

JOÃO MARCOS BARREIROS JOAQUIM

**AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS E DOS
PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA NO SISTEMA
ESTUARINO-LAGUNAR DO ITAPOCU, COMO SUBSÍDIO AO
ORDENAMENTO DO USO DA ÁGUA.**

**FLORIANÓPOLIS
2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFH
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS E DOS
PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA NO SISTEMA
ESTUARINO-LAGUNAR DO ITAPOCU, COMO SUBSÍDIO AO
ORDENAMENTO DO USO DA ÁGUA.**

**ACADÊMICO: JOÃO MARCOS BARREIROS JOAQUIM
ORIENTADOR: PROF. DR. JARBAS BONETTI FILHO**

**Área de concentração: Utilização e conservação dos recursos
naturais**

Florianópolis, 24 de março de 2010.

**AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS E DOS
PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO E MISTURA NO SISTEMA
ESTUARINO-LAGUNAR DO ITAPOCU, COMO SUBSÍDIO AO
ORDENAMENTO DO USO DA ÁGUA.**

João Marcos Barreiros Joaquim

Coordenadora: Dra. Magaly Mendonça

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia, área de concentração Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.

Presidente: _____
Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho (UFSC)

Membro: _____
Prof. Dr. Walter Quadros Seiffert (UFSC)

Membro: _____
Prof. Dr. Eduardo Marone (UFPR)

Florianópolis, 24 de março de 2010.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, os maiores agradecimentos devem ser feitos ao meu grande mestre, aquele que foi dos principais responsáveis por quem sou. Que foi meu maior professor, meu melhor amigo, meu porto seguro, minha inspiração, minha referência, meu maior e mais puro amor. Obrigado, Vô Tião! As lutas e conquistas são todas em tua honra! Sempre na minha mente e no meu coração.

Gostaria de agradecer também ao Prof. Dr. Jarbas Bonetti, pelo companheirismo e apoio ao longo desses sete anos de convivência.

A toda equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira: Carla, Cyro, Diego, Bianca, Natália, Lucélia, Nicolle e Sereno.

Ao Glaucão, pelo apoio e consultoria técnica.

Ao Jairo, pelo subsídio nos trabalhos de campo. Valeu, Laguna!

Ao Laboratório de Camarões Marinhos e à Fazenda Experimental Yakult, pelo apoio para a realização deste trabalho.

À minha família. Obrigado, mãe, por todo carinho, apoio, amor e por toda confiança ao longo desses anos. Admiro-te demais. Obrigado, Carol, minha princesinha e meu motivo de orgulho sempre. Obrigado, Vó, minha segunda mãe, por aquele colo que só as avós sabem dar. Obrigado, Tia Nalú, Dani e Danielzinho, por me acolherem nas horas difíceis. Minha família, amo muito vocês!

Aos meus irmãos Maurício “Gaúcho”, Felipe “Pimpão”, Rafa “Rafiusks”, Marcão Nicolladelli, Luquinhas, Xande e Rodrigo “Barrotão”.

Á toda galera do Jiu.

Á Lídia, pelos anos de aprendizagem. Muito obrigado. Você me tornou uma pessoa melhor!

Áquelas pessoas que entraram na minha vida a pouco tempo e muito adicionaram em atenção, afeto, apoio e felicidade. Muito obrigado!

RESUMO

O presente trabalho busca um entendimento dos processos de circulação e mistura no Sistema Estuarino-lagunar do Itapocu, entre os municípios de Barra Velha e Balneário Barra do Sul. A pesquisa visa o entendimento desses processos tendo como objetivos a determinação dos principais parâmetros físico-químicos da coluna d'água, tendo como referências a salinidade, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido e pH. Além desses parâmetros foi realizada uma investigação sobre o padrão de circulação das correntes nas proximidades da desembocadura do Sistema Estuarino-lagunar do Itapocu, a aquisição desses dados foi viabilizada pela utilização de um ADCP, que realiza um perfilação identificando as direções e velocidades das correntes. A estratégia amostral foi definida contemplando quatro campanhas amostrais, uma a cada estação do ano, para que se obtivesse uma leitura da variabilidade sazonal das propriedades, esses trabalhos eram sempre realizados sob a condição de Sизígia, durante um ciclo de completo de maré (13 horas). Os parâmetros hidrodinâmicos se mostraram fortemente dependentes das condições meteorológicas, foi claramente percebida a influência das águas continentais, através do rio Itapocu, nos episódios de chuvas mais intensas. Nesses casos devido o aumento da vazão fluvial e diluição das águas marinhas, por vezes não pode ser percebida uma estratificação da coluna d'água. O mesmo pode ser notado nas condições de menor intensidade das chuvas, só que nesse caso há um predomínio das águas marinhas ao longo da coluna. As correntes na desembocadura do sistema foram de baixa intensidade e mostraram a multiplicidade das forças naquela área, revelando um padrão irregular no seu sentido em algumas das campanhas amostrais.

Palavras-chave: Correntes, variabilidade sazonal, hidrodinâmica.

ABSTRACT

The present essay tries to show some understanding of the processes of the flow and the mixture on the Itapocu Lagoon-Estuary System, between the cities of Barra Velha and Balneário Barra do Sul. The research shows the understanding of those processes having as objectives the determination of the main physics-chemical features of the water column, having as references the saltiness, temperature, turbidity, diluted oxygen and pH. Besides these features, an investigation about the standard of the stream flowing near the mouth of the Itapocu Lagoon-estuary System was realized, the acquisition of these data was straightened due to the use of a ADCP, which realizes a perfilation identifying the directions and the speed of the streams. The showing strategy was defined contemplating four sampling campaigns, one in each season of the year, so that a sample of the season of the variability of the properties was obtained, these works were always realized under the Sizígia condition, during a complete tide cycle (13 hours). The hidrodinamical parameters showed themselves strongly dependent on the weather forecast conditions, the influence of the continental Waters were clearly realized, throughout Itapocu river, on the more intense raining episodes. In these cases due to the rising of the water flow and the dilution of the sea waters, a stratification of the water column sometimes cannot be realized. The same cannot be noticed on the conditions of minor raining intensity, but in this case there is a predominance of sea Waters along the column. The streams on the mouth of the system have been the ones of low intensity and have shown the multiplicity of the forces in that area, revealing an irregular standard in its way in some of the sampling campaigns.

Keywords: Streams, season variability, hidrodinamics.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO 15

2 – OBJETIVOS 19

2.1 OBJETIVOS GERAIS 19

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19

3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 20

3.1 DEFINIÇÃO E CONCEITUAÇÃO DE ESTUÁRIOS E LAGUNA

20

3.2 – COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO 23

4 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 25

4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS 25

4.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS 28

4.3 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS 29

4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO ITAPOCÚ 29

5 – NATUREZA DOS DADOS E METODOLOGIA 32

5.1 BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL 32

5.2 PLANO AMOSTRAL 32

5.3 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DA COLUNA D'ÁGUA. 33

5.4 – PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITE 34

6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO 35

6.1 – COMPORTAMENTO METEOROLÓGICO 35

6.2 – 1ª CAMPANHA 36

6.3 - 2ª CAMPANHA 45

6.4 - 3ª CAMPANHA 53

6.5 - 4ª CAMPANHA 61

6.6 – VARIABILIDADE SAZONAL 69

6.6.1 – Salinidade 69

6.6.2 - Temperatura 71

6.6.3 - Turbidez 73

6.6.4 - Oxigênio Dissolvido 75

6.6.5 - pH 77

7 – CONCLUSÃO 82

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

1 – INTRODUÇÃO

O Sistema Estuarino-Lagunar do Itapocu localiza-se no litoral norte do Estado de Santa Catarina. Este ambiente está sujeito a inúmeros impactos das diferentes modalidades de uso da terra (pesticidas, mineração, desmatamento, etc.). Entretanto, há poucos estudos sobre o real comprometimento trazido por essas atividades ao ambiente em questão.

O rio Itapocu tem sua foz no interior de uma laguna paralela à linha de costa, isolada da região costeira adjacente por uma barreira arenosa, sendo sua desembocadura a única comunicação deste sistema com o oceano.

A partir desse cenário a pesquisa proposta busca entender os processos de troca de material entre o Rio Itapocu, a laguna de Barra Velha/da Cruz e o ambiente marinho adjacente, partindo-se da premissa que esse sistema constitui uma interface fundamental na regulação da mistura das águas entre o continente e o oceano. Para tal proposta, foram realizadas medições de correntes, propriedades físico-químicas da coluna d'água (salinidade, temperatura, turbidez, pH e oxigênio dissolvido) e a carga de sólidos totais em suspensão.

Deste modo, a principal contribuição a que o estudo se propõe é gerar um conjunto de informação sobre o Sistema Estuarino-Lagunar do Itapocu que subsidie a elaboração e implementação de futuros planos de monitoramento ou manejo de sua qualidade ambiental, garantindo assim a diversidade e abundância de seus recursos naturais.

Esta proposta se insere no projeto **“Estratégias de monitoramento oceanográfico e manejo para o controle do vírus da mancha branca em viveiros de cultivo de camarões marinhos”**, aprovado pela FINEP com apoio da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP). Seu objetivo é compreender a distribuição espaço-temporal das propriedades físico-químicas e biológicas indicadoras da qualidade da água deste sistema em diferentes condições climato-oceanográficas, assim como buscar estabelecer relações entre as variações destes parâmetros hidrobioquímicos e a manifestação do vírus da mancha branca em camarões cultivados. Espera-se, assim, fornecer subsídios à compreensão dos fatores ambientais que regulam os processos estuarinos e, conseqüentemente, auxiliar na elaboração de propostas de uso dos recursos hídricos e elaboração de planos de manejo preventivos.

Deve-se salientar que este projeto conta com a participação da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

– EPAGRI, que possui convênio com a Universidade Federal de Santa Catarina e é a responsável pela política de Recursos Hídricos no estado. O referido órgão tem, através do CEDAP - Centro de Desenvolvimento em Aqüicultura e Pesca, dedicado-se ao ordenamento dos usos das águas costeiras pela maricultura, tendo especial preocupação com o Sistema Estuarino-Lagunar do Itapocu, dada a expansão da carcinicultura que ali ocorre. Neste sentido, é co-responsável pelo projeto FINEP anteriormente mencionado.

“As zonas estuarinas são, possivelmente, as áreas do planeta que possuem a gama mais variada de usos, que oscilam do puro lazer à intensa exploração econômica. Nas duas últimas décadas, a pressão que tais sistemas têm sofrido em função da contínua ocupação de suas margens (e do conseqüente lançamento dos produtos dessa ocupação) vem despertando um emergente interesse na comunidade científica, fato que está refletido no aumento significativo de estudos produzidos sobre tais ambientes” (BONETTI, 1995).

“Os processos de circulação estuarina têm importância prática para as comunidades costeiras que utilizam seus recursos (biota, água e sedimento), pois as distribuições das propriedades físico-químicas variam dinamicamente ao longo de curtos intervalos de tempo, sendo que, uma vez que tanto recebem quanto fornecem material, os estuários devem ser compreendidos como unidades espaciais com papel fundamental no ciclo sedimentar, por promoverem primariamente as trocas entre os oceanos e os continentes” (BONETTI, *op. cit.*).

As implicações desses mecanismos dinâmicos têm grande importância nas atividades econômicas das comunidades associadas a esses locais.

A importância prática do conhecimento dos processos de circulação e mistura no sistema Estuarino-lagunar do Itapocu, resultado de suas características hidrodinâmicas e composicionais, reside na possibilidade de seu uso no entendimento da distribuição de poluentes lançados no sistema, visto que esse sistema é utilizado para muitos fins econômicos.

Dentre os múltiplos usos que as comunidades locais fazem das águas que cobrem o sistema alvo do estudo estão a pesca artesanal, a carcinicultura, o cultivo de arroz irrigado, a bananicultura e a mineração (extração de areia do leito).

Algumas dessas práticas estabelecem inter-relações ambientais diretas, na medida em que muitas das atividades necessitam de um meio equilibrado e, ao mesmo tempo, colaboram para o comprometimento da qualidade ambiental, gerando conflitos sociais.

A mineração se faz presente através de grandes quantidades de sedimentos, mais especificamente areia, que são extraídos do leito do Rio Itapocu, o que pode alterar significativamente as características hidroquímicas do ambiente, podendo interferir em todo o Sistema estuarino-lagunar.

A carcinicultura é outro agente importante, que também faz uso das águas do sistema captando-a para o abastecimento dos viveiros e drena águas enriquecidas organicamente no estuário adjacente. Considerando o agravamento e a expressiva diminuição da produção de camarões, devido a uma doença que atinge o sistema imunológico dos animais conhecida como White Spot (mancha branca), o entendimento dos processos de renovação das águas nesse ambiente é de grande importância. Estudos indicam que essas formas virais podem ficar disponibilizadas no ambiente, eventualmente contaminando áreas adjacentes, sendo difícil definir a extensão da área de influência de uma unidade de cultivo sem que se conheça a composição das águas e os processos hidrodinâmicos que regulam sua disponibilidade.

Se abordarmos as questões relacionadas à agricultura (rizicultura e bananicultura), à primeira vista podemos levantar inúmeras possibilidades sobre o comprometimento ambiental, resultante de algumas práticas adotadas nessas culturas. Por exemplo, é sabido que o arroz irrigado pode disponibilizar uma quantidade muito grande de fertilizantes e pesticidas, que na grande maioria possuem, em sua composição, compostos à base de cloro fósforo que apresentam difícil processo de degradação, podendo conservar-se no ambiente por longos períodos. Nesse caso vale à pena ressaltar que os na maioria dos casos os sedimentos em suspensão são compostos por frações finas (argilas) que possuem carga eletronegativa e, por isso, se associam com os elementos iônicos presentes nos defensivos agrícolas e podem depositar-se no leito estuarino. Assim, entender o comportamento do material em suspensão e dos processos de circulação que os distribuem pode contribuir na estimativa dos padrões de dispersão desses poluentes.

Para que se tenha uma compreensão satisfatória sobre essa área faz-se necessário um estudo que contemple de forma coesa e integradora a bacia hidrográfica e a zona costeira, pois é a interface entre esses dois sistemas (continental e oceânico) que caracterizará o sistema estuarino-lagunar do Itapocu. Muitos estudos têm desvinculado esses dois ambientes trabalhando-os de forma unilateral, não levando em consideração que a zona costeira é um componente essencial da bacia hidrográfica e vice-versa. Deve-se considerar que à medida que atividades impactantes são realizadas, o sistema como um todo é afetado, daí a importância do diálogo entre o domínio das águas interiores e das oceânicas, bem como planos de manejo e conservação que levem em conta a complexidade desse sistema.

2 – OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Caracterizar a composição das águas do Sistema Estuarino-Lagunar do Itapocu e avaliar os processos de mistura e circulação responsáveis pela qualidade da água do sistema, considerando os diferentes usos dos recursos hídricos locais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o uso da terra, cobertura vegetal e as modalidades de uso das águas existentes na bacia hidrográfica do Rio Itapocu;
- Caracterizar o comportamento da bacia hidrográfica do Rio Itapocu com base em séries históricas de dados meteorológicos;
- Avaliar o padrão de correntes geradas por maré nas proximidades da desembocadura do sistema;
- Determinar a distribuição e variabilidade das propriedades físico-químicas: temperatura, salinidade, pH, oxigênio e turbidez na coluna d'água;

3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 DEFINIÇÃO E CONCEITUAÇÃO DE ESTUÁRIOS E LAGUNA

Há inúmeros trabalhos que discutem a definição de estuário. Essas discussões devem-se à variabilidade de ambientes similares, que variam em relação à morfologia, às características hidrodinâmicas e à sua origem. Segundo Pritchard (1989), essas diferenças fazem com que os estuários sejam por muitas vezes definidos de forma distinta dependendo do interesse do pesquisador, o que ainda segundo o autor, dificulta a sua compreensão.

Para este trabalho será utilizada a definição proposta por Pritchard (1952) e Cameron e Pritchard (1963) que, de maneira geral, diz que um estuário é um corpo d'água semi-confinado com ligação direta com o ambiente marinho, em que se pode mensurar a diluição da água do mar através da água doce oriunda da drenagem continental.

Em um estuário, a entrada e a saída de águas de origem diferentes estão associadas, ocorrendo à mistura entre a água doce, de origem fluvial e a água salgada, de origem marinha. As águas marinhas, com maior densidade, penetram na região estuarina pelas camadas mais inferiores, sendo que, nas camadas superiores escoam as águas de origem fluvial, tendo como principais condicionantes à maré e as descargas fluviais. Assim, uma diminuição na salinidade devido ao aumento da vazão fluvial, causará também um aumento da penetração da água marinha pelo fundo estuário adentro. O resultado é uma maior estratificação da coluna de água com a criação de duas camadas de água com salinidades bastante diferenciadas. Por outro lado, um pequeno aporte de água doce, mesmo em situação de marés pouco efetivas resultará em um domínio de águas oceânicas em todo o corpo estuarino.

Com algumas exceções os estuários formaram-se em regiões relativamente estreitas de transição entre o mar e as massas de terra continentais. São ambientes de época geológica muito recente (< cinco mil anos), formado por alterações seculares do nível do mar de natureza eustática ou isostática, bem como por processos de origem tectônica. Suas localizações, formas e extensões dependem do nível do mar, da topografia do litoral e dos rios, e foram alterados

por processos erosivos e deposicionais de sedimentos no início naturais e, mais recentemente, como consequência da exploração e exploração das bacias de drenagem (MIRANDA *et al.*, 2002).

Os processos físicos comuns aos estuários são seus movimentos e a mistura entre as massas de água de origens contrastantes: a água doce de origem fluvial e a água do mar do oceano adjacente. Como resultado desses processos, os estuários são corpos d'água não homogêneos e os fenômenos no seu interior variam em amplos intervalos das escalas espacial e temporal; desde dimensões microscópicas até seus limites geométricos, e intervalos de tempo com frações segundo até o extremo das variações anuais e seculares. (MIRANDA *et al.*, 2002).

Os estuários são delimitados, principalmente, em função do alcance da maré dentro do leito do rio, pois, quanto maior for a intensidade das marés, maior será a penetração das águas de origem marinha ao longo do eixo longitudinal do rio.

Os ambientes lagunares, segundo Stevenson (1968), são formados pela forte deriva litorânea. Esses corpos aparecem sempre orientados paralelos à linha de costa e seu isolamento do ambiente marinho adjacente deve-se a formação de ilhas-barreira. Esses cordões litorâneos podem isolá-las totalmente, originando lagunas fechadas ou semi-fechadas, ou ainda mantendo ligação constante e direta com o mar através de uma ou mais desembocaduras.

Uma boa conceituação de laguna é fornecida pelo próprio Stevenson (1968), onde afirma que a presença de uma forte deriva litorânea normalmente condiciona a sua formação, invariavelmente com orientação paralela à linha de costa e separada do mar aberto por uma ilha barreira.

Além das oscilações do nível do mar, a formação dos sistemas barreira também pode estar relacionada ao crescimento de pontais laterais em um embaimento, através de processos geomorfológicos, principalmente erosão e sedimentação, capazes de isolar antigas baías marinhas.

Segundo Isla (1995) a formação de lagunas está diretamente relacionada com a variação do nível do mar, através do alagamento de

depressões regressivas durante o quaternário, assim sendo essas formações são geologicamente recentes. A maior parte dela tem sua origem relacionada ao desenvolvimento de sistemas barreira, responsáveis pelo isolamento dos corpos lagunares. Estes sistemas barreira consistem em formações arenosas que se acumularam em função da disponibilidade de sedimentos associados à ação e da energia significativa das ondas durante oscilações do nível do mar. Ainda de acordo com esse mesmo autor as lagunas costeiras são formações geologicamente recentes e estão relacionadas, na maioria dos casos, às variações do nível do mar, através do alagamento de antigas depressões regressivas durante o Quaternário. A maior parte delas tem sua origem relacionada ao desenvolvimento de sistemas barreira, responsáveis pelo isolamento dos corpos lagunares. Estes sistemas barreira consistem em formações arenosas que se acumularam em função da disponibilidade de sedimentos associados à ação do vento e da energia significativa das ondas durante as oscilações no nível do mar.

