

## **II.5.1- MEIO FÍSICO**

O diagnóstico do meio físico baseia-se na análise de dados meteorológicos, geológicos e oceanográficos da região adjacente ao Campo de Piranema, atendendo às exigências do Termo de Referência (TR) N°. 012/05, emitido pelo Escritório de Licenciamento de Petróleo e Nuclear, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (ELPN/IBAMA). Os dados contidos nesta seção foram obtidos de estudos recentes realizados pela PETROBRAS (2002), e quando possível, atualizados através de bibliografias disponíveis sobre os temas da seção.

### **II.5.1.1- Meteorologia**

A costa nordeste brasileira está sob influência direta dos ventos alísios que têm sua direção predominante variando, no hemisfério sul, entre E e SE, conforme a variação do posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Essa variação tem também implicação direta sobre as demais variáveis meteorológicas, gerando ciclos anuais bem marcados (Uvo e Nobre, 1989).

Para a caracterização meteorológica da região do Campo de Piranema, foram utilizadas as reanálises do NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) referentes à 21 anos no período de 1982 a 2002, para a latitude de 11° S e longitude de 36° W; e os dados obtidos a partir das normais climatológicas para uma série de 60 anos (1931 a 1990), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a Estação Meteorológica de Aracajú, situada nas coordenadas 10°55'00" S e 037°05'00" W.

Foram ainda analisados os dados de frequência de passagem de sistemas frontais da Climanalise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados primários utilizados pelo NCEP para produzir as reanálises são de diferentes origens:

- Dados globais de radiossondas.
- Dados da superfície do mar obtidos através do projeto COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) no período de 1983 a 1996 (13 anos), originados de diversas fontes, dentre elas, observações de navios, bóias fixas, bóias móveis e estações oceânicas próximas à superfície.
- Dados aéreos, originados de observações por aeronaves em todo o globo, geralmente associados a projetos como GARP (Global Atmospheric Research Program) e GATE (Global Atlantic Tropical Experiment), por exemplo.
- Dados de Satélite, que começaram a ser obtidos em 1967, através de diversos programas. Atualmente, o NCEP/NCAR utiliza dados fornecidos pelo projeto Operational Vertical Sounder System (TOVS), com variáveis em três dimensões, cuja resolução espacial média é de 2,5 graus.
- Dados de vento em superfície, obtidos pelo sensor espacial Microwave/Imager (SSM/I) a partir de 1987, submetidos ao tratamento feito pela rede neural de Kransnopolsky *et al.* (1995) *apud* Kalnay *et al.* (1996).
- Dados de cobertura de nuvem obtidos por estimativas dos dados de Satélites Meteorológicos Geoestacionários (SMG). Esses dados estão disponíveis desde 1978.

Todos os dados utilizados nas reanálises passaram por um rigoroso controle de qualidade e recebem um tratamento diferenciado de acordo com a forma de

obtenção. Utilizando-se técnicas de interpolação espaço-temporal, que levam em consideração não somente a estatística como também a dinâmica dos fenômenos meteorológicos (análise objetiva), esses dados são dispostos em matrizes com resolução espacial de 2,5 graus, cobrindo todo o globo. As reanálises são gratuitamente disponibilizadas na Internet para a comunidade científica.

Os dados do INMET foram obtidos das Normais Climatológicas, que fornecem médias mensais de parâmetros meteorológicos de um determinado local pelo período de 30 anos, caracterizando a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Neste relatório são apresentadas as normais climatológicas obtidas da estação de Aracajú para os períodos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, ambas englobando 30 anos.

Nos itens a seguir são apresentadas as análises dos parâmetros meteorológicos de maior interesse para essa caracterização, a saber:

- Temperatura da superfície;
- Precipitação;
- Evaporação;
- Umidade;
- Regime de ventos;
- Insolação.

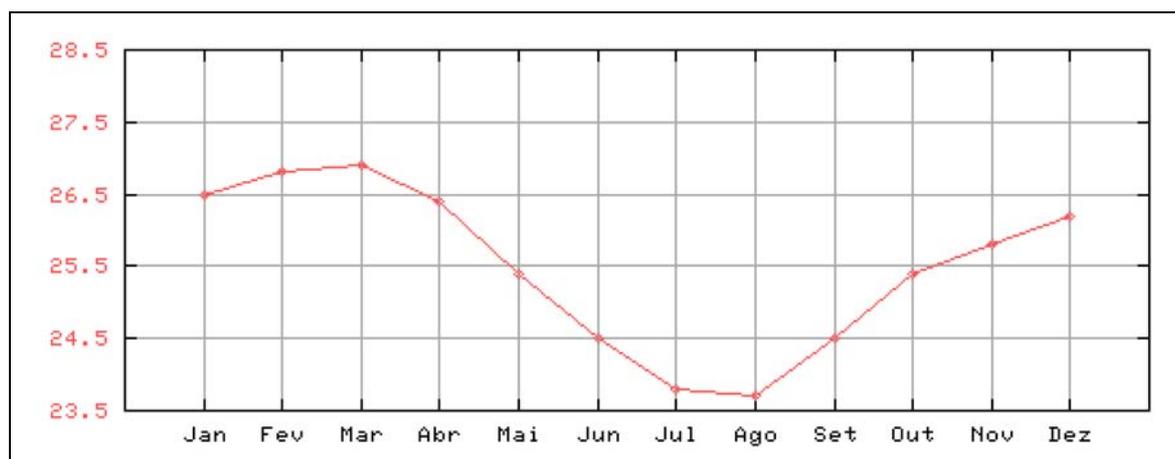
### Temperatura do Ar

A seguir serão apresentados os valores de temperatura média, máxima e mínima mensal obtidos das normais climatológicas da estação de Aracajú, considerando os períodos de 1931 a 1960 (1º período) e 1961 a 1990 (2º período).

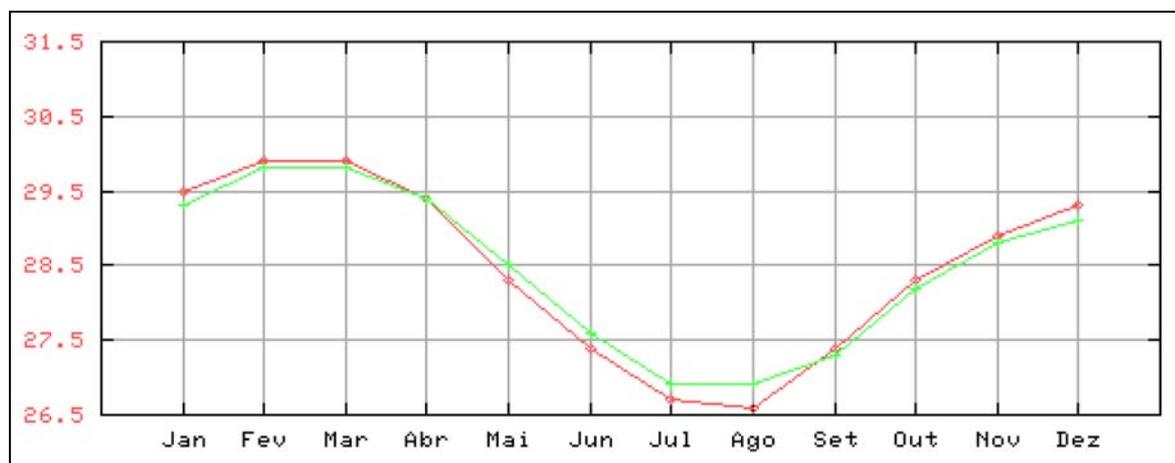
Para temperatura média, foram utilizados somente os valores referentes ao primeiro período (1931-1960), uma vez que existe uma discrepância, já

comunicada ao INMET, nos valores atribuídos ao segundo período. Tal discrepância, porém, não está refletida nos gráficos de temperatura máxima.

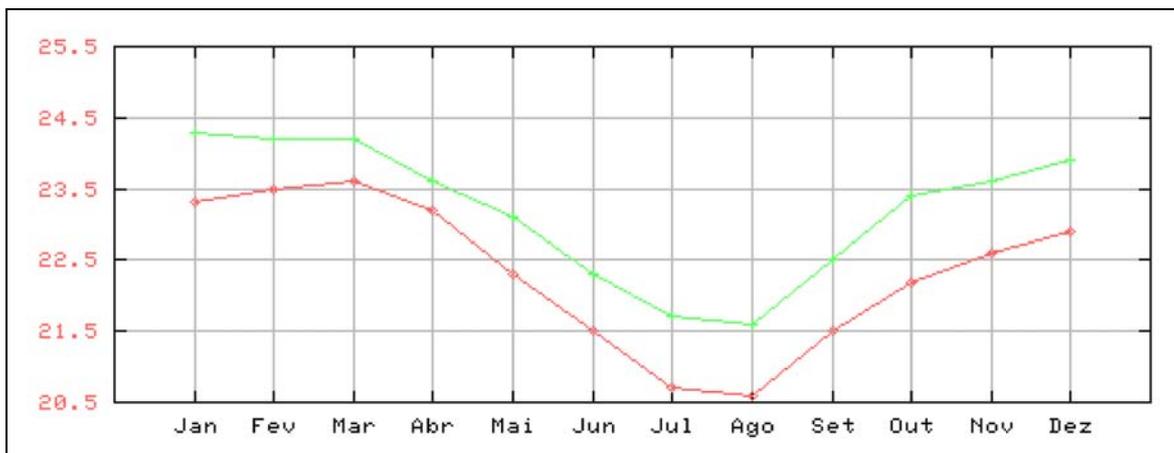
Nas Figuras II.5.1.1-1 e II.5.1.1-2 As curvas vermelhas representam os valores das normais calculadas no período de 1931 a 1960, enquanto as verdes ilustram os resultados das normais obtidas para o período de 1961 a 1990.



**Figura II.5.1.1- 1** - Médias mensais de temperatura Média (°C) obtidas das normais climatológicas para o período entre 1931 A 1960. (Petrobras, 2002).Fonte: INMET, acessado em março de 2005.



**Figura II.5.1.1- 2**- Médias mensais de temperatura máxima (°C) obtidas das normais climatológicas para o período entre 1931 a 1960 (curva vermelha) e entre 1961 a 1990 (curva verde). (Petrobras, 2002). Fonte: INMET, acessado em março de 2005.

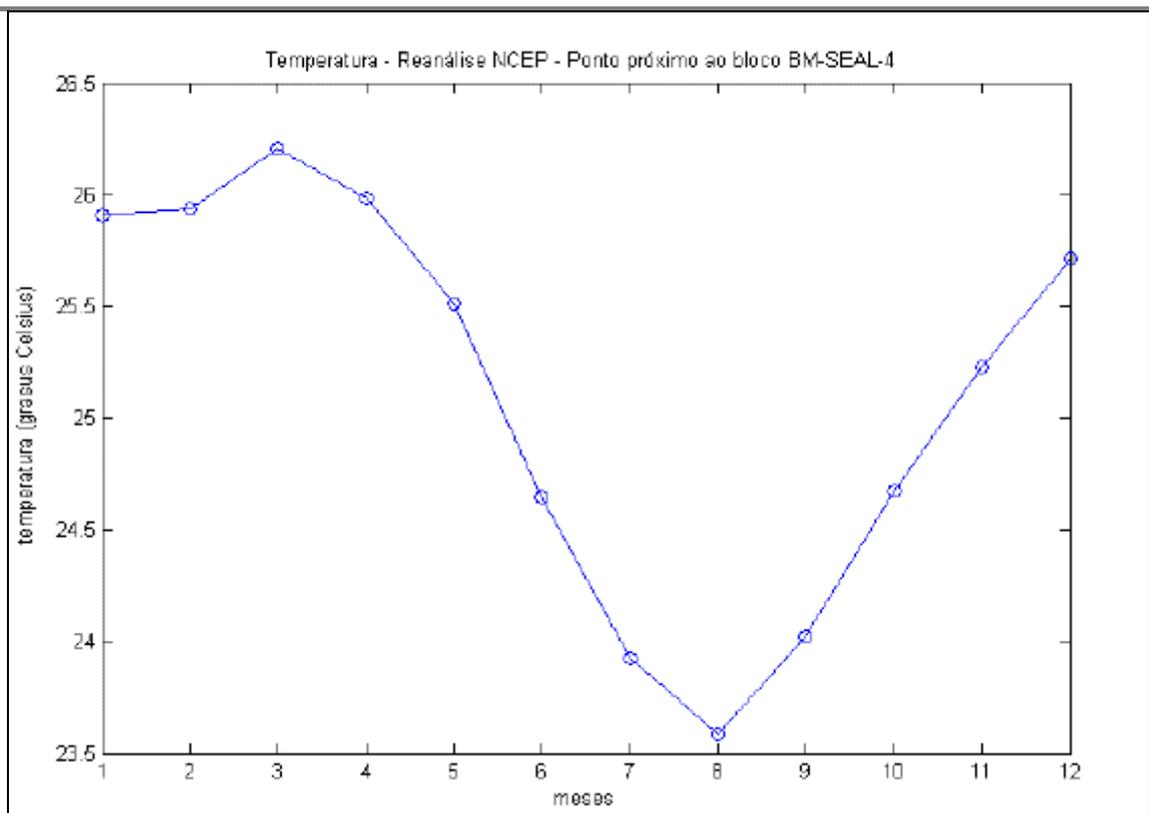


**Figura II.5.1.1- 3** - Médias mensais de temperatura mínima (°C) obtidas das normais climatológicas para o período entre 1931 a 1960 (curva vermelha) e entre 1961 a 1990 (curva verde). (Petrobras, 2002). Fonte: INMET, acessado em março de 2005.

Pode-se observar que não existem grandes alterações entre os dois períodos, com exceção da média das mínimas, onde os valores obtidos para o período de 1961 a 1990 são cerca de 1°C mais elevados.

Os dados de 1931 a 1960 mostram que os maiores valores de temperatura média são observados no mês de março e os menores, no mês de agosto. Para a temperatura máxima, o maior valor, em ambos os períodos, foi registrado nos meses de fevereiro e março. Analisando a temperatura mínima, são observados menores valores em agosto, também para os dois períodos.

Na **Figura II.5.1.1- 4** são apresentados os valores médios mensais de temperatura, obtidos dos dados das reanálises para o período de 1982 a 1994, para a região do Campo de Piranema.



**Figura II.5.1.1- 4** – Médias mensais de temperatura (°c) obtidas reanálises do NCEP. (PETROBRAS, 2002). FONTE: NCEP, 1996.

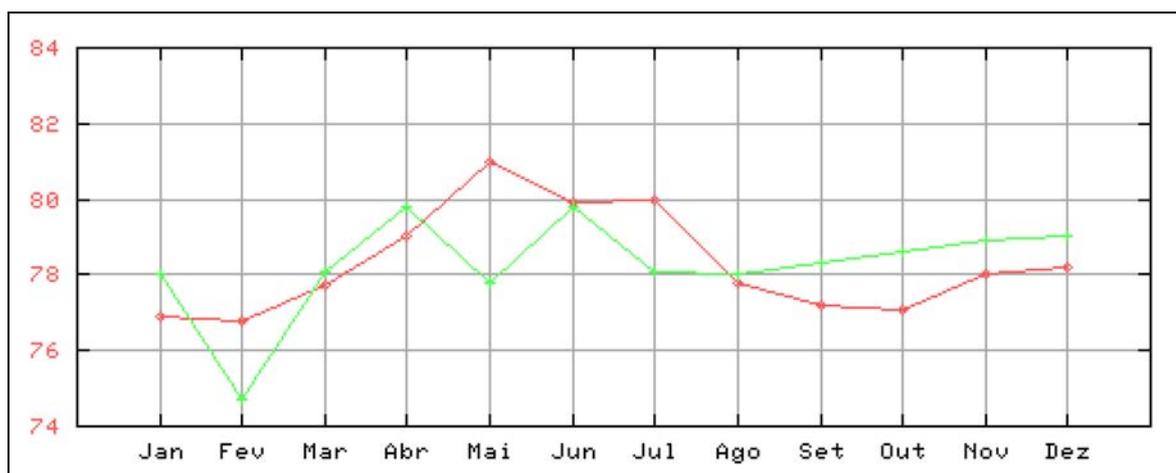
Pode-se observar que o comportamento da temperatura no ponto próximo ao bloco (curva azul) é bastante semelhante ao da **Figura II.5.1.1-1**, com valores máximos e mínimos compatíveis.

### Umidade Relativa

Na **Figura II.5.1.1-5** são apresentados os valores de umidade relativa das normais climatológicas para os períodos de 1931 a 1960 (curva vermelha) e de 1961 a 1990 (curva verde).

Observa-se que as duas curvas são bastante semelhantes e as diferenças entre ambas não ultrapassa 4%. Os pontos mais notáveis são as variações verificadas nos meses de fevereiro e maio, onde o gráfico dos valores mais recentes indicam uma acentuada queda, não acompanhada pela curva relativa aos dados mais antigos.

Nota-se uma tendência de aumento da umidade no outono e inverno do hemisfério sul e conseqüente diminuição nas outras estações, embora a variação ao longo do ano não seja maior que 8 % de umidade para os dados mais recentes (mínima em fevereiro e máxima em abril).



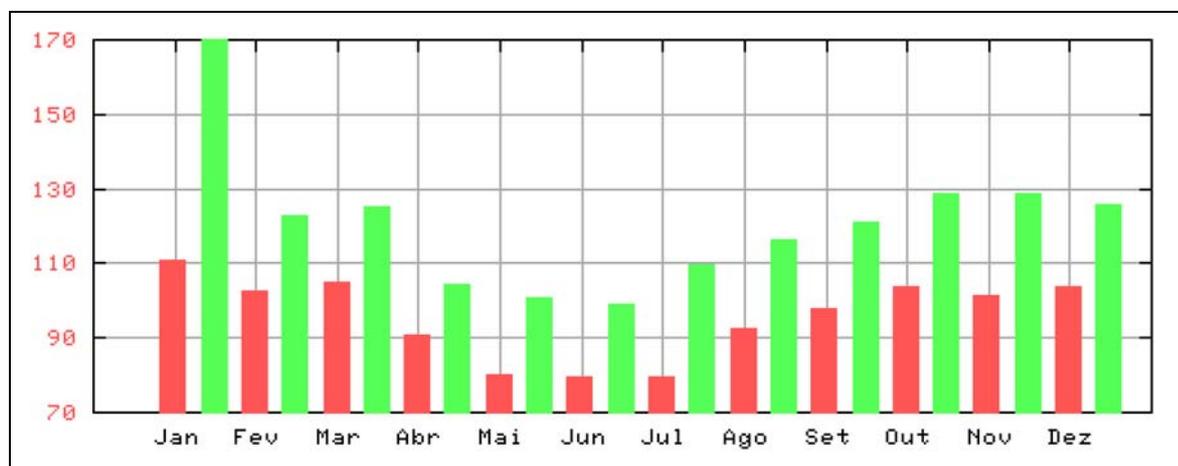
**Figura II.5.1.1- 5** - Médias mensais de umidade relativa (%) obtidas das normais climatológicas para os períodos entre 1931 a 1960 (curva vermelha) e entre 1961 a 1990 (curva verde). (Petrobras, 2002). Fonte: INMET, acessado em abril de 2004.

### Evaporação

Os valores de evaporação obtidos das normais climatológicas na estação de Aracajú são apresentados na **Figura II.5.1.1-6**, onde as barras vermelhas representam o período de 1931 a 1960 e as verdes de 1961 a 1990.

Os maiores valores são observados no período mais recente, com a diferença máxima entre os dados de evaporação do 1º período (1931 a 1960) e do 2º período (1961 a 1990) chegando a 60 mm em janeiro, mês onde também são encontrados os maiores valores de evaporação para os dois períodos. Os valores mínimos, aproximadamente correspondentes ao máximo da estação chuvosa na região, são encontrados nos meses de maio, junho e julho, isto é esperado em função da elevada umidade do ambiente na época do inverno reduzindo a evaporação.

É notável a diferença entre as duas normais, sendo os valores relacionados aos anos mais recentes bem maiores que os anteriores.

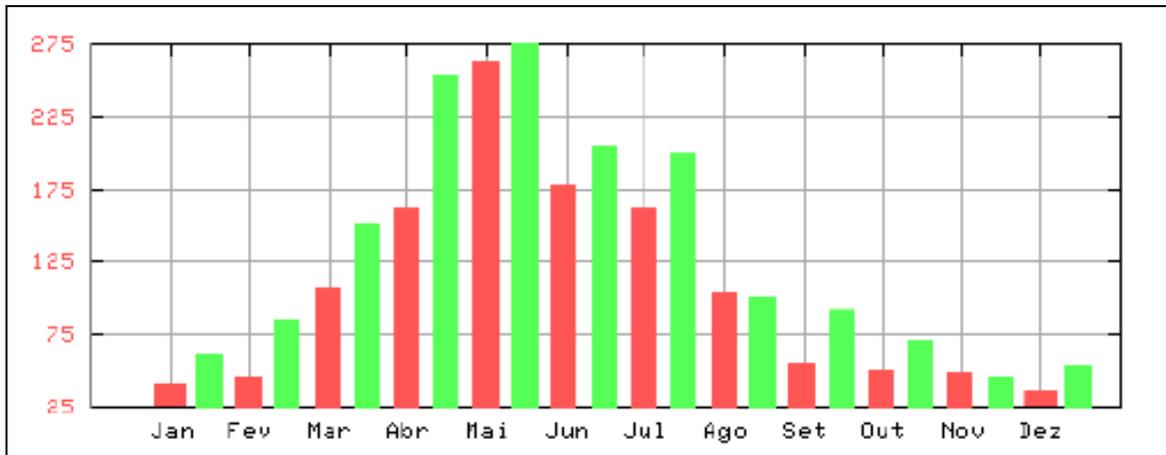


**Figura II.5.1.1- 6** - Médias mensais de evaporação (mm) obtidas das normais climatológicas para os períodos entre 1931 a 1960 (barras vermelhas) e entre 1961 a 1990 (barras verdes). (Petrobras, 2002). Fonte: INMET, acessado em abril de 2004.

### Precipitação

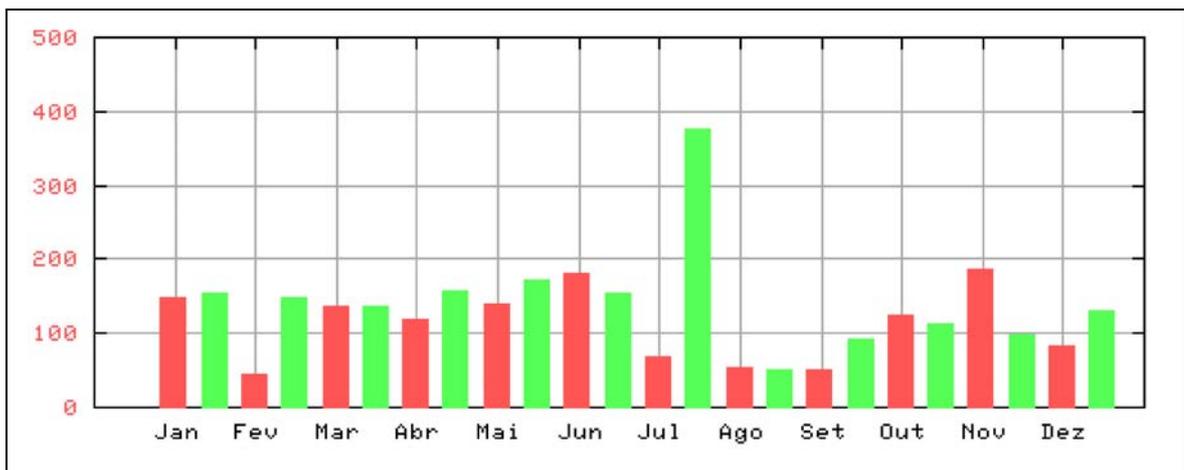
A precipitação é um dos elementos climáticos mais importantes a serem analisados na região tropical, pois reflete as características e comportamento de outros parâmetros, tais como temperatura, umidade relativa e regime de ventos. No período chuvoso é esperada uma diminuição da temperatura, assim como um aumento na umidade relativa, sendo esta informação apresentada nas **Figuras II.5.1.1-2, II.5.1.1-3 e II.5.1.1-5**. Em relação ao regime dos ventos nos meses com maior precipitação é observado um aumento na velocidade dos ventos, assim como uma mudança na direção dos ventos predominando nesta época ventos de SE.

