecossistema autotrófico em que a produção primária é superior aos processos de respiração da comunidade (P.P. > R.), apresenta uma redução nos valores de CO_2 em águas circundantes, enquanto que o sistema de rede heterotrófico (P < R.) ocorre o enriquecimento nas águas circundantes de CO_2. A autotrofia e a heterotrofia não são permanentes no sistema, mas podem ocorrer a predominância de um desses processos.

Os fluxos de CO_2 na interface oceano-atmosfera são controlados por processos, como a precipitação e dissolução do carbonato de cálcio ($CaCO_3$); trocas de água

com o sistema adjacentes; o volume de CO_2 das trocas das massas d'água; o tempo de residência destas dentro do sistema; dissociação da produção do carbono orgânico e a degradação pela coluna d'água por meio dos processos físicos do sistema (BORGES *et al*., 2006). Os estuários são sistemas complexos que necessitam de um estudo integrado em relação à avaliação metabólica devido tratar-se de um ambiente com uma dinâmica e por apresentar diferentes gradientes de salinidade e energia.

Em condições aeróbicas, as taxas de produção líquida podem ser analisadas por meio da redução do conteúdo de CO_2 ou pelo aumento na concentração de oxigênio na coluna d'água, assim como as taxas de mineralização líquida são avaliados pelo acréscimo na concentração de CO_2 e pela diminuição da quantidade de oxigênio presente na coluna d'água.

O fluxo de CO_2 na interface ar-água pode ser calculado pela velocidade de transferência, representado por k_{co2} , que indica a resistência à troca de gases na interface (JEFFERY, 2007) e o gradiente de pressão parcial de CO_2 (ρCO_2) ,o qual indica o potencial da troca. Estes podem ser calculados, de forma alternativa, através das concentrações de CO_2 total da água de subsuperfície e aquela de equilíbrio com a atmosfera, estimadas através da medida da alcalinidade, pH e temperatura, através do modelo de interações iônicas (CARMOUZE, 1994). Embora menos acurada do que as medições feitas com analisadores in situ da pressão do CO_2, esta abordagem permite construir um cenário preliminar do metabolismo pelágico e do papel do ecossistema como fonte ou sumidouro de CO_2.

Entretanto, há uma grande divergência entre os autores com relação aos estuários, se estes atuam como fontes ou sumidouros de CO_2 da atmosfera (WALSH, 1991; SMITH & HOLLIBAUGH, 1993). Isto está relacionado ao fato da elevada heterogeneidade destas regiões, e também pelos estudos nos estuários estarem sendo limitados por meio de transectos ou em cruzeiros de pesquisa, que abrangem um curto período de tempo (LUQUE, e.g *et al*.,2005). Este estudo visa à compreensão do metabolismo pelágico do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), relacionando os fluxos de CO_2 na interface estuário-atmosfera e suas implicações no papel deste ambiente estuarino, atuando como fonte ou sumidouro de CO_2 atmosférico.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar o metabolismo pelágico no eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá, por meio das variações de CO_2 e O.D. Para esta finalidade, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

a) Quantificar o Dióxido de Carbono (CO_2), o Oxigênio Dissolvido (O.D.), a Alcalinidade e o pH na enchente e vazante, durante o período de maré de sizígia, ao longo do eixo Leste-Oeste do CEP.

b) Verificar a variabilidade espacial dos indicadores de metabolismo pelágico (CO_2 e O.D.) no sistema investigado.

c) Estimar os fluxos de CO_2 na interface estuário-atmosfera, determinando se o sistema funciona como fonte ou como sumidouro de CO_2.

2. Material e Métodos

2.1. Área de Estudo: O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP)

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), localizado na costa do estado do Paraná, corresponde a uma porção larga interconectada do sistema estuarino subtropical que inclui o sistema da Baía de Cananéia na costa sul do estado de São Paulo. O CEP é formado por dois principais corpos d'águas, que compreende a baía de Antonina, Paranaguá, Laranjeiras e de Pinheiros, definidos pelos eixos leste-oeste e norte-sul, sendo foco deste estudo, o primeiro, que abrange a baía de Paranaguá e Antonina. Ele conecta-se o mar aberto por meio de três canais de maré, com uma reentrância na Ilha do Mel.

Em relação às características geomorfológicas, a baía pode ser dividida em desembocadura do estuário, a porção média e a zona de meandros (LESSA *et* al.1998), ou seja, a porção externa, média e interna do estuário. A primeira corresponde à porção mais baixa do estuário, que se encontra ao redor de cumes praiais. O canal médio apresenta uma profundidade de 10 metros, com características de sedimentos finos bem selecionados a areia muito fina. A porção média representa a maior secção transversal, com profundidades entre 4 e 10 metros, e sedimentos de fundos caracteristicamente lamosos (BIGARELLA *et al*. 1978). A porção média não-vegetada alongada pelos bancos de areia na baixa maré representam uma delta de baía tipicamente dominado por marés. A região superior do estuário, com canais superficiais e forte influência fluvial representam a zona de meandros. Os sedimentos de fundo são finos pobremente selecionados a areia muito fina. Um largo aporte dos sedimentos fluviais no estuário da baía de Paranaguá acarreta numa expansão dos baixios e depósitos fluviais de areia na cabeça do estuário. (LANA *et al.*, 2001)

No que se refere às características físicas, o CEP é classificado como estuário parcialmente misturado, com padrões de circulação e estratificação que variam sazonalmente. A função e a estrutura do estuário são influenciadas por diferenças gradientes como salinidade e a hidrodinâmica do local. A diferença no gradiente de

salinidade ao longo do eixo leste-oeste divide a baía em regiões de alta e baixa energia. A porção de elevada energia, corresponde à região mais externa, euhalina, com salinidade média de 30, e setores internos de baixa energia oligo e mesohalina (salinidade média de 0-15). O gradiente lateral origina-se pelo aporte de água doce proveniente dos rios, formando vários micro-estuários nos setores euhalino e polihalino da baía. A hidrodinâmica é governada pelas forçantes de maré e pelo escoamento dos rios (KNOPPERS *et al*. 1987; BRANDINI *et al*. 1988; REBELLO & BRANDINI, 1990; MACHADO *et al*. 2000).

A distribuição e a variação temporal das propriedades físico-químicas da Baía de Paranaguá são relacionadas ao gradiente de salinidade, bem como fatores relacionado a hidrodinâmica do local. A concentração de Oxigênio Dissolvido (O.D) atinge 4 a 7,5 mL l^{-1} (LANA *et al.,* 2001). Os valores baixos de O.D. são encontrados em águas de fundo na região interna e mediana, na estação chuvosa (Machado et al, 1997). Entretanto a elevada produtividade primária pode levar a alta saturação dos valores na parte média da baía (BRANDINI, 1985). Os padrões dos materiais em suspensão não são bem definidos, possivelmente devido a grande complexidade do estuário (LANA et al., 2001).

As concentrações de nutrientes e o estado trófico são resultantes dos processos dinâmicos bem como os diversos mecanismos de sumidouro e síntese destes constituintes, como por exemplo, a absorção biológica, o aporte de água doce, aliada ao regime de chuvas, as interações na interface sedimento-água e a descarga de esgoto da cidade de Paranaguá. Os valores mais elevados de clorofila-a e nutrientes inorgânicos dissolvidos são encontrados nas regiões superior e mediana do CEP, durante o período chuvoso (Lana *et al.,*2001; Marone *et* al., 2005).

A hidrografia pode ser utilizada para a descrição da entrada e a saída de componentes, como a salinidade, contida na água. Os materiais que entram ou deixam o sistema sem possíveis transformações, podem ser denominados como compostos conservativos, como por exemplo, o silicato e, em certa extensão, o nitrato, indicando, que o aporte continental constitui a principal fonte de entrada destes nutrientes. No entanto, o setor mediano do CEP constitui um como sumidouro para o nitrato e uma fonte para nitrito e amônio. A razão N:P apresenta uma variabilidade espacial e temporal, com valores mais elevados no setor interno

durante o estação chuvosa, associada com o aumento da drenagem continental neste período. Contudo, a predominância de valores menores que a razão N:P de 16:1, estabelecida por Redfield (1958) mostra que o nitrogênio constitui o principal nutriente potencialmente limitante para o sistema, possivelmente resultante do processo de denitrificação na superfície dos sedimentos e nas águas adjacentes (Seitzinger,1988 *apud* Marone *et* al., 2005).