Miranda *et al.* (2002) colocam que as lagunas costeiras atuais têm sua formação em idades muito próximas a dos estuários, sendo ambientes formados em função das oscilações do nível do mar durante os períodos Pleistocênico e Holocênico, seguido pela posterior formação de barreiras que alteraram a troca de água com a região marinha adjacente.

Phleger (1969) define o ambiente como um corpo de água marinha interior, com orientação paralela a linha de costa, separado do oceano adjacente por uma barreira e tendo sua ligação com o mesmo através de um ou mais canais.

Suguio (1998) define laguna como um corpo de águas rasas e calmas situado em planície costeira em geral mantendo uma conexão restrita com o mar aberto.

Segundo Villwock (1994), a costa sul brasileira, sobretudo de Santa Catarina ao Rio Grande do Sul, se caracteriza por apresentar uma ampla planície costeira. Nessa planície um sistema múltiplo e complexo de barreiras arenosas se desenvolveu em função das oscilações do nível do mar durante o Quaternário, aprisionando conseqüentemente sistemas lagunares de proporções consideráveis, como as Lagunas dos Patos e Mirim (RS), as Lagunas de Santo Antonio, Imaruí e Mirim. Além das oscilações do nível do mar, a formação de sistemas barreira também pode estar relacionada ao crescimento de pontais laterais em um embaiamento, através de processos geomorfológicos, principalmente erosão e sedimentação, capazes de isolarem antigas baías marinhas (ESTEVEZ, 1998).

Conforme BIRD (2000), as lagunas apresentam uma variedade de tamanhos e formas, sendo que tais fatores estão relacionados às condições da linha de costa pré-existente e às trocas de energia e matéria as que estão submetidas.

Não raro os ambientes lagunares se originam na desembocadura de corpos d'água, como estuários, por exemplo. Este cenário gera um ambiente que, segundo Fairbridge (1968), são caracterizados por uma alta complexidade geométrica e hidrodinâmica, que podem apresentar grandes variações ambientais de um sistema para outro. A partir disso admite-se a existência dos Sistemas Estuarino-lagunar.

3.2 – COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO

As trocas de água em lagunas e estuários se dão através de dois processos segundo Dyer (1973), um processo advectivo, onde o transporte se dá de uma propriedade por movimento de massa e difusivos, onde o transporte ocorre devido à existência de gradientes de concentração.

Os efeitos combinados desses processos geram a mistura, que é o mais importante processo físico responsável pelas características ambientais dos estuários. De maneira geral, os processos de mistura com transporte em pequena escala espaço-temporal são identificados como oriundos da componente difusiva, enquanto que os de grande escala são devidos aos processos advectivos (DYER 1973 apud BONETTI, 1995).

Dentre todas as propriedades físico-químicas da coluna d'água talvez a salinidade seja a que mais permita uma clara caracterização das origens distintas das fontes de água que alimentam os estuários e lagunas. Seu gradiente permite um bom entendimento dos processos de mistura e circulação. Espera que, em um estuário padrão, a salinidade fique em torno de 35 ppm, nas proximidades da desembocadura e ocorrendo uma diminuição desses valores em direção a montante, tendo nas cabeceiras valores muito próximos a zero.

Com base em alguns trabalhos foi criada uma classificação dos estuários baseada na estratificação dos valores de salinidade.

Quatro grandes classes são identificadas, podendo o estuário migrar de uma para outra com

o tempo e de acordo com o trecho longitudinal analisado. São elas: estuários altamente estratificados; tipo cunha salina; parcialmente misturados; e bem misturados (KJERFVE, 1986 apud BONETTI, 1995).

I) Bem misturado – normalmente corpos d’água rasos, onde a mistura vertical faz com que a água ser torne homogênea em toda a extensão do estuário. Esta mistura se dá por difusão turbulenta.

II) Ligeiramente estratificado – também geralmente é raso e a água é constituída essencialmente por duas camadas, a inferior e a superior, um pouco menos salina, e entre elas encontra-se uma zona de mistura.

III) Fortemente estratificado – exemplos típicos são os Fjords, a camada superior pode ter salinidade zero, aumentando em direção ao fundo, chegando a um valor próximo ao da barra.

IV) Cunha salina – a água salgada adentra sob a água do rio, sem sofrer um processo efetivo de mistura. Isto é comum em rios com forte descarga, onde a cunha salina encontra-se bem próxima ao fundo e as isohalinas são quase horizontais.

Na grande parte dos estuários as marés são a principal fonte de energia para a mistura entre as águas doce e salgada. As marés estão ligadas a forças astronômicas, mas são moldadas pela geometria da bacia estuarina. A subida cíclica da superfície da água é acompanhada por correntes horizontais de enchente e vazante particulares ao estuário por onde se propagam, podendo variar muito em intensidade de um local para outro. Na maioria dos estuários a amplitude da maré diminui a partir da desembocadura. Deste modo, as maiores intensidades de corrente situam-se nas porções inferiores e médias dos estuários, e conseqüentemente as maiores taxas de erosão e ressuspensão de sedimentos (BONETTI, 1995).

Outro aspecto bastante importante, principalmente na área de estudo, são as alterações hidrodinâmicas devido às condicionantes meteorológicas. Quando ocorrem episódios com altos níveis

pluviométricos, há um incremento da vazão dos rios que compõe a bacia hidrográfica, modificando os processos de circulação e aumentando a carga de material em suspensão no interior dos estuários e lagunas.

4 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

O sistema Estuarino-lagunar do Itapocu está localizado na porção norte do Estado de Santa Catarina, fazendo parte da Bacia Hidrográfica do Rio Itapocu (fig. 01).

Os estudos geológicos na região nordeste de Santa Catarina revelam um cenário geológico determinado por processos geradores de rochas e sedimentos, aliados ao surgimento de inúmeras estruturas tectônicas. Tais processos decorreram em duas fases bem distintas da evolução da crosta. A primeira fase, de formação do embasamento cristalino, iniciou no Pré-cambriano, desde o Arqueano, há cerca de 3 bilhões de anos AP, até o final do Neoproterozóico, há mais ou menos 540 milhões de anos AP. A segunda fase, de formação da cobertura sedimentar, teve início no Cenozóico, desde o Pleistoceno, há aproximadamente 1,8 milhões de anos AP, até o Holoceno (KAUL & TEIXEIRA, 1982).

De acordo m Horn Filho (1997) as coberturas sedimentar se diferencia na região nordeste do Estado e podem ser encontrado as seguintes categorias nos depósitos:

- Depósitos aluvionares: areias, cascalheiras e sedimentos silticoargilosos acumulados em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial atual.

- Depósitos colúvio-aluvionares: sedimentos localizados nas encostas das elevações, que apresentam, no seu conjunto, grande variação granulométrica, com estratificação incipiente ou ausente.

- Depósitos flúvio-lagunares: sedimentos argilo-arenosos, comumente cobertos por fina camada de matéria orgânica, favorecendo as acumulações turfáceas.

- Depósitos lagunares e flúvio-estuarinos: areias siltico-argilosas, mal selecionadas, de cores cinza a creme, com laminação plano-paralela incipiente, freqüentemente ricas em matéria orgânica.

- Depósitos marinhos atuais: areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, de cores claras, creme a amareladas, excepcionalmente escuras devido a concentração de minerais pesados, com laminações plano-paralela e cruzada que se podem truncar mutuamente. São sedimentos depositados em planícies de marés, planícies de cordões regressivos litorâneos e praias atuais.

- Depósitos paludiais: sedimentos argilo-arenosos, mal selecionados, ricos em matéria orgânica. São sedimentos depositados em ambiente sob influência de marés, típicos de manguezais.

O cenário geomorfológico da área de estudo é condicionado a duas categorias principais o embasamento cristalino da Serra do Mar e a planície costeira.

A região escarpas e reversos da serra do Mar apresenta-se como uma serra propriamente dita, com vertentes voltadas para leste e oeste, sendo que a vertente leste (Atlântica) apresenta-se mais íngreme. A serra do Mar aparece somente no município de Joinville como um conjunto de cristas, picos, serras, montanhas e escarpas separadas por vales profundos em “V” com encostas de altas declividades (GONÇALVES, 1993).

Planície costeira é constituída pelas unidades planície costeira marinha, planície costeira flúvio-marinha e planície colúvio-aluvionar. A Planície costeira, com orientação dominante N-S, de idade predominantemente quaternária, foi originada a partir dos processos resultantes das mudanças relativas do nível médio do Atlântico sul durante o Cenozóico, associado às flutuações paleoclimáticas e eventos tectônicos (HORN FILHO, 1997).

O sistema Estuarino-lagunar do rio Itapocu é formado pelo setor estuarino do rio Itapocu e por uma laguna, denominada em sua porção sul como Lagoa de Barra Velha e Lagoa do Norte ou da Cruz após a desembocadura, em direção norte (fig 02).

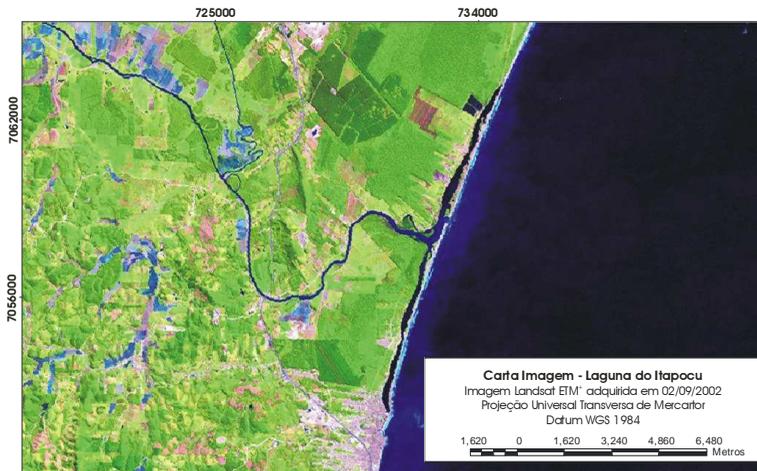


Figura 01: Imagem do satélite LANDSAT, mostrando o sistema estuarino-lagunar do Itapocu e as áreas adjacentes.

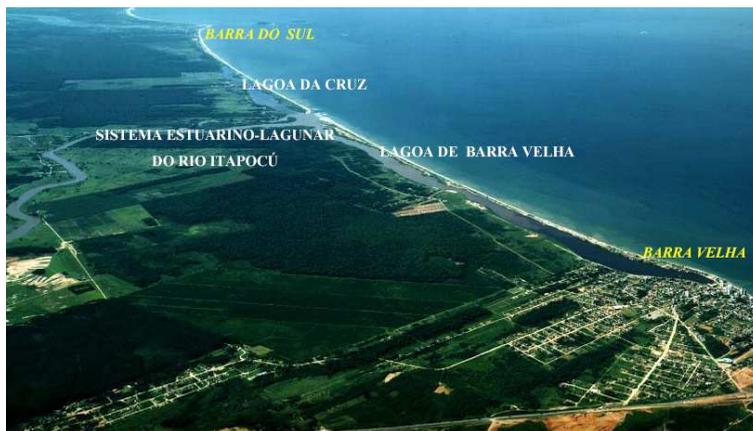


Figura 02: Fotografia aérea oblíqua da área de estudo – Fonte: Caruso Jr.,2000.

A laguna tem orientação constante e paralela à linha de costa, ocupando uma extensão linear de aproximadamente 12 km e com larguras inferiores a 500m. Sua profundidade média é de cerca de 2m e as trocas fluviais e marinhas ocorrem atualmente em sua porção central.

A desembocadura do sistema é bastante instável quanto à sua posição, migrando ao longo do cordão arenoso preferencialmente em

direção a norte, acompanhando o sentido da corrente de deriva litorânea (Schettini & Klein, 1997).

4.2 ASPECTOS CLIMATICOS

O Estado de Santa Catarina possui uma condição climática influenciada pelos seguintes sistemas meteorológicos, segundo MONTEIRO & FURTADO (1995): as frentes frias, os vórtices ciclônicos, os cavados de níveis médios, a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), a convecção tropical e a circulação marítima.

O relevo de Santa Catarina contribui fundamentalmente na distribuição diferenciada da precipitação em distintas áreas do Estado. Naquelas localizadas mais próximas às encostas de montanhas, do lado do barlavento, as precipitações são mais abundantes, pois a elevação do ar úmido e quente favorece a formação de nuvens cumuliformes, resultando no aumento do volume de precipitação local. Neste sentido, são observados índices maiores de precipitação nos municípios próximos a encosta da Serra Geral, quando comparados aos da zona costeira.

A borda leste do Estado, onde esta localizada o sistema Estuarino-lagunar do rio Itapocu, se encontra sob o domínio climático subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas e verões quentes segundo proposta de classificação de Koppen e sofre a influência de duas massas de ar com características distintas: a Massa Tropical Atlântica (mTa) e a Massa Polar Atlântica (mPa). O encontro dessas duas massas dá origem aos sistemas frontais, que é um dos sistemas meteorológicos que regem o clima regional e tem forte influencia nas chuvas mais intensas que ocorrem na área de estudo, que por vezes resultam no transbordo do rio Itapocu.

Em respeito às condições meteorológicas, segundo dados da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDM (1997), a temperatura média anual, do município de Barra Velha, maior núcleo urbano adjacente, fica em torno de 21,26 °C, a umidade relativa média anual é de aproximadamente 88,13% e a precipitação tem 2.174 mm como média anual.

4.3 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

De acordo com Schettini e Carvalho (1998) bacia hidrográfica do rio Itapocu possui uma área de 2.930km² e uma descarga fluvial média em torno de 77m³/s.

Com relação à estratigrafia da coluna d'água ela segue o padrão clássico para lagunas costeiras. As águas continentais escoam pelas camadas superiores enquanto as águas marinhas, com maior salinidade têm o fluxo predominantemente associado às proximidades do fundo.

Com relação ao eixo lagunar, Schettini & Carvalho (1998), Schettini & Klein (1997) e Bonetti *et al.* (2000), observaram que as águas fluviais tendem a fluir preferencialmente em direção a Barra Velha (setor sul), sendo que o setor norte está mais protegido dessa influência.

O extremo norte parece apresentar uma relativa independência do restante da laguna, possuindo uma fonte local de águas com características mais continentais, associada à presença de uma planície com amplos trechos de mata de restinga e um pequeno manguezal, que tem suas águas drenadas para esse setor através de pequenos cursos d'água (FRITZEN, 2008).

De acordo com BONETTI (2000), o processo de renovação das águas bem cadenciado, a energia hidrodinâmica é bem baixa, sendo que o processo se torna mais efetivo que algum evento de maior intensidade ocorre, estes estão ligados as marés de sizígia e a condições meteorológicas mais extremas.

A área da desembocadura, como dito anteriormente, sofre um processo de migração de sua barra e em comparação com estudos realizados em outras áreas da lagoa, principalmente no setor norte, mostrou um nível hidrodinâmico mais baixo, podendo ser relacionado ao jogo de forças naquela região.

4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO ITAPOCÚ

Antes de chegar à sua foz, na laguna, este rio atravessa extensos campos com atividades agropecuárias e várias cidades. Entre os núcleos urbanos, destaca-se Jaraguá do Sul, com população de 93.000 habitantes, que é um importante pólo industrial. O maior núcleo

populacional adjacente ao sistema estudado é o município de Barra Velha, localizado na extremidade sul da laguna, que possui uma população de cerca de 13.200 habitantes (Bonetti *et al.*, 2000).

As áreas no entorno da laguna apresenta um série de criadouros de camarões, há pelo menos três, das quais apenas um estava em funcionamento durante o desenvolvimento das atividades de campo que era justamente a Fazenda Yakult, que está sobre gerencia da Universidade Federal de Santa Catarina. As operações das fazendas estavam suspensas por conta de proibições dos órgãos sanitários e ambientais do Estado por conta da proliferação do vírus da Mancha Branca.

Ainda nas áreas próximas a desembocadura do rio Itapocu junto à laguna pode se observar áreas destinadas à mineração, através da extração de sedimentos do leito do rio. Foram quantificados pelo menos cinco pontos de exploração de sedimentos nas localidades marginais ao rio. Outra atividade desenvolvida que é bastante marcante na paisagem, são as áreas destinadas a rizicultura irrigada, os maiores locais de plantações estão a aproximadamente 10 quilômetros do deságua do rio.

A vegetação primária original era caracterizada por uma mata bastante exuberante, representada pela Floresta Ombrófila Densa, principalmente as variedades das terras baixas, que segundo VIEIRA (2008), recobrem as planícies quaternárias fluviais e flúvio-marinhas, até aproximadamente 30 m de altitude.

Há a ocorrência de espécies ligadas a Floresta Ombrófila Densa em maiores altitudes, que são os casos das florestas Submontanas e Montanas.

Hoje a cobertura vegetal da região encontra-se bastante descaracterizada, principalmente pelo uso agrícola.

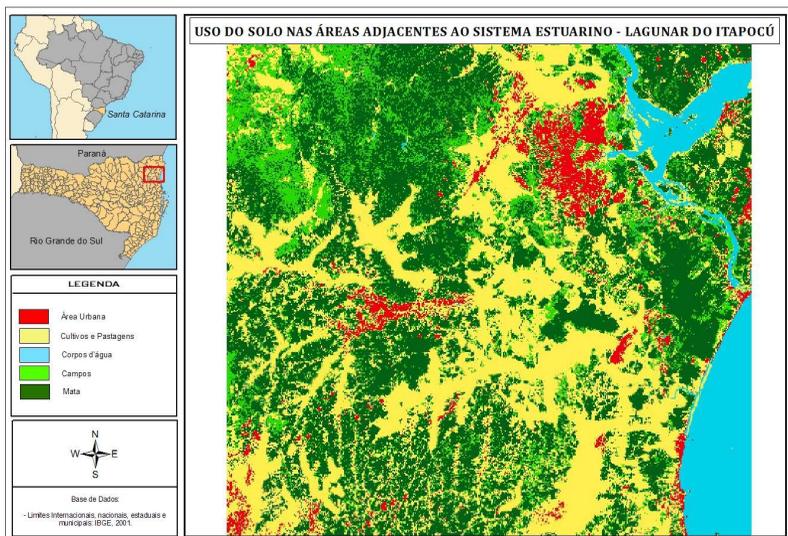


Figura 03: Mapa do uso do solo no entorno do sistema.

Na figura acima (fig. 03) fica claro como se dá o processo de ocupação e utilização do solo. Grande parte da área é destinada a agricultura, com intenso predomínio da rizicultura e pastagens, essa modalidade é representada pela cor amarela na figura de uso do solo. As áreas em vermelho estão ligadas aos adensamentos urbanos, os dois maiores núcleos que aparecem na imagem são os municípios de Joinville e Jaraguá do Sul. Esta última é a grande responsável por um incremento considerável de rejeitos domésticos e industriais no sistema.

As áreas verdes possuem uma distinção, as áreas mais claras estão ligadas a espécies vegetais de menor porte, principalmente espécies rasteiras, como as gramíneas, típicas das áreas de maior altitude e bordas de áreas densamente vegetadas, caracterizando os campos. O tom mais escuro está são formações vegetais de maior porte e com formação mais densa, casos dos manguezais e das áreas de reflorestamento.

Os tons em azul, como manda as convenções, estão ligados aos corpos d'água que onde pode ser percebida a porção inicial do sistema estuarino-lagunar. Nos trechos mais a montante torna-se difícil a visualização por conta da resolução espacial das imagens obtidas pelo satélite Landsat 7.