Na **Figura II.5.1.1-7** podem ser observados os valores máximos de precipitação entre os meses de abril e julho e mínimos entre dezembro e fevereiro. Aqui também se observou que o período mais recente (1961 a 1990) tem índices maiores que os anteriores em, praticamente, todos os meses.



**Figura II.5.1.1-7** - Médias mensais de precipitação (mm) obtidas das normais climatológicas para os períodos entre 1931 a 1960 (barras vermelhas) e entre 1961 a 1990 (barras verdes). (Petrobras, 2002).  
Fonte: INMET, acessado em abril de 2004.

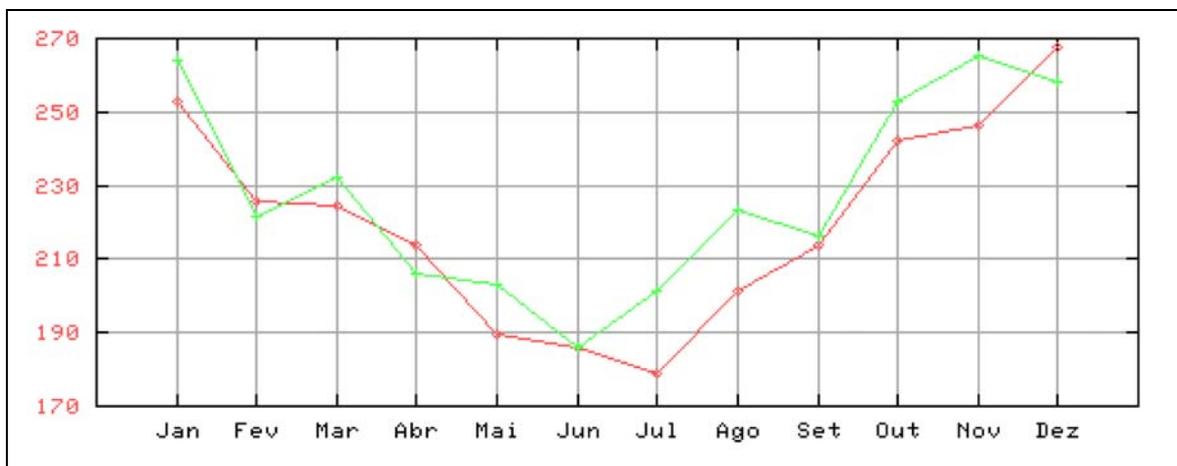
Na **Figura II.5.1.1- 8** são apresentados os valores de precipitação máxima em 24 horas. Observa-se pouca diferença entre os valores máximos desse parâmetro nos dois períodos analisados, exceto para o mês de julho. Entre 1931 e 1960 o máximo ocorreu em novembro, enquanto que para o período mais recente, o máximo foi registrado no mês de julho.



**Figura II.5.1.1- 8** - Médias mensais de precipitação máxima em 24 horas (mm) obtidas das normais climatológicas para os períodos entre 1931 a 1960 (barras vermelhas) e entre 1961 a 1990 (barras verdes). (Petrobras, 2002). Fonte: INMET, acessado em abril de 2004.

### Insolação

Na **Figura II.5.1.1- 9** são apresentados os valores de insolação para os períodos analisados. Pode-se observar que as curvas têm a mesma tendência, entretanto, os valores para o período de 1961 a 1990 são maiores. Os maiores valores ocorrem nos meses de novembro, dezembro e janeiro, para ambos os períodos. Os menores ocorrem nos meses de maio, junho e julho.



**Figura II.5.1.1-9** - Médias mensais de insolação (horas) obtidas das normais climatológicas para os períodos entre 1931 a 1960 (barras vermelhas) e entre 1961 a 1990 (barras verdes). (Petrobras, 2002). Fonte: INMET, acessado em abril de 2004.

### Direção e Velocidade dos Ventos

A seguir serão apresentados os valores de intensidade e direção dos ventos na região do Campo de Piranema. Para tal propósito foram utilizados os dados das médias mensais das reanálises do NCEP, para o período de 1982 a 2002.

Na **Tabela II.5.1.1-1** são apresentados os valores das médias mensais do vento, a 10 metros da superfície, para a região do Campo de Piranema.

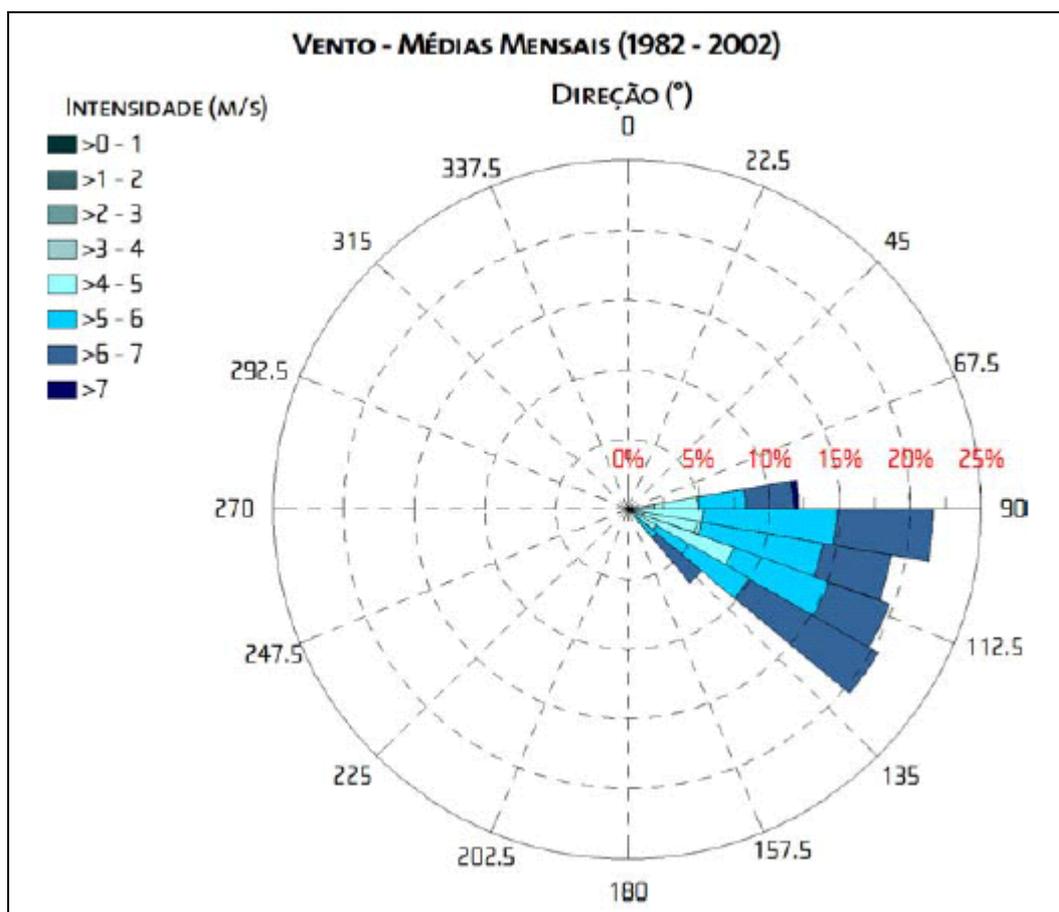
**Tabela II.5.1.1- 1 - Intensidade e direção dos ventos na região do Campo de Piranema.**

| MÊS       | U     | V    | DIREÇÃO (°C) | INTENSIDADE (m/s) |
|-----------|-------|------|--------------|-------------------|
| JANEIRO   | -5,35 | 0,42 | 94,43 (E)    | 5,37              |
| FEVEREIRO | -4,67 | 0,67 | 98,20 (E)    | 4,72              |
| MARÇO     | -4,26 | 0,52 | 96,93 (E)    | 4,30              |
| ABRIL     | -4,09 | 1,63 | 111,66 (ESE) | 4,41              |
| MAIO      | -4,21 | 2,31 | 118,71 (ESE) | 4,81              |
| JUNHO     | -4,65 | 3,24 | 124,84 (SE)  | 5,66              |
| JULHO     | -4,81 | 3,58 | 126,69 (SE)  | 5,99              |
| AGOSTO    | -5,04 | 3,47 | 124,49 (SE)  | 6,12              |
| SETEMBRO  | -5,44 | 2,50 | 114,69 (ESE) | 5,98              |
| OUTUBRO   | -5,89 | 1,36 | 102,99 (ESE) | 6,05              |
| NOVEMBRO  | -6,01 | 0,6  | 95,92 (E)    | 6,04              |
| DEZEMBRO  | -5,91 | 0,26 | 92,55 (E)    | 5,92              |

Nota: U e V são as componentes N-S e E-W do vento, respectivamente.

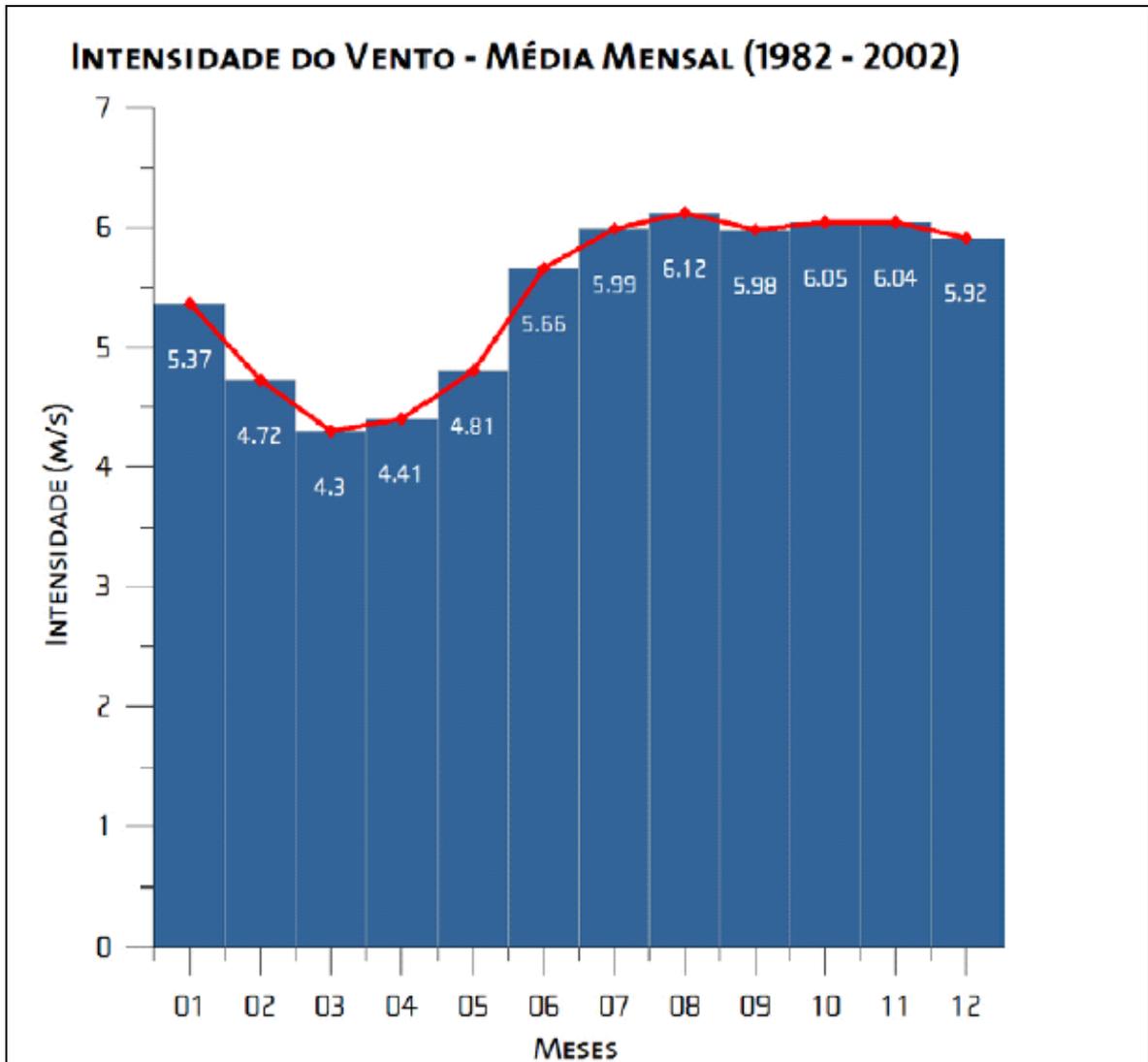
Pode ser observado que, ao longo do ano, a direção dos ventos oscila entre ESE e E. Tal variação está ligada à migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que tende a estar mais ao sul durante o inverno do hemisfério sul. Com isso, os ventos alísios, dominantes na região, têm direção predominante SE. A intensidade máxima dos ventos na região está associada a esses ventos de sudeste, atingindo 6,12 m/s no mês de agosto de modo que, quando a direção tende para leste, a intensidade do vento diminui. Nota-se, no entanto, que a variação na intensidade é pequena ao longo do ano.

A **Figura II.5.1.1-10** ilustra graficamente as variações de direção e intensidade médias ao longo dos 22 anos analisados.



**Figura II.5.1.1-10** - Médias mensais de direção e intensidade de vento a 10 metros. (Petrobras, 2002). Fonte: NCEP.

Na **Figura II.5.1.1-11** são apresentadas às médias mensais da intensidade do vento na região do Campo de Piranema.



**Figura II.5.1.1- 11** - Médias mensais de velocidade do vento a 10 metros. (Petrobras, 2002). Fonte: NCEP.

É possível verificar ciclos anuais bem marcados nas duas variáveis. A direção predominante no período de abril a outubro é de ESE e SE, enquanto que no resto do ano predomina o vento E. A intensidade máxima de 6,12 m/s ocorre no mês de agosto, enquanto a mínima, de 4,3 m/s ocorre em março.

### Sistemas Frontais

Embora a dinâmica atmosférica da região nordeste seja dominada pela ação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ocorre também a influência da passagem de sistemas frontais, gerados em altas latitudes e que esporadicamente atingem o litoral de Aracajú.

Na **Tabela II.5.1.1-2**, é apresentada a freqüência de ocorrência de sistemas frontais no litoral de Aracajú para os anos de 2000 a 2003, obtidos do CPTEC.

**Tabela II.5.1.1- 2 - Freqüência de ocorrência de passagem de sistemas frontais no litoral de Aracajú.**

| MÊS/ANO   | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | TOTAL |
|-----------|------|------|------|------|-------|
| JANEIRO   | -    | -    | -    | -    | 0     |
| FEVEREIRO | 1    | -    | -    | -    | 1     |
| MARÇO     | -    | -    | -    | -    | 0     |
| ABRIL     | 1    | -    | -    | -    | 1     |
| MAIO      | 1    | 1    | 1    | -    | 3     |
| JUNHO     | 3    | -    | -    | -    | 3     |
| JULHO     | -    | -    | -    | -    | 0     |
| AGOSTO    | -    | -    | -    | -    | 0     |
| SETEMBRO  | 1    | -    | 1    | -    | 2     |
| OUTUBRO   | -    | -    | -    | 1    | 1     |
| NOVEMBRO  | 1    | -    | -    | 1    | 2     |
| DEZEMBRO  | -    | -    | -    | -    | 0     |
| TOTAL     | 8    | 1    | 2    | 2    | 13    |

Fonte: CPTEC, acessado em maio de 2004.

Pode-se observar que os meses de maio e junho apresentam maior incidência de sistemas frontais. O mês de maio, no entanto, apresenta uma distribuição mais homogênea desses fenômenos ao longo dos anos analisados.

De acordo com os dados analisados, o ano de 2000 apresentou a maior incidência de frentes frias na região de Aracajú, totalizando oito passagens, com destaque para o mês de junho, onde somente nesse ano houve três ocorrências.

### Conclusão

Analisando os dados meteorológicos observam-se duas estações: chuvosa e seca. A estação chuvosa vai de março a agosto, apresentando maiores índices de precipitação e umidade. Na estação seca, que vai de setembro a fevereiro, são observados os maiores índices de temperatura e insolação.

Os ventos presentes na região têm direção predominante de leste, no período de novembro a março, e de sudeste, no período de abril a outubro. As intensidades máximas estão associadas aos ventos de sudeste, atingindo 6,12 m/s.

A análise conjunta dos dados da reanálise e do INMET mostrou boa coerência entre as duas bases de dados (1931 a 1960 e 1961 e 1990) em relação à maioria dos parâmetros avaliados. Por outro lado, foram observados aumentos nos índices de precipitação e temperaturas mínimas no último período.

Os dados de sistemas frontais mostram que os meses de maio e junho são os que apresentam maior incidência desses fenômenos no litoral de Aracajú.

#### **II.5.1.2- Oceanografia**

Os resultados apresentados nesta seção foram obtidos dos estudos realizados pela PETROBRAS, denominado Caracterização Ambiental do Talude de Sergipe na Área de Influência do Campo Piranema no Programa de Cooperação CENPES/UFPE/UEFS/USU/UERJ, realizado no ano de 2002, bem como dos estudos contidos no Relatório de Controle Ambiental (RCA) da atividade de perfuração no Campo de Piranema, realizado pela empresa GAIA LTDA (2004).

## A) Parâmetros Oceanográficos

- **Temperatura, salinidade e densidade da água do mar.**

As informações apresentadas neste item buscam a caracterização hidrológica e dinâmica da área em estudo, e foram coletadas e analisadas visando atender aos objetivos de identificar e caracterizar as massas d'água presentes na região e a estrutura termohalina tridimensional presente na região.

Os trabalhos de campo compreenderam primeiramente levantamentos da estrutura termohalina. Esta foi determinada a partir de registros contínuos de temperatura e salinidade à superfície e realização de perfis de CTD. As medidas foram obtidas com a perfilagem vertical utilizando-se CTD SeaBird Electronics, modelo SBE19 SeaCat Profiler (**Figura II.5.1.2-1**).



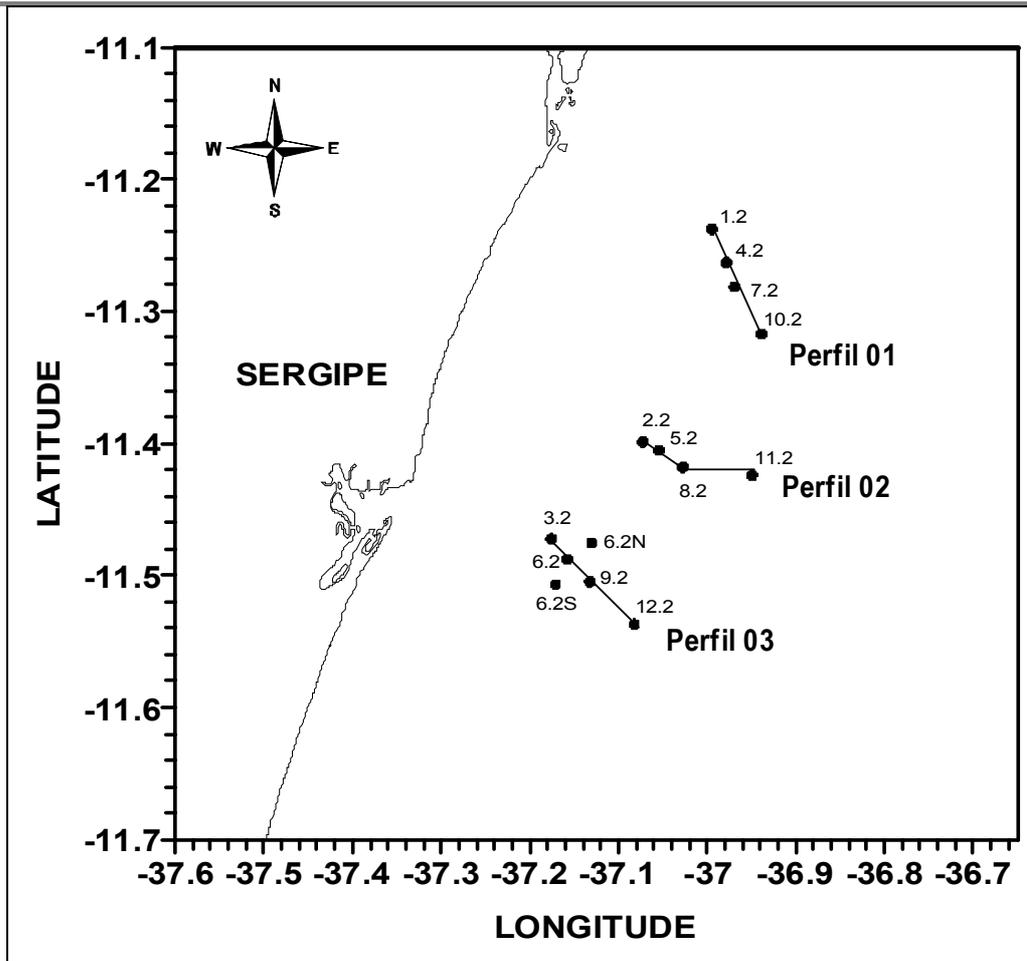
**Figura II.5.1.2-1-** Equipamento análogo ao utilizado para obtenção da estrutura termohalina (SBE 26 seacat, <http://www.seabird.com>).

Os dados obtidos com os CTD foram, inicialmente, transferidos dos *laptops* para micro-computadores, sendo em seguida filtrados, reduzidos, editados (eliminação de dados fora da água, dados faltosos, etc.) e arquivados em formato padrão, em preparação para sua análise e inclusão em banco de dados. O cálculo das propriedades físicas foi realizado utilizando-se os *softwares* dos próprios equipamentos, além de outros disponíveis no mercado ou com rotinas em FORTRAN™, seguindo-se especificações da UNESCO (1983, 1988).

Foram evidenciadas as distribuições espaciais (horizontal e vertical) das variáveis amostradas, com o cálculo de suas médias espaciais e temporais e das variações associadas, bem como de seus valores extremos. Essas informações foram apresentadas em forma de mapas temáticos, gráficos e tabelas, de modo a facilitar sua utilização na interpretação dos dados a serem gerados pelas demais áreas de conhecimento.

Foram definidos três perfis verticais (planos verticais), ao longo do talude e aproximadamente ortogonais as isóbatas, conforme descrito na **Figura II.51.2-2**.

Nas descrições das distribuições espaciais dos diferentes parâmetros analisados na área de interesse foram utilizadas técnicas de interpolação, com base na distribuição discreta dos valores obtidos em campo. Primeiramente, os dados do plano de monitoramento passaram por um pré-tratamento estatístico. Foram calculados a média e o desvio padrão para cada um dos conjuntos de parâmetros, nas diferentes profundidades e estações. Objetivando a retirada de dados que pudessem induzir erros nos valores médios, estes valores espúrios foram eliminados quando situados fora do intervalo  $\bar{\theta} \pm 2\sigma_{\theta}$ , onde  $\bar{\theta}$  é a média do grupo de dados analisado  $\theta$ , e  $\sigma_{\theta}$  o seu desvio padrão.