2.2 Amostragem

A amostragem foi realizada no mês de julho de 2012, em 21 estações distribuídas ao longo do eixo Leste-Oeste do CEP, cobrindo as porções interna, média e externa do estuário, nos períodos de enchente e vazante, durante maré de sizígia. Os pontos foram determinados previamente a fim de abranger as três porções do estuário, sendo estes localizados com o auxílio do GPS (“Global Positioning System”) (Figura1). Em cada estação, água da superfície foi coletada com auxílio de uma garrafa de Van Dorn, para a análise dos dados bióticos de interesse. Os dados *in situ*, foram medidos a salinidade com o refratômetro ATAGO, a temperatura com um termômetro comum, e o pH com um pH-metro HANNA (Mod.) devidamente calibrado com soluções padrões, valores de 4,00 e 7,00 (CARMOUZE,1994). Alíquotas para a determinação de oxigênio dissolvido foram tomadas em frascos com tampa esmerilhada, fixadas ($MnCl_2$ e KI) e conservadas em caixa térmica no escuro com água do local até a chegada no laboratório. Alíquotas para a determinação da alcalinidade foram fixadas com 0,3-0,5 mL de HCl 0,01 N e conservadas mostras junto com as amostras de O.D.

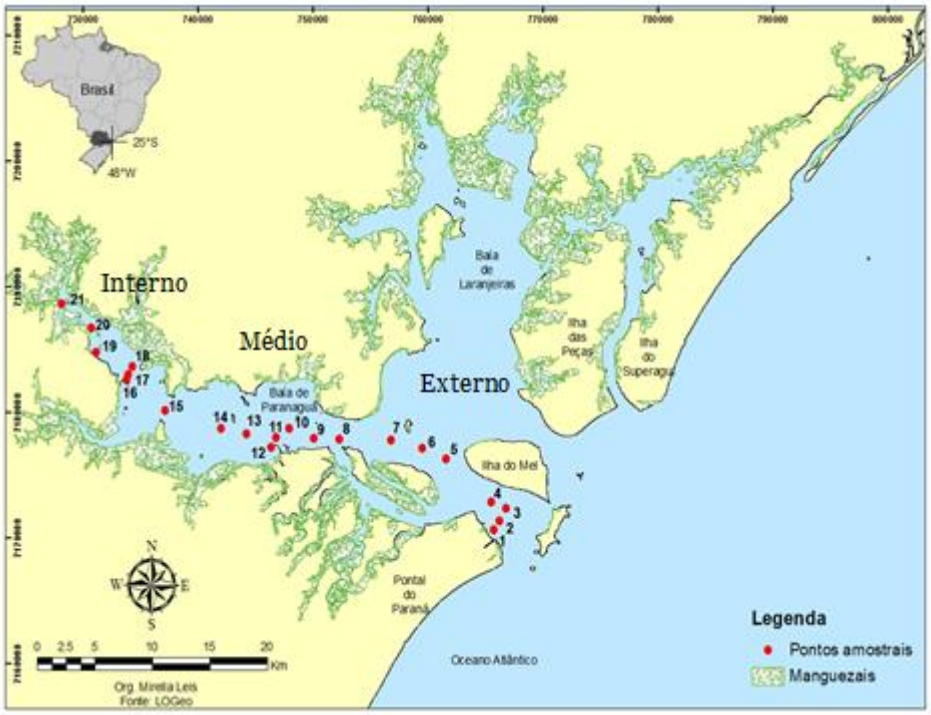

Figura 1- Mapa dos pontos amostrados no eixo leste- oeste do CEP

2.3 Procedimentos Analíticos

O procedimento para a determinação do Oxigênio Dissolvido (O.D.) consiste no método de Winkler descrito por Grasshoff *et al*.(1983), que se baseia na titulação das amostras com tiossulfato de sódio, na qual a redução total do iodo é observada pela variação acentuada do potencial oxi-redução, obtendo, desta maneira, o volume equivalente.

A medida da alcalinidade se baseia na quantidade de prótons (H^+) que são necessários para neutralizar as bases presentes na água.

A alcalinidade foi obtida por titrimetria, a partir de titulação com HCl 0,01 M, medida com o auxílio de um pHâmetro. O ponto final foi determinado pelo método de Gran, descrito por Carmouze (1994). O CO_2 total e a porcentagem de saturação de CO_2 total foram determinados pelo modelo de interações iônicas descrito por Carmouze (1994), a partir de dados de alcalinidade, temperatura, salinidade e pH, utilizando o programa Alcagran (CARMOUZE,1994).

2.4. Tratamento dos dados e análises estatísticas

Os dados foram tratados estatisticamente através do programa Rstudio, no qual os pontos coletados ao longo do eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá foram separados por setores: interno, médio e externo, para o agrupamento dos dados. Foi efetuada uma Análise de Componentes Principais (PCA) nos períodos de maré enchente e vazante para observar o comportamento das variáveis aos setores amostrados.

Os fluxos de CO_2 na interface estuário-atmosfera, em mmol/m^2/h, durante a maré enchente e vazante, foram obtidos por meio da equação:

$$\mathbf{FCO_2 = ([CO_2t]sup.- [CO_2t]eq.)*K}$$

Onde:

FCO_2 é o fluxo de CO_2 total na interface água-atmosfera, representado em mmol/m^2/h. Valores positivos denotam a evasão de CO_2 para a atmosfera e valores negativos indicam absorção de CO_2 atmosférico pela água;

([CO_2t]sup. corresponde à concentração de dióxido de carbono total na subsuperfície;

[CO_2t]eq. é a concentração de dióxido de carbono total em equilíbrio com a atmosfera (correspondendo ao valor de 100% de saturação);

K é velocidade de transferência do CO_2 (0,008 $m.h^{-1}$, para velocidades do vento (V) < 5 $m.s^{-1}$; 9,5 x 10^{-4} x V^2 $m.h^{-1}$, para V > 5 $m.s^{-1}$, conforme adotado por CARMOUZE (1994), sendo que a velocidade do vento foi obtida por dados meteorológicos da Estação da Ilha do Mel durante o período amostrado.

Com a finalidade de estabelecer uma estimativa dos fluxos médios no eixo do Leste-Oeste nos períodos de maré enchente e vazante, em uma escala diária e anual, foram efetuados os seguintes cálculos:

I. $(\overline{x_s} * t) = FCO_2$ s, e, v
II. FCO_2s,e, v= $\bar{x}FCO_2$ e,v

III. $\overline{x}FCO_2$ e,v= $\sum \overline{x}FCO_2$e,v

IV. $\sum \overline{x}FCO_2$ e,v*2)= ($\overline{x}FCO_2$ e,v,d em mmol/m^2/d)

V. $\overline{x}FCO_2$ e,v,d em mmol/m^2/d = $\overline{x}$ Eixo L-W (mmol/m^2/d)

VI. $\overline{x}$ Eixo L-W (mmol/m^2/d) *365 = $\overline{x}$ Eixo L-W (mmol/m^2/y)

Sendo que:

$\overline{x}_s$ representa a média dos pontos amostrados em cada setor, externo, mediano e interno na maré enchente e na vazante;

t- período de cada situação de maré, que compreende seis horas;

$\overline{x}FCO_2$s,e,v – Média dos fluxos de CO_2 dos três setores investigados, nos dois períodos de maré amostrados, vazante e enchente. Estes valores são somados e então multiplicados por dois, para obtenção dos fluxos de CO_2 em uma escala diária (d), representado por $\overline{x}FCO_2$ e, v,d em mmol/m^2/d, que constitui uma estimativa do fluxo médio de CO_2 diário no eixo Leste-Oeste do CEP [$\overline{x}$ FCO_2 e, v,d (mmol/m^2/d). Em seguida, multiplicados por 365 dias a fim de determinar o metabolismo em proporções anuais, representado por $\overline{x}$ Eixo L-W (mmol/m^2/y);

3. Resultados e Discussão

3.1. Variações espaciais das propriedades físico-químicas investigadas ao longo do eixo Leste-Oeste do CEP

Conforme mencionado anteriormente, o estudo da distribuição das variáveis físico-químicas investigadas ao longo do eixo Leste-Oeste do CEP possibilitou caracterizar o metabolismo pelágico, ou seja, as taxas líquidas de produção e mineralização de matéria orgânica no estuário.

