



COPPE/UFRJ

**INVESTIGAÇÕES SOBRE A ESTRATIFICAÇÃO NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS
– RJ E SEUS EFEITOS NO COMPORTAMENTO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO**

Diogo de Oliveira Marques

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientadores: Susana Beatriz Vinzon
Josefa Varela Guerra

Rio de Janeiro
Agosto de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

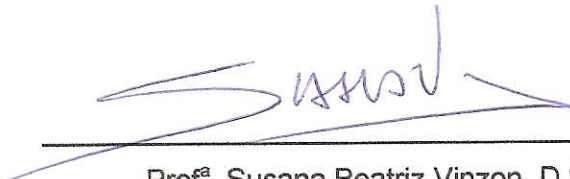
Milhares de livros grátis para download.

INVESTIGAÇÕES SOBRE A ESTRATIFICAÇÃO NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS
– RJ E SEUS EFEITOS NO COMPORTAMENTO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Diogo de Oliveira Marques

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

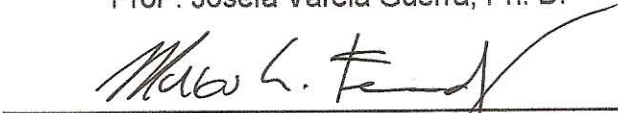
Aprovada por:



Prof^a. Susana Beatriz Vinzon, D.Sc.



Prof^a. Josefa Varela Guerra, Ph. D.



Prof. Marcos Fernandez, D.Sc.



Prof. Carlos Eduardo Parente Ribeiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
AGOSTO DE 2009

Marques, Diogo de Oliveira

Investigações sobre a estratificação na Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ e seus efeitos no comportamento do oxigênio dissolvido / Diogo de Oliveira Marques. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

X, 109p.:il.; 29,7 cm

Orientadoras: Susana Beatriz Vinzon,
Josefa Varela Guerra

Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Oceânica, 2009.

Referências Bibliográficas: p. 102-105

1. Lagoa Rodrigo de Freitas. 2. Estratificação. 3. Hidrodinâmica. 4. Oxigênio Dissolvido. I. Vinzon, Susana Beatriz *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título

*“Ou quem encerrou o mar com portas, quando
este rompeu e saiu da madre;
Quando eu pus as nuvens por sua vestidura, e a
escuridão por faixa?
Quando eu lhe tracei limites, e lhe pus portas e
ferrolhos,
E disse: Até aqui virás, e não mais adiante, e aqui
se parará o orgulho das tuas ondas?”
Jó Cap. 38, 8 a 11*

*“ E aconteceu que, num daqueles dias, entrou
num barco com seus discípulos, e disse-lhes:
Passemos para o outro lado do lago. E partiram.
E, navegando eles, adormeceu; e sobreveio uma
tempestade de vento no lago, e enchiam-se de
água, estando em perigo.
E, chegando-se a ele, o despertaram, dizendo:
Mestre, Mestre, perecemos. E ele, levantando-se,
repreendeu o vento e a fúria da água; e cessaram,
e fez-se bonança.
E disse-lhes: Onde está a vossa fé? E eles,
temendo, maravilharam-se, dizendo uns aos
outros: **Quem é este, que até aos ventos e à
água manda, e lhe obedecem?”**
Evangelho de Lucas Cap. 8, 22 a 25*

*DEDICO ESTE TRABALHO AQUELE A QUEM O VENTO E A ÁGUA
OBEDECEM: JESUS!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS!

As minhas orientadoras, Susana Vinzon e Josefa Varela Guerra, muito obrigado pela confiança depositada e pela muita paciência necessária à orientação.

Agradeço ao Professor Carlos Eduardo Parente, pela ajuda com a análise dos dados e ensinamentos fundamentais.

Agradeço ao Professor Benoit Le Guenec, por todas as contribuições dadas a este trabalho.

Agradeço à Marise, secretária da Engenharia Costeira, sempre atendendo com alegria e fazendo o melhor por todos nós!

Agradeço ao INEA/GEQUAM, pela cessão dos dados de perfis verticais de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido.

Agradeço a meus pais por toda uma vida de caminhada!

Agradeço a toda a Igreja Batista Monte Gerizim pelo apoio e orações.

Agradeço a todos os colegas de turma no mestrado: obrigado pela motivação!

Agradeço aos crocodilos pelo incentivo: Fábio, Daniel, Tomás, Renato Cordeiro, Carol e Mariana Pardal.

Agradecimento especial a Daniel Dias Loureiro pela cessão dos dados meteorológicos e por sempre ser uma “fonte do saber” sobre a Lagoa Rodrigo de Freitas.

Obrigado à Gabriela Maciel, pela base que lançou para o presente trabalho.

Agradeço a todos do LDSC pelo ambiente agradável, pela ajuda nas coletas, pelas conversas produtivas, pelo apoio, muito obrigado! Vocês são para mim um exemplo de dedicação à pesquisa.

Agradeço ao seu Orlando, pelo apoio logístico nas coletas: este realmente sabe muito sobre a lagoa!

Agradeço ao João Prado e pessoal da GeoPrime pelo apoio e pelo tempo que me cederam no início do mestrado.

Agradeço a meus “sogros” Pr Paulo e Vera: sempre me dando força!

POR ÚLTIMO, MAS NÃO MENOS IMPORTANTE AGRADEÇO A MINHA ESPOSA, PRISCILA: SEM VOCÊ, ESTA TAREFA (E TODAS AS OUTRAS) SERIAM VIRTUALMENTE IMPOSSÍVEIS!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

INVESTIGAÇÕES SOBRE A ESTRATIFICAÇÃO NA LAGOA RODRIGO DE FREITAS
– RJ E SEUS EFEITOS NO COMPORTAMENTO DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Diogo de Oliveira Marques

Agosto / 2009

Orientadoras: Susana Beatriz Vinzon
Josefa varela Guerra

Programa: Engenharia Oceânica

Este trabalho trata de uma investigação acerca da estratificação na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil e sua relação com a variação de concentração de oxigênio dissolvido (OD) na coluna de água. Foi feita uma análise de dados de perfis de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido medidos entre 2005 e 2008. Os dados foram comparados com parâmetros meteorológicos e analisados de forma mais incisiva através de campanhas de medição no local. Os resultados mostraram a influência da estratificação, regime de ventos e circulação nas concentrações de O.D na coluna de água.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

INVESTIGATIONS ON THE STRATIFICATION AT RODRIGO DE FREITAS LAGOON,
RJ, AND ITS EFFECTS ON THE DISSOLVED OXYGEN BEHAVIOR

Diogo de Oliveira Marques

August / 2009

Advisors: Susana Beatriz Vinzon
Josefa Varela Guerra

Department: Ocean Engineering

The present work investigates the stratification at Rodrigo de Freitas Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil, and how it relates to the dissolved oxygen (DO) variation in the water column. Vertical profiles of temperature, salinity and dissolved oxygen data between 2005 and 2008 were analyzed. The data was compared with meteorological parameters and most profoundly analyzed through *in situ* measurements. The results showed the influence of stratification, winds and circulation on the D.O. concentrations through the water column.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1	DINÂMICA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM LAGOAS COSTEIRAS TROPICAIS	4
2.2	ESTRUTURA TERMO-HALINA (DENSIDADE)	6
2.2.1	<i>Distribuição de Temperatura</i>	<i>7</i>
2.2.2	<i>Distribuição do Sal.....</i>	<i>9</i>
2.3	HIDRODINÂMICA DE LAGOAS COSTEIRAS.....	11
3	ESTUDO DE CASO: LAGOA RODRIGO DE FREITAS	14
4	METODOLOGIA	17
4.1	COLETA DE INFORMAÇÕES COM ÓRGÃOS AMBIENTAIS.....	17
4.2	CAMPANHAS DE DETALHAMENTO	19
4.2.1	<i>Campanha de 27/03 a 11/04/2006.....</i>	<i>19</i>
4.2.2	<i>Campanha de 30/09 a 14/10/2008.....</i>	<i>21</i>
4.3	TRATAMENTO DOS DADOS.....	22
5	RESULTADOS.....	23
5.1	CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DO PERFIL VERTICAL.....	23
5.1.1	<i>2005.....</i>	<i>23</i>
5.1.2	<i>2006.....</i>	<i>27</i>
5.1.3	<i>2007.....</i>	<i>31</i>
5.1.4	<i>2008.....</i>	<i>36</i>
5.1.5	<i>Variação Interanual</i>	<i>40</i>
5.2	CAMPANHAS DE DETALHAMENTO	42
5.2.1	<i>Campanha de 27/03 a 11/04/2006.....</i>	<i>42</i>
5.2.2	<i>Campanha de 30/09 a 14/10/2008.....</i>	<i>53</i>
6	DISCUSSÃO	65
6.1	ESTRATIFICAÇÃO E OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	65
6.1.1	<i>Formação, Duração e Intensidade da Estratificação</i>	<i>65</i>
6.1.2	<i>Gradientes de Densidade e Oxigênio Dissolvido.....</i>	<i>68</i>
6.2	CIRCULAÇÃO E OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	76
6.3	VENTOS E OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	82
6.3.1	<i>Caracterização Sazonal do vento</i>	<i>83</i>
6.3.2	<i>Efeitos do Vento na Estratificação e no O.D.....</i>	<i>91</i>
6.3.3	<i>Efeitos do Vento na Circulação</i>	<i>95</i>
6.3.4	<i>Efeitos do Vento na Ressuspensão de Sedimentos</i>	<i>95</i>

7 CONCLUSÕES	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS	106
ANEXO 1: LISTAGEM DAS DATAS E HORAS DA COLETA DOS DADOS PELO INEA / GEQUAM	107

1 INTRODUÇÃO

Ambientes lagunares desempenham importante papel na zona costeira, tanto do ponto de vista da sua interação dinâmica com o mar, como do ponto de vista sócio-econômico, para as comunidades que o cercam. Lagoas costeiras em zonas urbanas constantemente sofrem problemas de qualidade da água, devido às diversas pressões antrópicas, como é o caso da Lagoa Rodrigo de Freitas, importante ponto turístico da cidade do Rio de Janeiro.

Um problema recorrente nesses ambientes é a depleção do oxigênio dissolvido, que pode ocorrer em algumas camadas ou atingir toda a coluna d'água. Isto ocorre em lagoas costeiras urbanas onde verifica-se a presença de estratificação de densidade, a circulação é restrita e o aporte de matéria orgânica é alto. Essas características combinadas formam massas d'água estratificadas ou estáveis próximas ao fundo, e a eutroficação estimula o crescimento da biota heterotrófica na camada superior da coluna d'água, o que aumenta o consumo de oxigênio na camada de fundo para decomposição da matéria orgânica detrital assim produzida. Estando isoladas da reoxigenação pela estratificação, essas massas d'água de fundo se tornam hipóxicas, e com a contribuição da atividade das comunidades bacterianas, podem chegar a anoxia em função do consumo de oxigênio na camada de mistura pela oxidação dos compostos produzidos por esta comunidade bacteriana, dominante nestas condições (Simas, 2007).

Tanto a depleção do oxigênio quanto a produção de compostos nocivos à biota (H_2S , por exemplo) são relacionados em alguns estudos como as principais causas de eventos de mortandade em massa de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas (Calixto, 1990; COPPETEC, 1992; Santa Rosa, 2003; Maciel, 2007; Simas, 2007).

Dentro desse contexto, o presente trabalho realizou a análise de dados pré-existentes cedidos por órgãos ambientais e levantamento de dados hidrológicos (correntes) e meteorológicos a fim de se aprofundar no conhecimento das variáveis físicas e avaliar sua contribuição para o controle dos níveis de oxigênio na Lagoa Rodrigo de Freitas.

Sendo assim, esta dissertação tem como objetivo investigar o comportamento dos níveis de oxigênio dissolvido e sua relação com a dinâmica da estratificação termohalina na Lagoa Rodrigo de Freitas, caracterizando sua intensidade e variação

temporal, e identificando os principais agentes forçantes da circulação. Os objetivos específicos são:

- Analisar dados de perfis de salinidade e temperatura coletados na lagoa a fim de caracterizar o comportamento da estrutura de densidade;
- Comparar os padrões de estratificação / mistura da coluna d'água com dados meteorológicos para investigar até que ponto sua dinâmica é influenciada pelo regime de ventos;
- Analisar dados de concentração de oxigênio dissolvido na lagoa e buscar uma relação desses níveis com os padrões de estratificação, circulação e ventos.

Para atingir tais objetivos, a dissertação foi estruturada da seguinte maneira: O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica, centralizada nos fatores que controlam as concentrações de oxigênio dissolvido na coluna d'água, aprofundando-se na estratificação e circulação. O Capítulo 3 traz características básicas sobre a Lagoa Rodrigo de Freitas, objeto de estudo. O Capítulo 4 traz informações sobre os dados disponíveis, descrevendo ainda os métodos de coleta e tratamento dos dados. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos nas análises dos dados de variação sazonal e das campanhas de detalhamento realizadas para o estudo. O Capítulo 6 traz a discussão sobre os resultados encontrados, buscando relações entre o comportamento do oxigênio dissolvido e a estratificação, circulação e regime de ventos. O Capítulo 7 contém as considerações gerais sobre a combinação dos resultados, as conclusões resultantes das análises e os padrões de comportamento dos parâmetros que puderam ser identificados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Goldman & Horne (1983), “Limnologia é o estudo de águas doces ou salgadas contidas em áreas continentais”. Esteves (1998), define limnologia como o “estudo ecológico de todas as massas d’água continentais, independentemente de suas origens, dimensões e concentrações salinas”. A limnologia enquanto ciência possui um vasto campo de estudos, uma vez que seu enfoque não se limita a vida dos organismos, mas o estudo dos ambientes aquáticos como um todo: seus aspectos geológicos, físicos, químicos, biológicos e até mesmo sua interação com a atmosfera (Esteves, 1998).

Devido à diversidade de objetos de estudo inseridos na definição da limnologia (que vai desde o ambiente criado pelo acúmulo de água na bacia de plantas, passando por riachos, açudes, lagos e estende-se até um estuário), as águas continentais mostraram-se ambientes únicos e complexos, passando a ser objeto de pesquisa multidisciplinar demandando o esforço de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento.

Sendo assim, as chamadas águas interiores mostraram possuir uma estrutura de caráter particular, que exige uma visão sistêmica, mas que oferece uma série de desafios para os pesquisadores interessados nesse tipo de ambiente.

Considerando o atual momento da humanidade, e a crescente preocupação com o meio ambiente, o estudo da limnologia tornou-se fundamental, pois lida diretamente com um recurso natural essencial (água) em ambientes que já passaram, passam ou poderão passar por intensa pressão antrópica.

Dentre os corpos de águas interiores mais pressionados e complexos, podemos citar aqueles que se encontram no litoral. Pressionados porque as áreas costeiras concentram uma grande parcela da população mundial; complexos porque tais ambientes possuem geralmente um nível de troca de água com o mar, cuja intensidade afeta diretamente a dinâmica lagunar, mas que varia no espaço e no tempo.

Tais ambientes geralmente são chamados lagoas costeiras. Por definição, o termo correto a ser utilizado é laguna ou laguna costeira, mas devido a sua ampla utilização

e aceitação de caráter regional, neste trabalho o termo lagoa costeira também será utilizado (Esteves, 1998; Kjerfve e Magill, 1989)

Kjerfve e Magill (1989) definem lagoas costeiras como corpos d'água interiores rasos, normalmente paralelos à costa, separados do oceano por uma barreira, com o qual se conectam por um ou mais canais restritos de maré. Podem estar sujeitas ou não aos processos de mistura ligados às marés, e a salinidade pode variar de zero a condições hipersalinas, dependendo do balanço hidrológico.

2.1 Dinâmica do oxigênio dissolvido em lagoas costeiras tropicais

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O_2) é um dos mais importantes na dinâmica de ecossistemas aquáticos, amplamente utilizado na caracterização de dos mesmos (Esteves, 1998; Buffoni, 1999). Além disso, o oxigênio participa de muitas importantes reações químicas e biológicas, tornando-se uma substância química muito estudada. Sua distribuição em águas naturais fornece uma medida conveniente da produção orgânica e produção, formando a base de muitos métodos de medição de produção primária. Soma-se a isso o fato de que a presença desse gás é fundamental à respiração da biota, essencial à sobrevivência de muitas formas de vida aquáticas (Goldman & Horne, 1983; Becker *et al.*, 2009).

As principais fontes de oxigênio para a água são a fotossíntese e a difusão da atmosfera, sendo que a primeira é majoritária. A fotossíntese resulta da atividade de transformação de energia luminosa por parte de diversos organismos e a difusão atmosférica ocorre pela diferença de concentrações parciais de O_2 entre os dois meios, sendo favorecida pela turbulência gerada pela ação de ventos (Goldman & Horne, 1983).

O oxigênio é consumido na coluna d'água pela respiração dos organismos, pela decomposição da matéria orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio – D.B.O.), e pela sua utilização na oxidação de compostos químicos (Demanda Química de Oxigênio – D.Q.O.) (Goldman & Horne, 1983; Maciel, 2007).

Existem ainda fatores que não produzem ou consomem o oxigênio propriamente dito, mas que limitam ou favorecem esses processos. Tais fatores podem ser chamados de fatores controladores. Um fator controlador direto é a solubilidade do O_2 na água, que é função basicamente da temperatura e da salinidade. Quanto mais quente e mais

salina a água, menor a solubilidade (capacidade de conter o gás) de oxigênio (Esteves, 1998).

Fatores controladores indiretos podem assumir um papel primordial na dinâmica de oxigênio dissolvido, especialmente em ambientes característicos como lagoas costeiras: a estratificação de densidade, a circulação e a disponibilidade de matéria orgânica (Esteves, 1998; Simas, 2007). A interação entre esses três fatores pode causar depleção do oxigênio dissolvido, quando ocorre da seguinte maneira:

A atividade respiratória de bactérias, fungos, protozoários e animais decompõe a fração detrital da matéria orgânica, consumindo oxigênio nesta reação. Se a taxa de consumo de oxigênio em um determinado lugar é próxima ou maior do que o suprimento, as concentrações de O.D. serão baixas. Isto pode ocorrer em corpos d'água onde a produção primária da porção superior é alta e a circulação das águas junto ao fundo é relativamente fraca. Enquanto a alta produção da camada superior garante um grande fluxo de matéria orgânica, a estagnação da água de fundo limita a chegada de águas ricas em O.D. Esta condição favorece ainda a atividade de bactérias anaeróbias, que produzem compostos redutores que, para sua oxidação também consomem quantidade significativa de oxigênio (Libes, 1992; Esteves, 1998).

Esta condição é potencializada quando a coluna d'água apresenta uma barreira de densidade (estratificação) que separa os dois compartimentos, isolando a camada inferior da aeração superficial e favorecendo os processos de degradação da matéria orgânica e oxidação dos compostos químicos produzidos pelas comunidades bacterianas anaeróbias. Sob tais condições, estas camadas de água mais profunda rapidamente podem desenvolver condições de anoxia (ausência virtual de oxigênio dissolvido na água) durante longos períodos (Millero, 2000).

Quando estas condições se estabelecem, a água do fundo e os sedimentos adjacentes adquirem um caráter redutor, diferente da de superfície, que é oxidante. Passa então a ocorrer no ambiente uma variação repentina do potencial de oxirredução com a profundidade, formando o que chama-se de redoxclina na coluna d'água ou na interface água-sedimento (Santa Rosa, 2003; Simas, 2007).

Essas condições (alta produção, circulação restrita e presença de estratificação) não são raras de acontecer, em especial em lagoas costeiras tropicais sufocadas. Isto constitui um problema de qualidade de água, uma vez que em determinadas

condições a depleção dos níveis de oxigênio pode atingir toda a coluna d'água, causando mortandade de peixes em massa (COPPETEC, 1992; Becker *et al.*, 2009).

Isto ocorre quando, após um período de intensa estratificação, com condições anóxicas e redutoras estabelecidas junto ao fundo, os dois ambientes misturam-se por algum motivo, tornando o material orgânico do fundo disponível para oxidação. Com isto, os níveis de oxigênio da superfície caem, causando asfixia de peixes. Concomitantemente pode existir grande quantidade de compostos químicos redutores nas águas de fundo, resultado de respiração anaeróbica, por vezes venenosos (como o H_2S) e com alta capacidade de consumo de O_2 (Simas, 2007).

Nesse contexto, o vento também assume um papel de grande influência nas concentrações de O.D. na coluna d'água, pois possui potencial para quebra da estratificação, para ressuspensão de sedimentos com altos teores de matéria orgânica e compostos químicos redutores, além de condicionar processos de circulação através da geração de ondas e até mesmo ao aumentar a aeração na superfície.

No presente trabalho, serão consideradas condições de estresse para a comunidade aquática concentrações de O.D. inferiores a 5mg/L, valor encontrado na literatura (Talke *et al.*, 2009) e proposto como limite mínimo aceitável pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas salobras de Classe 1, nas quais se enquadra a Lagoa Rodrigo de Freitas. Ainda segundo Talke *et al.* (2009), o limite utilizado de hipoxia neste trabalho será de 2mg/L.

2.2 Estrutura Termo-Halina (Densidade)

Dentre os principais elementos estruturais de um ecossistema lagunar, podemos citar a estrutura imposta pela distribuição da densidade. A densidade pode ser definida como a relação entre a massa e o volume que ela ocupa. Os principais fatores que influenciam na densidade da água são a salinidade, temperatura e pressão. Quando camadas de água com diferentes densidades estão em contato, podem formar-se barreiras físicas. Quando essa condição se estabelece, pode-se dizer que a coluna d'água está estratificada, ou estável, com a água menos densa posicionada acima da mais densa. A intensidade da estratificação condiciona a distribuição de elementos químicos dissolvidos, nutrientes, poluentes e gases, além de influenciar na circulação da água, podendo ser considerada, portanto, um elemento estrutural primário. (Goldman & Horne, 1983; Esteves, 1998).

Uma lagoa tipicamente estratificada apresenta três regiões bem definidas. A porção superior, mais próxima a superfície, menos densa, é chamada de **epilímnio**. A região transicional, em que ocorre uma drástica mudança na densidade com a profundidade pode ser chamada de **metalímnio**. As águas mais profundas e mais densas correspondem ao **hipolímnio**.

Os corpos d'água podem ainda ser divididos de acordo com o padrão de estratificação, que também muda na escala temporal (Goldman & Horne, 1983). **Lagos dimíticos** apresentam predominância de estratificação, ocorrendo mistura (homogeneização) duas vezes ao ano, em momentos bem definidos, antes e depois do inverno, quando normalmente estão cobertos por gelo. Lagos com estratificação bem definida no verão e completamente homogêneos durante o inverno (uma mistura por ano) podem ser chamados de **monomíticos**.

Lagos muito profundos em que não há energia suficiente para misturar toda a coluna d'água são classificados como **meromíticos**. Em corpos d'água rasos, expostos ao vento e com invernos amenos, a estratificação se estabelece e é destruída com frequência, podendo ambas as situações durarem alguns meses, semanas, ou até mesmo dias. Esses lagos são classificados como **polimíticos**, pois a mistura ocorre algumas vezes por ano, sendo a configuração mais comum para lagoas costeiras.

Em grande parte, a estratificação dos lagos e reservatórios é consequência do efeito da temperatura sobre a densidade da água, sendo comum associar-se a zonação vertical à temperatura, correspondendo a termoclina ao metalímnio. Mas é importante ressaltar que embora a temperatura seja tipicamente um bom indicador dessa zonação, em lagoas costeiras com conexão com o mar, a estratificação da coluna d'água é principalmente decorrente da distribuição heterogênea da salinidade.

Logo, o que controla a estrutura é a densidade, e em lagoas costeiras torna-se necessário estudar a distribuição do calor e do sal e a combinação desses fatores em cada corpo d'água de forma específica.

2.2.1 Distribuição de Temperatura

A distribuição da temperatura em uma lagoa costeira ocorre como resultado do aquecimento ou resfriamento da água, que decorre principalmente do ganho ou perda de calor pela interface ar-água. Outras fontes de transferência de calor seriam as

trocas advectivas pelas massas d'água (operadas pela circulação) e, em menor escala, por trocas com os sedimentos (aquecimento geotermal, por exemplo) (Goldman & Horne, 1983; Smith, 1994).

Como principal resultado da radiação solar, o aquecimento reduz a densidade da água superficial, o que resulta em uma importante estrutura vertical em três camadas, com a água superior mais quente e menos densa sobre a inferior mais fria e densa. A zona de transição entre essas duas massas d'água distintas, com rápida mudança de temperatura em pequeno espaço físico é chamada de termoclina, e quando a salinidade é homogênea na coluna d'água, corresponde à própria estrutura de densidade (Goldman & Horne, 1983).

A definição da presença e posição da termoclina assume então um importante papel em diversos casos, uma vez que seu conhecimento pode ser o único indicador necessário para se conhecer a estratificação do corpo d'água. Sendo assim, mais do que as temperaturas absolutas de uma lagoa, o conhecimento de sua variação espacial e temporal é fundamental.

A presença da termoclina não é constante em alguns casos, surgindo ou desaparecendo em função de fatores como o clima e a meteorologia. Um menor aquecimento durante o inverno associado a fortes ventos que misturem a água podem homogeneizar a coluna d'água. Uma vez formada, sua posição também é variável, podendo ser mais profunda ou rasa, influenciando no tamanho do epilímnio e do hipolímnio (Perks, 2006).

O ciclo de aquecimento e resfriamento de lagoas costeiras ocorre em três escalas temporais distintas: **diurna**, como resultado do aquecimento pelo sol e resfriamento noturno; **sinótica**, que dura em torno de uma a duas semanas, em função de eventos meteorológicos, como passagens de frentes frias e massas de ar seco, alterando a cobertura de nuvens, velocidade do vento e temperatura do ar e; **sazonal**, obedecendo a variações no ângulo zenital do sol, produzindo um ciclo anual de aquecimento e resfriamento que acompanha, a grosso modo, as estações do ano (Smith, 1994).

Apesar da densidade mudar em função da temperatura, essa alteração não ocorre de forma linear, pois a diminuição da densidade é mais rápida nas temperaturas mais altas (Figura 1). Este fenômeno implica em uma maior facilidade para o

estabelecimento da estratificação térmica em ecossistemas aquáticos com temperaturas mais elevadas. Em lagoas tropicais verificam-se estratificações estáveis com diferença de apenas 3°C entre as camadas de água. Além disso, um vento capaz de desestabilizar a estratificação em uma lagoa com temperaturas absolutas mais baixas (em torno de 15°C) pode não ser capaz de homogeneizar uma coluna d'água com temperaturas entre 25°C e 28°C (Esteves, 1998).

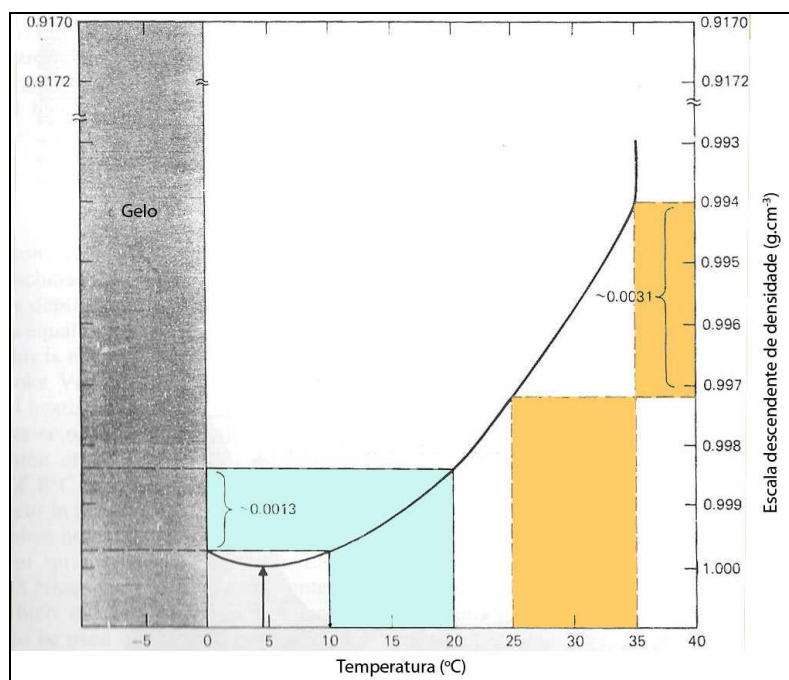


Figura 1: temperatura versus densidade (em escala descendente). A região em azul exemplifica o intervalo de menor variação da densidade. Em laranja, a mesma diferença (10°C) altera quase o triplo da densidade. Modificado de Goldman & Horne, 1983.

2.2.2 Distribuição do Sal

O sal encontra-se na água na forma de sais minerais dissolvidos. A concentração desses sais na água é conhecida como salinidade (Esteves, 1998). As lagoas costeiras podem apresentar concentrações baixíssimas ou elevadas de sais, dependendo, principalmente da existência e da intensidade de troca com a água do mar (Kjerfve & Magill, 1989), além do aporte fluvial, da relação entre precipitação e evaporação, da contribuição da bacia de drenagem e até mesmo das águas subterrâneas (Esteves, 1998).

Uma tentativa de padronização da terminologia propôs uma classificação das águas interiores em função da salinidade, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação de águas interiores de acordo com a salinidade, conhecida como “The Venice System”. (Adaptado de Esteves, 1998).

Classificação	Salinidade (‰)
Hiperhalina	$> \pm 40$
Eurihalina	± 40 a ± 30
Polihalina	± 30 a ± 18
Mesohalina	± 18 a ± 5
Oligohalina	± 5 a $\pm 0,5$
Água Doce	$< \pm 0,5$

Em função de sua proximidade com o mar, as lagoas costeiras podem ser consideradas ambientes extremamente sujeitos a variações espaciais e temporais da salinidade, podendo apresentar grandes diferenças de salinidade no decorrer do ano. Uma lagoa de água doce, por exemplo, pode tornar-se oligohalina ou até mesmo mesohalina em determinadas condições (época da seca). Em função dessa alta variabilidade, esta classificação não deve ser considerada definitiva para um corpo d'água, mas apenas uma constatação de condições predominantes (Esteves, 1998; Santangelo, 2005).

A salinidade, enquanto elemento estrutural, afeta diversos aspectos do sistema lagunar, direta ou indiretamente. Sua distribuição possui grande influência na biota, pois cada espécie tem seu nível máximo de tolerância à salinidade e sua faixa ótima. A salinidade afeta ainda a capacidade de dissolução do oxigênio na água, o pH e a composição iônica (Santangelo, 2005).

Outro aspecto relevante da salinidade é sua contribuição para o aumento na densidade da água. Quanto maior a salinidade, mais densa a água. Goldman & Horne (1983) ressaltam ainda que, para ambientes aquáticos com níveis consideráveis de sal, os efeitos da salinidade na densidade dominam sobre os da temperatura. Sendo assim, em lagoas costeiras que possuem contato com o mar, a estratificação salina é uma importante feição na estrutura do sistema.

De um modo geral, a presença de sal em lagoas costeiras está ligada a uma fonte marinha. Como consequência, as maiores concentrações de sal em uma lagoa devem ser encontradas nas proximidades do(s) canal(is), e quanto à sua distribuição vertical, mais próximo ao fundo, em função da maior densidade.

No presente trabalho, a unidade de salinidade utilizada será a unidade prática de salinidade (ups), não sendo representada todas as vezes que este parâmetro for citado.

2.3 Hidrodinâmica de Lagoas Costeiras

A circulação em uma lagoa costeira está relacionada ao balanço entre perdas e ganhos de água pelo sistema e a mecanismos pelos quais a água é redistribuída dentro da lagoa (Smith, 1994). O estudo desses mecanismos envolve o movimento, o transporte e a mistura de água no ambiente lagunar. Do ponto de vista limnológico, o conhecimento dessa dinâmica é fundamental, sobretudo pelo transporte de massa que envolve a água e seus constituintes, dentre eles nutrientes, biomassa planctônica, poluentes e sedimentos (Imberger, 1998; Monsen *et al.*, 2002; Torréton *et al.*, 2007).

Em sistemas aquáticos, a maioria da biomassa viva e massas de nutrientes, contaminantes, gases dissolvidos e partículas em suspensão são carreadas em um meio fluido, tornando essencial o entendimento de processos hidrodinâmicos que transportam a água e seus constituintes (Monsen, 2002).

A performance desses sistemas é, em grande medida, dependente de processos hidrodinâmicos, os quais determinam condições ambientais que afetam a biogeoquímica e, de maneira fundamental, a quantidade de tempo que a água e seus constituintes permanecem no sistema. A essa escala de tempo, conhecida como tempo de residência hidráulico, atribui-se a explicação de uma gama de fenômenos relativos à qualidade da água, como a variabilidade dos processos de eutroficação, estratificação, composição isotópica, alcalinidade, concentrações de carbono orgânico dissolvido, taxas de mineralização de matéria orgânica, produção primária, dentre outros (Monsen *et al.*, 2002; Rueda & Cowen, 2005).

Em lagoas costeiras, esta variação está intrinsicamente ligada à sua conexão com o mar, pois as lagoas se formam pelo isolamento de um corpo d'água, separado do mar pela formação de barreiras deposicionais. Na maioria dos casos, as lagoas não são completamente isoladas, apresentando ao menos uma conexão com o mar adjacente (Bird, 1994). Essa conexão basicamente controla a troca de água com o oceano, cuja intensidade reflete as principais forçantes que agem na lagoa e a escala de tempo da variabilidade hidrológica (Kjefve, 1994).

O balanço de sal, o balanço hidrológico, a qualidade da água na lagoa e a eutrofização dependem da circulação, da dispersão de sal e outros materiais, da troca de água através dos canais oceânicos e do tempo de residência da água na lagoa (Kjerfve, 1994).

Sendo assim, baseando-se em critérios geomorfológicos, de acordo com a intensidade de troca de água com o mar, as lagoas costeiras podem ser classificadas em três tipos (Kjerfve & Magill, 1989):

- (a) **Sufocadas:** ligadas ao oceano por um ou mais canais longos e estreitos, o que implica em pouca troca de água com o mar, longos tempos de residência, minimizando o efeito da maré e cuja principal forçante hidrodinâmica geralmente é o vento. Neste tipo de lagoa, radiação solar intensa combinada com a entrada de água pode causar estratificação vertical intermitente;
- (b) **Restritas:** possuem dois ou mais canais de entrada, com uma circulação de maré bem definida, fortemente influenciadas pelo vento e geralmente bem misturadas;
- (c) **Vazadas:** encontram-se em posições opostas às lagoas sufocadas. Diversos canais permitem uma intensa troca de água com o mar e o efeito da circulação pelo vento é minimizado pela dominância das correntes de maré, com salinidade e turbidez próximas às do oceano adjacente.

Mecanismos como ondas internas e seiches podem também assumir um importante papel na circulação local, especialmente em lagoas sufocadas (Stevens *et al.*, 1996; Imberger, 1998; Vilibic & Orlic, 1999; Cushman-Roisin *et al.*, 2005; Niedda & Greppi, 2007; Maciel (2007) resumiu essas oscilações da seguinte forma:

“O vento, ao soprar por determinado período sobre a superfície na lagoa, causará um empilhamento da água. Após a diminuição do vento, a superfície da água entra em um movimento de agitação denominado seiche. Quando esse movimento acontece, a energia potencial é convertida em energia cinética e é dissipada. Seiches são ondas estacionárias de oscilações periódicas na superfície da água ou em camadas de diferentes densidades (seiche interno) e são gerados por eventos de ventos em grande escala. A magnitude da perturbação do vento na lagoa dependerá da

velocidade do vento, da profundidade da lagoa, e do comprimento da lagoa na direção do vento (a pista).”

A geração de ondas internas ocorre como consequência da diferença de densidades na coluna d'água de lagoas. Consideram-se ondas de superfície aquelas que ocorrem na interface ar/água, ondas similares podem ocorrer em superfícies de camadas de diferentes densidades, e são denominadas ondas internas. Esse tipo de onda se forma pois a diferença de densidade gera uma força restauradora pela pressão hidrostática (causada pela gravidade) se o fluido é deslocado verticalmente. Tais superfícies estão na pycnoclina, onde o gradiente de densidade é maior, podendo ser excitadas pela entrada da maré e/ou pelos ventos. Essas ondas podem ser estacionárias (seiches internos) ou progressivas (Goldman e Horne, 1983 apud Maciel, 2007).

3 ESTUDO DE CASO: LAGOA RODRIGO DE FREITAS

A fim de se investigar a dinâmica de oxigênio dissolvido em uma lagoa costeira e sua relação com fatores controladores indiretos como a estratificação, circulação e ventos, este trabalho terá como objeto de estudo a Lagoa Rodrigo de Freitas.

Como descrito em Maciel (2007) a Lagoa Rodrigo de Freitas é uma lagoa costeira urbana, localizada na zona sul da cidade do Rio de Janeiro (RJ) com cerca de 2 km² de espelho d'água, de dimensões aproximadas de 2km na direção Norte-sul e 0,8 a 1,6 km na direção Leste-Oeste, com volume em torno de $6,2 \cdot 10^6$ m³ (Figura 2). Apresenta profundidade média de 3m, sendo suas margens mais rasas. Nas extremidades sudoeste e sudeste, ocorrem pequenas depressões, onde são encontradas profundidades de até 9m (Figura 3). Estas depressões são resultantes das dragagens realizadas na década de 70 para a construção dos aterros do Parque do Cantagalo e da área hoje conhecida como Parque dos Patins.

É importante destacar ainda que foi realizada uma dragagem para adequação da lagoa a provas de remo, visando os Jogos Panamericanos que ocorreram em 2007. A dragagem iniciou em junho de 2006 e não está representada na batimetria da Figura 3 e, portanto, seus efeitos não puderam ser considerados neste estudo. A lagoa possui ainda em seu interior duas ilhas: Piraquê, localizada na porção Noroeste, e Caiçaras, localizada na parte Sul, próximo ao Canal Jardim de Alah.

De acordo com Loureiro (2006) a bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas abrange os bairros de Ipanema, Lagoa, Humaitá, Jardim Botânico e Gávea e drena as águas da vertente sudeste da Serra da Carioca, no maciço da Tijuca, apresentando uma área de cerca de 24 km². Os divisores de drenagem que limitam a área da bacia vão desde o Arpoador, passando pelos cumes dos morros do Cabrito e Saudade, até os morros do Corcovado, Alto do Sumaré, Pico da Carioca, morro do Queimado, Mesa do Imperador, Morro Dois Irmãos, o Alto Leblon e voltando a praia do Leblon.

A bacia de drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas pode ser dividida em três sub-bacias, a do Rio dos Macacos, a do Rio Cabeça e a do Rio Rainha. A sub-bacia do Rio Rainha é a menor, não tem importância atual para a drenagem da Lagoa, pois este rio teve seu curso desviado para o canal da Rua Visconde de Albuquerque, tendo sua carga despejada diretamente no mar (Loureiro, 2006). As principais características da bacia hidrográfica podem ser vistas no Quadro 1.

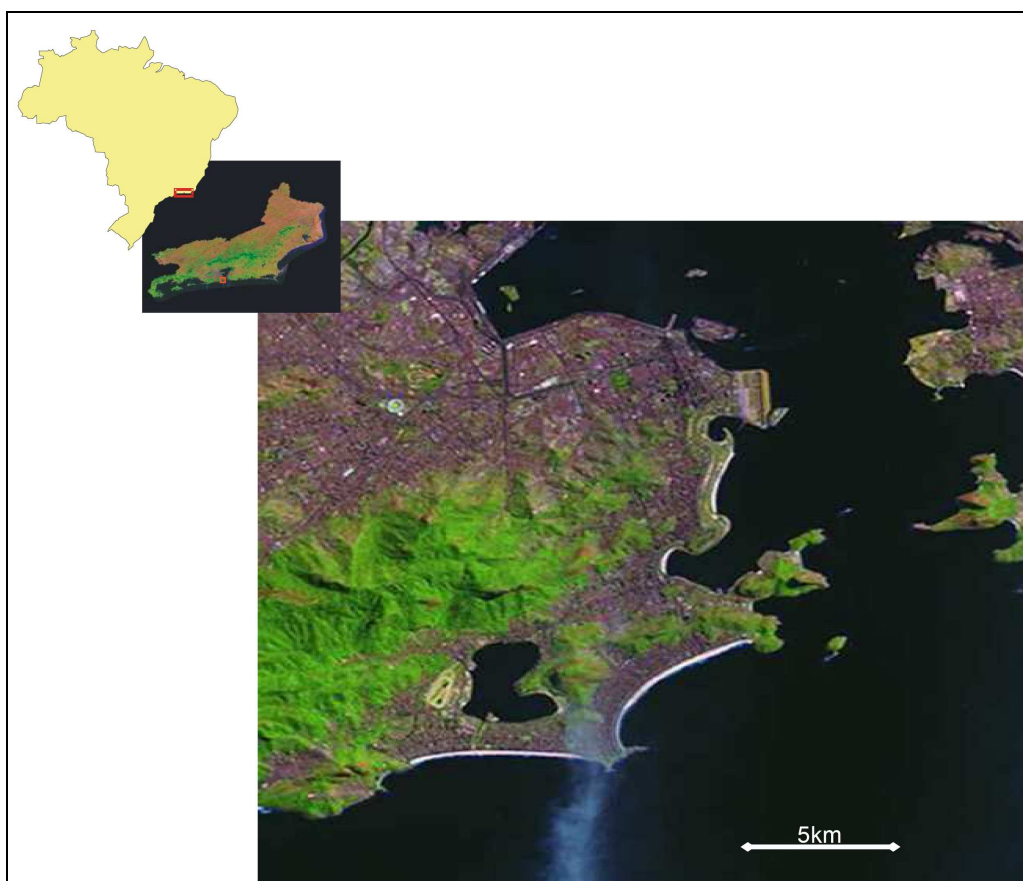


Figura 2: Localização da Lagoa Rodrigo de Freitas. Limites: 22°57'02''S e 22°58'09''S e 43°11'09''W e 43°13'03''W. Fonte: Fonseca, 2008.

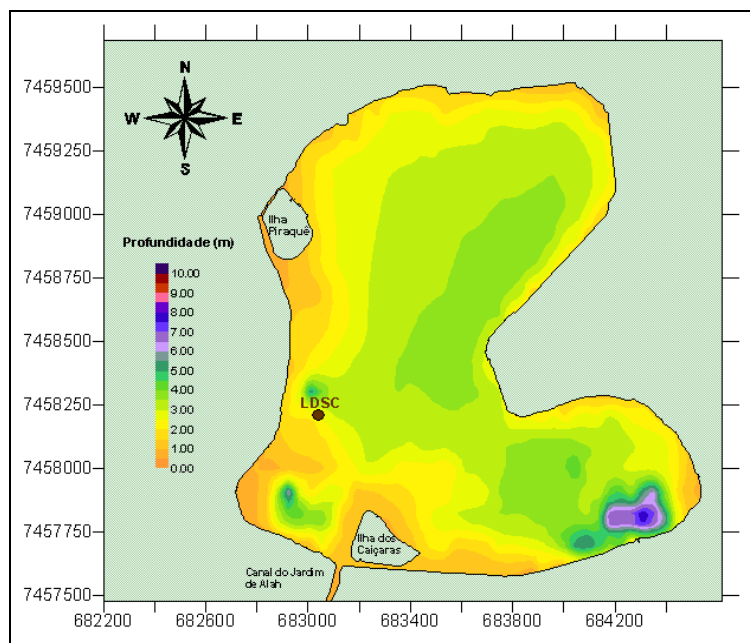


Figura 3: Batimetria da Lagoa Rodrigo de Freitas em 1999. Fonte: COPPETEC. A batimetria sofreu modificações significativas por dragagens para realização dos Jogos Panamericanos em 2007, não representadas neste figura. O ponto LDSC representa o local das medições realizadas para este estudo.

Quadro 1: Sub-Bacias de drenagem da Lagoa Rodrigo de Freitas. Fonte: PLANAGUA, 2001.

Curso de Água	Área de Drenagem (km²)	Hidrografia	Bairros Drenados
Rio Cabeças	1,9	Nasce nos contrafortes do Morro do Corcovado, em cotas de 520 metros, e deságua no Canal da Av. Lineu de Paula Machado que, por sua vez, desemboca no Rio dos Macacos, no trecho da rua Gral Garzon.	Jardim Botânico
Rio Macacos	7,2	Nasce nos contrafortes dos morros do Queimado e Sumaré, em cotas de 520 metros, sendo desviado em seu trecho final, na rua Gral. Garzon, para o Canal do Jockey.	Alto da Boa Vista, Horto e Jardim Botânico
Rio Rainha	4,3	Nasce na encosta sul da Serra da Carioca, com cotas de 680 metros, e deságua no Canal da Visconde de Albuquerque.	Gávea

O clima da região é tropical com temperatura média absoluta em torno de 35°C no verão e de 18°C no inverno. A pluviosidade média anual está em torno de 1.800 – 2.000 mm anuais (AMBIENTAL, 2002 apud Loureiro, 2006), sendo que no período de setembro a maio as precipitações mensais ultrapassam os 140 mm enquanto que no período seco, que vai de junho a agosto, a precipitação média mensal é de 115 mm (FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS, 1999 apud Loureiro, 2006).

Sua principal ligação com o mar é realizada pelo Canal do Jardim de Alah, que atravessa o cordão litorâneo e separa as praias de Ipanema e Leblon. Este é um canal artificial de comprimento de cerca de 800m e largura que varia entre 10 e 18 m. Tem o seu fluxo determinado em função da maré, com o controle da comporta. A soleira da comporta está na cota -0,88. Este canal é hidraulicamente instável, sendo constantemente assoreado pelo transporte litorâneo e, portanto devendo ser desobstruído sistematicamente com auxílio de dragas. Assim, a troca de massas de água entre a Lagoa e o mar é restrita, assim como o escoamento de maré para dentro da Lagoa (Calixto, 1990; COPPETEC, 1992; Maciel, 2007). Devido a essa configuração, a lagoa é um ambiente com circulação pouco intensa, podendo ser classificada como uma lagoa sufocada.

De acordo com estudos mais recentes (Ambiental, 2002; Santa Rosa, 2003; Maciel, 2007), quanto à salinidade a lagoa oscila entre configurações mesohalinas a polihalinas. Quanto à estratificação, a Lagoa Rodrigo de Freitas apresenta um padrão polimítico, apresentado em determinadas épocas condições meromíticas (Calixto, 1992). Quanto à eutroficação, Loureiro (2006) classifica a lagoa como hipertrófica. Segundo Fonseca (2008), os sedimentos da lagoa são predominantemente finos (silte e argila), e com acúmulo significativo de matéria orgânica, apresentando caráter redutor.

4 METODOLOGIA

A fim de se caracterizar a dinâmica sazonal da estratificação e da concentração de oxigênio dissolvido na Lagoa Rodrigo de Freitas, dados referentes a quatro anos de monitoramento de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido foram gentilmente cedidos pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente), através da GEQUAM (Gerência de Qualidade Ambiental).

Visando a identificação de fenômenos com oscilações de menores escalas temporais (sinótica e diária), bem como o conhecimento do comportamento de outras variáveis possivelmente envolvidas na dinâmica do O.D., este estudo contou ainda com duas coletas de dados na lagoa, com duração aproximada de duas semanas cada, com medições simultâneas de velocidades de correntes, temperatura, salinidade, turbidez, oxigênio dissolvido e ventos. Os dados foram coletados por membros da equipe do Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos (LDSC - COPPE/UFRJ) e colaboradores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Todo o conjunto de dados disponíveis foi tratado com softwares especializados, estatística e graficamente, a fim de se permitir uma melhor avaliação do conjunto das informações colhidas.

Os procedimentos e características relevantes sobre o conjunto de dados disponíveis são descritos em maiores detalhes a seguir.

4.1 Coleta de Informações com Órgãos Ambientais

Por ser a Lagoa Rodrigo de Freitas um local de grande importância sócio-econômica para a comunidade, além de seu valor ambiental, entidades governamentais procedem monitoramento periódico da qualidade da água na lagoa. O INEA (Instituto Estadual do Ambiente), através da GEQUAM (Gerência de Qualidade Ambiental) monitora regularmente, dentre outros parâmetros, a salinidade, temperatura e a concentração de O.D. na coluna d'água em quatro estações dentro da Lagoa Rodrigo de Freitas (Figura 4). As medições são realizadas a cada 0,5m de profundidade, desde a superfície até o fundo.

Para o presente trabalho, o INEA gentilmente cedeu os dados referentes ao monitoramento entre janeiro de 2005 e dezembro de 2008. Foi escolhida para as

análises deste trabalho a Estação RF04, localizada em frente ao Parque dos Patins / Colônia dos Pescadores.

Este ponto foi escolhido para a análise sazonal por ser próximo ao local das campanhas de detalhamento, permitindo a comparação dos dados. A análise de sua representatividade em relação ao comportamento da lagoa como um todo demandaria um trabalho detalhado de comparação com os dados das outras estações, o que não é o escopo desta dissertação. Maciel (2007), no entanto, realizou uma comparação entre perfis de O.D. nas quatro estações e encontrou uma homogeneidade espacial relativa a esse parâmetro em 13 de junho de 2005 (Figura 5).

Segundo Fernandez (comunicação pessoal) essa homogeneidade espacial pode ocorrer por determinados períodos de tempo, sendo quebrada durante eventos esporádicos, como frentes frias, por exemplo. Desta maneira, a Estação RF04 foi considerada como representativa das condições da lagoa em algumas ocasiões, mas a análise dos dados referentes a este ponto não garante que toda a lagoa se comporte da mesma forma em relação aos parâmetros utilizados, durante todo o tempo.



Figura 4: Estações de monitoramento do INEA na Lagoa Rodrigo de Freitas (FEEMA, 2006 *apud* Maciel, 2007).

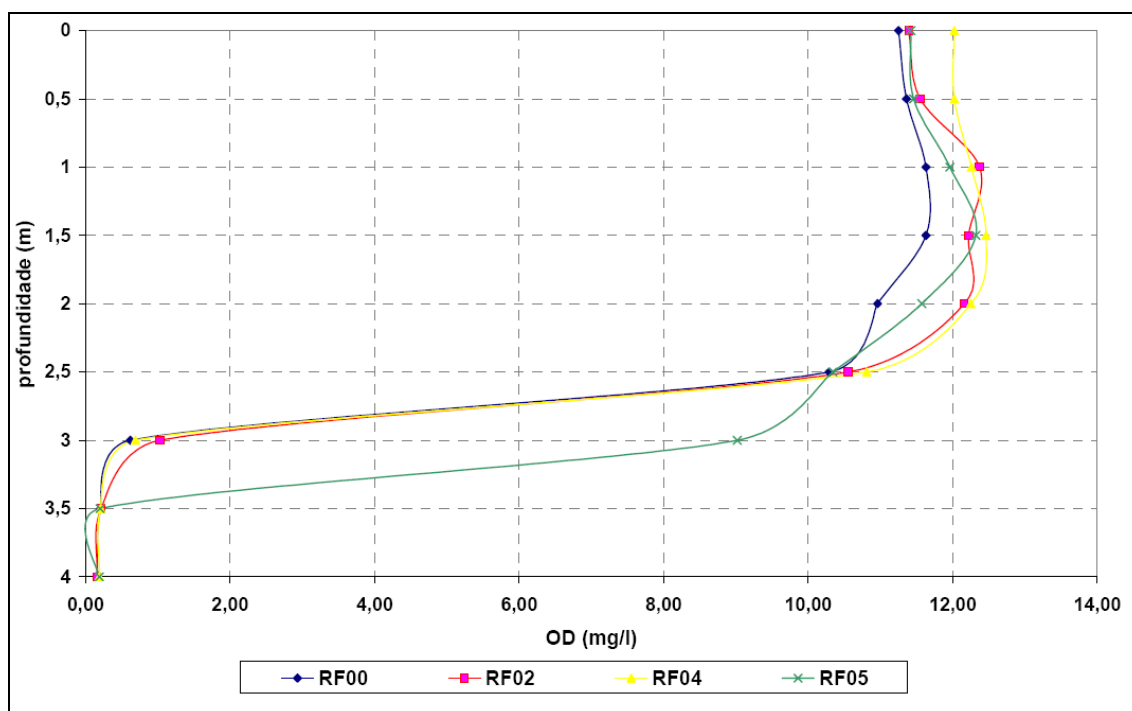


Figura 5: Concentração de O.D. na coluna d'água das estações do INEA em 13 de junho de 2005 (Maciel, 2007).

A periodicidade de coleta não obedeceu a um intervalo de tempo regular, mas como o órgão tem o compromisso da publicação de boletins de qualidade da água atualizados, foram realizadas em média nove coletas por mês, em dias aleatórios, sempre no período entre o meio da manhã e da tarde. Os dias e horários das medições disponibilizadas podem ser consultados no Anexo 1.

4.2 Campanhas de Detalhamento

Os dados de detalhamento utilizados neste trabalho dizem respeito a duas campanhas, com aproximadamente duas semanas de duração cada, realizadas em 2006 e 2008, em frente à Colônia dos Pescadores (próximo à Estação RF04 do INEA, conforme pode ser visto na Figura 3).

4.2.1 Campanha de 27/03 a 11/04/2006

O fundeio realizado entre 27 de março e 11 de abril de 2006 contou com os seguintes equipamentos: ADV (correntógrafo de alta resolução), que permitiu a medição de correntes próximo ao fundo da lagoa a uma frequência de 16Hz, em *bursts* de 30s, a cada dois minutos (este aparelho possui ainda sensor de temperatura e pressão); um

oxímetro, utilizado para a medição da concentração de OD na coluna de água, um CTD, usado para medir a salinidade no fundo da lagoa (1Hz, dentro dos *bursts* de 30s) e um OBS, que mediu a turbidez (1Hz, dentro dos *bursts* de 30s). Para o acompanhamento das condições meteorológicas foi instalado um anemômetro no Heliporto da Lagoa (ao lado da colônia dos pescadores), medindo velocidade e direção dos ventos a cada 10 minutos. A partir do dia 3 de abril foi instalada também uma cadeia com cinco termistores, sensores de temperatura que armazenaram os dados a cada 24s, distribuídos entre o fundo e a superfície.

O ADV, o CTD e o OBS foram afixados a uma estrutura de aço inox (Figura 6), fundeada no ponto de medição de forma que os sensores ficassem o mais próximo do fundo possível, sem prejuízo da medição. O oxímetro foi utilizado para traçar o perfil vertical do O.D. na coluna d'água nos dias 27/3, 30/03, 3/04 e 6/04, a partir da embarcação de apoio.



Figura 6: Estrutura de aço utilizada para o fundeio, ainda sem o ADV.

Em 3 de abril os equipamentos foram recuperados para cópia dos dados, manutenção e troca de baterias, sendo colocados na água novamente no mesmo dia. Neste trabalho, os dados coletados na primeira etapa (entre 27/03 e 3/04) serão referenciados à “semana 1”, enquanto os da segunda etapa (3 a 11/04) à “semana 2”.

4.2.2 Campanha de 30/09 a 14/10/2008

A campanha de 2008 contou com 2 ADVs medindo velocidades de correntes a 0,066Hz (uma medição a cada 15 s), de forma contínua. Um ADV esteve posicionado de forma a medir próximo ao fundo (ADV inferior – 35cm do fundo) e outro à meia água (aproximadamente 1,65m do fundo). Uma sonda multi-paramétrica também foi utilizada, medindo salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura próximos ao fundo, a cada 15 minutos. Uma cadeia de termistores também foi instalada, com sensores medindo temperatura a cada minuto próximo ao fundo, a 0,4m do fundo, a 0,8m do fundo, a 1,2m do fundo e a 2m do fundo. Um condutivímetro manual também foi utilizado para medir perfis de salinidade.

Dados de vento do mesmo período, medidos na Ilha Piraquê por uma estação meteorológica a cada 15 minutos foram gentilmente cedidos por Daniel Dias Loureiro (Departamento de Geoquímica da UFF).

O ADV e a sonda foram afixados a uma estrutura de aço inox, que foi fundeada no local da medição (Figura 7). Os termistores, amarrados em um cabo em série, a partir de um dos pés da estrutura, com uma bóia amarrada na extremidade superior para garantir a posição vertical.

O condutivímetro foi utilizado para medição de perfil vertical de salinidade nos dias 30/09, 3/10, 8/10 e 14/10, medindo a cada meio metro a partir da superfície até o fundo.

Os equipamentos foram retirados da água em 8 de outubro para cópia dos dados, manutenção e troca de baterias, sendo colocados na água novamente no mesmo dia. Os dados coletados na primeira etapa (entre 30/09 e 8/10) serão referenciados à “semana 1”, enquanto os da segunda etapa (8 a 14/10) à “semana 2”.

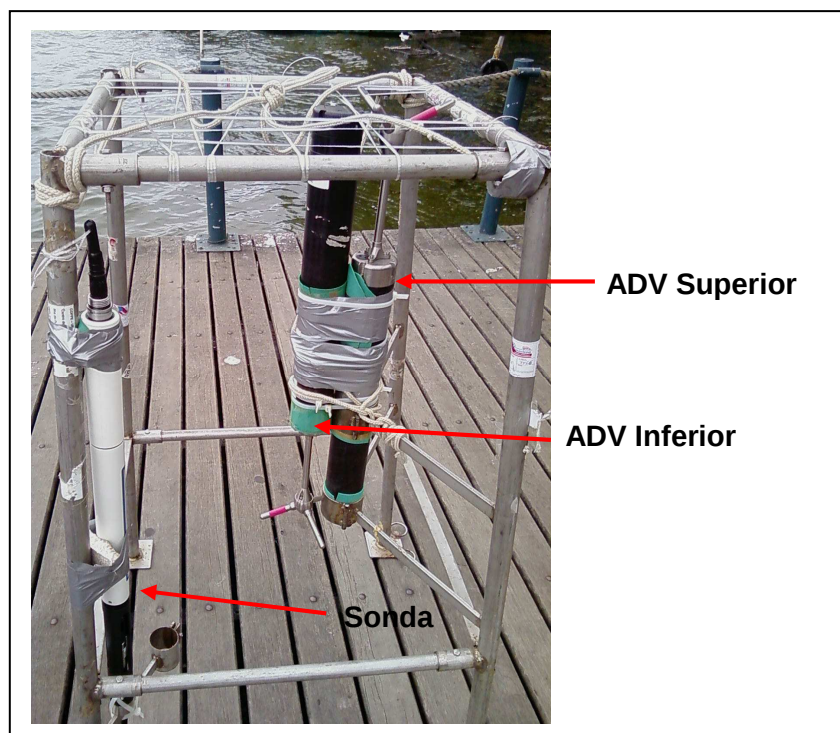


Figura 7: Fundeio com os ADVs e a sonda.

4.3 Tratamento dos Dados

A partir dos dados de temperatura, salinidade e concentração de O.D. dos perfis verticais sazonais, foram calculados alguns parâmetros estatísticos como mediana e desvio padrão anuais. Com base na temperatura, salinidade e profundidade foram calculadas as densidades, a partir das fórmulas apresentadas por Fofonoff & Millard (1983). Os dados de perfis verticais foram ainda interpolados, gerando uma visualização do comportamento dos parâmetros na coluna d'água ao longo do ano.

Quanto aos dados coletados nas campanhas de detalhamento, os principais procedimentos foram a eliminação de dados espúrios e cálculo de médias compatíveis com os fenômenos a serem estudados e de acordo com as necessidades de cada análise. As velocidades de correntes, medidas em componentes separadas (leste-oeste e norte-sul), precisaram ser declinadas em 21° (declinação magnética local na Lagoa Rodrigo de Freitas nos anos de medição) para atingir o norte verdadeiro, uma vez que o ADV referencia os dados ao norte magnético.

Todos os dados foram tratados utilizando os softwares Microsoft Excel[®] e Matlab[®].

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização Sazonal do Perfil Vertical

A fim de se conhecer o caráter sazonal do comportamento da coluna d'água na Lagoa Rodrigo de Freitas, foram utilizados os dados de perfis de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido disponibilizados pelo INEA/GEQUAM, referentes a janeiro de 2005 a dezembro de 2008, coletados na Estação RF04 (Figura 4), ponto considerado representativo para este estudo.

5.1.1 2005

No ano de 2005 foi possível observar que as temperaturas de um modo geral variaram entre 21,7°C e 31,2 °C na superfície. No fundo, a mínima registrada foi de 22,9 °C e a máxima de 30,1 °C. A variação média entre superfície e fundo foi de 0,8 °C (ao se considerar o perfil médio de temperatura para todo o ano), o que indica um comportamento predominantemente homogêneo da temperatura na coluna d'água (Quadro 2).

De fato, a variação temporal da temperatura na coluna d'água (Figura 8) mostra que em boa parte do tempo a lagoa esteve com temperaturas homogêneas. Essa homogeneidade foi quebrada principalmente por eventos de inversão térmica, com presença de águas mais quentes no fundo do que na superfície. No ano de 2005 esse fenômeno chegou a durar mais de trinta dias, nos meses de maio, junho e julho. Uma estratificação térmica, com águas mais frias no fundo (cerca de 24 °C) foi observada nos meses de outubro e dezembro.

Com relação a temperatura pode ser observado um padrão distinto durante o ano, na Lagoa Rodrigo de Freitas: águas mais quentes, variando entre 29 °C e 31 °C, no período de janeiro a abril; uma fase transicional, com temperaturas entre 25°C e 27 °C entre maio e junho, período no qual verificou-se uma inversão térmica como fenômeno recorrente; presença de água mais fria (23°C a 25°C), entre julho e meados de outubro; de meados de outubro até dezembro, percebe-se um aquecimento gradual da água, que apresentou temperaturas entre 25 °C e 29 °C.

Quadro 2: Estatísticas sobre os parâmetros medidos na coluna d'água em 2005. Estação RF04. Fonte dos dados: INEA/GEQUAM.

Temperatura (°C)					Salinidade (ups)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	21,7	31,2	27,4	2,6	7,1	14,8	12	1,5
0,5	21,7	31,1	27,4	2,6	7,1	14,8	12	1,4
1	21,5	30,9	27	2,6	7,1	14,8	12	1,4
1,5	21,4	30,4	26,9	2,6	7,1	14,8	12	1,4
2	21,4	30,3	26,7	2,6	7,1	15	12,2	1,4
2,5	21,4	30,2	26,7	2,5	8,3	21,1	12,4	1,7
3	21,5	30,2	26,7	2,4	8,6	22,2	13,1	3,0
3,5	22,4	30,2	26,7	2,2	9,3	23,8	20	4,4
4	22,9	30,1	26,6	2,2	10,8	24,4	21,4	4,3
Densidade (kg.m ⁻³)					Oxigênio Dissolvido (mg/L)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	2,3	8,4	5	1,3	5,1	16,6	9,35	2,3
0,5	2,7	8,4	5	1,3	5	16,1	9,33	2,3
1	2,7	8,4	5	1,3	4,3	15,9	9,28	2,3
1,5	2,7	8,4	5,1	1,3	3,6	15,8	9,08	2,4
2	2,7	8,5	5,2	1,3	0,9	15,5	8,04	2,7
2,5	2,9	12,4	5,5	1,5	0,14	15,4	6,25	3,1
3	3	13,6	6,4	2,5	0,07	14,5	2,74	2,8
3,5	3,2	15,1	11,4	3,7	0,06	8,9	0,89	1,6
4	4,2	15,6	13,1	3,7	0,04	6,4	1,01	1,4

A salinidade neste período variou entre 7,1g/L e 14,8g/L na superfície e 10,8g/L e 24,4g/L no fundo. A variação média da coluna d'água (diferença entre superfície e fundo) foi de 9,4g/L (Quadro 2).

Uma pronunciada estratificação salina iniciou-se no final de março / início de abril, sendo mantida até meados de novembro (Figura 8). Neste período, a salinidade chegou a variar entre 9,7 (na superfície) e 23,5 (4m de profundidade), no dia 29 de abril. O máximo gradiente de salinidade localizou-se na maior parte do tempo na profundidade de 3m, mas esporadicamente chegou a 2m e próximo ao fundo. Uma estratificação salina menos intensa (entre 12 na superfície e 18 no fundo) e menos regular observou-se no mês de fevereiro. A coluna d'água esteve mais homogênea na primeira quinzena de janeiro (cerca de 14), parte do mês de março (12-14) e parte do mês de dezembro (8-10).

Desconsiderando a camada de fundo, a coluna d'água apresentou-se mais salgada no mês de janeiro (14) e entre meados de junho / final de setembro (14-16). De fevereiro a meados de junho a salinidade oscilou entre 10-14. De outubro até dezembro foi o período do ano em que a água esteve menos salgada, com concentrações predominantes entre 8-12.

A densidade da coluna d'água em 2005 ficou entre 1002,3 e 1008,4kg/m³ (na superfície) e 1004,2 e 1015,6 kg/m³ (no fundo). Sua variação média entre superfície e fundo foi de 8,1kg/m³. O comportamento da estratificação de densidade acompanhou basicamente a salinidade, como pode ser visto na Figura 8.

É possível observar ainda que a água do compartimento superior (menos denso), apresentou os seguintes padrões de variação temporal: entre janeiro e final de maio, observou-se uma água com densidade entre 1004 e 1006kg/m³, seguida pela predominância de águas mais densas, com valores entre 1006 e 1009kg/m³ entre junho e o início de outubro, quando a coluna d'água (parte superior) se apresentou menos densa até dezembro, variando entre 1003 e 1006kg/m³ neste período.

Os níveis de oxigênio dissolvido na água apresentaram variação na superfície de 5,1 a 16,6mg/L no fundo de 0,04 a 6,4mg/L. A diferença média entre superfície e fundo foi de 10,2mg/L. A concentração mediana no fundo foi de 1,01mg/L, a 3,5m de 0,89mg/L e a 3m de 2,74mg/L, mostrando que durante uma parte significativa do ano a camada entre 3-4m foi praticamente hipóxica.

É possível notar a presença de uma camada de fundo com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, com o gradiente máximo de variação de oxigênio dissolvido geralmente ocorrendo na profundidade de 2,5 a 3m (Figura 8). Durante quase todo o ano esta camada se manteve com concentrações abaixo de 4,0mg/L, com exceção de alguns dias no início de janeiro e meados de março. Entre meados de janeiro e início de setembro, a estratificação foi mais pronunciada, com valores geralmente abaixo de 1,0mg/L, chegando a subir até a profundidade de 2m, no final de abril / início de maio. A partir de setembro, até o final do ano, os níveis de oxigênio dissolvido subiram lentamente, ficando os limites entre 2,5 (em especial até meados de outubro) e 4mg/L.

A dinâmica de intensidade e alcance na coluna d'água desta zona com baixas concentrações de oxigênio parece acompanhar o comportamento da estrutura de densidade, possuindo feições semelhantes aos perfis de salinidade e densidade.

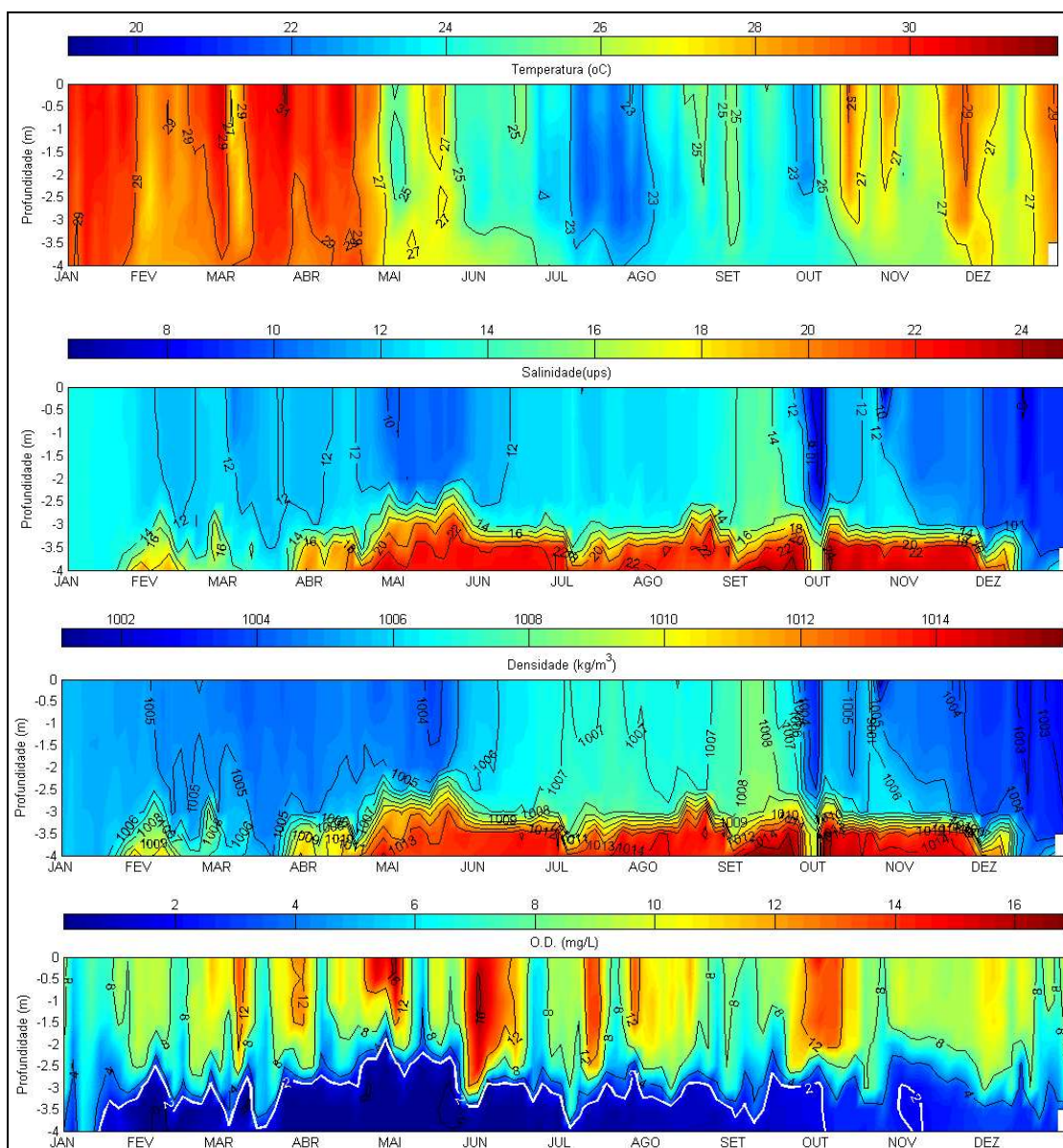


Figura 8: Variação de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2005.

Os perfis verticais da mediana em 2005 (Figura 9) mostram uma coluna d'água com ligeira estratificação térmica (diferença de 1°C) com maior declínio da temperatura a partir de 0,5m de profundidade. A estratificação salina e de densidade é bem marcada com a haloclina e picnoclina ocorrendo entre 3 e 3,5m. O perfil de oxigênio dissolvido apresenta grande variação, estratificado, porém com a variação máxima ocorrendo entre as profundidades de 1,5 e 3,5m, com uma grande faixa de transição para o fundo anóxico.

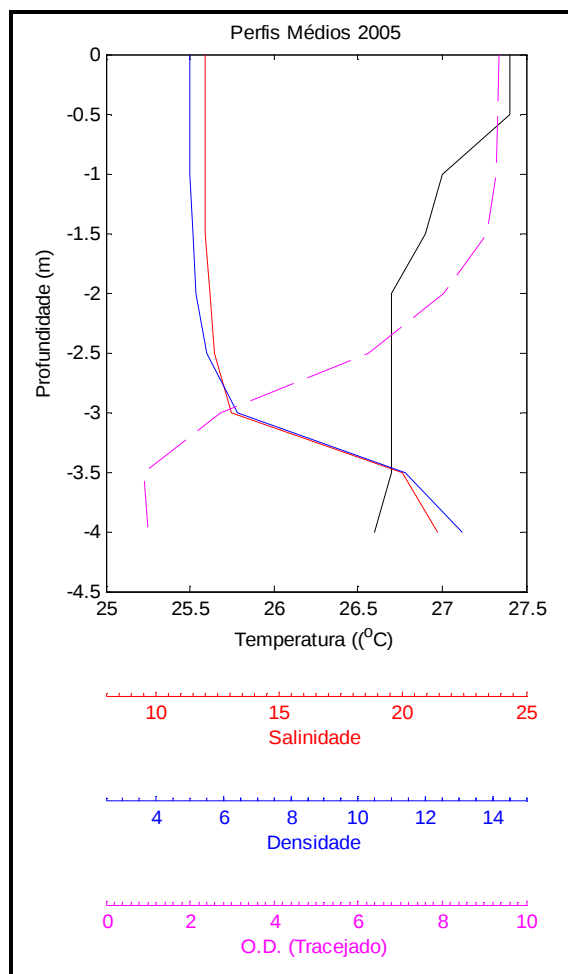


Figura 9: Perfis da mediana de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2005.

5.1.2 2006

Em 2006 a temperatura na superfície apresentou o valor mínimo de 20,3°C, com máximo de 31,5°C (Quadro 3). No fundo a variação foi entre 20,1 °C e 31,2 °C. A diferença média entre superfície e fundo foi de 0,6 °C.

Assim como em 2005, a coluna d'água apresentou temperaturas homogêneas verticalmente durante a maior parte do tempo, com ocorrência de inversão térmica entre maio e julho (Figura 10). Estratificações térmicas com duração de alguns dias e diferenças de aproximadamente 2°C ocorreram em março, julho e novembro, sendo esta última a mais duradoura e significativa.

Foram observados padrões sazonais de temperatura na coluna d'água da mesma forma que em 2005, com águas mais quentes entre janeiro e abril (29-31 °C), águas de

transição entre abril e maio (25-29 °C), águas frias (21-25 °C) entre junho e início de outubro e um aquecimento gradual (até 29 °C) de outubro a dezembro.

Quadro 3: Estatísticas sobre os parâmetros medidos na coluna d'água em 2006. Estação RF04. Fonte dos dados: INEA/GEQUAM.

Temperatura (°C)					Salinidade (ups)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	20,3	31,5	26,2	3,3	7,3	14,3	11,7	2,2
0,5	20,1	31,5	26,2	3,3	7,3	14,1	11,7	2,2
1	20	31,5	26,2	3,3	7,4	14,1	11,7	2,2
1,5	19,8	31,4	26,1	3,3	7,4	14,2	11,7	2,2
2	20,2	31,3	25,9	3,2	7,5	15,7	11,8	2,3
2,5	20,1	31,3	25,8	3,2	7,7	21,6	12,1	2,6
3	20	31,3	25,6	3,1	7,7	21,9	12,4	3,2
3,5	20,1	31,2	25,6	3,0	7,7	24,1	13,5	5,0
4	---	---	---	---	7,9	23,9	17,1	5,7
Densidade (-1000 kg.m ⁻³)					Oxigênio Dissolvido (mg/L)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	1,1	8,1	6	2,3	2,8	15	7,6	2,3
0,5	1,2	8,1	6	2,3	2,7	15	7,4	2,3
1	1,2	8,1	6,1	2,3	2,2	14,7	6,8	2,3
1,5	1,3	8,1	6,1	2,3	2,1	12,3	6,5	2,0
2	1,4	8,9	6,3	2,4	0,3	11,8	5,2	2,1
2,5	1,4	13,3	6,6	2,6	0	11,1	4,3	2,4
3	1,4	13,5	6,7	3,0	0	9,7	2,85	2,4
3,5	1,5	15,7	7,3	4,4	0	6,27	0,55	1,8
4	---	---	---	---	0	6	0,3	1,6

A concentração de sais variou entre 7,3 e 14,3 na superfície e apresentou grande variabilidade no fundo (7,9 a 23,9, com desvio padrão de 5,7), indicando que águas menos salgadas alcançaram o fundo da lagoa em algum momento durante este ano. A variação média entre superfície e fundo foi de 5,4.

Ao observar a Figura 10, nota-se que isso de fato ocorreu, pois entre janeiro e o início de abril a salinidade da coluna d'água foi praticamente homogênea, com valores de 8 a 9. A partir desta data, a estratificação salina se estabeleceu na profundidade de 3,0m até o início de agosto. Neste período, a relação entre a salinidade de superfície / fundo começou em torno de 8/14 e foi se intensificando até meados de maio, quando

chegou a 10/23. A interface entre as camadas de diferente salinidade, neste período, também se elevaram, atingindo a profundidade de 2m em 19 de maio. Entre agosto e o início de dezembro a estratificação foi menos estável e mais fraca. A partir de meados de dezembro até o fim do ano a salinidade foi homogênea na coluna d'água, entre 12-13.

Considerando apenas o compartimento superior, a salinidade aumentou gradativamente ao longo do ano, iniciando entre 8-9 e terminando o ano em torno de 13-14.

A densidade variou entre 1001,1 e 1008,1kg/m³ na superfície e 1001,5 e 1015,7 kg/m³ junto ao fundo. A variação média superfície / fundo foi de 1,3kg/m³. O comportamento da estratificação de densidade acompanhou o mesmo descrito na salinidade (Figura 10).

Ao longo do ano, a densidade também aumentou gradativamente, porém de forma mais bem definida, passando de cerca de 1002kg/m³ entre janeiro e abril a 1006-1008kg/m³ de junho a meados de dezembro, com um período de transição entre abril e junho. No final do ano a densidade apresentou uma queda, com águas mais quentes e menos salgadas, chegando a faixa de 1004-1005kg/m³.

O oxigênio dissolvido apresentou variação superficial de 12,2mg/L (entre 2,8 e 15mg/L) e no fundo de 6mg/L (entre 0 e 6mg/L).

Entre janeiro e abril os níveis de oxigênio junto ao fundo ficaram na maior parte do tempo entre 2,5 e 4mg/L, chegando a um pico de 6mg/L, com leve estratificação, uma vez que a concentração na superfície variou entre 5 e 10mg/L (Figura 10). A partir de abril, uma camada com baixas concentrações de oxigênio se estabeleceu (valores abaixo de 2,5mg/L), chegando este limite a profundidades de 2,5m. O comportamento desta interface foi mais estável entre abril e o final de julho, passando a oscilar entre as profundidades de 2 e 3m, até o início de novembro, quando ocorreu um evento de oxigenação até o fundo, após o qual mais uma vez a camada se estabilizou na profundidade de 3m, com ligeiro aumento de oxigênio dissolvido no fundo a partir da segunda quinzena de dezembro chegando a 2,5 no final do ano.

É possível notar que desde o início do agosto, enquanto a camada de fundo se comportou de forma instável, ocorreram eventos em que a concentração de oxigênio

dissolvido caiu em toda a coluna d'água, chegando, no final de outubro, a níveis inferiores a 3mg/L, mesmo na superfície.

O mês de julho apresentou as maiores concentrações, chegando a 15mg/L na superfície e 9,7 a 3m no dia 14 de julho, oxigenação essa que, no entanto, não afetou a profundidade de 3,5m que apresentou 0mg/L de oxigênio.

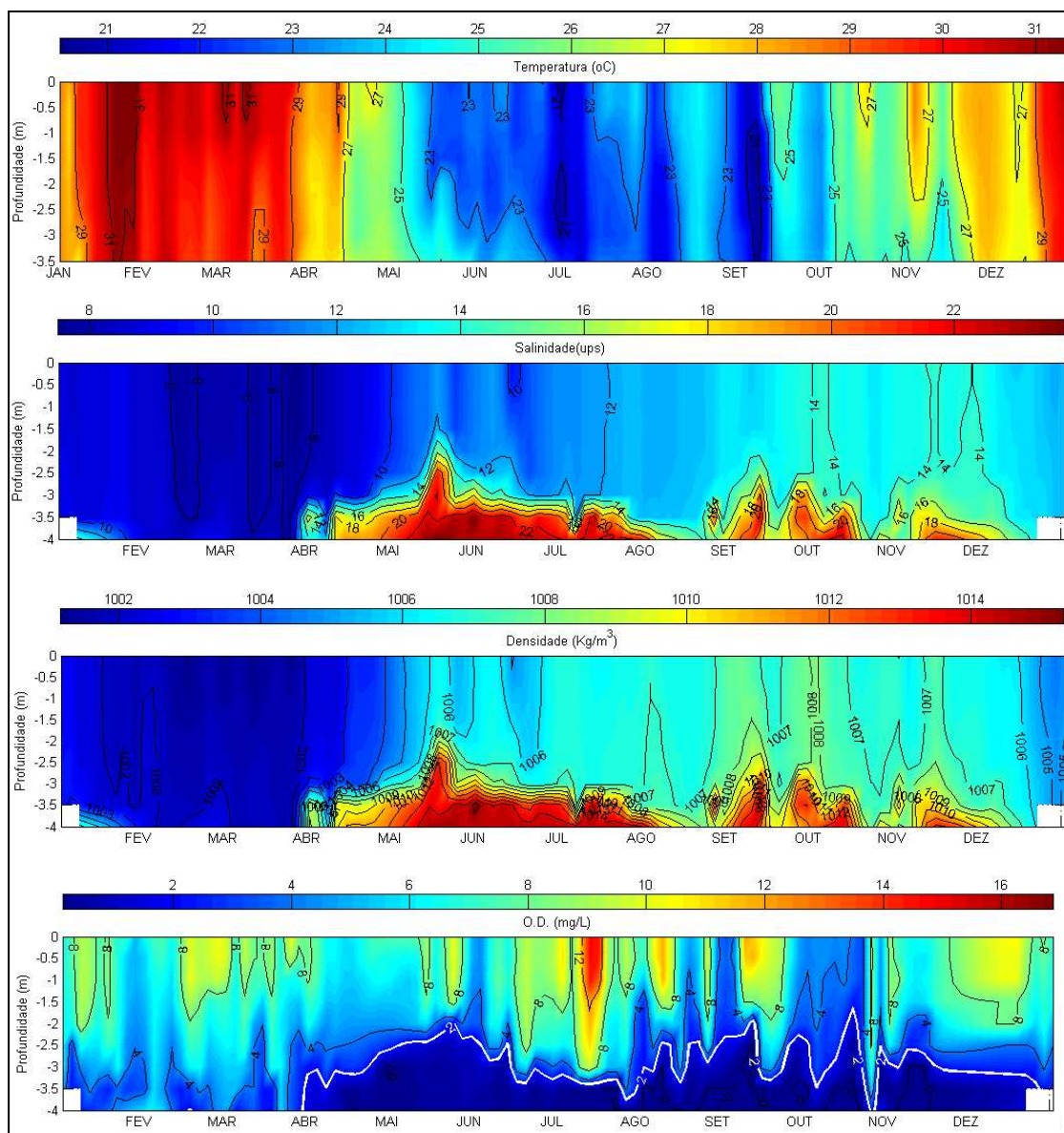


Figura 10: Variação de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2006.

Os perfis das medianas de 2006 mostram a ocorrência de uma ligeira estratificação térmica (variação de pouco mais de 0,5°C e salinidade homogênea até os 3m, iniciando a estratificação e intensificando a partir de 3,5m. O perfil médio de

densidade apresentou-se homogêneo como o de salinidade, com ligeiro aumento a 3,5m, porém a ausência de dados de temperatura a 4m não permitiu o cálculo da densidade nesta profundidade. O oxigênio dissolvido apresentou perfil médio com valores de 8mg/L na superfície e bem próximos a zero no fundo, com o maior gradiente de concentrações entre 1,5 e 3,5m (Figura 11).

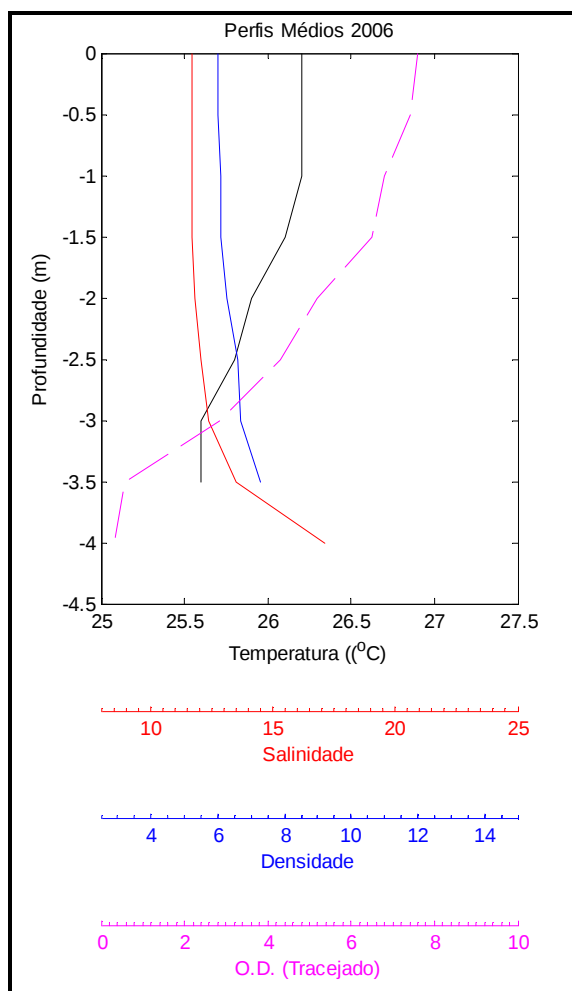


Figura 11: Perfis da mediana de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2006.

5.1.3 2007

A temperatura mínima da superfície em 2007 foi de 21,1°C, e a máxima de 31,7°C. No fundo a variação foi de 21°C a 30,6°C. A variação do perfil médio (valores centrais em cada profundidade) foi de 1°C entre a superfície e o fundo (Quadro 4). De fato, como pode ser visto na Figura 12, a coluna d'água apresentou-se predominantemente estratificada, com a temperatura do fundo em torno de 1°C mais baixa do que na superfície. Os eventos mais significativos de estratificação ocorreram na segunda

quinzena de janeiro (com diferença de 2°C) e num evento no início de novembro, com temperaturas de 26°C no fundo e 30°C na superfície. Não foram detectados eventos significativos de inversão térmica em 2007.

Quadro 4: Estatísticas sobre os parâmetros medidos na coluna d'água em 2007. Estação RF04. Fonte dos dados: FEEMA.

Temperatura (°C)					Salinidade (ups)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	21,1	31,7	27,2	3,0	8,7	17,6	13,5	2,1
0,5	21,1	31,7	27,1	3,0	8,7	17,6	13,5	2,1
1	21	31,6	27	3,0	8,8	17,6	13,5	2,1
1,5	20,9	31,6	26,9	3,0	8,9	17,6	13,5	2,1
2	20,7	31,3	26,8	3,0	9,1	17,6	13,6	2,1
2,5	20,7	31,2	26,6	2,9	9,1	18,8	13,6	2,2
3	20,8	31,1	26,5	2,8	9,1	22,1	13,7	2,5
3,5	21	30,9	26,2	2,7	9,2	23,2	14,9	3,1
4	21	30,6	26,2	2,8	9,6	24	16,5	3,3
Densidade (-1000 kg.m ⁻³)					Oxigênio Dissolvido (mg/L)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	2,1	10,2	6,3	2,2	4	12,79	7,56	1,8
0,5	2,1	10,2	6,4	2,2	3,56	11,48	7,46	1,9
1	2,3	10,4	6,5	2,1	3,16	12,21	6,95	1,9
1,5	2,5	10,4	6,7	2,1	2,74	11,5	6,46	1,9
2	2,6	10,5	6,9	2,1	1,62	10,94	5,54	1,9
2,5	2,7	12,3	7,2	2,2	0,25	10,56	4,39	2,3
3	2,7	14,7	7,2	2,5	0	9,42	2,94	2,2
3,5	2,7	15,3	8	2,9	0	8,07	1,21	1,9
4	3,3	16	9,7	3,2	0	6,04	0,25	1,5

A temperatura da água em janeiro variou entre 26 e 28°C, com características de água em aquecimento. A água mais quente (entre 29 e 31°C esteve presente entre fevereiro e abril. No mês de maio ocorreu o esfriamento, com as temperaturas caindo até 21°C no início de junho. A temperatura permaneceu mais fria (entre 21 e 24°C) de junho a agosto. Em setembro a temperatura começou a subir gradativamente até o meados de dezembro, quando chegou ao máximo de 30°C.