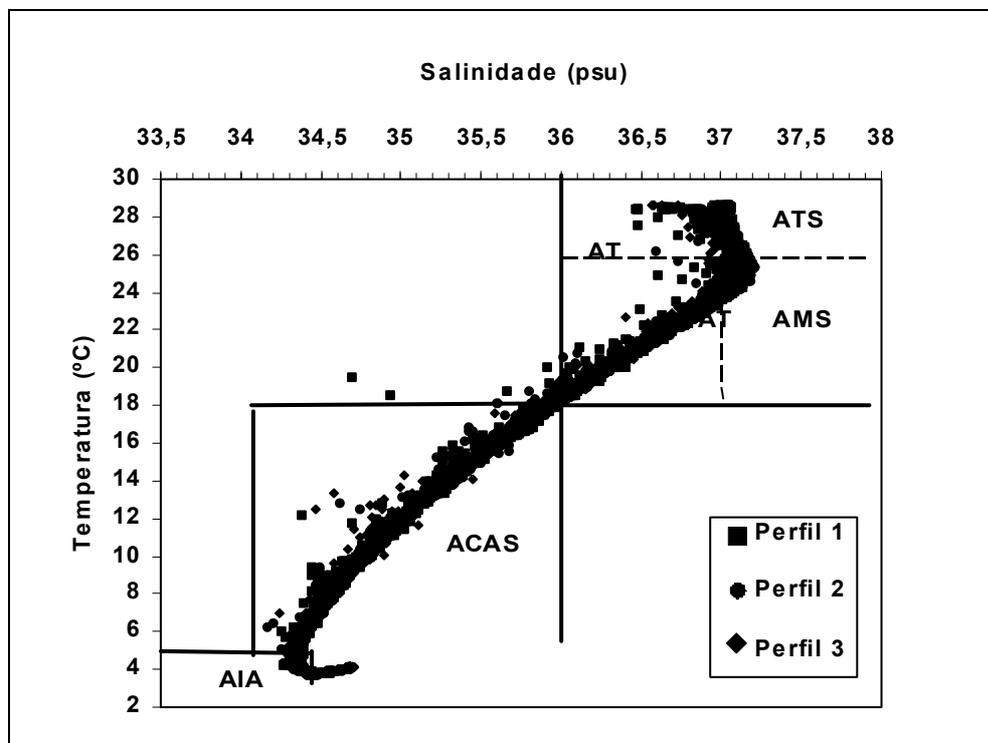


**Figura II.5.1.2- 2** Localização dos perfis (planos verticais ou transects) com as respectivas estações oceanográficas.

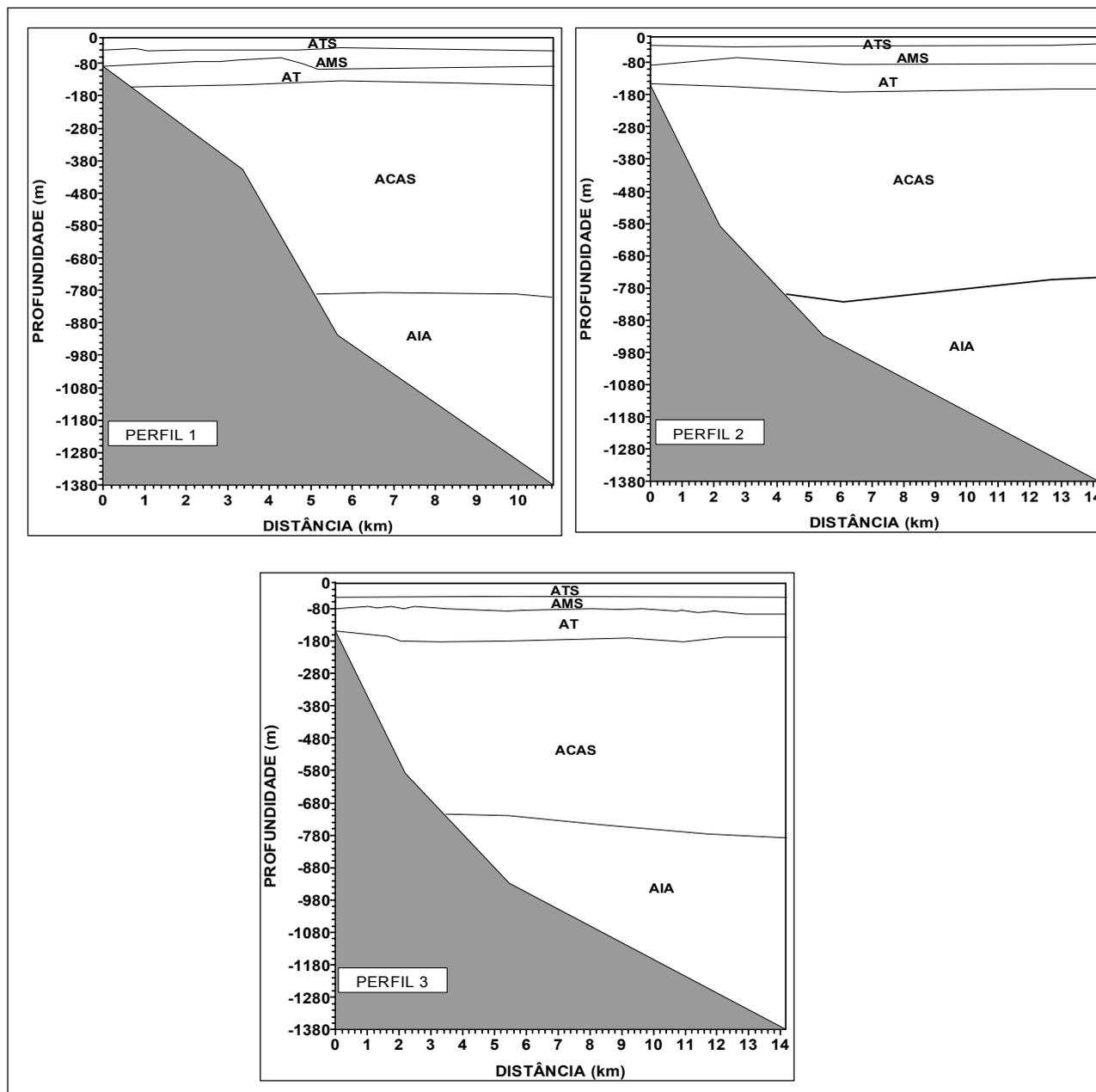
Os mapas temáticos horizontais foram elaborados utilizando-se o Método de Kriging (<http://www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/OldStudentProjects/cs49094to95/clang/kriging.html>), enquanto que os planos e perfis verticais (*transects*) foram calculados a partir do Método de ponderação inversa à distância (<http://faculty.washington.edu/rag/CLASSES/m465/PROJECTS/proj465/node2.html>). Em ambos os casos, foram previamente realizadas interpolações manuais visando garantir a fidelidade das distribuições espaciais geradas pelos algoritmos de interpolação.

### Identificação e caracterização da massa d'água

Os valores de temperatura e salinidade obtidos em campo permitiram a elaboração do diagrama T-S (**Figura II.5.1.2-3**), assim como a identificação e caracterização de duas massas d'água presente na área estudada. A **Figura II.5.1.2-4** apresenta a distribuição vertical das massas d'água ao longo do talude, de acordo com os três perfis verticais.



**Figura II.5.1.2- 3** – Diagrama T—S esquemático das massas de água, identificado a partir dos perfis realizados na área de estudo.



**Figura II.5.1.2- 4** - Distribuição vertical das massas de água ao longo dos perfis 1, 2 e 3 : ATS (água tropical superficial), AMS (água de máxima salinidade), AT (água tropical), ACAS (água central do atlântico sul), e AIA (água intermediária da antártica).

De acordo com a **Figura II.5.1.2-4** no Perfil 1, a ATS ocupa a porção da coluna d'água compreendida entre a superfície e a profundidade de 40 metros. Abaixo desta, e até a profundidade média de 90 metros, foi observada a presença da AMS. Entre as profundidades de 140 e 160 metros foi observada uma zona de

transição entre a AT e a ACAS. Abaixo desta zona até a profundidade de cerca de 800 metros foi observada a presença da ACAS e, abaixo desta a AIA.

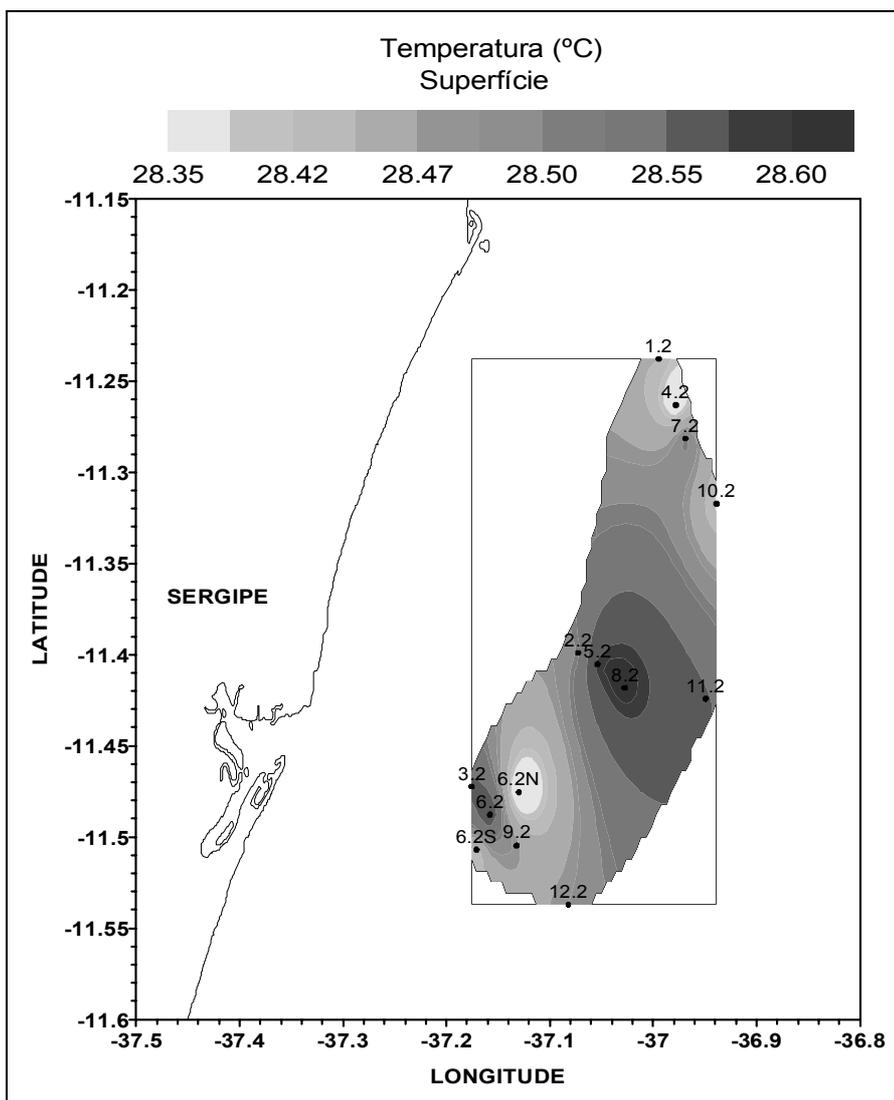
No Perfil 2, a ATS ocupa a coluna d'água compreendida entre 0 e 30 metros, encontrando-se abaixo desta uma zona de transição entre a AMS e a AT, que se estende até uma profundidade de cerca de 90 metros. Abaixo desta zona até a profundidade entre 150 e 170 metros foi registrada a presença da AT, seguida da ACAS. A massa d'água central do Atlântico Sul se mostra em contato ao fundo pela presença da AIA, restando limitada às profundidades 750 e 820 metros.

Uma situação muito próxima das descritas nos Perfis 1 e 2 é encontrada no Perfil 3, com a ATS e a AMS ocupando praticamente as mesmas profundidades descritas anteriormente. A zona de transição entre a AT e a ACAS localiza-se igualmente entre as profundidades de 150 e 180 metros, enquanto que a ACAS foi limitada pela presença da AIA, entre as profundidades de 720 e cerca de 800 metros.

### *Estrutura termohalina tridimensional*

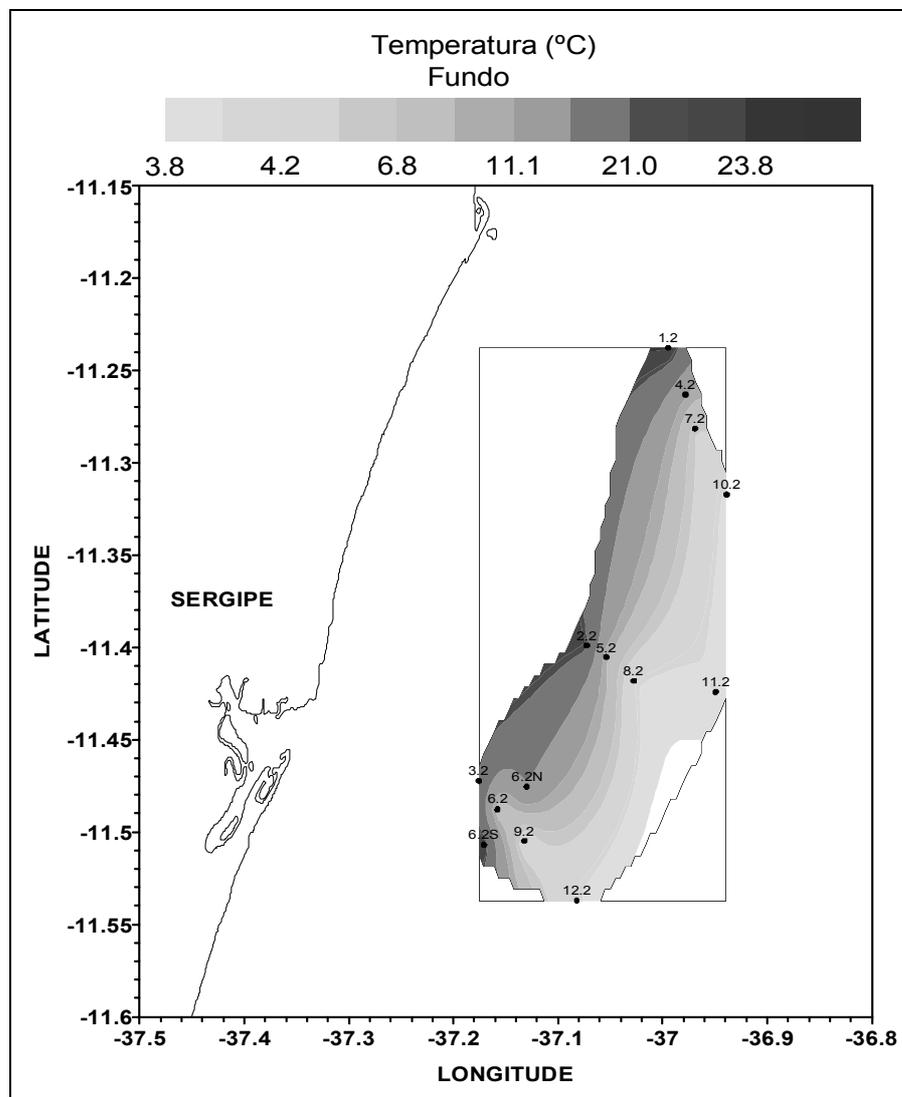
#### a) Temperatura

Os valores de temperatura superficial na área de estudo apresentaram-se com uma amplitude térmica de cerca de 0,3 °C (mínima de 28,3 °C, e máxima de 28,6°C), com uma média de 28,5 °C (**Figura II.5.1.2-5**).



**Figura II.5.1.2- 5 - Distribuição horizontal de temperatura próxima à superfície.**

A **Figura II.5.1.2-6** apresenta a distribuição horizontal de temperatura próxima ao fundo da área de estudo. Nesse caso, verificou-se uma temperatura média 20,4 °C, com valores registrados situando-se entre o máximo de 24,3 °C próximo à costa, e cerca de 3,9 °C na área oceânica.



**Figura II.5.1.2- 6 - Distribuição horizontal de temperatura próximo ao fundo.**

As distribuições verticais de temperatura ao longo dos Perfis 1, 2 e 3 são apresentadas nas **Figuras II.5.1.2-7, II.5.1.2-8 e II.5.1.2-9**. Esta indica uma diminuição da temperatura da superfície às camadas mais profundas, observando-se inicialmente uma camada uniforme (camada isotérmica). Esta camada homogênea é limitada por uma acentuada descontinuidade térmica, que representa o início da termoclina. A localização dessa descontinuidade térmica

varia de estação para estação, sendo seguida por um decréscimo gradativo da temperatura.

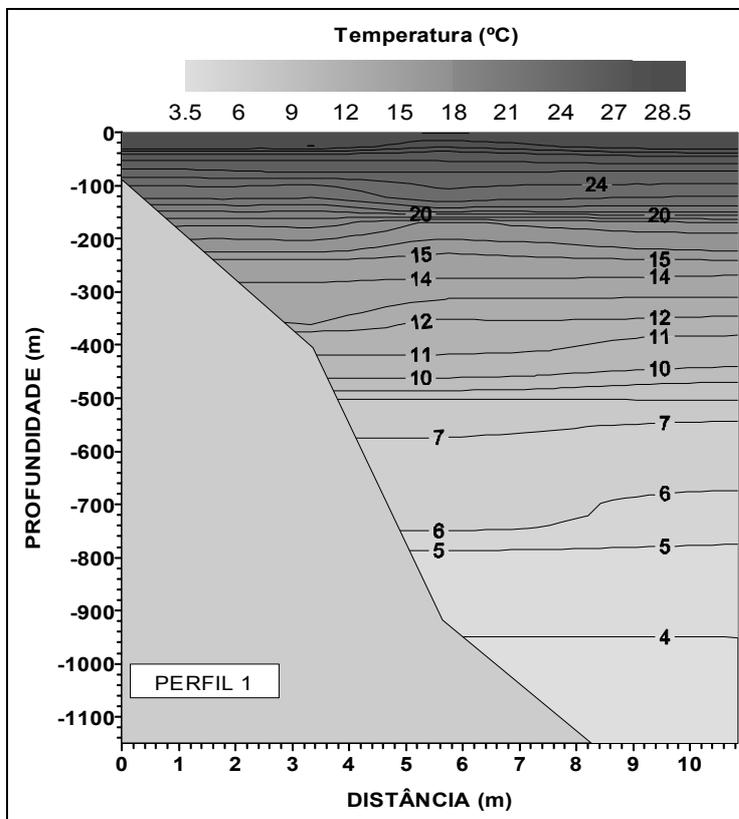
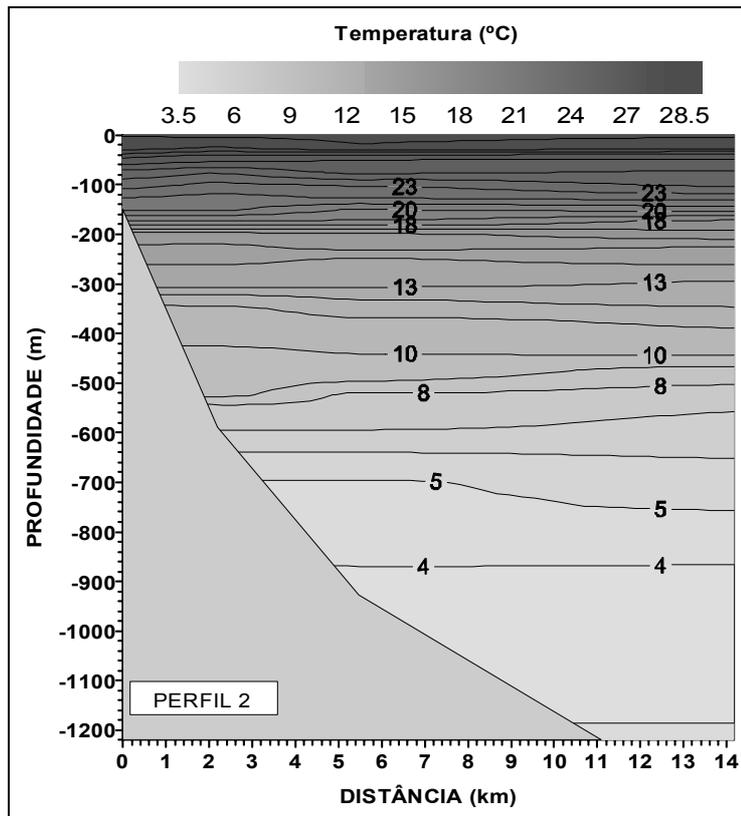
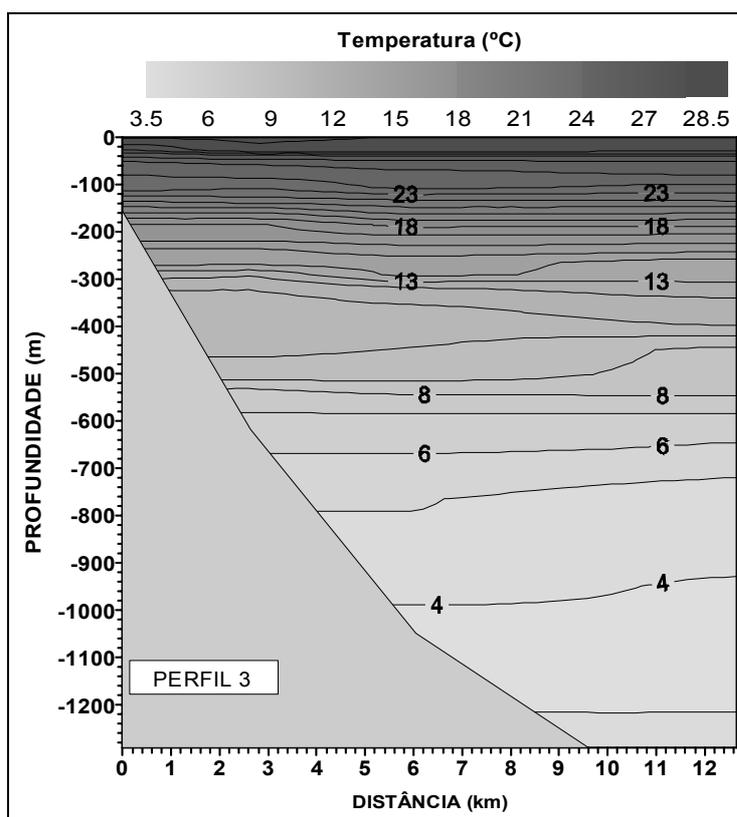


Figura II.5.1.2- 7 – Distribuição vertical de temperatura ao longo do perfil 1.



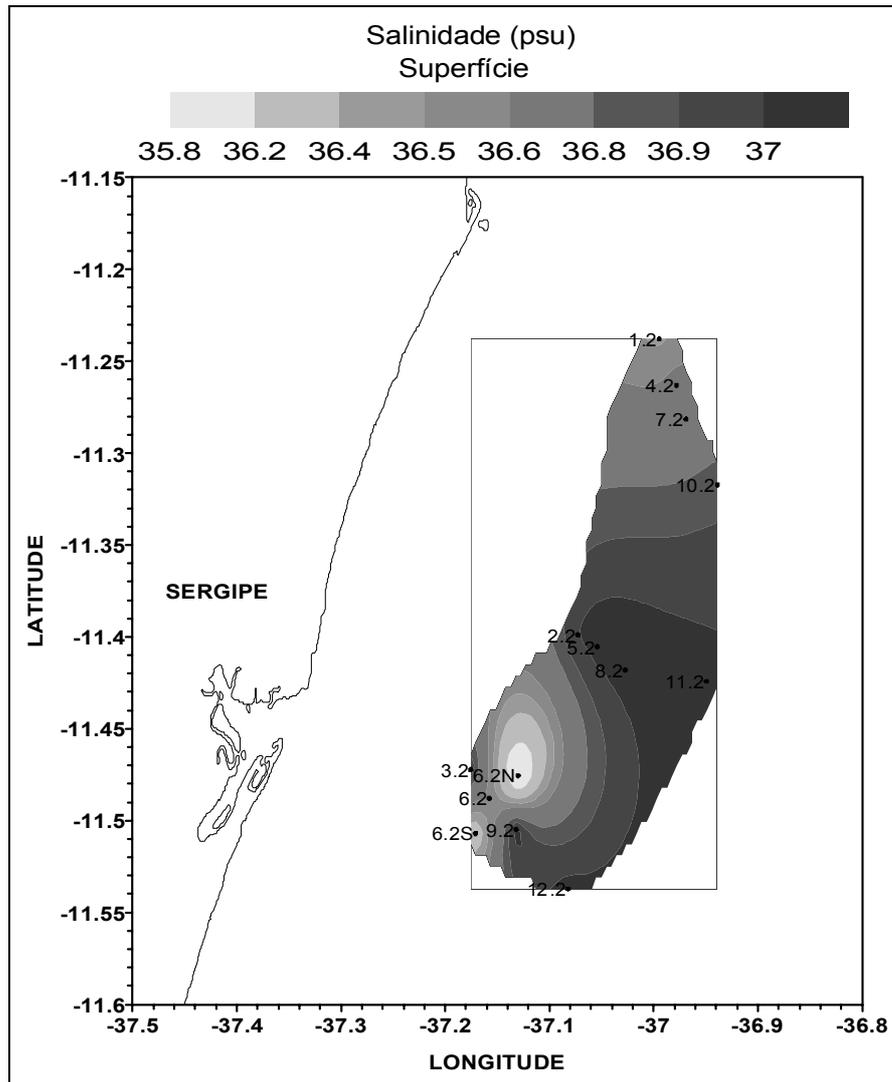
**Figura II.5.1.2- 8** – Distribuição do perfil vertical de temperatura ao longo do perfil 2.