A campanha de amostragem permitiu avaliar o comportamento das variáveis físico-químicas, como a Temperatura e a Salinidade, o pH, a Alcalinidade, o Dióxido de carbono (CO_2) e o Oxigênio Dissolvido (O.D.) nos períodos de maré enchente e vazante em relação aos três setores amostrados, a porção externa, mediana e interna do estuário.

Durante a maré enchente, verificou-se um aumento significativo nas concentrações de dióxido de carbono no setor interno, resultante do acréscimo da remineralização da matéria orgânica proveniente da drenagem fluvial e de aportes dos manguezais que circunda a baía como um todo, o que pode ter sido auxiliado pelo aprisionamento da água pela maré enchente (Figura 2). A remineralização da matéria orgânica pode favorecer uma redução do O.D. na coluna d' água, bem como ocasiona a supersaturação de CO_2 nesta região, indicando a predominância de processos heterotróficos.

Comparando os teores porcentuais de dióxido de carbono nos setores externo, médio e interno, observa-se um gradiente bem definido da área da desembocadura até a porção mais interna. No setor médio há um acréscimo, provavelmente relacionado aos aportes provenientes das porções leste e oeste do porto de Paranaguá, associados aos rios Emboguaçu e Itiberê, que liberam grandes quantidades de esgoto na região. No setor externo, em contrapartida, há quantidades relativamente baixas de dióxido de carbono, sugerindo uma redução da atividade heterotrófica nesta região, e mistura com água salgada, o que favorece um aumento nas concentrações de O.D. O oxigênio dissolvido, com teores em geral

subsaturados, apresentou um gradiente decrescente ao longo dos três setores do estuário, sendo que no setor médio houve um pico, resultante provavelmente de um incremento na atividade fotossintética, associada à alta intensidade luminosa neste período, enquanto que no setor interno foi observada uma redução significativa, denotando o incremento dos processos heterotróficos, em consonância com o aumento nas concentrações de CO_2 (Figura 2). Contudo, observou-se uma variabilidade relevante nas concentrações de O.D. e CO_2 dentro de cada setor, derivada provavelmente da interação entre as atividades de autotrofia e heterotrofia e fatores abióticos, tais como maior ou menor disponibilidade de luz, nutrientes e uma hidrodinâmica complexa gerada pelos padrões de correntes de maré, ressuspensão de sedimentos de fundo e aportes laterais de matéria orgânica dissolvida e particulada (LANA et al, 2001; MACHADO et al., 1997).

No período de maré vazante, foi observado um decréscimo acentuado do dióxido de carbono, do setor interno para o mediano, concomitante com um aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, denotando o predomínio das atividades heteretróficas na região interna, associadas à remineralização da matéria orgânica, provenientes dos manguezais e dos aportes fluviais, o que culmina no pico de CO_2 acompanhado do decréscimo no O.D., nesta região (Figura 3), processo observado também na enchente. Na porção mediana, em contrapartida, houve um incremento dos processos de produção de matéria orgânica, que pode estar associado a um aumento da radiação neste período, indicado pelo decréscimo do CO_2. No setor interno há forte contribuição dos rios Nhundiaquara e Cachoeira, que segundo dados de Mantovanelli, (1999) correspondem aos principais aportes, contribuindo com cerca de 80% dos aportes de matéria orgânica no inverno. Além disso, a maior disponibilidade de luz durante o período de amostragem neste setor pode ter contribuído para uma maior atividade fotossintética no setor mediano. Já no setor externo, o incremento nos teores de CO_2 pode ser decorrente da redução acentuada da radiação incidente, já que este setor foi visitado no final da amostragem, ou seja, no entardecer e início do período noturno. O planejamento amostral privilegiou o acompanhamento da fase da maré, mas não previu o impacto do período do dia sobre o mesmo.

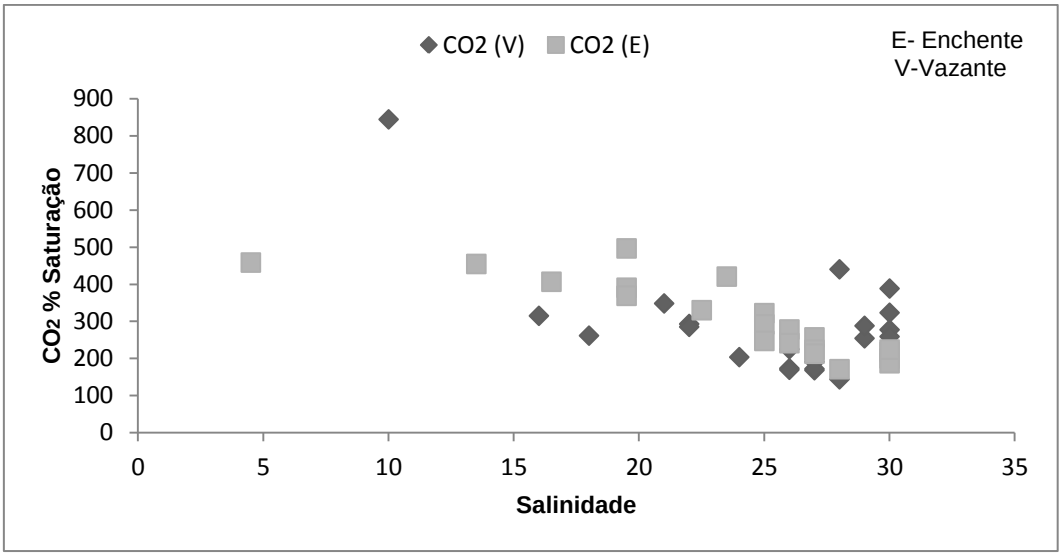

Figura 2- Diagrama de mistura de CO_2 na maré enchente e vazante nos setores externo, mediano e interno.

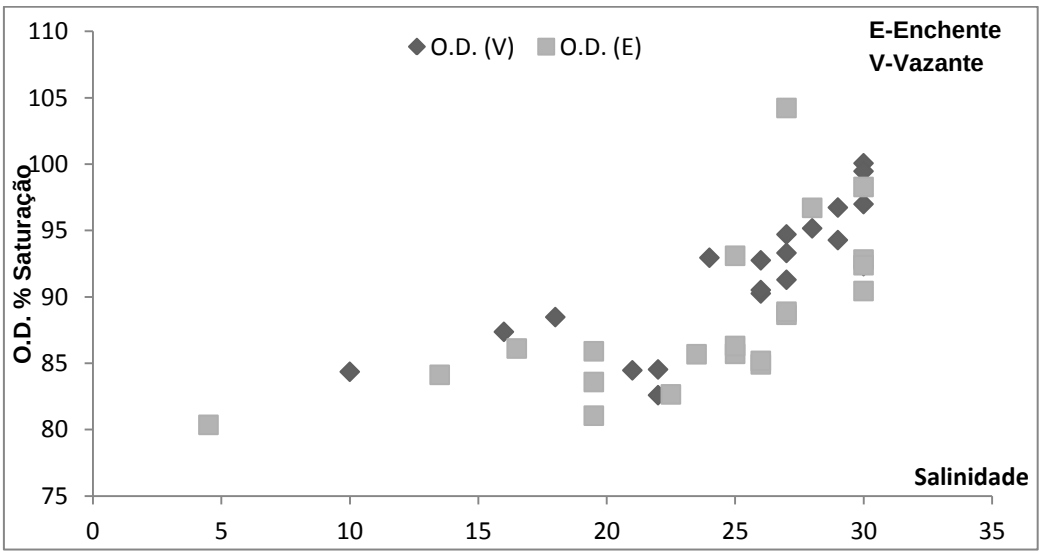

Figura 3- Diagrama de mistura de O.D. na maré enchente e vazante nos setores externo, mediano e interno.

No que se refere aos dados de salinidade, foi observado o decréscimo característico do gradiente estuarino, 30 até 15 na enchente, e de 30 até 10 na vazante, indicando que na região externa, em ambas as condições de maré, há uma forte influência marinha na desembocadura. Na região interna, onde está situada a baía de Antonina, o aporte de origem continental explica os baixos valores de salinidade encontrados neste setor (NOERNBERG, 2001). O setor médio possui este

comportamento, pois é observado um aporte continental dos rios Emboguaçu e Itiberê, situados no leste e oeste do Porto do Paranaguá, que contribuem para um decréscimo na salinidade (Figura 4).