5 – NATUREZA DOS DADOS E METODOLOGIA

5.1 BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL

No primeiro momento deste estudo foi realizado um levantamento do material cartográfico existente sobre a área em diferentes escalas de trabalho (mapas topográficos, levantamentos aerofotográficos e imagens de satélite). Uma vez reunidos, foram selecionados alguns destes produtos utilizando-se como critério a sua escala e data de geração. A partir destes, foi construída uma base cartográfica em formato digital da bacia hidrográfica e do sistema estuarino-lagunar, voltada à representação espacial das informações adquiridas na pesquisa. Esta base esta foi manipulada com o auxílio dos softwares Surfer, ArcGIS e Idrisi.

Nesse momento também foram adquiridos os dados históricos dos índices pluviométricos para a realização de uma caracterização meteorológica da área e posterior comparação entre os dados pretéritos e os dados atuais.

5.2 PLANO AMOSTRAL

No estudo das variáveis hidrodinâmicas e físico-químicas foi adotada a estratégia amostral que melhor permitisse um entendimento das variações dos parâmetros ao longo de um ano. Para isso foi estabelecido à realização de quatro campanhas amostrais, associadas a cada estação do ano, verificando assim uma possível variabilidade sazonal.

Essas campanhas permitiram a obtenção de registros horários ao longo de um ciclo completo de maré (13 horas), sempre sob a condição de sizígia, onde ocorrem as maiores amplitudes.

A profundidade média do ponto de coleta é de 2m (fig.03) e foi escolhido utilizando com critérios à proximidade da desembocadura e o acesso a estação.

A única ressalva quanto à estratégia amostral deve ser feita por conta um pequeno atraso, um período de duas semanas, na campanha de verão, por conta de uma dificuldade na obtenção das embarcações necessárias para realização das atividades.



Figura 04: Imagem indicando o local de realização das estações fixas – fonte da imagem: Google Earth.

<u>Campanha</u>	<u>Realização</u>
Inverno	02/09/2007
Primavera	14/12/2007
Verão	9/04/2008
Outono	13/06/2008

Quadro 01: Datas de realização das campanhas de amostragem

5.3 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS E FÍSICO-QUÍMICOS DA COLUNA D'ÁGUA.

As medidas de corrente e os parâmetros físico-químicos (temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido) foram adquiridos *in situ* durante as quatro estações fixas que foram realizadas nas proximidades da desembocadura do sistema estuarino-lagunar.

As amostras coletadas para a determinação da turbidez foram obtidas com uma garrafa do tipo Van Dorn com capacidade para 1,5 L, amostrando-se em dois níveis da coluna d'água (superfície e proximidades do fundo). Uma alíquota de 50 mL de água foi então armazenada em frascos de polietileno, mantidos refrigerados e ao abrigo da luz para análise da turbidez em laboratório, sendo utilizado um turbidímetro digital Orbeco 966 com precisão de 0,01 NTU.

A determinação de correntes foi feita com o auxílio de um correntógrafo acústico (SONTEK ADP - Acoustic Doppler Profiler, 1,5

MHz) em conjunto com a amostragem das propriedades hidroquímicas, efetuada por uma sonda multiparâmetro (YSI 556MPS), com limite de detecção de 0,01, essa amostragem foi realizada em dois níveis na coluna d'água, na superfície e nas proximidades do fundo, sendo que, com um cabo graduado acoplado a sonda, foi possível se chegar muito próximo ao fundo sem perturbá-lo.

O correntógrafo adquire dados 3D em toda a coluna d'água a partir de três feixes emitidos pelo sensor que permitem essa perfilação. O correntógrafo coleta dados ao longo de toda a coluna d'água, sendo adquiridas as seguintes propriedades: velocidade de corrente, direção de corrente, amplitude do sinal, ruído.

5.4 – PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Para o cumprimento desta foram utilizadas imagens de satélite Landsat ETM+, fotos aéreas georreferenciadas, imagens de alta resolução disponibilizadas no Google Earth e observações de campo. Foram determinados os variados usos da terra e das águas. Foram gerados produtos cartográficos, onde ficaram caracterizadas as diversas modalidades de usos solo, por exemplo, área urbanizada e cultivos e também está sendo levantado o uso das águas e a cobertura vegetal. Estes dados foram processados em diversos softwares, tendo por base o IDRISI 3.2 que é um sistema de informação geográfica que permite manipular dados espaciais e processar imagens obtidas por detecção remota.

6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

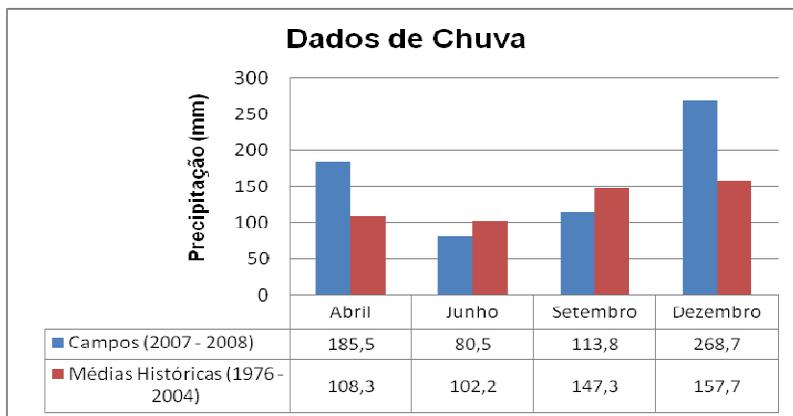
6.1 – COMPORTAMENTO METEOROLÓGICO

Para que se pudesse aferir a veracidade dos dados e garantir maior credibilidade aos mesmos, foi realizada uma análise de séries meteorológicas a fim de buscar uma caracterização e que fossem identificados alguns padrões do comportamento do tempo, e eventos meteorológicos, principalmente a precipitação sob a forma de chuva.

Esses dados foram adquiridos junto a Agência Nacional das Águas (ANA), e possuem um escala temporal de 28 anos (1976 – 2004).

Com essa análise pode-se observar se os meses em que foram realizadas as coletas estavam dentro de um padrão normal de comportamento meteorológico, visto que essas condições têm grande influência na bacia e conseqüentemente na área do sistema Estuarino-Lagunar do Itapocú.

As observações foram feitas nos seguintes meses: Abril, Junho, Setembro e Dezembro. No gráfico abaixo segue as médias históricas dos totais pluviométricos de cada mês e o total de chuva nos meses de realização dos trabalhos de campo.



Fiura 05: Gráficos com as médias e os índices de chuvas nos meses das coletas

De maneira geral, os dados obtidos durante os meses em que foram realizados os campos estiveram bem próximos às médias históricas. A exceção é feita ao mês de dezembro, onde o total foi

111mm acima da média histórica. Outro mês em que os dados atuais foram maiores que os históricos foi o mês de abril, a diferença foi de 77,2mm.

Nas demais campanhas, junho e setembro, os valores obtidos durante o período do trabalho foram inferiores às médias históricas, as diferenças foram de 21,7 mm e 33,5 mm, respectivamente.

Com essas análises observa-se que as condições pluviométricas nos períodos das atividades de campo foram correspondentes a uma condição padrão para a bacia hidrográfica do Itapocú.

Cabe destacar que as condições no sistema Estuarino-lagunar são influenciadas quase que instantaneamente pelas forçantes meteorológicas, o que significa que um episódio de alta intensidade poucos dias antes dos trabalhos de campo pode alterar toda a configuração padrão da área, e ainda assim, ao observarmos o comportamento mensal ele estará dentro da normalidade. Por isso, foi realizado um levantamento dos índices pluviométricos dez dias antes de cada estação fixa a fim de perceber essa influência instantânea do tempo, que será detalhada individualmente em cada campanha.

6.2 – 1ª CAMPANHA

As chuvas no período antes das coletas tiveram totais de 56,1mm (Fig. 06). Apesar do pequeno total acumulado, esses índices precipitaram nos quatro dias que antecederam o campo, portanto, é possível afirmar que os parâmetros físico-químicos da coluna d'água e até mesmo a velocidade e a direção das correntes foram altamente influenciadas por essa precipitação.

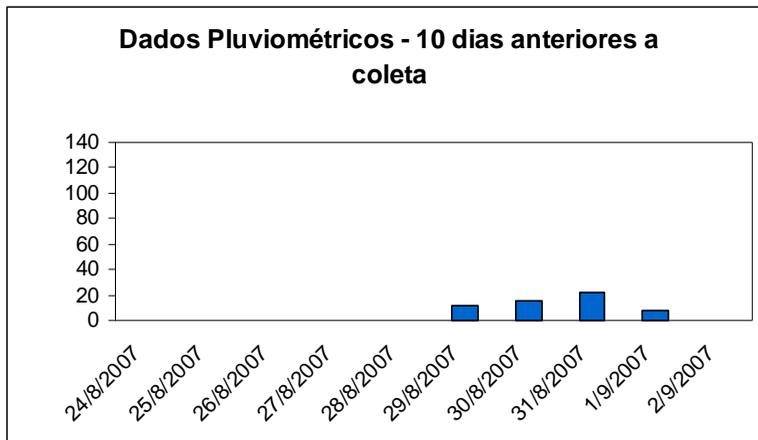


Figura 06: Dados de chuva do período de 10 dias anteriores a coleta.

Antes da apresentação dos resultados é importante uma apresentação da variação da amplitude de maré no período onde foi realizada a estação fixa (fig.07).

Com o intuito de permitir a compatibilização das campanhas amostrais os gráficos de maré foram desenvolvidos utilizando os valores máximos e mínimos apresentado pelo conjunto de campanhas.

Os dados referem-se a previsões de maré astronômica realizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para o porto de São Francisco do Sul, escolhido devido à sua proximidade da área de estudo. De acordo com os dados da DHN a amplitude de maré no dia da coleta foi da ordem de 1,2m.

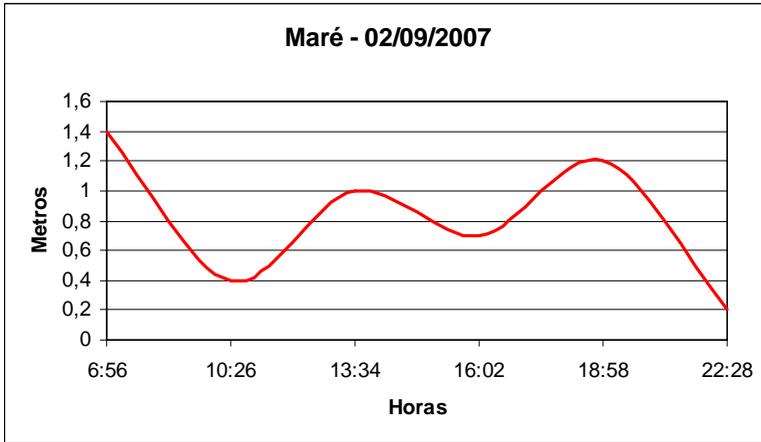


Figura 07: Gráfico amplitude de Maré.

A salinidade, assim como os demais parâmetros, esteve significativamente influenciada pelos índices pluviométricos durante a realização da campanha de amostragem e nos dias que a antecederam. O valor médio da salinidade em superfície foi de 1,27PSU, sendo que o valor mais baixo foi de 0,52PSU na nona hora da estação e o valor mais alto foi de 3,14PSU às 20 horas. Nas proximidades do fundo a média foi de 14,13PSU, o valor mais baixo foi de 11,20PSU às 16 horas e o mais alto 20,79PSU às 19 horas (fig.08).

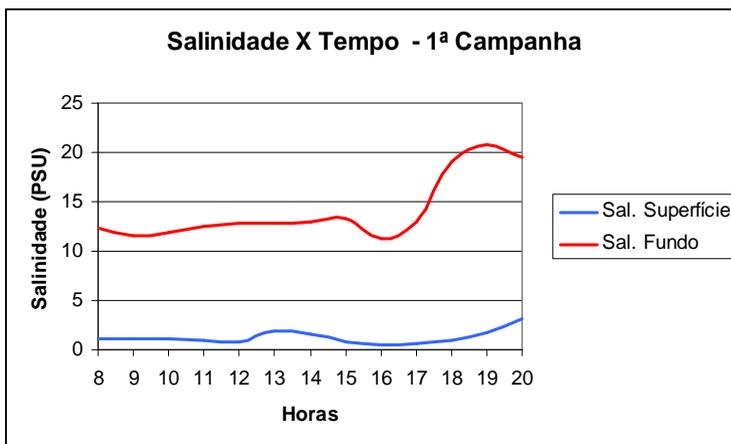


Figura 08: Gráfico com a distribuição dos valores de salinidade em superfície e nas proximidades do fundo.

Podemos observar na figura 09 uma estratificação da salinidade, como é o esperado para as proximidades da desembocadura de estuários e lagunas, onde, por diferença de densidade as águas marinhas penetram pelas camadas mais inferiores enquanto as águas continentais escoam pela superfície. Tal estratificação pode estar mais acentuada devido à forte precipitação, em torno de 90mm, ocorrida no período de amostragem. Reforça essa hipótese a pequena influência da oscilação da maré na distribuição vertical da salinidade.

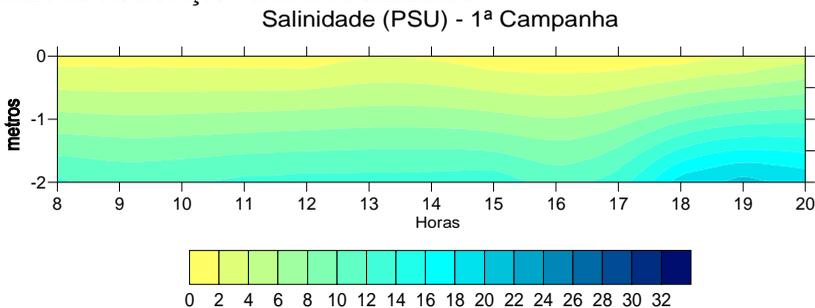


Figura 09: Distribuição da salinidade ao longo do tempo durante a estação fixa

A temperatura média em superfície foi de 18,29°C e nas proximidades do fundo o valor foi de 17,16 °C (fig.10).

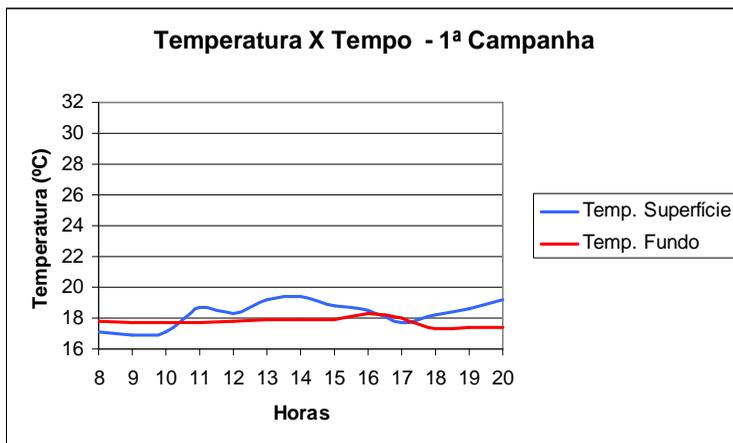


Figura 10: Gráfico com a distribuição dos valores de temperatura em superfície e nas proximidades do fundo

Ao longo da estação fixa os valores da temperatura tiveram um aumento devido à maior incidência da radiação solar a partir das 12 horas (fig.11), embora se apresente bastante homogênea de modo geral.

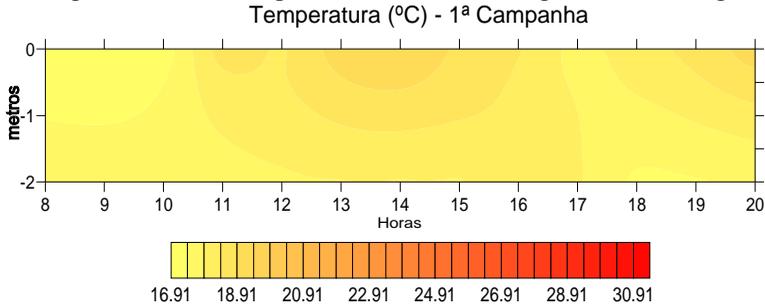


Figura 11: Valores de temperatura ao longo das horas.

Os valores da turbidez em superfície estiveram mais elevados que no fundo, devido à grande descarga de materiais proveniente do rio Itapocu em decorrência do evento pluviométrico supracitado. O valor médio em superfície foi de 26,92NTU e no fundo 8,85NTU (fig. 12).

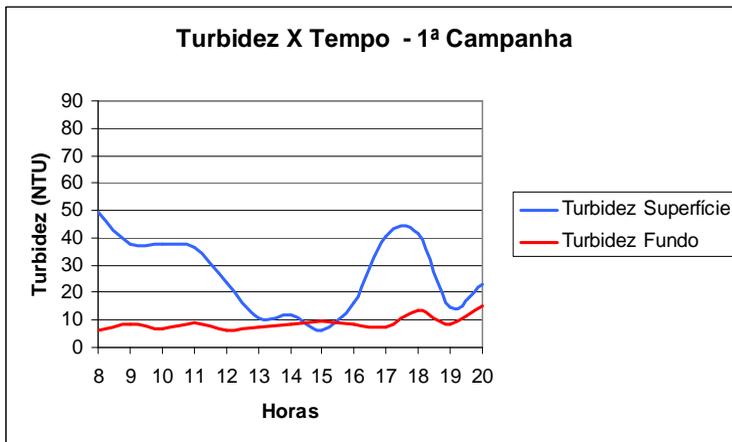


Figura 12: Gráfico com a distribuição dos valores de turbidez.

Na interpolação a seguir (fig.13) veremos maiores valores de turbidez no início da estação fixa, que se deve, provavelmente, a uma maior descarga fluvial em função da chuva. Isso ocorre também entre 18 e 20 horas. Ambos os períodos estão associados a uma condição de maré

vazante, que pode estar contribuindo para o escoamento do material particulado.

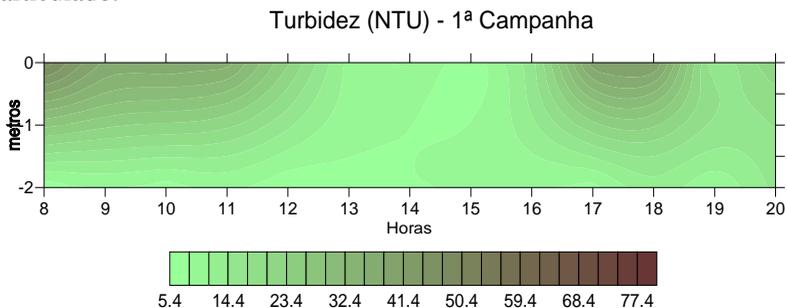


Figura 13: Interpolação dos valores de turbidez ao longo das horas (eixo x).

Os valores de oxigênio dissolvido no sistema estuarino-lagunar do rio Itapocu tiveram valores médios em superfície de 6,16mg/l e 5,68mg/L nas proximidades do fundo (fig.14).

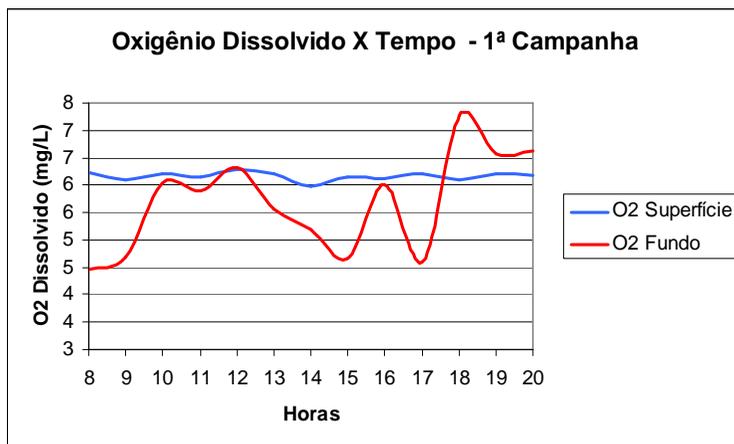


Figura 14: Valores de O₂ dissolvido em superfície e proximidades do fundo.