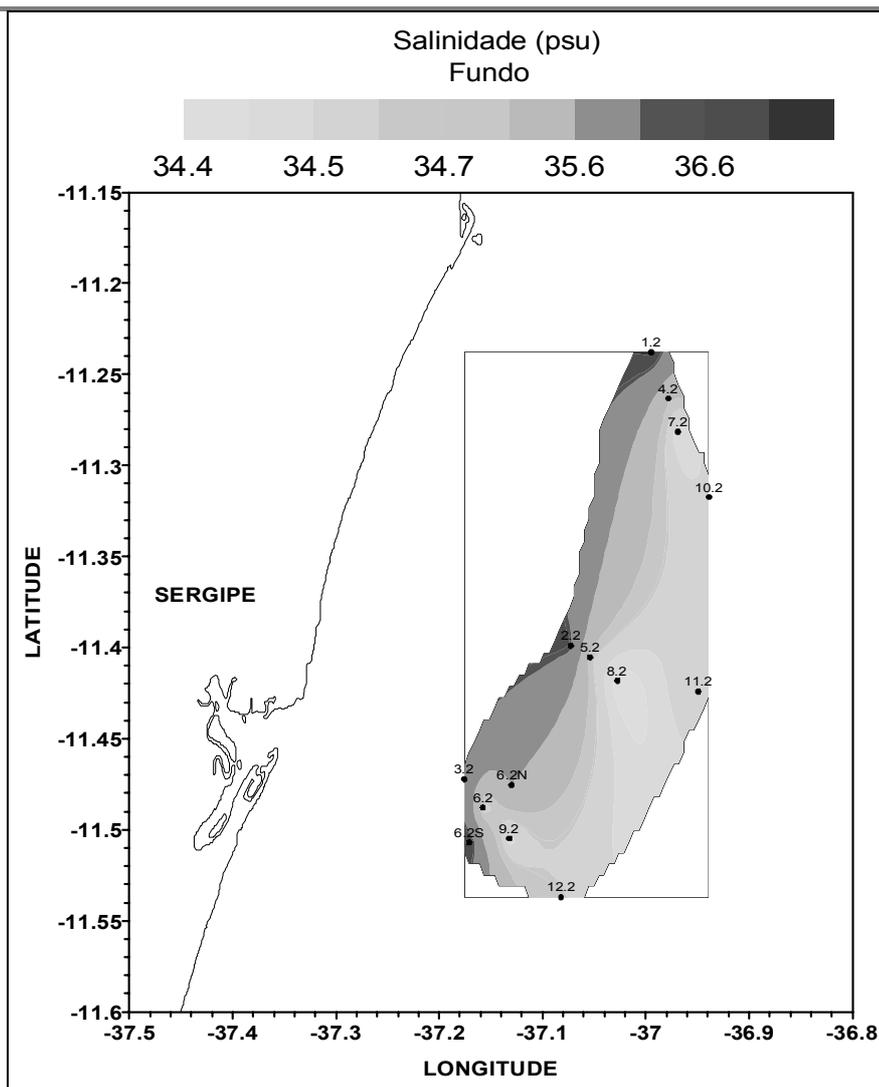
**Figura II.5.1.2- 9 - Distribuição vertical de temperatura ao longo do perfil 3.**

#### b) Salinidade

A distribuição superficial da salinidade (**Figura II.5.1.2-10**) apresentou valor médio de 36,7 psu, com variação de 1,2 psu, mínimo de 35,9 psu (estação 6N) e máximo de 37,1 psu (estação 12). Próximo ao fundo, a salinidade apresentou-se com valores máximos próximo à costa diminuindo os valores com o aumento da profundidade local (**Figura II.5.1.2-11**).

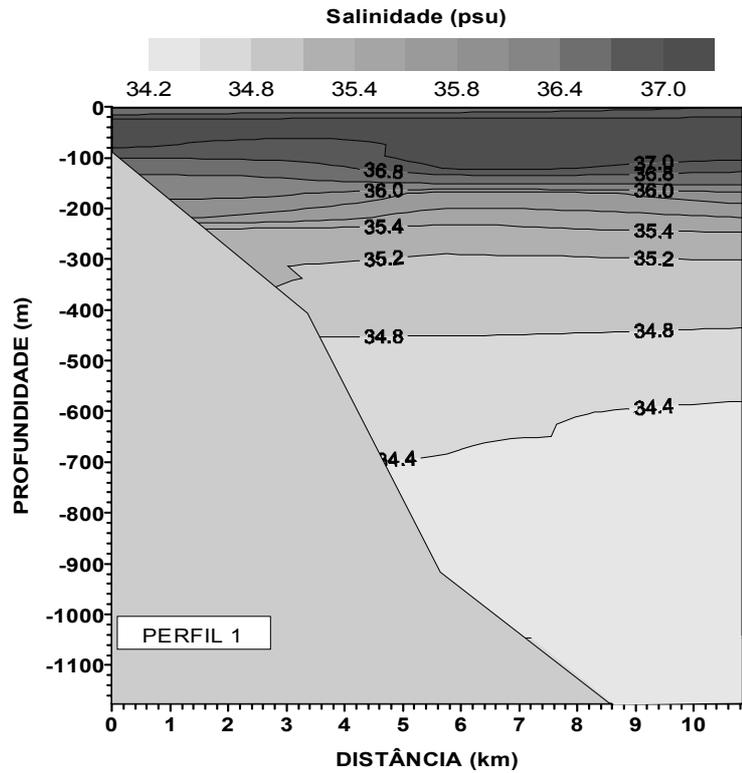


**Figura II.5.1.2- 10 – Distribuição horizontal de salinidade próxima à superfície.**



**Figura II.5.1.2-11** - Distribuição horizontal de salinidade próximo ao fundo.

Nos Perfis 1, 2 e 3, a salinidade apresentou seu valor máximo sub-superficial até a profundidade de cerca de 100 metros, dando início, em seguida, a um gradiente máximo de salinidade até a profundidade média de 200 metros. Abaixo desta profundidade, observou-se um decréscimo gradativo da salinidade (**Figuras II.5.1.2-12, II.5.1.2-13 e II.5.1.2-14**).



**Figura II.5.1.2- 12** – Distribuição vertical de salinidade ao longo do Perfil 1.

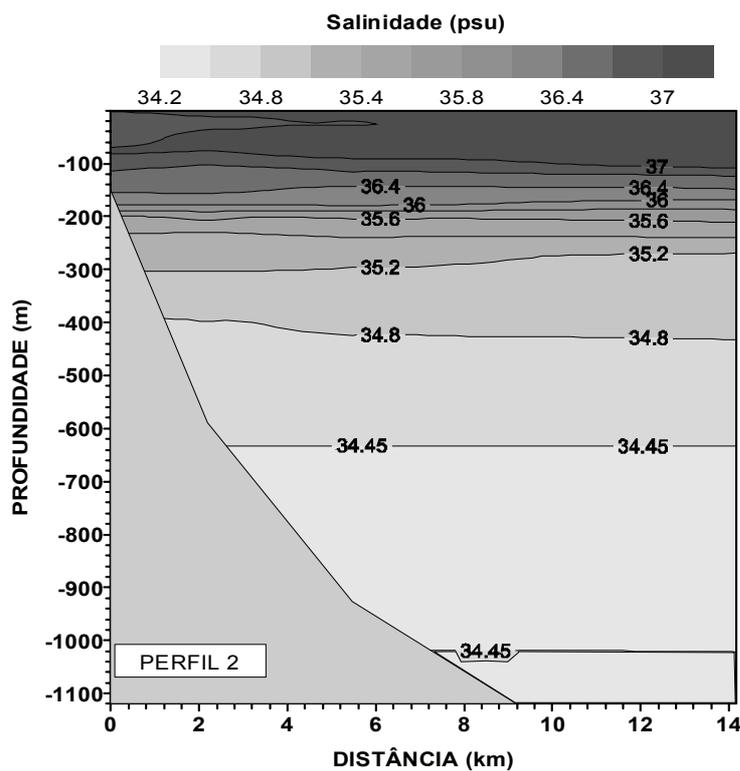


Figura II.5.1.2- 13 – Distribuição vertical de salinidade ao longo do Perfil 2.

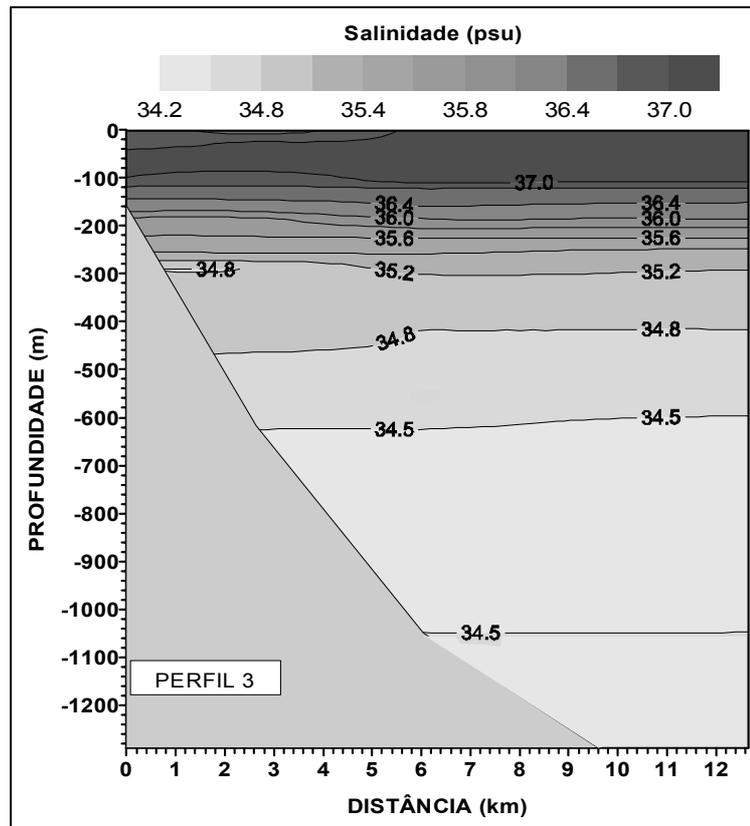


Figura II.5.1.2- 14 - Distribuição vertical da salinidade ao longo do perfil 3.

c) Densidade - Sigma-t ( $\sigma_t$ )

A distribuição superficial da densidade sigma-t ( $\sigma_t = \rho - 1000$ ,  $\text{kg.m}^{-3}$ , onde  $\rho$  é a densidade da água em  $\text{kg.m}^{-3}$ ) apresentou uma média de  $23,55 \text{ kg.m}^{-3}$ , valor máximo de  $23,78 \text{ kg.m}^{-3}$  na estação 12 e mínimo  $22,95 \text{ kg.m}^{-3}$  na estação 6N. Próximo ao fundo, a densidade se comportou com mínimo valor próximo à costa aumentando em direção ao oceano aberto (Figuras II.5.1.2-15 e II.5.1.2-16).

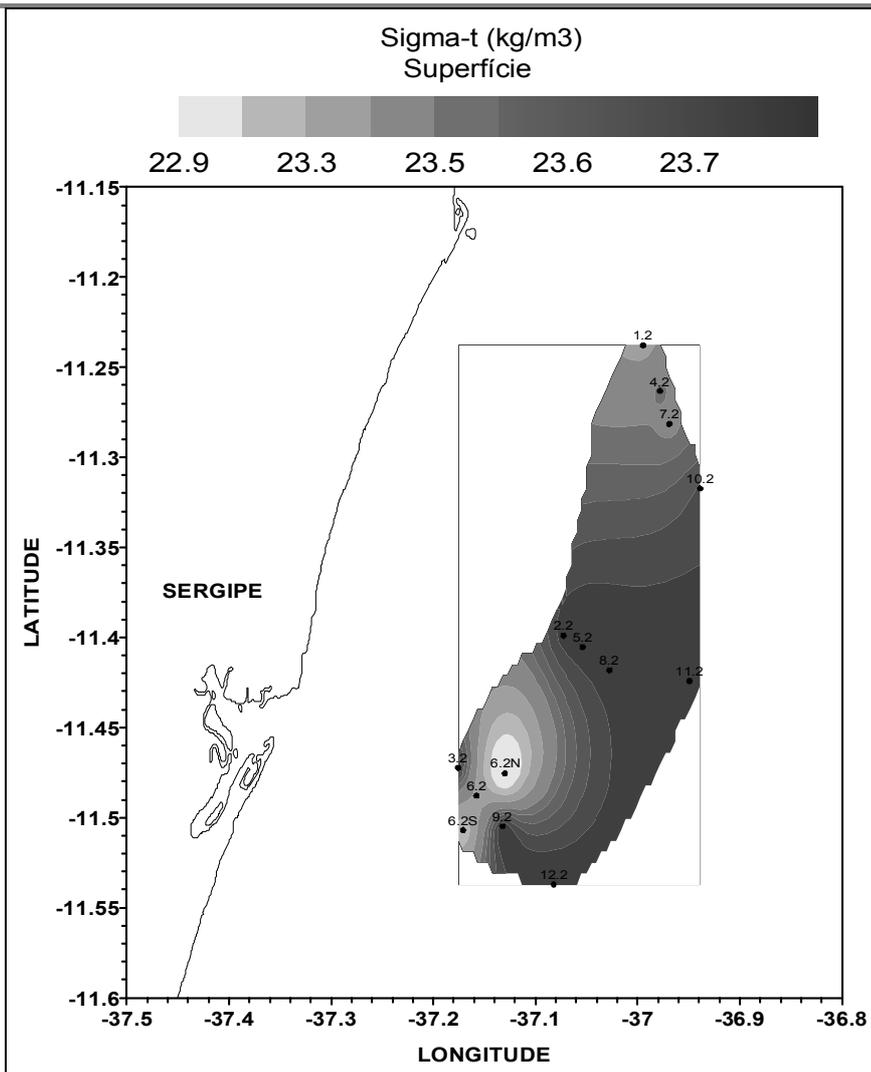
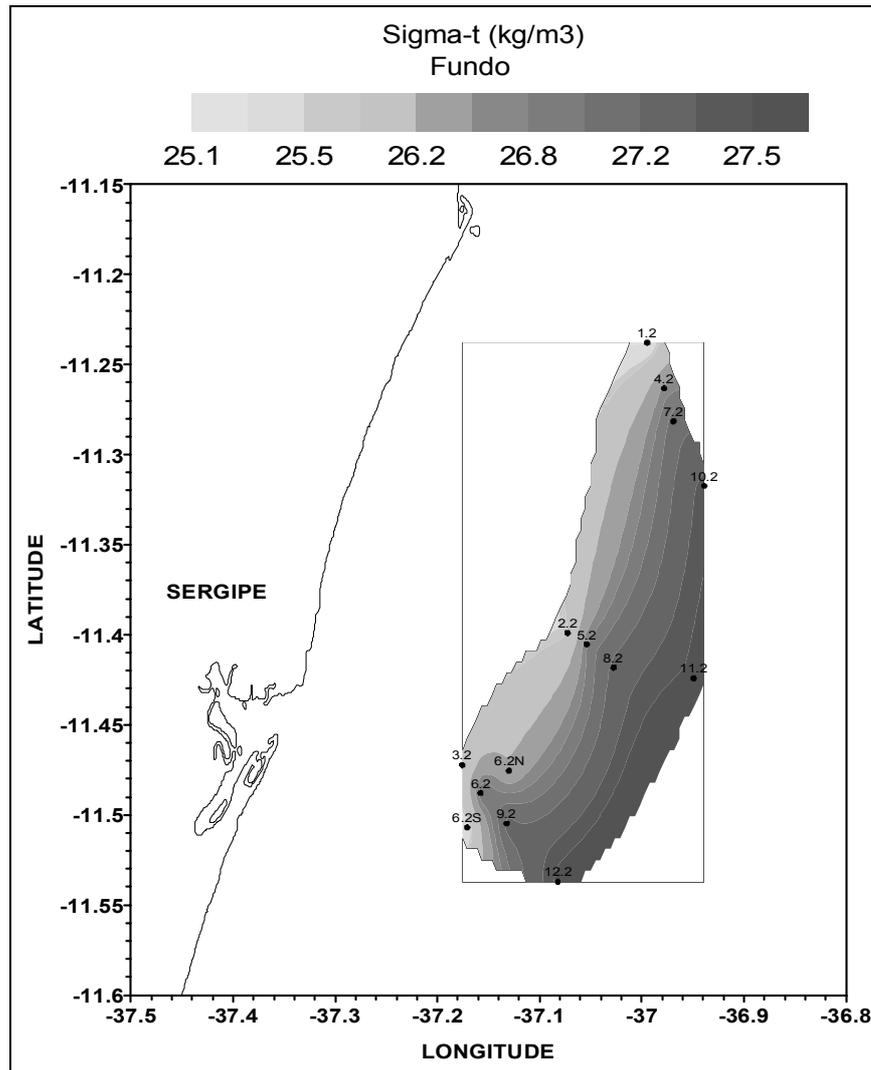
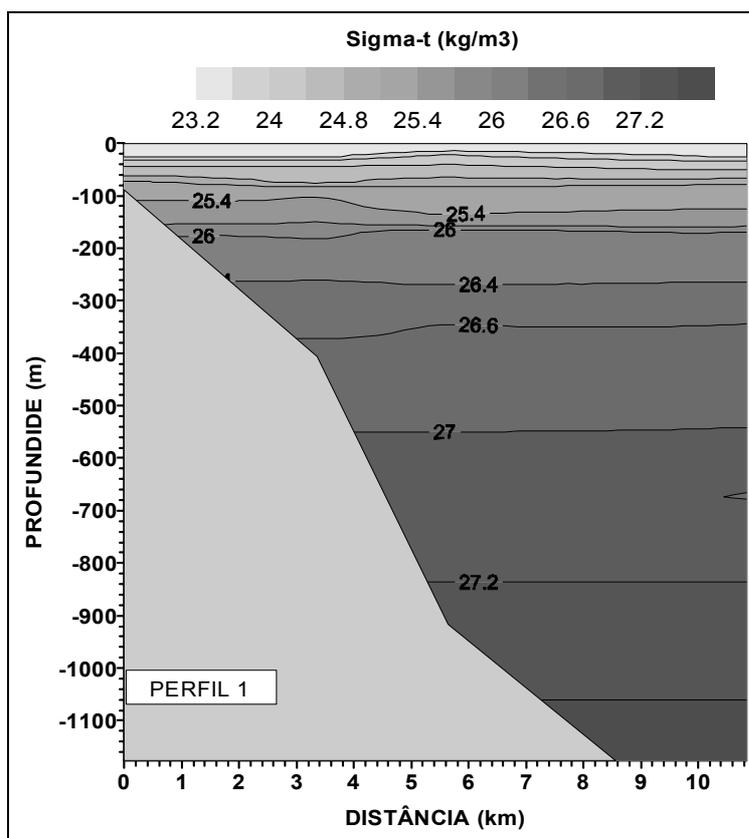


Figura II.5.1.2- 15 - Distribuição horizontal de densidade próxima à superfície.

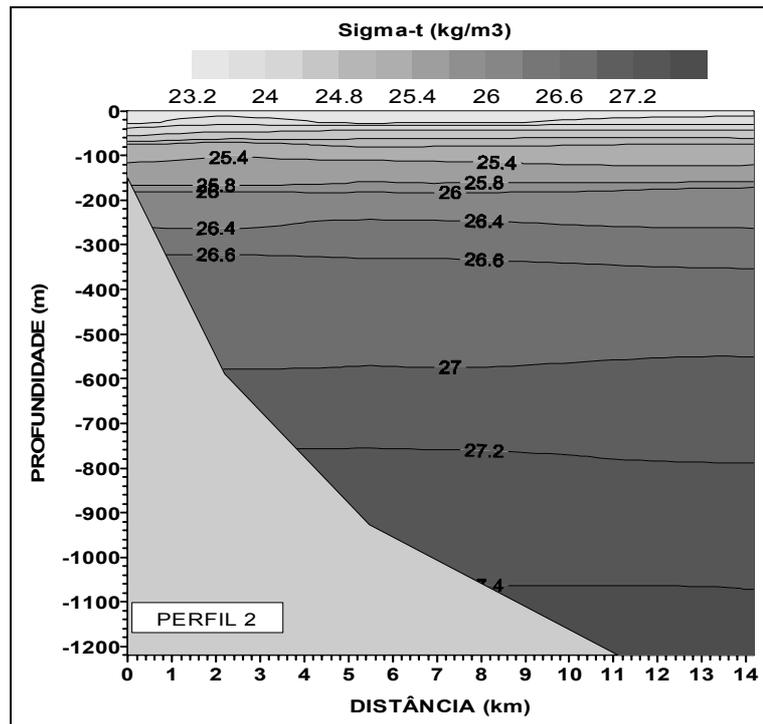


**Figura II.5.1.2- 16** – Distribuição horizontal de densidade próximo ao fundo.

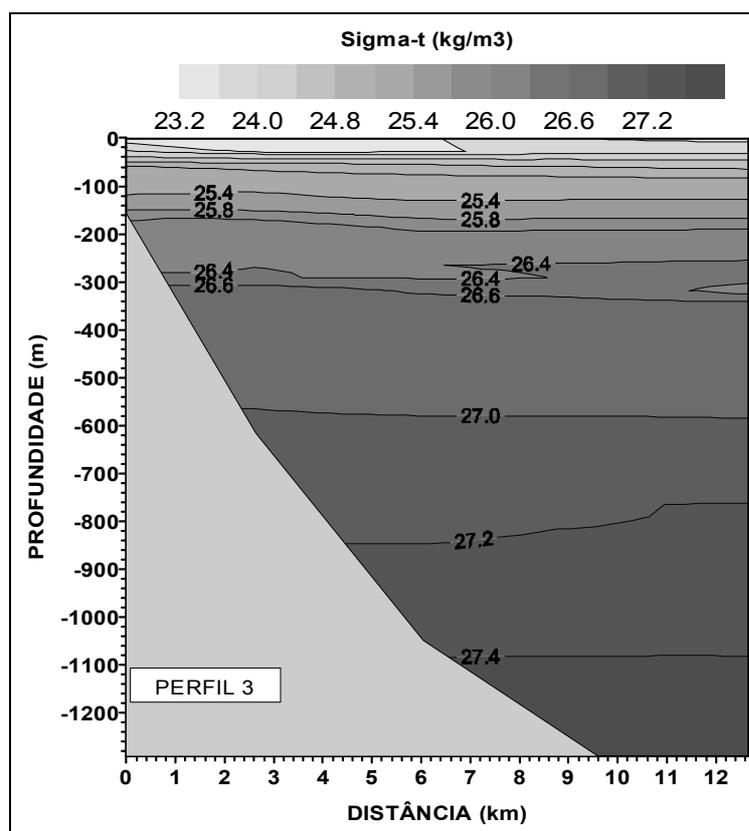
A distribuição vertical da densidade ao longo dos Perfis 1, 2 e 3 representada nas **Figuras II.5.2-17, II.5.2-18 e II.5.2-19** apresentou os menores valores na superfície, os quais aumentam com a profundidade.