Conforme já mencionado anteriormente, os estuários apresentam um gradiente de salinidade e energia. O CEP pode ser dividido em regiões de alta e baixa energia. A região de alta energia compreende a porção externa, euhalina, apresentando salinidades de aproximadamente 30, o setor médio polihalino e a região interna, de baixa energia, que compreende a região oligo e mesohalina, possui salinidade média de zero a 15. No trabalho de Machado *et* al. (1997), foram encontrados valores de salinidade de 20-34 no inverno, com gradientes máximos de 3-35.

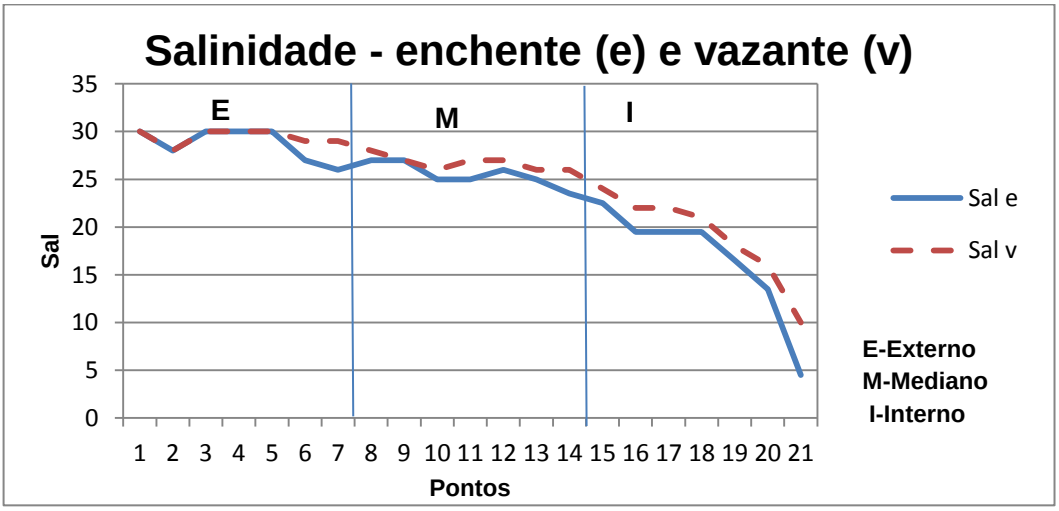

Figura 4- Salinidade na maré enchente e vazante nos setores Externo (E), Mediano (M) e Interno (I).

Durante a maré enchente, a temperatura não apresentou uma variação significativa ao longo dos três setores estuarinos, variando entre 20°- 22° no período de amostragem (Figura 5). Os resultados encontados estão em concordância com os estudos de Lana *et al*. (2001), e Marone *et* al. (1997), os quais verificaram temperaturas entre 18°- 25°C, no inverno. Os valores de temperatura na vazante apresentaram um pequeno acréscimo no setor interno em relação ao setor mediano e externo, sendo que ao longo dos três setores, as temperaturas se encontraram entre 20,5°-22°C (Figura 9), o que está de acordo com estudos anteriores de LANA *et* al. (2001) e MARONE *et* al. (1997). A temperatura contribui para um aumento nos valores de ρCO_2, H+ e no estado de saturação dos minerais carbonáticos, tais como

a calcita e aragonita, bem como afeta a solubilidade do CO_2 e a dissociação do carbonato ácido (FEELY, 2009).

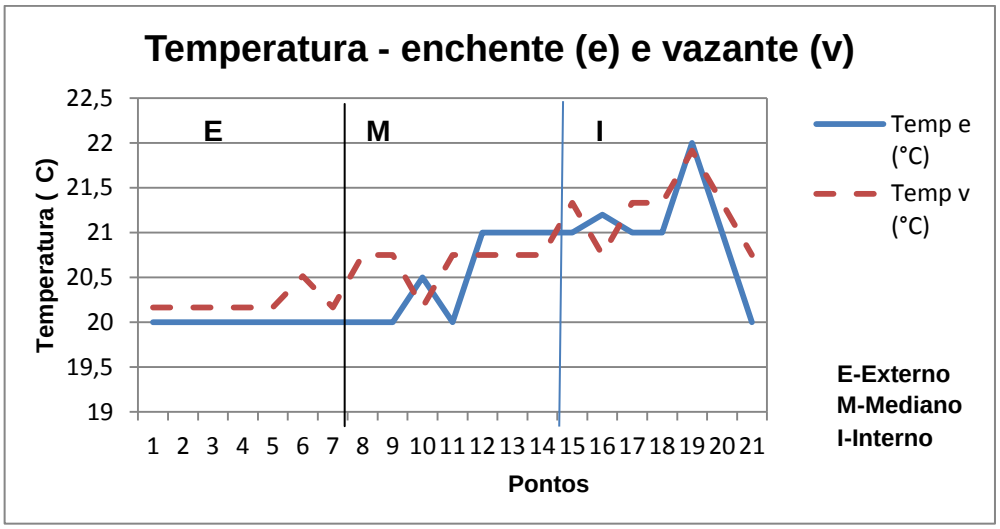

Figura 5- Temperatura na maré enchente e vazante nos setores externo (E), mediano (M) e interno (I).

A alcalinidade na maré enchente, como pode ser observado na Figura 6, mostrou um gradiente decrescente do setor interno associado à maior influência do aporte de águas dos rios com menores concentrações de carbonato no setor interno e mistura subsequente com as águas mais salinas. Durante a vazante, apresentou uma pequena variação entre os três setores do estuário: na porção interna há uma queda na alcalinidade, associada à maior influência da drenagem continental, e no setor externo um aumento, devido ao efeito marinho.

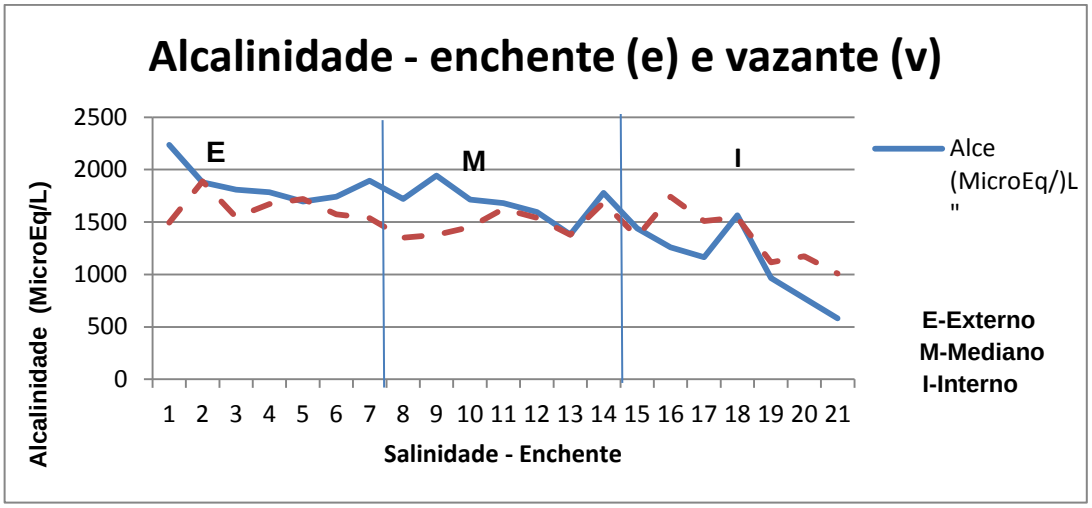

Figura 6- Alcalinidade na maré enchente nos setores Externo (E), Mediano (M) e Interno (I).

O pH na situação de enchente, apresentou um comportamento similar ao da alcalinidade e da salinidade, e com um claro gradiente decrescente do setor externo, com maior influência marinha, em direção a região interna do estuário, com maior influência da drenagem continental (Figura 7). Ademais, o pH apresentou uma relação inversa com o CO_2, conforme preconizado por diversos autores (e.g. LIBES, 1992). O pH na maré vazante apresentou um comportamento crescente do setor interno até o setor mediano, com uma significativa redução na região interna, onde há maior influência dos aportes de matéria orgânica proveniente dos manguezais e da drenagem fluvial. Os picos observados na região mediana, concomitantes com o decréscimo no CO_2, são resultantes do incremento da atividade fotossintética favorecida pela maior disponibilidade de luz, como mencionado anteriormente. Da mesma forma, a anomalia em relação ao setor externo reside provavelmente no mascaramento do gradiente em função da redução drástica de luz no período da amostragem, somado aos aportes do Canal do DNOs e Gamboa do Perequê, bem como do sub-estuário da Cotinga, como mencionado acima, gerando o padrão: I<M>E.