A salinidade variou entre 8,7 e 17,6 na superfície e de 9,6 a 24 no fundo. Apesar da grande faixa de variação junto ao fundo, a diferença do perfil mediano, entre a

superfície e fundo, foi de 3. Este dado indica que a estratificação salina não foi predominante.

No início de 2007, formou-se uma camada de água mais salgada no fundo, com concentração de até 19, que durou até meados de fevereiro (Figura 12). Entre fevereiro e meados de maio, a coluna d'água permaneceu homogênea, com salinidade 13-14. De maio a julho estabeleceu-se uma estratificação cuja interface chegou aos 3m, e com variação máxima entre 14 na superfície e aproximadamente 22 no fundo. Após uma ligeira mistura (poucos dias) em meados de julho, a estratificação salina estabeleceu-se novamente, com maior alcance (até os 2,5m) e intensidade (diferença máxima entre superfície e fundo de 15,7 e 24) no início de agosto. A estratificação durou até meados de setembro, quando a água ficou homogênea. Na porção superior da estratificada, a salinidade aumentou gradativamente, passando de 14 em junho a 17 em setembro. Quando a coluna d'água foi homogeneizada esse padrão de aumento continuou até novembro, quando a salinidade chegou próxima a 18. A partir de novembro a coluna d'água como um todo começou a ficar menos salgada, terminando o ano com valores de 9-10 na superfície e 11 no fundo.

A menor densidade superficial registrada em 2007 foi de $1002,1\text{kg/m}^3$, e a mais alta foi de $1010,2\text{kg/m}^3$. A variação no fundo foi de $1003,3$ a $1016,0\text{kg/m}^3$. O perfil mediano apresentou variação de $3,4\text{kg/m}^3$ entre superfície e fundo.

O comportamento da densidade acompanhou o descrito para a salinidade, refletindo os mesmos eventos de estratificação. A densidade apresentou três padrões bem definidos em 2007: entre janeiro e meados de maio água menos densa (valores entre 1004 e 1007kg/m^3 e mais homogênea; entre maio e novembro houve a formação de estratificação, com uma camada de água que chegou a apresentar 1016kg/m^3 no fundo, e que mostrou um aumento gradual na porção superior, variando entre 1007kg/m^3 (meados de maio) e 1010kg/m^3 em outubro/início de novembro.

Em 2007 o oxigênio dissolvido na superfície variou entre 4,0 e $12,79\text{mg/L}$ e no fundo entre 0 e $6,04\text{mg/L}$. A diferença entre superfície e fundo do perfil médio foi de $6,31\text{mg/L}$ (Quadro 4).

Houve formação de uma camada com baixas concentrações de oxigênio dissolvido no fundo (valores abaixo de $2,5\text{mg/L}$), mas seu comportamento não foi estável (Figura 12). Foram identificados cinco eventos em que a camada com valores abaixo de

2,5mg/L estabeleceu-se a partir de 2,5m de profundidade, com duração aproximada de pouco mais de um mês cada. A mais intensa ocorreu entre julho e agosto. É importante ressaltar, no entanto, que entre janeiro e agosto a concentração de oxigênio dissolvido no fundo não passou de 2,0mg/L.

Durante todo o ano, houve penetração intermitente de águas com concentração de 4mg/L até a profundidade de 3m, mas a partir de julho, e especialmente a pós o mês de agosto, o fundo passou a apresentar águas com maiores níveis de oxigênio (até 6mg/L), intercaladas com períodos de anoxia. De forma inversa, o nível de 4mg/L também teve seu alcance estendido até próximo à superfície em abril e novembro.

Três eventos de maior oxigenação na superfície foram identificados em julho, novembro e final de dezembro, com valores entre 10 e 12mg/L. Durante esses eventos, os níveis de fundo eram próximos de zero, com perfil estratificado, com exceção do evento no final do ano, em que as águas com mais oxigênio (até 4mg/L) penetraram até o fundo.

Os perfis das medianas em 2007 (Figura 13) indicam uma fraca estratificação térmica (1°C), sem termoclina bem definida. A salinidade em média mostrou-se homogênea entre a superfície e a profundidade de 3m, com valores próximos a 13,6 em toda essa extensão, e aumento a partir dessa profundidade, culminando com o valor mediano de 16,5 para o fundo. A densidade acompanhou a salinidade, porém com um perfil ligeiramente mais inclinado, variando entre 1006,3kg/m³ na superfície e 1009,7 kg/m³ junto ao fundo. O oxigênio dissolvido apresentou de modo geral um declínio bem distribuído entre o nível de 0,5m e o fundo, sem quedas bruscas, variando entre 7,5 e 0,2mg/L.

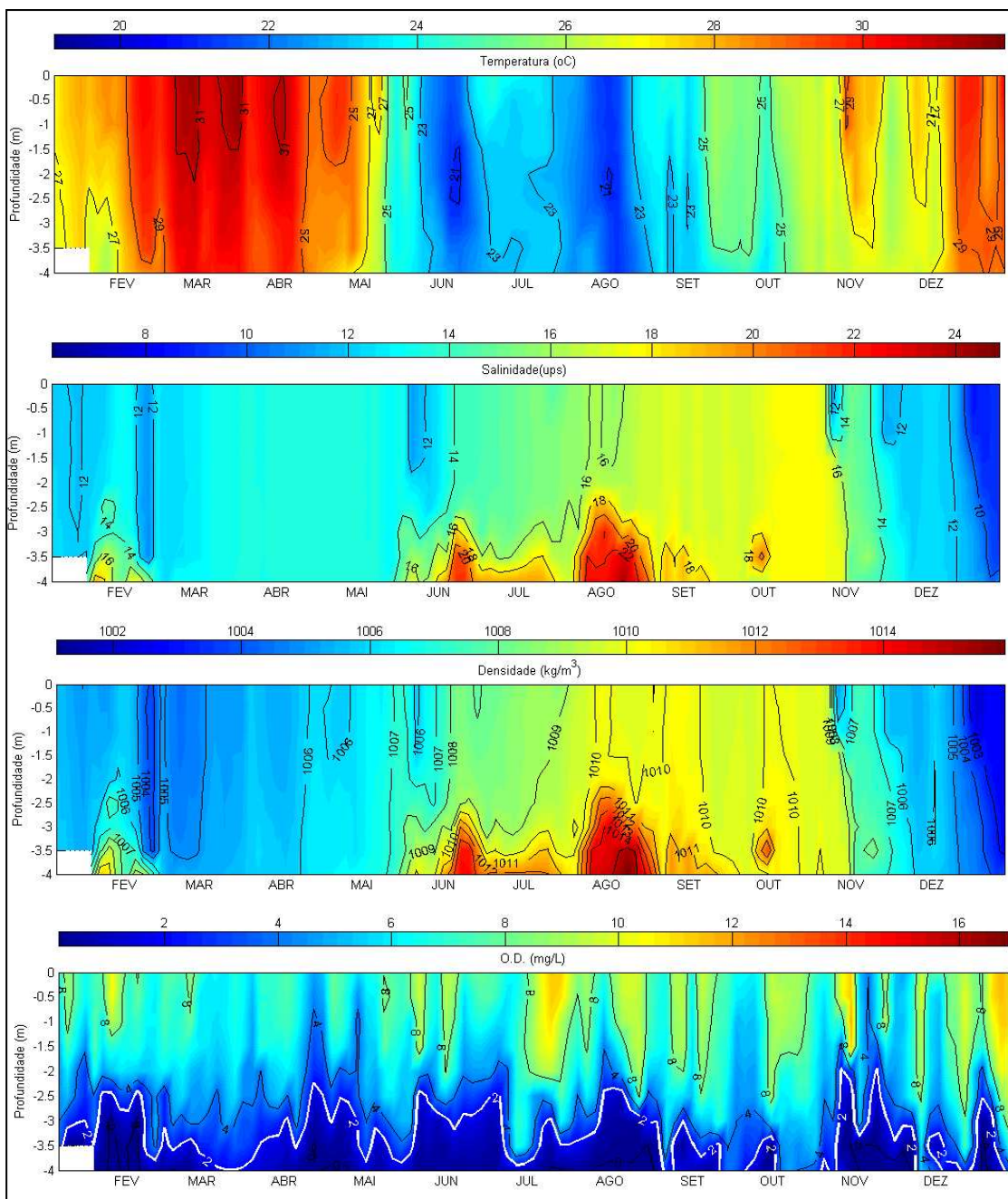


Figura 12: Variação de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2007.

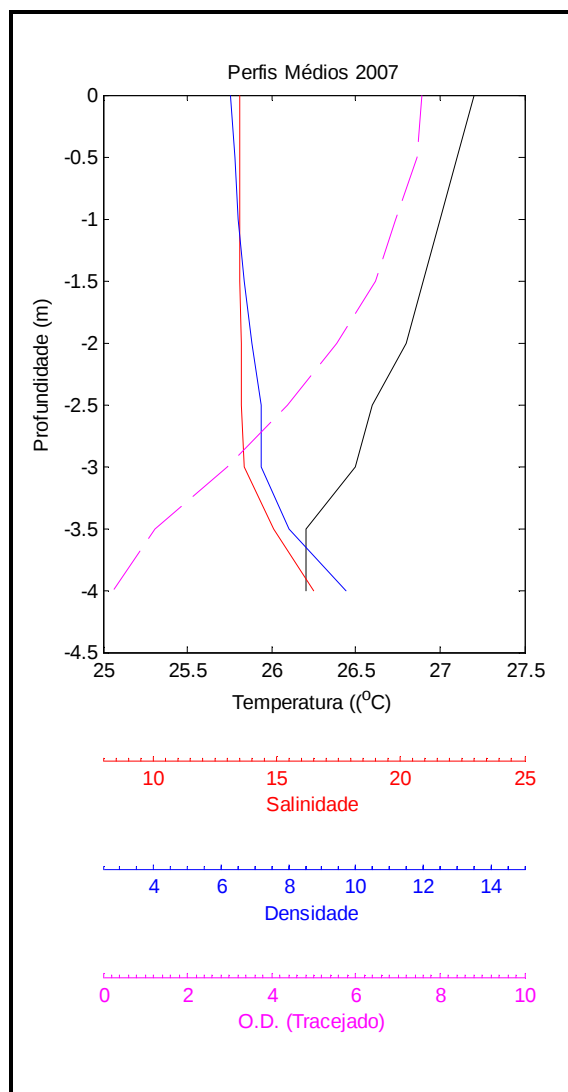


Figura 13: Perfis da mediana de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2007.

5.1.4 2008

A temperatura da superfície em 2008 variou entre 21,8 e 31,9°C. No fundo, a variação foi de 22,2 a 31,3°C. O perfil mediano teve variação de 0,6°C (Quadro 5).

A coluna d'água apresentou intercalação de homogeneidade com estratificação de aproximadamente 1°C, chegando a 2 °C em alguns momentos. Essa dinâmica foi mais pronunciada até setembro, quando os eventos de estratificação ficaram mais leves.

A presença de águas mais quentes (29 a 31°C) ocorreu em janeiro e março, interrompida em fevereiro pela entrada de águas com temperaturas em torno de 27°C no mês de fevereiro. A transição para águas mais frias se deu entre meados de março

e início de junho. Neste período as temperaturas ficaram na faixa de 23 a 29°C. A partir de junho, foram registradas temperaturas entre 22 e 25°C, até outubro, quando as temperaturas começaram a subir novamente, chegando a 29°C (na superfície) no fim do ano (Figura 14).

Quadro 5: Estatísticas sobre os parâmetros medidos na coluna d'água em 2008. Estação RF04. Fonte dos dados: INEA/GEQUAM.

Temperatura (°C)					Salinidade (ups)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	21,8	31,9	26,1	2,7	6,4	9,1	8,2	0,7
0,5	21,7	31,9	26	2,7	6,4	9,1	8,2	0,7
1	21,7	31,8	25,9	2,7	6,4	9,1	8,2	0,7
1,5	21,6	31,8	25,9	2,8	6,4	9,1	8,2	0,7
2	21,5	31,5	25,8	2,7	6,4	9,2	8,2	0,7
2,5	21,4	31,5	25,7	2,7	6,4	9,3	8,3	0,7
3	21,5	31,5	25,4	2,7	6,5	9,5	8,4	0,7
3,5	21,8	31,4	25,4	2,6	6,5	11,3	8,6	0,9
4	22,2	31,3	26,5	2,4	6,6	11,5	8,4	0,9
Densidade (-1000 kg.m ⁻³)					Oxigênio Dissolvido (mg/L)			
Prof.(m)	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desvio
0	0,97	4,2	2,7	0,9	4,32	16,7	8,57	2,1
0,5	1,07	4,2	2,8	0,9	3,29	16	8,22	2,1
1	1,08	4,4	2,8	0,9	2,74	15,2	7,8	2,0
1,5	1,28	4,4	2,9	0,9	2,61	14	7,15	2,0
2	1,3	4,4	2,9	0,9	2,06	13,4	6,51	1,8
2,5	1,37	4,4	2,9	0,9	1,8	13	5,71	1,8
3	1,43	4,9	3	0,9	1,32	12,6	5,01	1,8
3,5	1,43	5,9	3,2	1,1	0,05	8,4	3,63	1,8
4	1,43	5,5	2,8	1,0	0,02	6,56	1,65	1,8

A variação de salinidade ficou entre 6,4 e 9,1 na superfície e 6,6 e 11,5 no fundo. A diferença entre os valores medianos da superfície e do fundo foi de 0,2 (Quadro 5).

O comportamento da salinidade em 2008 foi de uma coluna d'água praticamente homogênea durante todo o ano, seguindo um movimento de redução da salinidade iniciado em dezembro de 2007 (ver Figuras 12 – 2007 e 14 - 2008). Entre janeiro e abril a coluna d'água apresentou-se homogênea, com salinidade caindo de 9 (em

janeiro) a 7 no início de abril. Em abril construiu-se uma ligeira estratificação, com a água superficial apresentando salinidades abaixo de 6, chegando a 11 no fundo.

A partir de maio a salinidade voltou a subir gradativamente, chegando a 9 em agosto. Neste período a água do fundo ficou mais salgada em determinados momentos, chegando a apresentar concentrações de 11 enquanto a superfície apresentava 7,5. De agosto em diante a coluna d'água ficou praticamente homogênea, com a salinidade oscilando entre 8 e 9.

A densidade na superfície da lagoa em 2008 variou entre 1001,0 e 1004,2kg/m³. No fundo ela variou de 1001,4 a 1005,5kg/m³. A variação média entre superfície e a profundidade de 3,5m foi de 0,5kg/m³.

Refletindo a homogeneidade da salinidade a densidade foi baixa durante todo o ano, e em toda a coluna d'água (Figura 14). Os menores valores (entre 1001 e 1002kg/m³) ocorreram entre meados de fevereiro e início de maio. Neste período, houve oscilações de cerca de 0,5kg/m³ de magnitude e 15 dias de duração, que não acompanharam o movimento da salinidade, provavelmente refletindo a influência da temperatura na densidade. Entre maio e dezembro a densidade caiu gradativamente de 1005kg/m³ até valores próximos de 1002kg/m³.

O oxigênio dissolvido na superfície variou entre 4,32 e 16,7mg/L, enquanto no fundo ficou entre 0,02 e 6,56mg/L. A variação da mediana, entre superfície e fundo, foi de 7mg/L (Quadro 5).

De maneira geral, os valores de oxigênio dissolvido apresentaram grande variabilidade, tanto na coluna d'água quanto ao longo do ano (Figura 14). A camada anóxica do fundo foi instável, com maior relevância entre fevereiro e agosto. A partir de agosto os níveis de oxigênio junto ao fundo mantiveram-se entre 2 e 4mg/L, com máximo de 6mg/L. Em dezembro as concentrações caíram junto ao fundo, voltando a valores abaixo de 1mg/L. Em janeiro/fevereiro e meados de março toda a coluna d'água experimentou queda nos níveis de oxigênio, que chegaram até 4mg/L na superfície. No final de julho / início de agosto, houve uma oxigenação significativa da coluna d'água, com valores de 12mg/L até a profundidade de 3m, mas o fundo (3,5m) permaneceu com valores próximos a 4mg/L. No início de outubro e no final de novembro ocorreram dois eventos em que água com 6mg/L de oxigênio dissolvido atingiram o fundo.

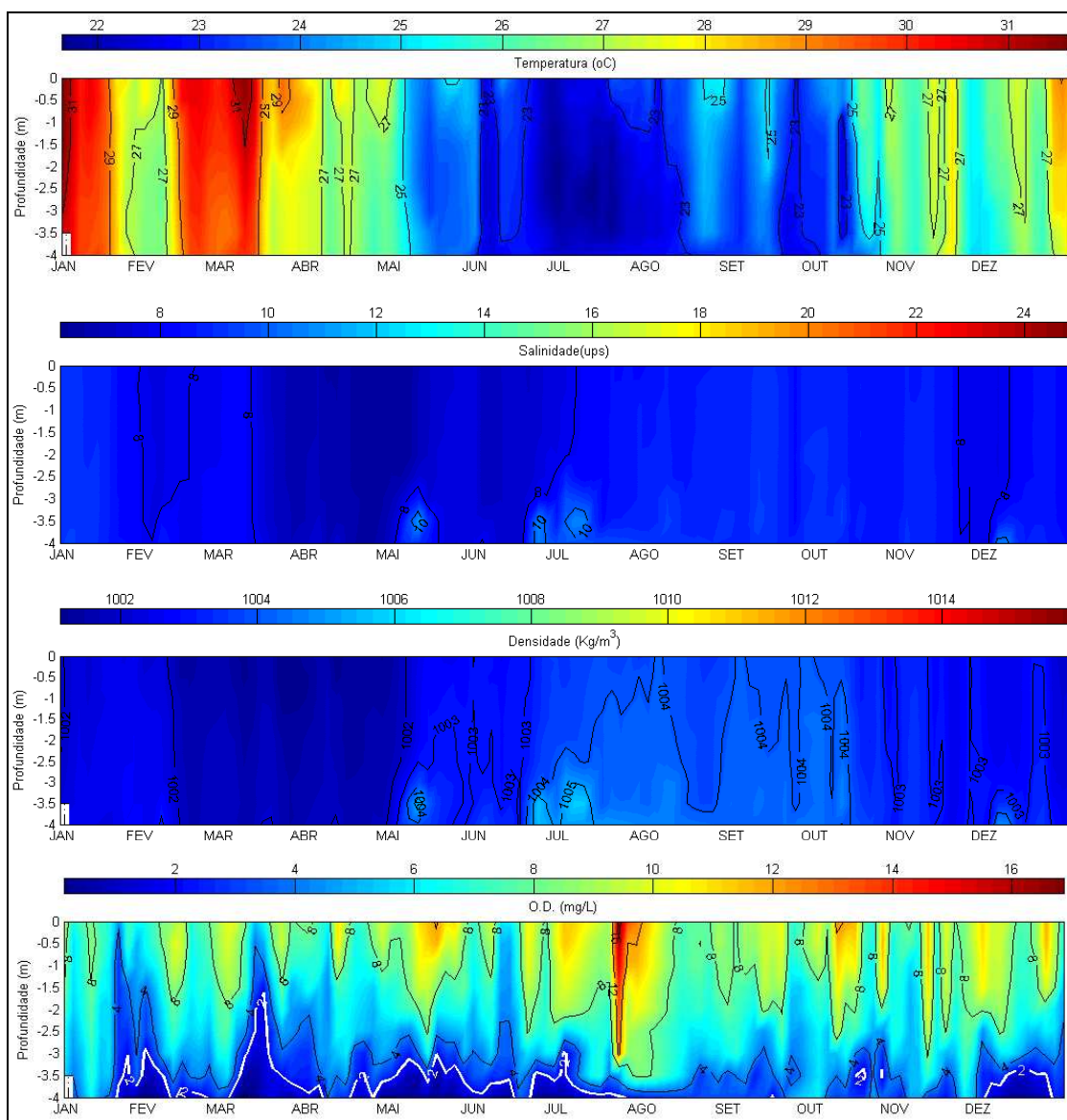


Figura 14: Variação de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2008.

Os perfis medianos em 2008 mostram uma estratificação térmica de aproximadamente 0,5°C (Figura 15). As temperaturas mais altas junto ao fundo devem ser atribuídas a menor quantidade de medições a 4m, o que pode interferir na estatística, uma vez que observando os perfis não se observa inversão térmica significativa. Os perfis de salinidade e densidade mostraram-se praticamente homogêneos, e o de oxigênio dissolvido mostrou um gradiente constante, com valores medianos de 1,65mg/L próximo ao fundo.

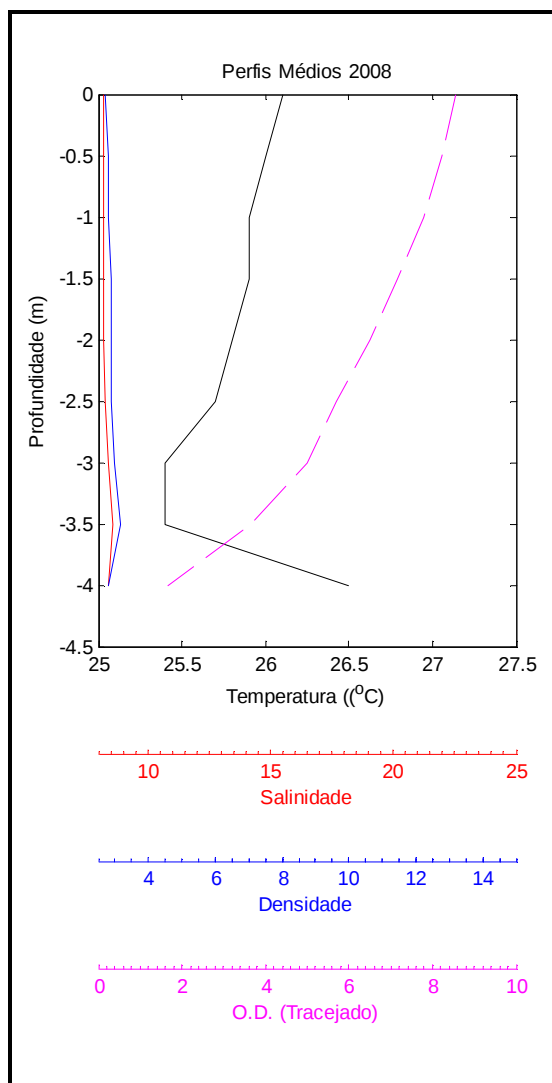


Figura 15: Perfis da mediana de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio dissolvido na Estação RF04 em 2008.

5.1.5 Variação Interanual

Ao se comparar os perfis médios de temperatura em todos os anos (Figura 16), percebe-se que 2005 e 2007 foram anos mais quentes em média 1°C do que os anos de 2006 e 2008. O ano de 2006 apresentou a água mais fria entre todos os anos.

Ao se observar os perfis médios de salinidade (Figura 16), é possível notar que a estratificação salina diminuiu gradativamente entre 2005 e 2008, e que quando esteve presente, a profundidade média da haloclina foi de 3m. Em 2007 foram registrados os maiores valores de salinidade na coluna d'água entre a superfície e os 3m (aproximadamente 13,5g/L), mas a estratificação foi menos pronunciada do que nos anos anteriores, com valores médios próximo ao fundo de 16,5g/L. O ano de 2008

apresentou-se praticamente homogêneo e com baixas salinidades (8-9g/L), com padrão atípico em relação aos anos anteriores. Os padrões de densidade refletiram a salinidade (Figura 16).

O perfil mediano de oxigênio dissolvido apresentou uma tendência de diminuição da estratificação, que foi mais pronunciada em 2005 (Figura 16). Em 2005 e 2006, as menores concentrações de oxigênio foram atingidas já a 3,5m, mantendo-se assim até o fundo, com valores mais baixos em 2006. Já em 2007 e 2008, os valores mínimos só foram atingidos na profundidade de 4m, indicando uma menor estabilidade da camada anóxica junto ao fundo. O ano de 2008 apresentou os maiores valores medianos de oxigênio dissolvido para a camada entre 3,5m e 4m (3,63 e 1,65mg/L respectivamente).

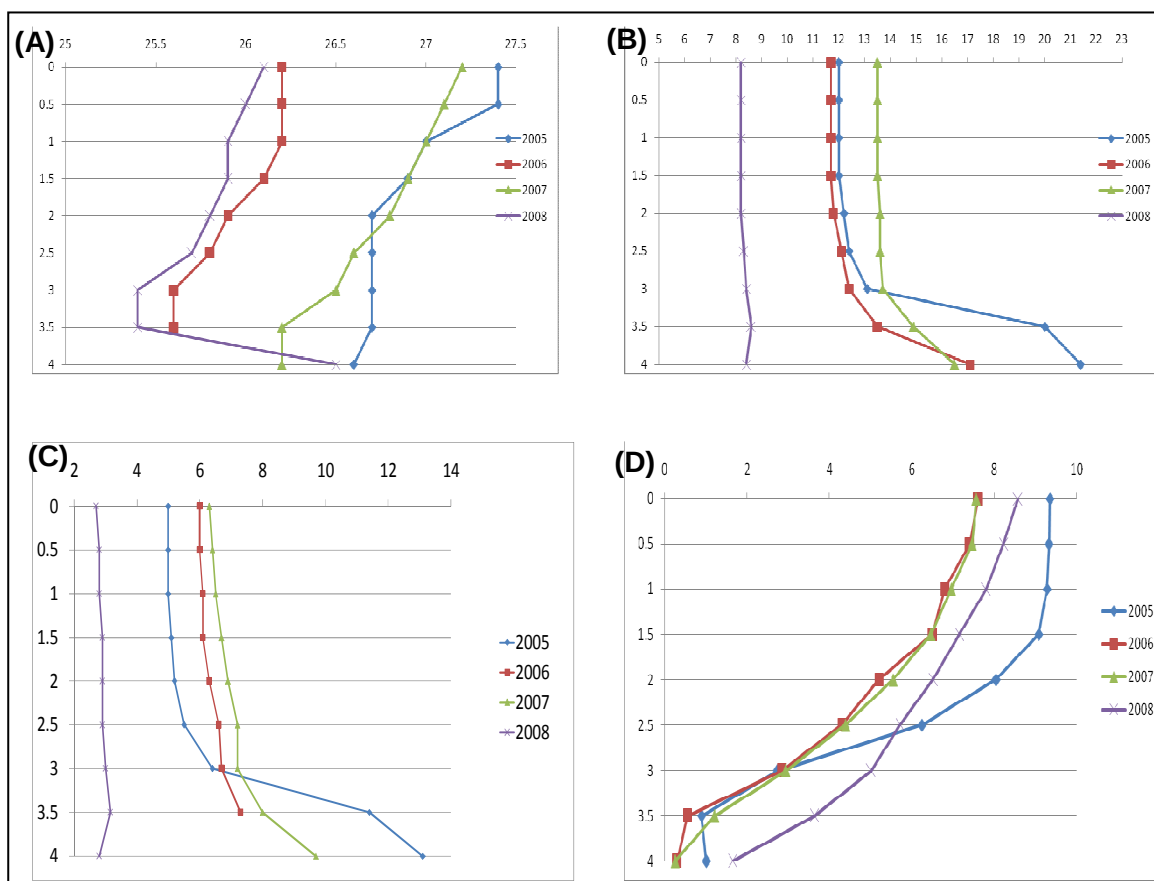


Figura 16: Variação do perfil vertical mediano anual dos parâmetros na Estação RF04: (A) Temperatura (°C); (B) Salinidade (ups); (C) Densidade (Kg/m³) e (D) Oxigênio Dissolvido (mg/L). O eixo vertical representa as profundidades em metros.

5.2 Campanhas de Detalhamento

5.2.1 Campanha de 27/03 a 11/04/2006

Durante a primeira semana de medições em 2006, entre os dias 2 e 3 de abril os dados não puderam ser aproveitados devido à falha na bateria do ADV.

a) Ventos

Durante os primeiros cinco dias (entre 27 de março e 1º de abril) foi constatado um padrão de variação diária com ventos mais fortes a partir do meio do dia e mais fracos entre o fim da noite e a manhã (Figuras 17 e 18). De um modo geral os ventos mais fracos apresentaram velocidade de 1 a 2m/s e direção noroeste, enquanto os mais fortes ficaram entre 2-3 m/s de sudeste e leste (Figura 19), tendo ultrapassado 5m/s. A direção dos ventos mais intensos variou entre leste/sudeste, sudeste/sul e sudoeste entre o primeiro e o terceiro dia, passando a soprar de sul/sudoeste no quarto e quinto dia. O vento de leste/sudeste no primeiro dia soprou com as maiores intensidades, chegando a 5,5m/s.

Na segunda semana de monitoramento (entre 3 e 8 de abril), os ventos apresentaram o mesmo padrão de variação diária, com ventos mais fracos (1-2m/s) de noroeste entre noite e madrugada, se intensificando durante o dia (3-4m/s) (Figuras 20 e 21). Os ventos mais intensos sopraram de sul, sudeste e leste (Figura 22). Na primeira semana de medições os ventos apresentaram polarização noroeste / sudeste, que se intensificou na segunda semana (Figura 23).

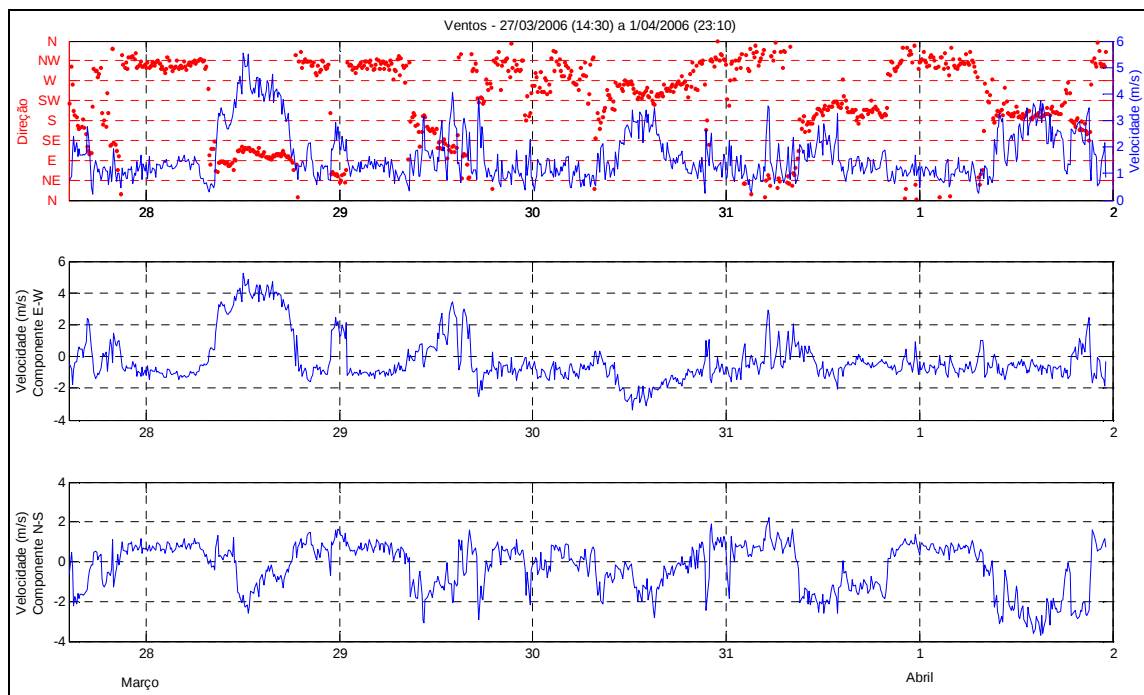


Figura 17: Série temporal de ventos medidos na semana 1 de 2006.

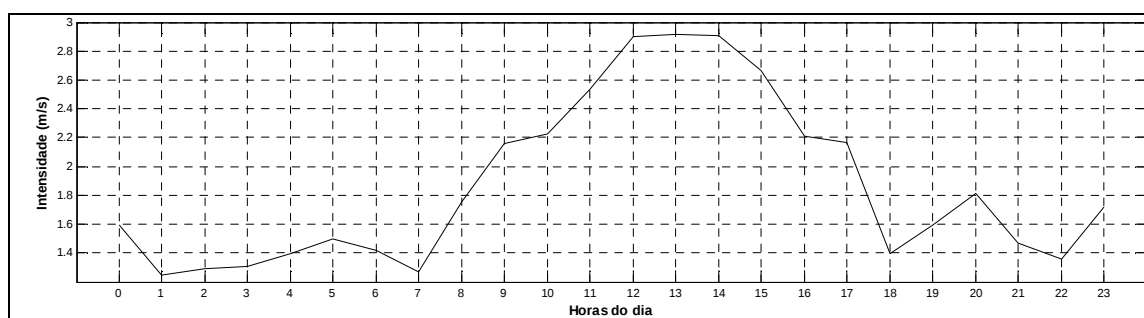


Figura 18: Ciclo diário com base nas médias de cada hora em todos os dias de medição da semana 1.

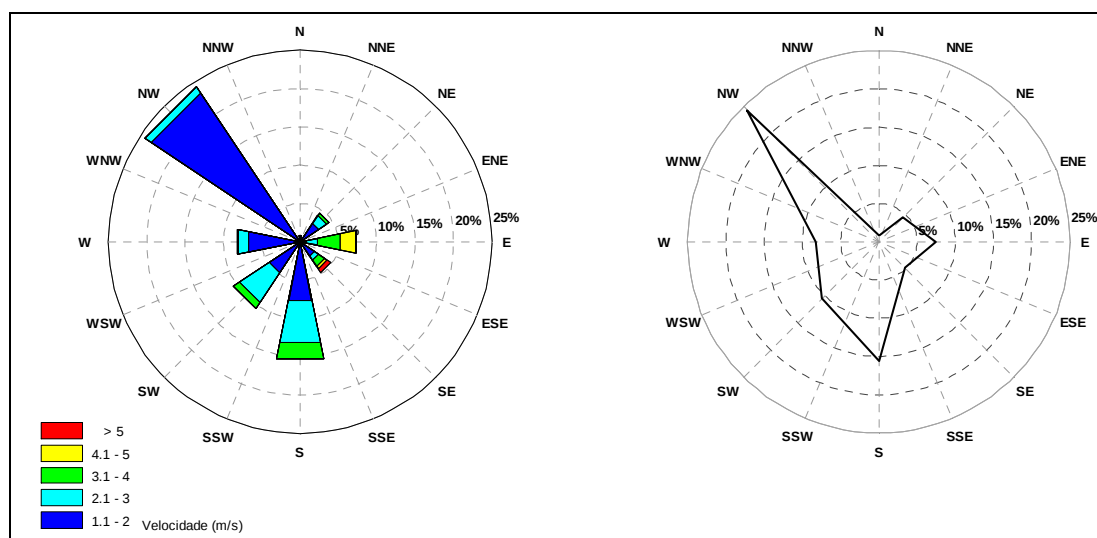


Figura 19: Rosa dos ventos com intensidades e distribuição de direções na semana 1.

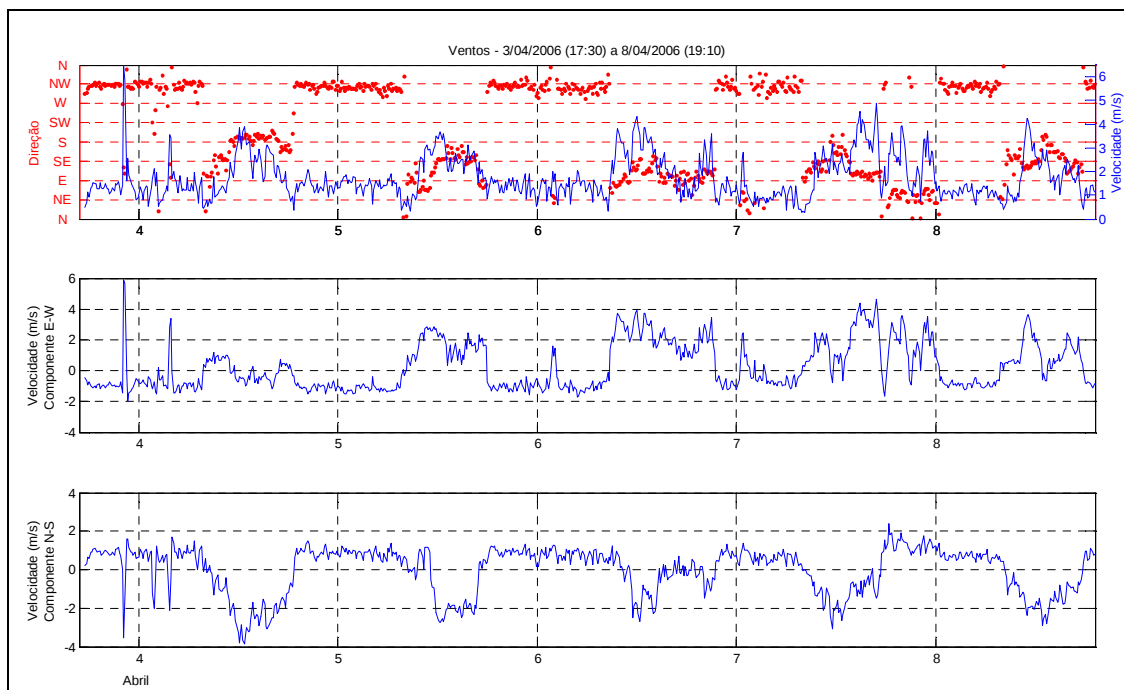


Figura 20: Série temporal de ventos medidos na semana 2 de 2006.

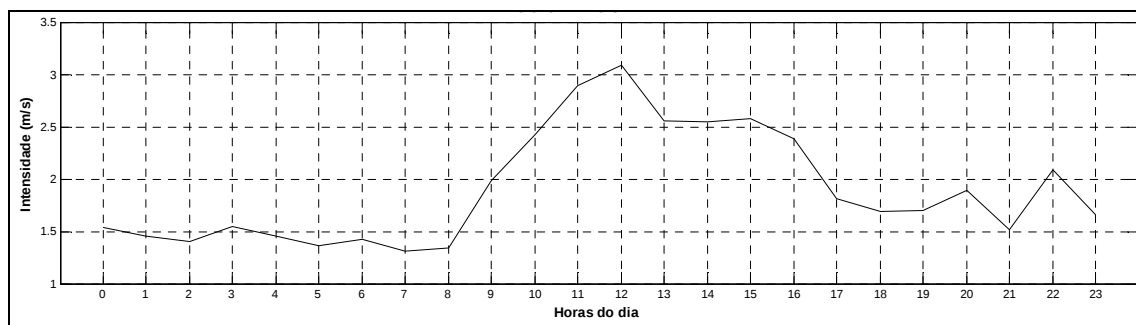


Figura 21: Ciclo diário com base nas médias de cada hora em todos os dias de medição da semana 2.

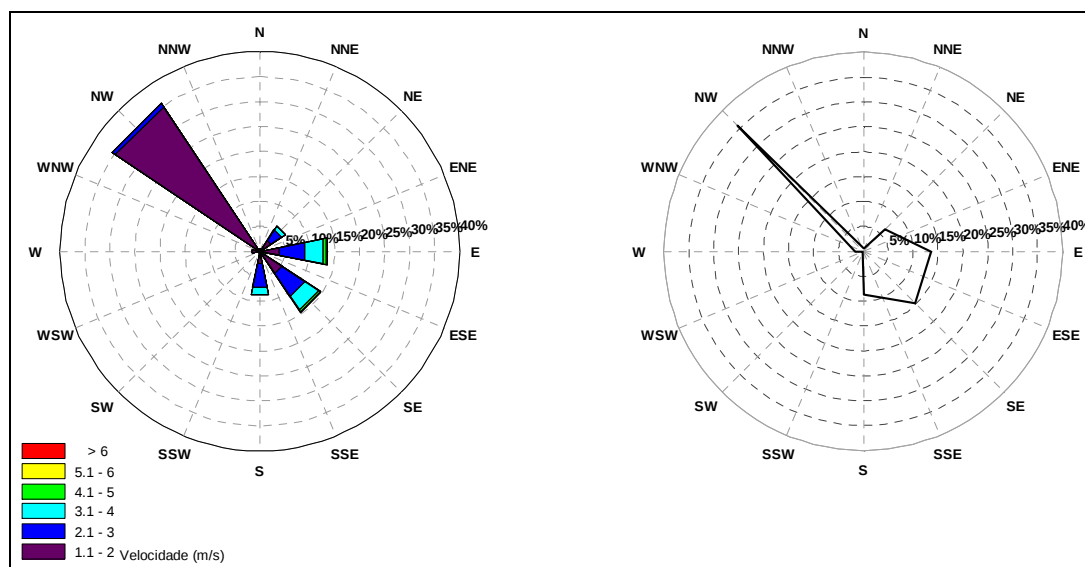


Figura 2 Rosa dos ventos com intensidades e distribuição de direções na semana 2.

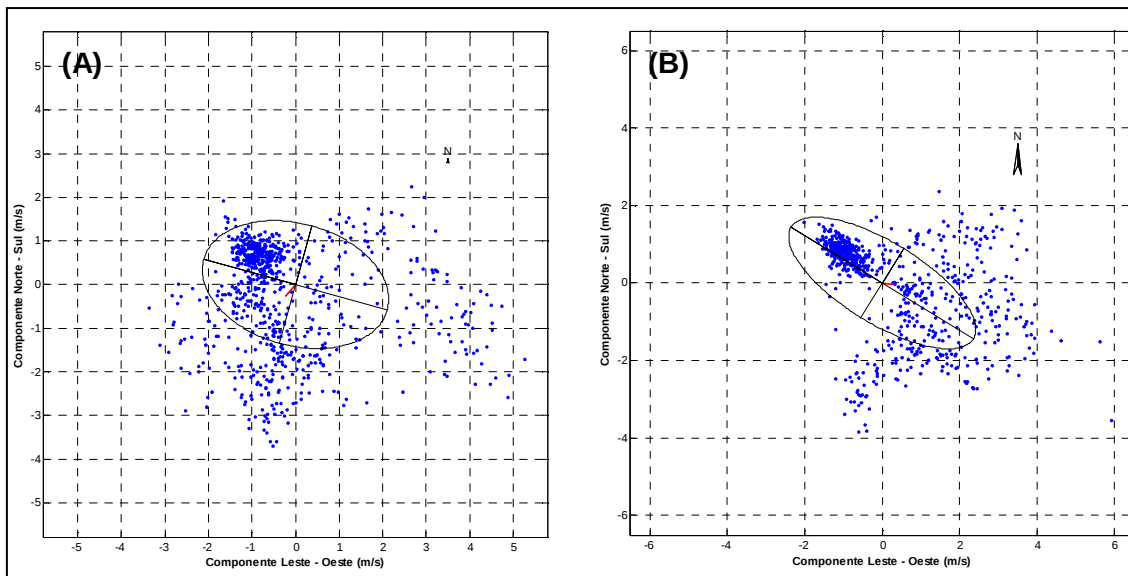


Figura 23: Dispersão das componentes de velocidade dos ventos e elipse direcional das semanas 1 (A) e 2 (B) de 2006.

b) Correntes

A medição de correntes entre 27 de março e 1º de abril revelou baixas velocidades (da ordem de 8 cm/s) polarizadas entre as direções nordeste-leste e sudoeste-oeste, com forte predominância da componente leste – oeste (Figuras 24 e 25).

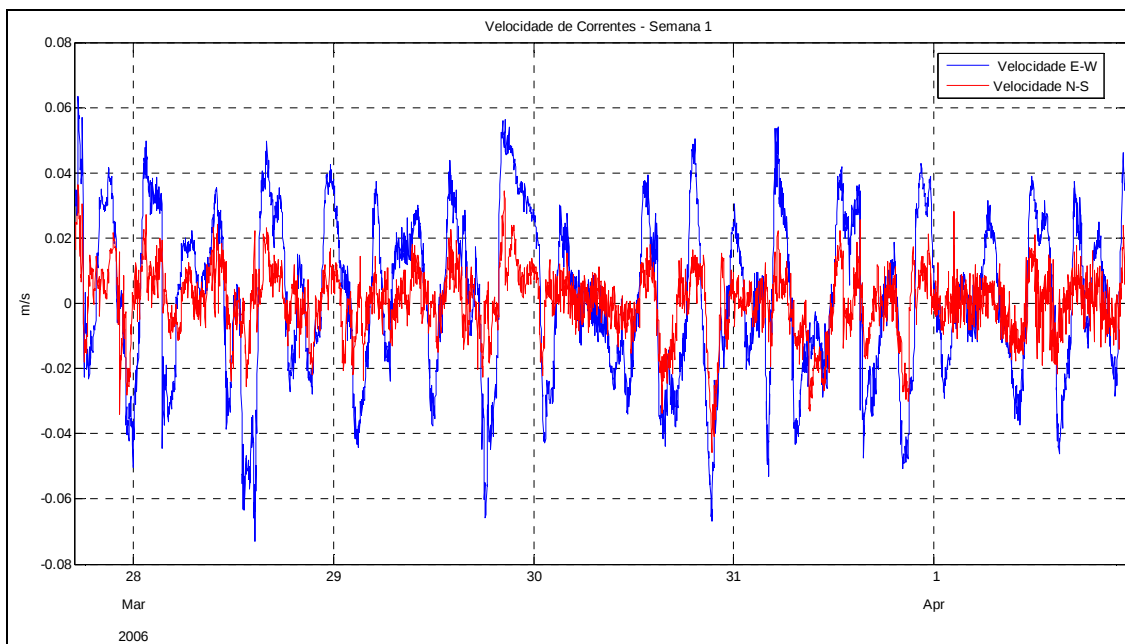


Figura 24: Componentes de velocidade de correntes medidas na semana 1 de 2006. Velocidades positivas para leste e norte.

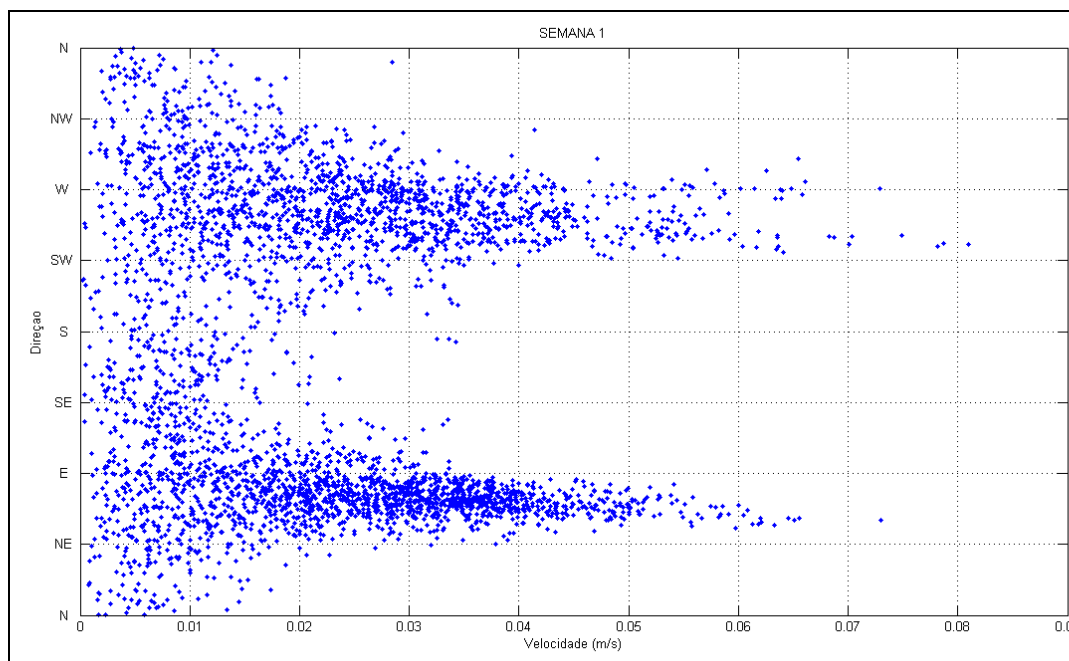


Figura 25: Gráfico de dispersão velocidade *versus* direção, semana 1 de 2006.

Entre os dias 3 e 8 de abril, as correntes foram ainda mais fracas do que na primeira semana, com velocidades máximas da ordem de 2,5cm/s. É importante ressaltar que houve retirada do fundoio para troca de baterias pelo que no reposicionamento dos equipamentos no fundo lamoso o sensor de velocidades pode ter ficado mais fundo. O eixo principal de variação da direção da corrente também foi nordeste-sudoeste (Figuras 26 e 27).

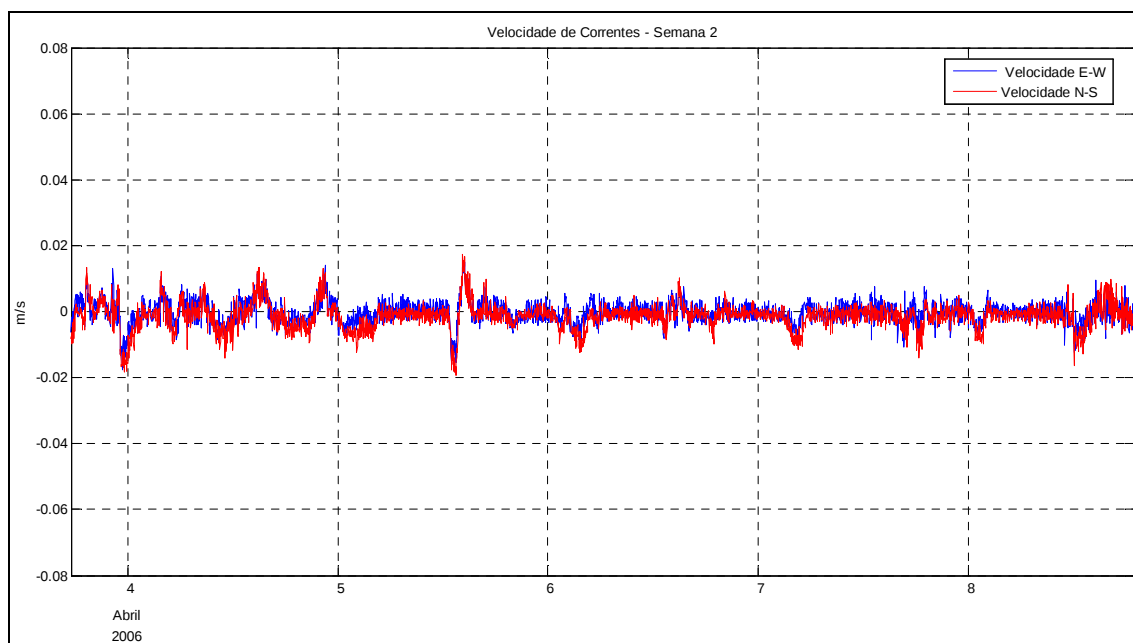


Figura 26: Componentes de velocidade de correntes medidas na semana 2 de 2006. Velocidades positivas para leste e norte.

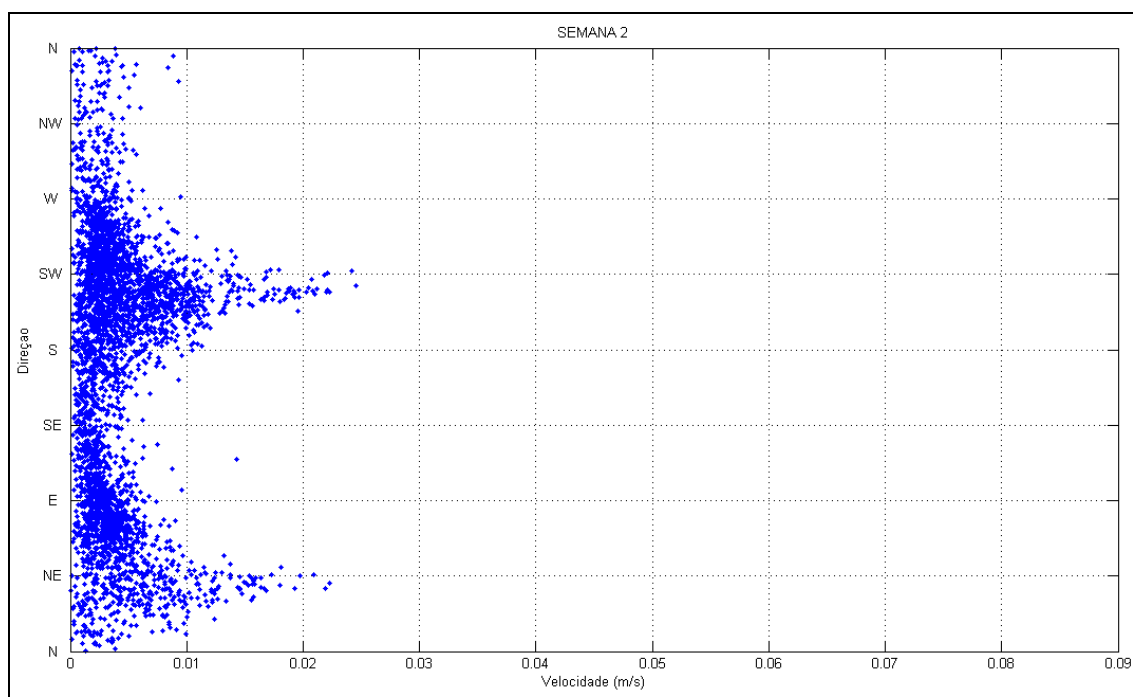


Figura 27: Gráfico de dispersão velocidade versus direção, semana 2 de 2006.

c) Temperatura, salinidade e densidade

Os dados de temperatura e salinidade medidos com o ADV próximo ao fundo revelaram a presença de uma água mais quente e doce nos primeiros três dias de medição (27 a 31 de março), com temperaturas na faixa dos 29°C e salinidade de 7 (Figura 28). A partir do fim do dia 30 de março / início do dia 31, foi constatada a entrada de uma água mais fria (em torno de 28°C e salina (acima de 10) nos últimos dois dias dessa etapa do monitoramento. Como consequência, a água no fundo foi mais densa a partir de 31 de março, saindo de valores próximos a 1001,5kg/m³ para chegar a 1004kg/m³.

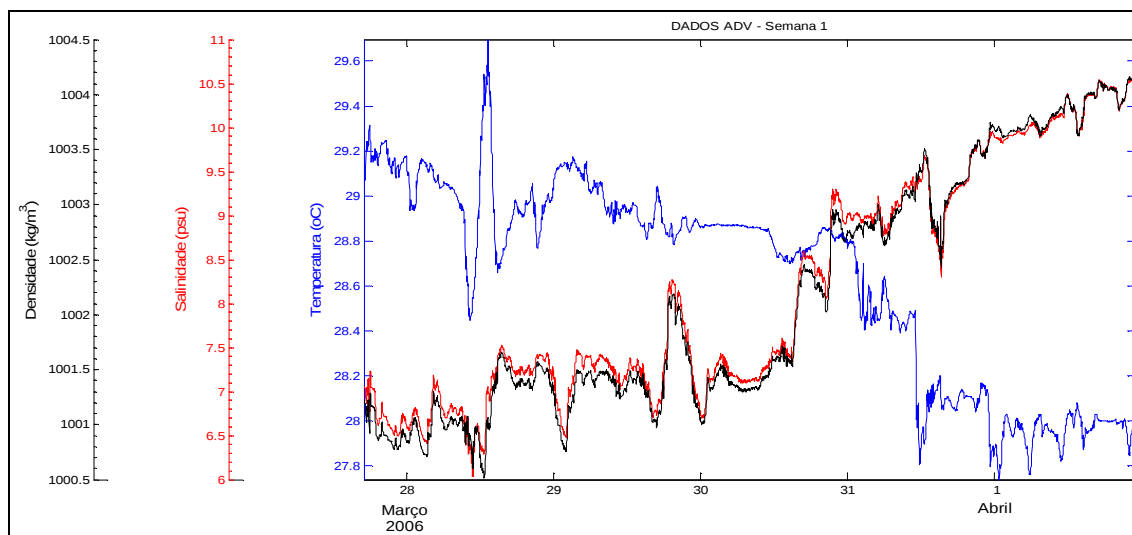


Figura 28: Temperatura, salinidade e densidade junto ao fundo na semana 1 de 2006.

Na segunda semana de monitoramento ocorreu a entrada de uma água mais fria e salina no meio do dia 5 de abril (Figura 29). A temperatura caiu de 27,6°C para 27°C e a salinidade, que já vinha em movimento de ascensão, apresentou um sinal de subida mais repentina, ainda que de pequena magnitude (aproximadamente 0,2). A temperatura voltou a subir, de forma brusca até o patamar de 27,6°C e depois caiu novamente, apresentando oscilações de aproximadamente 6 horas de duração até chegar a um novo ritmo constante de elevação suave, entre 6 e 8 de abril, passando de 27,4°C a 27,5°C. A salinidade aumentou gradativamente chegando a 11,2 no final do monitoramento.

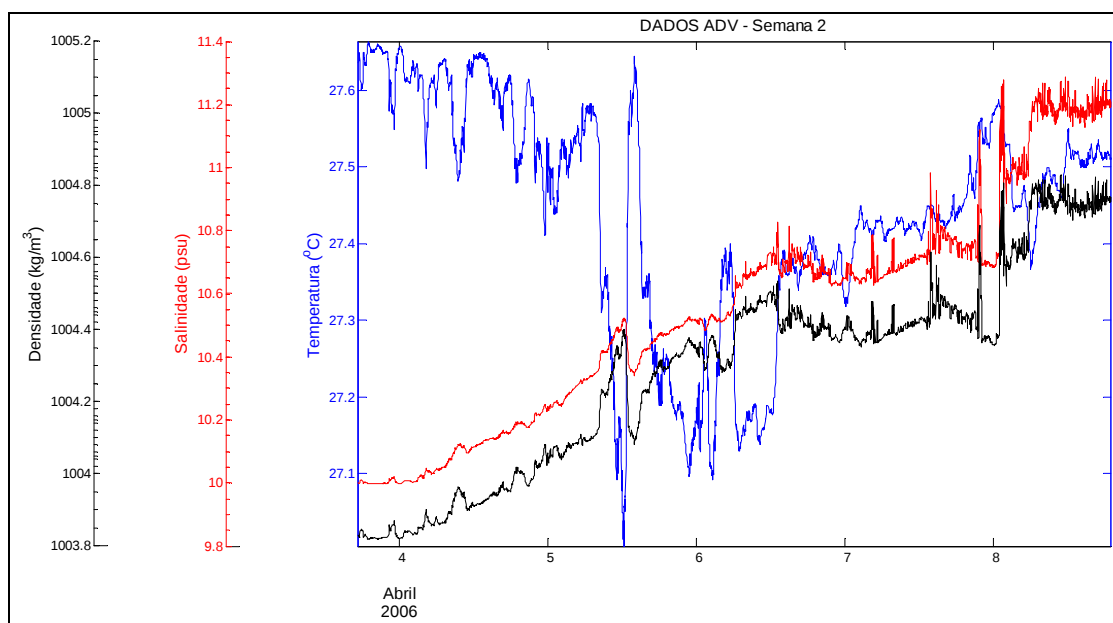


Figura 29: Temperatura, salinidade e densidade junto ao fundo na semana 2 de 2006.

A medição realizada com uma cadeia de termistores na coluna d'água durante a segunda semana de monitoramento revela a ocorrência de oscilações de temperatura com períodos aproximados de 12h, com o aquecimento da água no meio do dia, porém com penetração que não alcançou a profundidade de 3m (Figuras 30 e 31), uma vez que o comportamento da temperatura nessa profundidade não acompanhou as demais, tendo padrão parecido com o dos dados medidos com o ADV. A temperatura junto ao fundo permaneceu constante, provavelmente devido ao posicionamento do sensor, que retornou coberto por sedimentos, indicando que o mesmo pode ter afundado na lama.

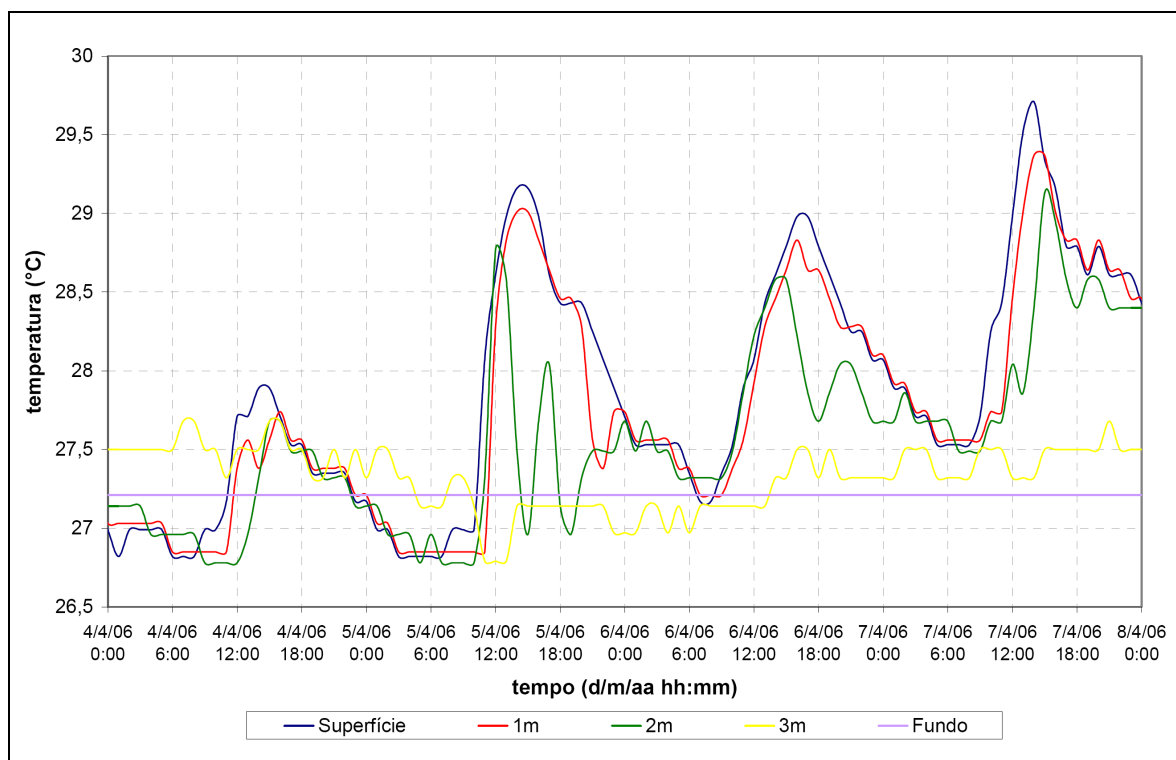


Figura 30: Temperatura na coluna d'água na semana 2 de 2006.

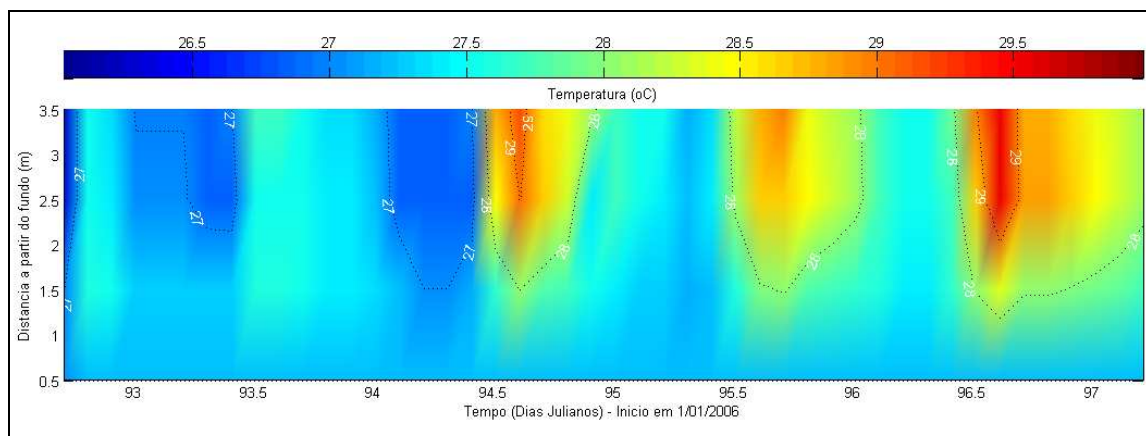


Figura 31: Interpolação da temperatura na coluna d'água na semana 2 de 2006.

d) Oxigênio Dissolvido

Foram medidos perfis de oxigênio dissolvido nos dias 27 e 30 de março, 3 e 6 de abril (Figuras 32 a 35). No dia 27 de março os valores oscilaram entre 8,8mg/L na superfície e 1mg/L junto ao fundo, com a camada de baixos níveis de oxigênio iniciando próxima aos 3m. Em 30 de março foi possível observar uma redução dos níveis de oxigênio em toda a coluna d'água, com valores de 6mg/L na superfície e próximos de zero junto ao fundo. A queda nos níveis de oxigênio nesta medição ocorreu de forma rápida a partir da profundidade de 1,5m, atingindo valores mínimos a 2m. No dia 3 de abril, o perfil de oxigênio mostrou uma forte estratificação vertical, com valores homogêneos (cerca de 8mg/L) entre a superfície e a profundidade de 2m. A partir desta profundidade, até os 3m, houve uma queda nos níveis, que se estabeleceram próximos de zero a partir dos 3m. Em 6 de abril, a concentração de oxigênio dissolvido na camada superior ficou na faixa de 10-11mg/L, caindo a partir dos 1,75m até os 3m de profundidade, a partir de onde se estabeleceu com valores aproximados de 0,5mg/L.

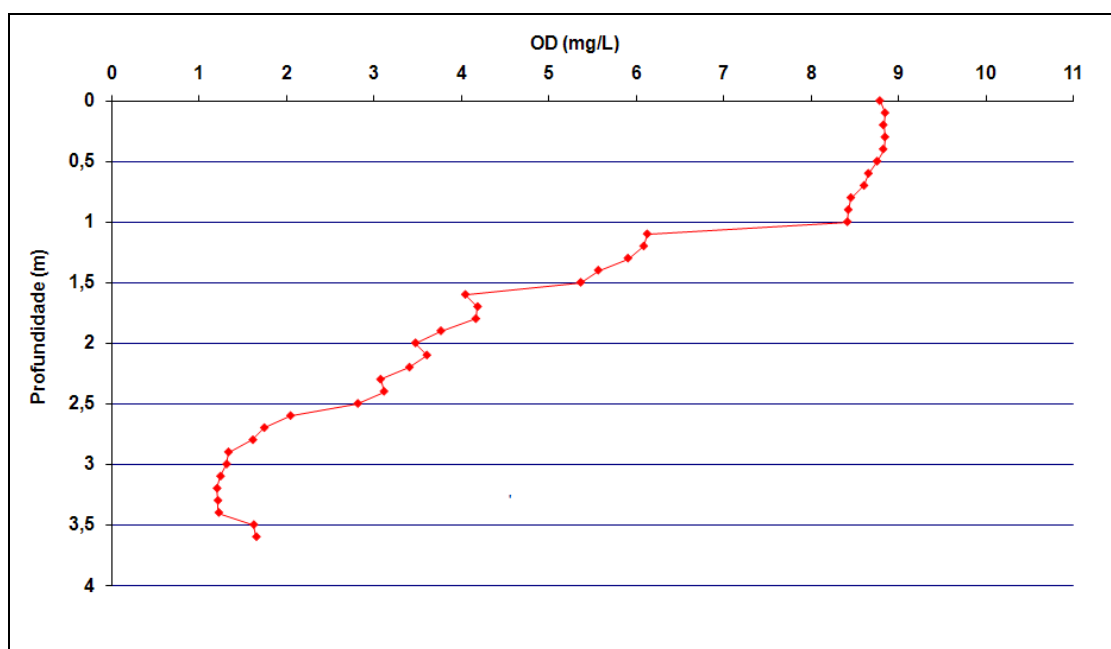


Figura 32: Perfil vertical de oxigênio dissolvido em 27/03/2006 às 13:26.

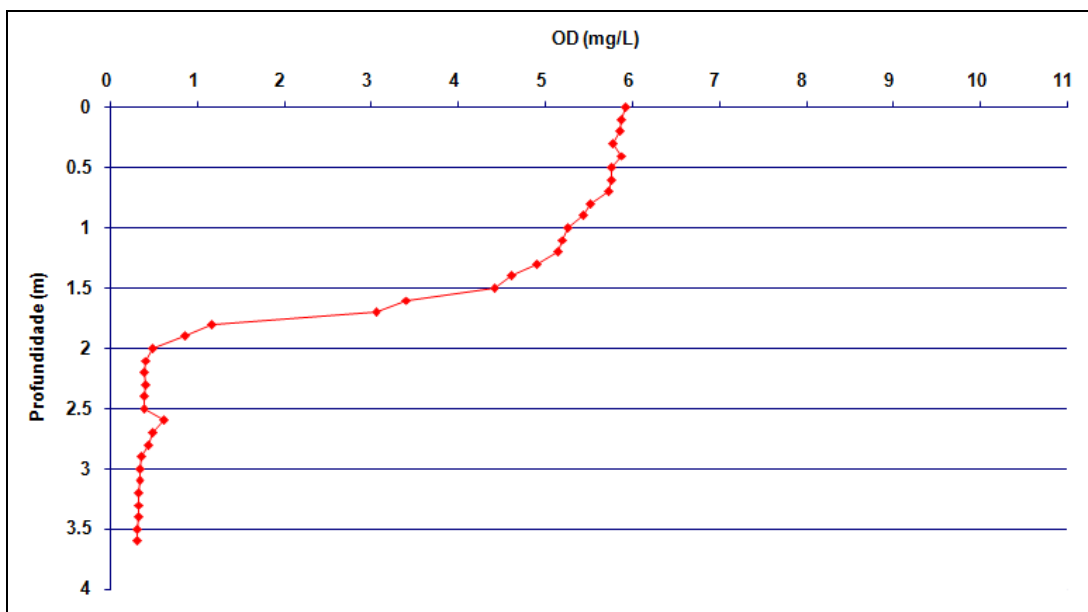


Figura 33: Perfil vertical de oxigênio dissolvido em 30/03/2006 às 13:27.

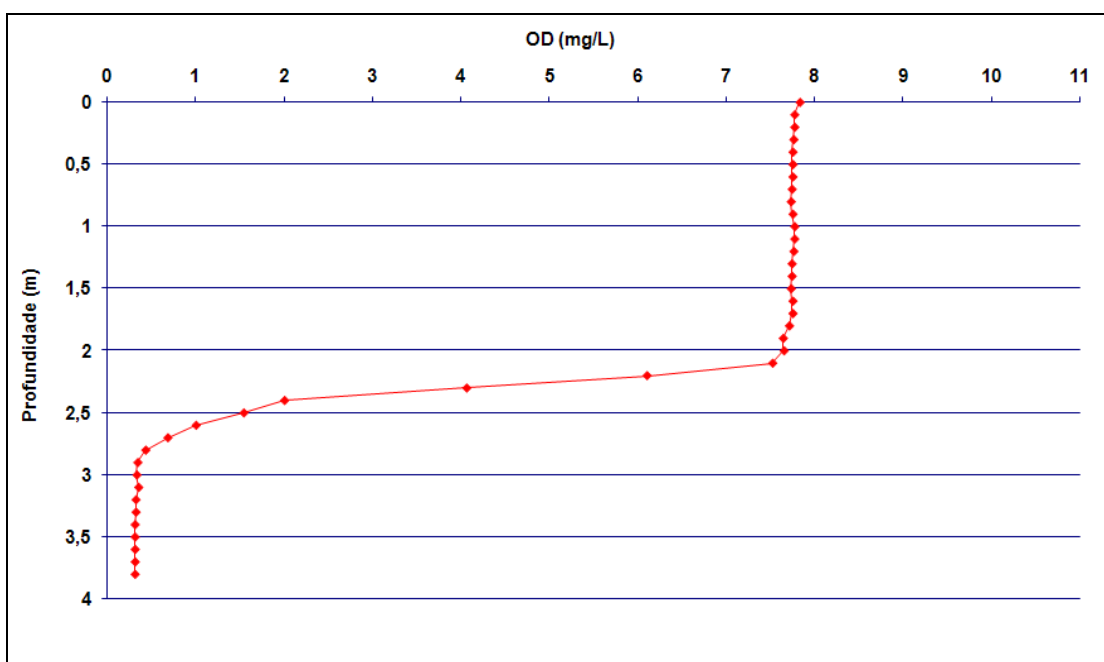


Figura 34: Perfil vertical de oxigênio dissolvido em 3/04/2006 às 16:15.

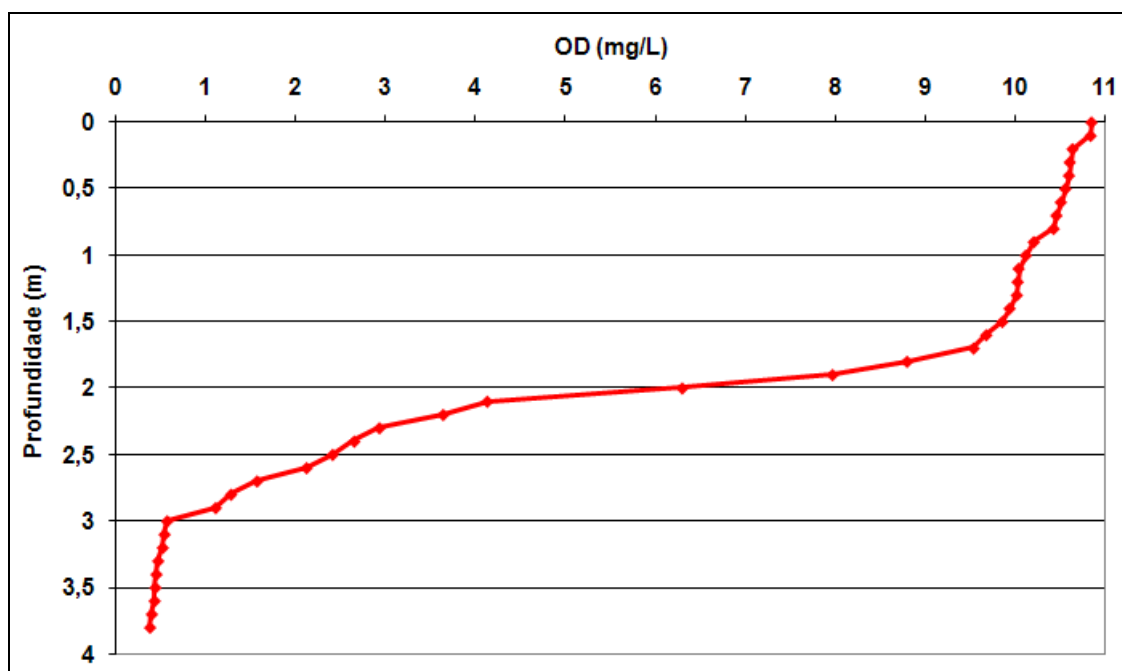


Figura 35: Perfil vertical de oxigênio dissolvido em 6/04/2006 às 15:35.

e) Profundidade

Na primeira semana de coleta, os níveis da coluna d'água tiveram uma variação máxima de 0,25m, com profundidade do sensor próxima aos 4m no início da coleta e 3,75m entre os dias 29 e 30 de março (Figura 36). A partir de então a profundidade aumentou de forma gradual até 3,85m.

Entre os dias 3 e 8 de abril, o sensor, que foi instalado em uma coluna d'água de 4,05m de profundidade, registrou ligeiro aumento até 4,1m no primeiro dia de medição, com posterior diminuição até valores próximos a 3,95, alcançados em 6 de abril, oscilando entre 3,95 e 3,90m até o final da medição (Figura 37).

Em ambas as medições foi detectado um fraco sinal de maré, com amplitude aproximada de 5cm na primeira semana e 2,5cm na segunda.

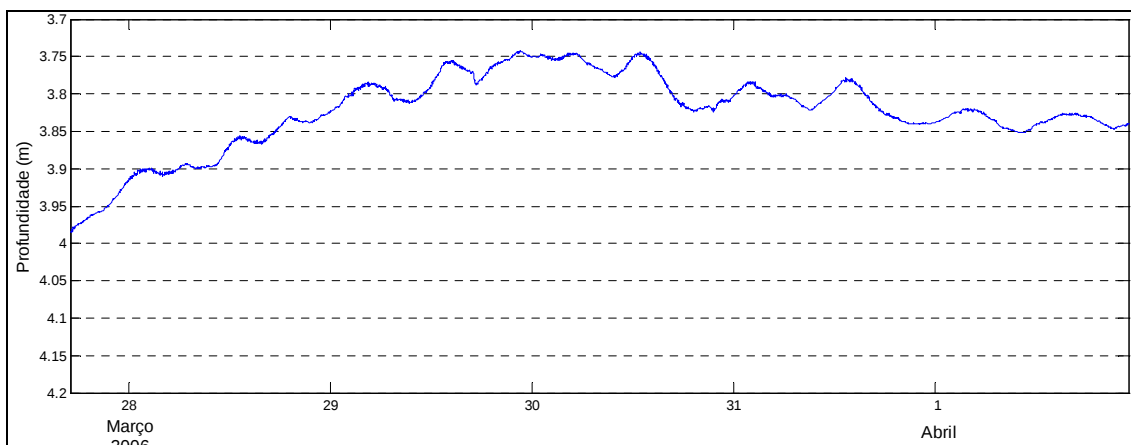


Figura 36: Profundidades medidas pelo sensor de pressão do ADV na semana 1.

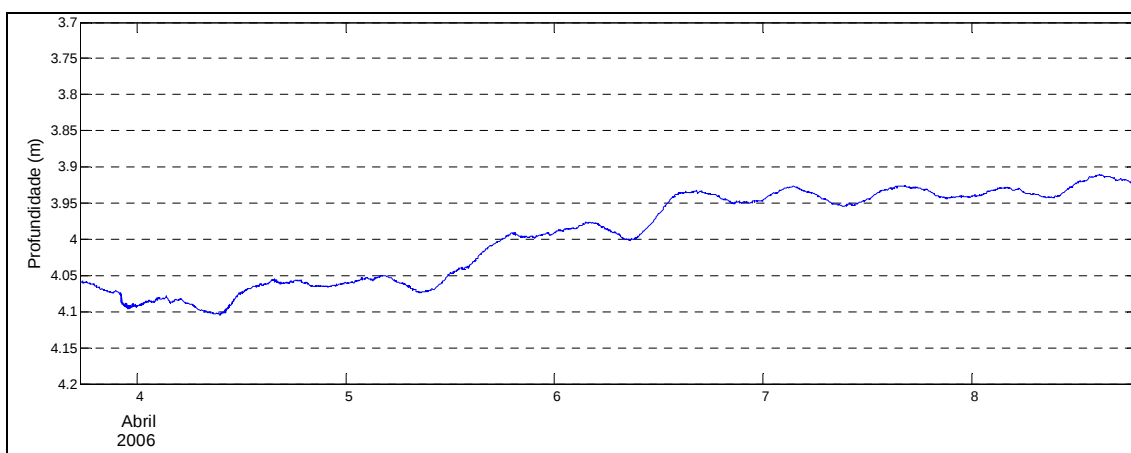


Figura 37: Profundidades medidas pelo sensor de pressão do ADV na semana 2.

5.2.2 Campanha de 30/09 a 14/10/2008

a) Ventos

A oscilação diária dos ventos nos primeiros dias de medição (entre trinta de setembro e oito de outubro) ficou na faixa de 1 a 2m/s (ventos mais fortes), no meio do dia, com direções variando entre sul e sudeste. Os ventos de menor intensidade (até 1m/s) sopraram em geral de oeste/noroeste (Figura 38). Entre os dias sete e oito de outubro o vento soprou preferencialmente do quadrante sul.

Dois eventos de ventos extremos constituíram exceções a esse padrão: no dia três de outubro sopraram fortes ventos de norte, com velocidades que chegaram próximas a 10m/s; no final do dia cinco de outubro ventos de até 6m/s sopraram, com direções preferenciais entre norte e nordeste. As maiores intensidades do vento estiveram

ligadas à direção norte, e a componente Norte-Sul dominou significativamente o registro.

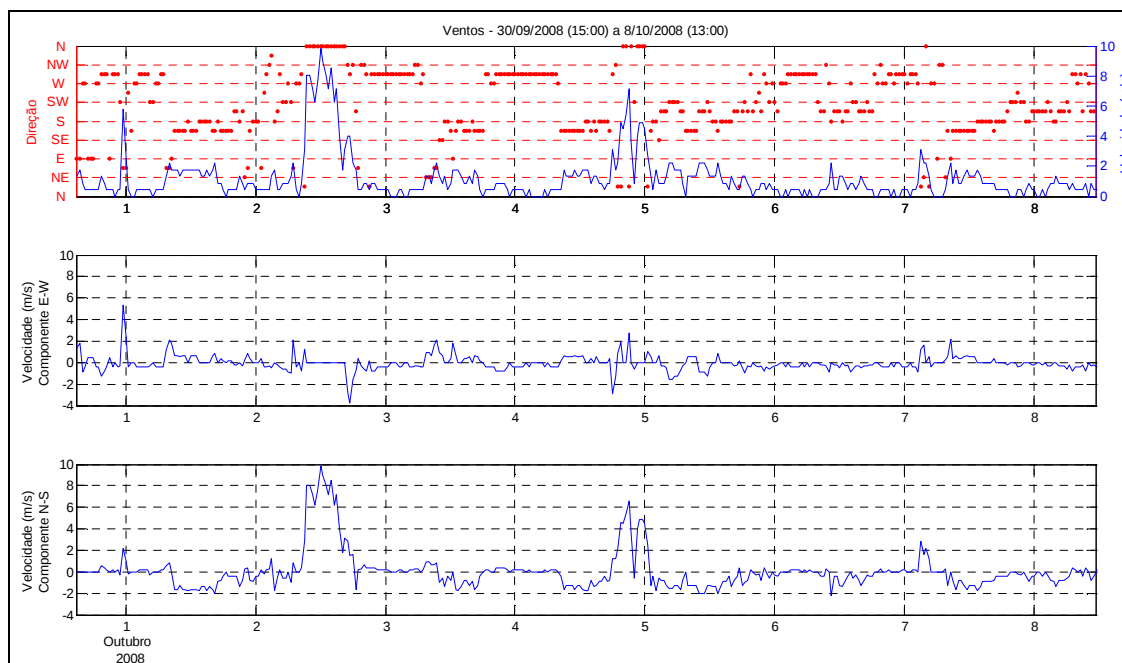


Figura 38: Série temporal de ventos medidos na semana 1 de 2008.

Entre os dias oito e catorze de outubro os ventos não apresentaram o padrão regular de ventos mais fortes em um período bem definido do dia. De um modo geral, os ventos mais intensos ficaram entre 2 e 4m/s, com picos da ordem de 5m/s (Figura 39). As direções preferenciais de tais ventos ficou no quadrante que vai de leste a norte-noroeste, com exceção para alguns momentos em que sopraram de sul-sudeste. Ventos caracteristicamente mais fracos (até 1m/s) sopraram de oeste e oeste-noroeste.

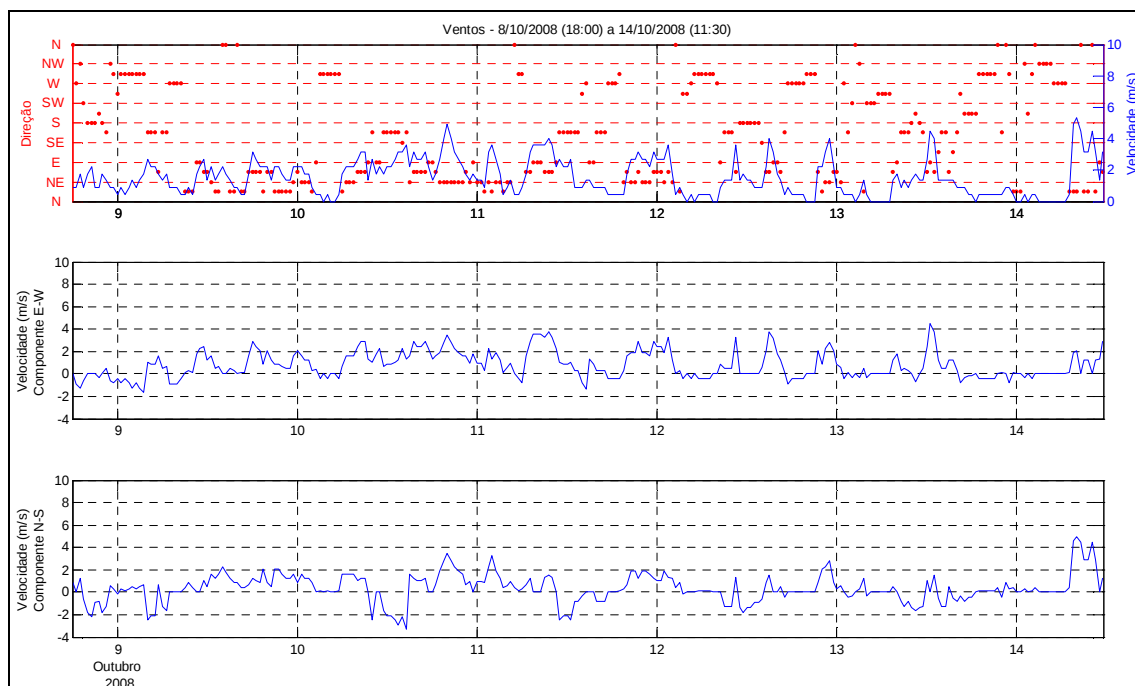


Figura 39: Série temporal de ventos medidos na semana 2 de 2008.

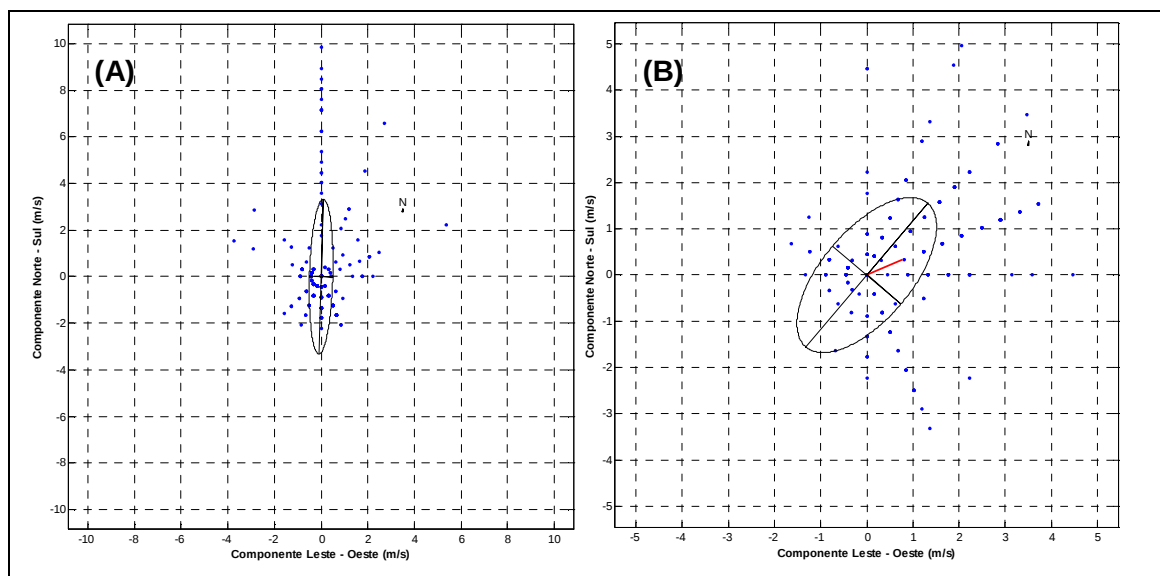


Figura 40: Dispersão das componentes de velocidade dos ventos e elipse direcional das semanas 1 (A) e 2 (B) de 2008.

b) Correntes

As correntes na semana 1 registradas à meia água (ADV superior) apresentaram valores da ordem de 0,05m/s (Figura 41). Analisando a componente de velocidade leste-oeste, é possível observar que em boa parte do tempo estiveram presentes correntes fracas para oeste, com alguns eventos de intensificação, nos quais as velocidades alcançaram cerca de 0,05m/s, como no dia 5 de outubro. A componente

norte-sul nesta profundidade revelou que o sentido predominante foi norte, em especial até o dia 5 de outubro, quando passou a oscilar entre períodos de norte e sul. As correntes mais intensas neste nível da coluna d'água (acima de 0,11m/s) apresentaram polarização entre as direções norte/noroeste (predominante) e oeste/sudoeste (Figura 42).

As correntes captadas pelo ADV posicionado mais próximo ao fundo foram ainda mais fracas e constantes, com valores que raramente ultrapassaram os 0,02m/s em cada componente de velocidade (Figura 41). As correntes mais fortes (até 0,06m/s) ficaram entre as direções oeste (predominante) e leste/nordeste (Figura 42).

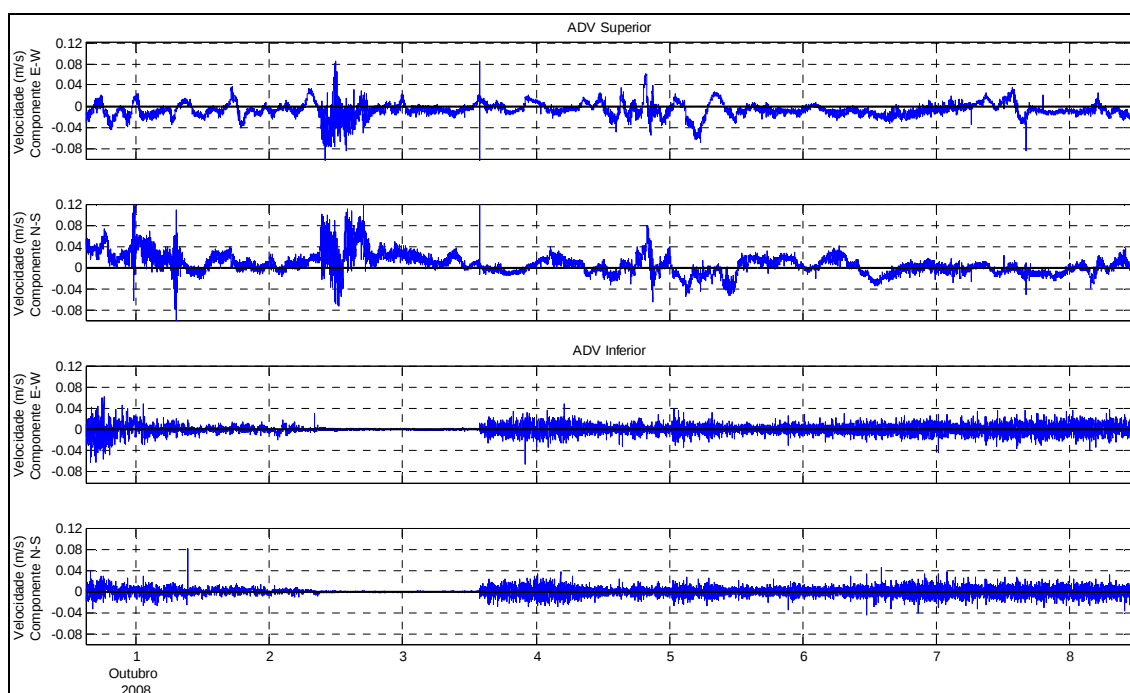


Figura 41: Componentes de velocidade de correntes medidas na semana 1 de 2008. Velocidades positivas para leste e norte. No dia 2 de outubro, com a ocorrência de fortes ventos, o cabo da bóia se soltou, e o aparelho pode ter afundado (em especial o sensor inferior), tendo sido novamente amarrado no dia 3 de abril.

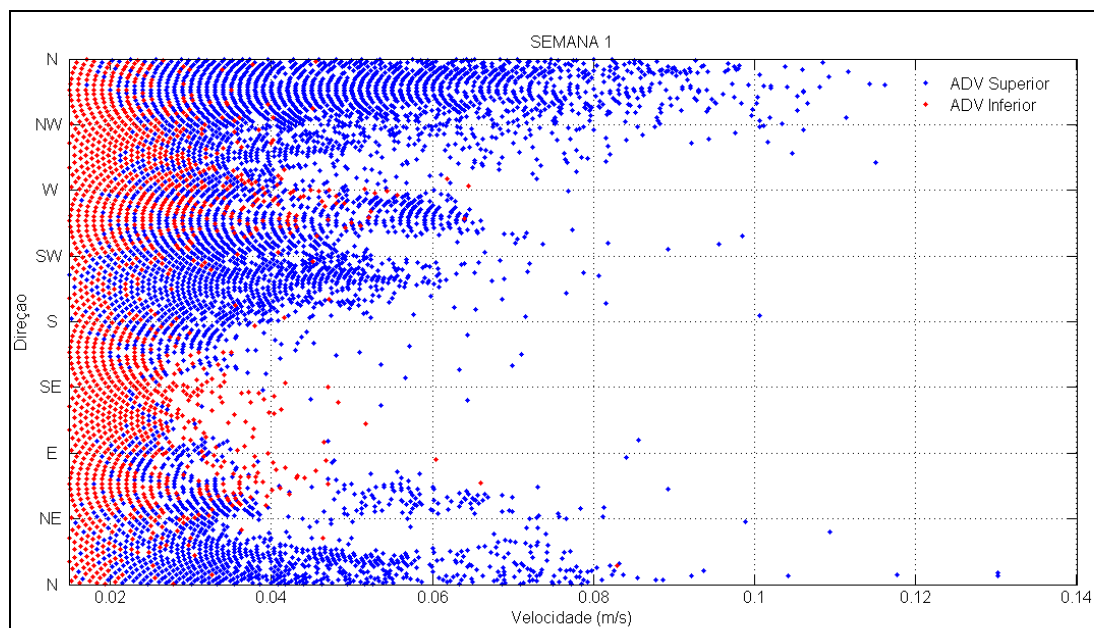


Figura 42: Gráfico de dispersão velocidade versus direção, semana 1 de 2008.

Na segunda semana de medições, correntes de até 0,08m/s de velocidade na componente leste-oeste predominaram no nível superior, perdendo a hegemonia à partir de 12 de outubro, quando correntes de oeste também passaram a apresentar-se de forma significativa (Figura 43). O registro das velocidades norte-sul revelou forte dominância de correntes dirigindo-se para norte, durante toda a série temporal. As correntes mais intensas deste período de medição foram para norte, seguidas por leste e sudeste (Figura 44). O ADV inferior registrou correntes muito baixas, o que indica que provavelmente ele foi posicionado muito próximo ao fundo, medindo na camada de lama fluida (abaixo da lutoclina).

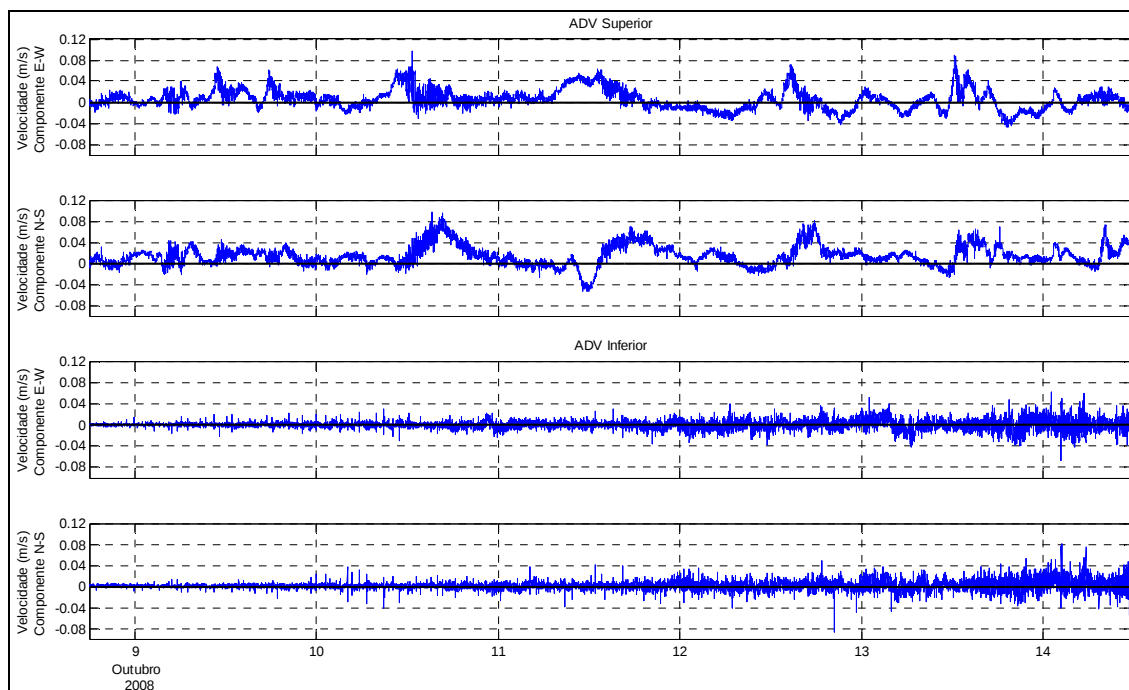


Figura 43: Componentes de velocidade de correntes medidas na semana 2 de 2008. Velocidades positivas para leste e norte.

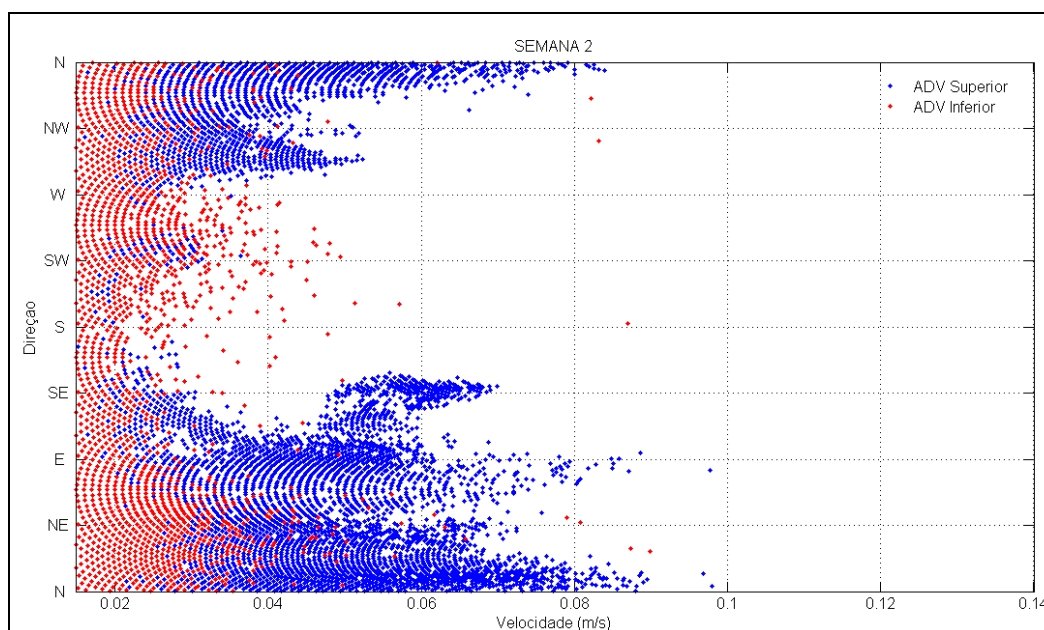


Figura 44: Gráfico de dispersão velocidade *versus* direção, semana 2 de 2008.

c) Temperatura, salinidade e densidade próximo ao fundo

Os dados de temperatura e salinidade apresentados foram coletados pela sonda multi-paramétrica (ver item 4.2.2 para maiores detalhes). A bateria do aparelho acabou no dia 7 de outubro, um dia antes da recuperação da gaiola para a troca.

Os dados de coletados de 30 de setembro a 7 de outubro revelaram um aumento progressivo da temperatura, que inicialmente apresentava valores em torno de 22,5°C, chegando a ultrapassar os 24°C no dia 7 de outubro (Figura 45). Dois eventos de entrada de águas mais quentes foram registrados: dia 2 de outubro houve um aumento brusco de quase 1°C (aproximadamente 22,5°C para 23,5°C); e a entrada de uma água a 24,5°C em 4/5 de outubro, quando a temperatura girava em torno de 23,2°C, com posterior movimento ascendente até o patamar de 23,5°C.

Até o dia 2 de outubro, quando da entrada da água mais quente, a salinidade variava entre 9,5 e 10,7, quando caiu para valores pouco abaixo de 9, estabilizando-se nessa região até o dia 7 de outubro. A densidade, calculada com base nas mesmas equações citadas no item 4.3 acompanhou basicamente a variação da salinidade, com exceção do evento de entrada de água mais quente entre os dias 4 e 5 de outubro, que refletiu na queda de aproximadamente 0,5 kg/m³ (de 1004,3 a 1003,8kg/m³).

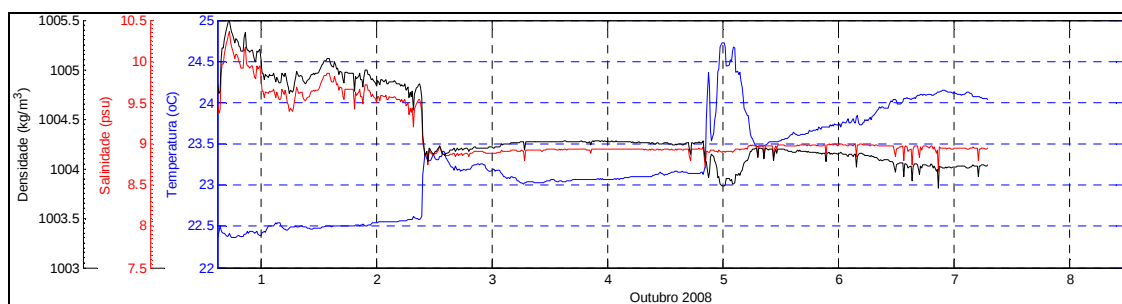


Figura 45: Temperatura, salinidade e densidade junto ao fundo na semana 1 de 2008.

A temperatura da água junto ao fundo entre 8 e 14 de outubro, que iniciou em 23,8°C, apresentou uma tendência de decréscimo até o dia 11 de outubro, quando apresentou seu valor mínimo na série temporal (22,6°C) (Figura 46). Este movimento foi interrompido por um aquecimento durante o dia, com a temperatura atingindo 23,3°C antes de cair para 22,6°C. A partir de 11 de outubro o movimento foi ascendente, com eventos de aquecimento da água no fundo durante o dia e resfriamento à noite, com pico de 24,9°C no dia 13.

A salinidade neste período apresentou pouca variação, localizando-se na faixa entre 8,9 e 8,2. Entre o fim dos dias 12 e 13 de outubro foi detectada uma queda na salinidade, que registrou valores de 8,4 e 8,2. A densidade iniciou a medição com valores acima de 1004kg/m³ e caiu, especialmente entre os dias 12 e 13 de outubro, com a água mais quente e menos salgada. Neste intervalo, o valor mínimo de densidade foi atingido (1003,2kg/m³ em 13 de outubro).

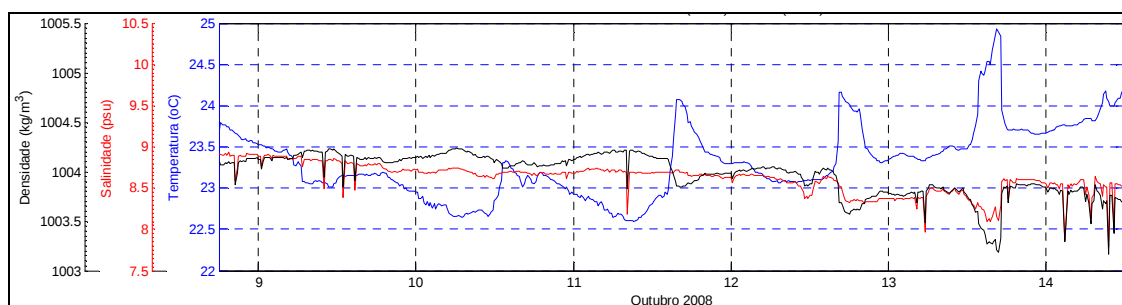


Figura 46: Temperatura, salinidade e densidade junto ao fundo na semana 2 de 2008.

d) Perfil vertical de temperatura

A cadeia de termistores instalada junto ao fundeio permitiu acompanhar a evolução da temperatura a partir da profundidade de 2m até as proximidades do fundo (para maiores detalhes, consultar o item 4.2.2).

Entre os dias 30 de setembro e 8 de outubro, esta seção da coluna d'água apresentou tendência de aquecimento como um todo, com valores de 22,5°C no início da medição e 24°C no dia 8 de outubro (Figura 47). Períodos de estratificação térmica com diferença máxima de 1-1,5°C alternaram-se com eventos de homogeneização da coluna d'água, ora pela entrada de água mais fria (22,5°C em 1º de outubro), ora por águas intermediárias (23-23,5°C entre 2 e 3 de outubro e 24-24,5°C entre 6 e 7 de outubro), ora pela penetração de água mais quente (acima de 25°C entre 4 e 5 de outubro).

O comportamento da temperatura na coluna d'água entre 8 e 14 de outubro reflete os mesmos padrões de variação detectado pela sonda junto ao fundo (item 5.2.2d). Até 11 de outubro, juntamente com uma queda gradual de temperatura, interrompida pelo aquecimento diurno, a coluna d'água nesta porção (entre 2m e o fundo) esteve praticamente homogênea (Figura 48). A partir de do dia 11, juntamente com uma elevação da temperatura, de um modo geral, foi observada a intensificação crescente de estratificação térmica (até 1,5°C), interrompida uma vez ao dia pela mistura da água aquecida durante o dia (dias 11 e 12) e pela penetração dessa água mais quente (até 25,5°C) até o fundo, no dia 13.

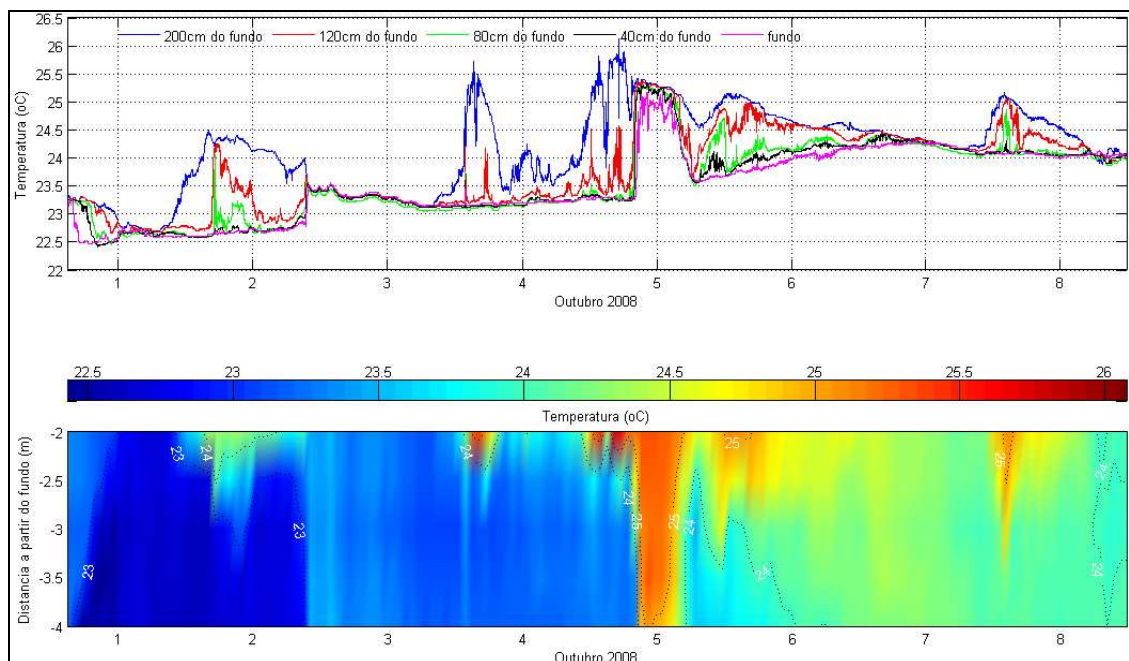


Figura 47: Temperatura na coluna d'água da Estação RF04 na semana 1 de 2008.

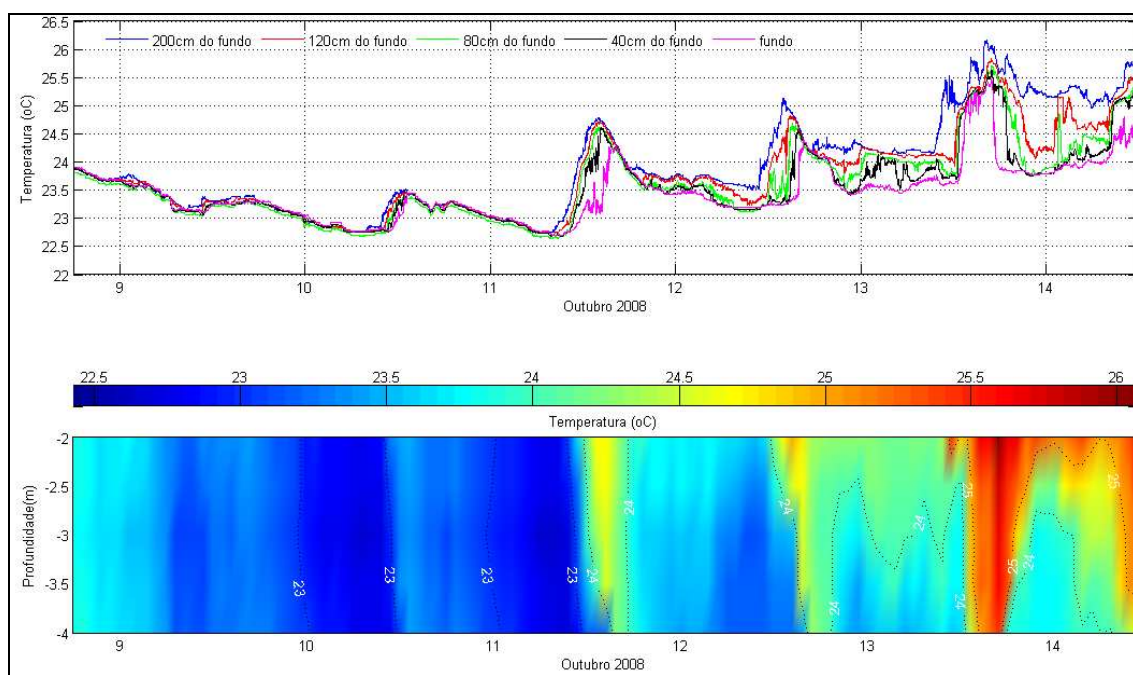


Figura 48: Temperatura na coluna d'água da Estação RF04 na semana 2 de 2008.

e) Perfil vertical de salinidade

Os perfis de salinidade medidos com o condutivímetro manual revelaram uma coluna d'água praticamente em relação a este parâmetro durante as medições (Quadro 6), variando entre 8,6 e 9,3.

Quadro 6: perfis verticais de salinidade medidos na coleta de 2008.

Profundidade	Salinidade (ups)			
	30/09/2008 13:40	03/10/2008 13:39	08/10/2008 11:30	14/10/08 15:35
0	8,7	8,9	8,8	8,6
0,5	8,7	9	8,8	8,6
1	8,7	8,9	8,8	8,6
1,5	8,7	9	8,8	8,6
2	8,8	8,9	8,8	8,6
2,5	8,8	8,9	8,9	8,7
3	8,8	9	8,8	8,7
3,5	8,9	9	8,8	8,7
4,0	9,3	---	9,1	8,7

f) Oxigênio dissolvido

Ao se observar a série temporal de concentração de oxigênio dissolvido a partir de 30 de setembro, verifica-se que os níveis iniciais mantiveram-se baixos (passando de 2mg/L até 0,5mg/L em 2 de outubro), até que houve um aumento repentino, elevando as concentrações até 8mg/L em 2 de outubro, próximo ao meio do dia (Figura 49). Após este evento de oxigenação, os níveis desceram em ritmo praticamente constante até atingir 2mg/L em 4 de outubro, permanecendo assim por aproximadamente 12 horas, quando uma nova oxigenação foi observada, com concentrações de até 7mg/L, entre o final do dia 4 e início do dia 5. Na manhã do dia 5 de outubro, a concentração de oxigênio dissolvido caiu novamente, retornando a 2mg/L, iniciando também um movimento de declínio, até o meio do dia 6, quando chegou a 0,5mg/L. A partir deste momento, os níveis subiram até 5mg/L, valores alcançados no final do dia 6, quando os dados deixam de ser confiáveis pelo alcance de níveis críticos da bateria da sonda.

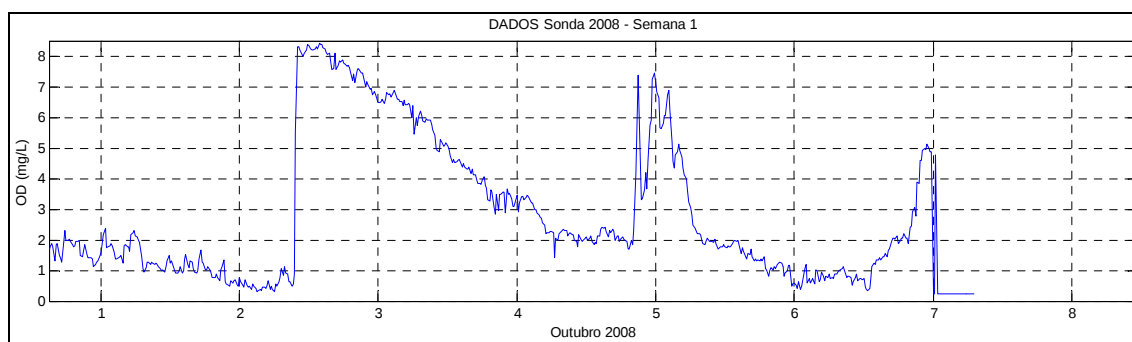


Figura 49: Série temporal de concentração de O.D. próximo ao fundo na semana 1 de 2008.

Entre o dia 8 e início do dia 10 de outubro, a concentração de oxigênio dissolvido apresentou grande oscilação (1 a 5mg/L), até que a partir do dia 10, caiu a níveis

muito próximos de zero, permanecendo assim até o fim da campanha, no dia 14 de outubro (Figura 50). Esta configuração, juntamente com os dados do ADV inferior na semana 2, indicam que o fundeio pode ter se posicionado muito próximo ao fundo, tornando os dados de O.D. a partir de 10 de outubro não confiáveis.

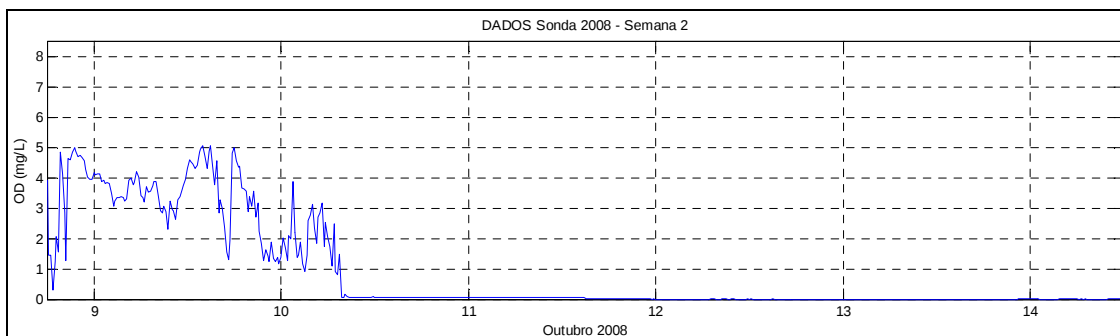


Figura 50: Série temporal de concentração de O.D. próximo ao fundo na semana 1 de 2008.

g) Profundidade

Pelo registro da pressão da coluna d'água nos dois ADVs instalados e na sonda, é possível observar que o nível da lagoa diminuiu aproximadamente 10cm em 2 de outubro, passando a aumentar até 20cm em 4 de outubro. Seguiu-se então um período de diminuição da profundidade, de aproximadamente 10cm registrado na sonda e no ADV inferior, porém mais acentuado (cerca de 30cm) no ADV superior. Um novo aumento de profundidade foi registrado até o dia 8, com o ADV superior aumentando os mesmos 30cm e o ADV inferior aproximadamente 20cm (Figura 51).

Entre os dias 8 e 14 de outubro, tanto o ADV inferior quanto à sonda apresentaram diminuição crescente da profundidade, com uma diferença aproximada de 15cm entre o início e o final da medição (Figura 52). O ADV superior, no geral, apresentou redução de aproximadamente 10cm entre o primeiro e o último valor, porém registrou também um aumento brusco, com maiores profundidades até mesmo do que o ADV inferior, entre os dias 9 e 12 de outubro. Esta ocorrência é inviável, uma vez que os aparelhos estavam afixados na gaiola com o sensor apontando em sentido oposto, e quando foram recuperados da lagoa, encontravam-se na mesma posição. Uma variação de mais de 1m seria também refletida nos sensores dos outros equipamentos, o que indica que houve uma falha do sensor de pressão deste aparelho neste período, uma vez que nenhum dos dados do ADV apresentou reflexos dessa suposta variação de profundidade.

Pequenas oscilações de maré (cerca de 5cm) foram registradas tanto na primeira quanto na segunda semana de medições (Figuras 51 e 52).

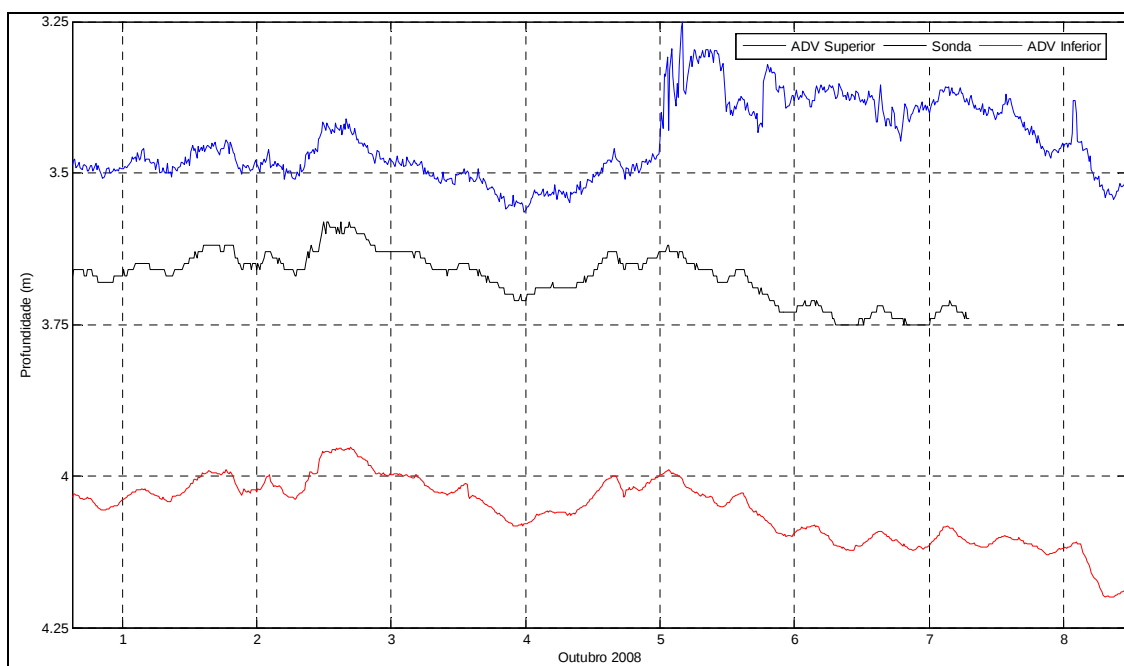


Figura 51: Profundidades medidas pelos sensores dos aparelhos na semana 1 de 2008.

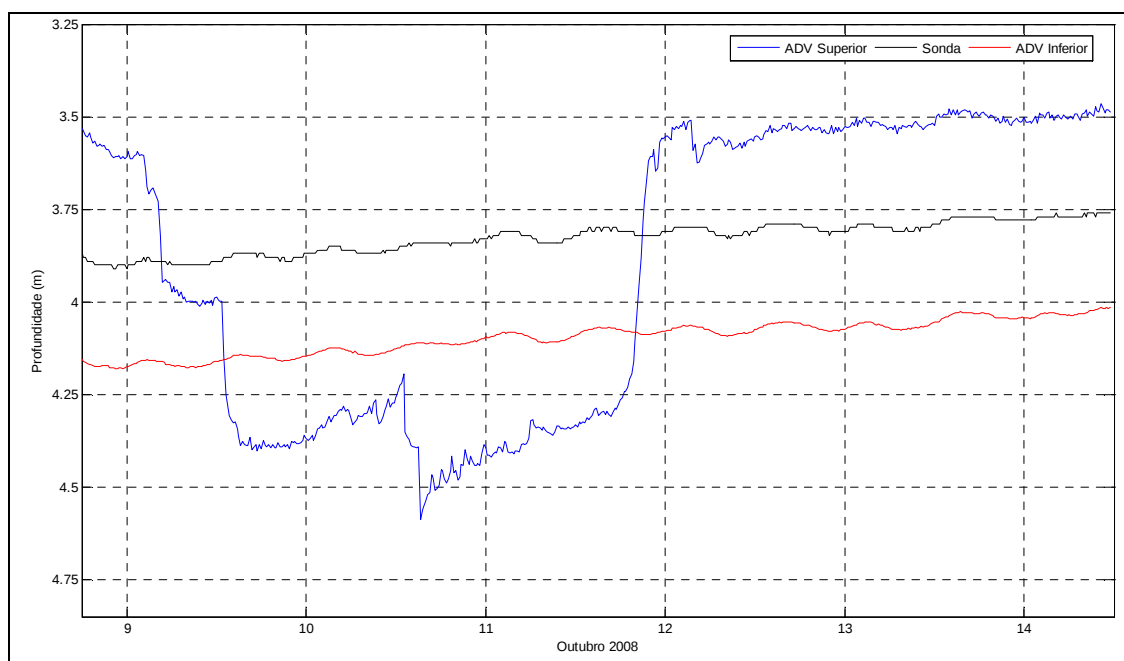


Figura 52: Profundidades medidas pelos sensores dos aparelhos na semana 2 de 2008.

6 DISCUSSÃO

6.1 Estratificação e Oxigênio Dissolvido

6.1.1 Formação, Duração e Intensidade da Estratificação

Os perfis de densidade calculados para os anos de 2005 a 2008 mostraram que a presença ou ausência de estratificação significativa é condicionada principalmente pela variação da salinidade na coluna d'água (Figuras 7, 9, 11 e 13), conforme já apontado por Maciel (2007).

A presença de água mais salina junto ao fundo, funcionando como barreira de densidade, já citada em estudos como os de Calixto (1990) e COPPETEC (1992) ficou evidente, principalmente nos anos de 2005 e 2006.

A fim de detectar esta barreira, acompanhar sua variação temporal, sua intensidade e seu alcance na coluna d'água, foram calculados gradientes verticais de temperatura, salinidade e densidade para os dados de perfis, através da Equação 1.

$$\frac{Dz}{Dy} = \frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: $\frac{Dz}{Dy}$ = gradiente (parâmetro/m)

z_1 = parâmetro na profundidade superior;

z_2 = parâmetro na profundidade inferior

y_1 = profundidade superior (m)

y_2 = profundidade inferior (m)

Os resultados foram interpolados ao longo do ano, gerando uma visualização dos gradientes de densidade na coluna d'água na Estação RF04 entre os anos de 2005 a 2008 (Figura 53). Como já havia sido indicado pelos perfis de densidade, os anos de 2005 e 2006 apresentaram estratificação significativa, enquanto 2007 e 2008 revelaram baixos gradientes de densidade.

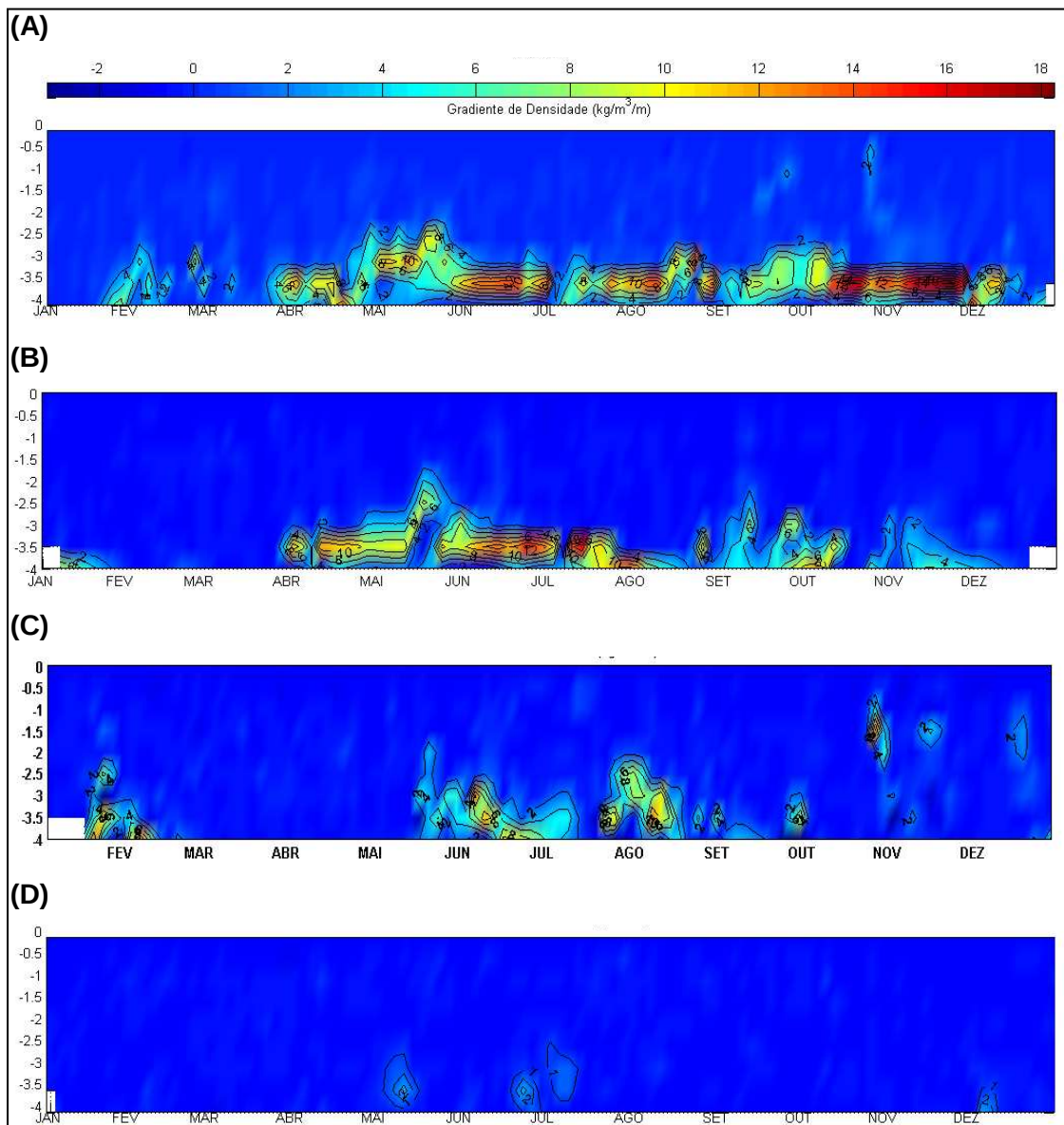


Figura 53: Gradientes de densidade na coluna d'água da Estação RF04 interpolados em (A) 2005, (B) 2006, (C) 2007 e (D) 2008.

O ano de 2005 apresentou barreira de densidade na maior parte do tempo, com intensificação em junho, meados de julho a setembro e outubro a dezembro, quando os valores de gradiente chegaram a $18\text{kg/m}^3/\text{m}$. A pycnoclina posicionou-se geralmente a 3m de profundidade, subindo a 2m em maio, e 2,5m entre setembro e outubro.

Em 2006 foi observada a ocorrência de estratificação significativa principalmente entre abril e dezembro, com maiores intensidades (gradientes de até $15\text{kg/m}^3/\text{m}$) entre junho e agosto. A pycnoclina mais estável localizou-se a 3m de profundidade, subindo a cima de 2m em maio e até os 2m em setembro.

A coluna d'água apresentou gradientes máximos de $6\text{kg/m}^3/\text{m}$ em 2007, ou seja, uma estratificação menos intensa e menos estável do que nos anos anteriores. A estratificação esteve presente entre maio e agosto, geralmente a partir dos 2,5m de profundidade.

Em 2008 a coluna d'água foi praticamente homogênea quanto à densidade, com presença de gradientes acima de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$ em maio, junho, julho e dezembro. Os valores máximos calculados foram de $4\text{kg/m}^3/\text{m}$, e os períodos estratificados foram de pequena duração e estabilidade.

Analizando a variação do gradiente de densidade, percebe-se que os meses que apresentaram estratificação a algum nível em todos os anos são maio, junho e julho. A posição da pycnoclina, quando a estratificação é estável e duradoura, gira em torno dos 3m, com exceção dos meses de maio e setembro/outubro, quando ela sobe para próximo aos 2m.

A relação entre a salinidade e densidade ficou fortemente evidenciada, uma vez que os anos de 2005 e 2006 apresentaram as maiores variações de salinidade e também os maiores gradientes de densidade. O ano de 2007 apresentou os maiores valores de salinidade na porção superior da coluna d'água (até 3m), porém não apresentou os maiores gradientes de densidade, uma vez que no fundo as salinidades não foram tão altas quanto em 2005 e 2006 (Figura 16), o que fez com que a coluna d'água, como um todo, ficasse mais homogênea.

Analizando o conjunto dos dados sobre a estratificação e salinidade, é possível inferir que o grau de estratificação da Lagoa Rodrigo de Freitas esteja diretamente ligado ao balanço entre intensidade das chuvas e da penetração de água do mar.

Os períodos mais estratificados para todos os anos (entre maio e agosto) são geralmente períodos com poucas chuvas, diminuindo a diluição dos sais, situação oposta aos meses mais chuvosos (entre dezembro e fevereiro), quando chuvas intensas ocorrem no Rio de Janeiro.

Observando os dados, é possível inferir que o aporte de água mais salgada (logo maior chance de estabelecimento da estratificação) esteja ligado a eventos de tempestade, com entrada de água do mar pelo Canal do Jardim de Alah, uma vez que os meses de maio, junho, julho e agosto representaram o período com valores mais

altos de salinidade junto ao fundo em todos os anos, bem como maior intensidade de estratificação. Nesses meses geralmente há maior ocorrência de frentes frias, que elevam o nível do mar através de marés meteorológicas e maiores alturas de onda. Tais eventos teriam energia suficiente para romper as barreiras impostas pelo assoreamento do canal do Jardim de Alah, e ao mesmo tempo, após a passagem, fechamento do mesmo pelos sedimentos depositados durante o evento, com a diminuição da energia.

Logo, a estratificação seria desfavorecida em períodos chuvosos pela diluição e menor intensidade de ocorrência de frentes frias e favorecida pelo balanço positivo de entrada de sal no sistema lagunar nos meses de inverno, que dirige-se naturalmente para o fundo. A operação da comporta do Canal do Jardim de Alah dificulta esta análise, pois sua abertura ou fechamento altera essa dinâmica sem relação com parâmetros naturais.

6.1.2 Gradientes de Densidade e Oxigênio Dissolvido

Diversos estudos relacionam a presença de uma barreira de densidade como um dos principais fatores que induzem baixas concentrações de O.D. junto ao fundo (Goldman & Horne, 1983, Millero, 2000, Becker *et al.*, 2009). Sendo assim, o presente trabalho buscou uma relação entre as concentrações de oxigênio dissolvido encontradas na coluna d'água e o gradiente de densidade calculado, a partir dos dados fornecidos pelo INEA.

Para realizar a comparação entre estes parâmetros foram confeccionados gráficos de dispersão relacionando as concentrações de oxigênio dissolvido e o gradiente de densidade (Figuras 54 a 57).

Os gráficos mostram que quando existe estratificação (especialmente entre 2005 e 2007), a lagoa apresenta dois compartimentos distintos: uma camada superior, que vai aproximadamente até os 2,5m de profundidade, com valores de O.D. geralmente acima de 5mg/L e gradientes de densidade abaixo de 1kg/m³/m; abaixo dos 3m de profundidade, a maior concentração de valores de O.D. ocorreu na faixa de 0 a 5mg/L, e os gradientes de densidade variaram entre 0 a 18kg/m³/m.

Logo, é possível inferir que durante boa parte do ano, entre 2005 e 2007, a água a partir de 3m de profundidade apresentou concentrações de O.D. características de um ambiente estressado ($< 5\text{mg/L}$).

De maneira sistemática, os gradientes de densidade acima de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$ estiveram associados a baixas concentrações de O.D., pois a ocorrência de valores acima de 5mg/L foi muito pequena. A fim de quantificar essas relações, foram calculados os percentuais de ocorrências em duas faixas de gradientes (acima e abaixo de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$) e três faixas de concentração de O.D. (acima de 5mg/L , entre 2 e 5mg/L e abaixo de 2mg/L).

Na Figura 58 são contabilizadas as ocorrências de O.D. nas três faixas e o gradiente **local** de densidade maior ou menor que $1\text{kg/m}^3/\text{m}$, para os dados de todas as profundidades. Os resultados mostram que de fato, as menores porcentagens de ocorrência estão relacionadas a valores situados na faixa de gradiente acima de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$ e O.D. acima de 5mg/L , ou seja, quando o gradiente de densidade é significativo (neste caso a partir de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$), existe grande possibilidade de as concentrações de oxigênio dissolvido não ultrapassarem 5mg/L . Tal ocorrência é uma forte indicação de que a presença de estratificação é um fator limitante para o O.D.

Essa constatação, no entanto, não nos permite afirmar que baixos valores de gradiente garantem altas concentrações de O.D, pois a ocorrência de condições de estresse e hipoxia não ficou limitada aos altos gradientes de densidade. Isso pode ser consequência do fato de que abaixo da posição da picnoclina, também ocorreram gradientes baixos de densidade, juntamente com baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Além disso, tais ocorrências são um indicador de que condições homogêneas também podem estar associadas à depleção do oxigênio na coluna d'água de alguma forma. O ano de 2007 ilustra esse comportamento, pois em relação a 2005 e 2006 foi menos estratificado, porém com 9,5% das ocorrências totais abaixo de 2mg/L e associadas a gradientes de densidade abaixo de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$.

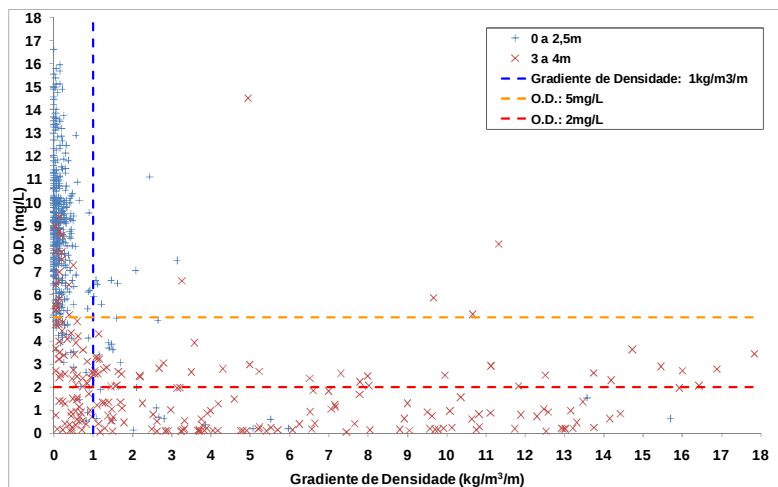


Figura 54: Relação entre O.D. e gradiente de densidade em 2005.

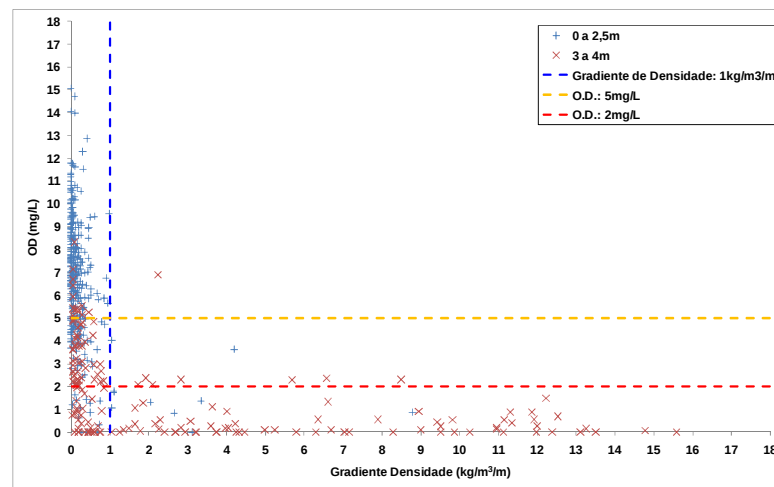


Figura 55: Relação entre O.D. e gradiente de densidade em 2006

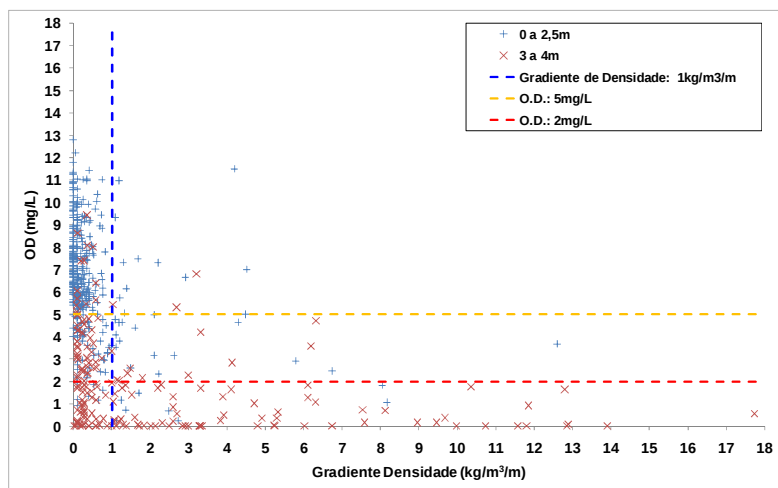


Figura 56: Relação entre O.D. e gradiente de densidade em 2007

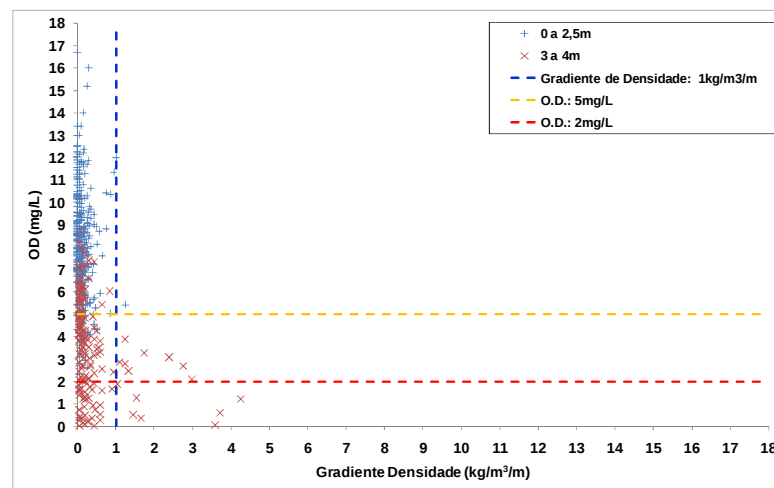


Figura 57: Relação entre O.D. gradiente de densidade em 2008

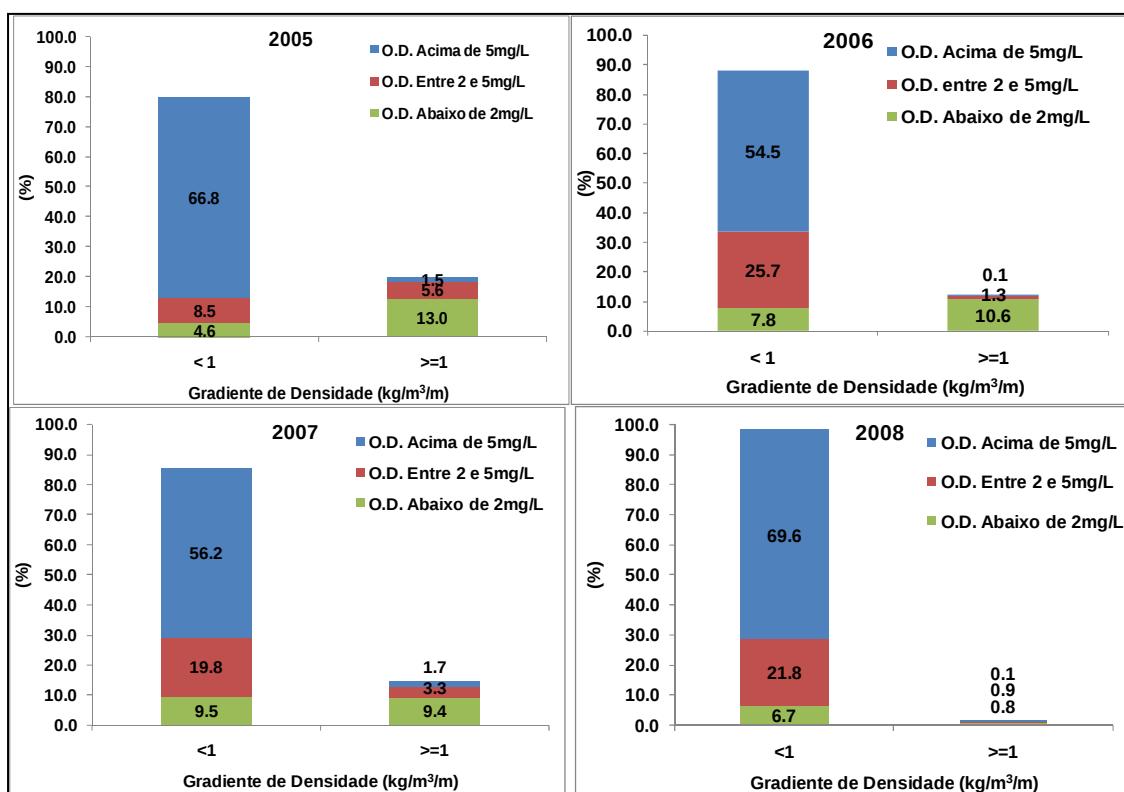


Figura 58: porcentagem de ocorrência dos valores de oxigênio dissolvido *versus* gradientes de densidade em todas as amostras para as faixas pré-estabelecidas. Estação RF04.

De modo geral, 2005, 2006 e 2007 apresentaram as maiores freqüências de condições hipóxicas (<2mg/L), com 17,6%, 18,4% e 18,9%, respectivamente. Em 2008, um ano considerado homogêneo, tais ocorrências foram de 7,5%, o que representa menos da metade dos anos anteriores.

Sendo assim, visando identificar algum tipo de relação entre a presença de uma camada hipóxica com a estratificação na coluna d'água, a linha do limite de 1kg/m³/m foi posicionada no gráfico da variação de oxigênio, bem como o limite de 2mg/L no gráfico que mostra a variação do gradiente de densidade. Os resultados podem ser vistos nas Figuras de 59 a 62.

Conforme indicado pelos gráficos de dispersão, a dinâmica da camada hipóxica acompanhou a da camada estratificada em diversas ocasiões. Ao se observar o gráfico de O.D. em 2005 (Figura 59), percebe-se que em boa parte do tempo a água apresentou as menores concentrações de oxigênio abaixo da linha de 1kg/m³/m. Em alguns momentos, com a coluna d'água homogênea, os valores de O.D. junto ao fundo subiram (início de janeiro e meados de março). É interessante notar que a partir

de outubro, um período com estratificação intensa, os valores de oxigenação junto ao fundo aumentaram ligeiramente, passando a ter como limite a concentração de 3mg/L, aproximadamente. A posição da linha de 2mg/L em raras ocasiões ultrapassou (em direção à superfície) a barreira de densidade no ano de 2005.

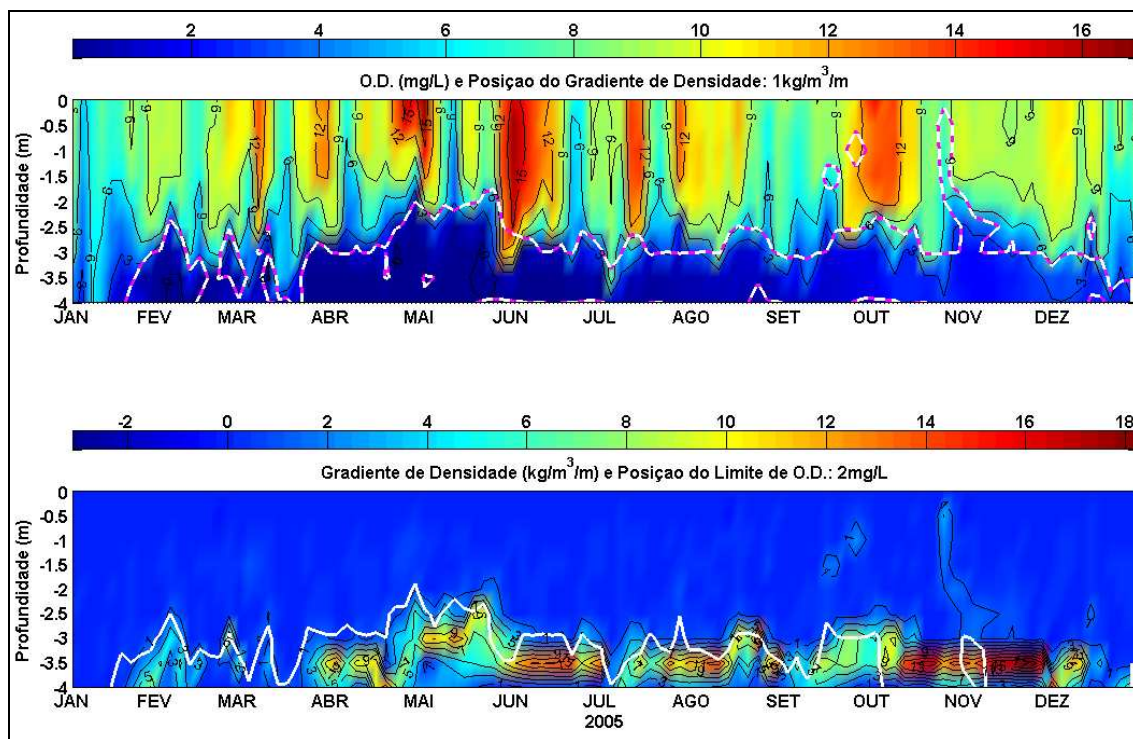


Figura 59: Gráficos de relação entra a variação sazonal de concentrações de O.D. e gradiente de densidade na Estação RRF04 em 2005.

O ano de 2006 apresentou uma correspondência significativa entre a estratificação e os baixos níveis de oxigênio dissolvido (Figura 60). Nos primeiros quatro meses do ano a água esteve homogênea e com concentrações de oxigênio dissolvido junto ao fundo mais altas (valores máximos próximos a 6mg/L). A partir de abril, com o estabelecimento da estratificação, a água da porção inferior apresentou constantemente baixas concentrações de oxigênio. A partir de agosto, com a diminuição da intensidade da estratificação após um grande período de estabilidade, ocorreu o processo inverso ao início do ano. Baixas concentrações de O.D. ultrapassaram a barreira de densidade em direção à superfície com mais frequência, com valores de oxigênio dissolvido da ordem de 4mg/L na camada superior. Em outubro uma quebra na estratificação foi acompanhada por uma subsequente diminuição significativa nas concentrações de oxigênio dissolvido até a superfície.

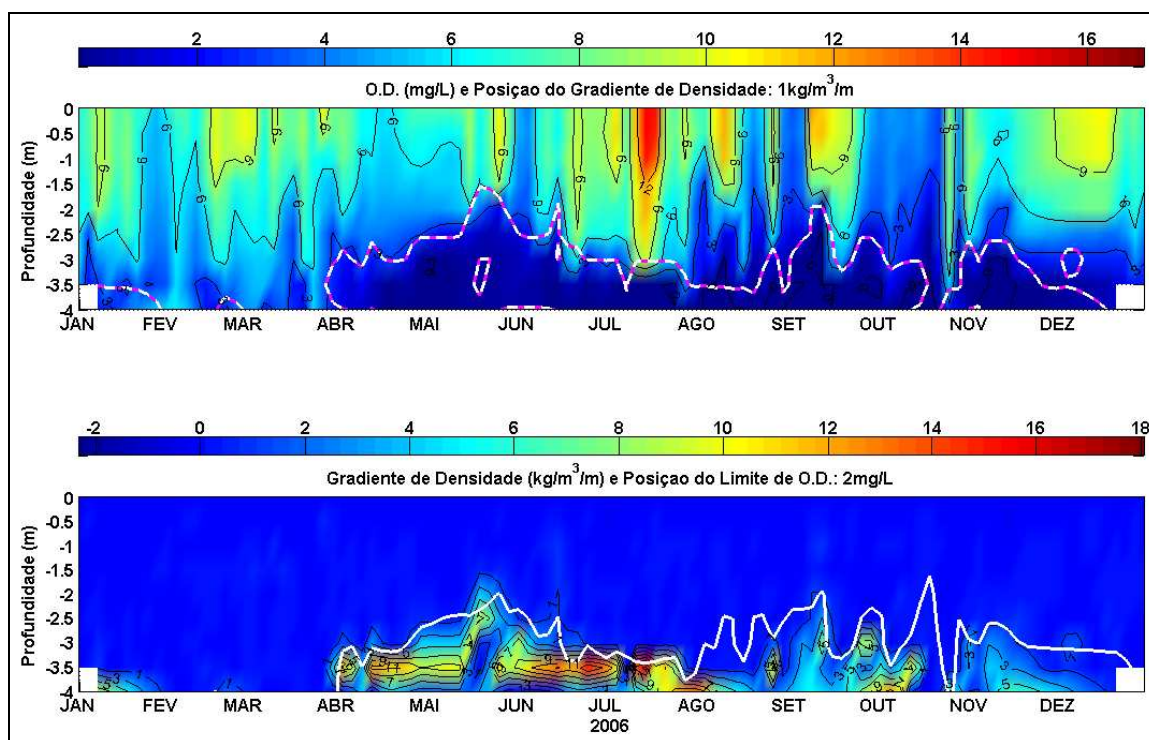


Figura 60: Gráficos de relação entra a variação sazonal de concentrações de O.D. e gradiente de densidade na Estação RF04 em 2006.

Em 2007, considerado um ano com presença de estratificação moderada, percebeu-se (em relação aos anos anteriores) uma pequena diminuição relativa da estabilidade da camada inferior hipóxica (Figura 61). Durante todos os períodos em que a coluna d'água apresentou algum nível de estratificação a água da porção inferior apresentou baixas concentrações de O.D.

É preciso ressaltar, no entanto, que entre março e maio, mesmo com uma coluna d'água praticamente homogênea, condições hipóxicas (e até mesmo anóxicas) se estabeleceram, atingindo seu pico em abril, quando a linha de 2mg/L já se encontrava aos 2,5m de profundidade.

O ano de 2008 apresentou os seguintes padrões de comportamento: entre janeiro e abril, com ausência de estratificação, períodos de oxigenação do fundo se alternaram com eventos de hipoxia, que tiveram grande alcance na coluna d'água (limite de 2mg/L) chegando próximo a 1,5m de profundidade); entre maio e julho, uma ligeira estratificação esteve presente, e condições hipóxicas se estabeleceram com mais regularidade, porém pequeno alcance, restringindo-se à camada de água abaixo dos 3m de profundidade (este padrão também ocorreu em dezembro); entre agosto e novembro, com ausência de estratificação, condições significativas de hipoxia não

foram registradas, com concentrações de O.D. variando entre 3 e 5mg/l junto ao fundo (Figura 62).

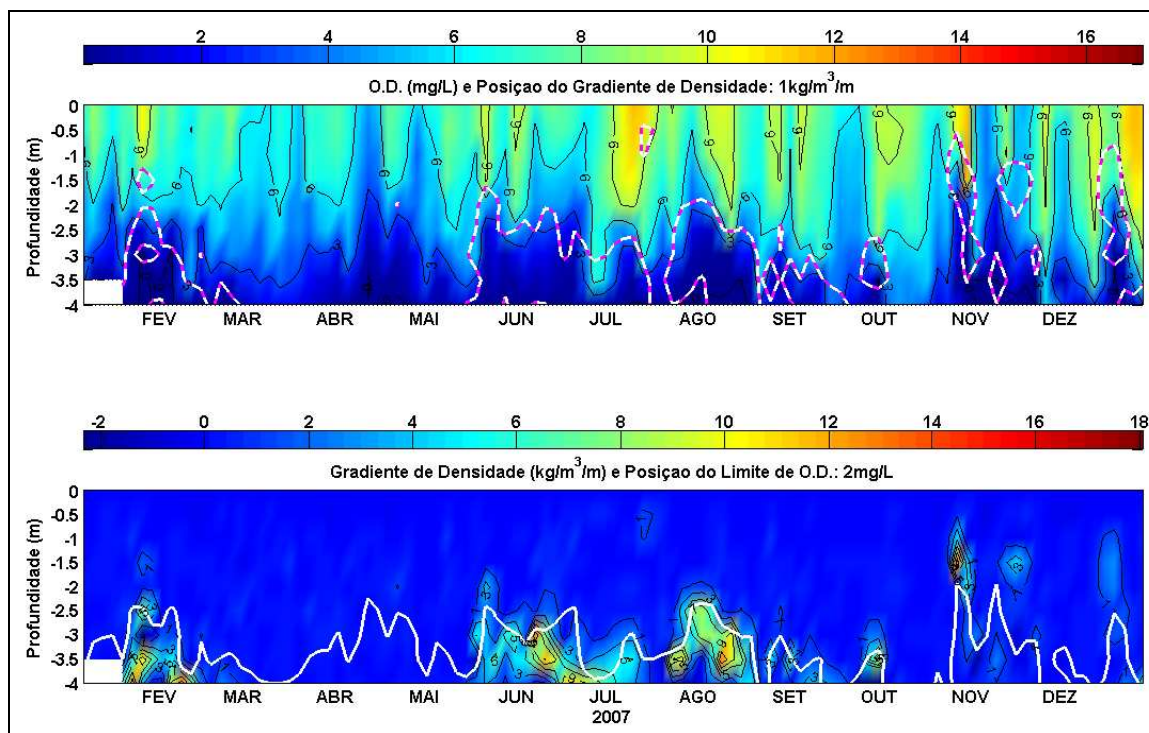


Figura 61: Gráficos de relação entra a variação sazonal de concentrações de O.D. e gradiente de densidade na Estação RF04 em 2007.

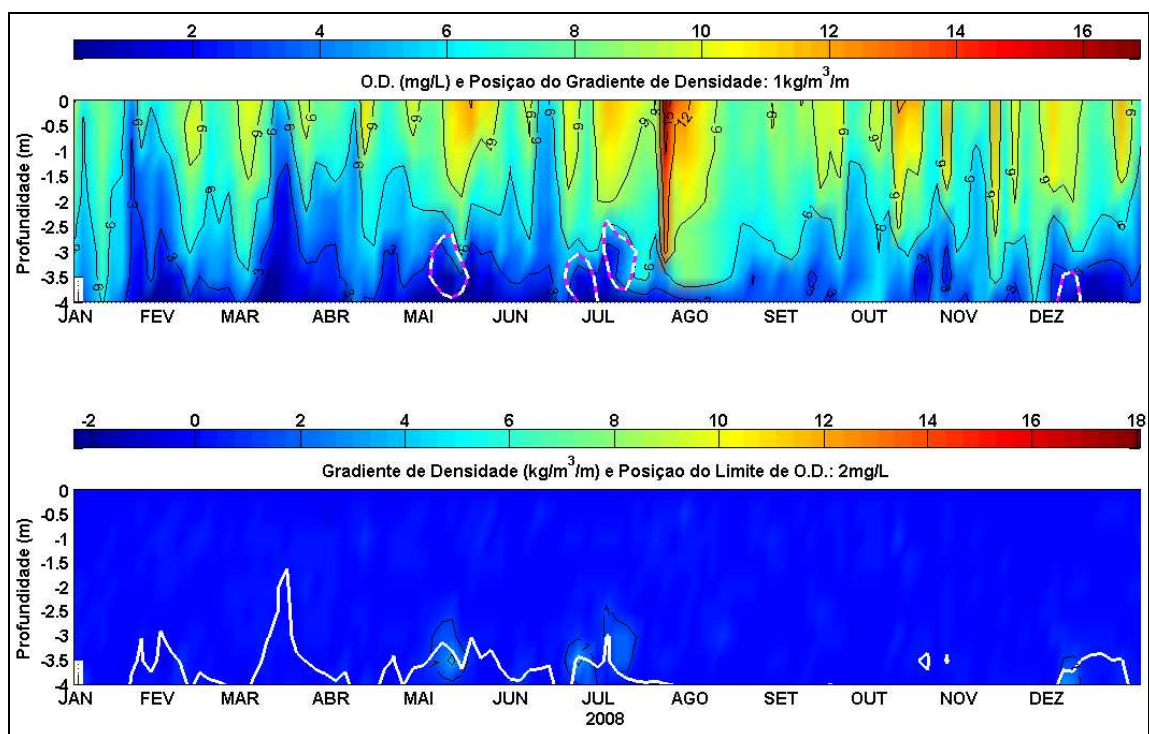


Figura 62: Gráficos de relação entra a variação sazonal de concentrações de O.D. e gradiente de densidade na Estação RF04 em 2008.

A análise das informações referentes à dinâmica sazonal do comportamento da estratificação, juntamente com a variação das concentrações de O.D. na coluna d'água revelam que a barreira de densidade, estabelecida principalmente por gradientes de salinidade, invariavelmente favorece o estabelecimento de condições hipóxicas à partir desta barreira, em direção ao fundo da Lagoa Rodrigo de Freitas. No entanto, foi possível notar que quando a coluna d'água está homogênea, isso pode representar duas condições extremas em relação aos níveis de oxigênio: uma boa oxigenação até o fundo ou a redução do O.D. até a superfície.

A elevação das concentrações de O.D. até o fundo ocorreu geralmente durante longos períodos em que a coluna d'água esteve homogênea (fevereiro a abril de 2006 e agosto a novembro de 2008, por exemplo), ou em que a mistura se deu após períodos de estratificação menos intensa (outubro de 2007). A depleção parece ocorrer quando a estratificação se enfraquece após grandes períodos de estabilidade, como é o caso de agosto, setembro e outubro de 2006.

Este padrão parece estar de acordo com o esperado, pois o papel da estratificação é isolar fisicamente uma porção de água, o que além de impedir a aeração oriunda das camadas superficiais, no caso de lagoas sufocadas e hipertróficas, favorece o acúmulo de matéria orgânica junto ao fundo, aumentando a D.B.O. e, junto com o estabelecimento de condições anóxicas o aumento da D.Q.O. pela produção de compostos químicos resultantes da atividade de bactérias sulfato-redutoras. Se estas condições se mantêm por um período de tempo relevante, quando esta camada entra em contato com a porção superior, consome rapidamente o oxigênio disponível, tanto pela coluna d'água quanto pela ressuspensão de sedimentos com alto teor de matéria orgânica, que às vezes acompanha esta mistura (COPPETEC, 1992; Maciel, 2007; Simas, 2007).

Quando a coluna d'água não desenvolve este conjunto de fatores por tempo suficiente, mesmo uma estratificação leve, quando quebrada, não é suficiente para consumir o oxigênio das camadas superiores. Ocorre, então, o processo inverso, com a aeração do fundo e produção de oxigênio pela fotossíntese dos organismos superando a D.B.O., o que eleva as concentrações de oxigênio junto ao fundo.

Foram detectados também eventos de redução das concentrações em boa parte da coluna d'água mesmo em condições homogêneas e sem a quebra de uma estratificação permanente anterior (abril de 2007 e março de 2008). Tais eventos não

parecem ter nenhuma relação com a estratificação, podendo ser causado por outros fatores que controlam a concentração de O.D.

6.2 Circulação e Oxigênio Dissolvido

Lagunas urbanas, como a Rodrigo de Freitas, são ambientes que geralmente recebem uma alta carga de matéria orgânica o que, aliado ao fato da localização tropical (alta luminosidade) favorece a produção, tornando tais ambientes hipertróficos. Nos casos em que a taxa de renovação das águas é reduzida, aumenta a capacidade de retenção da matéria orgânica por parte da bacia, bem como de outros poluentes (Calixto, 1990; Spaulding, 1994).

Quanto menor a taxa de renovação da água de uma lagoa (grande tempo de residência) e a intensidade da agitação (correntes e ondas), aumentam as chances de ocorrência de processos de depleção do oxigênio dissolvido, especialmente junto ao fundo, onde a dinâmica de circulação é ainda menos intensa, potencializando os efeitos da estratificação. Em lagoas costeiras, esta dinâmica depende basicamente dos chamados canais de maré, que operam a conexão destes corpos d'água com o mar.

Sendo assim, torna-se necessário o conhecimento sobre as condições de renovação da água da Lagoa Rodrigo de Freitas, bem como da dinâmica interna de circulação deste corpo d'água.

Quanto à renovação de suas águas, a Lagoa Rodrigo de Freitas depende basicamente da ligação com o mar, realizada principalmente pelo Canal do Jardim de Alah. Estudos realizados por Calixto (1990) e COPPETEC (1992) atestaram que o prisma de maré da Lagoa Rodrigo de Freitas é ínfimo, em função da instabilidade hidráulico-sedimentológica deste canal, que permanentemente encontra-se assoreado pela deposição de sedimentos oriundos das praias adjacentes. Os autores dos trabalhos supracitados propuseram soluções alternativas para a melhora no fluxo lagoa/oceano, pois a configuração por eles encontrada favorece a piora nos índices de qualidade da água, dentre os quais está o oxigênio dissolvido. Até o momento tais soluções não foram adotadas, sendo necessárias constantes operações de desobstrução do canal por parte dos órgãos competentes.

De fato, os dados sobre a variação da profundidade da Lagoa (item 5.2.1.e e 5.2.2.g) medidos durante os fundeios de 2006 e 2008 revelaram que as oscilações características de maré não ultrapassaram 5cm, indicando que a troca de água com o mar é bastante reduzida.

Cabe ressaltar ainda que esta dinâmica, no caso da Lagoa Rodrigo de Freitas, possui um relevante componente antrópico, que é o caso do controle das comportas de comunicação com os rios contribuintes e com o mar, abertas ou fechadas de acordo com a avaliação técnica dos funcionários dos órgãos públicos responsáveis. Esta interferência é um fator complicador para o conhecimento da dinâmica natural do sistema lagunar.

Com a finalidade de entender melhor a circulação interna da lagoa, o presente trabalho contou com medições de correntes realizadas em 2006 e 2008. Os dados coletados (ver item 5.2.1.b e 5.2.2.b) revelaram, de fato, baixas velocidades de correntes, com valores máximos significativos da ordem de 10cm/s.

A análise do diagrama vetorial progressivo de 2006 (Figura 63) mostra que na primeira semana de medições as correntes fluíram preferencialmente para nordeste até 30 de março, com reversões periódicas para sudoeste. A partir de 30 de março o fluxo preferencial passou para sudoeste até 31 de março, quando passou a oscilar entre nordeste/sudoeste.

Na segunda semana (entre 4 e 8 de abril de 2006), as correntes foram bem menos intensas, fluindo sistematicamente para sudoeste, porém de forma mais polarizada ao eixo norte-sul.

O diagrama vetorial progressivo das correntes medidas a meia-água em 2008 (Figura 64), revelam correntes dirigindo-se preferencialmente para noroeste até 5 de outubro, quando passou a fluir para sudoeste, com reversão para noroeste no mesmo dia, nova reversão para sudoeste em 6 de outubro, permanecendo assim até o dia 8 de outubro, quando o fundeio foi recuperado para troca das baterias.

Após a troca da bateria, a partir das 18:00 do dia 8, o período chamado de “semana 2” apresentou correntes que se dirigiram para nordeste até 11 de outubro, quando passou a se dirigir para sudeste até o meio do dia, a partir de quando o fluxo preferencial passou a norte, evoluindo cerca de 1km por dia até o fim da medição.

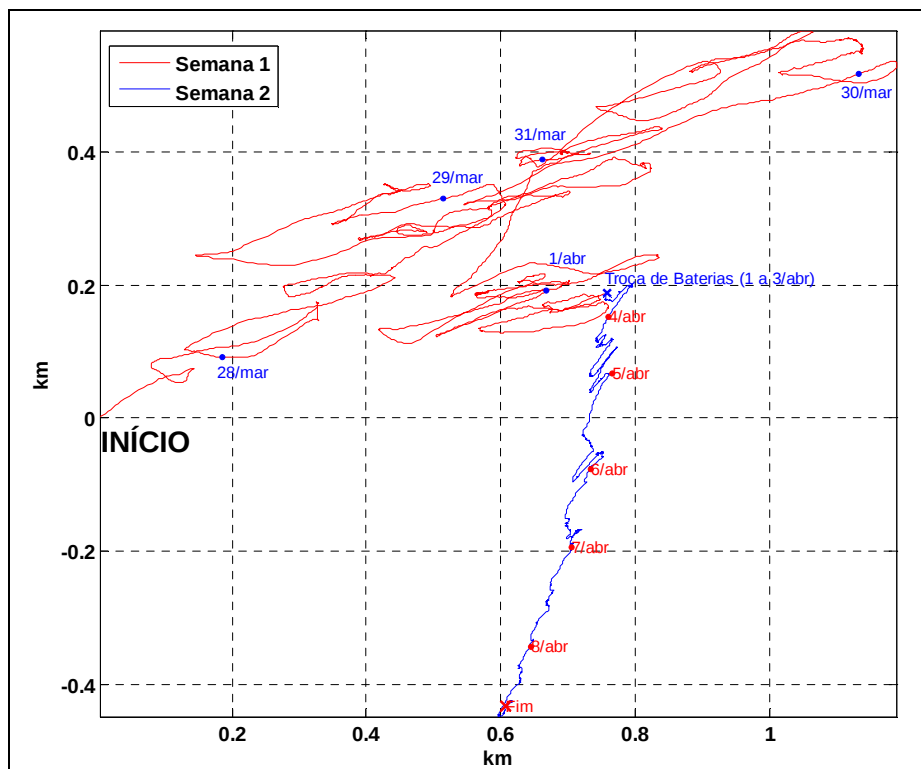


Figura 63: Diagrama vetorial progressivo das correntes medidas em 2006.

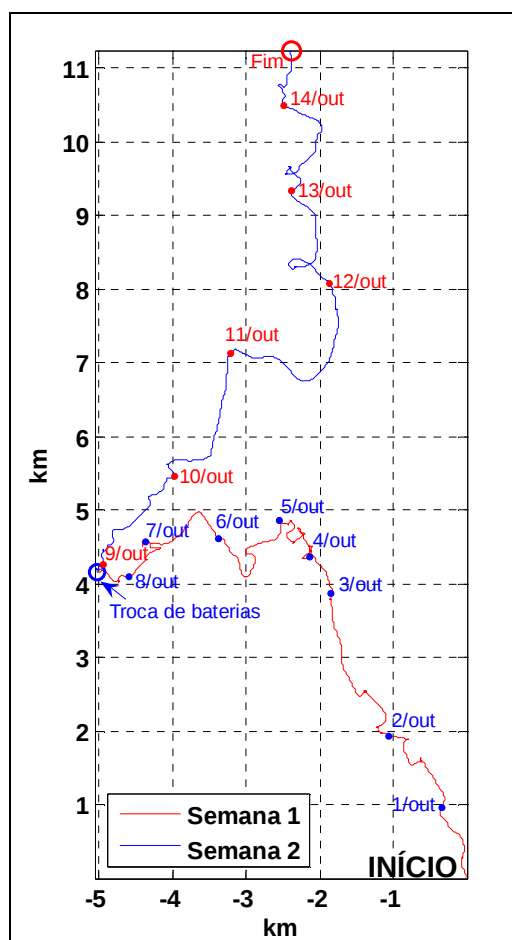


Figura 64: Diagrama vetorial progressivo das correntes medidas em 2008.

A fim de se identificar as principais forçantes responsáveis pela circulação na lagoa, foram calculados espectros de potência das componentes de velocidade das correntes.

Através da análise espectral em 2006 (Figuras 65 e 66), destacam-se oscilações de curto período (entre 8 e 3h). Segundo Maciel (2007), tais períodos de oscilação estariam ligados à presença de ondas internas, relacionadas à barreira de densidade presente na lagoa.

Em 2008, a primeira e segunda semanas apresentaram comportamentos distintos (Figuras 67 e 68). Na primeira semana a energia espectral esteve bem distribuída, com as maiores energias associadas a períodos de 54 a 16h, principalmente na componente norte-sul. Um pico na oscilação de 11,9h surgiu, provavelmente relacionado à maré, porém com menor energia. Períodos de 8,2h e 6,3h foram mais significativos na componente leste-oeste. A segunda semana de 2008 revelou uma concentração de energia bem definida nos períodos de 22,7h e 11,4h .

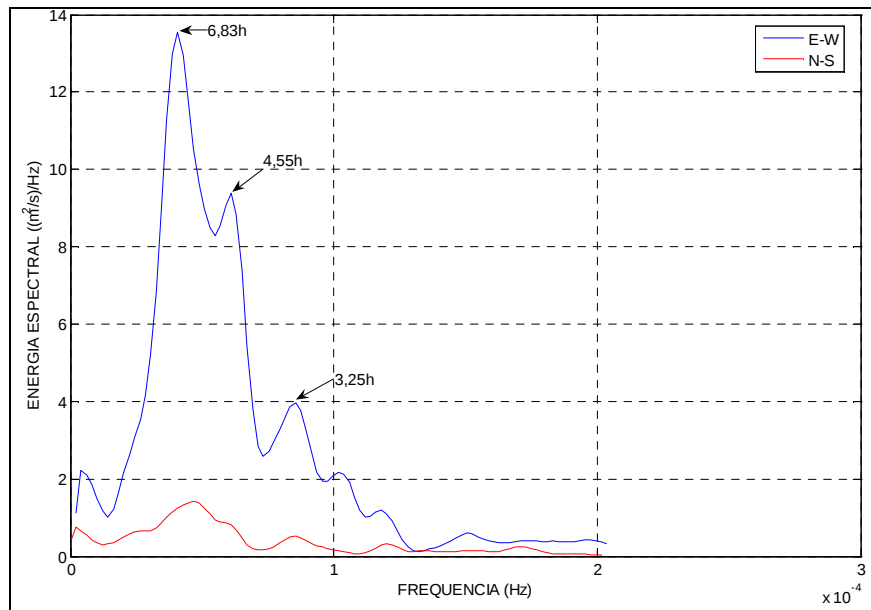


Figura 65: Análise espectral das componentes de velocidade das correntes na semana 1 de 2006. Espectro alisado (Welch) com 8 graus de liberdade.

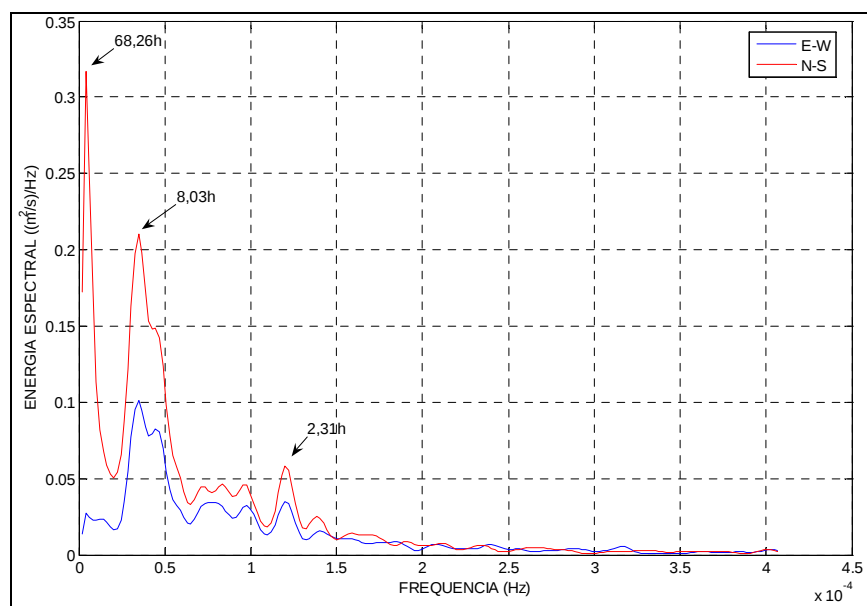


Figura 66: Análise espectral das componentes de velocidade das correntes na semana 2 de 2006. Espectro alisado (Welch) com 8 graus de liberdade.

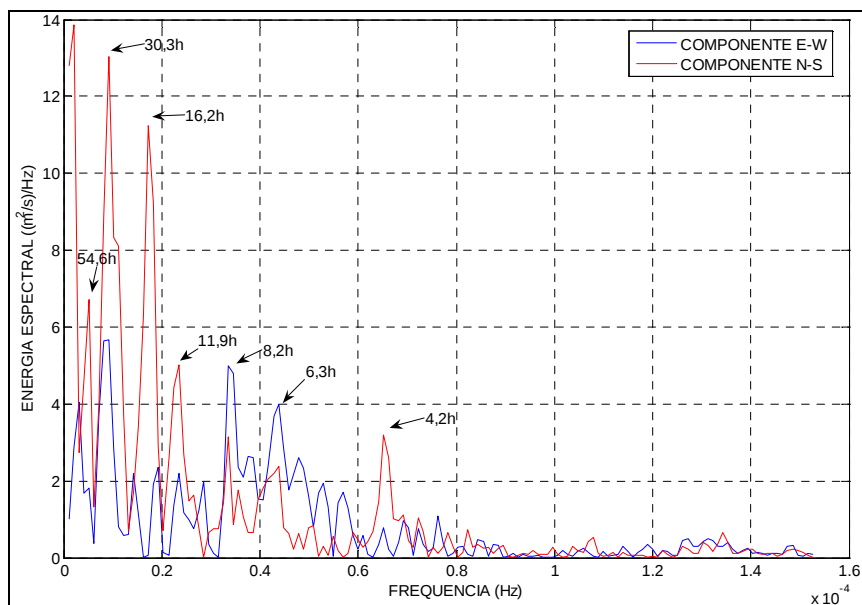


Figura 67: Análise espectral das componentes de velocidade das correntes na semana 1 de 2008. Espectro bruto.

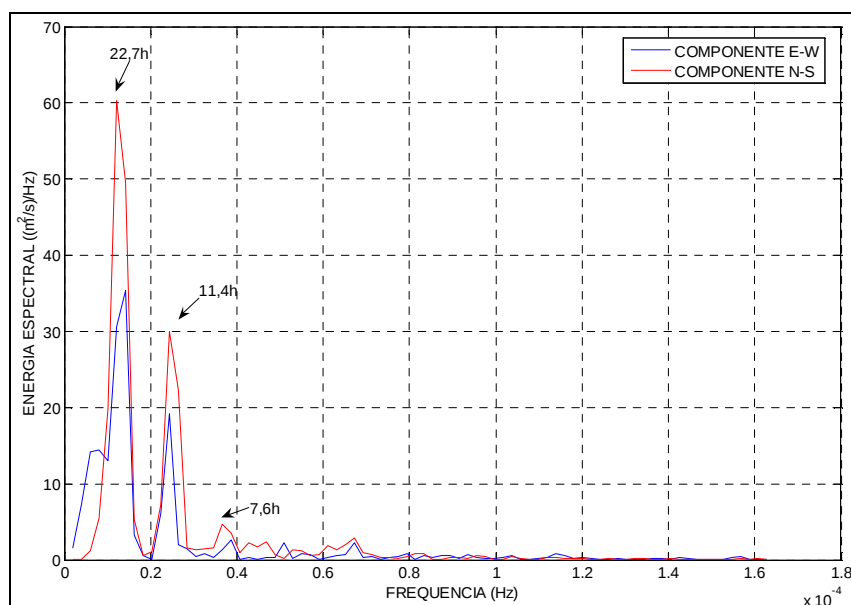


Figura 68: Análise espectral das componentes de velocidade das correntes na semana 2 de 2008. Espectro bruto.

Quando comparamos a evolução dos perfis de O.D. entre 27 de março e 6 de abril de 2006 (item 5.2.1.d, Figuras 32 a 35), percebe-se que condições hipóxicas estavam estabelecidas no princípio da medição a partir dos 2,5m. Entre 27 e 30 de março as correntes foram ligeiramente mais intensas, com predominância de fluxo nordeste. Em 30 de março, juntamente com a inversão do fluxo para sudoeste, verificou-se redução nos níveis de oxigênio em toda a coluna d'água, com estabelecimento de condições próximas à anoxia a partir dos 2m. Na segunda semana de medições, quando foram

observadas fracas correntes em direção a sul, nos perfis de 3 e 6 de abril (Figuras 34 e 35), foi constatada a manutenção e o rebaixamento gradual da camada hipóxica, até os 3m de profundidade, concomitante ao aumento das concentrações de oxigênio na camada superior.

Na campanha de 2008 destacaram-se uma intensificação das correntes em 2 de outubro e uma intensificação das correntes com reversão de fluxo para sudoeste em 5 e 6 de outubro (Figuras 41 e 64). Todos estes eventos foram acompanhados por aumento nas concentrações de O.D. Junto ao fundo (de hipoxia para 8mg/L, 7mg/L e 5mg/L, respectivamente). Nestes casos, a intensificação do fluxo pode ter aerado a camada inferior pela ausência de uma estratificação significativa anterior (processo descrito no item 6.1.2 da discussão) ou a corrente para sudoeste (em 5 e 6 de outubro) pode ter trazido águas com maiores teores de O.D. oriundas de outras partes da lagoa.

De um modo geral, o comportamento das correntes, com baixas velocidades, indica que o escoamento na lagoa é dominado por processos internos, como seiches da superfície livre e ondas internas em função da estratificação. Analisando os dados nota-se a pequena relevância da maré na circulação. Essa configuração favorece o desenvolvimento e manutenção de condições anóxicas, através da pouca movimentação da água junto ao fundo. Ao mesmo tempo, eventos de intensificação repentina das velocidades de corrente podem causar a ressuspensão de sedimentos com altos valores de D.B.O. e D.Q.O. aprisionados na camada de fundo, consumindo rapidamente o oxigênio até camadas superiores, ou aerar a camada de fundo, dependendo das condições estabelecidas anteriormente ao evento.

6.3 Ventos e Oxigênio Dissolvido

Os ventos são um importante fator a ser considerado na avaliação das concentrações de O.D. Sua ação sobre a superfície possui diversas conseqüências, através da transferência de energia e conseqüente turbulência. Seus efeitos vão desde um aumento na aeração superficial, passando pela quebra da estratificação (e conseqüente mistura da coluna d'água), até a ressuspensão de sedimentos, que podem possuir altos teores de matéria orgânica e compostos químicos, que aumentando a D.B.O. e a D.Q.O., interferindo ainda na circulação interna do corpo d'água, interagindo com os processos biogeoquímicos locais (Santa Rosa, 2003; Simas, 2007; Maciel, 2007).

6.3.1 Caracterização Sazonal do vento

Sendo assim, o conhecimento do comportamento do vento na Lagoa Rodrigo de Freitas se faz necessário para avaliar sua influência nas concentrações de oxigênio dissolvido. Para isso uma série temporal de maior duração de dados medidos na Ilha Piraguê (entre outubro de 2006 e outubro de 2007) foi gentilmente cedida por Daniel Dias Loureiro, doutorando do Departamento de Geoquímica da UFF) para este trabalho, fornecendo uma visão mais ampla do comportamento deste parâmetro na lagoa.

Avaliando as estatísticas do período entre outubro de 2006 e 2007 (Figura 69), é possível notar que o maior índice de ocorrências localiza-se no setor entre sul e noroeste. As maiores velocidades (acima de 8m/s), no entanto, foram registradas das direções norte/nordeste até leste.

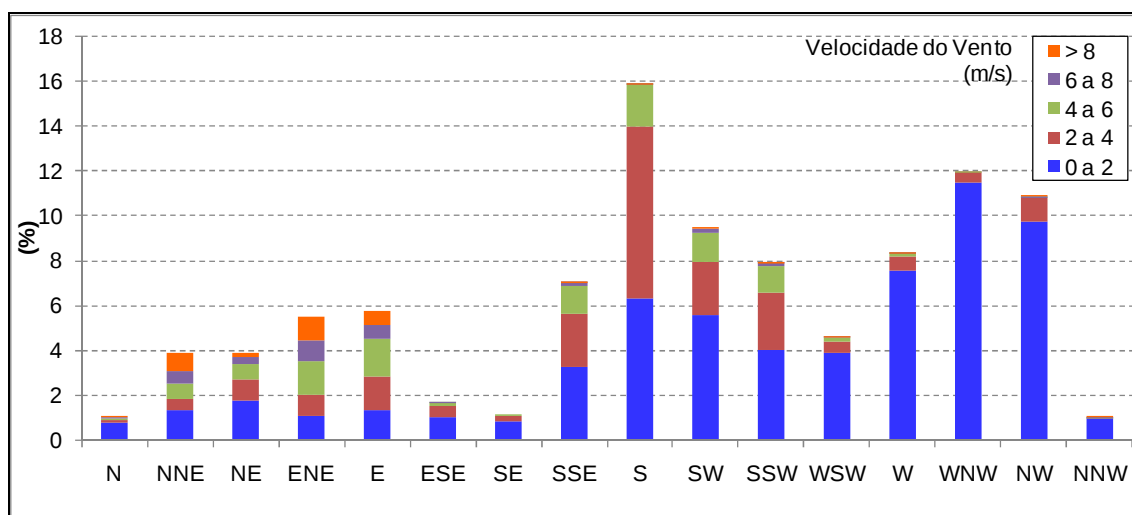


Figura 69: Frequências de ocorrência por direção e faixas de velocidade entre 27 de outubro de 2006 e 26 de outubro de 2007.

A fim de se representar os ventos neste período, em função do grande volume dos dados, foi utilizada uma técnica gráfica desenvolvida por Parente (comunicação pessoal), que representa a evolução do vento por direção, por dia do mês. Para este trabalho, foram confeccionados gráficos mensais, plotando as médias calculadas para cada 3 horas, com diferentes cores para cada faixa de velocidade de 2m/s. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 70 a 81.

Ao observar a evolução dos ventos entre ventos (Figuras 70 a 81), observa-se um sistema de ventos com oscilação diária entre ventos mais fracos de oeste / noroeste (até 2m/s) e mais intensos (entre 2m/s e 4m/s) de sul / sudoeste, em especial entre novembro de 2006 e abril de 2007.

A intensificação dos ventos (ultrapassando 8m/s) geralmente esteve ligada a uma reversão para os quadrantes de leste a nordeste. Estes eventos ocorreram com maior intensidade no mês de janeiro de 2007, e menor intensidade (nenhuma ocorrência acima dos 8m/s) em março e abril do mesmo ano.

A partir de maio, os ventos regulares de sul começaram a ser menos freqüentes, deslocando-se para as direções sudeste e leste, com ocorrência de intensificações entre leste e nordeste. Em setembro de 2007 o padrão noroeste / sul voltou a se estabelecer.

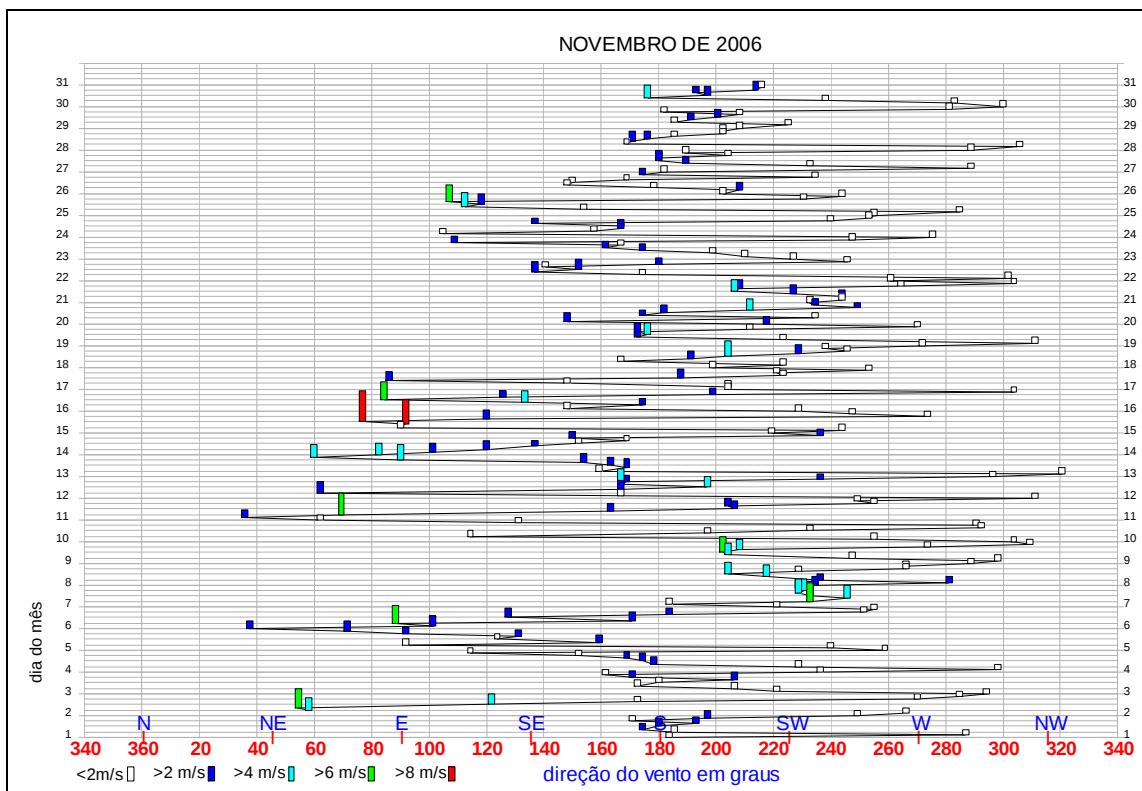


Figura 70: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em novembro de 2006. Médias a cada 3 horas.

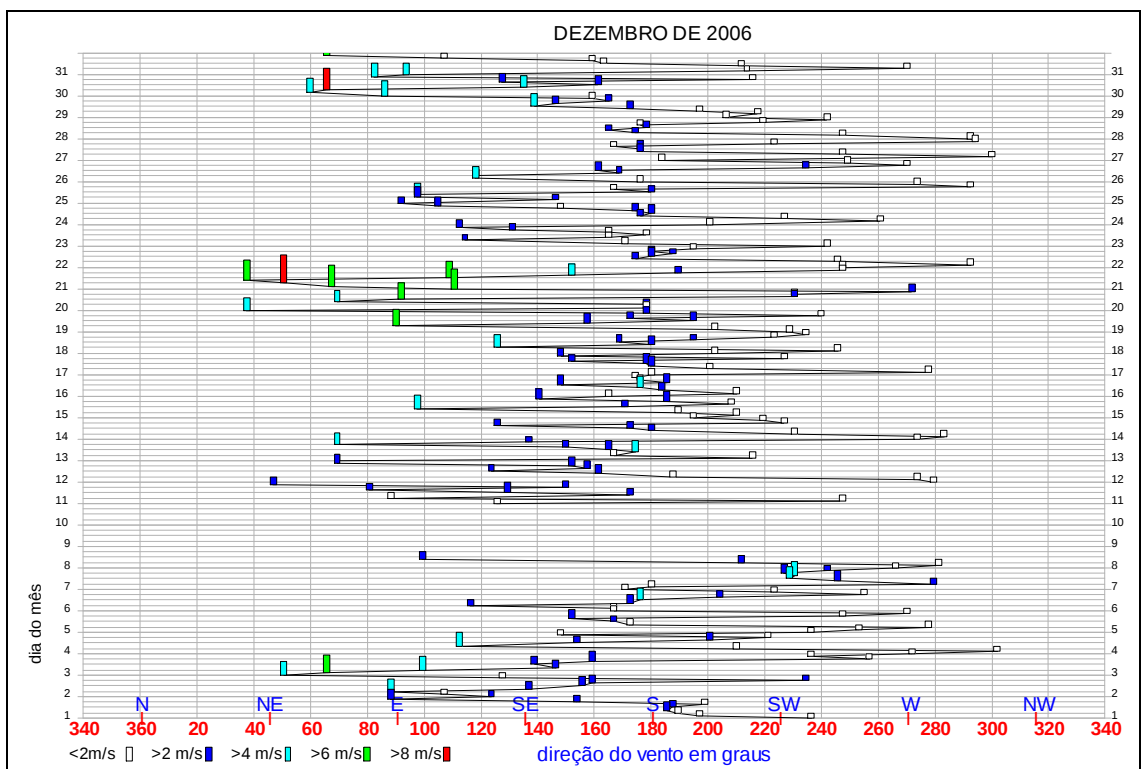


Figura 71: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em dezembro de 2006. Médias a cada 3 horas.

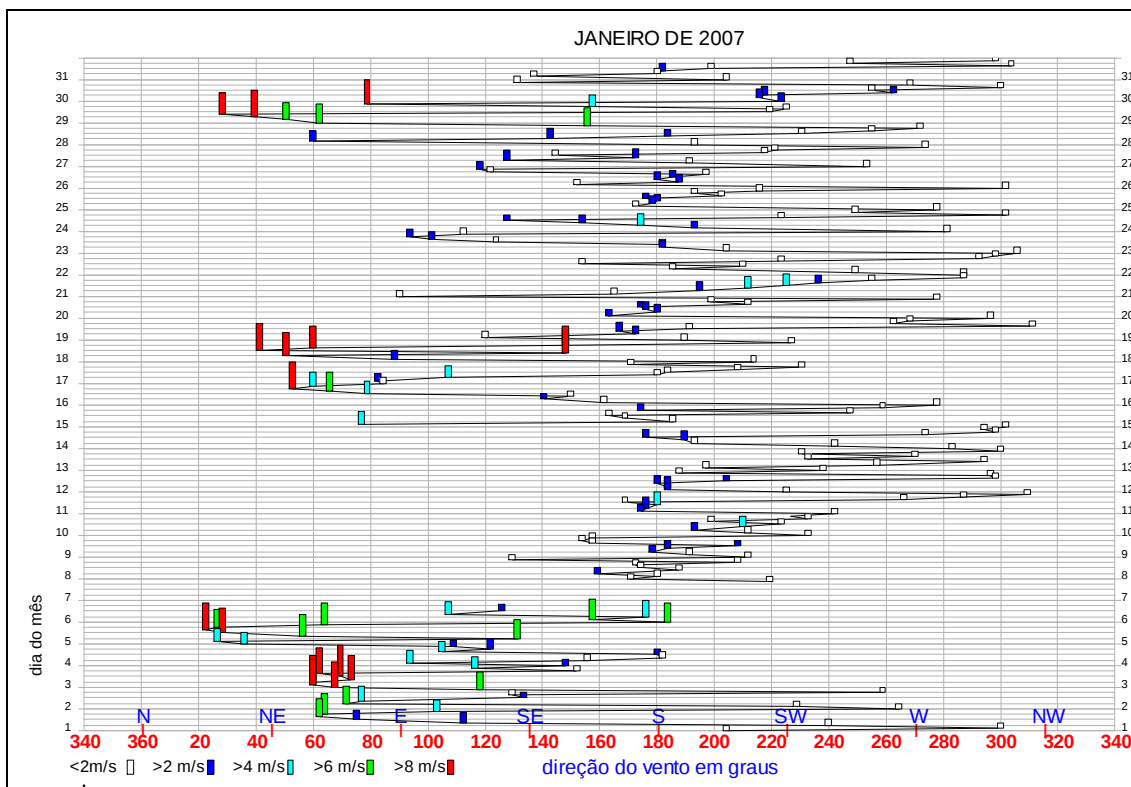


Figura 72: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em janeiro de 2007. Médias a cada 3 horas.

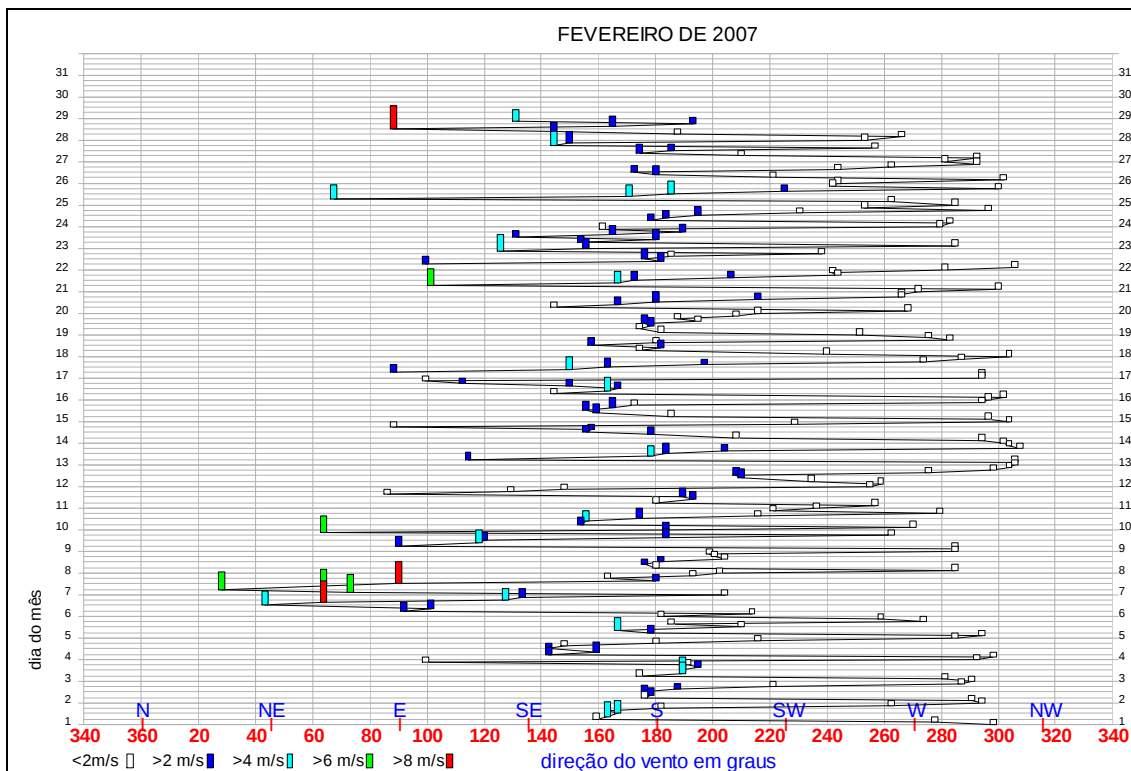


Figura 73: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em fevereiro de 2007. Médias a cada 3 horas.

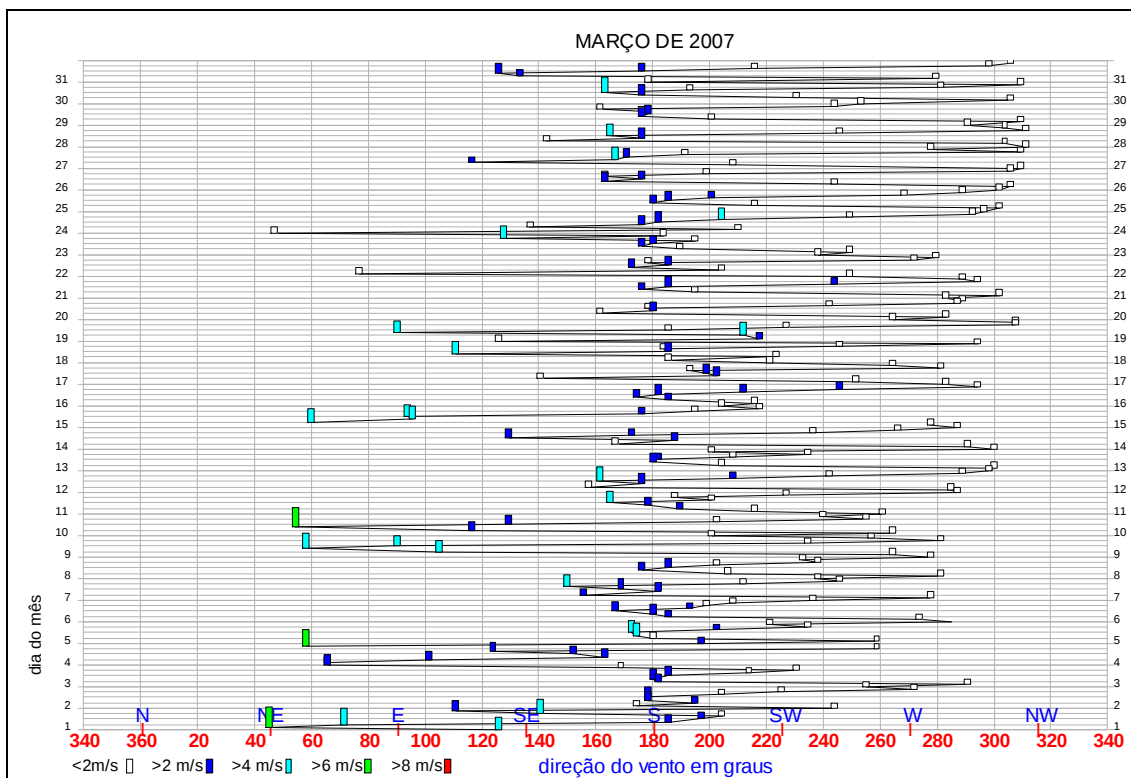


Figura 74: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em março de 2007. Médias a cada 3 horas.

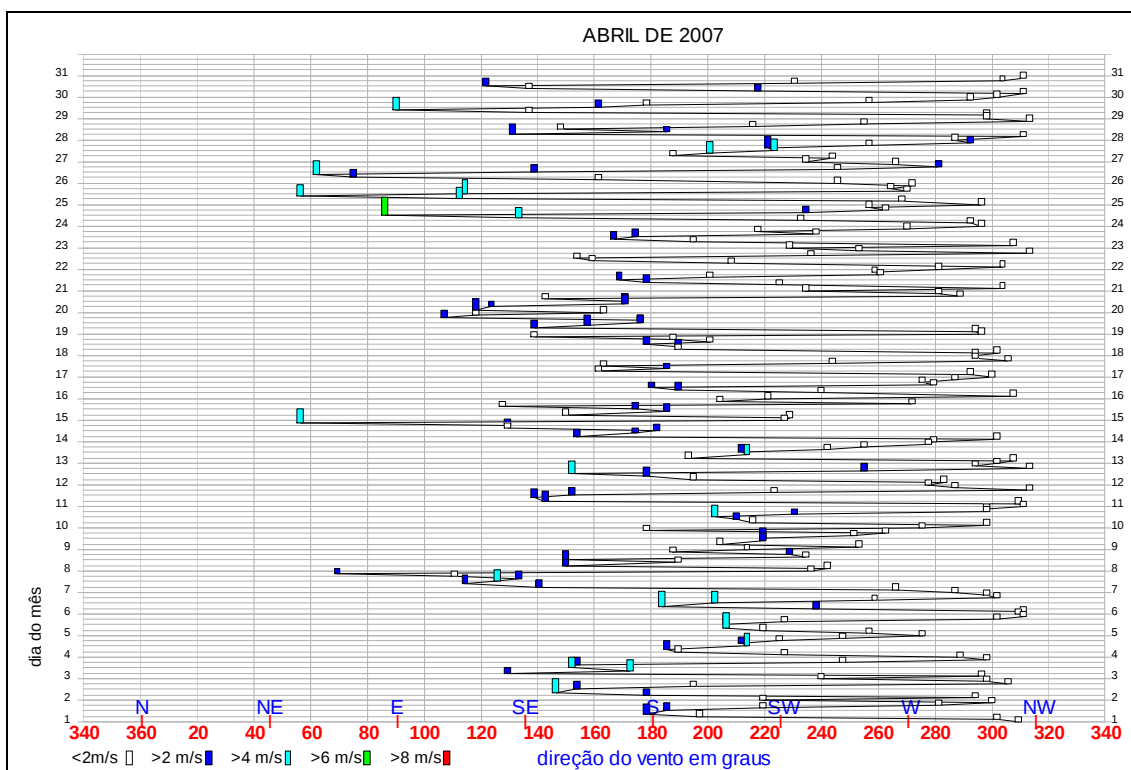


Figura 75: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em abril de 2007. Médias a cada 3 horas.

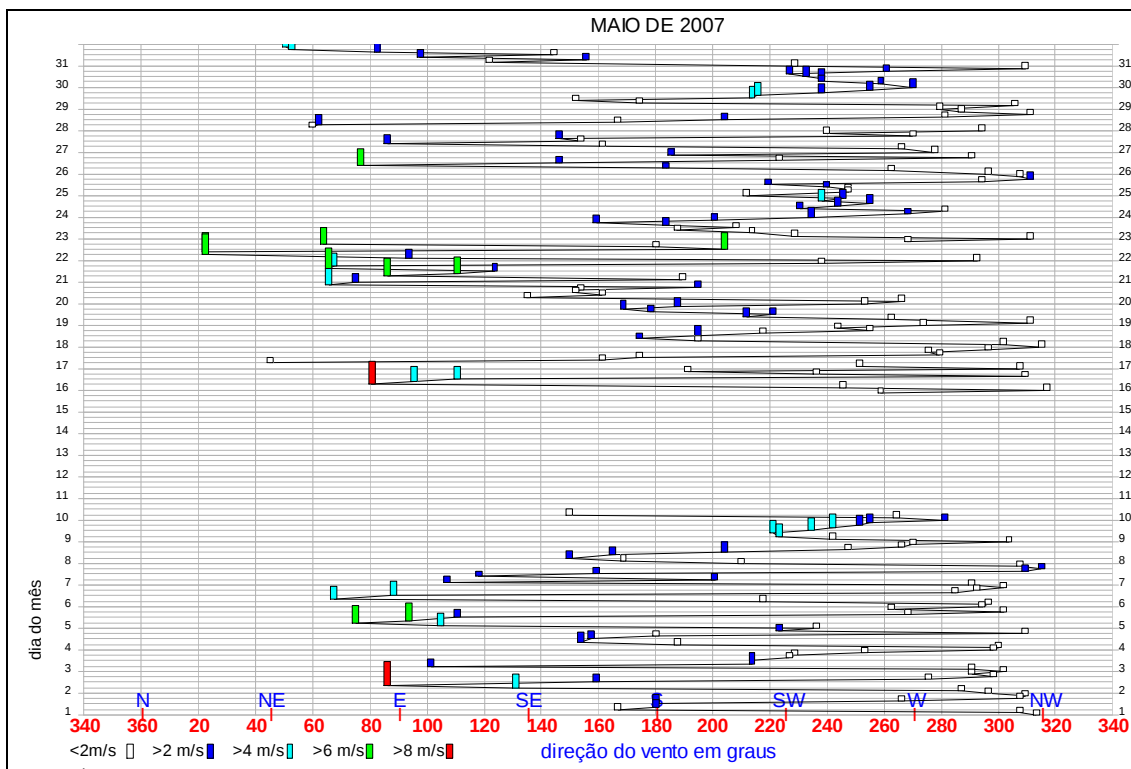


Figura 76: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em maio de 2007. Médias a cada 3 horas.

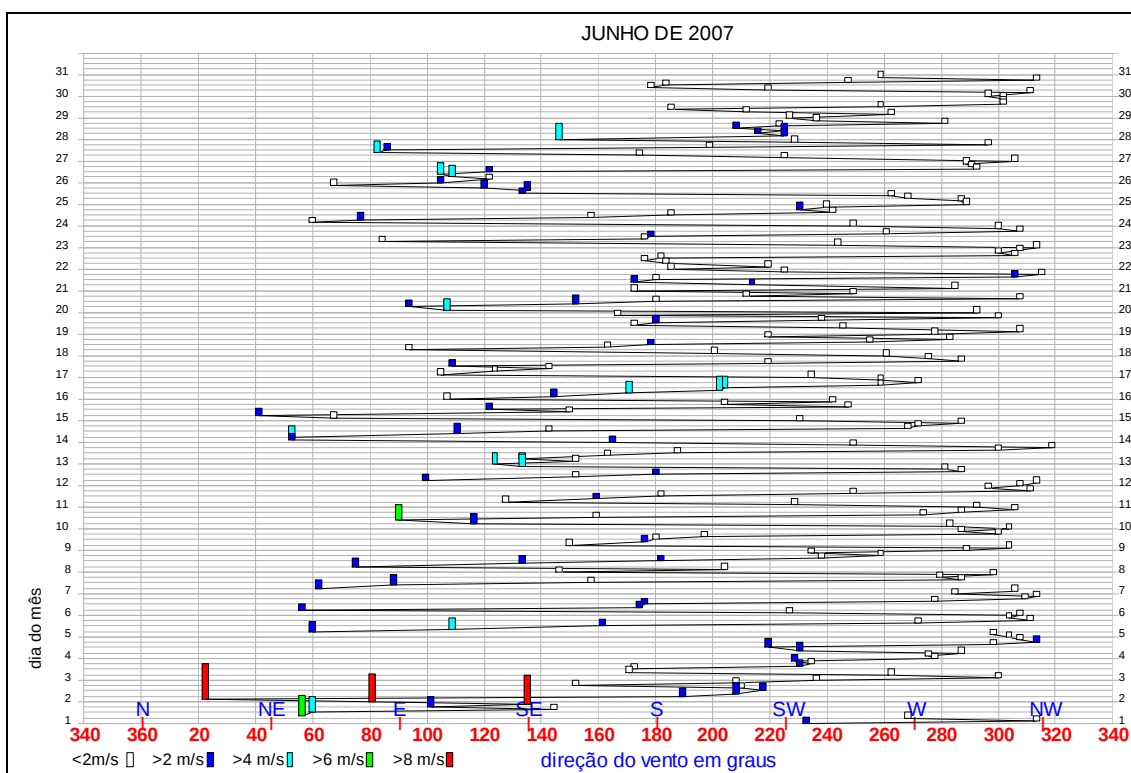


Figura 77: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em junho de 2007. Médias a cada 3 horas.

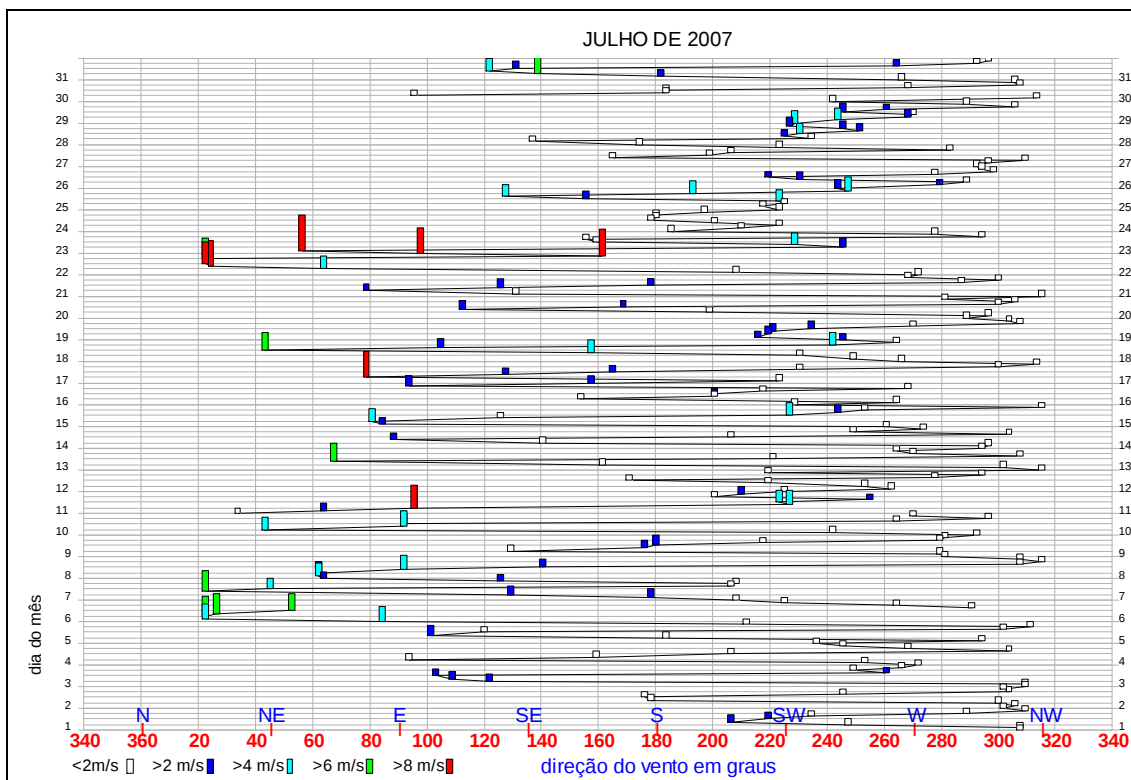


Figura 78: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em julho de 2007. Médias a cada 3 horas.

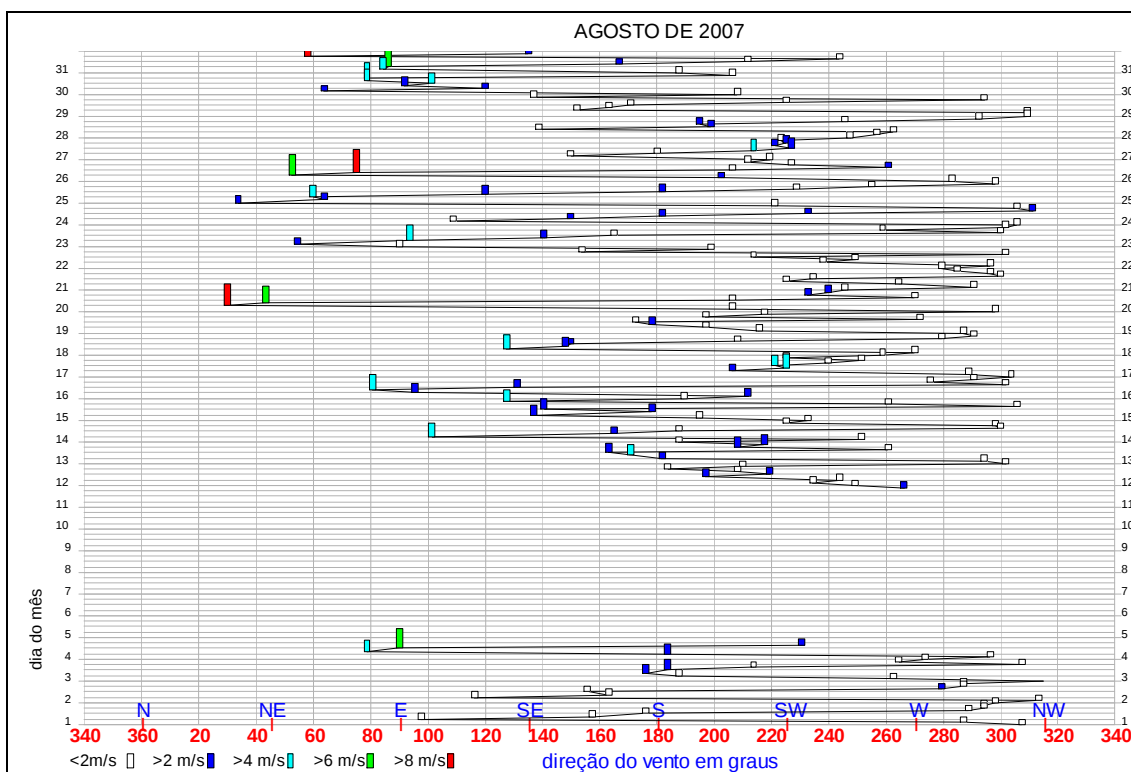


Figura 79: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em agosto de 2007. Médias a cada 3 horas.

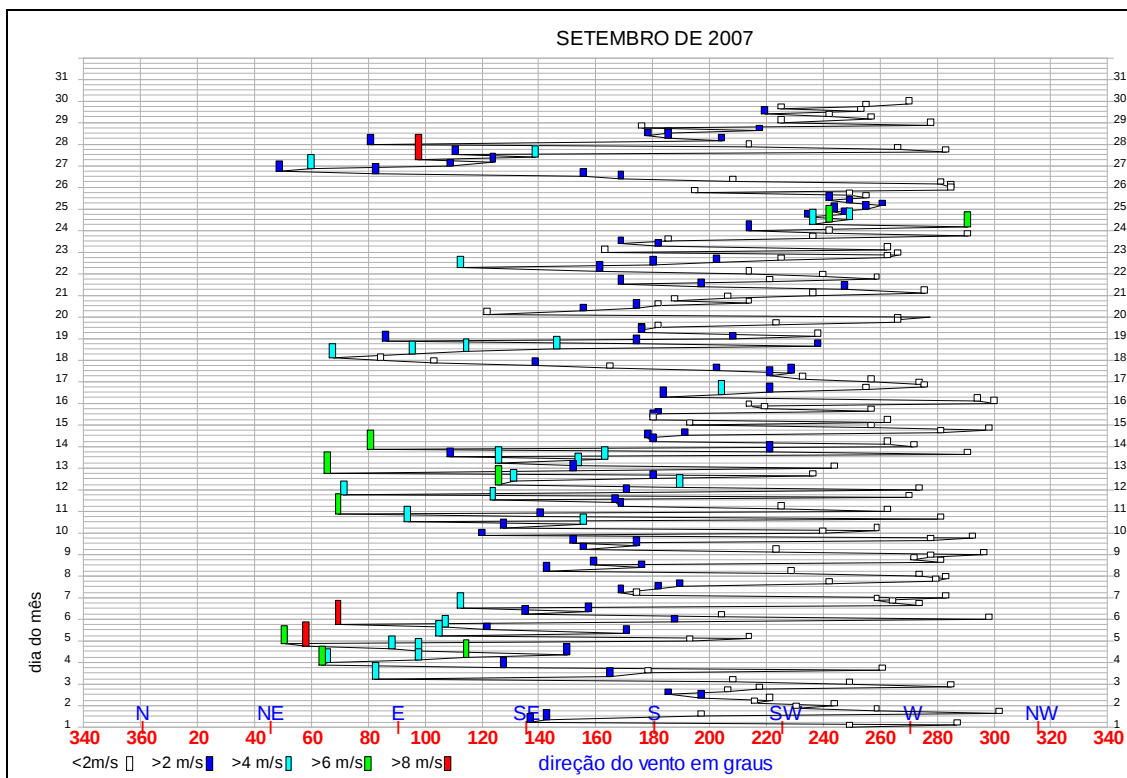


Figura 80: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em setembro de 2007. Médias a cada 3 horas.

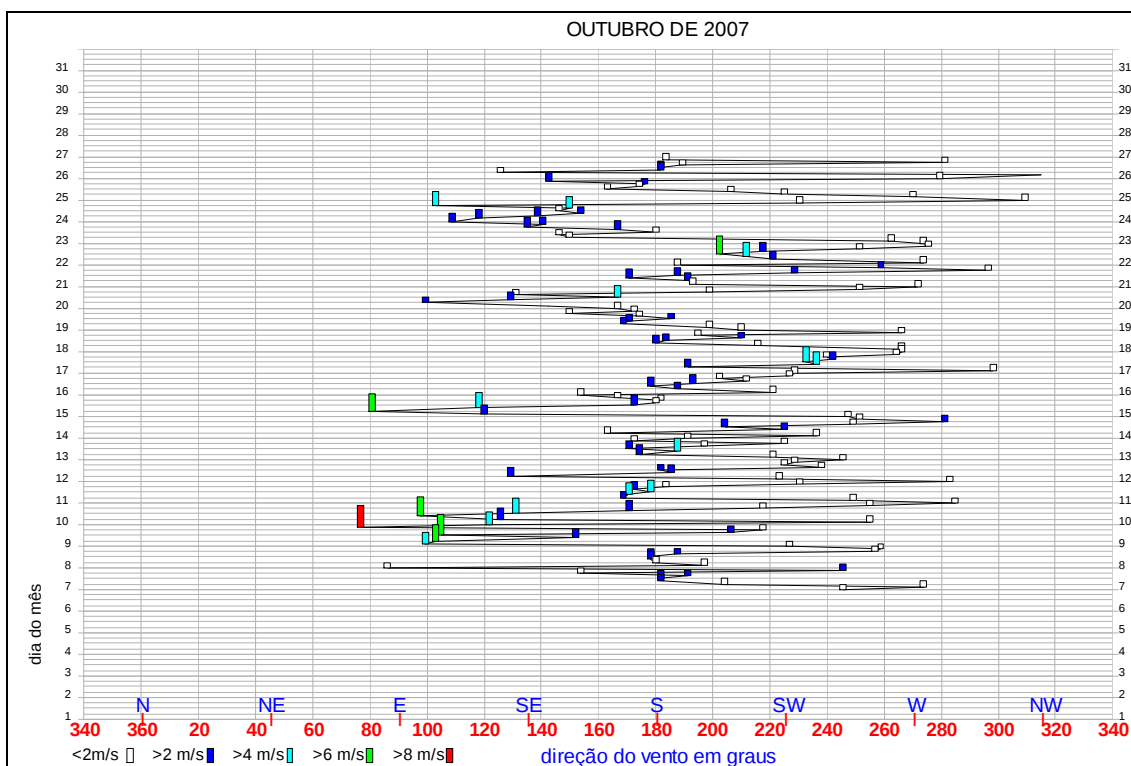


Figura 81: Plotagem da evolução dos ventos na Ilha do Piraquê em outubro de 2007. Médias a cada 3 horas.

6.3.2 Efeitos do Vento na Estratificação e no O.D.

Buscando avaliar efeito do vento na estratificação, Calixto (1990), apresentou fórmulas para o cálculo da estabilidade da coluna estratificada. Segundo IDSO (*apud* Calixto, 1990) a estabilidade de uma lagoa corresponde à quantidade de trabalho necessário para misturar o corpo d'água e uniformizar a densidade. Este índice pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$S = Ep_C - (Ep_A + Ep_B) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: S = Estabilidade da Coluna Estratificada (J)

Ep_A = Energia Potencial da Coluna Superior (J)

Ep_B = Energia Potencial da Coluna Inferior (J)

Ep_C = Energia Potencial da Coluna Misturada (J)

E,

$$Ep_A = \rho_A \times \overline{AB} \times g \times \left(\overline{AC} - \frac{\overline{AB}}{2} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Ep_B = \rho_B \times g \times \frac{\overline{BC}}{2} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$Ep_C = \rho_C \times g \times \frac{\overline{AC}}{2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: ρ_A, ρ_B e ρ_C = Densidade das camadas A B e C (kg/m^3)

$\overline{AB}, \overline{BC}$ e $\overline{AC}$ = comprimento das camadas superiores, inferiores e total da coluna d'água, respectivamente (m)

g = Aceleração da gravidade (m/s^2)

A densidade da coluna misturada é calculada através da média ponderada das densidades das colunas estratificadas e os respectivos comprimentos de suas seções. A Figura 82 ilustra de forma esquemática as seções consideradas para o cálculo da estabilidade de uma coluna d'água estratificada.

O autor deduziu ainda fórmulas que relacionam o vento à estratificação, sendo possível calcular o tempo e a velocidade do vento necessários para homogeneizar toda a coluna d'água:

$$T = \frac{S}{(1,952U_{10}^3 + 0,1586U_{10}^4) \times 10^{-5}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde: U_{10} = Velocidade do vento medida a 10m de altitude.

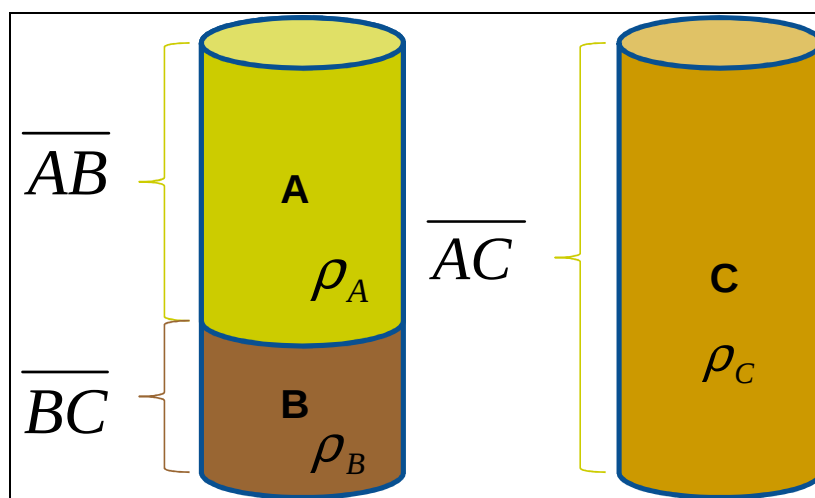


Figura 82: Esquema de uma coluna d'água estratificada e após a mistura. Modificado de Calixto, 1990.

Logo, foi realizada uma aplicação prática destes parâmetros na Lagoa Rodrigo de Freitas. A partir dos dados de perfis verticais de densidade, foram calculados os índices de estabilidade da lagoa em janeiro de 2007 (Quadro 7). A partir desses resultados, com valores pré-estabelecidos de ventos de 3m/s e 8m/s, foram calculados as durações que ventos desta intensidade teriam que soprar para misturar toda a coluna d'água (Quadro 8). Nos dias em que a coluna d'água apresentou estratificação significativa (22 e 26 de janeiro), ventos de 3m/s teriam que soprar durante 25,6h e 10,5h, respectivamente para misturar toda a coluna d'água, enquanto que a ventos de 8m/s bastariam 1h e 0,4h para realizar o mesmo trabalho.

Analisando a Figura 83, que apresenta os dados de vento relativos a este mesmo mês, percebe-se que as condições necessárias a misturar toda a coluna d'água foram atingidas em quase todos os perfis, com exceção de 22 e 26 de janeiro (não há dados de ventos para o dia 8 de janeiro). Os dados de oxigênio dissolvido no mesmo mês revelam que as condições de anoxia mais severa foram atingidas nestas mesmas

datas (Quadro 8). Em oposição a este padrão, no início do mês de janeiro, fortes ventos (até 12m/s) sopraram, e a coluna d'água ficou homogênea com relação à estratificação e às concentrações de O.D., que variaram entre 6,4 e 3,7mg/L entre superfície e fundo.

Quadro 7: Dados para o cálculo da estabilidade da coluna d'água na Estação RF04 em janeiro de 2007

	5/JAN	8/JAN	15/JAN	19/JAN	22/JAN	26/JAN	30/JAN
$\overline{AB}$ (m)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0
$\overline{BC}$ (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0	1,0
$\overline{AC}$ (m)	3,5	3,5	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0
ρ_A (kg/m ³)	1005,68	1005,57	1005,15	1005,15	1005,54	1005,50	1006,08
ρ_B (kg/m ³)	1005,73	1005,76	1005,30	1005,30	1009,63	1008,57	1007,23
ρ_C (kg/m ³)	1005,68	1005,60	1005,17	1005,17	1006,56	1007,04	1006,37
S (J)	0,4	1,4	1,2	2,6	60,2	60,3	16,9

Quadro 8: Estabilidade da coluna d'água, valores de vento crítico e concentrações de O.D na Estação RF04 em Janeiro de 2007. Em vermelho, condições de hipoxia.

	Prof. (m)	5/JAN	8/JAN	15/JAN	19/JAN	22/JAN	26/JAN	30/JAN
Densidade (kg/m ³)	0,0	1005,6	1005,5	1005,0	1005,4	1005,1	1005,3	1006,0
	0,5	1005,6	1005,5	1005,1	1005,4	1005,1	1005,3	1006,0
	1,0	1005,6	1005,5	1005,1	1005,5	1005,3	1005,2	1006,0
	1,5	1005,6	1005,5	1005,1	1005,5	1005,4	1005,8	1006,0
	2,0	1005,7	1005,6	1005,2	1005,6	1005,5	1005,9	1006,0
	2,5	1005,7	1005,6	1005,2	1005,8	1005,8	1007,9	1006,0
	3,0	1005,7	1005,7	1005,3	1006,0	1006,5	1006,8	1006,6
	3,5	1005,7	1005,8	1005,3	1006,0	1008,0	1009,8	1007,1
	4,0	----	----	1005,3	----	1011,2	1009,8	1007,4
Estabilidade		0,4	1,4	1,2	2,6	60,2	60,3	16,9
Tempo Crítico (h)	U ₁₀ : 3m/s	0,2	0,6	0,5	1,1	25,5	25,5	7,2
	U ₁₀ : 8m/s	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,3
OD (mg/L)	0,0	6,4	9,0	6,3	7,7	8,0	10,9	6,8
	0,5	6,2	8,6	6,3	7,5	7,6	11,1	6,2
	1,0	5,5	8,5	5,3	7,9	6,2	10,3	6,3
	1,5	5,0	7,4	4,3	8,2	5,6	7,3	5,9
	2,0	4,5	6,0	2,9	7,1	4,4	5,8	5,8
	2,5	4,4	5,3	2,5	4,1	1,2	1,8	4,2
	3,0	4,1	2,8	2,0	3,9	0,0	0,0	1,7
	3,5	3,7	0,1	0,6	2,2	0,0	0,0	0,0
	4,0	----	----	0,3	----	0,0	0,0	0,0

Legenda:

	Coluna Inferior
	Condição de vento no dia: SUFICIENTE para misturar a coluna d'água
	Condição de vento no dia: INSUFICIENTE para misturar a coluna d'água

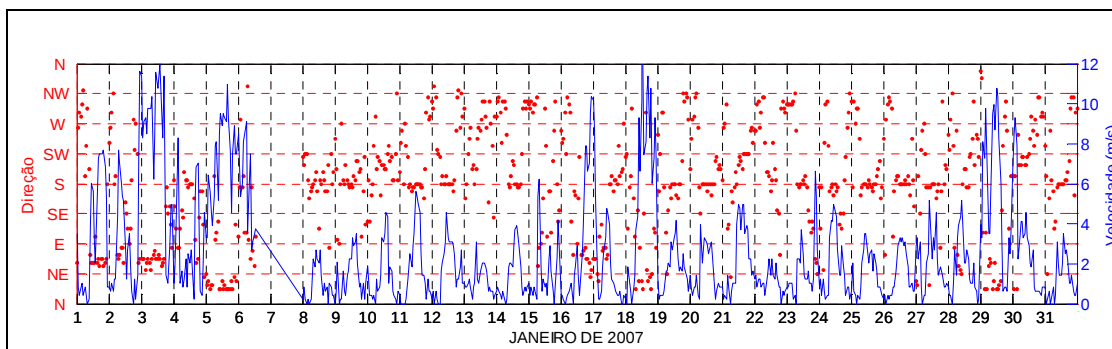


Figura 82: Velocidade e direção do vento em janeiro de 2007, na Ilha Piraquê.

Outro cálculo foi realizado para o dia 3 de outubro de 2005, que apresentou a maior estabilidade em 2005, considerado um momento com forte estratificação. Neste dia, com uma coluna d'água superior de 2,5m com densidade de 1005,6 kg/m e coluna inferior com 1,5m de comprimento e densidade de 1013,5 kg/m³, a coluna misturada teria densidade de 1008,6 kg/m³, e a estabilidade seria de 144,5J (ver Figura 83 e Quadro 9).

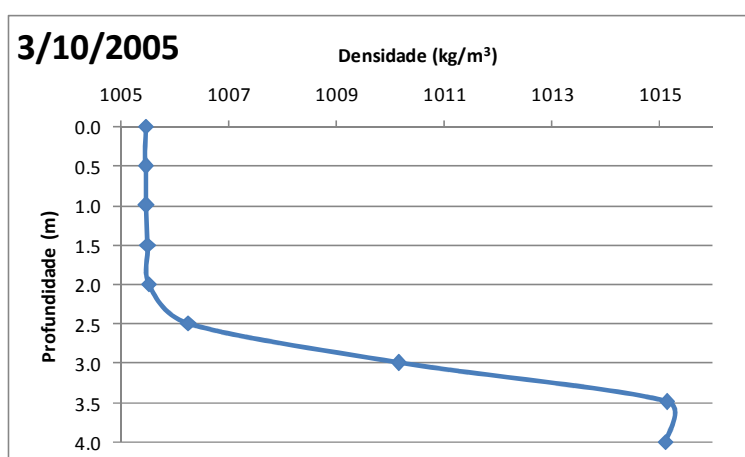


Figura 83: Perfil de densidade na Estação RF04 em 3 de outubro de 2005.

Quadro 9: Valores de vento crítico e tempo necessários para homogeneizar a coluna d'água estratificada em 3 de outubro de 2005 na Estação RF04.

Velocidade do Vento Crítico (m/s)	Tempo (h)
	S=144,5
3	61,2
4	24,3
5	11,7
6	6,4
7	3,8
8	2,4
9	1,6
10	1,1

Este cálculo mostra que para uma situação de estratificação bem estabelecida, seriam necessários, por exemplo, ventos de 8m/s soprando durante 2h24min, o que não é uma situação corriqueira na Lagoa Rodrigo de Freitas, mas que pode ocorrer em determinadas ocasiões, conforme demonstrado no item 6.3.1 (Caracterização Sazonal do Vento).

6.3.3 Efeitos do Vento na Circulação

As duas campanhas de detalhe também foram acompanhadas por medições de vento (consultar itens 4.2 e 5.2 para maiores detalhes). Na primeira semana de medições em 2006, ventos de leste com intensidade entre 4 e 5m/s sopraram durante aproximadamente 6h, em 29 de março. Este evento foi acompanhado por uma intensificação de correntes para sudoeste (Figura 24), e por uma queda na temperatura de 29°C para 28,5°C e imediata elevação para 29,5°C, com nova queda para 28,7°C (Figura 28). A salinidade também variou, indicando a passagem de uma água mais doce (6) e depois mais salgada (7,5). Essa oscilação característica pode estar relacionada à mistura da água pelo vento, que pode ter sido responsável inclusive pela redução das concentrações de O.D. em toda a coluna d'água entre 27 e 30 de março.

Na campanha de 2008, destacaram-se três eventos de variações significativas no vento: em 2 de outubro, sopraram fortes ventos de norte (até 10m/s), concomitantemente a uma intensificação das correntes à meia-água dirigindo-se para noroeste (Figuras 38 e 41); em 5 de outubro, uma intensificação de ventos de norte/nordeste foi acompanhada por uma reversão nas correntes à meia-água (Figuras 38 e 41) para sudoeste; e, em 6 de outubro, uma mudança na direção dos ventos próximo ao meio do dia, de oeste/noroeste para sul/sudoeste (ainda que com velocidades em torno de 1m/s) foi acompanhada por mais uma reversão da corrente para sudoeste. É interessante notar que em todos os três eventos houve aumento nas concentrações de oxigênio dissolvido junto ao fundo (ver Figura 49).

6.3.4 Efeitos do Vento na Ressuspensão de Sedimentos

Uma outra consequência da ação dos ventos, é que através da geração de ondas, a partir de uma certa profundidade a turbulência pode atingir o fundo da lagoa, causando ressuspensão de sedimentos que podem conter altos teores de matéria orgânica e

compostos químicos redutores, o que, de forma combinada pode ocasionar rápida depleção dos níveis de oxigênio.

A geração de ondas de superfície ocorre basicamente através da ação do vento. Quando a profundidade sobre a qual a onda se propaga (d) chega a $\frac{1}{2}$ do comprimento de onda (L), $d < 2L$ (situação classificada como águas intermediárias), o movimento das partículas por ela gerado chega ao fundo, ocorrendo transferência de energia para o sedimento, com possibilidade de haver ressuspensão.

Booth *et al.* (2000) propuseram uma metodologia relativamente simples de se calcular o potencial para ressuspensão de sedimentos de fundo por ondas induzidas por ventos, em função da pista e da batimetria do corpo d'água. Primeiramente calcula-se uma profundidade crítica, a partir da qual se espera que ocorra ressuspensão (no caso da Lagoa Rodrigo de Freitas, considerada como intermediária: $L_c = 2d$). CERC (1984 *apud* Booth *et al.*, 2000) estabeleceu a relação entre período e comprimento de onda:

$$L = gT^2 / 2\pi \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde: g = aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m.s}^{-2}$);

É possível determinar o período de ondas induzidas pelo vento com base na velocidade e duração do vento e tamanho de pista. Ao se considerar resultantes de 24h do vento, o período T pode ser calculado através da velocidade do vento (U) e da pista (F) (CERC, 1984 *apud* Booth *et al.*, 2000):

$$gT / U_A = 0,2857(gF / U_A^2)^{1/3} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde U_A é um fator de *stress* do vento determinado em função da velocidade do vento local e um fator de correção da diferença entre a temperatura do ar e da água. Em um determinado local, a direção dominante do vento determina a pista e a profundidade determina o comprimento de onda crítico para ressuspensão. Sendo assim, a se substituir $2d$ por L na Eq. 7, o período crítico (T_c) pode ser obtido por:

$$T_c = (4\pi d / g)^{1/2} \quad \text{Eq. (9)}$$

A velocidade de vento crítica, que indica a condição necessária para a potencial ressuspensão, pode ser encontrada ao se resolver para U (vento local), usando $T=T_c$, na Eq. 8:

$$U_c = [1,2\{4.127(T_c^3 / F)\}^{0.813}] \quad \text{Eq. (10)}$$

A fim de calcular T_c e U_c para a Lagoa Rodrigo de Freitas, foi utilizada uma base de dados contendo a batimetria digitalizada, fornecida pelo LDSC (Laboratório de Dinâmica de Sedimentos Coesivos – COPPE/UFRJ). Essa batimetria permitiu calcular para cada ponto com profundidade conhecida, os parâmetros desejados, utilizando as Equações 9 e 10. Sendo assim, a cada ponto foram associados os valores de T_c , F (considerando as oito direções principais) e U_c .

Os resultados dos cálculos para U_c foram então interpolados e isolinhas de velocidades críticas foram obtidas. As Figuras 84 a 86 mostram os valores de vento a partir do qual correntes geradas por onda passariam a interagir com o fundo para ventos soprando de nordeste, leste e sul, que apresentaram as maiores intensidades e números de ocorrência entre 2006 e 2007.

Analisando os dados, é possível notar que na maior parte da lagoa, para todas as pistas, seria necessário uma resultante diária de vento com velocidade de 15m/s, condições que dificilmente ocorrem na lagoa. A porção sudeste e leste da lagoa, no entanto, é a mais vulnerável, com potencial de ressuspensão até mesmo para ventos inferiores a 10m/s. provavelmente isto se deve às menores profundidades encontradas neste local. Além disso, os ventos oriundos de quadrantes de leste (como nordeste e leste) foram sistematicamente os mais intensos registrados na série temporal de um ano, o que aumenta a chance de ressuspensão nesta região da Lagoa Rodrigo de Freitas.

É importante ressaltar que não está sendo considerada uma barreira de densidade, e que trata-se apenas do potencial da ressuspensão. A ocorrência da ressuspensão de fato não depende só do vento, mas de outros fatores como as propriedades do fluxo em si, do sedimento e da tensão de cisalhamento que é gerada devido ao atrito entre o fluido e o leito (Open University, 2000). O estudo detalhado desses fatores não é parte do escopo desta dissertação.

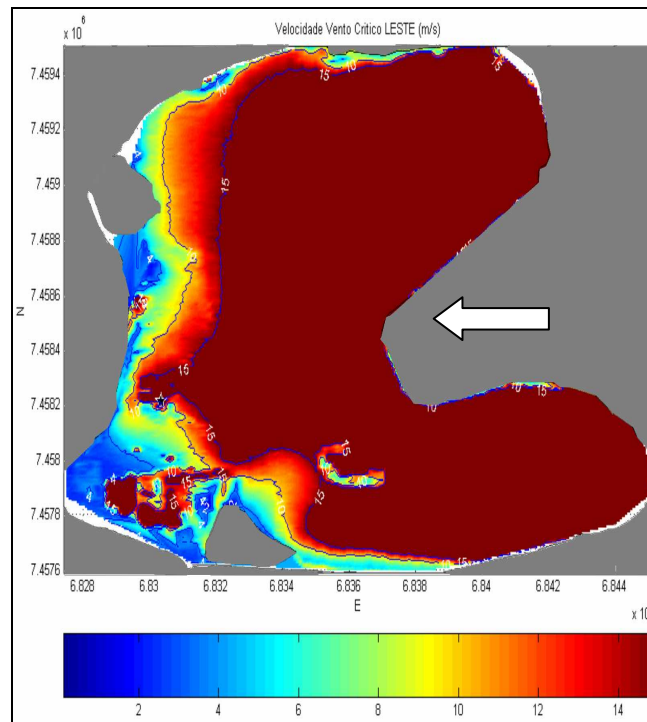


Figura 84: Cálculo de U_c considerando ventos de leste.

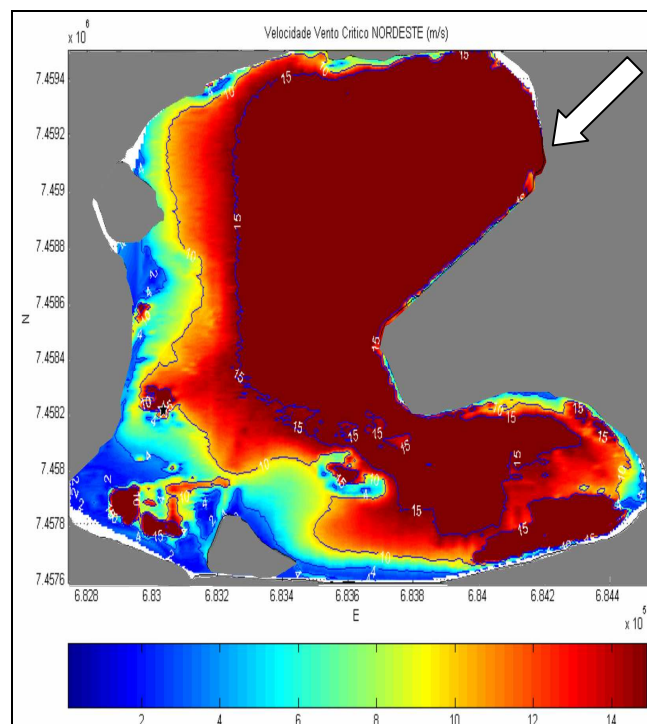


Figura 85: Cálculo de U_c considerando ventos de nordeste.

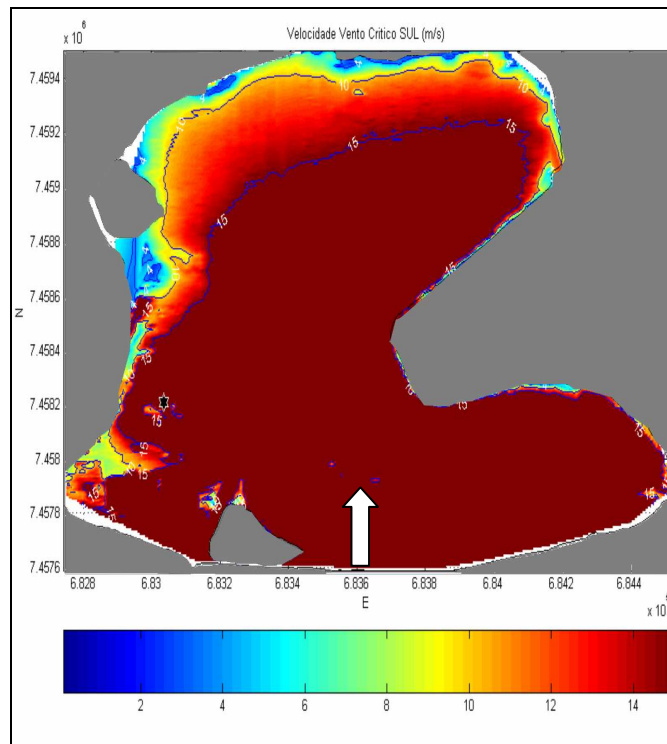


Figura 86: Cálculo de U_c considerando ventos de sul.

De acordo com a análise do conjunto de dados sazonais e das campanhas de detalhe, é possível inferir que o vento possui papel relevante na dinâmica do oxigênio dissolvido na Lagoa Rodrigo de Freitas, seja em função da sua relação com a estratificação (quebra / estabelecimento) ou de suas consequências na circulação. O potencial de ressuspensão dos sedimentos por ondas geradas por vento aumenta quando sopram ventos fortes de leste/nordeste, podendo afetar principalmente o setor sudoeste/leste da lagoa, oferecendo risco de depleção dos níveis de O.D. nessa região.

7 CONCLUSÕES

Através da análise dos dados de densidade é possível inferir que existe um padrão de estratificação sazonal na Lagoa Rodrigo de Freitas, aparentemente variável de acordo com o balanço entre a entrada de águas doces (chuvas) e salgadas (eventos de frente fria), pois a coluna d'água se apresentou homogênea em períodos chuvosos e estratificada em períodos normalmente mais secos e com maior intensidade de frentes frias (entre maio e agosto, conhecimento baseado em informações gerais).

A relação entre a estratificação e as concentrações de O.D. na coluna d'água observada em frente à Colônia dos Pescadores foi a seguinte:

- **Estratificação salina estabelecida (gradientes de densidade a partir de $1\text{kg/m}^3/\text{m}$):** presença de camada hipóxica acompanhando a posição da pycnoclina;
- **Quebra da estratificação e conseqüente mistura:** pode ocasionar (i) Redução das concentrações de O.D. em toda a coluna d'água, desde que as condições anteriores sejam de uma estratificação estável por um certo período de tempo; (ii) aeração da camada de fundo, desde que a configuração anterior não seja de uma coluna d'água significativamente estratificada. Esta dinâmica provavelmente está ligada ao potencial consumo de oxigênio desenvolvido pela camada de fundo ao longo do tempo em que esta se encontra hipóxica (ver item 2.1);
- **Coluna d'água homogênea sem relação com prévia estratificação:** pode apresentar, além de um perfil decrescente suave em direção ao fundo ou boas condições de aeração em toda a coluna d'água, condições de hipoxia até as menores profundidades (Figuras 59 e 60, abril de 2007 e março de 2008). Na ausência de estratificação, a relação entre consumo/produção de oxigênio é função do balanço entre a camada aerada superior e os sedimentos, ricos em matéria orgânica e redutores. Tais eventos de grande alcance de depleção podem ser explicados por aumento significativo no aporte de matéria orgânica e/ou eventos de fortes ventos, que na ausência de estratificação podem alcançar o fundo com mais facilidade, ressuspensando maiores quantidades de sedimentos com potencial de consumo de O_2 .

A circulação da Lagoa Rodrigo de Freitas parece ser dominada por processos internos, como seiches e ondas internas, possuindo pouca influência da maré. As

correntes fracas favorecem o estabelecimento de condições hipóxicas / anóxicas junto ao fundo. A intensificação de correntes junto ao fundo pode diminuir ou aumentar a concentração de O.D. A diminuição deve ocorrer quando as correntes são fortes o suficiente para ressuspender sedimentos com alta D.B.O. e D.Q.O. Quando correntes relativamente mais fortes (lembrando que em valores absolutos não passaram de 12cm/s neste estudo), porém sem energia suficiente para ressuspender sedimentos, podem aumentar a concentração de O.D, ao trazer água com maiores concentrações de O.D. de outras partes do corpo d'água. Para uma estimativa mais precisa desta relação, seriam necessários cálculos de tensões críticas de cisalhamento locais, bem como monitoramento de escala sazonal da turbidez e das velocidades de correntes.

O registro de um ano de ventos revelou que as velocidades chegam a ultrapassar os 10m/s com uma certa frequência, e que os ventos mais fortes são oriundos de leste e nordeste. Em determinadas condições o vento é capaz de misturar toda a coluna d'água na lagoa, mesmo com baixas velocidades (3m/s), dependendo da estabilidade da coluna estratificada. Uma aplicação desta relação no mês de janeiro de 2007 revelou que uma coluna d'água com estratificação razoavelmente estável durante alguns dias foi o suficiente para o estabelecimento de uma camada hipóxica junto ao fundo.

Foi verificada resposta da circulação a mudanças na orientação e intensidade dos ventos. O potencial de ressuspensão por ondas geradas por ventos existe, especialmente na porção leste da lagoa, mais rasa e que além disso é mais vulnerável a ventos fortes de leste e nordeste. É necessário ressaltar porém , em grande parte da lagoa, este efeito é fortemente restringindo pela pequena extensão da pista, sendo necessários ventos mínimos de 15m/s para que as correntes geradas por ondas atinjam o fundo.

O trabalho apontou ainda a grande necessidade de conhecimentos sobre fatores sistêmicos para um entendimento mais completo da dinâmica do oxigênio dissolvido na Lagoa Rodrigo de Freitas. Dentre tais fatores, que constituem influência para o balanço hidrológico, podemos citar o controle das comportas, a vazão dos rios contribuintes, dados de chuva e meteorologia (entradas de frente fria) e dinâmica costeira do mar adjacente. Além disso, o entendimento da interface água-sedimento (características do sedimento, condições de ressuspensão, processos de turbulência junto ao fundo) deve ser levado em conta em estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBIENTAL, 2002, EIA/RIMA Solução Integrada de Reabilitação Ambiental da LRF e das Praias de Ipanema, Leblon e Arpoador.
- BECKER, A., LAURENSEN, L.J.B., BISHOP, K., 2009, "Artificial mouth opening fosters anoxic conditions that kill small estuarine fish", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v.82, pp. 566-572. .
- BIRD, E.C.F., 1994, "Coastal Lagoon Processes". In: KJERFVE, B. (ed.), *Physical Setting and Geomorphology of Coastal Lagoons*, v. 60, *Elsevier Oceanography Series*, Elsevier, pp. 9-39.
- BOOTH, J.G., MILLER, R.L., MCKEE, B.A. & LEATHERS, R.A. 2000, "Wind-Induced bottom sediment resuspension in a microtidal coastal environment". *Continental Shelf Research* 20: 785-806.
- CALIXTO, R.J., 1990, *Estabilidade hidráulico-sedimentológica de embocaduras de canais de maré – o caso da Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CONAMA, 2005, Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, nº 357.
- COPPETEC, 1992, Solução Conjunta dos Problemas de Erosão na Praia de Ipanema-Leblon e Qualidade de Água na Lagoa Rodrigo de Freitas, Relatório Final, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CUSHMAN-ROISIN, B., WILLMOT, A.J., BIGGS, N.R.T., 2005, "Influence of stratification on decaying surface seiche modes". *Continental Shelf research*, v.25, pp.227-242
- ESTEVES, F. A. 1998, *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Ed. Interciência/ FINEP.
- FOFONOFF, N.P., MILLARD, R.C., 1983, "Unesco Technical Papers in Marine Science". In: *Algorithms for computation os fundamental properties of seawater*, v. 40, UNESCO.

- FONSECA, E. M., 2008, *Estudos sobre a Geoquímica e Ecotoxicologia de Metais Pesados para as Comunidades Bacterianas nos Sedimentos da Laguna Rodrigo de Freitas – RJ*, Tese de D.Sc., IGEO/UFF, Niterói, RJ, Brasil
- GOLDMAN, C. R. ,HORNE, A. J., 1983, *Limnology*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- IMBERGER, J. 1998, "Physical Processes in Lakes and Oceans". In: IMBERGER, J.. (ed.), *Flux Path in a Stratified Lake*, Capítulo 1, Washington D.C, U.S.A., American Geophysical Union.
- KJERFVE, B.; MAGILL, K. E., 1989, "Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons". ***Marine Geology***, v.88, n.3-4, pp.187-199.
- KJERFVE, B., 1994, "Coastal Lagoon Processes". In: KJERFVE, B. (ed.), *Coastal Lagoon Processes*, v. 60, *Elsevier Oceanography Series*, Elsevier, pp. 1-8.
- LIBES, S. M. 1992, ***An Introduction to Marine Biogeochemistry***. John Wiley & Sons
- LOUREIRO, D. D., 2006, *Evolução dos aprtes de mateia pesados na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ*, Tese de M.Sc., IQ/UFF, Niterói, RJ, Brasil
- MACIEL, G.L.R., 2007, *Análise de dados hidrodinâmicos e estratificação na Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ: Relação com a concentração de oxigênio dissolvido*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- MIGON, C. *et al.*, 2007: "Geochemical and hydrodynamic constraints on the distribution of trace metal concentrations in the lagoon of Noume´a, New Caledonia". ***Estuarine Coastal and Shelf Science***, v. 74, pp. 756-765
- MILLERO, F.J., 2000, "Chemical Processes in Marine Environments". In: GIANGUZZA, A., PELIZZETTI, SAMMARTANO, S. (eds.), *Redox Processes in Anoxic Waters*, Capítulo 4, Torino, Itália, Springer.
- MONSEN, N.E., CLOERN, J.E., LUCAS, L.V., MONISMITH, S.G., 2002, "A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales.", ***Limnology and Oceanography***, v. 47, pp. 1545-1553

NIEDDA, M., GREPPI, M., 2007, "Tidal, seiche and wind dynamics in a small lagoon in the Mediterranean Sea", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v.74, pp. 21-30

OPEN UNIVERSITY, 2000, *Waves, tides and shallow-water processes*. 2^a Ed. Open Univesity.

PERKS, C., 2006, "Dealing with stratification within a water supply reservoir". In: *69th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference*, pp. 30-36, Bendigo, set.

PLANAGUA, 2001, *Ambiente das águas no Rio de Janeiro*, v. 10.

RUEDA, F.J. , COWEN, E.A., 2005, "Exchange between a freshwater embayment and a large lake through a long, shallow channel", *Limnology and Oceanography*, v. 50(1), pp. 169–183

SANTA ROSA, L.T., 2003, *Estudo do potencial de remobilização de nutrientes da Lagoa Rodrigo de Freitas - RJ: a influência dos ventos no processo de mistura vertical*, Monografia de Bacharelado, Depto de Oceanografia, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SANTANGELO, J.M., 2005, *Influência da salinidade sobre a comunidade zooplanctônica de uma lagoa costeira*, Tese de M.Sc., Depto de Ecologia/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

SIMAS, J.G, 2007, *estudo da dinâmica de gases dissolvidos em microcamada de uma lagoa hipertrófica urbana*, Monografia de Bacharelado (I), Depto de Oceanografia, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SMITH, N.P., 1994, "Coastal Lagoon Processes". In: KJERFVE, B. (ed.), *Water, salt, and heat balances of coastal lagoons*, v. 60, *Elsevier Oceanography Series*, Elsevier, pp. 69-101.

SPAULDING, M.L., 1994, "Coastal Lagoon Processes". In: KJERFVE, B. (ed.), *Modeling of circulation and dispersion in costal lagoons*, v. 60, *Elsevier Oceanography Series*, Elsevier, pp. 103-131.

STEVENS, C., *et al.*, 1996, "Wind forcing of internal waves in a long narrow stratified lake", ***Dynamics of Atmospheres and Oceans***, v.24, pp. 41-50.

TALKE, S.A., SWART, H.E., DE JONGE, V.N., 2009, "An idealized model and systematic process study of oxygen depletion in highly turbid estuaries", ***Estuaries and Coasts***, v.32, pp. 602-620

TORRÉTON *et al.*, 2007, "Correspondence between the distribution of hydrodynamic time parameters and the distribution of biological and chemical variables in a semi-enclosed coral reef lagoon", ***Estuarine Coastal and Shelf Science***, v.74, pp. 766-776.

VILIBIC, I., ORLIC, M., 1999, "Surface seiches and internal Kelvin waves observed off Zadar (East Adriatic)", ***Estuarine, Coastal and Shelf Science***, v.48, pp. 125-136

ANEXOS

ANEXO 1: Listagem das datas e horas da coleta dos dados pelo INEA / GEQUAM

O Quadro a seguir apresenta a data e hora das medições de temperatura, salinidade e O.D. realizadas pelo INEA/GEQUAM, disponibilizados para a realização deste trabalho. Em algumas datas, nem todos os parâmetros foram medidos, porém este fato constitui-se exceção no universo amostral.

Nº da Medição	2005	2006	2007	2008
1	3/1/05 12:00	3/1/06 11:00	5/1/07 12:00	2/1/08 11:15
2	7/1/05 12:00	6/1/06 10:10	8/1/07 11:25	3/1/08 11:15
3	10/1/05 12:10	9/1/06 11:10	15/1/07 13:55	4/1/08 11:15
4	14/1/05 11:30	13/1/06 10:30	19/1/07 12:00	7/1/08 11:15
5	17/1/05 12:55	16/1/06 9:40	22/1/07 12:51	11/1/08 11:10
6	19/1/05 12:10	19/1/06 11:00	26/1/07 12:00	14/1/08 11:45
7	22/1/05 10:30	23/1/06 11:00	30/1/07 11:30	16/1/08 11:50
8	23/1/05 12:30	27/1/06 10:50	2/2/07 11:15	17/1/08 11:50
9	24/1/05 11:20	30/1/06 11:05	5/2/07 12:00	18/1/08 10:50
10	24/1/05 13:40	3/2/06 10:55	9/2/07 11:35	22/1/08 10:35
11	25/1/05 11:20	6/2/06 11:20	14/2/07 12:10	25/1/08 12:10
12	31/1/05 11:30	10/2/06 10:35	16/2/07 11:30	28/1/08 11:25
13	2/2/05 11:37	13/2/06 11:00	22/2/07 11:10	1/2/08 11:50
14	3/2/05 11:30	17/2/06 11:40	23/2/07 11:15	7/2/08 11:35
15	10/2/05 13:20	20/2/06 10:30	26/2/07 11:15	8/2/08 11:50
16	11/2/05 10:30	24/2/06 10:25	2/3/07 11:00	11/2/08 12:15
17	14/2/05 11:45	3/3/06 10:50	5/3/07 12:25	15/2/08 11:45
18	15/2/05 11:55	6/3/06 12:00	9/3/07 11:30	18/2/08 12:15
19	18/2/05 10:25	10/3/06 10:55	12/3/07 11:30	22/2/08 11:55
20	21/2/05 12:15	13/3/06 11:10	16/3/07 11:50	25/2/08 12:00
21	22/2/05 11:40	17/3/06 10:20	19/3/07 11:40	29/2/08 12:10
22	25/2/05 11:45	20/3/06 10:50	23/3/07 11:40	3/3/08 12:20
23	28/2/05 12:15	24/3/06 11:20	26/3/07 11:25	7/3/08 12:10
24	2/3/05 12:15	27/3/06 10:45	30/3/07 11:40	10/3/08 12:35
25	4/3/05 12:20	31/3/06 11:10	2/4/07 11:35	17/3/08 12:35
26	7/3/05 11:25	3/4/06 10:30	4/4/07 11:20	19/3/08 12:05
27	11/3/05 11:45	7/4/06 10:55	10/4/07 11:45	24/3/08 12:35
28	14/3/05 11:40	10/4/06 10:10	13/4/07 11:15	31/3/08 12:05
29	18/3/05 10:10	12/4/06 11:10	16/4/07 11:30	4/4/08 11:30
30	21/3/05 10:30	17/4/06 10:40	20/4/07 12:00	7/4/08 11:20
31	23/3/05 12:00	24/4/06 11:20	24/4/07 11:35	11/4/08 12:00
32	28/3/05 11:10	28/4/06 10:55	27/4/07 11:35	14/4/08 13:00
33	1/4/05 11:05	12/5/06 11:35	3/5/07 11:15	18/4/08 11:35
34	5/4/05 11:45	15/5/06 10:55	4/5/07 11:20	24/4/08 12:25
35	8/4/05 11:10	19/5/06 10:45	7/5/07 11:15	25/4/08 11:40
36	11/4/05 11:25	26/5/06 11:20	11/5/07 11:10	28/4/08 11:50
37	15/4/05 11:10	29/5/06 11:40	14/5/07 11:15	5/5/08 11:45
38	18/4/05 10:40	2/6/06 11:40	18/5/07 12:00	9/5/08 11:35
39	20/4/05 10:40	5/6/06 11:10	21/5/07 11:10	12/5/08 11:40
40	25/4/05 11:20	9/6/06 10:30	25/5/07 10:30	16/5/08 11:40
41	29/4/05 10:40	14/6/06 10:40	28/5/07 11:30	19/5/08 12:15
42	2/5/05 11:20	19/6/06 11:00	1/6/07 11:45	21/5/08 11:40
43	6/5/05 11:05	23/6/06 10:35	4/6/07 11:15	26/5/08 12:00
44	9/5/05 12:35	30/6/06 10:40	6/6/07 11:15	30/5/08 11:35
45	12/5/05 10:10	3/7/06 11:15	11/6/07 11:15	2/6/08 12:05
46	12/5/05 14:00	7/7/06 11:10	15/6/07 11:10	6/6/08 11:55

Nº da Medição	2005	2006	2007	2008
47	13/5/05 10:45	10/7/06 10:30	18/6/07 12:00	9/6/08 12:10
48	13/5/05 14:25	14/7/06 10:50	20/6/07 10:55	13/6/08 11:20
49	16/5/05 12:30	17/7/06 11:30	26/6/07 11:35	16/6/08 12:10
50	20/5/05 11:50	21/7/06 11:20	8/7/07 11:40	20/6/08 12:20
51	23/5/05 12:10	24/7/06 10:20	12/7/07 12:05	23/6/08 12:10
52	30/5/05 11:15	28/7/06 0:00	23/7/07 12:35	27/6/08 11:45
53	3/6/05 11:15	1/8/06 10:25	21/7/07 11:35	30/6/08 12:25
54	6/6/05 13:25	4/8/06 10:45	27/7/07 11:55	7/7/08 12:25
55	10/6/05 11:50	7/8/06 11:05	3/8/07 11:35	11/7/08 11:55
56	13/6/05 11:10	11/8/06 10:50	6/8/07 12:55	14/7/08 11:45
57	17/6/05 12:10	14/8/06 10:20	10/8/07 11:25	18/7/08 12:05
58	20/6/05 11:15	18/8/06 11:10	13/8/07 11:31	21/7/08 11:55
59	24/6/05 13:15	21/8/06 10:30	17/8/07 11:30	25/7/08 11:55
60	27/6/05 11:50	25/8/06 10:10	20/8/07 12:20	28/7/08 12:50
61	1/7/05 11:20	28/8/06 10:10	24/8/07 11:15	1/8/08 13:30
62	4/7/05 11:05	5/9/06 11:15	27/8/07 11:15	4/8/08 11:30
63	8/7/05 11:15	6/9/06 10:55	31/8/07 11:50	8/8/08 11:40
64	11/7/05 11:25	11/9/06 10:55	3/9/07 11:35	11/8/08 11:55
65	15/7/05 11:20	15/9/06 11:15	6/9/07 11:20	15/8/08 11:45
66	18/7/05 10:20	19/9/06 12:00	10/9/07 11:30	18/8/08 12:00
67	22/7/05 11:45	22/9/06 11:05	14/9/07 11:50	22/8/08 11:55
68	26/7/05 11:35	25/9/06 10:30	17/9/07 11:15	25/8/08 11:45
69	29/7/05 11:40	2/10/06 10:15	21/9/07 11:15	28/8/08 12:00
70	1/8/05 11:20	6/10/06 10:55	24/9/07 11:15	1/9/08 12:00
71	5/8/05 11:20	9/10/06 10:00	28/9/07 11:30	5/9/08 11:50
72	8/8/05 11:15	11/10/06 10:30	1/10/07 11:10	8/9/08 11:40
73	12/8/05 10:20	16/10/06 10:50	3/10/07 11:30	12/9/08 11:40
74	15/8/05 13:05	20/10/06 10:55	11/10/07 11:35	18/9/08 11:40
75	20/8/05 11:40	24/10/06 12:00	15/10/07 11:06	19/8/08 11:20
76	22/8/05 11:05	27/10/06 11:10	19/10/07 11:05	22/9/08 11:50
77	26/8/05 11:30	30/10/06 11:25	22/10/07 11:40	22/9/08 14:20
78	29/8/05 12:55	1/11/06 11:00	29/10/07 11:30	3/10/08 11:25
79	2/9/05 11:40	6/11/06 11:15	26/10/07 11:05	6/10/08 14:10
80	6/9/05 11:40	13/11/06 12:00	30/10/07 14:12	9/10/08 11:17
81	9/9/05 11:35	17/11/06 11:05	31/10/07 11:35	10/10/08 11:00
82	12/9/05 11:40	22/11/06 11:00	1/11/07 12:10	13/10/08 11:10
83	16/9/05 12:55	27/11/06 10:40	7/11/07 11:15	17/10/08 11:00
84	19/9/05 11:10	4/12/06 12:10	8/11/07 11:45	21/10/08 11:10
85	22/9/05 12:00	11/12/06 11:35	9/11/07 12:00	21/10/08 12:20
86	22/9/05 15:40	15/12/06 11:25	14/11/07 11:25	21/10/08 15:05
87	23/9/05 15:30	18/12/06 11:20	21/11/07 13:10	24/10/08 11:25
88	30/9/05 11:30	22/12/06 11:25	23/11/07 11:45	28/10/08 0:00
89	3/10/05 10:25	26/12/06 11:10	26/11/07 11:45	31/10/08 10:50
90	7/10/05 10:55	29/12/06 10:55	30/11/07 11:30	3/11/08 11:05
91	10/10/05 10:55	---	3/12/07 11:27	7/11/08 11:05
92	14/10/05 11:15	---	7/12/07 11:40	10/11/08 12:00
93	17/10/05 10:25	---	10/12/07 11:25	14/11/08 11:15
94	21/10/05 11:25	---	17/12/07 11:45	17/11/08 11:20
95	24/10/05 11:40	---	21/12/07 11:35	18/11/08 11:30
96	25/10/05 10:20	---	26/12/07 11:25	24/11/08 11:15
97	28/10/05 13:00	---	28/12/07 11:20	28/11/08 12:10
98	4/11/05 10:55	---	---	1/12/08 11:05
99	7/11/05 11:25	---	---	5/12/08 11:15
100	16/11/05 11:10	---	---	8/12/08 11:15
101	18/11/05 10:45	---	---	12/12/08 11:38
102	21/11/05 11:20	---	---	19/12/08 10:55
103	25/11/05 10:15	---	---	22/12/08 10:30
104	28/11/05 10:50	---	---	24/12/08 10:45
105	5/12/05 10:50	---	---	29/12/08 11:05
106	9/12/05 10:30	---	---	31/12/08 10:25

Nº da Medição	2005	2006	2007	2008
107	13/12/05 11:15	---	---	---
108	16/12/05 10:10	---	---	---
109	19/12/05 11:05	---	---	---
110	22/12/05 10:35	---	---	---
111	26/12/05 11:10	---	---	---
112	29/12/05 10:45	---	---	---

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)