**FIGURA II.5.1.2- 17 - Distribuição vertical da densidade ao longo do perfil 1.**



**Figura II.5.1.2- 18 - Distribuição vertical da densidade ao longo do perfil 2.**



**Figura II.5.1.2- 19** - Distribuição vertical da densidade ao longo do perfil 3.

d) Perfis verticais de T-S-  $\sigma_t$  em cada estação

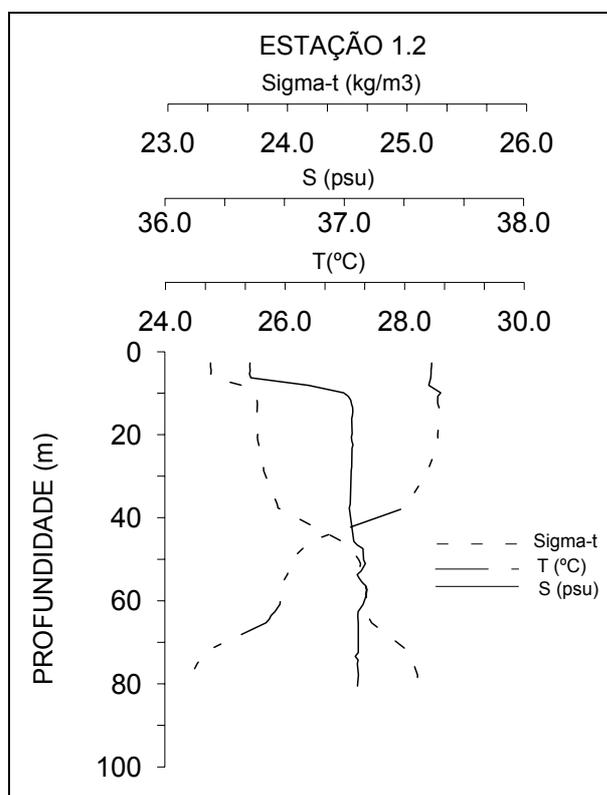
Os perfis verticais das variáveis termodinâmicas em cada estação são apresentados nas **Figuras II.5.2-20 a II.5.2-33**. As **Figuras II.5.2-20 a II.5.2-25** relacionam as estações com profundidades locais variando entre 87,5 e 256 metros. Já os perfis verticais das estações localizadas em profundidades iguais ou superiores a 300 metros são apresentados nas **Figuras II.5.2-26 a II.5.2-33**.

No que se refere à temperatura, observa-se a partir da **Figura II.5.2-20**, a existência de diferenças entre os valores superficiais e de fundo da ordem de 4,2°C, 4,8°C, 6,7°C, 7,6°C e 12,7°C, associados respectivamente às estações 1, 6S, 2, 3 e 6N. Nas estações mais profundas, verificou-se, como era de se

esperar, variações verticais mais acentuadas, apresentando valores situados entre 17,5°C e 24,7°C (**Figuras II.5.2-27 a Figuras II.5.2-33**).

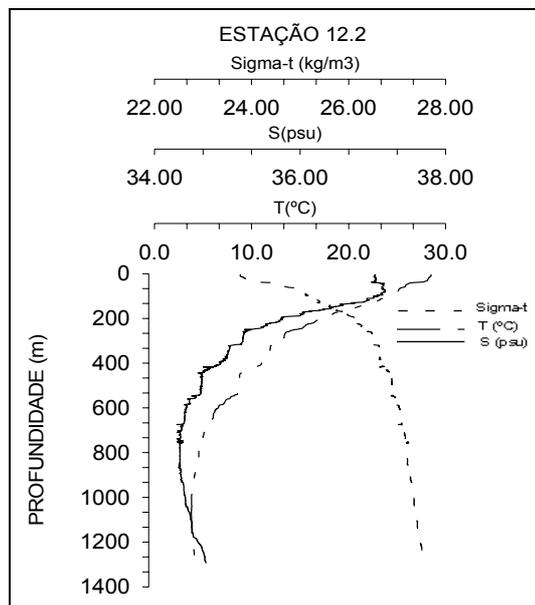
As estações localizadas próximo à costa apresentaram uma salinidade em torno de 36,47 psu, com valores de cerca de 35,89 psu até uma profundidade média de 5 metros. Em seguida, observa-se uma camada de máxima salinidade (37 psu), que se mantém até cerca de 100 metros para nas estações 1, 6 N e 6 S. Nas estações com profundidades locais superiores a 300 metros, registra-se o início da haloclina (região de máximo gradiente vertical de salinidade) em torno de 150 metros, decrescendo os valores de salinidade em direção ao fundo .

(a)



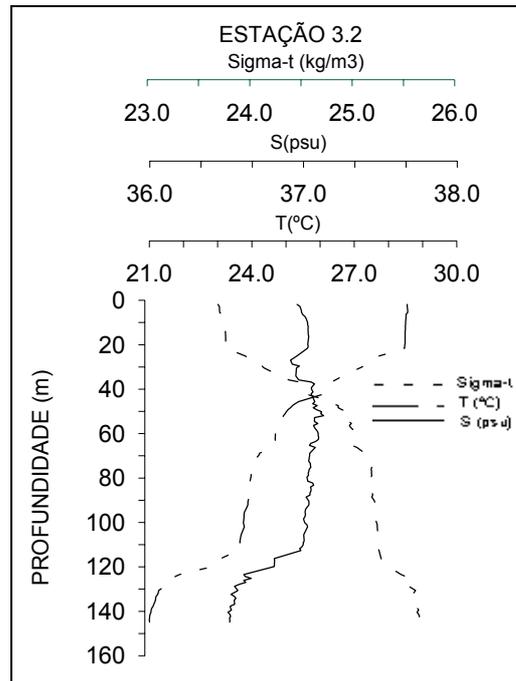
**Figura II.5.1.2-20** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(b)



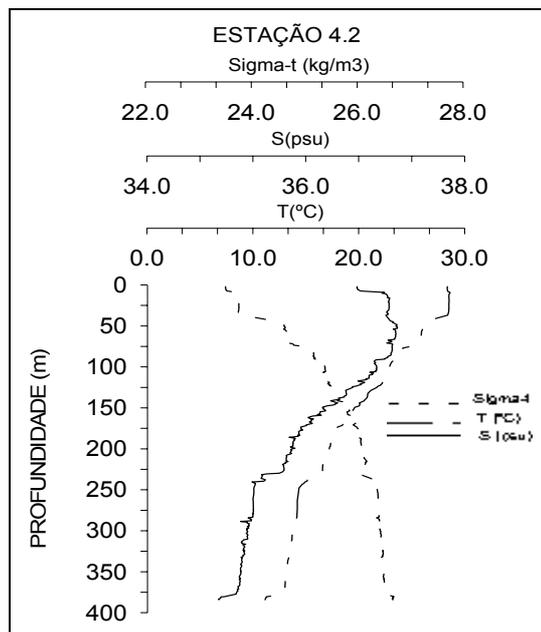
**Figura II.5.1.2- 21** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(c)



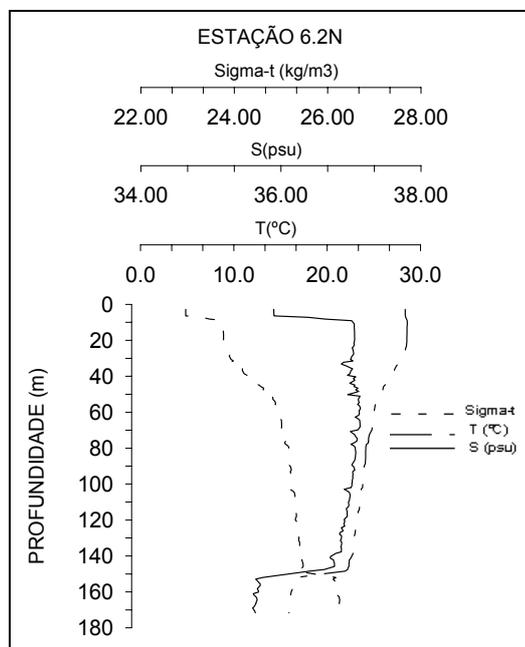
**Figura II.5.1.2-22** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(d)



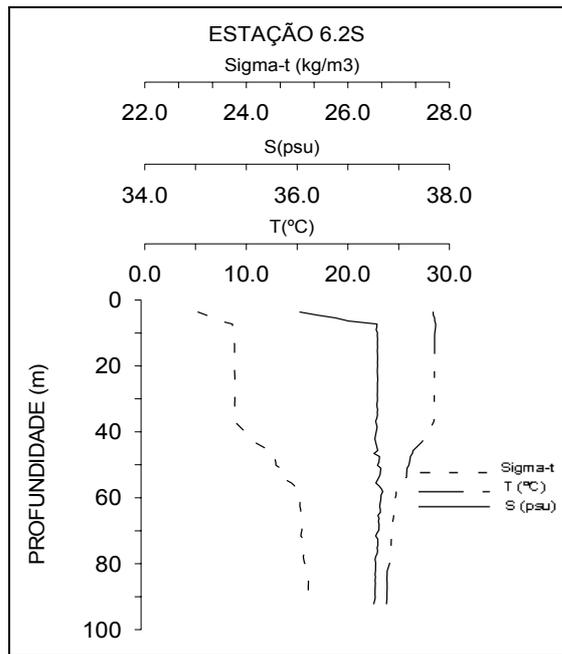
**Figura II.5.1.2-23** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(e)



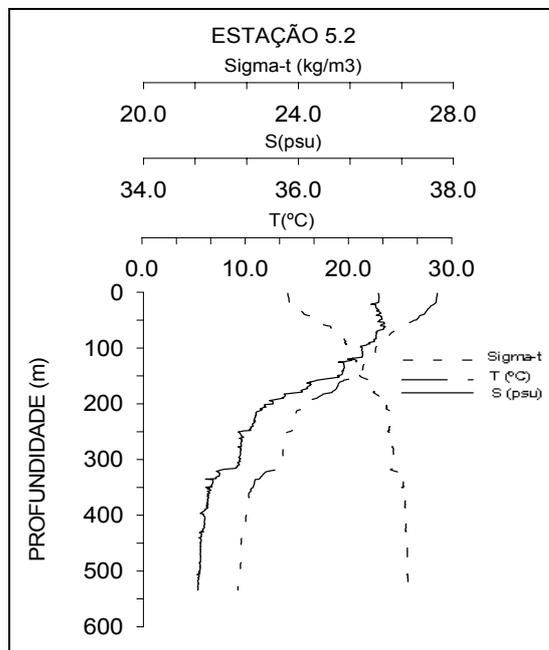
**Figura II.5.1.2-24** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(f)



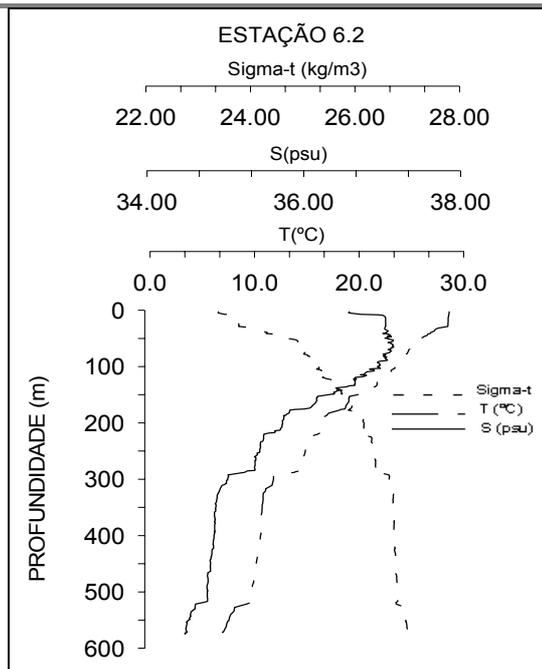
**Figura II.5.1.2- 25** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(g)



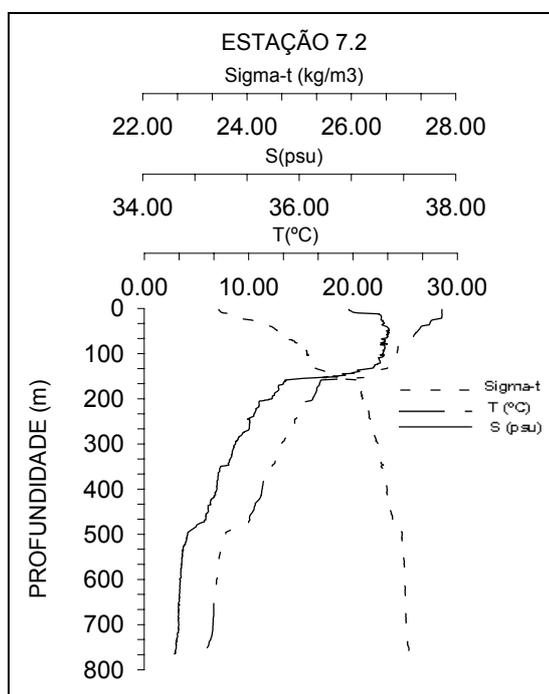
**Figura II.5.1.2- 26** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades inferiores a 300 metros.

(h)



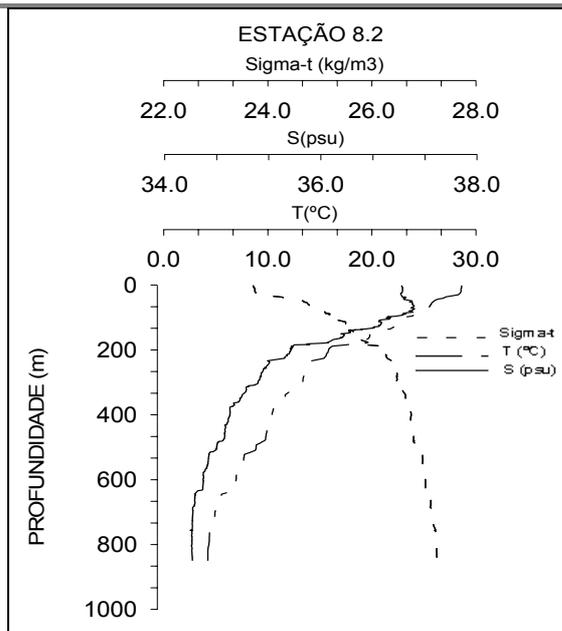
**Figura II.5.1.2- 27** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

(i)



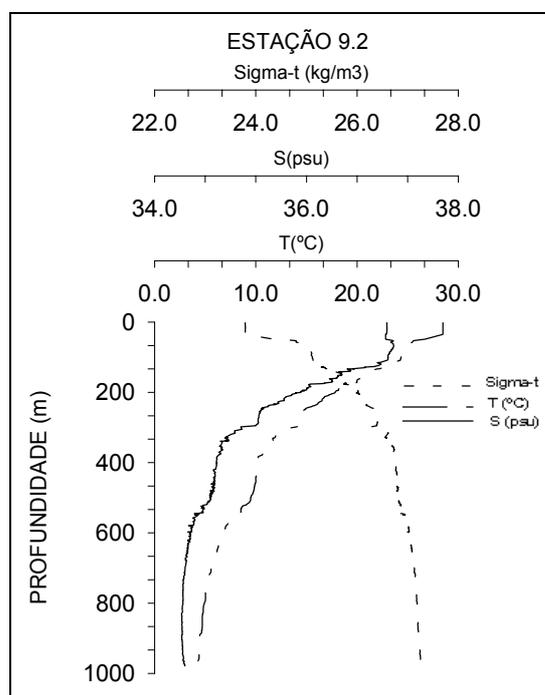
**Figura II.5.1.2- 28** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

(i)



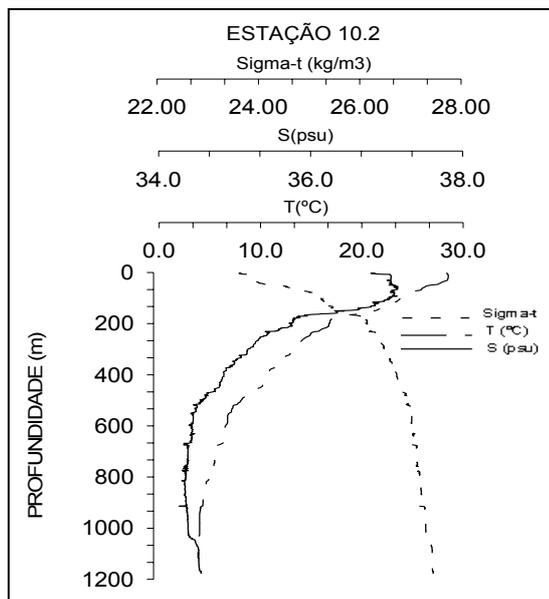
**Figura II.5.1.2- 29** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

(j)



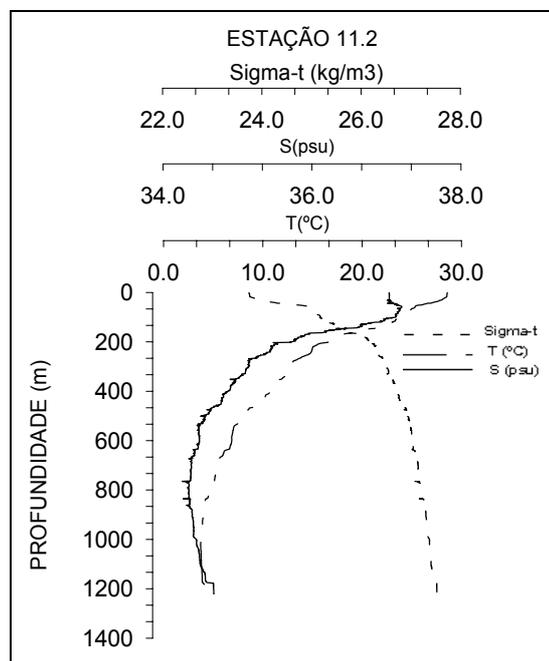
**Figura II.5.1.2- 30** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

(k)



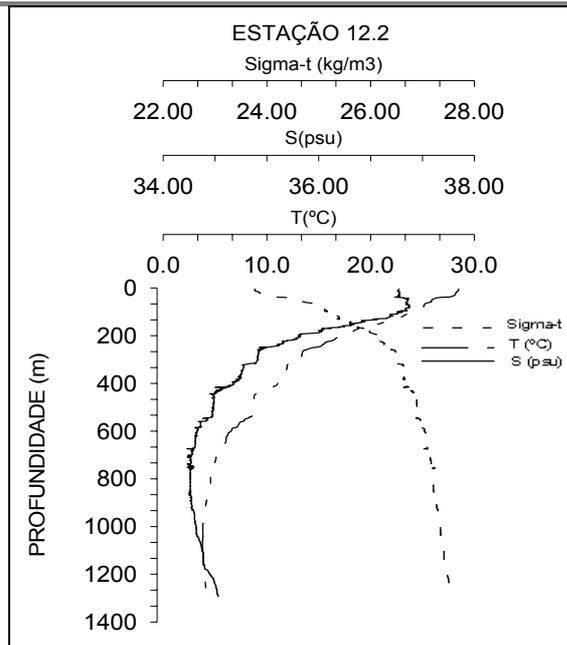
**Figura II.5.1.2- 31** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

(l)



**Figura II.5.1.2 - 32** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

m)



**Figura II.5.1.2- 33** - Perfis verticais das variáveis termodinâmicas nas estações localizadas em profundidades superiores a 300 metros.

*Camada de mistura ( $Z_{mix}$ ), camada isotérmica ( $Z_{isot}$ ), camada de barreira (ECB), camada eufótica ( $Z_{euf}$ ). Disco de Secchi e relação  $Z_{euf}/Z_{mix}$*

A camada de mistura oceânica é caracterizada por uma situação de quase homogeneidade vertical, onde são verificadas apenas pequenas variações de temperatura, salinidade e densidade. Esta uniformidade é em grande parte resultado da mistura provocada pela produção, tanto de energia cinética turbulenta, via cisalhamento eólico interfacial, quebra de ondas de gravidade, cisalhamento do campo de correntes existentes, etc., quanto de energia potencial, esta última traduzida pelo fluxo de flotabilidade ligado às mudanças de densidade do meio resultantes dos balanços de calor e de água doce.

Abaixo da camada bem misturada, a temperatura em geral diminui rapidamente com um aumento da profundidade. A região onde ocorre a mudança brusca de temperatura em relação à profundidade é chamada de termoclina. Analogamente, a região de máximo gradiente vertical de salinidade é chamada de

haloclina, enquanto que os gradientes verticais máximos de densidade se localizam numa região denominada de picnoclina, que funciona muitas vezes como uma verdadeira barreira física ao transporte vertical de substâncias abióticas e de organismos planctônicos.

Geralmente a picnoclina coincide com a haloclina e com a termoclina. Registros antigos (Defant, 1961; Elliot, 1974, entre outros) e recentes (Delcroix *et al.* 1987; Lukas & Lindstron, 1991; Advíncula, 2000, entre outros), entretanto, confirmam a existência de diferenças entre as profundidades das camadas isohalinas e isotérmicas superiores nos Oceanos Atlântico e Pacífico. Na maioria dos casos, observa-se a presença de uma haloclina mais rasa do que a termoclina, quando a mudança brusca nos perfis de salinidade se faz refletir na distribuição vertical de densidade. A diferença entre estas duas profundidades é comumente referenciada por espessura da camada de barreira (ECB), fazendo-se alusão a um possível bloqueio (ou redução) da difusão vertical de calor e energia na camada superior bem misturada dos oceanos.

A definição da espessura da camada de mistura ( $Z_{MIX}$ ) é baseada no critério da densidade  $\sigma_t$ , sendo determinada pela profundidade na qual a densidade  $\sigma_{t,Z_{MIX}}$  é igual à densidade na superfície  $\sigma_{t,0}$ , acrescida do incremento em  $\sigma_t$  correspondente a uma determinada variação  $\Delta T$  considerada de temperatura, ou seja:

$$\sigma_{t,Z_{MIX}} = \sigma_{t,0} + \Delta T \frac{\partial \sigma_t}{\partial T} \quad (1)$$

onde  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) é o incremento de temperatura desejado, e  $\frac{\partial \sigma_t}{\partial T}$  ( $\text{kg m}^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) é o coeficiente de expansão térmica da água para os valores de temperatura e salinidade superficiais, calculado a partir de Blanck (1999). A eq. (1) permite, dessa forma, calcular a profundidade de camada de mistura como sendo igual à profundidade onde a densidade potencial é dada pela densidade da superfície do mar, acrescida da contribuição equivalente a uma variação pré-determinada  $\Delta T$ .