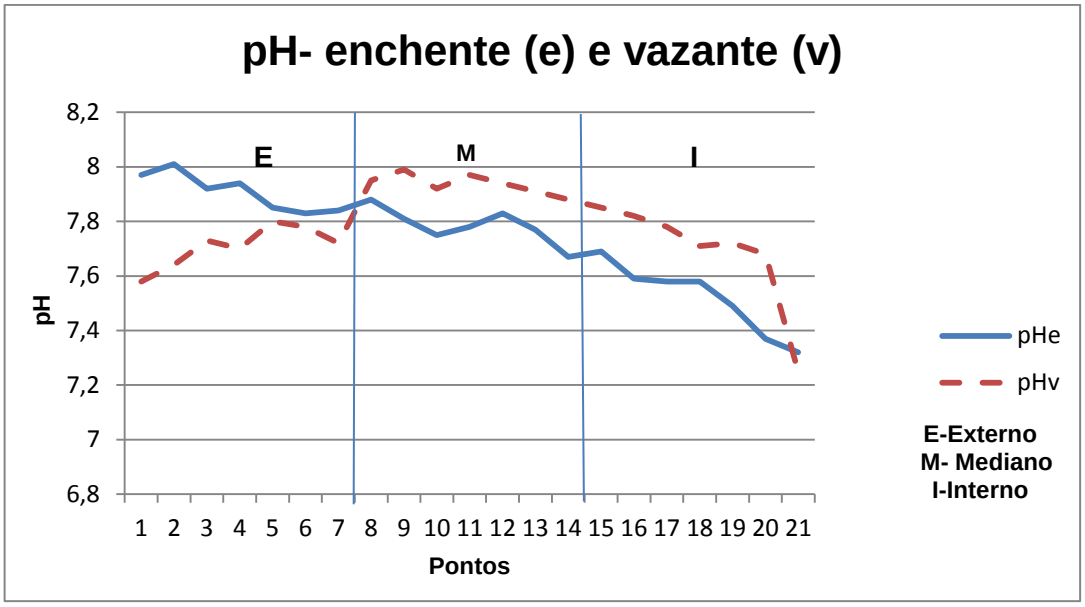

Figura 7- pH na maré enchente e vazante nos setores Externo (E), Mediano (M) e Interno (I).

A análise de PCA relativa à maré enchente, revela que os vetores Salinidade, O.D., pH e Alcalinidade foram associados ao eixo 1, o qual explicou 76,22% de sua variabilidade (Figura 12). Observa-se, como esperado, uma clara relação destas variáveis com o setor externo, com maior influência da água marinha adjacente, especialmente no que tange ao pH e à salinidade, com maiores valores neste setor. Os maiores teores de oxigênio dissolvido neste setor, por outro lado, podem ser decorrentes das atividades autotróficas, ou seja, ocorre um acréscimo na produção de matéria orgânica em virtude do decréscimo acentuado dos aportes destes. Assim, estas variáveis foram mais relacionadas com os setores médio e externo, e menos com o setor interno provavelmente devido ao incremento nos aportes de matéria orgânica pelos rios, gamboas e manguezais. O CO_2, bem como a temperatura, apresenta maior significância na região interna pelos mesmos fatores que causaram o decréscimo significativo do pH neste setor, elevando as taxas de respiração e remineralização deste maior aporte de matéria orgânica, o que propicia a redução acentuada do O.D. e a supersaturação de CO_2 (e.g., BROCKMANN et al.,1990).

Na maré vazante, o eixo 1 da PCA explica 49,64% da variabilidade dos dados, sendo que no setor externo e médio podem ser observados maiores valores das variáveis Salinidade, O.D. e pH (Figura 13). No que se refere à região externa, o oxigênio dissolvido está associado à predominância relativa dos processos

autotróficos, e o pH e a salinidade estão relacionados à influência marinha, como relatado para a enchente. Com relação ao dióxido de carbono, diferente da enchente, não é observado o gradiente horizontal esperado, de incremento para o interior do sistema. No setor médio, como já relatado anteriormente, houve um decréscimo de CO_2, associado provavelmente à maior atividade fotossintética durante o período de amostragem neste setor, o que posicionou o vetor do CO_2 em correlação inversa com o setor mediano. Coerentemente, o pH mostrou-se associado a este setor (M).

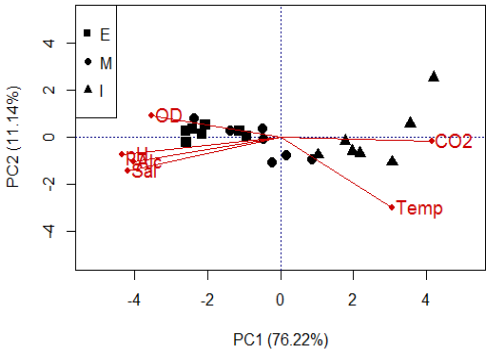

Figura 8- PCA na maré enchente

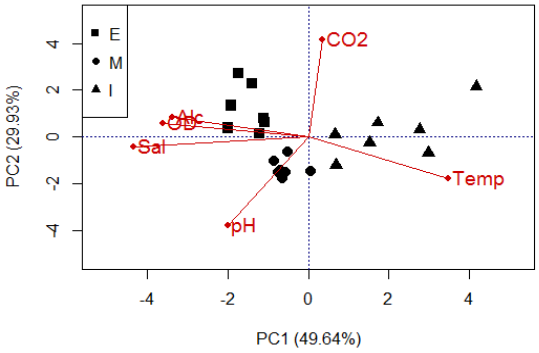

Figura 9- PCA na maré vazante

3.2. Metabolismo pelágico e Fluxos de CO_2 na interface Oceano-Atmosfera ao longo do eixo Leste-Oeste do CEP

Os fatores que determinam a magnitude e a direção dos fluxos de CO_2 na interface água-atmosfera correspondem às interações que ocorrem na zona pelágica, associada aos aportes continentais, aliada às taxas autóctones de produção e mineralização da matéria orgânica. Outras interações que influenciam indiretamente podem ser destacadas, como as inerentes aos processos biogeoquímicos na interface sedimento-água, que promovem a liberação de carbono inorgânico

dissolvido na coluna d'água, resultante da oxidação do carbono orgânico e da precipitação e dissolução do carbonato de cálcio (ORTEGA, *et al*., 2004).

Desta forma, os fluxos de CO_2 entre a atmosfera e o estuário são modulados por diversos fatores tais como processos biogeoquímicos (precipitação e dissolução do carbonato de cálcio), trocas entre sistemas aquáticos adjacentes, o conteúdo de dióxido de carbono envolvido nas massas d'água, o tempo de residência das massas d'água dentro do sistema, dissociação do carbono inorgânico e produção e degradação de matéria orgânica na coluna d'água (BORGES, *et al*.,2006).

A tabela 1 mostra os fluxos de CO_2 obtidos durante o período de enchente e vazante e as variáveis associadas (Anexo 1). Os fluxos médios de CO_2 calculados em mmoles/m^2.h, em cada setor (E - Externo, M - Médio e I- Interno), durante a maré enchente e a vazante, foram extrapolados para os períodos completos de cada situação de maré (multiplicando-se por 6 horas), somados e então multiplicados por 2, para obter-se as taxas diárias das trocas na interface ar-água. Posteriormente, estimou-se a média dos três setores e, fez-se uma estimativa aproximada dos fluxos em escala anual, multiplicando-se os fluxos diários pelo número de dias do ano, conforme mencionado anteriormente. Estes últimos são apresentados na Tabela 2. Certamente, esta estimativa é muito aproximada, pois não contempla possíveis variações temporais, mas serve como uma base preliminar para avaliar o papel do Eixo Leste-Oeste do CEP em comparação com outros sistemas costeiros (Tabela 3).

Tabela 2- Fluxos de CO_2 na interface estuário-atmosfera no eixo Leste-Oeste do CEP, na maré enchente e vazante, em uma base diária e anual.