Pode ser percebida uma maior oscilação dos valores de oxigênio dissolvido junto às proximidades de fundo, essa maior variabilidade pode ser sustentada por uma participação mais efetiva das águas continentais no sistema, condicionando uma maior oxigenação as águas de fundo (fig.15).

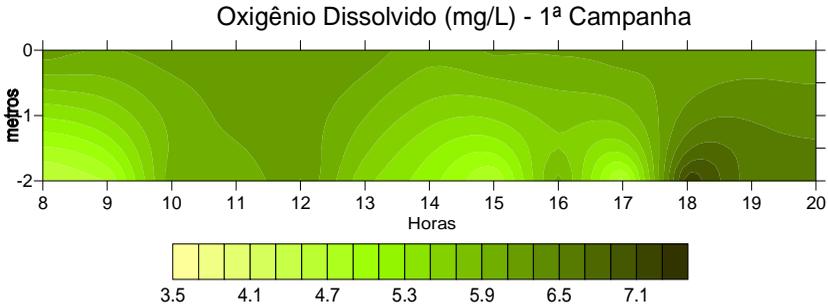


Figura 15: Interpolação dos valores de O₂ Dissolvido ao longo das horas (eixo x).

O pH médio em superfície esteve em 5,53 e 6,65 próximo ao fundo (fig. 16).

Os valores do pH se mantiveram bastante homogêneos, com participação de uma água com características alcalinas próximas ao fundo apenas nas horas finais da coleta, quando aparentemente iniciou um período de enchente. Assim, de modo geral, as águas do sistema durante o período tenderam a ser ácidas (fig. 17).

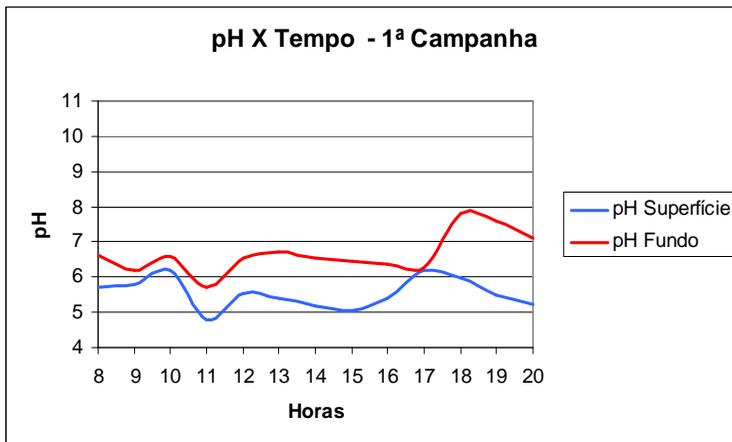


Figura 16: Gráfico com os valores pH.

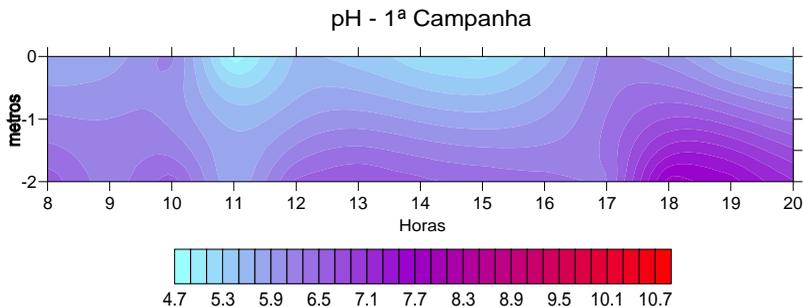


Figura 17: Interpolação dos valores de pH ao longo das horas (eixo x).

Os valores de intensidade de corrente relativos à 1ª estação fixa mostram picos de velocidade instantânea de 56,6cm/s, registrados entre às 11 e 12 horas do dia da amostragem, localizadas nas proximidades do fundo (fig. 18).

Houve também um incremento nas velocidades e alterações no sentido das correntes entre às 15, 16 e 17 horas. As velocidades máximas nesse curto período foram de 39,5cm/s. Podemos notar que concomitantemente a esses aumentos das velocidades há uma variação significativa na direção do fluxo que passa de E-SE para W-NW, que significa um fluxo no sentido oceano-laguna (fig.19).

Nas camadas superiores da coluna d'água foram registradas as menores velocidades com valores de 0,1cm/s a 15,6cm/s, sugerindo maior estabilidade neste nível da coluna d'água.

Quanto à variação das direções em superfície, o fluxo foi predominantemente orientado para quadrante sul, o que indica um escoamento das águas superficiais no sentido da desembocadura do sistema durante todo o período.

Em vários momentos houve fluxo muito baixo, pouco representativo, com valores próximos a zero, que contribuiu para um valor médio baixo para o ciclo de maré amostrado: 6,78cm/s.

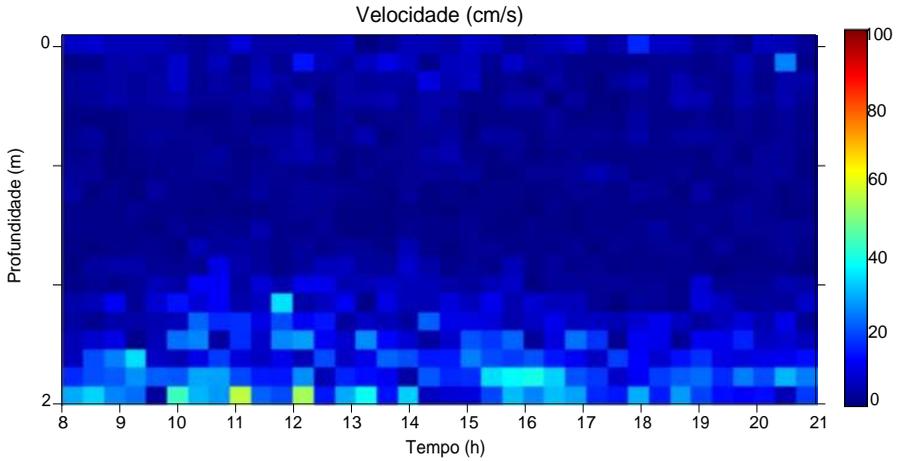


Figura 18: Gráfico com as velocidades das correntes - 1ª estação fixa.

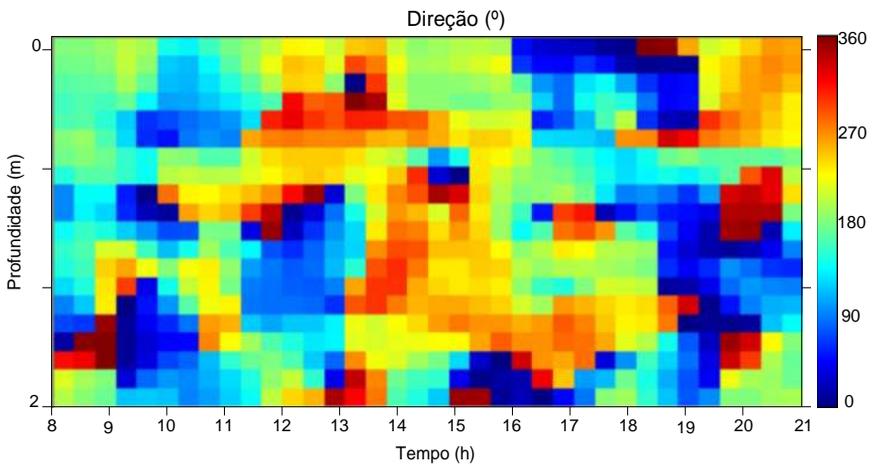


Figura 19: Direção das correntes ao longo da estação

6.3 - 2ª CAMPANHA

Na segunda campanha novamente foi registrado um cenário de intensa precipitação. Os valores diários, somados, ficaram em torno de 184,5 mm, o que deixa claro uma grande contribuição das águas continentais ao longo das coletas, mesmo que os maiores valores tenham sido registrados sete dias antes dos trabalhos de campo (fig.20).

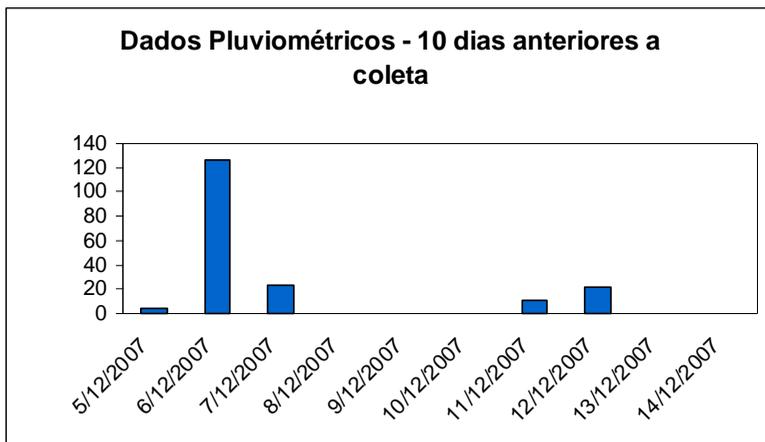


Figura 20: Dados pluviométricos dos dias que antecederam os campos

A maré teve uma amplitude da ordem de 1,3m, sendo que durante a realização das coletas essa variação foi de 0,8m (Fig. 21).

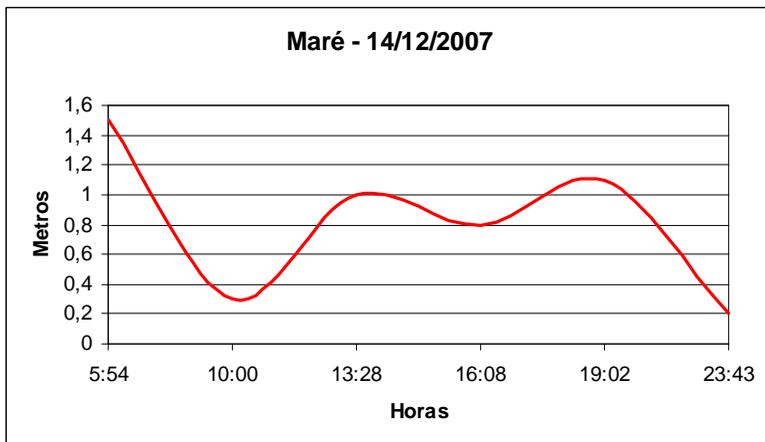


Figura 21: Amplitude da onda de maré para a segunda campanha

Como na primeira campanha, esta estação fixa também foi influenciada pelos índices pluviométricos nos dias que antecederam o trabalho de campo, mas não tão intensamente.

Os valores médios da salinidade estiveram muito próximos aos da primeira campanha, provavelmente devido às condições meteorológicas semelhantes, sendo que nesta segunda, os valores encontram-se um pouco mais elevados. A salinidade média em superfície ficou em torno de 4,17PSU e nas proximidades do fundo o valor foi de 12,18PSU (fig. 22).

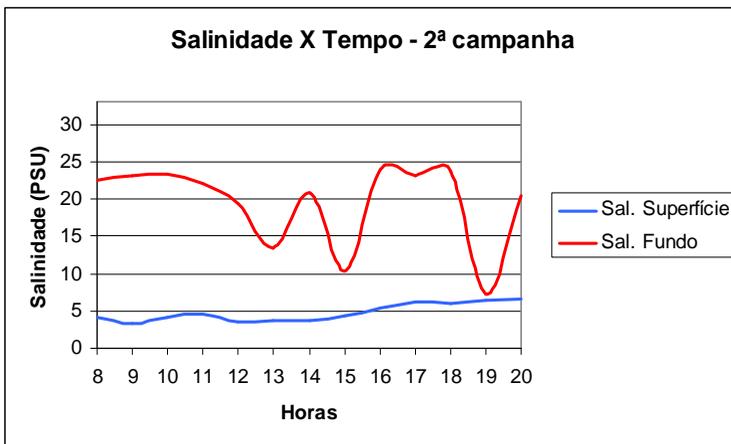


Figura 22: Gráfico com os valores salinidade da 2ª campanha.

Foi observada também uma menor estratificação da coluna d'água. Há momentos em que as águas tenderam a se homogeneizar, apresentando-se menos salinas, e, em outros, os valores de salinidade ficam mais elevados em direção ao fundo (fig. 23). Aparentemente, a variação acompanhou a oscilação da maré, com claros períodos de salinização pelo fundo. Todavia, a comparação com a maré astronômica prevista não corrobora essa observação.

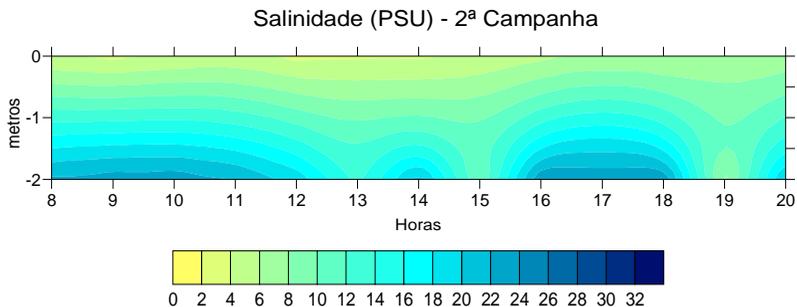


Figura 23: Interpolação dos valores de salinidade ao longo das horas (eixo x).

A temperatura da água apresentou valores muito mais elevados, esse aumento ficou por volta de 6°C em relação à campanha anterior. Novamente as condições meteorológicas explicam esse aumento da temperatura. A primeira campanha foi realizada no final do inverno onde tradicionalmente as temperaturas são baixas, já a segunda campanha foi realizada no fim da primavera, ou seja, nas proximidades do verão onde a temperatura atmosférica é muito mais alta e conseqüentemente a temperatura das águas. O valor médio na superfície foi de $25,34^{\circ}\text{C}$, no fundo $24,94^{\circ}\text{C}$ (Fig. 24).

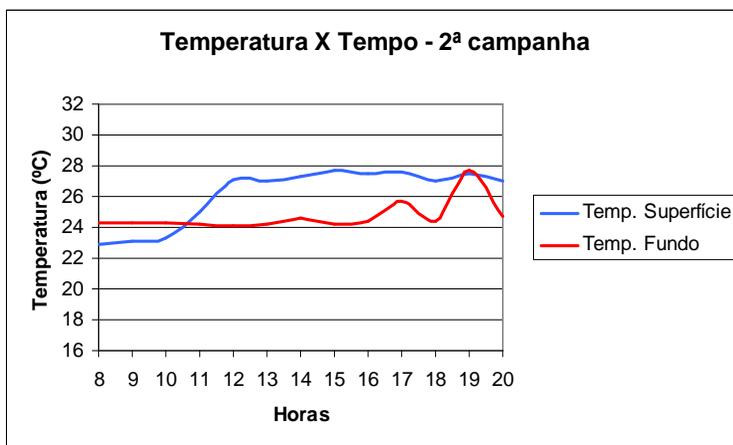


Figura 24: Gráfico com os valores de temperatura.

Quanto à temperatura, a coluna d'água também apresentou certa homogeneidade vertical, não havendo grande diferença entre superfície

e fundo (fig. 25). Destaca-se, no entanto, o sensível aumento de temperatura observado a partir das 12 horas.

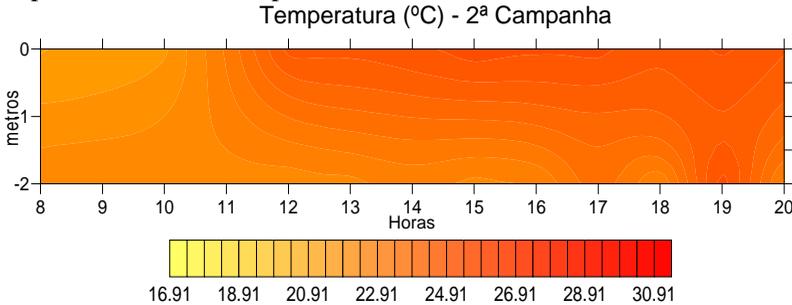


Figura 25: Interpolação dos valores de temperatura ao longo das horas (eixo x).

Analisando as duas campanhas, comparativamente, nota-se que os valores de turbidez tiveram uma discrepância sensível. Na primeira coleta os valores em superfície foram maiores que nas proximidades do fundo. Já nesta última campanha amostral os valores em superfície se mantiveram menores que no fundo, essa baixa turbidez superficial pode indicar pouca influência das águas fluviais e predomínio da ressuspensão pelas correntes de maré como fonte de material em suspensão. O valor médio para superfície foi 14,36NTU e no fundo foi de 22,13NTU (fig.26).

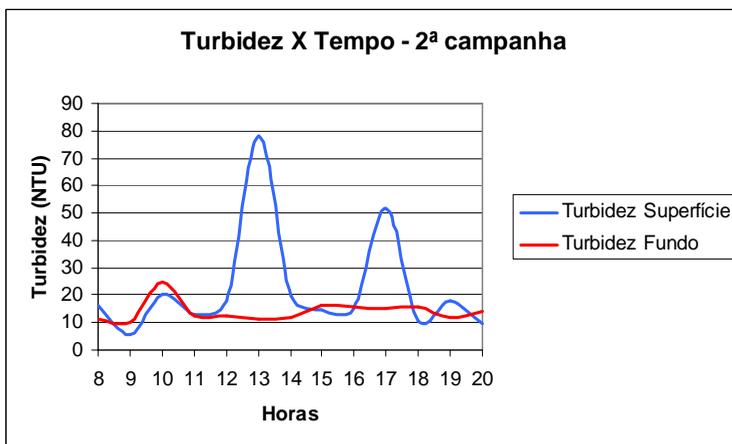


Figura 26: Gráfico com os valores turbidez.

Essa coleta foi caracterizada pela homogeneidade da coluna d'água, salvo em dois picos anômalos, na superfície, às 13 e 17 horas (fig. 27). Na figura, a seguir, pode-se verificar que os valores não se alteraram muito entre superfície e fundo no restante do tempo.

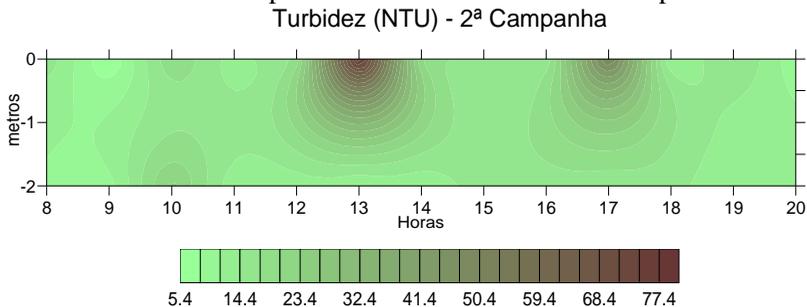


Figura 27: Interpolação dos valores de turbidez ao longo das horas (eixo x).

A média do oxigênio dissolvido ficou em 5,40mg/L e 5,29mg/L para superfície e fundo, respectivamente (fig. 28).

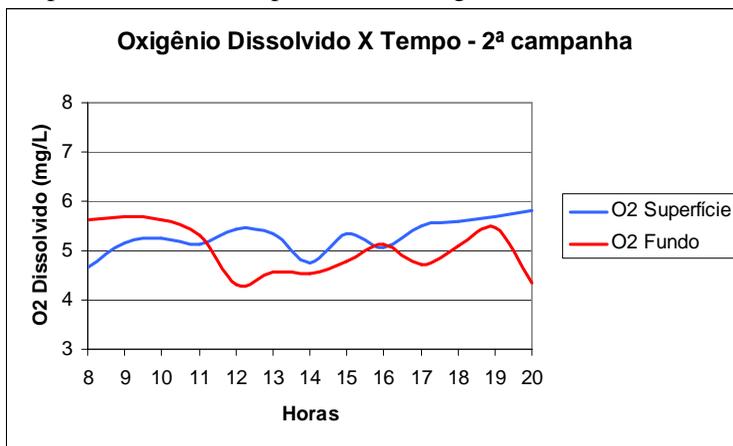


Figura 28: Gráfico com os valores O₂ dissolvido.

De maneira geral os valores de O₂ dissolvido foram menores que na coleta do mês de agosto.

Esse menor valor do O₂ dissolvido pode estar associado há uma maior temperatura d'água que diminui a solubilidade desse gás, ou à presença de correntes fluviais e de maré menos efetivas (fig. 29).

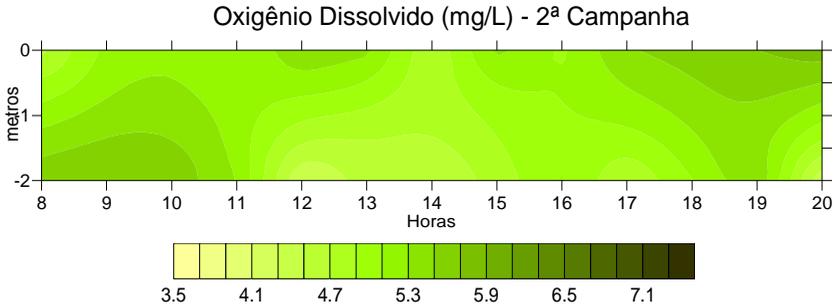


Figura 29: Interpolação dos valores de O_2 dissolvido ao longo das horas (eixo x).

Os valores de pH tiveram como média 6,00 na superfície e 6,60 no fundo (fig.30).

Na interpolação dos dados podemos notar que, na maior parte do tempo, não há uma distinção de camadas com pH diferenciado. Esse é mais um descritor que vem reforçar a pequena estratificação das águas nessa campanha de amostragem, salvo nas horas iniciais e finais da, quando houve elevação do pH junto ao fundo (fig.31).

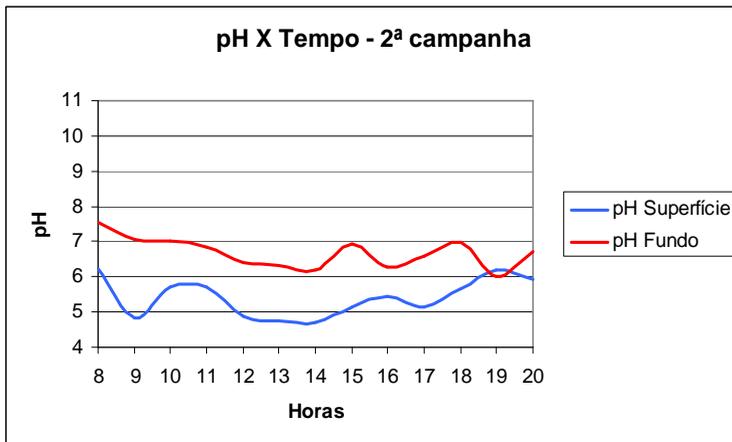


Figura 30: Gráfico com os valores pH.

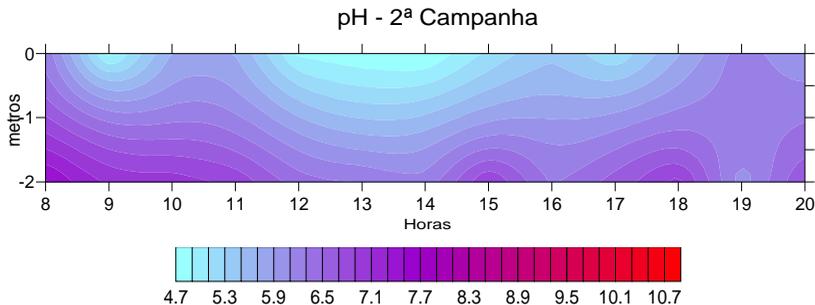


Figura 31: Interpolação dos valores de pH ao longo das horas (eixo x).

Na segunda campanha é possível observar uma diferenciação nos padrões de velocidade das correntes. Enquanto na primeira campanha os fluxos com maior intensidade foram identificados nas proximidades do fundo, na segunda estes estiveram próximos à superfície. O pico de velocidade foi registrado em 199,1cm/s, o valor mais baixo verificado foi 0,1 cm/s, sendo a média da velocidade de 8,71cm/s (fig. 32).

Nos dois momentos em que houve um incremento na velocidade, em superfície, houve diferentes direções de fluxo. No primeiro, que ocorreu entre 9 e 10 horas o fluxo teve um sentido S-SE e no segundo momento, entre 15 e 17 horas, o sentido das correntes em superfície estava orientado mais para NE (fig. 33).

No fundo as correntes apresentaram valores de velocidades relativamente baixos, os maiores valores estavam por volta de 10cm/s. As direções também permaneceram mais homogêneas no seu sentido, variando pouco entre NE e SE, mas com predominância de NE.

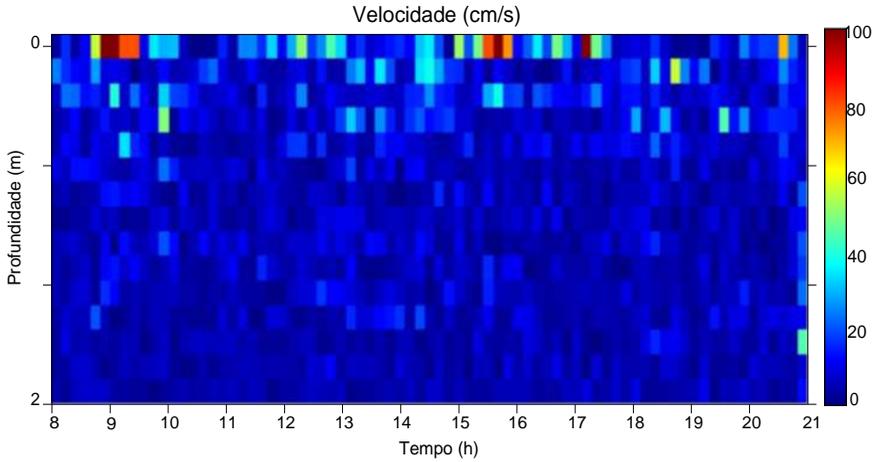


Figura 32: Velocidades das correntes.

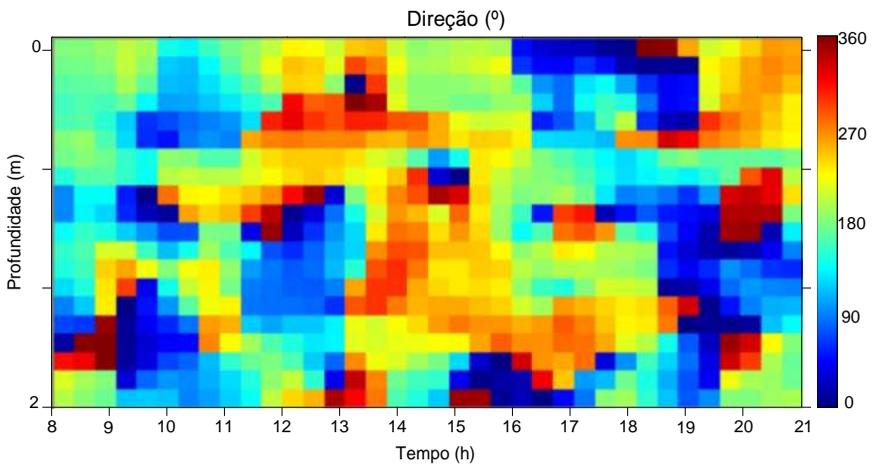


Figura 33: Direção das correntes.

6.4 - 3ª CAMPANHA

Com relação às chuvas, nessa terceira campanha, os índices foram baixos modificando a condição com relação às duas primeiras coletas. O total acumulado foi de 32,7mm (fig.34).

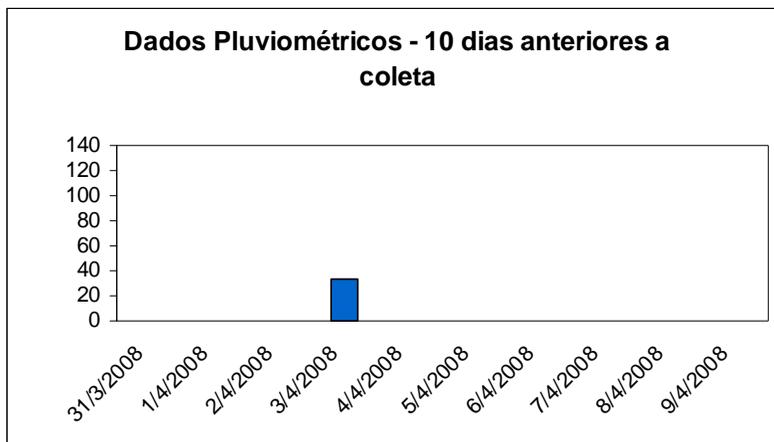


Figura 34: Acumulado de chuva antes do campo.

De acordo com a previsão da DHN, no período da terceira campanha a maré teve uma amplitude máxima de 1,5m, que pode ser conferida ao longo da coleta (Fig. 35), sendo a maior amplitude de maré de todas as campanhas amostrais.

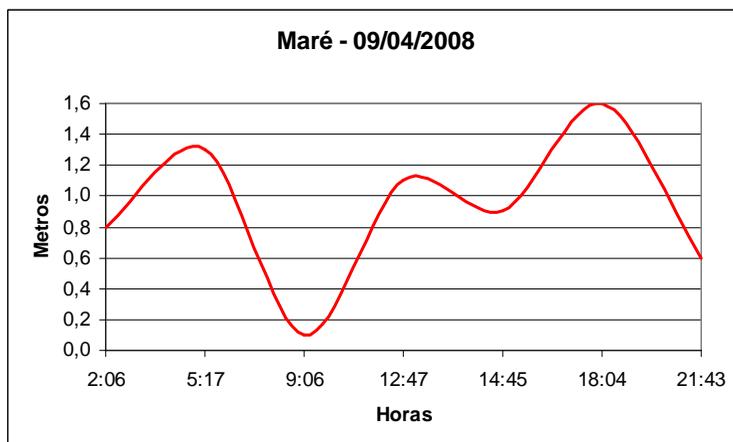


Figura 35: Oscilação da maré ao longo da campanha amostral.

Nesta campanha a salinidade foi mais claramente influenciada pela oscilação da maré, principalmente na enchente.

Os valores em superfície variaram entre 2,33 e 25,26PSU, sendo que o menor valor foi encontrado às 15 horas e o maior foi registrado às 17 horas. A média foi 8,34PSU

A salinidade nas proximidades do fundo esteve entre 19,09 e 32,03 PSU. Valores registrados às 9 e 8 horas, respectivamente (Fig. 36). A média para o fundo foi de 29,30PSU.

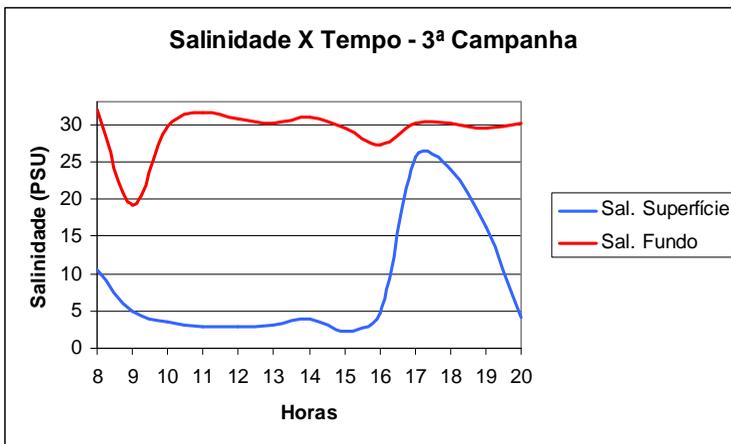


Figura 36: Variação da salinidade na superfície e proximidade do fundo

Os valores da salinidade em superfície estiveram em torno de 5PSU entre 8 e 16 horas, quando a partir daí houve uma aumento significativo às 17, 18 e 19 horas, associado à maré enchente, que transporta águas oceânicas para dentro do sistema estuarino-lagunar, não permitindo uma estratificação relevante da coluna d'água. Às 20 horas houve uma diminuição desses valores, sendo que nessa última amostragem a salinidade foi de 4,10PSU.

Nas proximidades do fundo o comportamento foi inverso ao da superfície, as variações concentraram-se nas primeiras horas da estação fixa tendendo a uma menor variabilidade no decorrer do tempo. De modo geral a salinidade nesse nível ficou em torno de 30PSU, exceção feita apenas para a amostragem das 9 horas que registrou 19,09PSU (Fig. 37).

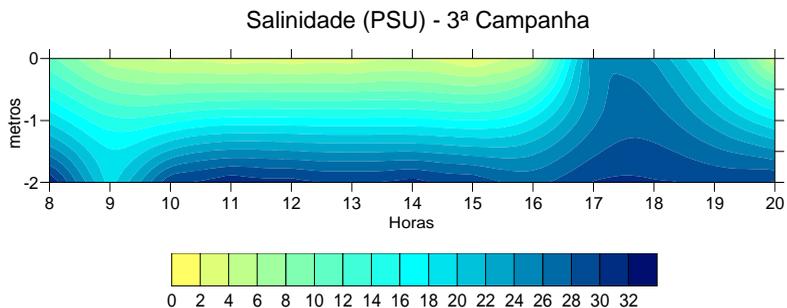


Figura 37: Interpolação dos dados relativos à salinidade.

Os valores das temperaturas estiveram bastante homogêneos, sem grandes variações ao longo de toda estação fixa, sendo levemente superiores na superfície, mas em vários momentos não houve estratificação clara da temperatura (Fig. 38).

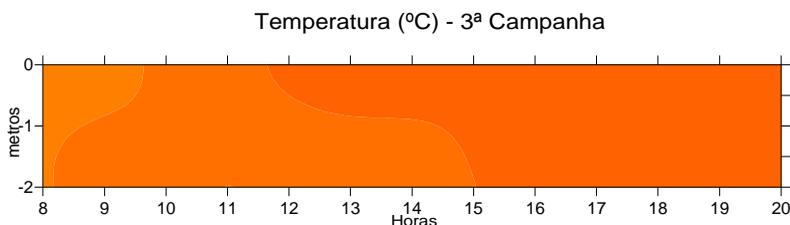


Figura 38: Distribuição da temperatura.

Os valores em superfície variam entre 24,95 e 26,90°C, tendo como média 26,14°C. Esses dados foram registrados às 9 e 16 horas, respectivamente.

No fundo a temperatura teve como menor valor 25,15°C, às 8 horas, e o maior valor foi de 26,84°C, às 16 horas, sendo a média de 25,91°C (Fig. 39).

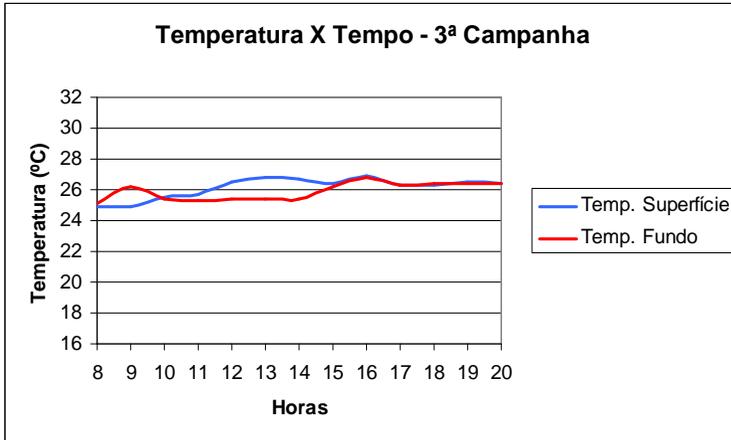


Figura 39: Gráfico com as temperaturas na superfície e nas proximidades do fundo.

A turbidez apresentou valores baixos, e dentro dessa pequena variabilidade, as águas com maior turbidez estiveram localizadas no fundo, relacionadas à ressuspensão de sedimentos, pela energia das correntes na área. Cabe mais uma vez ressaltar que as diferenças entre superfície e fundo foram bem pequenas (Fig. 40).

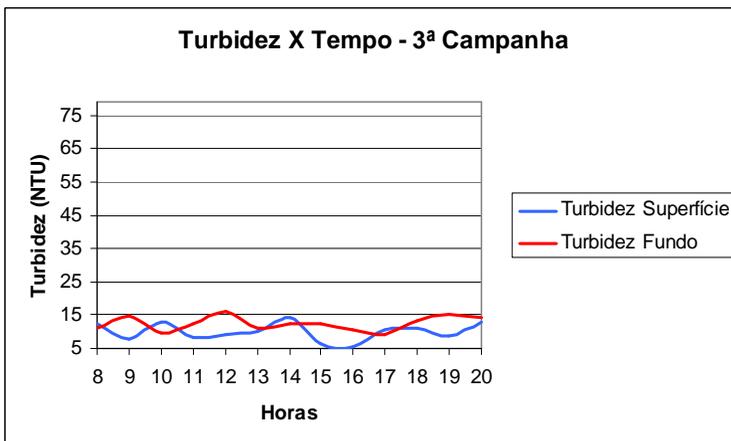


Figura 40: Gráfico dos valores da turbidez na superfície e no fundo

Na superfície os valores de turbidez encontrados variaram entre 5,40NTU, obtidos às 16 horas e 14,17NTU registrado às 14 horas, a

média foi de 10,00NTU. No fundo os valores mínimos e máximos, respectivamente, foram 9,08 e 16,06NTU. Esses dados limites foram adquiridos às 17 horas (valor mínimo) e 12 horas (valor máximo) (Fig. 41). A média foi de 12,44NTU

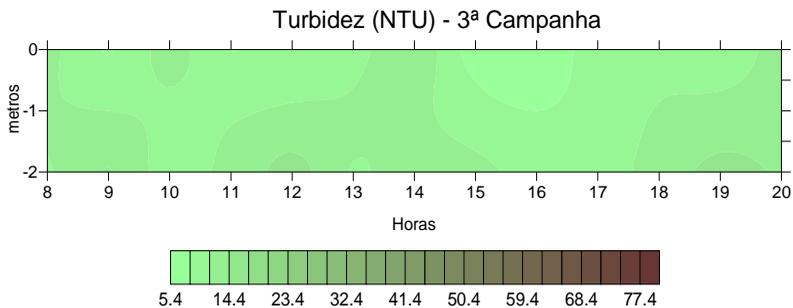


Figura 41: Distribuição dos valores da turbidez na coluna d'água

Os valores de oxigênio dissolvido em superfície estiveram entre 6,40 e 7,23mg/L, sendo o mínimo por volta das 9 horas e o máximo às 14 horas. Nas proximidades do fundo o valor mínimo foi de 3,50mg/L, às 14 horas e o máximo foi 6,80mg/L às 19 horas (Fig. 42). A média em superfície foi de 6,62mg/L e no fundo de 5,60mg/L.

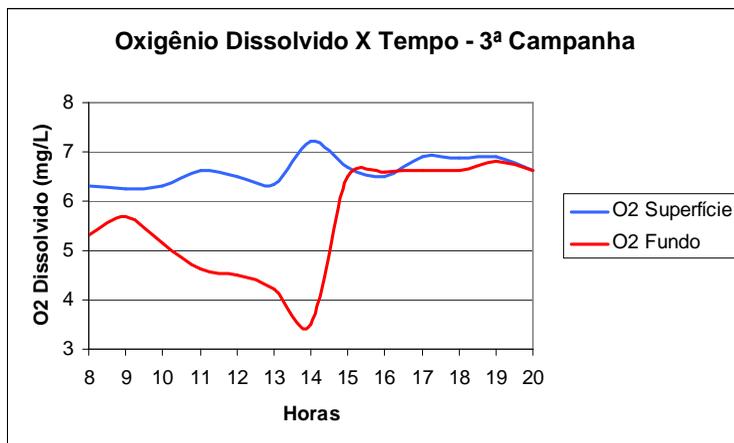


Figura 42: Oxigênio dissolvido nos dois níveis de coleta

Nos níveis superiores da coluna d'água os valores do oxigênio dissolvido mantiveram-se bastante homogêneos, o que não pode ser

verificado nas camadas inferiores, ou seja, nas camadas próximas ao fundo houve uma clara diferenciação entre dois períodos: o primeiro que vai do início da estação até às 14 horas, onde os valores estão relativamente baixos, chegando ao mínimo de 3,50mg/L. A partir daí, ocorre um aumento brusco do oxigênio dissolvido que se mantém num patamar mais elevado até o final da estação fixa (Fig. 43). Pode-se especular que há uma correlação entre este comportamento e o da salinidade, possivelmente ambos controlados pela maré.

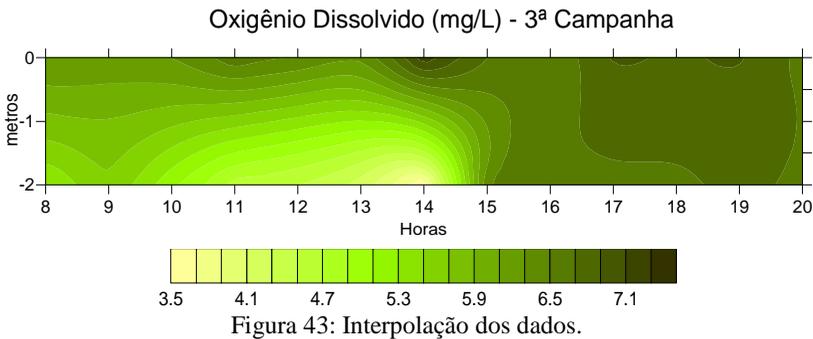


Figura 43: Interpolação dos dados.

O pH teve como mínimo e máximo para a superfície os seguintes valores: 6,62 e 6,88, registrados às 9 e 20 horas. No fundo o valor mínimo foi encontrado às 13 horas e o máximo às 8 horas. Os dados extremos no fundo foram de 6,58 e 10,80 (Fig. 44). As médias são de 6,78 em superfície e 7,10 no fundo, se descartamos o valor extremo de 10,80 encontrado na primeira hora do trabalho, a média do pH próximo ao fundo é de 6,79.

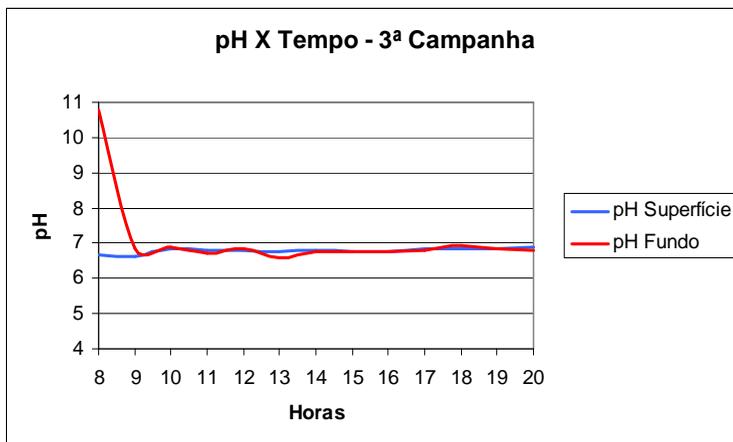


Figura 44: Variação do pH na superfície e no fundo.

A variabilidade dessa propriedade ao longo de toda estação fixa teve pouca significância. De maneira geral não ocorreu uma estratificação da coluna d'água, bem como não houve uma alteração importante dos dados ao longo das horas. Exceção feita ao início dessa campanha, onde na primeira amostragem, o pH no fundo estava elevado destoando das amostras subsequentes (Fig. 45). Este valor, embora aqui apresentado, foi interpretado como erro analítico de leitura do aparelho.

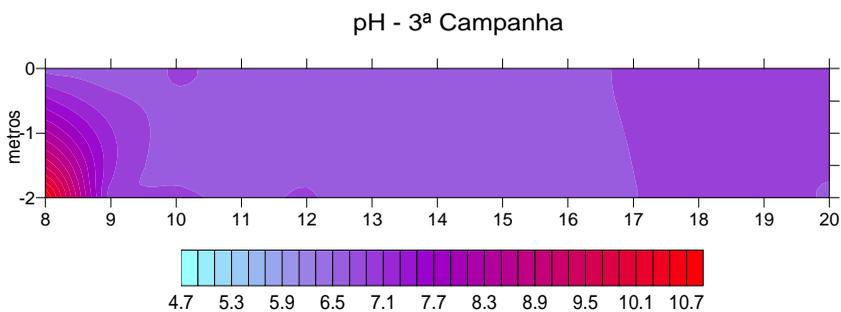


Figura 45: Distribuição dos valores do pH.

Com relação às velocidades das correntes nas proximidades da desembocadura, pode ser percebida maior intensidade nas camadas intermediárias da coluna d'água. Durante a primeira metade da estação fixa os níveis médios apresentaram os fluxos mais intensos, em alguns momentos superando os 40cm/s. Na segunda metade as velocidades

estavam mais intensas junto às camadas mais próximas da superfície (fig. 46).

A média da velocidade foi de 14,56cm/s, o que demonstra um potencial hidrodinâmico baixo com relação às correntes. Como valores extremos de velocidade têm 0,4cm/s e 83,9cm/s, como mínima e máxima, respectivamente.

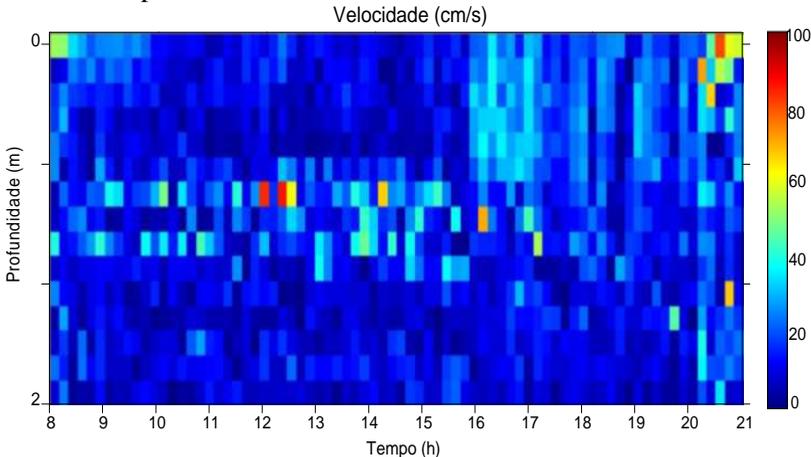


Figura 46: Velocidade das correntes ao longo da estação fixa

Tratando da direção das águas superficiais, num primeiro momento elas possuíam uma orientação voltada a SW, esse padrão pode ser percebido até às 14 horas do dia da coleta. Depois desse período há uma inversão nos sentidos das águas da superfície, que passam a ter um sentido N, associada à subida da maré empurrando as águas nesse sentido.

Nas proximidades do fundo padrão foi parecido, a diferença está em que, no período até às 14 horas o sentido das águas era SE, enquanto na superfície era SW. A partir das 14 horas os sentidos se homogeneizaram entre superfície e fundo, adotando uma direção N. (fig. 47)

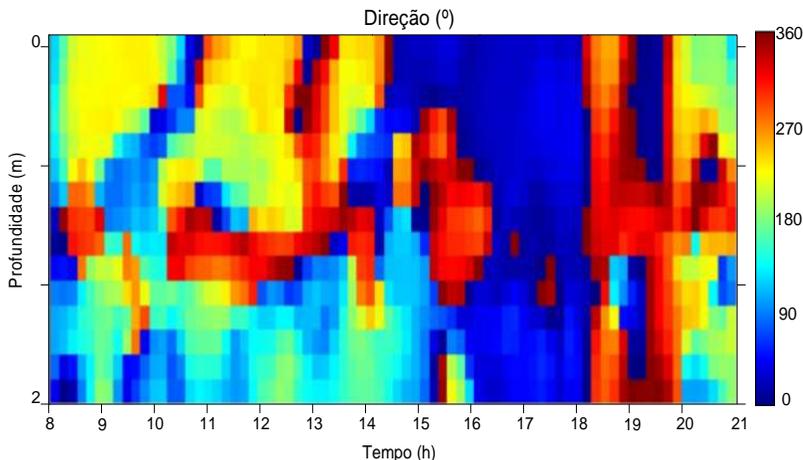


Figura 47: Direção das correntes durante as coletas

6.5 - 4ª CAMPANHA

Apesar de estarem mais bem distribuídos os índices pluviométricos foram os mais baixos de todas as estações fixas, o total foi de 26mm, divididos ao longo de cinco dias (fig. 48).

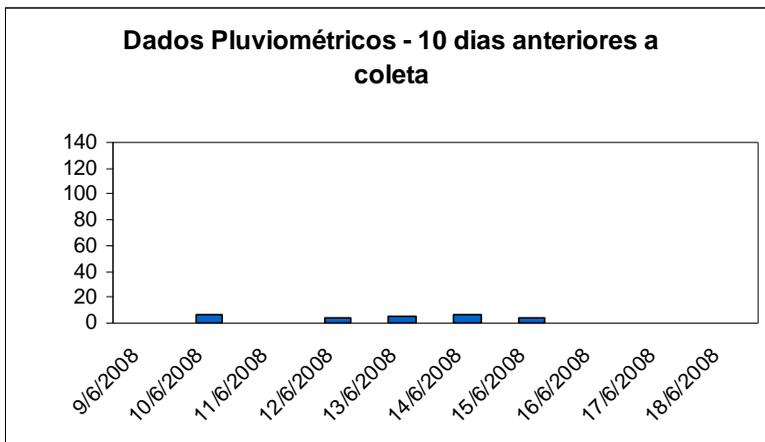


Figura 48: Distribuição das chuvas antes das coletas

A amplitude de maré nessa campanha foi relativamente baixa, em torno de 0,9 m (Fig 49). Essa atuação da maré pode ser apontada

como um dos fatores responsáveis pela menor variação dos parâmetros físico-químicos ao longo de toda estação fixa.

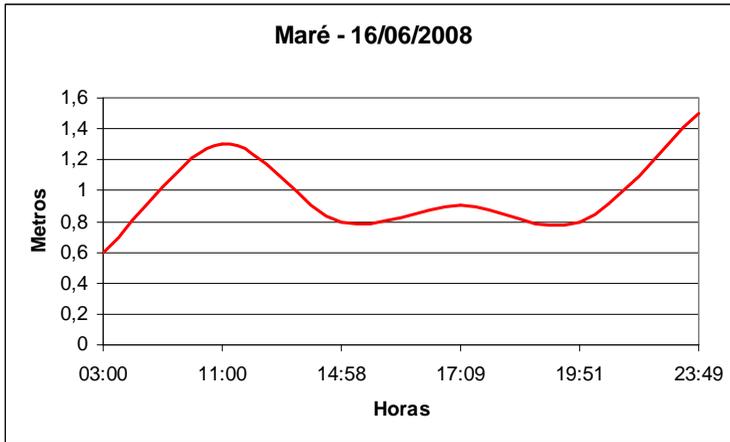


Figura 49: Gráfico da amplitude de maré

Como citado anteriormente, houve uma relativa homogeneidade dos parâmetros ao longo do ciclo de maré e em toda coluna d'água. Com a salinidade não foi diferente (Fig. 50), os valores limites para a superfície foram mínimo de 27,15PSU, às 20 horas e máximo de 27,66PSU às 18 horas. No fundo os valores variaram entre 27,31 e 27,62PSU, às 11 e 18 horas, respectivamente (Fig. 51).

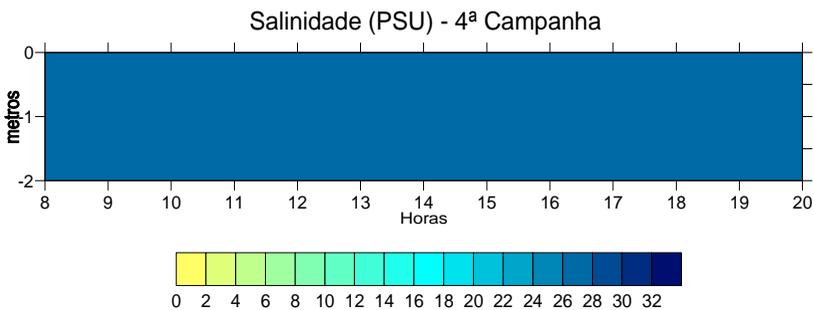


Figura 50: Interplacação dos dados de salinidade

Os valores da salinidade mantiverem-se, dentro dessa condição homogênea e bastante elevados em comparação com as outras campanhas. Não houve uma participação significativa das águas continentais e a diluição das águas oceânicas foi reduzida, resultando

numa salinidade média de 27,41PSU em superfície e 27,45PSU no fundo.

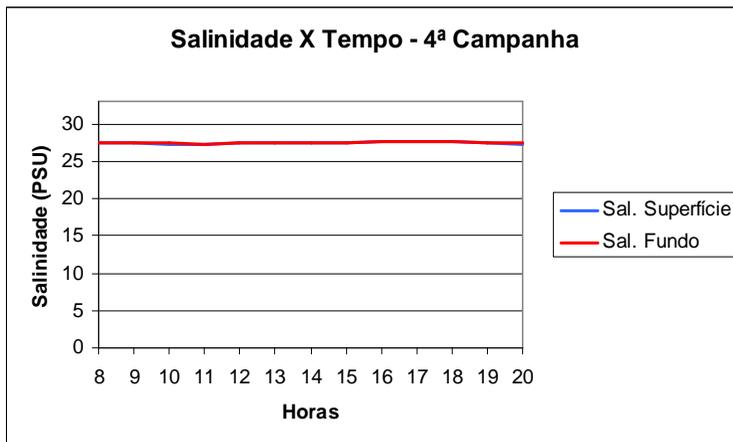


Figura 51: Gráfico dos valores da salinidade na superfície e nas proximidades do fundo

A temperatura das águas também esteve num patamar muito parecido quanto à oscilação vertical dessa propriedade. Na superfície o menor valor encontrado foi de 21,33°C, às 8 horas e o maior valor foi registrado às 13 horas, com uma temperatura de 21,89°C. No fundo as temperaturas tiveram uma variação muito parecida com a superfície: o menor valor foi de 21,34°C e o maior foi de 21,90°C, às 8 e 16 horas (Fig. 52). Com isso, as médias para temperatura estiveram bem próximas 21,70°C para a superfície e 21,67°C nas proximidades do fundo.

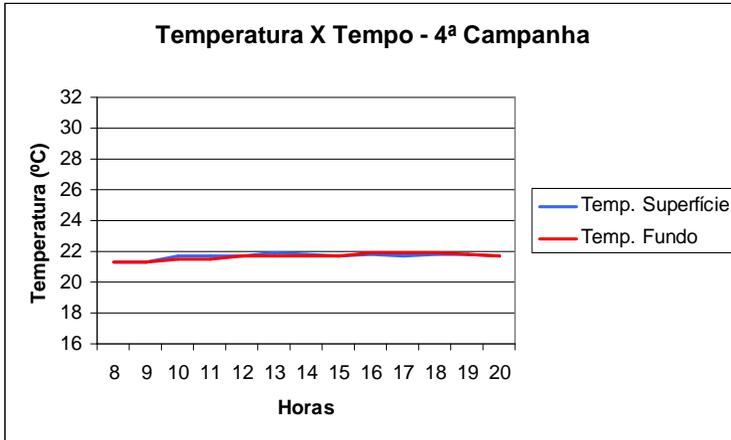


Figura 52: Gráfico com a distribuição dos valores de temperatura em superfície e nas proximidades do fundo

Ao longo da estação pode ser percebida uma pequena variação nas duas horas iniciais da estação fixa, mas a partir das 10 horas a temperatura segue mais homogênea, mantendo esse padrão até o final da estação. (Fig. 53)

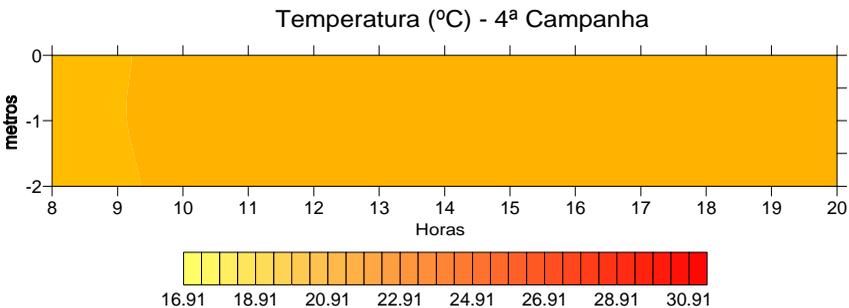


Figura 53: Valores de temperatura ao longo do tempo.

A turbidez em superfície teve como valores limites em superfície 5,40NTU e 11,10NTU, registrados às 10 e 8 horas respectivamente. Nas proximidades do fundo os dados extremos foram adquiridos às 19 horas, com 6,20NTU e às 8 horas com 15,60NTU (fig. 54). A média em superfície foi de 8,78NTU e no fundo foi de 10,55NTU.

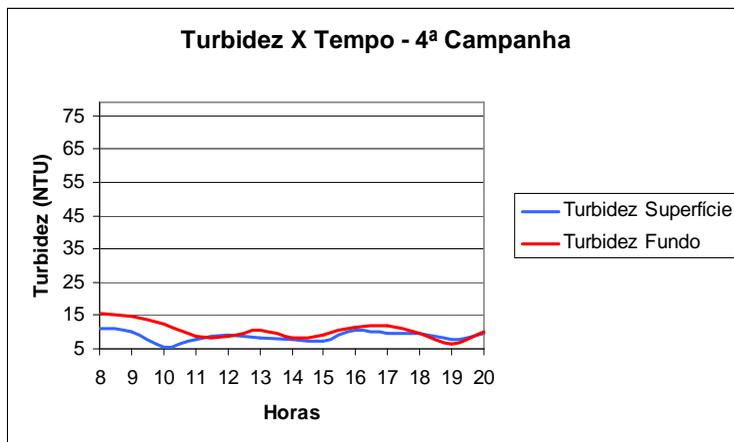


Figura 54: Gráfico com os valores turbidez.

Assim como as demais propriedades, a turbidez teve uma variabilidade na distribuição espacial e temporal bastante discreta. Os dados que destoaram nesse contexto geral foram os obtidos nas primeiras horas, quando os níveis de turbidez estiveram mais elevados (fig. 55). Provavelmente relacionada a uma ressuspensão do sedimento de fundo, impulsionada pela entrada da maré, que naquele momento estava enchendo.

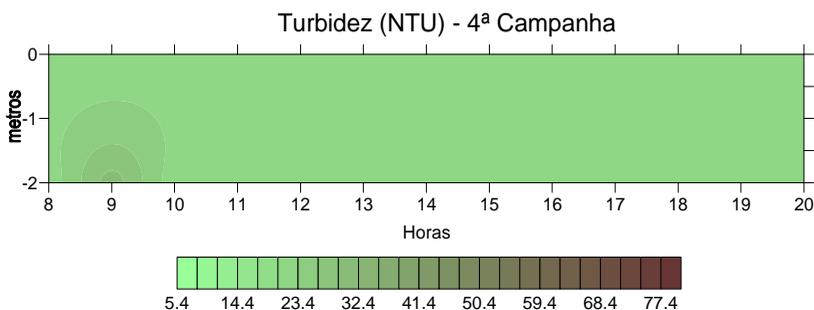


Figura 55: Interposição dos valores de turbidez ao longo tempo (eixo x).

O oxigênio dissolvido foi a propriedade que apresentou uma variação mais significativa entre superfície e fundo. Na superfície os valores encontrados tiveram um mínimo e máximo de 5,25 e 5,93 mg/L, às 11 e 16 horas, respectivamente. No fundo os valores mínimo e máximo foram de 4,71 e 5,34mg/L, nos mesmos horários em que foram

registrados os valores limites da superfície, 11 e 16 horas (fig. 56). As médias foram de 5,53mg/L na superfície e 5,00mg/L no fundo.

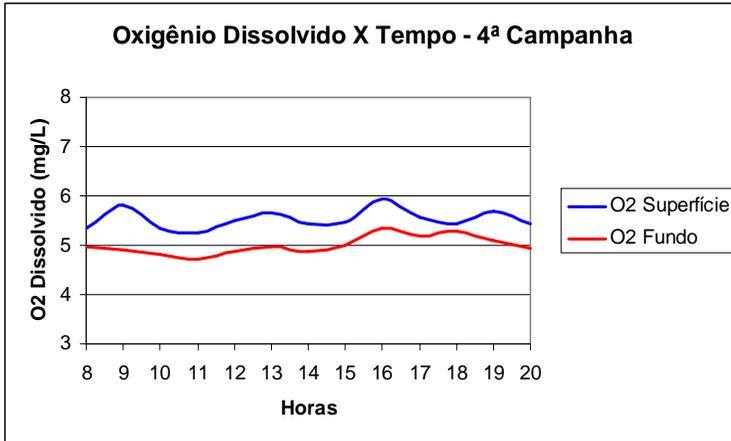


Figura 56: Gráfico com os valores O₂ dissolvido.

Pode-se notar uma maior quantidade de oxigênio dissolvido junto à superfície como padrão recorrente ao longo de todo período (fig. 57). Também é válido destacar um sutil aumento do oxigênio dissolvido ao longo das horas, provavelmente associado à atividade fotossintética ou eventual ação diferenciada do vento.

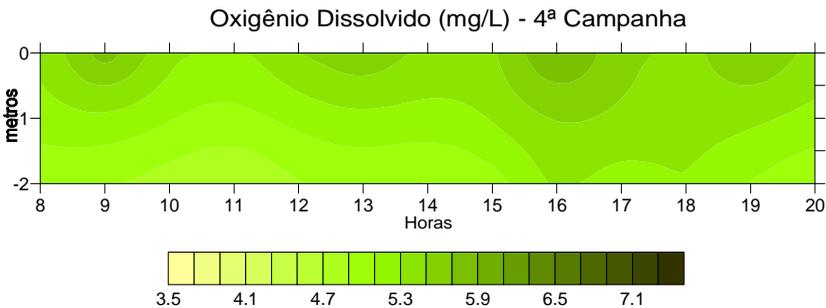


Figura 57: Interseção dos dados de oxigênio dissolvido

O pH esteve equilibrado ao longo de toda estação fixa, tendo os valores apresentado-se levemente básicos. O mínimo em superfície foi de 7,30 e o máximo foi de 7,78, valores encontrados às 9 e 18 horas. No fundo a mínima e a máxima, registradas às 13 e 19 horas foram de 7,44 e 7,79 (fig. 58). A média para superfície foi de 7,69 e no fundo de 7,66.

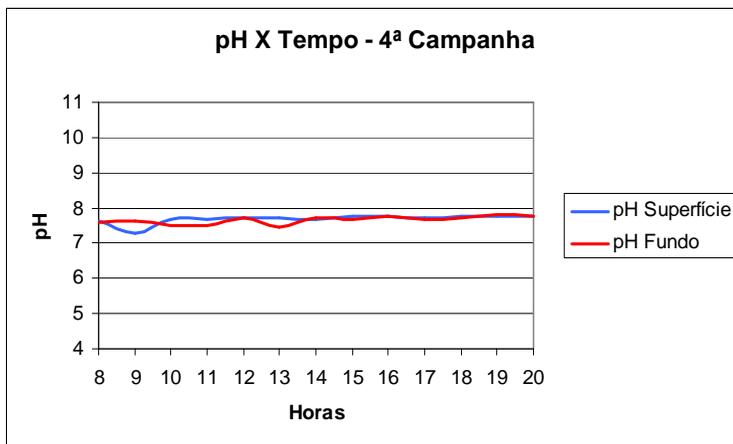


Figura 58: Gráfico com os valores de pH

Se comparado às outras campanhas essa teve os dados mais homogêneos, tanto vertical quanto temporalmente, isso se refletiu também no pH. Os valores não tiveram variabilidade significativa (fig. 59). Muito decorrente da manutenção da salinidade em níveis elevados ao longo de todo o dia.

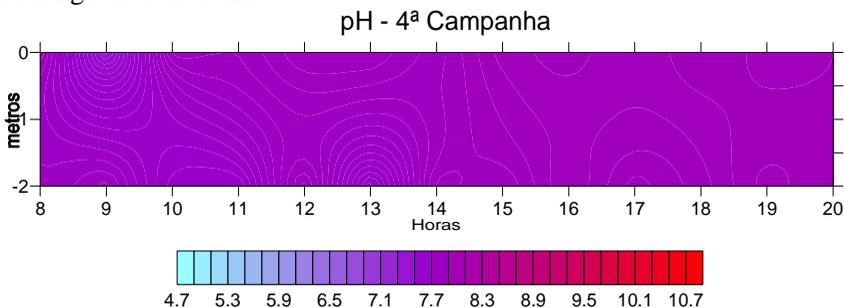


Figura 59: Interpolação dos valores de pH ao longo do tempo (eixo x).

Assim como na 3ª campanha as velocidades foram maiores nas porções intermediárias da coluna d'água. A média da velocidade foi da ordem de 12,90cm/s. O pico de velocidade foi de 98,1cm/s e a menor registrada durante a campanha foi de 0,4cm/s (Fig. 60). Isso mostra que em condições meteorológicas menos intensas a velocidade é maior nos níveis médios. O que pode ser justificado por uma menor influencia do fundo nas correntes, que de maneira geral escoam com mais facilidade nessa camada.

Em relação à direção das correntes, durante a 4ª campanha foi encontrado uma variação da coluna d'água em três momentos.

No primeiro momento, que vai do início dos trabalhos até as 11 horas, os sentidos eram de SW. No segundo momento, das 11 até às 16 horas, a direção encontrada era de N. No terceiro momento, das 16 horas até o final da estação fixa, a direção novamente foi de SW (Fig. 61).

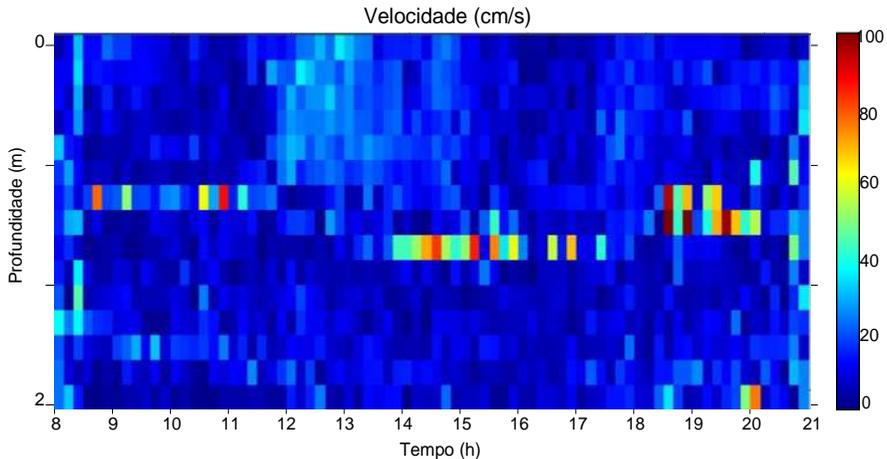


Figura 60: Velocidade das correntes na 4ª campanha

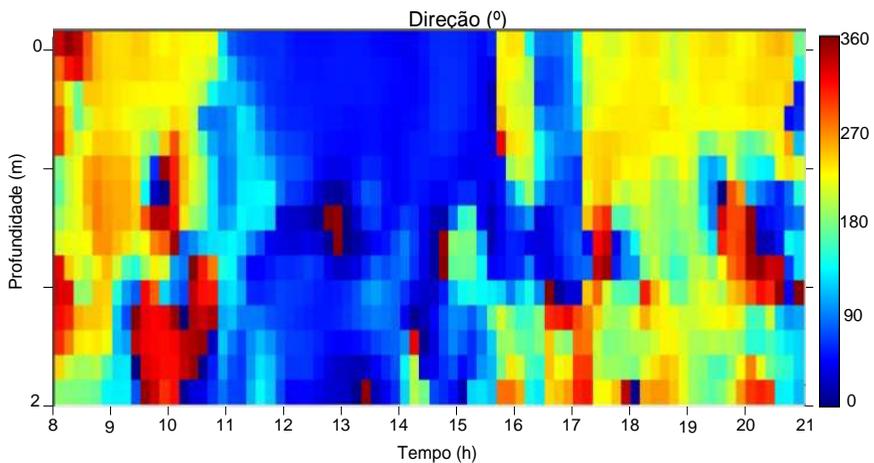


Figura 61: Direção das correntes

6.6 – VARIABILIDADE SAZONAL

Apesar de já ter sido realizada uma descrição dos dados, presumiu-se conveniente que seja lançada mão de algumas figuras que contemplem cada propriedade ao longo do conjunto de campanhas, para assim serem verificadas possíveis variações sazonais dos parâmetros físico-químicos.

6.6.1 – Salinidade

Partindo da 1ª estação, que foi realizada na primavera, a salinidade teve um incremento cada vez maior de seus valores. A influência das águas marinhas foi menor na 1ª e 2ª campanhas, inverno e primavera, respectivamente. Essa condição pode ser explicada pelo elevado índice pluviométrico no período antes e ao longo da realização das estações fixas. A grande quantidade de chuvas na primeira campanha deveu-se a um sistema frontal de grande intensidade que atingiu a área de estudo. Se somados os três dias anteriores à campanha e durante a sua realização obtém-se um total de aproximadamente 150mm de chuva.

Na primeira campanha o fluxo no sentido rio-desembocadura era bastante forte. Pode ser visualizada uma série de troncos e outros restos vegetais em direção a desembocadura. Com base nesse entendimento sugere-se um barramento da entrada da onda de maré por conta da caudaliosidade do rio Itapocú e conseqüente predomínio das águas continentais.

Na 3ª e 4ª campanha, com a intensidade de chuva menor a salinidade voltou a aumentar principalmente na quarta estação fixa, quando não existiu uma estratificação da coluna d'água, o que é habitual para área.

Salinidade (PSU)

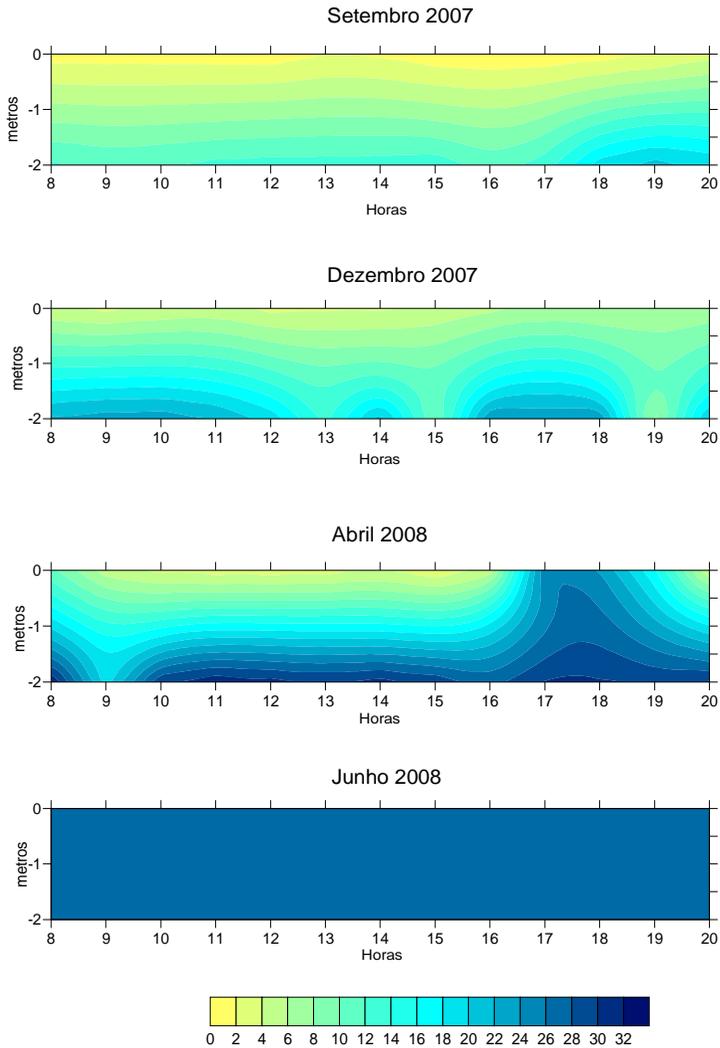


Figura 62: Interpolações das quatro estações fixas

6.6.2 - Temperatura

Como previsto e esperado, as menores temperaturas foram encontradas na estação realizada no inverno. O sistema frontal que trouxe um forte índice pluviométrico, associado a muitas nuvens e ventos, contribuiu para a diminuição da temperatura atmosférica e conseqüentemente a diminuição da temperatura das águas, sobretudo continentais, que tiveram maior participação ao longo da primeira estação fixa.

Cabe um destaque também para a estação realizada na primavera, quando as temperaturas foram as mais altas, em média, ao longo de todo período amostral.

A 1ª e 2ª amostragens foram fortemente influenciadas pelas chuvas, mas a temperatura teve um comportamento individualizado, na primeira águas mais frias e na segunda águas mais quentes.

A campanha realizada no verão (3ª campanha) foi a que teve as maiores amplitudes térmicas, as águas foram sendo aquecidas ao longo das horas, sendo que o maior pico de temperatura foi encontrado nessa estação.

No outono a temperatura seguiu um padrão homogêneo, com quase nenhuma variação desse parâmetro, exceção feita às primeiras horas do trabalho.

Temperatura (° C)

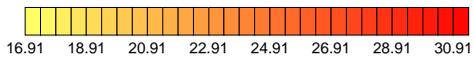
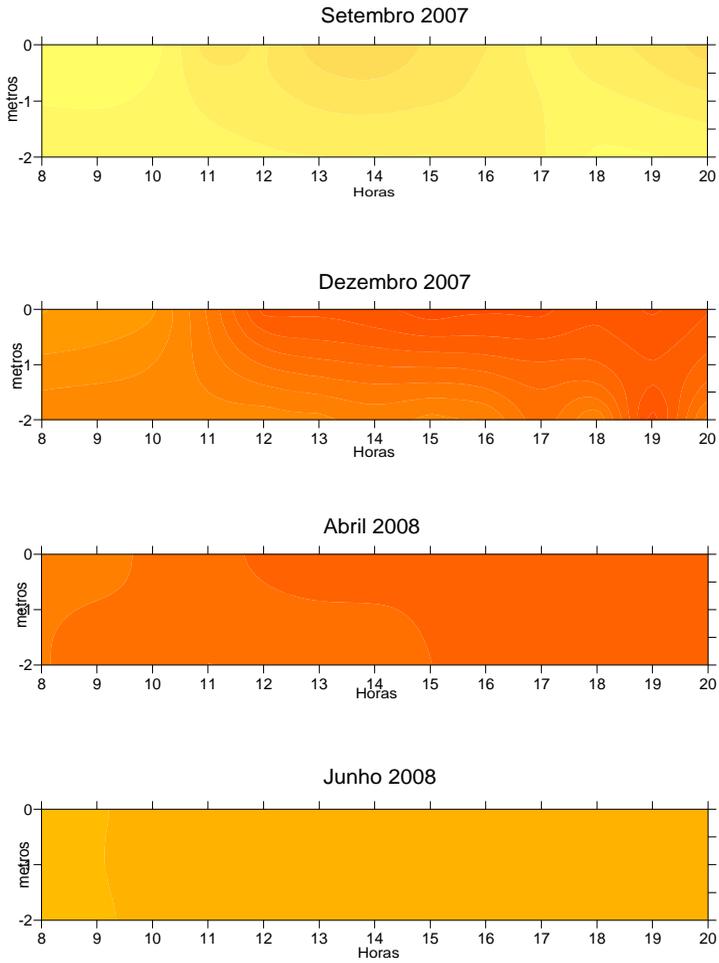


Figura 63: Temperatura da coluna d'água

6.6.3 - Turbidez

A turbidez esteve maior nas duas primeiras estações, com eventos meteorológicos intensos, ligados aos ventos e chuvas. Houve, assim, uma descarga fluvial muito maior, colaborando com o material particulado em suspensão.

De maneira geral, ao longo de todas as estações a turbidez se manteve em patamares baixos, sendo que o maior valor foi encontrado na estação de primavera, nas águas superficiais, reafirmando a influência das águas e materiais trazidos pelo rio Itapocu, para dentro da laguna.

A influência da maré, causando ressuspensão de sedimento junto à superfície, também não foi percebida de maneira intensa. Os valores nas proximidades do fundo foram menores que na superfície nas duas primeiras campanhas, onde a participação das águas continentais foram maiores. Nas campanhas de verão e outono a turbidez teve uma tendência a homogeneização na coluna d'água, e em momentos esteve discretamente maior junto ao fundo, principalmente na campanha de verão (3ª campanha).

Turbidez (NTU)

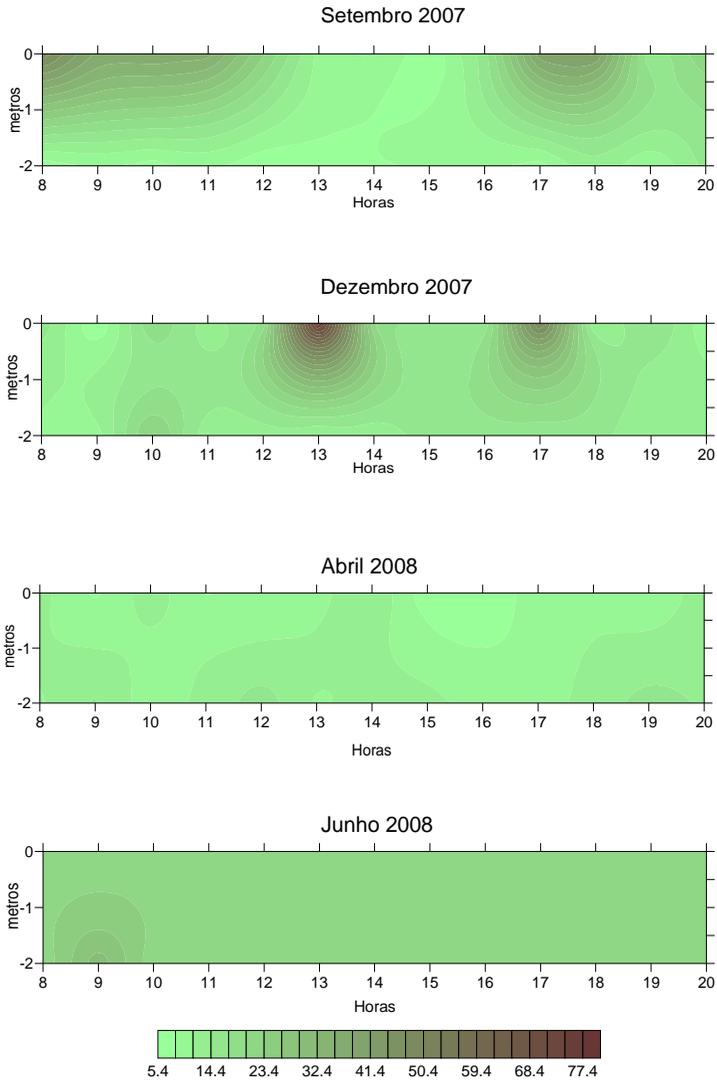


Figura 64: Dados de turbidez interpolados

6.6.4 - Oxigênio Dissolvido

O comportamento do oxigênio dissolvido em relação à sua variabilidade sazonal se deu como o esperado. Nas estações onde pode ser verificada uma temperatura das águas maior, na primavera e no outono, a solubilidade do oxigênio foi menor. Nas campanhas de inverno e verão o oxigênio dissolvido foi maior. Não se deve, entretanto, descartar o papel que a agitação promovida pelo vento (não amostrada) ou os padrões de fluxo marinho e fluvial podem ter causado sobre esse padrão.

Grande destaque deve ser feito para a campanha de verão que, apesar de ser uma estação onde as temperaturas estão mais elevadas, o oxigênio dissolvido manteve-se em concentrações altas, principalmente depois da metade da campanha amostral.

Outra análise interessante em relação à campanha de verão é que nela foram identificados alguns dos valores mais baixos e mais altos, analisando todas as estações fixas. Essa propriedade teve uma variação intensa ao longo das 13 horas de realização dos trabalhos o que demonstra o dinamismo da área de estudo

Dentre todas as campanhas realizadas, a primavera apresentou uma condição geral de valores de oxigênio dissolvido constantemente mais baixos que as demais estações.

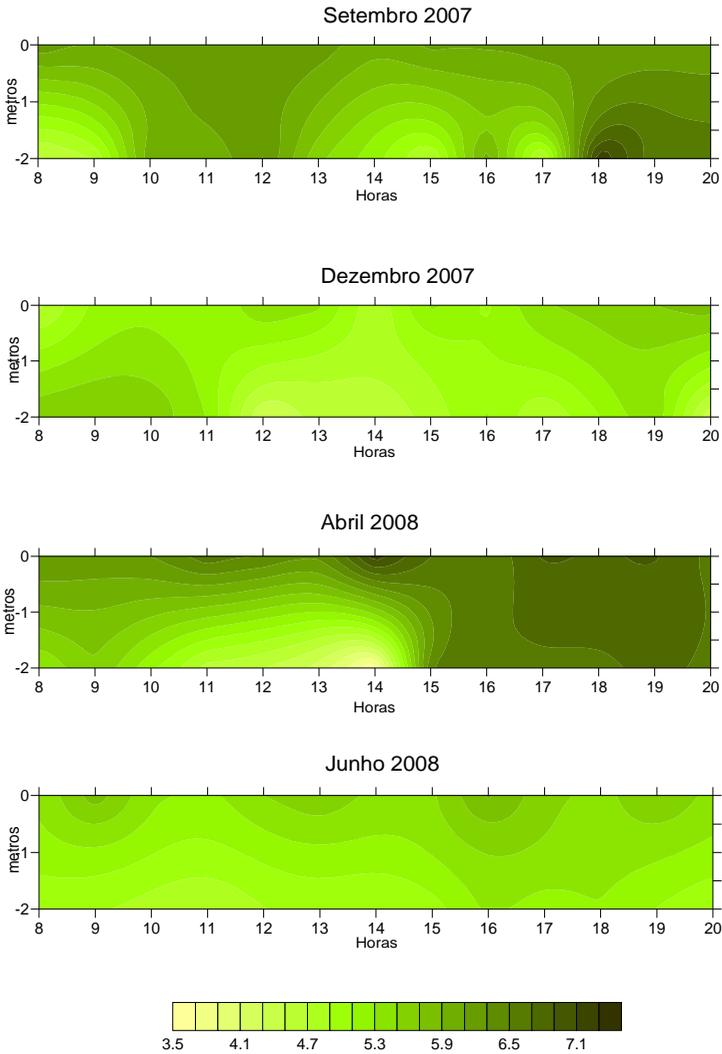
Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Figura 65: Variação do oxigênio dissolvido nas quatro estações fixas

6.6.5 - pH

Assim como a turbidez o pH também teve uma distinção entre as duas primeiras e as duas últimas campanhas.

Nas campanhas de inverno (1ª Campanha) e primavera (2ª Campanha) houve uma estratificação da coluna d'água, águas mais ácidas, com menor pH, foram encontradas juntas a superfície, enquanto as águas mais neutras e alcalinas estavam associados às águas nas camadas mais inferiores.

Já nas duas últimas campanhas, verão (3ª Campanha) e outono (4ª Campanha), as águas estiveram mais homogêneas, sendo que em alguns momentos houve tendências pontuais em uma maior alcalinidade.

Novamente as condições do tempo influenciaram os valores do pH da das águas próximas a desembocadura do sistema Estuarino-lagunar do Itapocú.

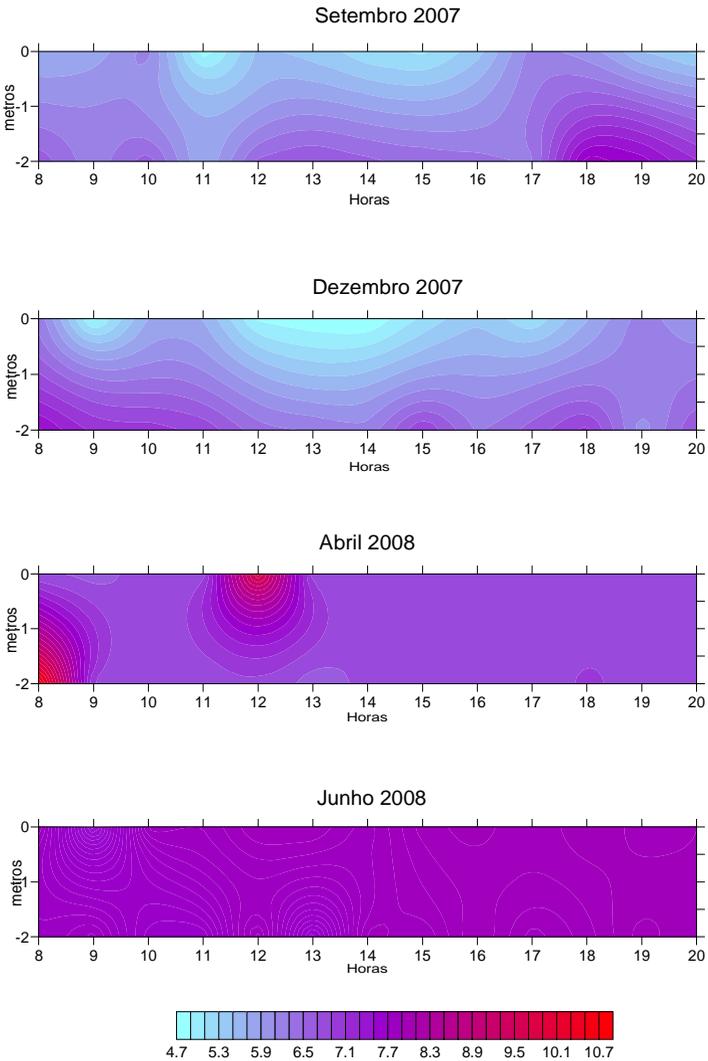
pH

Figura 66: pH ao longo das campanhas amostrais

Os valores encontrados ao longo do trabalho foram em alguns momentos semelhantes aos obtidos por outros autores. A grande dificuldade foi encontrada na compatibilização das campanhas, visto que a maioria dos estudos contempla uma única estação fixa não havendo uma integração sazonal das campanhas como foi realizado neste trabalho.

Ao analisarmos os parâmetros físico-químicos no trabalho de Schettini e Carvalho (1998), que são apenas a salinidade e turbidez, pode-se perceber alguma similaridade com os dados encontrados em algumas campanhas dessa pesquisa.

Os valores de salinidade foram muito semelhantes à campanha de dezembro, onde as médias para superfície foram por volta de 5PSU e nas proximidades do fundo os valores estiveram por volta de 20PSU. No trabalho de Schettini e Carvalho (1998) a salinidade registrada em superfície teve uma variação de 3 até 6PSU e no fundo entre 24 e 27PSU.

Com relação à turbidez não houve uma aproximação dos dados, enquanto em quase todas as campanhas os valores mais elevados foram junto à superfície, fato que pode ser explicado devido ao grande aporte de águas continentais despejadas no sistema pelo rio Itapocú, carregadas de partículas sólidas em suspensão em detrimento a ressuspensão do sedimento de fundo causada pela amplitude de maré, em Schettini e Carvalho (1998) os valores mais significativos de turbidez foram encontrados nas camadas inferiores da coluna d'água, enquanto os menores adquiridos junto a superfície.

Apesar de terem sido realizadas numa mesma época do ano, em dezembro, as semelhanças se estiveram restritas a salinidade.

Outro trabalho que serve como referência e comparação para o estudo realizado nessa dissertação é o artigo escrito por Bonetti et al. (2000), onde as coletas foram realizadas nos dias 17 e 18 de abril. Novamente a comparabilidade entre os trabalhos ficará restrita, visto que, este trabalho também se valeu de apenas uma campanha amostral. O trabalho foi desenvolvido com base em coletas num perfil longitudinal ao longo do estuário e serão utilizadas como comparação as coletas realizadas na desembocadura do sistema.

Quanto aos parâmetros estudados, a temperatura teve uma pequena variação ao longo da coluna d'água. Os maiores valores foram encontrados junto às proximidades do fundo. Nesse nível os dados encontrados ficaram entre 24,6°C e 25,4°C. Esses valores foram obtidos na preamar e na baixa-mar.

Ao compararmos esse trabalho com a campanha realizada em abril, na mesma época do ano, os valores inicialmente tiveram uma semelhança. Em abril, os valores mais elevados estavam junto ao fundo, mas com o passar do tempo a temperatura foi aumentando junto à superfície e nesse momento a temperatura teve um máximo de 26,9°C.

Fazendo uma análise das demais campanhas amostrais em nenhuma delas há uma similaridade entre o trabalho de Bonetti et al (2000) e os dados desta dissertação. Muito dessa diferença pode ser explicada pelas condições meteorológicas ao longo dos trabalhos de campo.

A salinidade teve um grau de aproximação maior com os dados das quatro campanhas. De maneira geral foi respeitado o padrão clássico de distribuição da salinidade, onde os maiores valores são encontrados junto ao fundo.

A campanha onde os padrões de distribuição foram mais parecidos foi justamente a de abril. Na baixa-mar a estratificação foi mais acentuada, quando as águas continentais influenciavam mais na metade superior da coluna. Com a preamar essa estratificação diminuiu muito, as águas oceânicas tiveram uma maior participação ao longo de toda coluna. Novamente cabe afirmar que esse é um padrão clássico de distribuição da salinidade.

A campanha onde os dados foram mais discrepantes foi a de dezembro por uma contribuição muito grande das águas continentais diminuindo a salinidade ao longo de toda estação.

A turbidez pode ser bem correlacionada entre um trabalho e outro. Os valores da turbidez nas quatro campanhas e nas duas coletas de Bonetti et. al (2000) foram baixos na área da desembocadura. Esse fato demonstra uma confirmação de que as tendências são de valores baixos para turbidez na desembocadura, fato identificado nos dois trabalhos.

O oxigênio dissolvido foi completamente diferente, enquanto, no trabalho de Bonetti et al (2000), houve uma homogeneização da coluna d'água. Os valores encontrados estavam entre 5 e 6mg/L. Esses dados foram encontrados tanto na baixa-mar quanto na preamar. Já na presente dissertação, os dados apontaram para maiores concentrações junto à superfície. O momento onde o comportamento foi parecido com o trabalho de Bonetti et. al (2000) foi a partir da segunda metade da campanha realizada em abril.

O pH possui uma correlação bastante interessante entre os dois trabalhos, de maneira geral, nos dois trabalhos as águas com menor potencial hidrogeniônico estavam localizadas junto a superfície. O que

também segue de acordo com padrão dito normal para distribuição desse parâmetro ao longo da coluna d'água.

Na análise dos parâmetros físico-químicos, fica clara a necessidade de estratégias amostrais com escalas temporais mais longas para que possa ter uma caracterização mais fidedigna do comportamento desses parâmetros na área de estudo. Até mesmo a comparação entre os trabalhos fica bastante dificultada, visto que de um lado temos dados de uma campanha amostral e de outro temos quatro campanhas ao longo de um ano e cada uma com uma especificidade em relação às condições de coleta.

Os dados das correntes de Schetinni e Carvalho (1998) foram ainda, levemente, mais baixos do que os encontrados na presente pesquisa. O valor máximo encontrado por esses autores foi de 24,0 cm/s e o mínimo foi de 1,0 cm/s. As estratégias amostrais foram parecidas, uma estação fixa com duração de um ciclo de maré. A comparação entre os dois trabalhos reafirma a pequena intensidade das correntes na desembocadura sistema.

7 – CONCLUSÃO

Um cenário sazonal da distribuição espacial das propriedades físico-químicas na coluna d'água e circulação nas proximidades da desembocadura do sistema estuarino-lagunar do Rio Itapocu pode ser avaliado através desta pesquisa. Ficou claro que, de acordo com o que foi verificado ao longo das quatro campanhas realizadas, em episódios com elevados índices pluviométricos, torna-se naturalmente muito maior participação das águas continentais provenientes do rio Itapocu.

Isso muda o padrão habitual esperado para o sistema. Por vezes, há grande vazão do rio Itapocú, dificultando a entrada das águas marinhas, trazendo material de origem continental e também os efluentes urbanos das cidades que são atravessadas pelo rio.

Ficou clara a intensa variabilidade hídrica da área de estudo. Foram observadas variações ao longo do dia, associadas à penetração da maré, que alteram significativamente os parâmetros físico-químicos da coluna d' água. Sobreposta a esta, foi verificada também uma variação sazonal nas propriedades. Tais variações estão ligadas a fatores de maior abrangência, como aumento ou diminuição da insolação (verão/inverno) e aos padrões de circulação atmosférica para a área, que são específicos para cada estação do ano, alterando principalmente as condições de chuvas e ventos.

Com a análise dos dados de correntes, pode-se verificar a presença de uma dinâmica local relacionada principalmente à oscilação de maré e influência fluvial. As velocidades das correntes mantiveram-se, de modo geral, baixas. Em nenhuma das estações amostrais, a velocidade das correntes apresentou média acima de 15 cm/s.

Com relação às direções das correntes, pode-se concluir que o jogo de forças nessa região gerou, em alguns momentos, um cenário irregular nos sentidos das correntes. Esse fato foi verificado ainda com mais clareza nas campanhas nas quais os índices pluviométricos foram mais altos, na 1ª e 2ª campanhas.

O mapeamento do uso do solo mostrou uma intensa exploração do meio ambiente, com boa parte das terras do entorno do sistema dedicadas tanto a atividades agropecuárias quanto à ocupação urbana. Essa condição mostra a fragilidade da área e confirma a necessidade de investigações mais complexas e sofisticadas para uma utilização socioambientalmente segura.

A área é amplamente utilizada pelas comunidades locais que dependem da qualidade ambiental das águas do sistema e, num primeiro entendimento sobre o processo de renovação, é notável que ele se dá de

uma forma mais lenta do que se esperaria. Sendo assim, as atividades que utilizam esse recurso e dependem da sua qualidade devem fazer rigorosos planos de manejo e controle a fim de que se possa garantir uma relação equilibrada entre os aspectos naturais e sociais. A área de estudo demonstra uma fragilidade alta, visto que é o escape de um sistema muito maior que vem sofrendo alterações ambientais severas, resultantes do intenso processo da urbanização, industrialização e do aumento das atividades agropecuárias.

Em relação à metodologia, foram necessárias algumas alterações no planejamento inicial, alguns aspectos foram privilegiados em detrimento a outros para que a pesquisa mantivesse um caráter conciso. Podemos concluir que a metodologia e as estratégias adotadas atenderam satisfatoriamente os objetivos desta pesquisa.

Enfim, para a realização de um estudo mais amplo e conclusivo, faz-se necessária uma série temporal maior, que possa levar à compreensão de aspectos adicionais da complexidade desse importante ambiente.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRD, E. Coastal Geomorphology: An Introduction. John Wiley & Sons Ltd. New York. 322 p. 2000.

BONETTI, C.; BURONE, L. M.; BÚSSOLO JÚNIOR, G.; FARACO, K.; LEAL, P.C. & BONETTI FILHO, J. Considerações sobre o Sistema Estuarino – Lagunar do Itapocu (SC) com base no uso de Foraminíferos como bioindicadores ambientais. *In: XIII Semana Nacional de Oceanografia. Anais. CTTMar / UNIVALI, Itajaí, p. 126-128. 2000.*

BONETTI FILHO, J. Transporte de sedimentos por suspensão nas proximidades da Barra de Cananéia - SP. São Paulo. Universidade de São Paulo. Mestrado, Instituto Oceanográfico, 1995.

CAMERON, W. M. & D. W. PRITCHARD. Estuaries. In M. N. Hill: *The Sea* vol. 2, John Wiley and Sons, New York, 306 – 324. 1963.

CARUSO JR. Estudo de Impacto ambiental – EIA/RIMA. 2000.

DYER, K.R. Estuaries: A physical introduction. Wiley-Interscience. New York and London. 1973.

DYER, K.R. Coastal and estuarine sediment dynamics. John Wiley & Sons, London, 342 p. 1986.

ESTEVES, F.A.; Lagoas Costeiras: Origem, Funcionamento e Possibilidade de Manejo. *In: Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). Núcleo de Pesquisas de Macaé - UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.*

FAIRBRIDGE, R.W. Estuary. *In: Fairbridge, R.W. (Ed.). The encyclopedia of geomorphology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Vol. III. Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, p. 325-330. 1968*

FRITZEN. L. B. Composição, origem e grau de enriquecimento do material orgânico sedimentar no setor Norte do sistema Estuarino-lagunar do Itapocú, SC. UFSC. 2007.

GONÇALVES, M. L. 1993. Geologia para planejamento de uso e ocupação territorial do município de Joinville. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993.

HORN FILHO, N. O. O Quaternário costeiro da ilha de São Francisco do Sul e arredores, nordeste do Estado de Santa Catarina - aspectos geológicos, 159 evolutivos e ambientais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 283p. 1997.

ISLA, F.I.; Coastal Lagoons. In: PERILLO, G.M.E. (Ed) Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Elsevier Science, 1995, p 241 – 267.

KAUL, P. F. T.; TEIXEIRA, W. Archean and early proterozoic complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo states, south-southeastern Brazil: an outline of their geological evolution. Revista Brasileira de Geociências, 12 (1):172-182. 1982

MIRANDA, L.B; CASTRO, B.M; KJERFVE, B. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. 409 p. Edusp. 2002.

MONTEIRO, M. A. & FURTADO, S. M. A. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. Revista Geosul, 19/20: 117-133. 1995.

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. Revista Geosul, 16(31): 117-133. 2001.

PHELEGER, F.B. Some General Features of Coastal Lagoons. In: A. AYALACASTAÑARES and F.B. PHELEGER (Editors), Lagunas Costeras, un Simposium. UNAM-UNESCO, Mexico, pp. 5-26. 1969.

PRITCHARD, D. W. Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics* 1, 243 – 280. 1952.

PRITCHARD, D.W. Estuarine classification – a help or a hindrance. In: Neilson, N.J.; Kuo, A. & Brubaker, J. (Eds.). *Estuarine circulation*. Humana Press, Clifton, p.1-38. 1989.

SCHETTINI, C.A.F. & CARVALHO, J.B.L. Hidrodinâmica e distribuição de sedimentos em suspensão dos estuários dos rios Itapocu, Tijucas e Camboriú. *Notas Técnicas da FACIMAR*, 2: 141-153. 1998.

SCHETTINI, C.A.F. & KLEIN, A.H.F. Processos Costeiros e dinâmica estuarina: um modelo para o estuário do rio Itapocu, Santa Catarina. *Boletim de resumos do VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, ABEQUA, Curitiba. P. 127-131. 1997.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE. *Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina. Diagnóstico Geral*. p.163 Florianópolis, 1997.

STEVENSON, R. E. 1968. Lagoon. In: Fairbridge, R.W. (ED.). *The encyclopedia of Geomorphology*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Vol. III. Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, p. 590-594. 1968.

SUGUIO, K. *Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Bertrand Brasil, 1217 p. 1998.

VIEIRA. C. V. *Mapeamento Geológico Costeiro e Evolução Paleogeográfica do setor oriental da folha Garuva, Nordeste de Santa Catarina, Brasil*. UFSC. 2008.

VILLWOCK, J.A. *A Costa Brasileira: Geologia e Evolução*. *Notas Técnicas*. CECO. UFRGS, Porto Alegre, n 7, p 38 - 49, 1994.