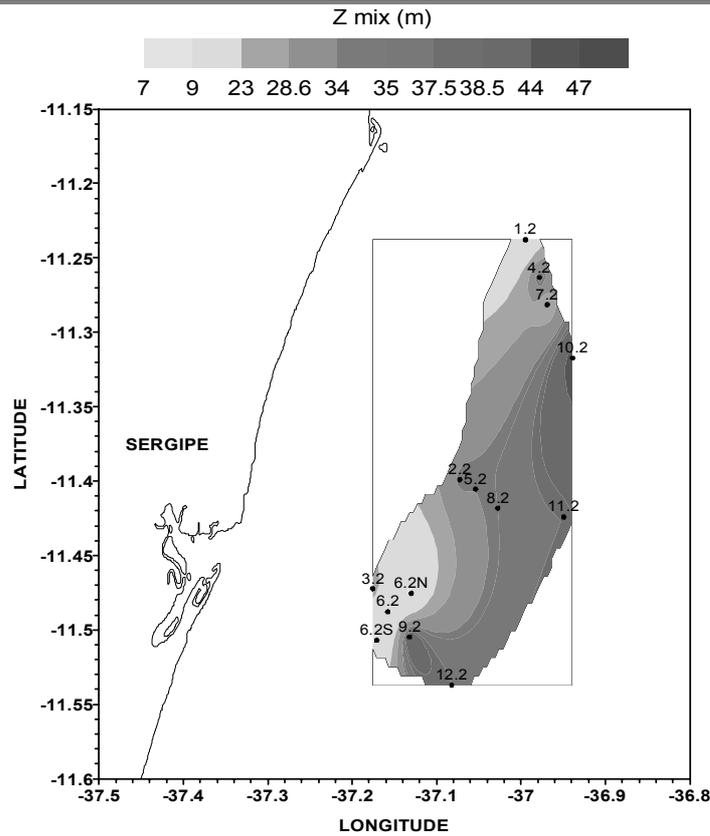
Nesse estudo, adotou-se  $\Delta T = 0,5^{\circ}\text{C}$  (Sprintall & Tomczak 1992; Ferreira, 2001, entre outros).

Considerando-se agora a profundidade da termoclina ( $Z_{\text{ISOT}}$ ) como sendo aquela onde o valor de temperatura é igual à temperatura da superfície subtraída de  $\Delta T$ , tem-se :

$$\text{ECB} = Z_{\text{ISOT}} - Z_{\text{MIX}} \quad (2)$$

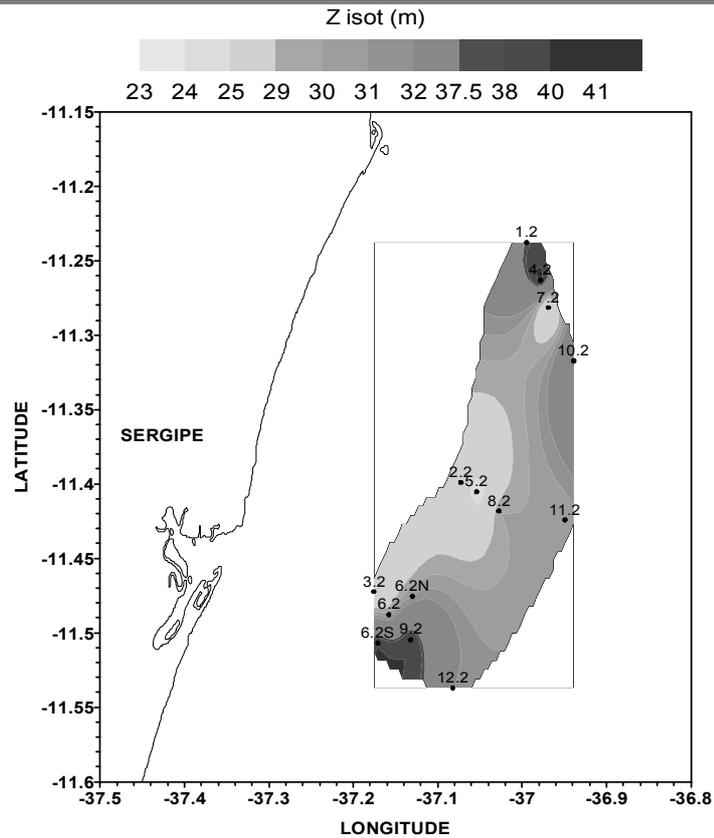
onde ECB (m) é a espessura da camada de barreira.

Na região de estudo, a camada de mistura ( $Z_{\text{mix}}$ ) apresentou uma espessura média da ordem de 28 metros. Os menores valores calculados (inferiores a 9 metros) foram associados às estações costeiras 1, 6, 6N, e 6S, enquanto que se verificou um acréscimo gradual das espessuras das camadas de mistura em direção ao oceano, quando foi registrado valor máximo de  $Z_{\text{mix}}$  (44 metros) na estação 9 (**Figura II.5.1.2-34**).



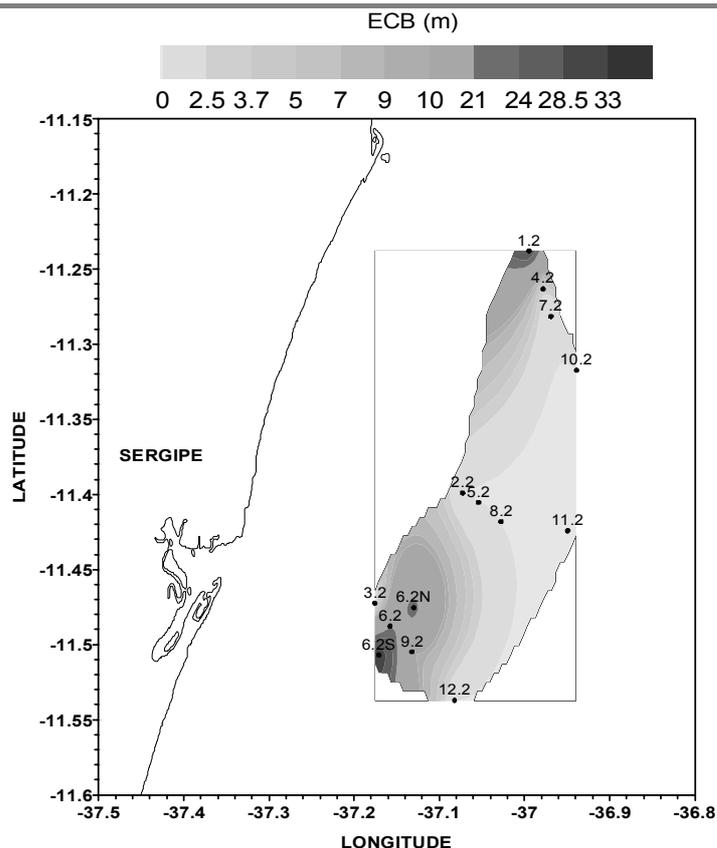
**Figura II.5.1.2- 34 - Distribuição horizontal da espessura da camada de mistura ( $Z_{mix}$ ).**

A profundidade de início da termoclina define a espessura da camada isotérmica, ou seja,  $Z_{isot}$ , cuja distribuição horizontal encontra-se representada na **Figura II.5.1.2-35**. Neste caso, verificou-se a existência de valores máximos da ordem de 40 metros nas estações 9 e 6S, valor mínimo de 23 metros na estação 5, e uma profundidade média na área de estudo da ordem de 32,2 metros.



**Figura II.5.1.2- 35** - Distribuição horizontal da espessura da camada isotérmica ( $Z_{isot}$ ).

O cálculo da espessura de camada de barreira (ECB), para toda a região de estudo, permite verificar que a grande maioria da área possui valores de ECB compreendidos entre 0 – 20 m (**Figura II.5.1.2-36**). Observa-se ainda que as estações costeiras 1, 6, 6S e 6N apresentaram os maiores valores de ECB, respectivamente 28,5, 21, 33 e 24 metros. Por outro lado, não foi registrada a presença da camada de barreira na estação 2 e nas estações mais distante da costa (10, 11 e 12).



**Figura II.5.1.2- 36** - Distribuição horizontal da espessura da camada de barreira (ecb).

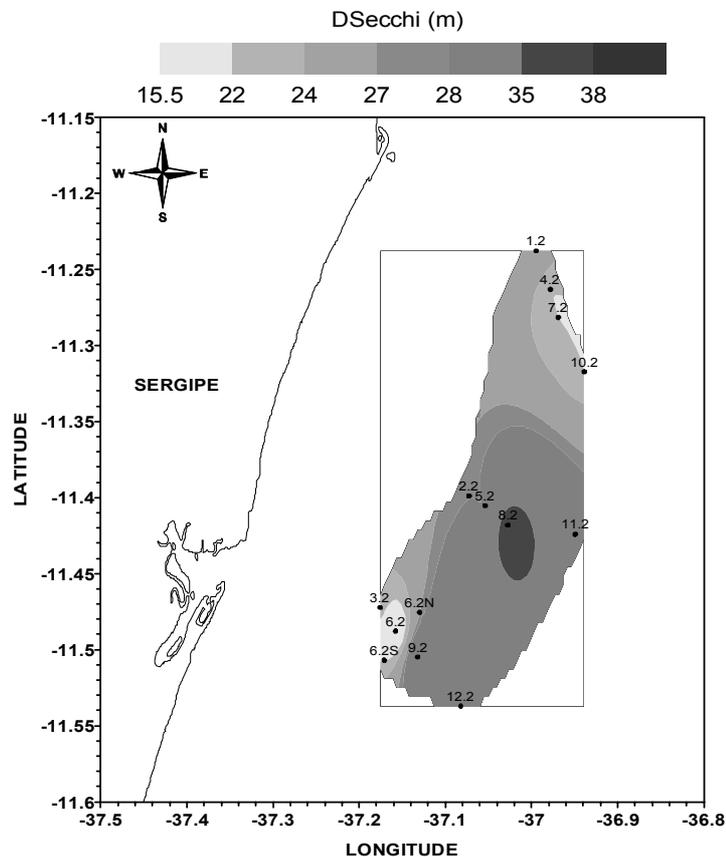
Para cálculo da zona eufótica ( $Z_{euf}$ ), utilizou-se da formulação de Lambert-Beer, obtendo-se os valores de coeficiente de extinção a partir das observações de profundidade de disco de Secchi ( $D_{Secchi}$ ) efetuadas no campo. Nesse caso, tem-se :

$$\frac{I(z = Z_{euf})}{I(z = 0)} = \exp(-k Z_{euf}) = 0.01 \quad \rightarrow \quad Z_{euf} = -\frac{\ln 0.01}{k} \quad (3)$$

$$k = \frac{1.7}{D_{Secchi}} \quad (4)$$

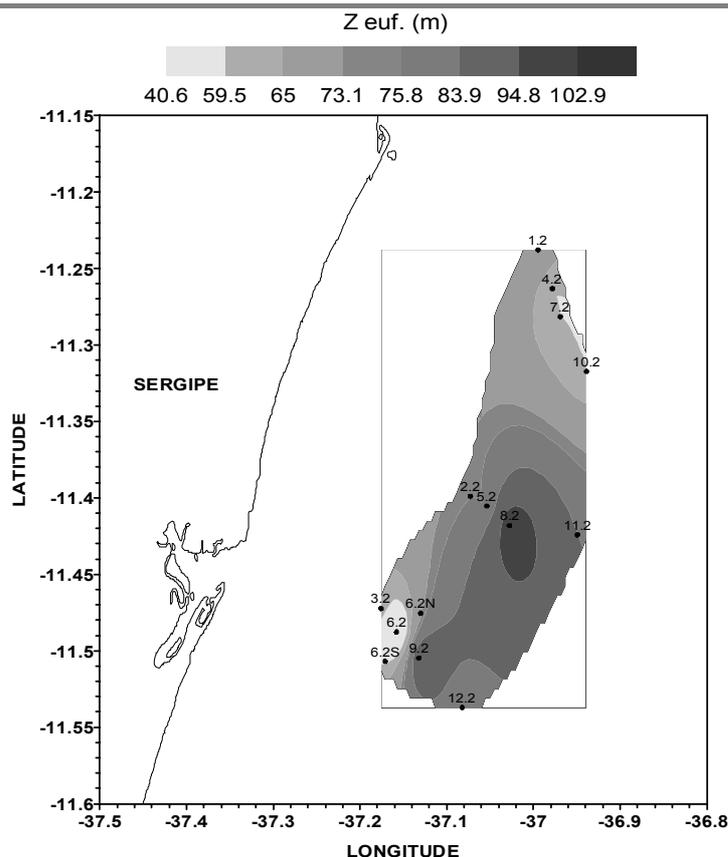
onde  $k$  é o coeficiente de extinção ( $m^{-1}$ ), e  $I(z)$  é a intensidade de radiação solar de ondas curtas disponível no meio líquido na profundidade  $z$  ( $kcal.m^{-2}.s^{-1}$ ).

A distribuição horizontal profundidade de disco de Secchi (**Figura II.5.1.2-31**) indica nitidamente a existência de uma menor penetração da energia radiante na estação 6.2, quando foi registrado o valor mínimo de 15,5 metros.



**Figura II.5.1.2- 37-** Distribuição horizontal da profundidade de disco de secchi.

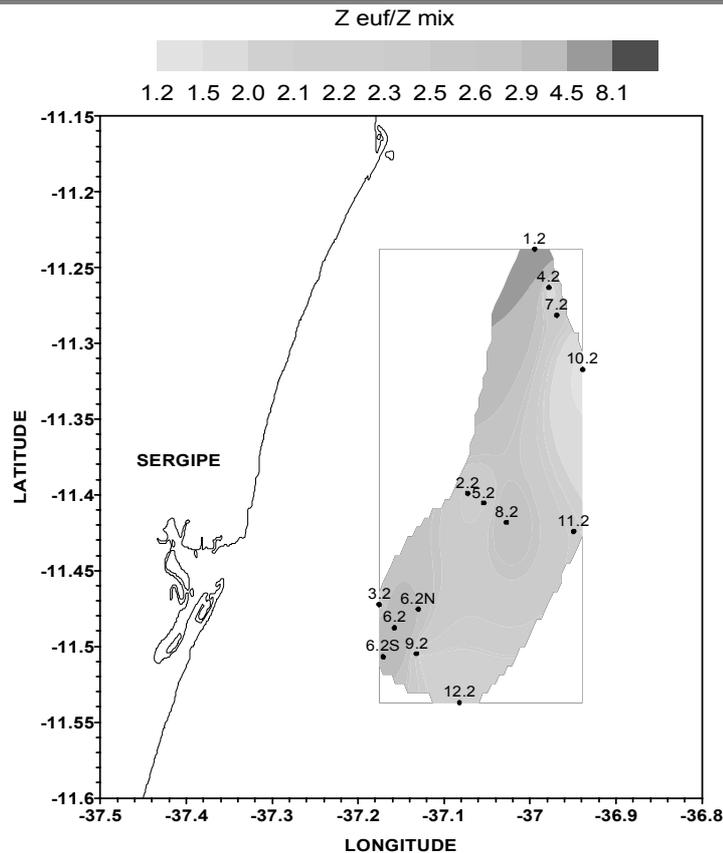
A zona eufótica na área de estudo apresentou sua maior profundidade de extinção de luz em torno de 100 metros na estação 8 e menor profundidade (40 metros) na estação 6.2 (**Figura II.5.1.2-38**). A zona eufótica na zona mais costeira (estações 1, 2 e 3), estendeu-se até cerca de 71 metros de profundidade, registrando-se, entretanto, valores mínimos da ordem de 40 metros nas proximidades das estações 6 e 6S. Para as estações mais oceânicas (10, 11 e 12) a  $Z_{euf}$  média calculada fornece uma profundidade de 73 metros, com valor máximo superior a 100 metros nos contornos da estação 8.



**Figura II.5.1.2- 38** - Distribuição horizontal da espessura da camada eufótica ( $Z_{euf}$ ).

Uma medida importante no estudo da dinâmica das camadas superiores dos oceanos é a relação entre a espessura da zona eufótica e a espessura da região superior bem misturada, ou seja,  $Z_{euf}/Z_{mix}$ . Quanto maior for este quociente, maior será o potencial de produção primária de biomassa via fotossíntese fitoplanctônica, uma vez que haverá maior penetração da radiação de ondas curtas ao longo da espessura bem misturada (**Figura II.5.1.2-39**).

Na área de estudo a relação  $Z_{euf}/Z_{mix}$  apresentou valor médio de 2,8 metros, com um máximo de 8,1 metros para a estação costeira 1, e mínimo de 1,3 metros na estação oceânica 10 (**Figura II.5.1.2-39**).



**Figura II.5.1.2- 39** - Distribuição horizontal da relação entre espessura da camada eufótica e espessura da camada superior bem misturada ( $Z_{euf}/Z_{mix}$ ).

## B) Regime de Correntes

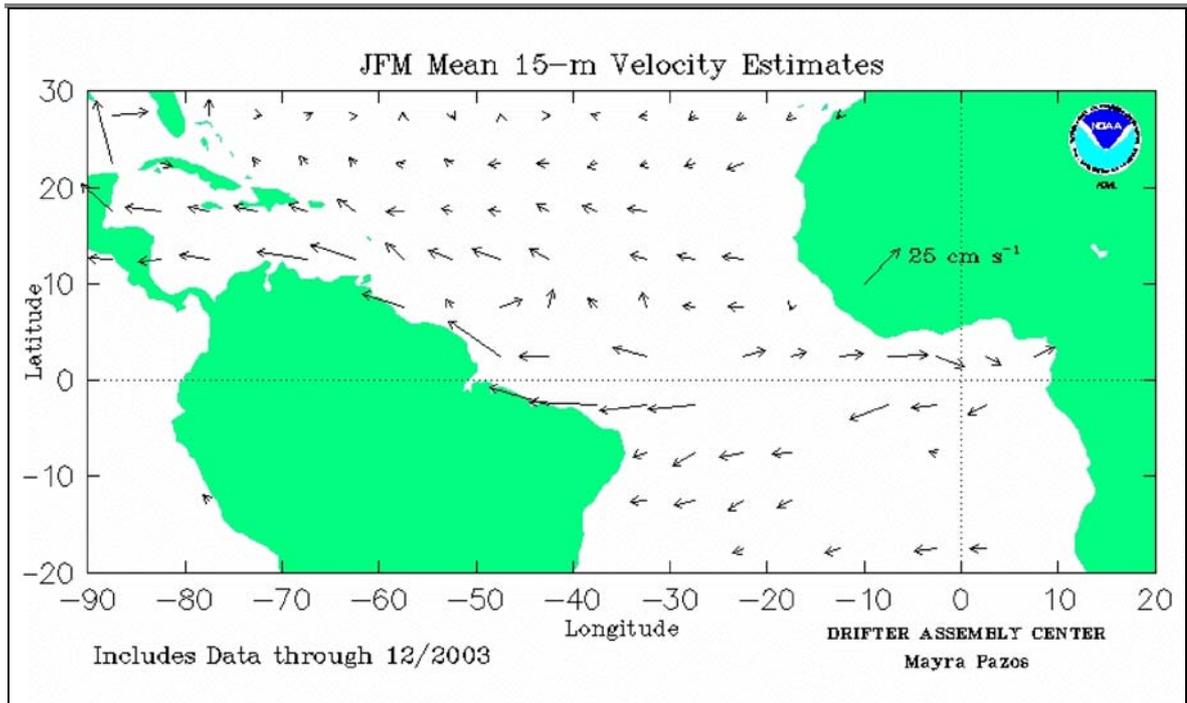
A região de Sergipe e Alagoas está sob a influência da Corrente do Brasil, que faz parte do Giro Subtropical do Atlântico Sul (Peterson & Stramma, 1991). A Corrente do Brasil (CB) é formada a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial, a qual entre as latitudes de 5° a 10° S, divide-se em fluxos com sentidos opostos. Ao norte de 5° S, esse fluxo irá formar a Corrente Norte do Brasil. Ao sul dessa latitude (região na qual está contida o Campo de Piranema), ocorre a formação da Corrente do Brasil.

Entre 10° e 12° S a Corrente do Brasil é rasa, quente e salina sendo formada basicamente pela Água Tropical fluindo junto à quebra da plataforma (que está

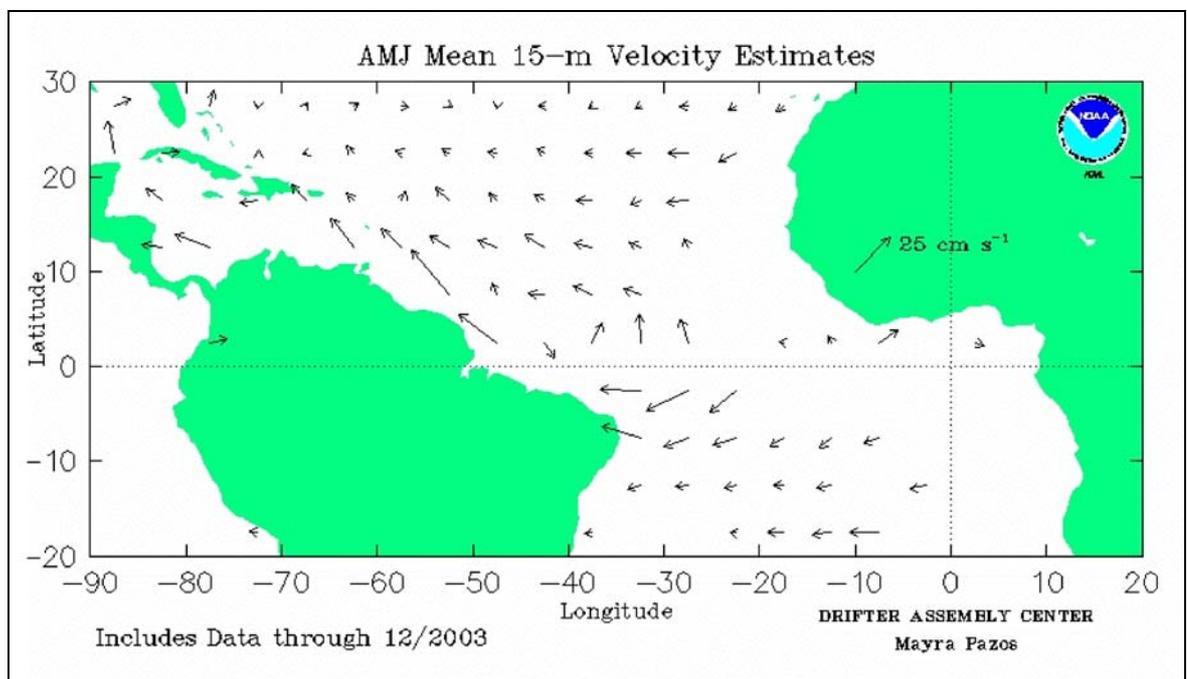
mais próxima à costa) com transporte de 424 m<sup>3</sup>/s. A partir de 12° S, a CB se afasta da costa, acompanhando o alargamento da Plataforma Continental (Silveira *et al*, 2000).

Stramma *et al* (1990), usando dados do Centro Mundial de Dados Oceanográficos (WODC) e um estudo hidrográfico realizado entre as latitudes 7° e 20°S, estimaram os transportes geostroficados da Corrente do Brasil. Foram registrados valores de transportes de 434,6 m<sup>3</sup>/s na região entre as latitudes de 9°S a 13°S e 106 m<sup>3</sup>/s na seção calculada para 10,5°S. As velocidades superficiais calculadas relativas ao nível de movimento nulo foram de 0,31 m/s e 0,19 m/s respectivamente.