Setor	$\sum FCO_2$ (mmoles/m^2/h) Enchente (6 h)	$\sum FCO_2$(mmoles/m^2/h) Vazante (6 h)
Externo	$6,8*10^9$	$7,9*10^9$
Médio	$8,3*10^9$	$5,5*10^9$
Interno	$3,2*10^9$	$3,4*10^9$
Eixo L-W (mmol/m^2/d) Média		$1,71*10^2$
Eixo L-W (mmol/m^2/y) Média		$6,25*10^4$

$\sum FCO_2$ – Somatório dos fluxos de CO_2 em mmol/m^2/h

Como se pode observar na tabela 1 (Anexo 1), as concentrações de CO_2 total na subsuperfície foram sempre supersaturadas e superiores às concentrações de CO_2 total em equilíbrio atmosférico, resultando em um fluxo médio de CO_2 em escala diária de $1,71*10^2$ mmol/m^2/d. Pode-se, portanto, inferir que todos os setores (interno, mediano e externo) do eixo Leste-Oeste do CEP apresentaram um metabolismo predominantemente heterotrófico e comportaram-se como fontes de CO_2 para a atmosfera. Estes resultados estão em concordância com o estudo realizado por Marone *et al*. (2005) seguindo a metodologia preconizada pelo LOICZ, no qual verificou-se um metabolismo predominantemente heterotrófico para o eixo Leste-Oeste do CEP.

Em uma base anual, o fluxo de CO_2 de 62,5 mol/m^2/y, embora constitua uma estimativa muito aproximada, está em consonância com a faixa reportada para o estuário Scheldt (Tabela 3). A evasão de CO_2 no eixo Leste-Oeste do CEP foi maior do que os fluxos médios estimados para os estuários que desaguam no mar de Catabrian, no norte da Espanha, Urdabai e Saja-Besaya, de -3 a 446 mmol/m^2*d (ORTEGA *et* al., 2004) e para o sistema estuarino de recifes de corais sub-tropical da Baía de Kaneohe (FAGAN *et* al., 2007). O estuário de Áson representou uma

situação diferente, atuando como um sumidouro líquido, atribuído à forte influência marinha associada à grande variação da maré. Em contrapartida, o fluxo estimado para o CEP foi muito inferior aos fluxos de CO_2 da água para a atmosfera no estuário do Loire (BOZEC *et* al., 2012) e do estuário de Pearl River, fortemente afetado por atividades antrópicas (XIANGHUI *et al*., 2009), respectivamente.

O carbono inorgânico que atinge os estuários pode ser transportado por diferentes meios: uma parcela é exportada para áreas adjacentes, algumas são emitidas para a atmosfera na forma de dióxido de carbono e uma parcela pode ser mantida na coluna d'água e no sedimento. Alguns estudos têm mostrado que os fluxos na interface água-ar de dióxido de carbono podem apresentar variabilidade espacial e temporal no estuário, devido à complexa geomorfologia e hidrodinâmica no local (FRANKIGNOULLE *et al*.,1998; ABRIL *et al*., 2000). Segundo estes autores, este é o caso do estuário Scheldt, cuja região interna pode atuar como fonte de CO_2 para a atmosfera, enquanto que a porção mais salina, na qual a produtividade primária é mais elevada, relacionado à alta disponibilidade de nutrientes, pode constituir um sumidouro de dióxido de carbono.

Tabela 3- Fluxos de CO2 e comportamento de fonte ou sumidouro de alguns sistemas estuarinos, incluindo o eixo Leste-Oeste do CEP (adaptado de Borges *et* al., 2006).

Estuário	$\sum FCO_2$ $mol*m^{2}*y^{-1}$	Comportamento	Referência
Scheldt	63	Fonte/Sumidouro	ABRIL *et* al. (2000)
Udarbai	(-2)-23,10	Fonte	ORTEGA *et* al. (2005)
Saja- Besaya	(-3,35)-360,62	Fonte	ORTEGA *et* al. (2005)
Ásón	(-3,94)-2,30	Sumidouro	ORTEGA *et* al.(2005)
Kaneohe-Bay	1,5	Fonte	FAGAN *et* al. (2007)
Pearl River	$3*10^{10}$	Fonte	XIANGHUI et al.(2009)
Loire	$3,2*10^{9}$	Fonte/Sumidouro	BOZEC *et* al. (2012)
Eixo Leste-	62,5	Fonte	Este estudo (2012)

Oeste do CEP			

Borges (2005) verificou que quando os estuários são incluídos nas trocas globais de CO_2, as aguas costeiras atuam como fontes de CO_2 para a atmosfera, no entanto, quando os estuários não são incluídos, a região costeira apresenta um comportamento de sumidouro de CO_2 atmosférico. Isto significa que os estuários, de modo geral, possuem papel fundamental no ciclo global do Carbono, atuando como fontes de CO_2 na atmosfera, por meio dos processos químicos e biológicos, tais como, a dissolução do dióxido de carbono, precipitação e calcificação do carbonato.

Neste estudo, pôde-se observar que o estuário não apresentou um gradiente horizontal dos fluxos de CO_2, ou seja, os fluxos mostraram relativamente homogêneos ao longo dos três setores do eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá. Isto pode estar associado a diversos fatores como aos processos de mistura, radiação solar incidente durante o período em que cada setor foi amostrado, favorecendo ou desfavorecendo as atividades autotróficas e heterotróficas e a velocidade do vento. A velocidade de transferência influencia a magnitude dos fluxos de CO_2, pois quanto maior a velocidade de transferência maior serão os fluxos na interface oceano-atmosfera. Na campanha de amostragem foi observada pouca variação na velocidade do vento, sendo estes dados obtidos pelo Centro de Estudos do Mar a partir da estação meteorológica da Ilha do Mel, durante a maré enchente e vazante. Os valores da velocidade do vento compreenderam de zero a 3,4 m/s, o que reflete nos cálculos da velocidade de transferência (K), sendo que para velocidades menores do que 5 m/s, o valor de K mantém-se constante (0,008 m/h). Outro fator está relacionado ao tempo de residência das águas no sistema estuarino. Podemos citar o caso do estuário Loire, em que foi observado um tempo de residência relativamente curto no inverno, associado à elevada descarga fluvial, com período de aproximadamente três dias, o que limitou a atividade heterotrófica, bem como foi parcialmente responsável pela redução na pressão parcial de CO_2 (BOZEC, *et* al., 2012), importante para indicar o potencial da troca na interface. No eixo Leste-Oeste do CEP, o tempo de residência médio é de 3,5 dias (MARONE *et al*., 2005), sugerindo que a alta renovação das águas do sistema deve atuar como um agente atenuador da evasão de CO_2 para a atmosfera neste sistema estuarino.

4. Conclusões

- O Eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá atuou como uma fonte líquida de CO_2 atmosférico, sugerindo a predominância do metabolismo heterotrófico durante o período investigado, decorrente provavelmente dos aportes de matéria orgânica dos rios e gamboas nas regiões externa, média e interna do CEP, bem como uma ampla área de manguezais que contribuem significativamente para a elevada quantidade de matéria orgânica no estuário;
- O estudo baseou-se em uma única campanha de amostragem realizada no inverno, fornecendo um cenário instantâneo do metabolismo pelágico do eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá. Para incrementar a acurácia das estimativas do metabolismo deste ecossistema costeiro em uma base anual, no entanto, seriam necessários a implementação de um desenho amostral mais abrangente capaz de detectar possíveis variações temporais ao longo do ciclo anual e a mensuração do pH com equipamento capaz de medir esta variável com precisão de três casas decimais;
- Apesar de sua limitação, em termos metodológicos, este trabalho fornece um cenário preliminar do papel do CEP como fonte de CO_2 atmosférico, o qual pode subsidiar estudos futuros frente às mudanças climáticas em andamento.

5. Referências

ABRIL, G.; ETCHEBER, H.; Borges, A.V.; FRANKIGNOULLE, M. Excess atmospheric carbon dioxide transported by rivers into the Scheldt estuary**. Comptes Rendus de l'Acade´ mie des Sciences Série II Fascicule A-Sciences de la Terre et des Planetes** 330: 761-768, 2000.

ABRIL, G.; BORGES, A.V. Carbon dioxide and methane emissions from estuaries**.** Greenhouse Gases Emissions from Natural Environments and Hydroelectric Reservoirs: Fluxes and Processes. **Springer-Verlag**, p. 187-207, 2004.

ABRIL, G.; NOGUEIRA, E.; HETCHEBER, H.; LEMAIRE, E.; BROGUEIRA, M.J. Behaviour of organic carbon in nine contrasting European estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 54, 241-262, 2002.

ALLER, R.C. Mobile deltaic and continental shelf muds as suboxic, fluidized bed reactors. **Mar. Chem**.61:143–55, 1998.

ALLER, R.C.; HEINBRUN C.; PANZECA, C.; ZHU, Z.; BALTZER, F. Coupling between sedimentary dynamics, early diagenetic processes, and biogeochemical cycling in the Amazon-Guianas mobile mud belt: coastal French Guiana.**Mar. Geol.**208:331,2004.

ANGULO, R.J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

.

BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná, 1978.

BORGES A.V.; DELLILE, B.; FRANKIGNOULLE, M. Budgeting sinks and sources of CO_2 in the coastal ocean:diversity of ecosystems counts. **Geophys. Res**. Lett.32:L1460, 2005.

BORGES, A.V**.** Do we have enough pieces of the jigsaw to integrate CO_2 fluxes in the Coastal Ocean? **Estuaries** 28 (1), 3-27, 2005.

BORGES, A.V.; SCHIETTECATTE, L.S.; ABRIL, G.; DELLILE, B.; GAZEAU, F. Carbon dioxide in European coastal waters. **Estuarine Coastal Shelf Science** 70:375–87, 2006.

BOZEC, Y.; CARIOU, T.; MACÉ, E.; MORIN, P.; THUILLIER, D.; VERNET, M. Seasonal dynamics of air-sea CO_2 fluxes in the inner and the outer Loire estuary (NW Europe). **Estuarine Coastal and Shelf Science** 100, 2012.

BRANDINI, F.P. Ecological studies in the Bay of the Paranaguá.I-Horizontal distribution and seasonal dynamics of the phytoplankton. Bolm. Instituto Oceanográfico de São Paulo, 33:139-147,1985.

BRANDINI, F.P.;THAMM, C.A.;VENTURA,I. Ecological studies in the Bay of the Paranaguá.III. Seasonal and spatial variations of nutrients and chlorophyll-a. **Nerítica**,3:1-30.

BROKMAN, U.H.; LAANE, R.W.P.M.; POSTMA, H. Cycling of nutrient elements in the North Sea. **Neth.J.Sea Res**.26:239-264, 1990.

BOKUNIEWICZ, H. Sedimentary systems of Coastal-plain Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). Geomorphology and sedimentology of Estuaries. The Netherlands:**Elsevier Science** B.V. p 49-67,1995.

CAI, W.J.; Wang, Y. The chemistry, fluxes, and sources of carbon dioxide in the estuarine waters of the Satilla and Altamaha Rivers, Georgia. **Limnol.Oceanogr**.43:657–68, 1998.

CAI, W.J.; Wang, Z.H.A.; Wang Y.C. The role of marsh-dominated heterotrophic continental marginsin transport of CO_2 between the atmosphere, the land-sea interface and the ocean. **Geophys. Res.** Lett 30:1849, 2003b.

CAI, W.J. Estuarine and Coastal Ocean Carbon Paradox: CO_2 Sinks or Sites of Terrestrial Carbon Incineration? Departament of Marine Sciences, University of Georgia, Athens- Georgia. Annu. **Rev. Mar. Sci.** 2011. 3:123–45, 2011.

CARMOUZE, J.P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos**. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. São Paulo: Editora Edgard Blücher. FAPESP. 255p.1994.

CHEN, C.T.A., BORGES, A.V. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO_2. **Deep-Sea Res. II** 56:578–90,2009.

COLE, J.J.; PACE, M.L.; CARPENTER, S.R.; KITCHELL, J.F. Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations. **Limnol Oceanogr** 45:1718–1730, 2000.

CORRÊA, M.F.M. **Levantamento e produtividade da ictiofauna da baía de Paranaguá-Paraná-Brasil**. Msc.Thesis, Universidade Federal do Paraná, Brazil,1987.

DUARTE, C. M. The CO_2 balance of Unproductive Aquatic Ecosystems.**Science** 281, 234, 1998.

FEELY, R.A.; DONEY, S.C.; COOLEY, S.R**.** Ocean Acidification: Present conditions and Future Changes in a High- CO_2 World. **Oceanograph** vol.22, n°4, 2009.

FERNANDES, L.F. **Variação sazonal do fitoplâncton e parâmetros hidrográficos em uma estação costeira de Paranaguá- Paraná.** Msc. Thesis, Universidade Federal do Paraná, Brazil, 1992.

FUNPAR- Fundação para o desenvolvimento científico e tecnológico da Universidade Federal do Paraná- Estudo de Impacto Ambiental (EIA) de uma usina termelétrica na baía de Paranaguá e do porto de desembarque, subestação e linha de transmissão associados. Companhia Paranaense de Eletricidade, techinical report, 1997.

FRANKIGNOULLE, M.; BOURGE, I. WOLLAST, R. Atmospheric CO_2 fluxes in a highly polluted estuary (the Scheldt)**.Limnol. Oceanogr**.41:365–69,1996.

FRANKIGNOULLE, M.; ABRIL, G.; BORGES, A.; BOURGE, I.; CANON, C. *et al*., Carbon dioxide emission from European estuaries. **Science** 282:434–36,1998.

GATTUSO, J.P.; FRANKIGNOULLE, M.; WOLLAST, R. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. Annu. Rev. **Ecol. Syst**. 29:405–34, 1998.

GRASSHOFF, K.M.; EHRHARDT, M.; KREMLING. **Methods of Sea Water Analysis**, 2º ed. Verlag Chemie, Weinhem, 417p.1986.

HANSON, P.C.; BADE, D.L.; CARPENTER, S.R.; KRATZ, T.K.; Lake metabolism: relationships with dissolved organic carbon and phosphorus. **Limnol. Oceanogr.** 48:1112–19, 2003.

HOPKISON, C.S.J.; SMITH, E.M. Estuarine respiration: an overview of benthic, pelagic and whole system respiration. In: del Giorgio, P.A., 385 A.V. Borges et al. / **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 70 (2006) 375-387,2005.

JEFFERY,C.D.; WOOLF,D.K.; ROBINSON,I.S.; DONLON, C.J. One-dimensional modelling of convective CO2 exchange in the Tropical Atlantic. **Ocean Modelling**, 2007.

KEIL, R.G.; MAYER, L.M.; QUAY, P.D.; RICHEY, J.E.; HEDJES, J.L. Loss of organic matter from riverine particles in deltas. **Geochim. Cosmochim**. Acta 61:1507–11,1997.

KNOPPERS, B.A.; BRANDINI,F.P.; THAMM, C.A. Ecological Studies in the bay of the Paranaguá.II. Some physical and chemical characteristics. **Neritica** 2:1-36,1987.

LANA, P. C.; MARONE, E; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (ed.).Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Berlin, Springer, 2001, p. 132-145, 2001.

LESSA, G.C.; MEYERS, S.R.; MARONE, E. Holocene Stratigraphy in the Paranaguá bay estuary, southern Brazil. **Journal of Sedimentary Research**. V.68 n 6. p. 1060-1076,1998

LIBARDONI, B.G. **Fluxos Fluviais de Carbono Orgânico Dissolvido para o Complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, Brasil**. Monografia. Universidade Federal do Paraná. 57p. 2011.

LIBES, S.M. **An Introduction to Marine Biogeochemistry**. Department of Marine Science. University of South Carolina- Coastal College.1992.

LOPES, R.M. **Distribuição especial, variação temporal e atividade alimentar do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá.** PhD Thesis, Universidade Federal do Paraná, Brazil,1997.

MACHADO, E.C.; DANIEL, C.B.; BRANDINI,N.; QUEIROZ, R.L.V. Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranagua Bay, PR, Brazil. **Neritica**, 10, 1997.

MACKENZIE, F.T. What is the importance of ocean margin process in global change? In: Mantoura RFC, Martin JM, Wollast R (eds), Ocean Margin Processes in Global Change. **Wiley Chichester**, pp.433-454, 1991.

MANTOVANELLI, A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão da Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Curitiba, 194f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental)- Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 1999.

MARONE, E.; CAMARGO, R. Marés Meteorológicas no litoral do estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica** 8 (1/2): 73-85,1994.

MARONE, E.; JAMIYANAA, D. Tidal characteristics and a numeric model for the M2 tide at the estuarine complex of the bay of Paranaguá. **Nerítica** v.11, 95-107,1997.

MARONE,E.;MACHADO,E.C.; LOPES,R.M.;DA SILVA, E.T. Land ocean fluxes in the Paranagua Bay Estuarine System,southern Brazil.Brazilian Journal of Oceanography, São Paulo,v.53,p.169-171, 2005.

MARTINS, O.; PROBST, J.L. Biogeochemistry of Major World Rivers. E.T.Degens, S.Kempe and E.Richeley (eds.). Jonh Wiley, New York, pp:127-155, 1991.

NOERNBERG, M. A. **Processos morfofinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá: um estudo utilizando os dados de Landsat-TM e medições *in situ*.** Curitiba, PR, 118 f. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Paraná-UFPR, 2001.

ORTEGA,T.; PONCE,R. FORJA, J. PARRA-GÓMEZ,A. **Fluxes of dissolved inorganic carbon in the three estuarine systems of the Cantabrian Sea (North of Spain).** Departamento de Química- Física: Faculdade de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Puerto Real- Spain, 2004.

PRANDLE, D. **Estuaries: Dynamics, Mixing, Sedimentation and Morphology.** University of Wales. Cambrigde. New York. 248p. 2009.

PERILLO, G.M.E. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In PERILLO, G.M.E. (Ed.). Geomorphology and sedimentology of Estuaries. The Netherlands: **Elsevier Science B.V.** 1995. p 17-47,1995.

PERILLO, G.M.E. Geomorphology and sedimentology of Estuaries: na introduction. In PERILLO, G.M.E (Ed.). Geomorphology and sedimentology of Estuaries. The Netherlands: **Elsevier Science B.V.** p 1-16,1995.

RAYMOND, P.A.; CARACO, N. F.; COLE, J.J. Carbon dioxide concentration and atmospheric flux in the Hudson River. **Estuarines,** 20:381-390,1997.

RAYMOND, P.A.; COLE, J.J**.** Increase in the export of alkalinity from North America's largest river. **Science** 301, 88 – 91, 2003.

REBELLO, J.; BRANDINI, F.P. Variação temporal de parâmetros hidrográficos e material particulado em suspensão em dois pontos fixos da baía de Paranaguá, Paraná (junho/87-fevereiro/88). **Nerítica** 5:95-111, 1990.

SADRO, S.; MELACK, J.M.; MACINTYRE, S. Spatial and Temporal Variability in the Ecosystem Metabolism of a High- Elevation Lake: Integrating Benthic and Pelagic **Habitats.Ecosystems**, 14:1123-1140, 2001.

SCHESLINGER, W.H. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. San Diego: **Academic**.1997.

SMITH, S.V.; HOLLIBAUGH, J.T. Coastal metabolism and the oceanic organic carbon balance. **Rev. Geophys**.31:75-89, 1983.

SMITH, S.V.; MACKENZIE, F.T. The ocean as a net heterotrophic system: implications from the carbon biogeochemical cycle**.Glob. Biogeochem. Cycles** 1:187–98,1987.

SEITZINGER, S.P. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical significance. **Limnol. Oceanog**. 33:702-774,1988.

WALSH, J.J.; ROWE, G.T.; IVERSON, R.L.; MCROY, C.P. Biological export of shelf carbon is a neglected sink of the global CO_2 cycle. **Nature** 291:196, 1981.

WATSON, A.J. Are upwelling zones sources or sinks of CO_2? In: Summerhayes CP. Emeis K-C.Angel M.V., Smith R.L., Zeitzschel B.(eds.), Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records. Jonh Wiley, pp.321-336,1995.

WATSON, R. T.; NOBLE, I. R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N. H.; VERARDO, D. J.; DOKKEN, D. J. Land use, land-use change, and forestry : a special report of the IPCC. Cambridge: IPCC: Cambridge University Press. 377 p. 2000.

WIGLEY, T. M. L.; SCHIMEL, D. S. The carbon cycle. Cambridge: Cambridge University Press, 292 p. (Global Change Institute, v. 6), 2000.

WILLIAMS, P.J.L. (eds.). Respiration in Aquatic Ecosystems. Oxford Uni-versity Press, Oxford, pp. 123 e 147, 2005.

WOLLAST R. The coastal organic carbon cycle: Fluxes, sources and sinks. In: Mantoura RFC, Martin J.M., Wollast R. (eds), Ocean Margin Processes in Global Change. Jonh Wiley, pp. 365-381,1991.

WOLLAST, R. Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean**.** In: Brink, K.H., Robinson, A.R. (eds.),The Global Coastal Ocean. John Wiley & Sons, pp. 213-252,1998.

.

ANEXO 1

Tabela 1- Fluxos de CO_2 e variáveis associadas durante a maré enchente (*) e maré vazante (**) nos pontos amostrados.

Estação	Vel.Vento (m/s)	K (m/h)	Sal	Temp (°C)	pH	Alc (sup) MicroEq/l	[CO2t]supM mmoles/m^3	[CO2t]eq. mmoles/m^3	F[CO2t] mmoles/m^2*h
1*	0	0,008	30	20	7,97	2236	2090	961	9,03
1**	2,3	0,008	30	20,5	7,58	1495	1482	381,7	8,80
2*	0	0,008	28	20	8,01	1880	1747	1021	5,80
2**	2,3	0,008	28	20,5	7,64	1888	1866	423,9	11,53
3*	2,6	0,008	30	20	7,92	1810	1702	851,8	6,80
3**	2,3	0,008	30	20,5	7,73	1547	1498	540,4	7,66
4*	2,6	0,008	30	20	7,84	1784	1670	893,6	6,21
4**	2,2	0,008	30	20,5	7,7	1671	1628	504	8,99
5*	2,6	0,008	30	20	7,85	1695	1612	720,3	7,13
5**	2,2	0,008	30	20,5	7,8	1720	1612	637,4	7,80
6*	2,6	0,008	27	20	7,83	1742	1674	652,3	8,17
6**	2,2	0,008	29	20,8	7,78	1574	1515	595,8	7,35
7*	1,6	0,008	26	20	7,84	1895	1825	656,5	9,35
7**	2,2	0,008	29	20,5	7,72	1537	1494	519,2	7,80
8*	1,6	0,008	27	20	7,88	1720	1494	734,3	6,07
8**	2,2	0,008	28	21	7,95	1351	1258	876,3	3,05
9*	1,6	0,008	27	20	7,81	1942	1323	622,3	5,60
9**	2,1	0,008	27	21	7,99	1377	1814	948,2	6,92
10*	1,6	0,008	25	20,5	7,75	1714	1674	519,8	9,23
10**	2,1	0,008	26	20,5	7,92	1450	1369	790,1	4,63
11*	2,1	0,008	25	20	7,78	1680	1634	560,3	8,59
11**	2,1	0,008	27	21	7,97	1625	1518	903,4	4,92
12*	2,1	0,008	26	21	7,83	1595	1532	635,5	7,17
12**	2,1	0,008	27	21	7,94	1539	1445	840,4	4,84
13*	2,1	0,008	25	21	7,77	1381	1339	542,3	6,37
13**	2,1	0,008	26	21	7,91	1337	1300	768,3	4,25
14*	2,1	0,008	23,5	21	7,67	1778	1761	418,8	10,74
14**	2,1	0,008	26	21	7,88	1687	1608	715,7	7,14

15*	2,1	0,008	22,5	21	7,69	1440	1422	431,1	7,93
15**	3,4	0,008	24	21,5	7,85	1359	1302	640,1	5,29
16*	2,1	0,008	19,5	21,2	7,59	1259	1268	324,7	7,55
16**	3,4	0,008	22	21	7,82	1742	1692	577,9	8,91
17*	1,4	0,008	19,5	21	7,58	1163	1172	318,1	6,83
17**	3,4	0,008	22	21,5	7,78	1510	1473	516,9	7,65
18*	1,4	0,008	19,5	21	7,58	1563	1579	318,1	10,08
18**	3,4	0,008	21	21,5	7,71	1542	1523	437,5	8,684
19*	1,4	0,008	16,5	22	7,49	966,7	991,6	243,9	5,98
19**	3,4	0,008	18	22	7,72	1116	1103	422,1	5,44
20*	1,4	0,008	13,5	21	7,37	774,2	816,6	179,6	5,09
20**	1,5	0,008	16	21,5	7,68	1174	1174	373	6,40
21*	1,1	0,008	4,5	20	7,32	581,4	636,2	138,8	3,98
21**	1,5	0,008	10	21	7,25	1010	1104	130,7	7,79

Tabela 1- *Enchente ** Vazante