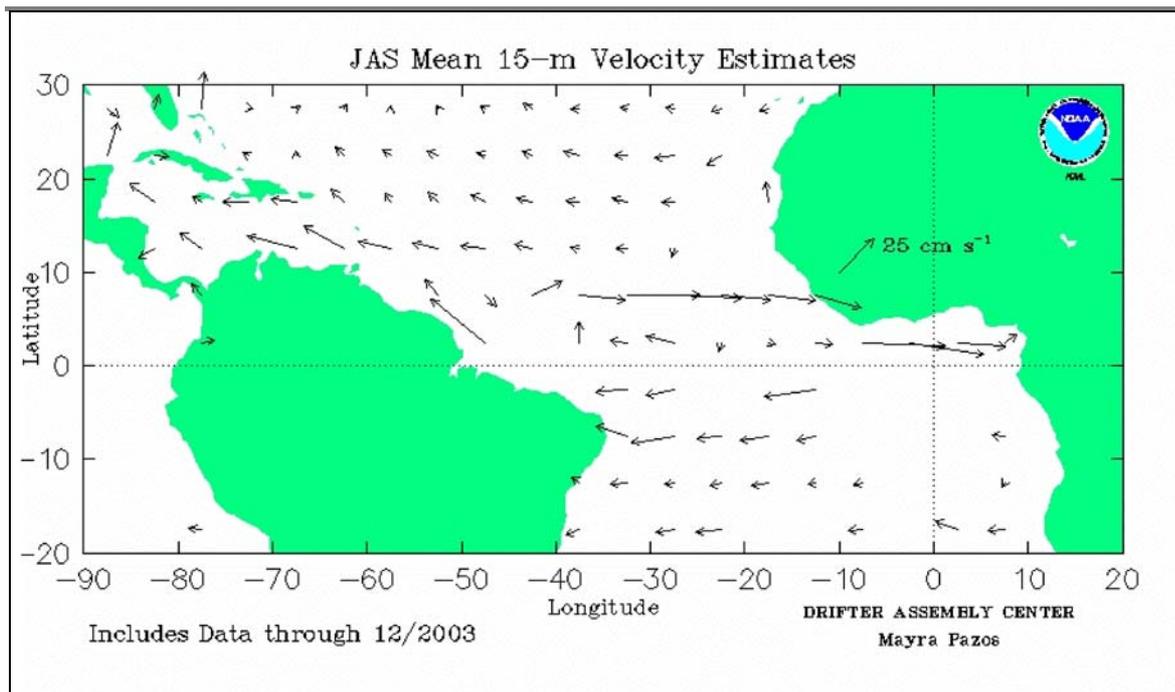
A fim de se realizar uma caracterização sazonal das correntes superficiais, foram utilizados dados obtidos de bóias de deriva, disponibilizados na Internet (<http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/dacdata.html>) pelo Drifting Buoy Data Assembly Center pertencente à NOAA. Os dados de velocidade lagrangeanos são tratados através de diversos métodos de interpolação espacial para fornecer um campo de corrente sazonal médio da região (Hansen & Poulain, 1996). Nas **Figuras II.5.1.2 – 40 a II.5.1.2 – 41** são observadas as médias da velocidade a 15 m obtidas de bóias de deriva.



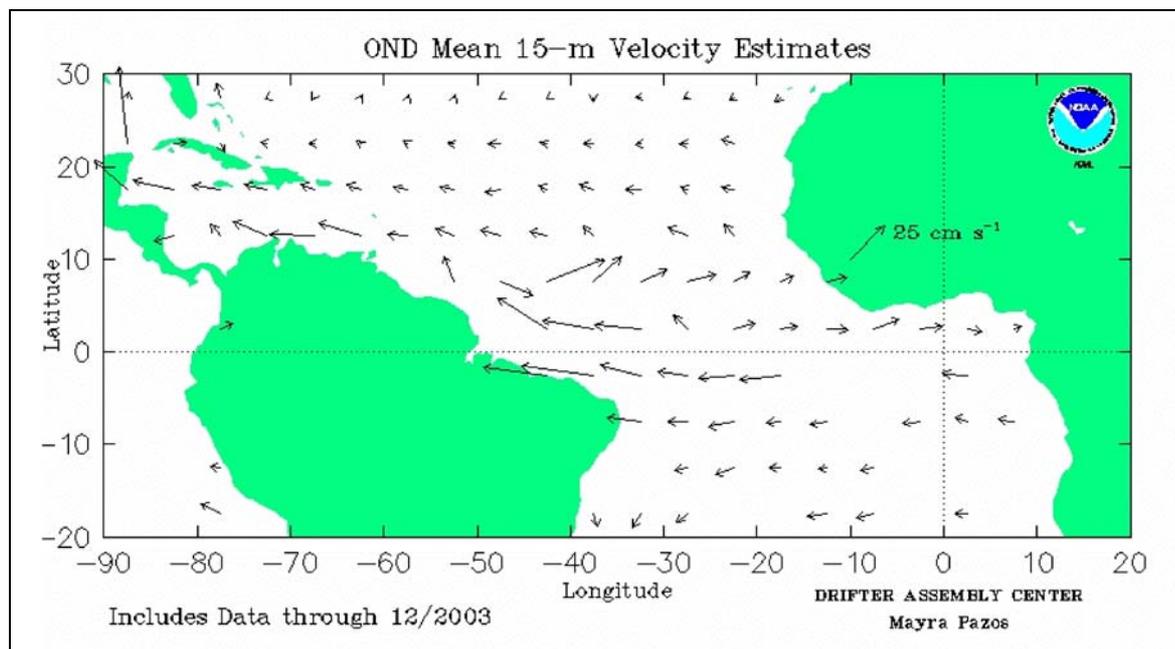
**Figura II.5.1.2- 40** - Média da velocidade a 15 m obtidas de bóias de deriva para os meses de janeiro a março.



**Figura II.5.1.2- 41** - Média da velocidade a 15 m obtidas de bóias de deriva para os meses de abril a junho.



**Figura II.5.1.2- 42** - Média da velocidade a 15 m obtidas de bóias de deriva para os meses de julho a setembro.



**Figura II.5.1.2- 43** - Média da velocidade a 15 m obtidas de bóias de deriva para os meses de outubro a dezembro.

Analisando as figuras, pode-se observar que a corrente em superfície na região do Campo Piranema tem direção variando entre WSW (nos meses de janeiro a junho) e SW (entre julho e dezembro) com intensidade em torno de 0,1 m/s.

Outra fonte de informação de correntes disponível é o conjunto de dados do projeto Ocean Data Assimilation Experiments do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – GFDL, da Universidade de Princeton, que disponibiliza resultados globais obtidos pelo modelo Modular Ocean Model – MOM, com resolução espacial de  $1^\circ \times 1^\circ$ , entre as latitudes de  $90^\circ$  S a  $10^\circ$  S e entre  $10^\circ$  N e  $90^\circ$  N. Na região entre  $10^\circ$  S e  $10^\circ$  N, a resolução espacial é de  $1/3^\circ$  (~36 km) em latitude e de  $1^\circ$  em longitude. Essa base constitui um banco de dados de 20 anos dos resultados do MOM, com médias mensais de vários parâmetros (entre eles temperatura, salinidade, componentes u e v da velocidade) em 40 níveis (da superfície a 4.400 m).

Os resultados disponibilizados na Internet (<http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/assimilation.html>) são fruto de experimentos conduzidos por várias instituições americanas, sendo um dos seus objetivos a geração de dados para inicialização de modelos numéricos. Os detalhes a respeito desses experimentos podem ser encontrados na página da Internet (<http://www.gfdl.noaa.gov/~mh2/IRI-ARCS/>). Nas **Figuras II.5.1.2.44 a II.5.1.2.48** são apresentadas as médias dos vinte anos de 5 níveis ao longo da coluna d'água.

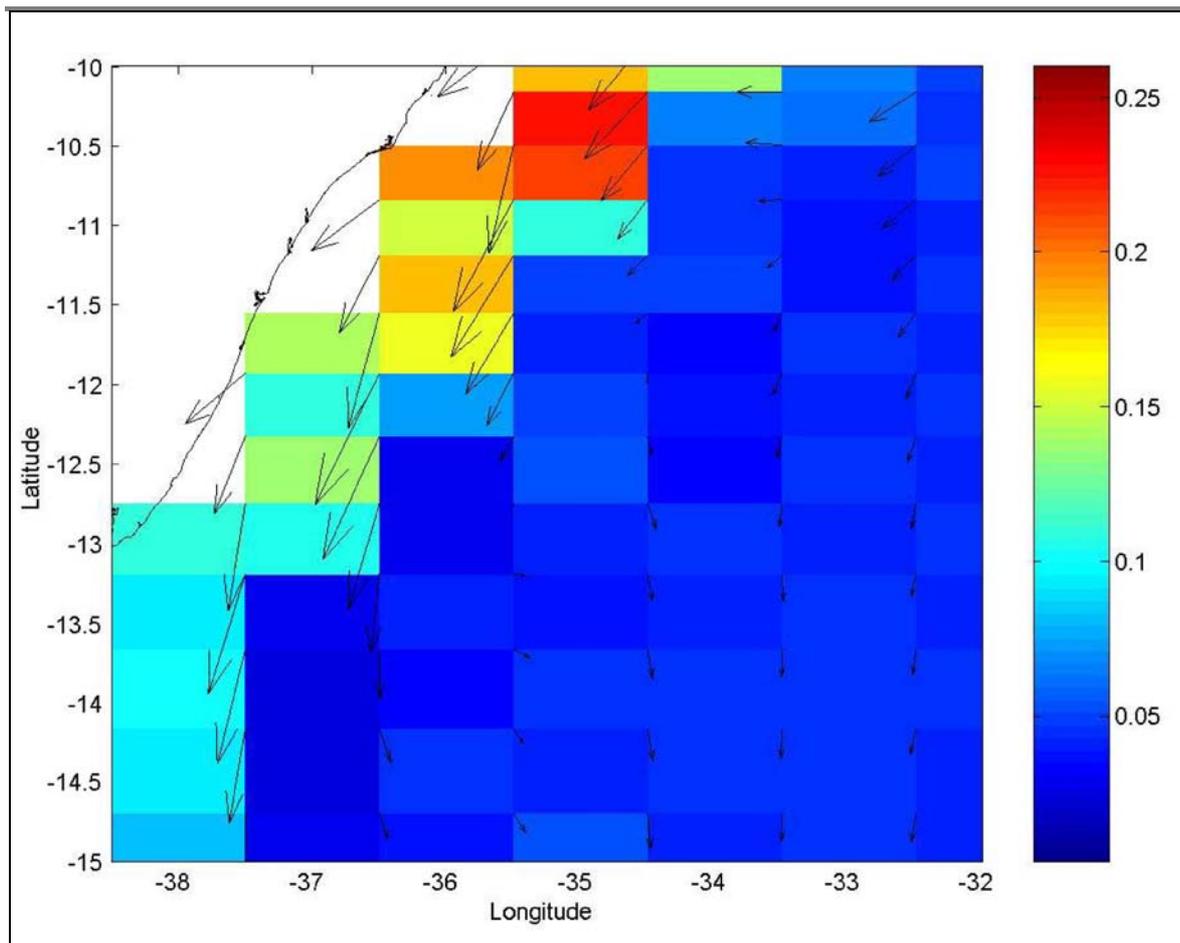
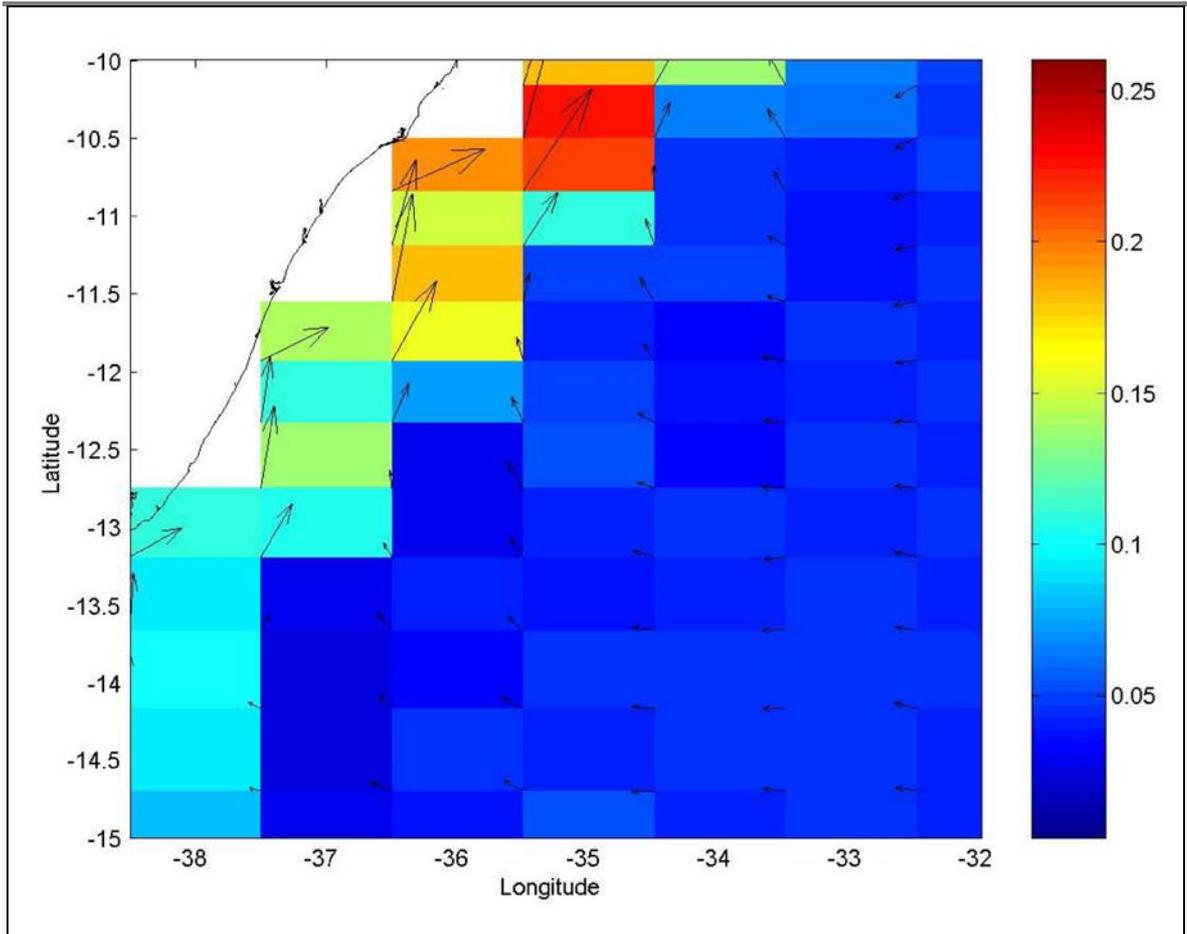
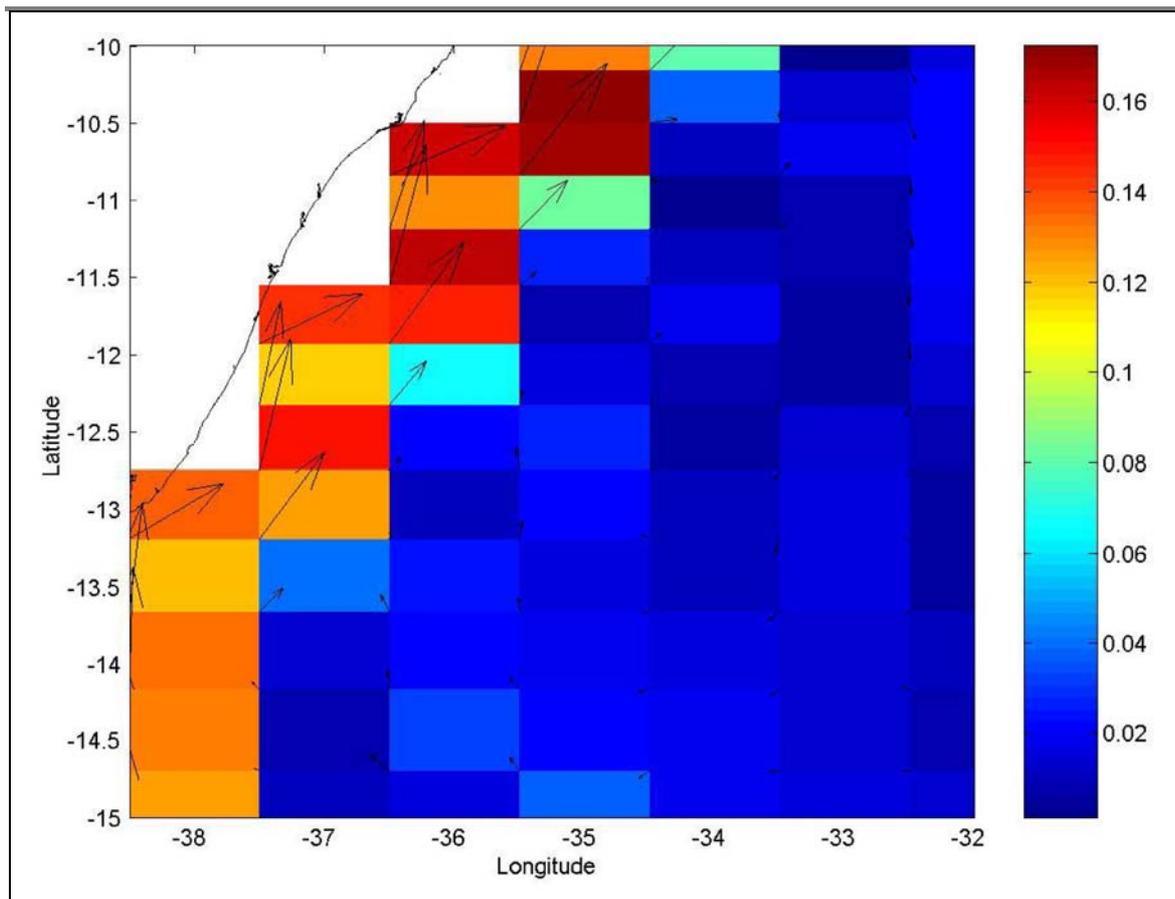


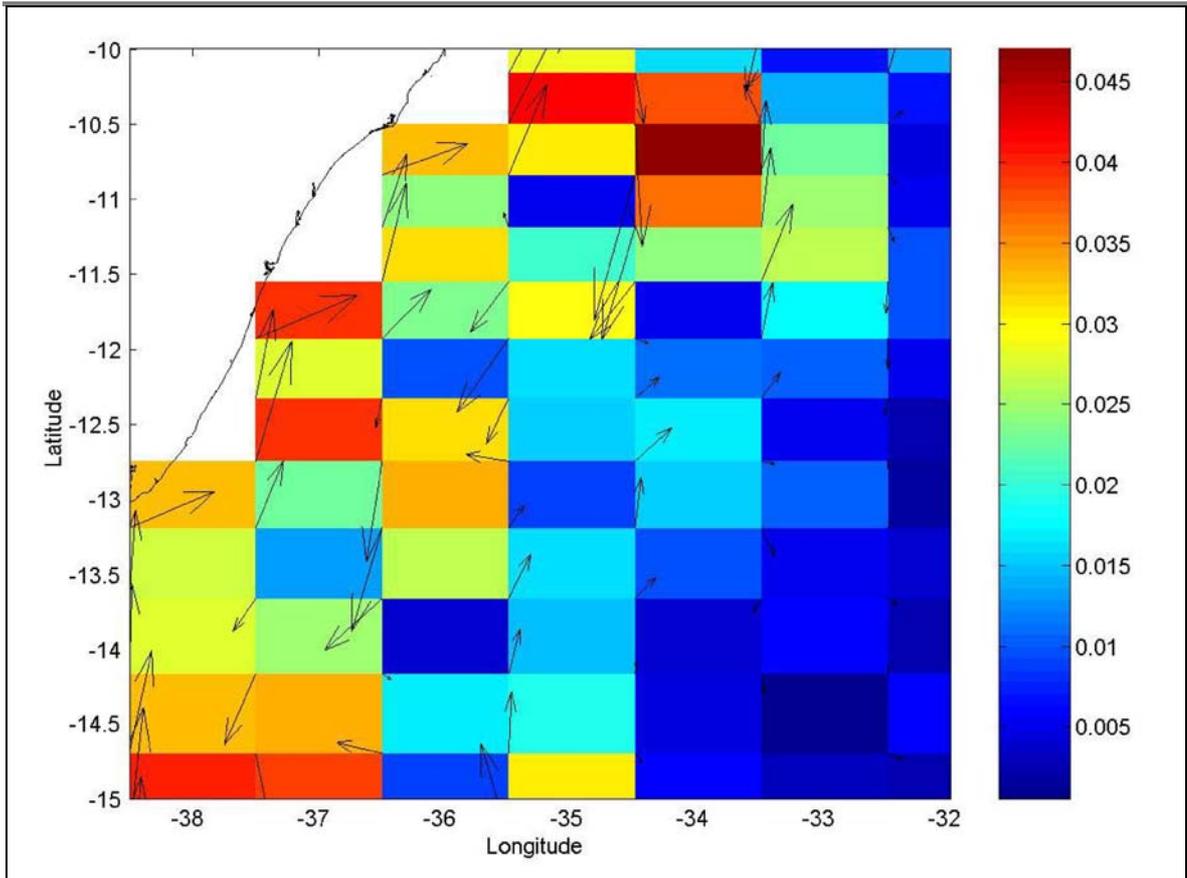
Figura II.5.1.2- 44 - Média dos vinte anos da velocidade (m/s) a 5 m obtidas pelo MOM.



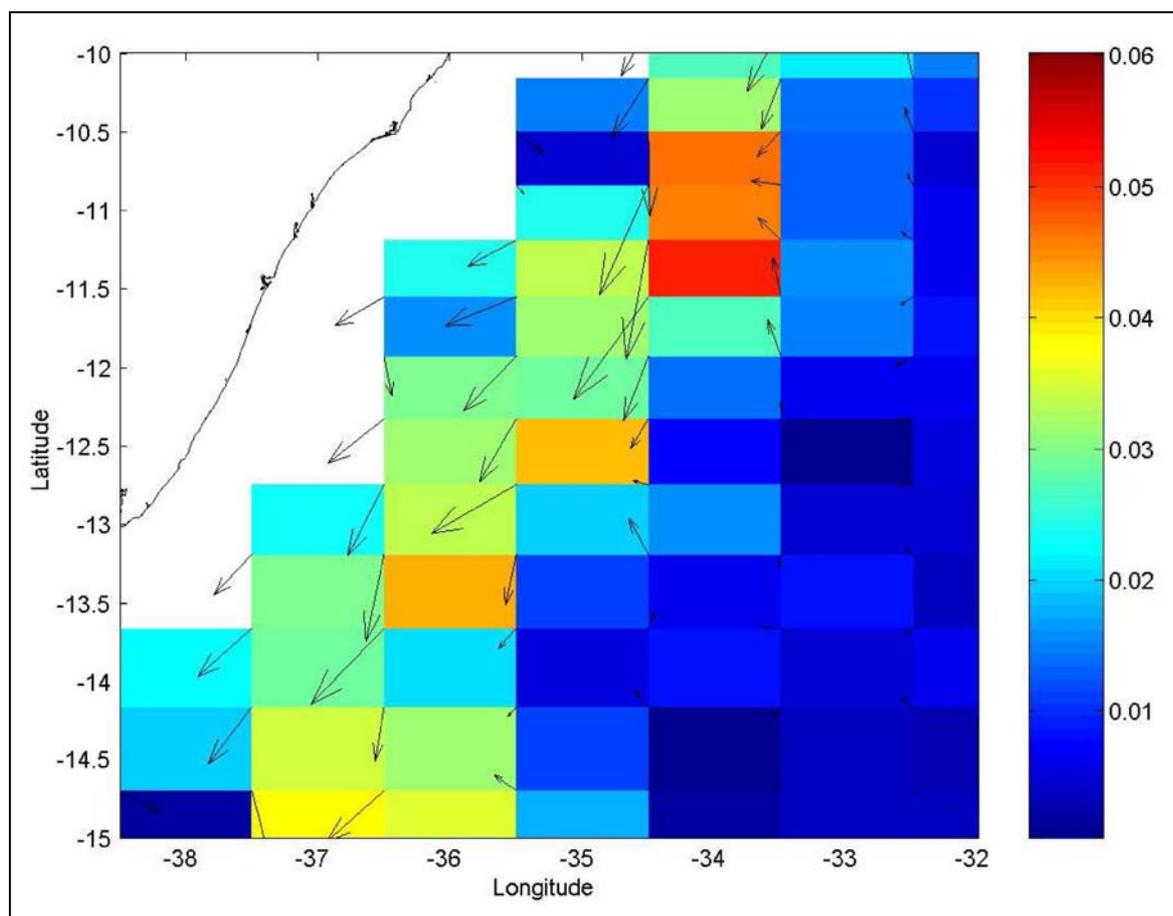
**Figura II.5.1.2- 45 - Média dos vinte anos da velocidade (m/s) a 200 m obtidas pelo MOM.**



**Figura II.5.1.2- 46** - Média dos vinte anos da velocidade (m/s) a 500 m obtidas pelo MOM.



**Figura II.5.1.2- 47 - Média dos vinte anos da velocidade (m/s) a 1000 m obtidas pelo MOM.**



**Figura II.5.1.2- 48** - Média dos vinte anos da velocidade (m/s) a 2000 m obtidas pelo MOM.

Os dados médios do MOM em superfície são coerentes com os de bóia de deriva, apresentando velocidades em torno de 0,15 m/s e direção SW. A partir de 200 m de profundidade, a corrente inverte de sentido e no nível de 500 m apresenta a máxima velocidade associada a essa direção. Essa corrente está associada ao fluxo da Água Intermediária Antártica que possui direção NE e está presente em profundidades entre 300 e 800 m nessa região. Em 1000 m, a corrente é praticamente nula, voltando a inverter o sentido a partir dessa profundidade, atingindo valores máximos em cerca de 2000 m de profundidade. Esse fluxo profundo está associado ao transporte da Água Profunda do Atlântico Norte, que possui direção SW nessa região.

### **C) Regime de Ondas**

A caracterização da climatologia de ondas de uma região depende da extensão do período de coleta de dados. Esta deve ser suficiente para abranger uma parcela significativa das condições meteo-oceanográficas locais e de possíveis áreas de geração de tempestades e ondulações externas.

No Brasil, poucas são as campanhas de medição que se estendem por longos períodos, ficando as mesmas restritas à duração do motivo da medição, como no caso do desenvolvimento de obras de engenharia costeira.

Além disso, a grande maioria das coletas se dá em pontos de pequena profundidade, o que pode alterar as características primárias das ondas, impedindo a extrapolação dos resultados para pontos próximos. Como forma de minimizar a falta de dados, a modelagem numérica tem sido largamente empregada, pois permite obter uma boa estimativa do clima de ondas em águas profundas.

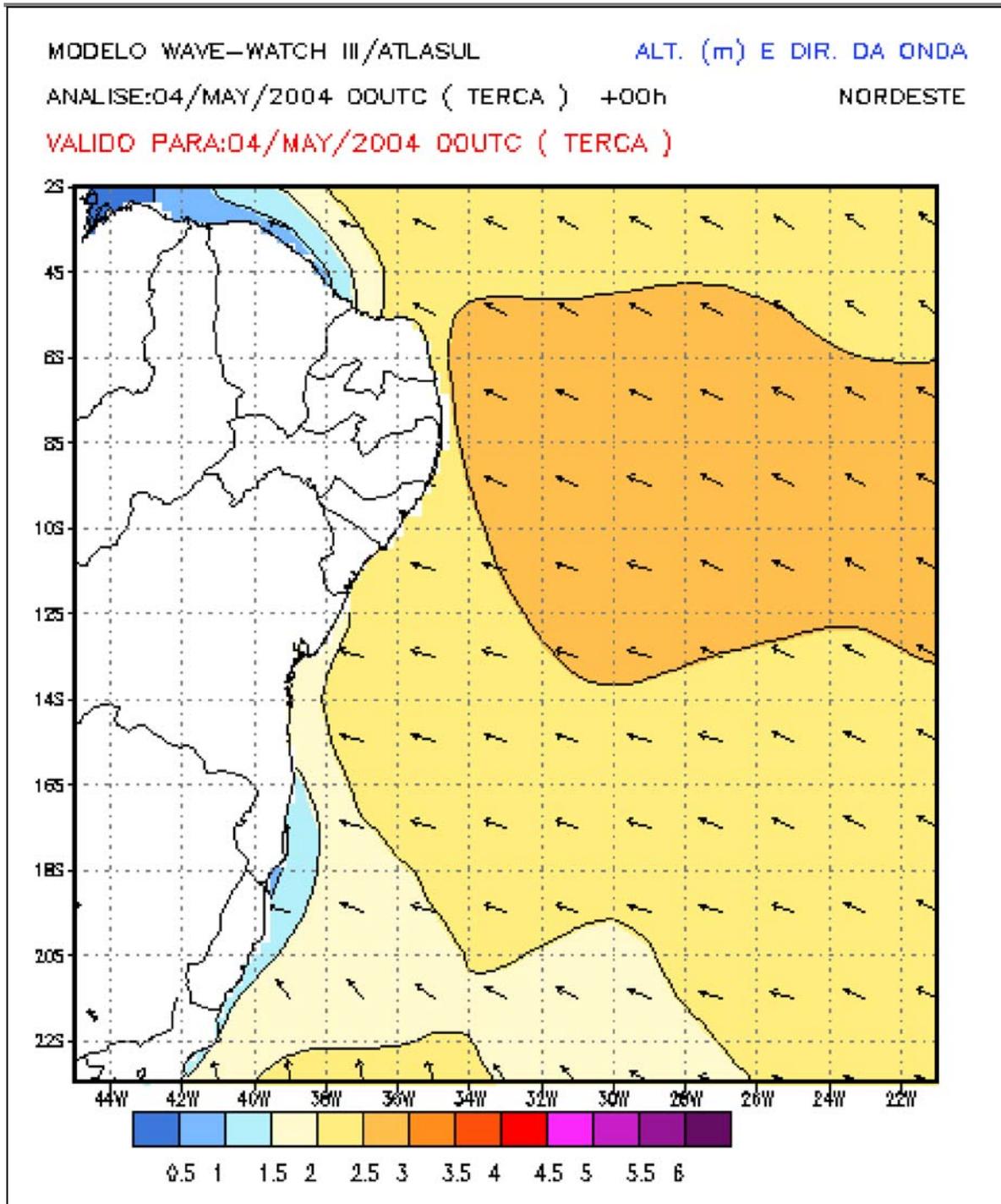
Na descrição abaixo serão utilizados alguns termos como vaga, marulho, mar local, mar quase local e swell. Entende-se por vaga, a onda que ainda está sofrendo influência do vento que a gerou. Em outras palavras, ainda está em sua área de geração. Os marulhos ou swell são aquelas ondas que não mais estão sob a influência do vento que as gerou. Um mar local é caracterizado pelas ondas que estão sendo geradas pelo vento local (vagas). O termo quase local é utilizado quando a distância entre a pista do vento e a região observada não é grande o suficiente para que ocorra segregação das ondas, do mesmo modo que pode ser visto num marulho, nem tão pequena, que se assemelhe a mar local, onde ainda há a presença do vento gerador das ondas e nota-se um estado de mar bastante complexo.

A caracterização dos estados de mar pode ser feita em função de três parâmetros: altura significativa ( $H_s$ ), direção e período de pico ( $T_p$ ). A altura

significativa é uma medida estatística, obtida dividindo-se o registro de ondas em três partes iguais e fazendo-se uma média da parte onde estejam as maiores alturas. Corresponde, aproximadamente, à altura relatada por um observador experiente, no caso de um marulho. A direção é o rumo seguido pela onda significativa e a frequência de pico ( $f_p$ ) é aquela na qual a maior quantidade de energia da ondulação está concentrada. O período de pico é o inverso da frequência ( $T_p=1/f_p$ ).

Outra forma de caracterização do mar é o espectro de potência, onde a análise é realizada no domínio da frequência, determinando-se a parcela de energia existente em cada período ou frequência componente do sinal de elevação da superfície do mar.

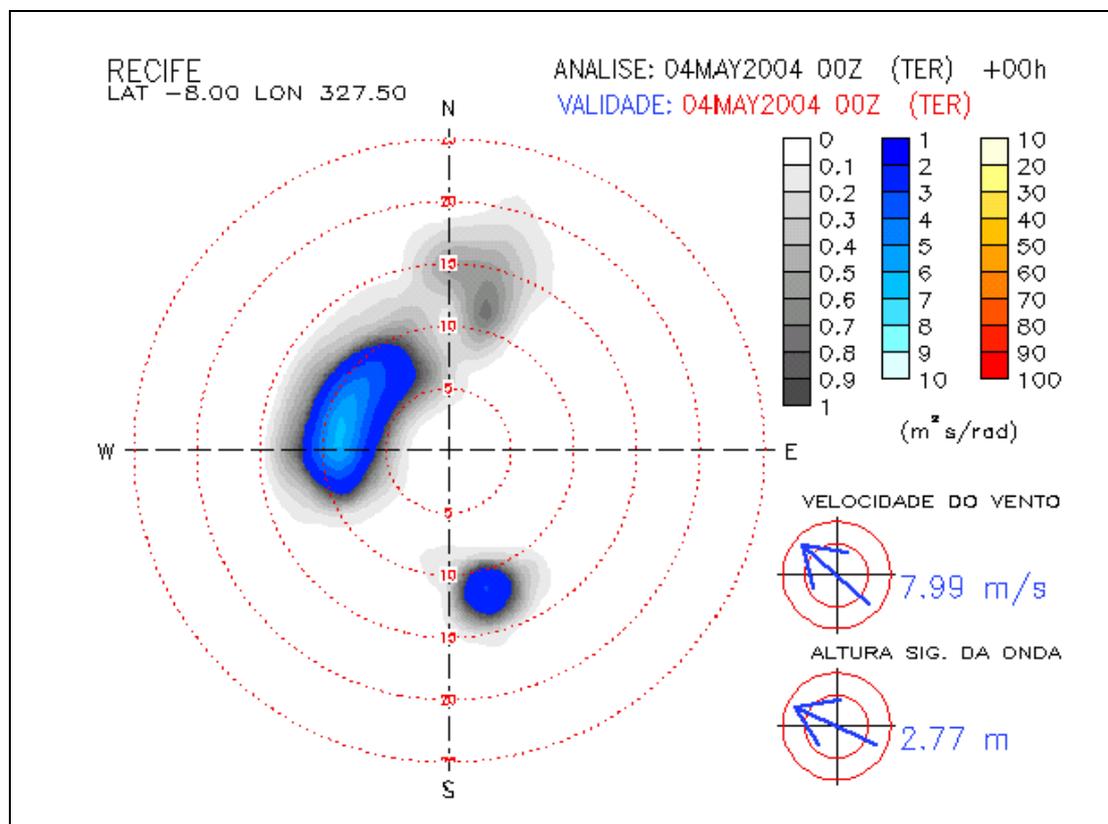
Devido à sua localização, a área em estudo tem seu regime de ondas, basicamente, devido a ondulações com formação local, do tipo vaga ou wind-sea, com direção principal SE, podendo a altura significativa chegar a 2,5 m, com período de pico entre 7 e 9 s, como exemplificado na **Figura II.5.1.2.49**.



**Figura II.5.1.2- 49** - Campos de ondas para a costa leste/nordeste do Brasil referente ao dia 04 de maio de 2004.

Na **Figura II.5.1.2-50**, é possível observar presença de um mar trimodal, com boa parte da energia concentrada em vagas, com direção SE e período de pico

entre 7 e 8 s, além de marulhos de S, com período de pico de 11/12 s, e NW, com período de 12s.



**Figura II.5.1.2- 50** - Distribuição espectral de energia de ondas para a região nordeste. A representação está em função do rumo da onda, ou seja, para onde as mesmas se propagam.

Fonte : Projeto Atlasul ([www.atlasul.ufrj.br](http://www.atlasul.ufrj.br))

Em situações extremas, um marulho gerado na região sudeste pode chegar à área. Um exemplo dessa situação foi descrito por Candella *et al* (1999), onde, em 1997, um ciclone extratropical gerou ondas com períodos de pico de 11/12 s e altura significativa da ordem de 1,5/2,0 m que alcançaram o litoral nordeste com direção de propagação SSE.

Algumas medições foram realizadas pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH) em setembro de 1965 a setembro de 1966 (SERGIORTOS, 1986) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidráulicas entre janeiro de 1984 e janeiro de 1986 (PLANAVE, 1992), em

profundidades entre 10 e 20 m. Tais lâminas d'água podem ser consideradas intermediárias para ondas com períodos maiores que 5 s, o que significa dizer que suas características, como direção e altura, já foram afetadas pela batimetria.

Ainda assim, os resultados concordam com a análise procedida a partir da modelagem numérica, indicando direção preferencial entre E-SSE, períodos de 4 a 15 s e altura significativa de até 3 m.

#### D) Regime de Marés

Para melhor caracterizar o comportamento da maré na região, foram selecionados dois conjuntos de constantes harmônicas do Catálogo de Estações Maregráficas da Costa Brasileira (FEMAR, 2000): o primeiro é referente ao Porto de Aracajú, localizado nas coordenadas 10° 54,1' S e 036° 02,9' W (**Quadro II.5.1.2 - 1**); o segundo na posição de uma plataforma de petróleo localizada nas coordenadas 11° 00,0' S e 36° 59,06' W (**Quadro II.5.1.2 - 2**).

Convém ressaltar que, ao contrário das ondas superficiais de gravidade geradas pelo vento, a nomenclatura usual para maré considera amplitude a distância entre a crista e o cavado.

#### Quadro II.5.1.2 - 1 - Constantes harmônicas para o porto de Aracajú.

Fonte: FEMAR, 2000.

| Componentes    | Semi-amplitude (cm) | Fase (°) | Componentes     | Semi-amplitude (cm) | Fase (°) |
|----------------|---------------------|----------|-----------------|---------------------|----------|
| As             | -                   | -        | MU <sub>2</sub> | 1,8                 | 193      |
| Ssa            | -                   | -        | M <sub>2</sub>  | 11,0                | 113      |
| Mm             | 1,4                 | 298      | NU <sub>2</sub> | 2,1                 | 113      |
| Mf             | -                   | -        | M <sub>2</sub>  | 70,5                | 121      |
| MTM            | -                   | -        | L <sub>2</sub>  | 1,5                 | 146      |
| Msf            | 6,2                 | 082      | T <sub>2</sub>  | 1,4                 | 134      |
| Q <sub>1</sub> | 2,1                 | 088      | S <sub>2</sub>  | 24,1                | 134      |
| O <sub>1</sub> | 6,0                 | 139      | K <sub>2</sub>  | 6,6                 | 134      |
| M <sub>1</sub> | 0,3                 | 199      | MO <sub>3</sub> | 1,3                 | 128      |
| P <sub>1</sub> | 1,4                 | 225      | M <sub>3</sub>  | 1,2                 | 093      |
| K <sub>1</sub> | 4,3                 | 225      | MK <sub>3</sub> | 1,3                 | 261      |
| J1             | 0,8                 | 326      | MN <sub>4</sub> | 1,1                 | 114      |
| O1             | 1,6                 | 000      | M <sub>4</sub>  | 3,6                 | 095      |
| MNS2           | -                   | -        | SN <sub>4</sub> | 0,6                 | 137      |
| 2N2            | 41,5                | 104      | MS <sub>4</sub> | 2,7                 | 103      |

**Quadro II.5.1.2 - 2 – Constantes harmônicas para a plataforma de petróleo.**

Fonte: FEMAR, 2000.

| Componentes    | Semi-amplitude (cm) | Fase (°) | Componentes     | Semi-amplitude (cm) | Fase (°) |
|----------------|---------------------|----------|-----------------|---------------------|----------|
| Sa             | -                   | -        | <sup>MU</sup> 2 | 0,4                 | 125      |
| Ssa            | -                   | -        | <sup>M</sup> 2  | 17,5                | 064      |
| Mm             | 3,8                 | 014      | <sup>NU</sup> 2 | 3,3                 | 068      |
| Mf             | -                   | -        | <sup>M</sup> 2  | 66,8                | 090      |
| MTM            | 0,4                 | -        | <sup>L</sup> 2  | 3,6                 | 195      |
| Msf            | 6,4                 | 274      | <sup>T</sup> 2  | 1,8                 | 098      |
| <sup>O</sup> 1 | 2,7                 | 215      | <sup>S</sup> 2  | 30,9                | 098      |
| <sup>O</sup> 1 | 5,7                 | 110      | <sup>K</sup> 2  | 8,4                 | 099      |
| <sup>M</sup> 1 | 0,7                 | 124      | <sup>MO</sup> 3 | 1,2                 | 136      |
| <sup>P</sup> 1 | 1,4                 | 147      | <sup>M</sup> 3  | 0,8                 | 056      |
| <sup>K</sup> 1 | 4,1                 | 197      | <sup>MK</sup> 3 | 0,5                 | 129      |
| J1             | 2,2                 | 203      | <sup>MN</sup> 4 | 0,4                 | 152      |
| O1             | 1,4                 | 010      | <sup>M</sup> 4  | 0,9                 | 120      |
| MNS2           | 4,2                 | 337      | <sup>SN</sup> 4 | 0,3                 | 203      |
| 2N2            | 2,3                 | 038      | <sup>MS</sup> 4 | 1,0                 | 266      |

Pode-se classificar a maré quanto ao seu período, ou seja, determinar se ela é diurna, semidiurna, mista com predominância diurna ou mista com predominância semidiurna (Pond & Pickard, 1978). Para tanto, utiliza-se a amplitude das principais componentes diurnas e semidiurnas, sendo

$$F = \frac{K_1 + O1}{M_2 + S_2}, \text{ Se :}$$

F = 0 a 0,25: Maré semidiurna, ou seja, a maré cujo período é de aproximadamente 12 horas. Nesse caso, têm-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas.

F = 0,25 a 1,5: Maré mista, principalmente semidiurna, ou seja, é, na maioria das vezes, semidiurna, podendo ser diurna em algumas épocas do ano.

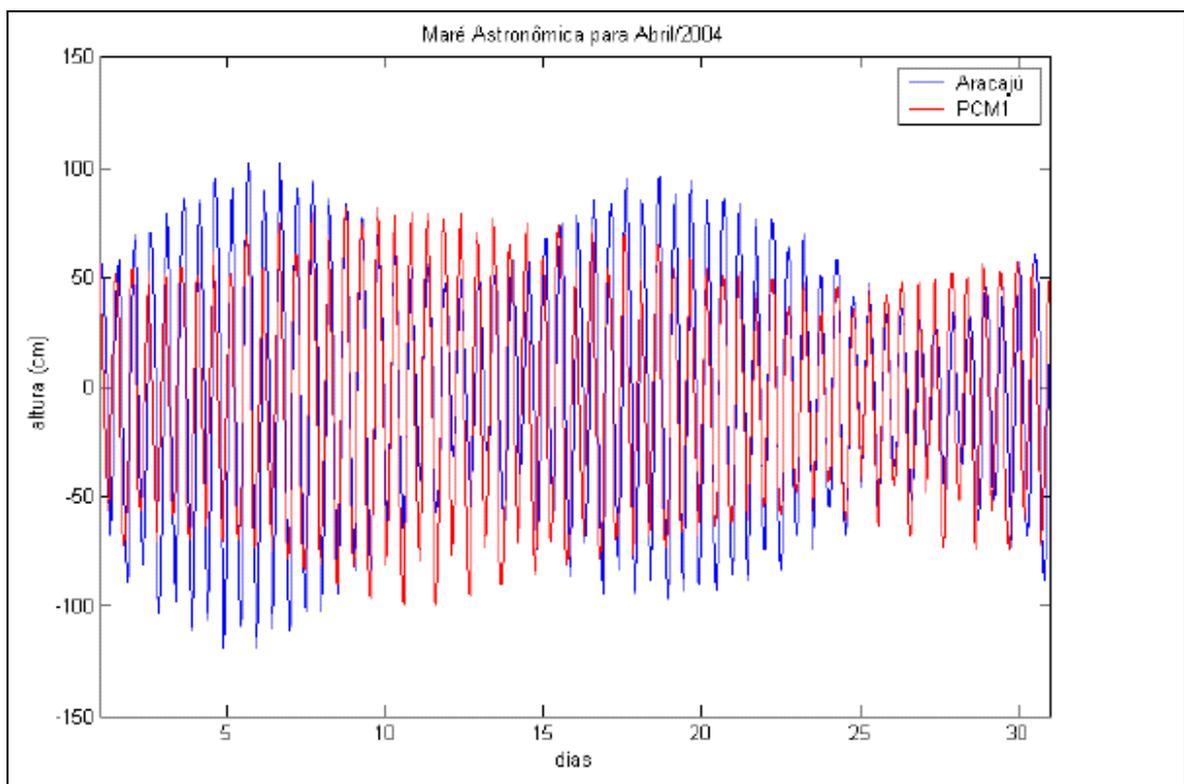
F = 1,5 a 3,0: Maré mista, principalmente diurna, ou seja, é, na maioria das vezes, diurna, podendo ser semidiurna em algumas épocas do ano.

$F > 3,0$ : Maré diurna, ou seja, a maré cujo período é de 24 horas aproximadamente. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas. De acordo com essa classificação, tem-se:

$$F_A = \frac{4,3 + 6,0}{70,5 + 24,1} = 0,109 \quad \text{e} \quad F_P = \frac{4,1 + 5,7}{17,5 + 30,9} = 0,202$$

para o porto de Aracajú e o ponto da plataforma PCM-1, respectivamente, o que significa dizer que ambas são semidiurnas.

Na **Figura II.5.1.2.51** estão representadas as marés astronômicas para os 2 pontos, referentes ao mês de abril de 2004, calculadas com a utilização das constantes harmônicas mencionadas.



**Figura II.5.1.2- 51** - Série temporal de maré para o porto de Aracajú e o ponto da plataforma PCM-1.

Notam-se diferenças, tanto em altura, quanto em fase, causadas não só pela distância entre os pontos, como também pela influência do fundo, já que a

primeira estação maregráfica está localizada na costa, onde a onda de maré é amplificada, e a segunda em água profunda.

### ***E) Caracterização de Condições Extremas***

Em situações extraordinárias, com períodos de ocorrência em torno de dez anos (Candella, 1997), ocorrem grandes tempestades de SE relacionadas a ciclones extratropicais, que podem alcançar a região nordeste, como a ocorrida em maio/junho de 1997. As alturas significativas máximas de ondas modeladas nessa tempestade chegaram a 2,0 m e o período de pico a 11s. Habitualmente, os meses de maio e junho apresentam as tempestades de maior intensidade durante o ano, porém, pela ausência de medições sistemáticas de ondas nesta região, não é possível avaliar a variação interanual da intensidade dessas tempestades e, conseqüentemente, os períodos de recorrência dos eventos extremos.

A análise dos ventos dessa região mostra que o período de ventos mais intensos é entre maio e novembro, com pico em agosto.

Portanto, pode-se sugerir, em uma primeira aproximação, que o período com maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos na região situa-se entre os meses de maio a agosto.

---

## Conclusões

Inicialmente, a análise do diagrama T-S, gerado a partir dos valores de temperatura e salinidade coletados na área em estudo, permite identificar a presença das seguintes massas d'água, com suas respectivas profundidades limite: Água Tropical (0–150 m), Água Central do Atlântico Sul (150–800 m) e Água Intermediária da Antártica (encontrada abaixo 800 m).

As distribuições horizontais de temperatura, salinidade e densidade indicam situações de relativa homogeneidade, com temperaturas superficiais mais elevadas e temperaturas de fundo mais frias nas estações mais oceânicas. Os perfis verticais de salinidade acusaram sistematicamente a existência de uma camada sub-superficial mais salina (Água de Máxima Salinidade - AMS), situada entre 80 e 150 metros de profundidade.

Em relação ao regime de correntes observa-se que a corrente em superfície na região do Campo Piranema tem direção variando entre WSW (nos meses de janeiro a junho) e SW (entre julho e dezembro) com intensidade em torno de 0,1 m/s.

A área em estudo tem seu regime de ondas, basicamente, devido a ondulações com formação local, do tipo vaga ou wind-sea, com direção principal SE, podendo a altura significativa chegar a 2,5 m, com período de pico entre 7 e 9s.

Em relação ao regime de marés, a área em estudo é caracterizada por apresentar marés semidiurnas, ou seja, marés cujo período é de aproximadamente 12 horas. Nesse caso, têm-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas.

A análise dos ventos da região em estudo mostra que o período de ventos mais intensos é entre maio e novembro, com pico em agosto, sendo, portanto, neste período maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos.