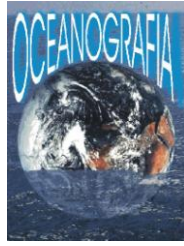




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANTONIO VASCONCELOS NOGUEIRA NETO

CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E  
OCORRÊNCIA DE MASSAS D'ÁGUA DURANTE ALTA  
DESCARGA NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO  
AMAZONAS (MAIO DE 1999)

GEOCIÊNCIAS  
U F P A

BELÉM-PARÁ  
Janeiro – 2011

ANTONIO VASCONCELOS NOGUEIRA NETO

CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E  
OCORRÊNCIA DE MASSAS D'ÁGUA DURANTE ALTA  
DESCARGA NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO  
AMAZONAS (MAIO DE 1999)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Oceanografia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará –  
UFPA, em cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.  
Orientador: Prof. Dr. Maâmar El-Robrini

Belém  
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

N778c Nogueira Neto, Antonio Vasconcelos

Caracterização dos parâmetros físicos e ocorrência de massas d'água durante alta descarga na Plataforma Continental do Amazonas (maio de 1999) / Antonio Vasconcelos Nogueira Neto; Orientador: Maamar El-Robrini – 2010

49 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Oceanografia. 2. Massas d'água. 3. Plataforma Continental do Amazonas. I. El-Robrini, Maamar, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.46098113

---

ANTONIO VASCONCELOS NOGUEIRA NETO

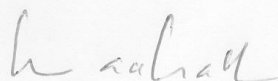
CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E  
OCORRÊNCIA DE MASSAS D'ÁGUA DURANTE ALTA  
DESCARGA NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO  
AMAZONAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências  
da Universidade Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para obtenção do grau de  
Bacharel em Oceanografia.

Data de aprovação: 24/01/11


Conceito: BOM

Banca examinadora:



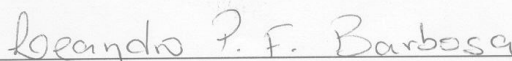
---

Prof. Dr. Maâmar El-ROBRINI – Orientador  
Doutor em Geologia Marinha  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Dr. Marcelo ROLLNIC – Membro  
Doutor em Oceanografia  
Universidade Federal do Pará



---

MSc. Leandro Patrick Ferreira Barbosa – Membro  
Mestre em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará

**Dedico à minha família que sempre me apoiou  
e a todas as pessoas que me ajudaram e me  
aconselharam quando precisei.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus em quem mais confio na vida e que, com certeza, esteve sempre comigo nesta jornada.

Aos meus pais, Carlos Alberto e Jandira Lúcia, e minha irmã, Viviana Nogueira pelo apoio e compreensão nas minhas ausências do convívio familiar, durante as viagens do curso, muitas vezes em datas importantes.

Ao professor Maâmar El-Robrini pela orientação e diversas oportunidades de aprendizado nos últimos anos.

Aos integrantes do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) pelo apoio e ajuda sempre que precisei e pelos bons momentos de convivência nas coletas e no dia-a-dia. Em especial Isaac Salém, Cristiane Bezerra e Bruno (Brunofórmio)

À oceanógrafa Sury Monteiro (Surilene) por toda força, incentivo, ensinamentos e ajuda durante o curso e neste trabalho.

Ao memorável colega Charles Carvalho, que sempre estava disposto a ajudar no processamento de dados. Que você já esteja em um bom lugar, junto de Deus!

A todos os amigos da turma oceanografia 2007, pela companhia, parceria, ajuda e troca de experiências durante o curso. Em especial, Marcus Vinícius (Malandro), Raphael Simão, Ernan Raiol (Be Happy), Gabriela Padilha e Fábio Watanabe (Japa) com quem mais convivi e passei bons momentos.

A minha prima Patrícia por sempre acreditar em mim e me dar força pra seguir me frente com fé em Deus e cabeça erguida.

Não dá pra esquecer a Paulinha que modificou meu nome no curso e, direta ou indiretamente, junto com o Edu, Sury, Aderson, Maura, entre outros, me fez sentir orgulho da oceanografia da Amazônia.

A beira do rio Guamá na UFPA onde várias vezes, descansei depois do almoço ou antes das aulas, e onde conheci pessoas legais.

A todos os meus familiares, professores e outras pessoas que de alguma forma me incentivavam e contribuíram para a minha formação e realização deste trabalho.

\_ E essa maré não pára...  
\_ É... Mal enche e já vaza!  
(conversa de amigos em frente ao mar)

## RESUMO

Mostra a ocorrência de massas de água na Plataforma Continental do Amazonas (PCA), a partir de dados hidrográficos coletados durante a Operação Norte III do Programa REVIZEE, no período de máxima descarga do rio Amazonas, a bordo do Navio Oceanográfico "ANTARES". Os dados de temperatura e salinidade analisados foram coletados através de CTD Sea-Bird, modelo SBE9 e, em laboratório, foram confeccionados mapas de distribuição horizontal e vertical de temperatura e salinidade com auxílio do Surfer 8.0 e do Excel para confecção do diagrama T-S. A salinidade foi o parâmetro que apresentou maior variação e foi determinante para a caracterização da pluma e das massas d'água. A pluma do Amazonas alcançou a distância de 220 Km da costa em frente a foz do rio e se estreita para NW, mantendo uma espessura constante em torno de 18m. Foram identificadas e caracterizadas três massas d'água: Água Costeira (AC), Água de Mistura (AM) e Água Tropical (AT). A forte presença de AC na PCA é atribuída ao pico de máxima descarga do rio Amazonas relacionado com fatores meteorológicos importantes que causam chuvas na região e aumentam a vazão do rio como a Zona de Convergência Intertropical e período de La Niña.

Palavras-Chave: Oceanografia. Massas d'água. Plataforma Continental do Amazonas. Rio Amazonas.



## **ABSTRACT**

This research presents the behavior of the Amazon River plume and the distribution of water masses in Amazon Continental Shelf through hydrographic data collected in North III Operation of REVIZEE Program, in Amazon river maximum discharge period, on board of "ANTARES" Oceanographic Ship. The temperature and salinity data analyzed in this research was collected from CTD Sea-Bird, model SBE9 and, in laboratory, was constructed the maps of horizontal and vertical distribution with the Surfer 8.0 software and Excel for the T-S diagram. The salinity was the parameter that presented the major variation and that determined the characteristics of plume and water masses. From the data analyzed it was possible to observe that the amazon river plume reaches more than 220km wide in front of the river mouth and narrow to northwestward, keeping 18 m thickness almost constant. Was identified and characterized three water masses: Costal Water (CW), Mixed Water (MW) and Tropical Water (TW). The results proved that the strong presence of CW in this region justified by the maximum discharge period of the river and its relationship with other importants meteorological factors that increase rainfall and the river outflow, for example, the Intertropical Convergence Zone and La Niña periods.

Key words: Oceanography. Water Masses. Amazon Continental Shelf. Amazon River

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Área de estudo indicando as estações de CTD e os perfis ao longo da Plataforma Continental do Amazonas.....	17
FIGURA 2 - Intensidade e direção de ventos no Atlântico Tropical obtido através do satélite Quiksat em março de 2001.....	20
FIGURA 3 - Intensidade e direção dos ventos no Atlântico Tropical obtidos através do satélite Quiksat em setembro de 2001.....	20
FIGURA 4 - Distribuição horizontal de temperatura superficial, a 10 e 20m de profundidade ao longo da Plataforma Continental do Amazonas.....	26
FIGURA 5 - Distribuição horizontal da temperatura a 40 e 60m de profundidade ao longo da Plataforma Continental do Amazonas.....	28
FIGURA 6 - Distribuição horizontal de salinidade superficial, a 10 e 20m de profundidade na Plataforma Continental do Amazonas. A linha tracejada demarca a isohalina de 30 e o limite da pluma do Amazonas.....	30
FIGURA 7 - Distribuição horizontal de salinidade a 40 e 60m de profundidade na Plataforma Continental do Amazonas.....	32
FIGURA 8 - Distribuição vertical de temperatura (°C) ao longo dos perfis 1, 2, 3, e 4, respectivamente.....	34
FIGURA 9 - Distribuição vertical de salinidade ao longo dos perfis 1, 2, 3, e 4, respectivamente. A linha tracejada indica a isohalina de 30 como limite da pluma de baixa salinidade do rio Amazonas.....	36
FIGURA 10 - Diagrama T-S e massas d'água observadas na PCA durante o período estudado.....	38
FIGURA 11 - Distribuição das massas d'água ao longo da PCA no período de máxima descarga do rio Amazonas.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC -	Água Costeira
AM -	Água de Mistura
AMASSEDS -	Multidisciplinary Amazon Shelf Sediments Study
AP -	Alta Pressão
ATS -	Água Tropical Superficial
AT -	Água Tropical
BP -	Baixa Pressão
CCNE -	Contra- Corrente Norte Equatorial
CNB -	Corrente Norte do Brasil
CPTEC -	Centro de Previsão de Tempo Estudos Climáticos
CTD -	Conductivity Temperature Depth
CSE -	Corrente Sul Equatorial
DGPS -	Differential Global Positioning System
HN -	Hemisfério Norte
HS -	Hemisfério Sul
PCA -	Plataforma Continental do Amazonas
PAVASAS -	Pontos Anfídromicos e Variações Sazonais do Atlântico Equatorial e Sul
REVIZEE -	Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva Brasileira
S -	Salinidade
SCNB -	Sub-Corrente Norte do Brasil
SV -	Svedrup
ZCIT -	Zona de Convergência Intertropical
ZEE -	Zona Econômica Exclusiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS MÉTODOS</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>CAMPANHA OCEANOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>PROCESSAMENTO DE DADOS</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PRINCIPAIS FORÇANTES</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA PCA</b> .....	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>CLIMA E SISTEMAS ATMOSFÉRICOS</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Ventos</b> .....	<b>19</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)</b> .....	<b>21</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Efeitos de períodos de El Niño e La Niña na Amazônia</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>HIDRODINÂMICA E HIDROLOGIA</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Marés e correntes de maré</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Corrente Norte do Brasil</b> .....	<b>23</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Descarga Sólida e Hídrica na Plataforma Amazônica</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>ESULTADOS</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DE TEMPERATURA</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DA SALINIDADE</b> .....	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE TEMPERATURA</b> .....	<b>33</b>
<b>5.4</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE SALINIDADE</b> .....	<b>35</b>
<b>5.5</b>	<b>MASSAS DE ÁGUA</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As massas d'água são pacotes de água presentes nos oceanos que se formam com características físicas de temperatura e salinidade próprias e se deslocam através de níveis de mesma densidade, sofrendo processos de mistura com outras massas de água existentes ao longo do percurso (PONTES, 2001).

No Oceano Atlântico Tropical ocorrem diversas massas de água já estudadas como componentes da circulação termohalina global: Água Tropical Superficial (ATS), que na plataforma é subdividida em Água Costeira, Água de Mistura, Água Tropical; abaixo encontram-se a Água Antártica Intermediária (AIA) e Água Circumpolar Antártica Superior (ACAS) que movem-se em direção ao Hemisfério Norte, compensadas pela Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) que segue para Sul (PONTES, 2001; SILVA, 2006; STRAMMA; SCHOTT, 1999; STRAMMA et al., 2005).

Diversos trabalhos já foram realizados nesta região que abordam este tema: Barnier et al. (2001), Stramma e Schott (1999), , Stramma et al. (2005). Na plataforma continental Norte do Brasil alguns estudos relacionados especificamente à distribuição de massas d'água se destacam como: Limeburner et al. (1995), Geyer, et al. (1995), Pontes (2001) e Silva et. Al (2005) Silva (2006).

A Plataforma Continental do Amazonas (PCA), localizada na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical, é considerada como uma área importante da circulação oceânica equatorial e da troca de calor entre os hemisférios. Nesta região, ocorre a combinação de processos distintos: regime de ventos alísios, Corrente de Fronteira Oeste, marés, e enorme descarga hídrica e sólida do rio Amazonas (NIKIEMA, 2007; SILVA, 2005;).

O aporte de água doce deste rio é avaliado em  $18.000\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e contribui com 18% do total de água continental lançada nos oceanos (MULLER-KARGER et al., 1988 apud SILVA, 2005; OLTMAN, 1968).. Esta pluma é transportada, preferencialmente, no sentido noroeste (de acordo com o fluxo da Corrente Norte do Brasil) e influencia de maneira significativa na manutenção da camada barreira e de mistura com variação de suas características de acordo com a sazonalidade de descarga do rio Amazonas (JOHNS et al., 1998; MASSON; DELECLUSE, 2001; SILVA et al., 2005).

Adicionada aos efeitos da descarga do rio, a maré também contribui para a mistura de águas na região. A maré é classificada como semidiurna e se propaga sobre a plataforma continental, principalmente como uma onda progressiva, sofrendo amplificação de acordo com a geometria da costa e do fundo (BEARDSLEY et al., 1995, GABIOUX et al., 2002). Na PCA a Corrente Norte do Brasil (CNB) tem certa influência sobre a pluma e representa uma forte corrente de fronteira Oeste que flui sobre o talude ao longo da costa norte do país em direção ao noroeste, com velocidade que variam ao longo do ano (JOHNS et al., 1998; RICHARDSON et al., 1994;).

A PCA sofre ainda influência das forçantes meteorológicas: dos ventos alísios durante todo o ano e da migração norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Assim como se pode considerar a influência de fenômenos de larga escala como períodos de El Niño ou La Niña que causam alguns impactos na precipitação sobre a bacia amazônica e, conseqüentemente, na descarga do rio Amazonas sobre a PCA (GRIMM, 2000; SAMPAIO; SATYAMURTY, 1998).

Portanto, o estudo dos padrões de temperatura e salinidade desta área podem auxiliar no entendimento da circulação oceânica adjacente à foz do Amazonas, identificação e distribuição de populações plactônicas e de peixes, trocas de massa e calor no estuário Amazônico e, assim contribuir para melhor gestão de recursos vivos e não vivos da ZEE norte do Brasil. Neste contexto, o presente estudo analisa a distribuição de características físicas (temperatura, salinidade) das águas na PCA, assim como a identificação das massas d'água encontradas durante a descarga máxima do rio Amazonas em maio de 1999.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar a distribuição da pluma estuarina e das massas d'água na Plataforma Continental Amazônica durante alta descarga do rio Amazonas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a distribuição horizontal e vertical da temperatura e salinidade da PCA;
- Analisar a distribuição da Pluma do Amazonas;
- Correlacionar os parâmetros de temperatura e salinidade atuantes através de diagrama T-S;
- Identificar e caracterizar massas de água presentes na área de estudo;

### 3 MATERIAIS MÉTODOS

#### 3.1 CAMPANHA OCEANOGRÁFICA

A Campanha Oceanográfica foi realizada no período de descarga máxima do rio Amazonas, durante a Operação Norte III do programa REVIZEE, em maio de 1999, a bordo do Navio Oceanográfico “ANTARES”, H-40, pertencente à Marinha do Brasil.

Os pontos de amostragem foram georeferenciados, através de um sistema de posicionamento, do tipo DGPS (Diferential Global Positioning System) e os dados de temperatura e salinidade utilizados foram coletados mediante o uso de um CTD - Conductivity Temperature Depth da Sea-Bird, modelo SBE9, equipado com sensores de alta resolução para medições de condutividade (resolução = 0,00004 S m<sup>-1</sup>), temperatura (resolução = 0,0003 °C) e pressão (resolução = 0,068 db).

A cada estação foram realizados perfis com coleta de dados a diferentes profundidades na PCA. A aquisição de dados nos perfis de CTD começou a ser registrada da superfície (a partir de 2m) até 80 m de profundidade, sendo esta última alcançada somente em alguns pontos dos perfis localizados na parte mais externa da PCA. A cada estação, foram anotadas informações de data, hora, número da estação, latitude, longitude, profundidade local e profundidade do CTD. Os dados de temperatura e salinidade adquiridos foram analisados e correlacionados para que fosse verificada a distribuição espacial destes parâmetros, e das massas de água presentes na área de estudo.

Para este estudo foram utilizadas 45 estações de coleta de CTD distribuídas em 10 perfis na PCA. A partir da malha amostral utilizada, foram escolhidos quatro perfis (entre os 10), sendo dois na costa do Amapá (perfis 1 e 2) e dois na foz do rio Amazonas (perfis 3 e 4) para verificar a distribuição dos parâmetros e das massas d'água ocorrentes.



### 3.2 PROCESSAMENTO DE DADOS

Inicialmente, a bordo foi utilizado o Seasoft da Sea-Bird, com a finalidade de filtrar e reduzir os dados coletados pelo CTD (temperatura e salinidade), para que fossem identificadas as possíveis perdas de integridade (alterações em seus valores), melhorando a apresentação dos mapas de contorno e perfis de temperatura e salinidade.

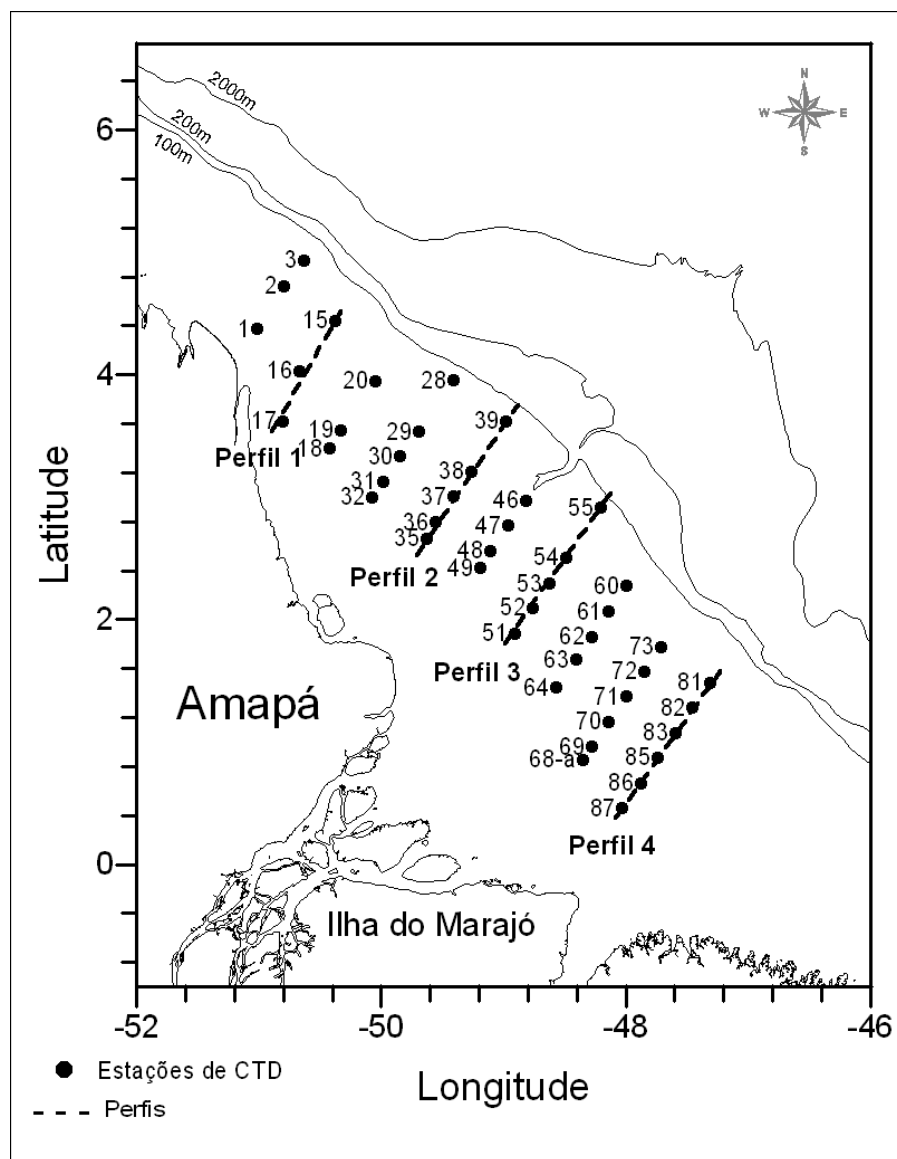
Os dados de temperatura e salinidade foram organizados em diferentes planilhas, no Programa Excel da Microsoft de acordo com a finalidade para confecção dos mapas. Para a distribuição horizontal dos parâmetros foram utilizados os dados de temperatura ou salinidade na profundidade desejada e a posição das estações (latitude e longitude). Para a distribuição vertical foi utilizado distância da costa e a profundidade relativa a cada profundidade coletada no perfil de CTD.

As planilhas com os dados necessários para cada tipo de mapa são importantes para a entrada de dados no programa Surfer 8.0. Este programa foi utilizado para confeccionar os mapas de contorno e perfis verticais. Nele é possível gerar grid's, que criam contornos de superfície de plotagem em duas e/ou três dimensões a partir de diversos métodos de interpolação. O método de interpolação utilizado para a distribuição horizontal foi o Kriging (krigagem), que assim como outros métodos de interpolação, procura prever o valor de uma variável num ponto não amostrado na malha amostral. A krigagem é bastante utilizada porque além dos valores estimados, este método fornece o erro da estimativa, o que melhora a precisão da interpolação dos dados. Para a distribuição vertical, por utilizar distâncias, o método mais indicado é o de ponto vizinho mais próximo.

O Excel também foi utilizado para organização e edição dos dados na correlação dos parâmetros em um diagrama T-S que consiste em um gráfico de dispersão utilizado no intuito de identificar as massas de água da região.

#### 4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PRINCIPAIS FORÇANTES

A área da PCA estudada neste trabalho é delimitada entre as latitudes 1°S e 5°N e longitudes 48°W e 50°W localizada entre Cabo Orange (Amapá) e Ilha do Marajó (Pará). Esta região é fortemente influenciada pelas águas provenientes da drenagem continental e forçantes da circulação oceânica e atmosférica equatorial. Assim a região apresenta o ambiente ideal para a compreensão de processos oceanográficos na borda oeste do Atlântico Tropical (Fig. 1).



**FIGURA 1** - Plataforma Continental do Amazonas, com a localização das estações de CTD e perfis.

#### 4.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA PCA

A PCA é relativamente rasa com baixos gradientes de profundidade devido à alta deposição de sedimentos transportados pelo rio Amazonas, principalmente. Porém outros rios, como o rio Pará também contribuem com sedimentos para a região. A plataforma atinge sua maior extensão em frente à foz do Amazonas, com a isóbata de 20m afastada até 200 km da linha de costa, e onde a largura da plataforma continental atinge, aproximadamente, 330 km devido à presença do delta subaquático do Amazonas e se torna mais estreita em frente ao Cabo Orange para 125 km (HÜBSCHER et al., 2002; SANTOS, 2004). A PCA é subdividida em parte: interna - da linha da costa até a isóbata de 40 m; média - situada entre as isóbatas de 40 e 60 m; e Externa - é limitada pela profundidade de 100 m (KUEHL et al., 1982 apud SILVA, 2006). A isóbata de 100m marca a quebra da plataforma continental.

Modelos clássicos de sedimentação mostram uma distribuição decrescente de granulometria dos sedimentos ao longo da plataforma continental, com predominância de areia, lama e sedimentos relictos nas partes interna, média e externa, respectivamente. Entretanto nas plataformas continentais de grandes rios, como o do Amazonas, ocorre predominância de sedimentos finos na parte interna e maior ocorrência de areias na parte média (NITTROUER et al., 1983). A sedimentação na plataforma continental interna é dominada por sedimentos finos (silte e argila) que alcançam a isóbata de 60m. Percebe-se um gradiente baixo (1:4000) e maior extensão desses depósitos sedimentares em frente à desembocadura do rio Amazonas. Nas proximidades do Cabo Norte observa-se uma zona com profundidades próximas a 5 m devido à formação de depósitos de areia (KUEHL et al., 1996 apud SILVA, 2006; NITTROUER et al., 1983;).

De acordo com Kuehl et al. (1982) a plataforma continental média é a mais inclinada com um gradiente de 1:300. Esta parte da plataforma é marcada por uma série de feições erosivas e a espessura das camadas de lama diminui à medida que se afasta da costa, onde a taxa de acumulação é menor (KUEHL et al., 1982 apud SILVA, 2006). É recoberta por areia quartzosa fina, em alguns locais com presença de cascalho constituído por detritos de algas e recifes (COUTINHO, 1995).

Na plataforma continental externa ocorrem depósitos de areias e cascalhos que foram depositados em períodos de nível de mar baixo (FIGUEIREDO et al., 1972; NITTROUER et al., 1983). Ainda, tem-se ocorrência de formações de recifes

algálicos e sedimentos fortemente coloridos por óxido de ferro, contendo litoclásticos, de natureza arcoseana (COUTINHO, 1995).

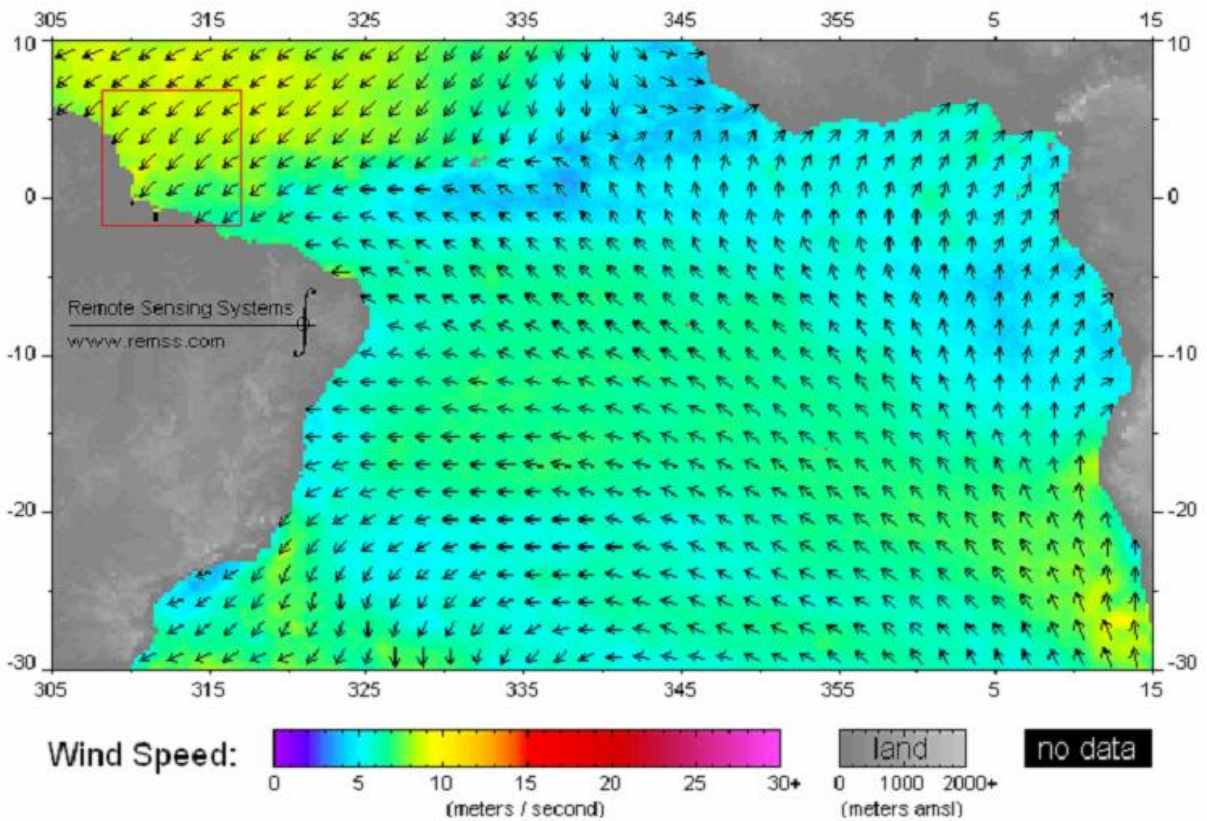
#### 4.3 CLIMA E SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

O clima atual na Amazônia é quente e úmido devido a combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar proveniente do balanço energético global. Segundo Molion (1987, 1993), os mecanismos que provocam chuva na Amazônia podem ser agrupados em 3 tipos: a) convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga-escala favoráveis; b) linhas de instabilidade originadas na costa N-NE do litoral do Atlântico; c) aglomerados convectivos de meso e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região S/SE do Brasil e interagindo com a região Amazônica.

A temperatura do Ar gira em torno de 24 e 28°C e a temperatura da superfície do mar, na maioria das vezes, se mantém relativamente menor. As condições de insolação no Equador provocam altos valores de umidade relativa do ar, que sempre apresentam valores em torno da média anual entre 80 e 90%, que ao atingirem altitude ideal na atmosfera (3 km), provocam chuvas na região (SILVA, 2006).

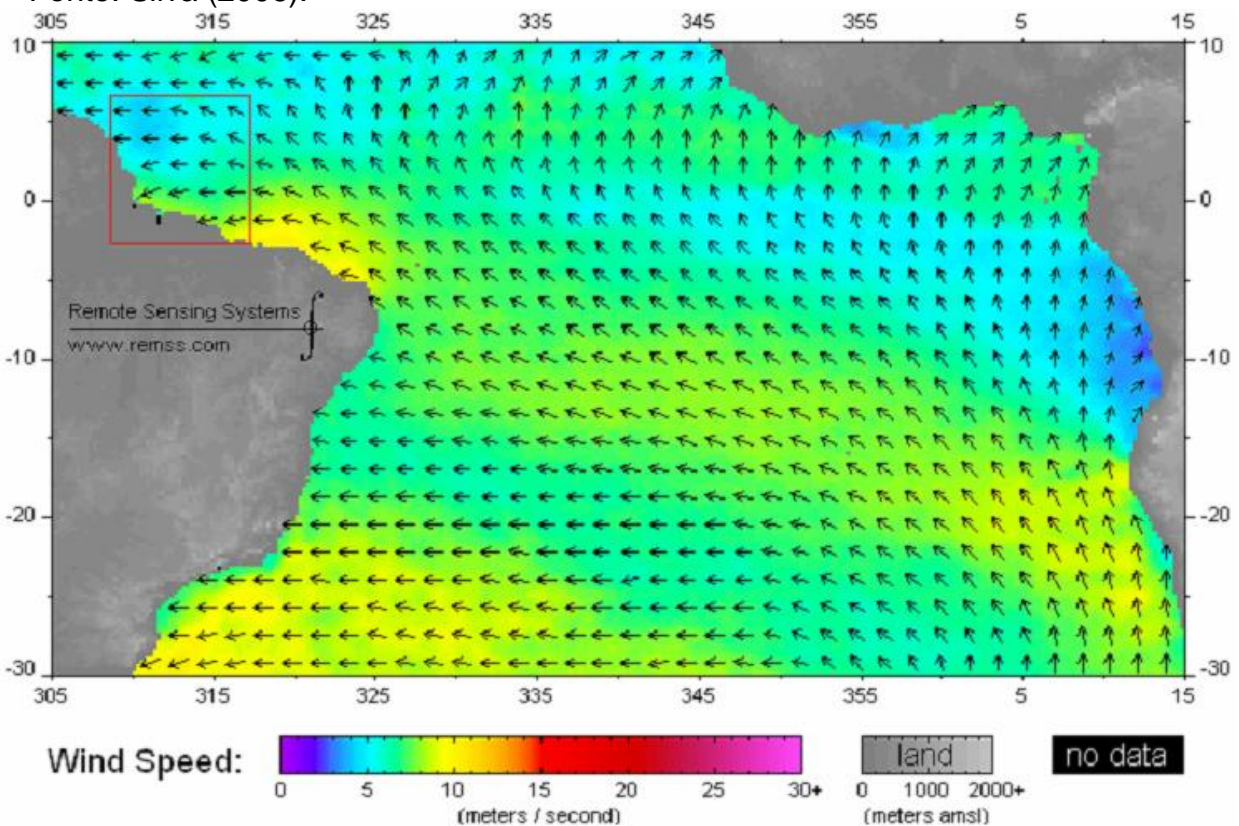
##### 4.3.1 Ventos

O campo de ventos que age na região equatorial e, conseqüentemente, na PCA sofre modificações consideráveis ao longo do ano ligadas a sazonalidade da localização de centros de alta pressão no Oceano Atlântico Norte e Sul. Durante o verão do Hemisfério Sul-HS (inverno no Hemisfério Norte-HN) os centros de alta pressão se deslocam para Sul, assim os alísios de Nordeste conseguem chegar ao Equador e sopram com maior intensidade na costa da América do Sul (Fiig. 2). Já durante os meses de inverno no HS, verão no HN, os centros de AP se deslocam para Norte. No HS, quando o centro de alta pressão retorna à posição original, os alísios de Sudeste são predominantes (Fig. 3) na costa sul-americana (SOARES, 2003).



**FIGURA 2** - Intensidade e direção de ventos no oceano Atlântico Tropical obtido através do satélite Quiksat em março de 2001. O quadro vermelho mostra a área de trabalho.

Fonte: Silva (2006).



**FIGURA 3** - Intensidade e direção dos ventos no Oceano Atlântico Tropical obtidos através do satélite Quiksat em setembro de 2001. O quadro vermelho mostra a área de trabalho.

Fonte: Silva (2006).

Portanto, os alísios de Nordeste apresentam-se mais intensos entre dezembro e julho, soprando quase que perpendicular à costa Norte brasileiro, sendo responsável, assim como todo vento, por gerar ondas superficiais de gravidade que se propagam na PCA (LENTZ, 1995). Nos outros meses, os ventos tendem a ser predominantemente de Sudeste e/ou de Leste, porém há ventos soprando de outros quadrantes também, esse padrão pode variar de ano para ano e dependem de outras forçantes atmosféricas de média e larga escala com a posição da ZCIT (Figura 2).

O campo de ventos de Nordeste associados com o posicionamento ao Sul da ZCIT promove um padrão de confinamento da pluma amazônica. O efeito dos ventos proporciona uma elevação do nível do mar sobre a PCA e uma zona com alto gradiente de pressão (FONTES et al., 2008).

#### **4.3.2 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**

A ZCIT é um dos mais importantes sistemas meteorológicos que atua nos trópicos, é uma região de baixa pressão para onde convergem os alísios de nordeste, ligados a centro de alta pressão do HN; e alísios de sudeste relacionados com alta pressão no HS. Como todo centro de baixa pressão, a ZCIT apresenta convergência de escoamento em baixos níveis e divergência em altos níveis, sendo a fonte principal de precipitação nos trópicos (chuvas fortes). A ZCIT está inserida numa região onde ocorre a interação de características atmosféricas e oceânicas marcantes. Essas características não ocorrem na mesma latitude e ao mesmo tempo, por isso a ZCIT muda de posição sazonalmente de acordo com as condições atmosféricas no Equador e nos pólos com fortalecimento e/ou enfraquecimento de zonas de alta pressão nos respectivos invernos do HS e HN.

Em relação à área de estudo, ocorrem chuvas mais intensas na Amazônia central e costa do Maranhão, Pará e Amapá nos meses de janeiro a maio, quando a ZCIT está em sua posição mais ao sul (LUCAS et al., 2006). Quando a ZCIT está mais ao norte do Equador ocorre o período menos chuvoso na costa norte do Brasil, porém, apesar de poucas, as chuvas que ocorrem nesse período mais seco estão relacionadas à linhas de instabilidade na costa, associados a brisa marítima ou ainda com aglomerados convectivos relacionados a penetração de frentes vindas de

outras regiões que interagem com a região amazônica (FIGUEROA; NOBRE, 1990; MARENGO, 1995; MOLION, 1987, 1993).

### **4.3.3 Efeitos de períodos de El Niño e La Niña na Amazônia**

Eventos de El Niño, basicamente, são provocados pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Central e Oriental. O que ocorre é um aumento no calor sensível e nos fluxos de vapor de água da superfície do oceano para a atmosfera sobre as águas quentes provocando mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global (SAMPAIO, SATYAMURTY, 1998).

Em períodos de La Niña ocorre o oposto, pois há o resfriamento anômalo da superfície do mar na mesma região do Pacífico equatorial que também provocam alterações na circulação atmosférica e formação de nuvens de chuva em escala global.

Nas duas situações o principal efeito é uma alteração na célula de Walker provocando impactos na formação de nuvens e precipitação na Amazônia. Em períodos de El Niño ocorre diminuição da precipitação principalmente durante a estação chuvosa de fevereiro a maio (ROPELEWSKI et al., 1989), e valores de vazão do Amazonas abaixo da média histórica. Enquanto que La Niña provoca um acréscimo na precipitação na região leste e norte da Amazônia, com aumento considerável da vazão de grandes rios como o Amazonas.

## **4.4 HIDRODINÂMICA E HIDROLOGIA**

### **4.4.1 Marés e correntes de maré**

Gallo e Vizón (2005), numa compartimentação do estuário amazônico de acordo com as componentes da maré predominantes, da PCA até a cidade de Óbidos, mostraram que a maré na desembocadura do rio Amazonas e na PCA é representada predominantemente pelas componentes astronômicas ( $M_2$  e  $S_2$ ) que tendem a diminuir seus efeitos ao adentrar no canal do rio.

A maré semi-diurna é uma das forçantes da circulação hidrodinâmica da área e possui altura de onda de cerca de 0,8 m nas proximidades do talude continental e entre os Cabos Norte e Orange, a amplitude de maré alcança valores em torno de

3,5 m (BEARDSLEY *et al.*, 1995, SILVA, 2006). Nesta mesma área, a maré propaga-se como uma onda quase estacionária e como onda progressiva amortecida, na desembocadura do rio Amazonas, pelos depósitos de lama (GABIUX *et al.*, 2002).

Segundo BEARDSLEY *et al.* (1995), as componentes semi-diurnas são responsáveis por 85 % da variação do nível da água. Em frente à foz do rio Amazonas, existe uma espessa camada de lama que interfere de maneira significativa na propagação das ondas de maré, freando-as (GABIUX *et al.*, 2005). De acordo com os mesmos autores, as correntes de maré são da ordem de 10 m/s e dirigidas no sentido perpendicular às isóbatas locais, adentrando no estuário do rio Amazonas.

A descarga do rio Amazonas tem um papel importante na assimetria da maré. Gallo e Vizón (2005) mostram que apesar de um menor tempo de enchente em relação a vazante, não ocorre um predomínio de fluxo de enchente no estuário, justamente pela grande vazão de um rio como o Amazonas na região. Os mesmos autores mostraram que as correntes de vazante são ainda mais intensas que as de enchente, justificando a presença de sedimentos finos fora da desembocadura do rio.

Existem também as correntes de inframaré que constituem um outro componente importante da circulação na plataforma continental. O escoamento médio de inframaré é fortemente estratificado (com diferenças de velocidade e salinidade, entre a superfície e o fundo, da ordem de 1 m/s e 20, respectivamente) e tem geralmente direção noroeste, o que poderia estar relacionado com a Corrente Norte do Brasil (GEYER; KINEKE *et al.*, 1995).

#### **4.4.2 Corrente Norte do Brasil**

A Corrente Norte do Brasil (CNB) é a principal corrente atuante na Plataforma continental norte do Brasil, juntamente com sua componente de subsuperfície a Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB). A corrente sul equatorial (CSE) bifurca-se e forma a CNB que, Segundo Richardson *et al.* (1994), flui predominantemente no sentido noroeste, sobre o talude com velocidades em torno de 50 a 100  $\text{cm.s}^{-1}$ .



As águas da CNB provenientes do Atlântico Sul misturam-se com as águas menos salinas na borda da PCA, oriundas do rio Amazonas, e seguem rumo ao Atlântico Norte (BARNIER et al., 2001). Sazonalmente formam-se alguns giros desta corrente que migram ao longo de alguns meses e transportam águas menos salinas que são incorporadas e Contra-corrente Norte Equatorial (CCNE). As variações no transporte e velocidade da CNB apresentam relação também com a sazonalidade de descarga do rio Amazonas e dos ventos (BARNIER et al., 2001; FRATANTONI & GLICKSON, 2002).

Johns et al. (1998) estimaram valores de transporte para a Corrente Norte do Brasil que variam com máximos de 35 Sv nos meses de julho e agosto e mínimo de 13 Sv em abril e maio. Estudos realizados por Nikiema et al. (2007) mostraram que, além do regime de ventos, a CNB tem um importante papel no destino da pluma amazônica, pois aumenta o alcance da mesma que chega a costa das Guianas e Atlântico Norte (através dos giros).

#### **4.4.3 Descarga Sólida e Hídrica na Plataforma Amazônica**

O rio Amazonas apresenta uma descarga hídrica média de  $180.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (MULLER-KARGER et al., 1988; OLTMAN, 1996 apud NITROUER; DEMASTER, 1996;). Essa vazão varia sazonalmente com descarga máxima em torno de  $220.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em maio, e mínima de  $100.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em novembro (RICHAY et al., 1986). A influência do rio Amazonas alcança mais de 200 km oceano adentro e cerca de 1000 km para noroeste, e forma uma pluma de baixa salinidade superficial que recobre grande parte da plataforma continental com espessura variando entre 3 e 10 m, variação esta, causada pelos períodos de mínima e máxima descarga do rio, respectivamente (GIBBS, 1970; LENTZ; LIMEBURNER, 1995).

A circulação estuarina na plataforma continental ocasiona um transporte de sedimento de  $1.1$  a  $1.3 \times 10^8$  tons/ano nas águas superficiais em direção ao mar aberto e para noroeste e um fluxo contrário em águas de fundo devido à maré (GIBBS, 1970; MILLIMAN et al., 1974; MULLER-KARGER et al., 1986; GIBBS, 1976).

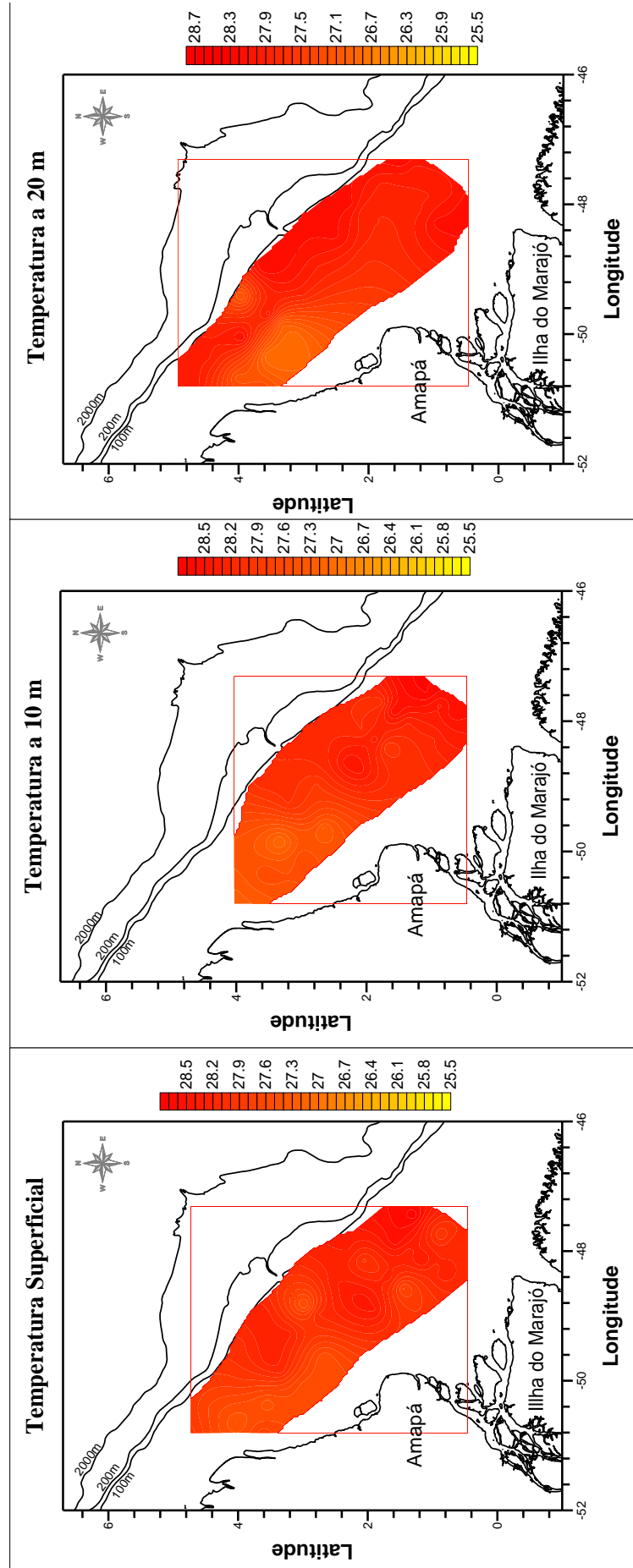
## 5 RESULTADOS

### 5.1 DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DE TEMPERATURA

Os valores de temperatura estiveram dentro do esperado para a região equatorial. A Fig. 4 mostra a distribuição horizontal de temperatura ao longo da superfície, a 10 e a 20m de profundidade.

Da superfície e a 10m de profundidade a distribuição da temperatura na PCA foi similar. Na superfície a temperatura variou 1,37°C da costa à quebra da plataforma continental com mínima de 27,39°C e máxima de 28,76°C. Já a 10m, a variação foi um pouco maior (1,62°C) com máximo de 28,70°C e mínimo de 27,08°C. Percebe-se que grande parte da área amostrada apresenta valores em torno de 28°C (Fig. 4). As águas a esta temperatura cobrem toda a região em frente à foz do rio Amazonas e atingem a borda da plataforma continental na área estudada. Uma região de águas relativamente menos aquecidas com valores abaixo em torno de 27°C é observada na plataforma continental interna e média, em frente à costa do Estado do Amapá.

A 20m de profundidade, a temperatura variou de 26,08°C a 28,20°C e seguiu o mesmo padrão da distribuição anterior. A maior parte da área também apresentou temperatura em torno de 28°C. Já os menores valores estiveram concentrados em um núcleo na plataforma interna e próximos à costa do Amapá(Fig.4).



**FIGURA 4 -** Distribuição horizontal de temperatura superficial, a 10 e 20m de profundidade ao longo da PCA.

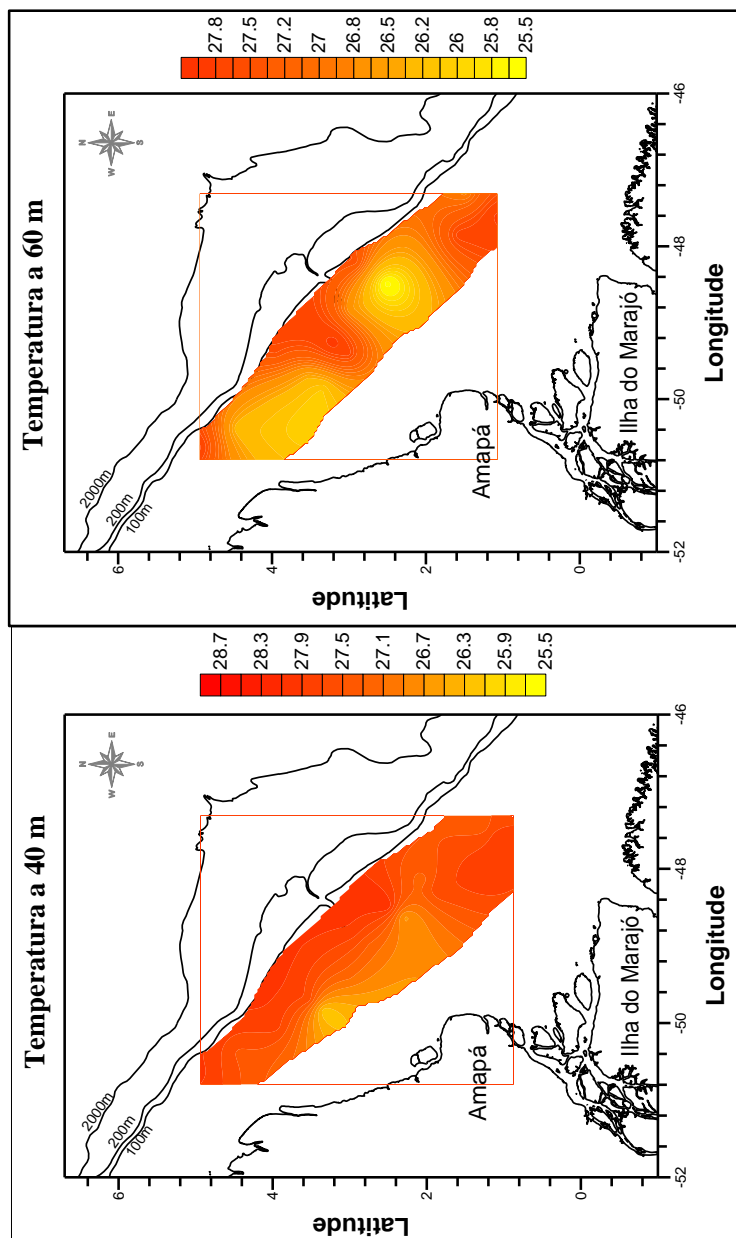
A distribuição horizontal a 40m de profundidade mostra a variação ao longo da costa com presença de temperaturas menor em relação às camadas acima, com mínima de 26,15°C e máxima de 27,77°C. Entretanto, valores em torno de 26°C encontram-se restritos a um núcleo próximo a costa do Amapá. Enquanto que valores acima de 27°C são observados, predominantemente, em frente à foz do rio Amazonas e próxima ao limite da plataforma continental, assim como na superfície (Fig. 5).

Temperaturas relativamente menores ocorreram a 60m de profundidade com máxima de 27,92°C e mínima de 25,51°C. Regiões de menor temperatura (entre 25 e 26°C) apresentam-se em duas porções da área estudada sobre a plataforma continental média do Amapá (Fig. 5), intercaladas por águas mais aquecidas (27°C), também presentes ao longo da borda desta plataforma continental.

De modo geral, em todas as profundidades verificadas para este parâmetro ocorreram focos de águas menos quentes na área mais próxima a costa do Amapá mais evidente a partir de 20m de profundidade, e predominância de águas mais aquecidas no restante da plataforma continental, principalmente ao longo da borda da mesma (isóbata de 100m). As médias de temperatura a cada profundidade (Tabela 1) mostram que as águas da PCA apresentam temperaturas entre 28 e 27°C, apesar de serem encontrados núcleos com temperaturas abaixo destas. Contudo, constatou-se uma variação horizontal da temperatura relativamente fraca na plataforma continental, com uma tendência discreta de diminuição deste parâmetro a cada profundidade observada.

**TABELA 1:** Valores de distribuição horizontal da temperatura (máximo, mínimo e média) da água na PCA a cada profundidade observada.

Profundidade (m)	Temperatura (°C)		
	Máximo	Mínimo	Média
Superfície	28,76	27,39	28,27
10	28,70	27,08	28,15
20	28,20	26,80	27,96
40	27,77	26,15	27,85
60	27,92	25,51	27,92



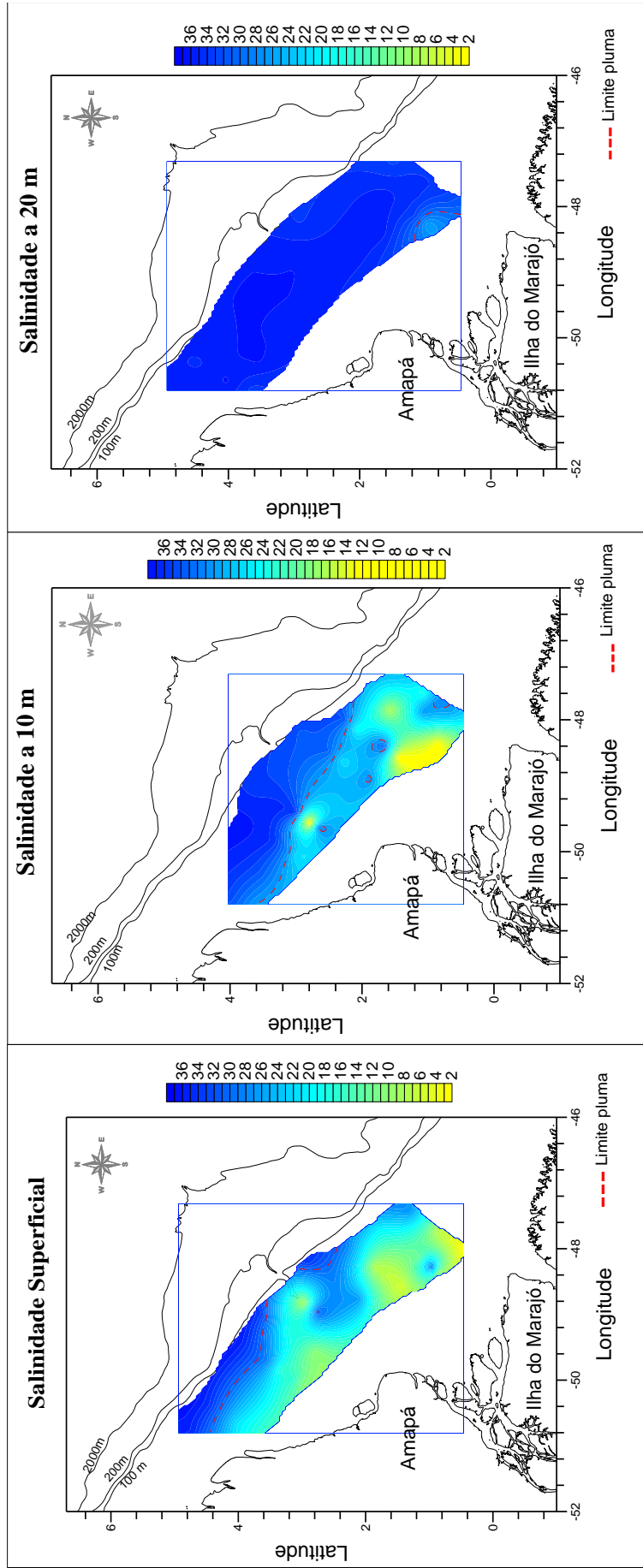
**FIGURA 5** - Distribuição horizontal da temperatura a 40 e 60m de profundidade ao longo da PCA.

## 5.2 DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DA SALINIDADE

Diferente do observado com a temperatura, a distribuição horizontal de salinidade apresentou grande variação da costa até o limite da plataforma continental, devido à forte presença da pluma de baixa salinidade ( $S < 30$ ) do rio Amazonas sobre a área estudada. A Figura 6 mostra a distribuição horizontal da salinidade superficial e a 10m de profundidade na PCA.

Superficialmente a salinidade apresentou variação significativa de 2,49 a 35,90. Os valores de salinidade menores que 10 estiveram próximos a costa e na foz do rio Amazonas, porém é possível constatar águas de baixa salinidade distribuída sobre toda a área estudada com salinidade média de 19,55 (Tabela 2). Valores acima de 30 são observados somente em partes da plataforma continental externa e a noroeste da área amostrada (Figura 6).

A 10 e 20 m de profundidade, a salinidade variou com mínimas de 11,01 e 26,04 e máximas de 35,97 e 36,91, respectivamente (Tabela 2). A frente de baixa salinidade na PCA tendeu a diminuir seu alcance oceano adentro a essas profundidades. De acordo com a Figura 6, a 10m, a pluma ( $S < 30$ ) se estende até a plataforma continental externa somente em frente à foz do Amazonas e se estreita para noroeste, na costa do Amapá. Particularmente a 20m de profundidade, águas menos salinas ( $\leq 26$ ) limitam-se à plataforma interna em frente à foz do rio Amazonas enquanto que no restante da PCA predominam águas com características mais oceânicas, de salinidade acima de 30.



**FIGURA 6** - Distribuição horizontal de salinidade superficial, a 10 e 20m de profundidade ao longo da PCA. A linha tracejada demarca a isohalina de 30 e o limite da pluma Amazônica considerada.

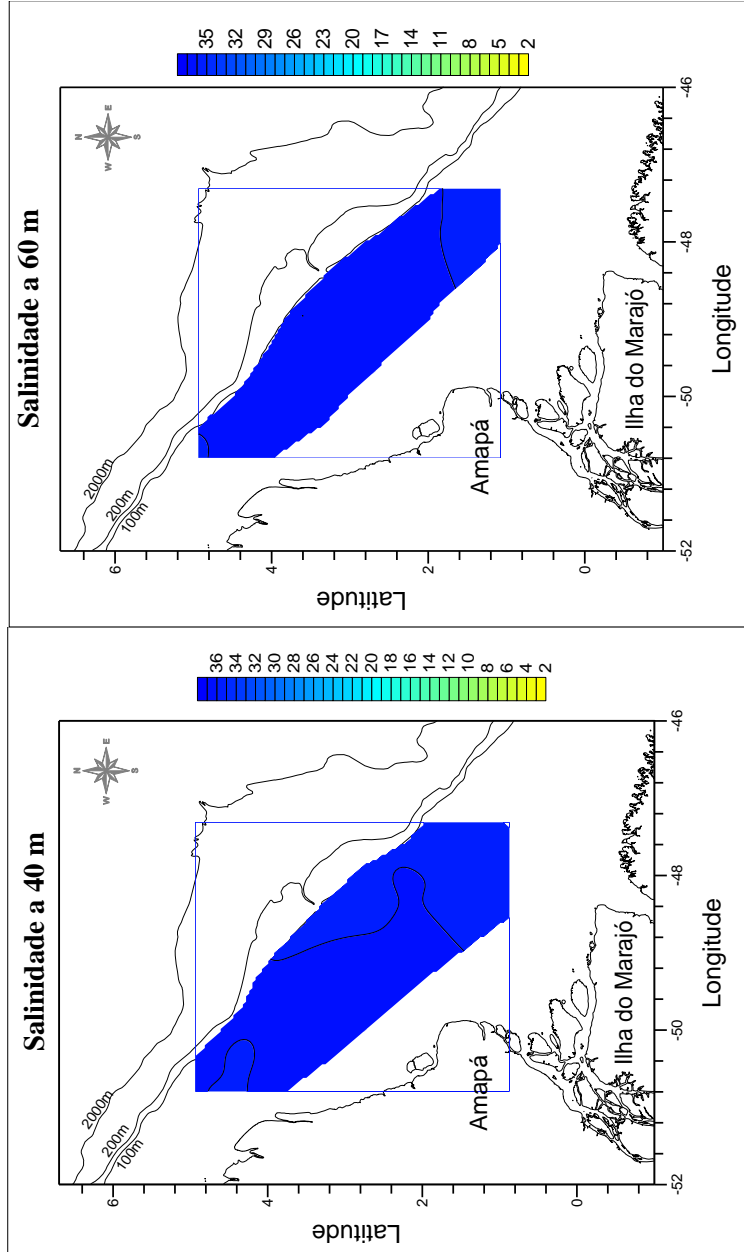
Os valores de salinidade a 40 e 60m de profundidade (Figura 7) mostraram-se similares, com variação de 35 até próximo de 37. A salinidade a essas profundidades demonstra características oceânicas com variação em torno de 1,5 na PCA, de próximo à costa até a borda desta plataforma continental (isóbata de 100 m), nas duas profundidades. Assim, pode-se considerar que a partir de 40m de profundidade, a pluma amazônica não exerce mais influência sobre as águas da PCA. Possivelmente, a esta profundidade, ocorra um fluxo de água em direção a foz do rio Amazonas como forma de compensação ao fluxo de descarga do rio nas camadas mais superficiais.

Então, até pelo menos 10 m de profundidade, águas de baixa salinidade predominam na maior parte da PCA, e chega até a plataforma continental externa em algumas áreas. A presença da pluma na plataforma continental representou uma variação horizontal da salinidade de pouco mais de 32 na superfície que tende a diminuir a cada profundidade (Tab. 2). Este padrão se inverte a partir de 20 m, em que a salinidade já apresenta variação em torno de 1,5 da costa até a borda da plataforma continental, com média de 34,64, que confirmam o predomínio de águas oceânicas na área que a pluma amazônica está restrita a plataforma continental interna, na foz do rio Amazonas.

**TABELA 2:** Valores de distribuição horizontal de salinidade (máximo, mínimo e média) da água na PCA a cada profundidade observada.

Profundidade (m)	Máximo	Salinidade	
		Mínimo	Média
Superfície	35,90	2,49	19,55
10	35,97	11,01	27,43
20	36,18	26,04	34,64
40	36,91	35,12	35,96
60	36,82	35,49	36,17





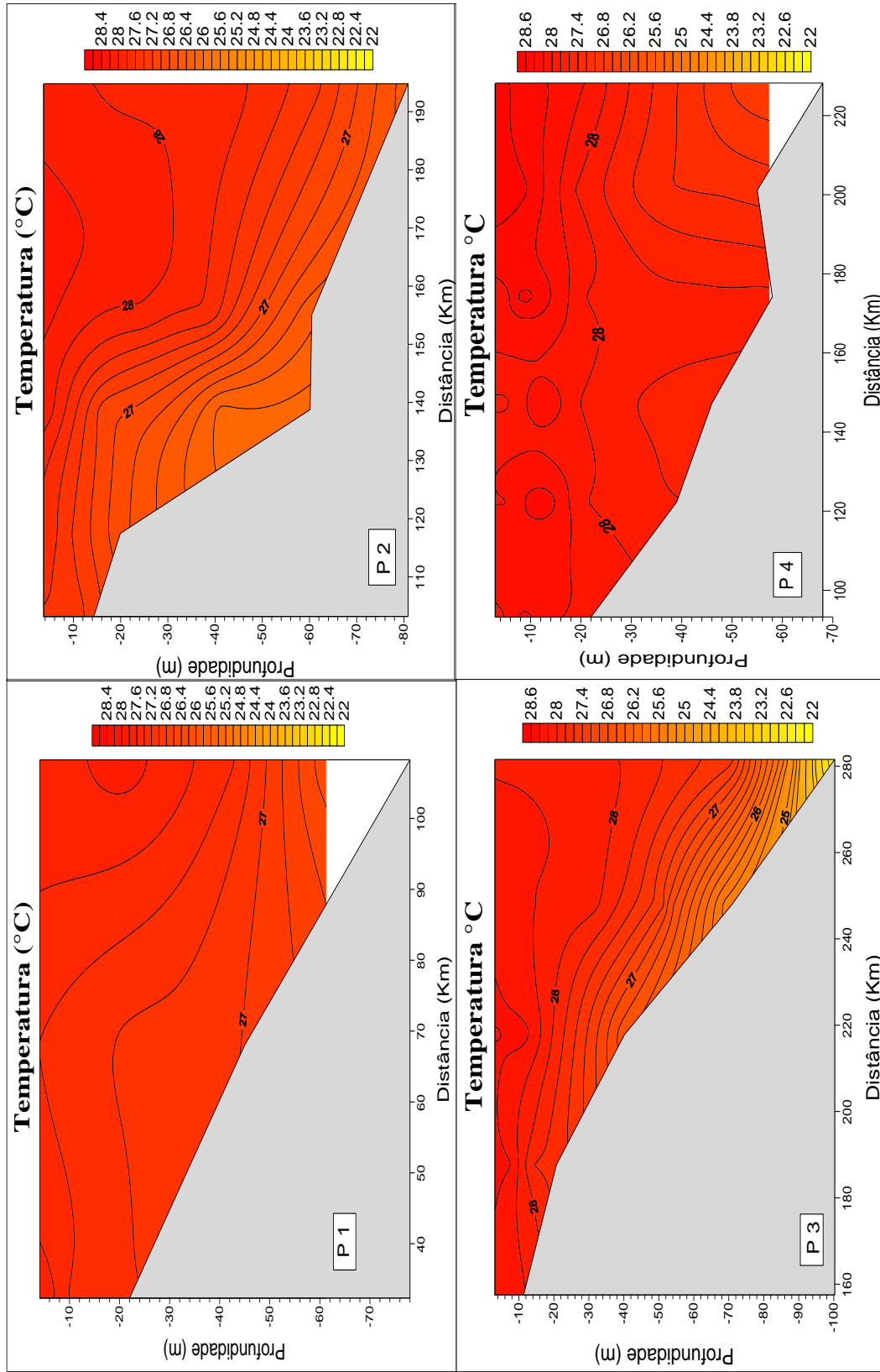
**FIGURA 7** - Distribuição horizontal de salinidade a 40 e 60m de profundidade na PCA.

### 5.3 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE TEMPERATURA

Na distribuição vertical dos perfis escolhidos a temperatura mostra variação discreta, porém a estratificação térmica é notável, com águas de temperatura acima de 27°C na maior parte da coluna d'água. A Fig. 8 apresenta o campo de temperatura nos perfis 1, 2, 3 e 4 em que observa-se algumas peculiaridades na plataforma continental e em relação a profundidade.

Os perfis 1 e 2 (Fig. 8, P1 e P2, respectivamente) localizam-se na costa do Amapá em frente ao Cabo Orange e Cabo Norte, respectivamente. Nos dois perfis percebe-se nitidamente a estratificação das isolinhas, principalmente em regiões mais próximas a costa, porém pouca variação na coluna d'água. Entretanto, no perfil 2 por ser mais extenso e alcançar uma maior distância da costa, nota-se a presença de águas de menores temperaturas (< 27°C) abaixo de 20m de profundidade que possivelmente afloram ao atingir menores profundidades no fundo da plataforma continental. O estreitamento e baixa profundidade da PCA na região do perfil 1 ligada a troca de calor entre as camadas de diferente temperatura pode justificar a presença de águas relativamente menos aquecidas mais próxima à costa a noroeste da área estudada, na costa do Amapá (Fig. 8-P1 e Fig. 3).

Os perfis 3 e 4 localizados na desembocadura do rio Amazonas mostram temperaturas superiores a 27,5°C em grande parte da coluna d'água. O perfil 3 mostra perfeitamente uma estratificação térmica com águas acima de 27,5°C até, aproximadamente, 50m de profundidade e diminui até 22°C no limite máximo do perfil e á maiores profundidades. O intenso fluxo de água do rio Amazonas nesta área pode ser responsável por estabelecer o padrão de temperatura observado nos dois perfis, devido a grande quantidade de partículas de sedimento da pluma do rio que favorece uma maior absorção de calor proveniente dos raios solares.



**FIGURA 8 -** Distribuição vertical de temperatura (°C) ao longo dos perfis 1, 2, 3, e 4, respectivamente na PCA.

#### 5.4 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE SALINIDADE

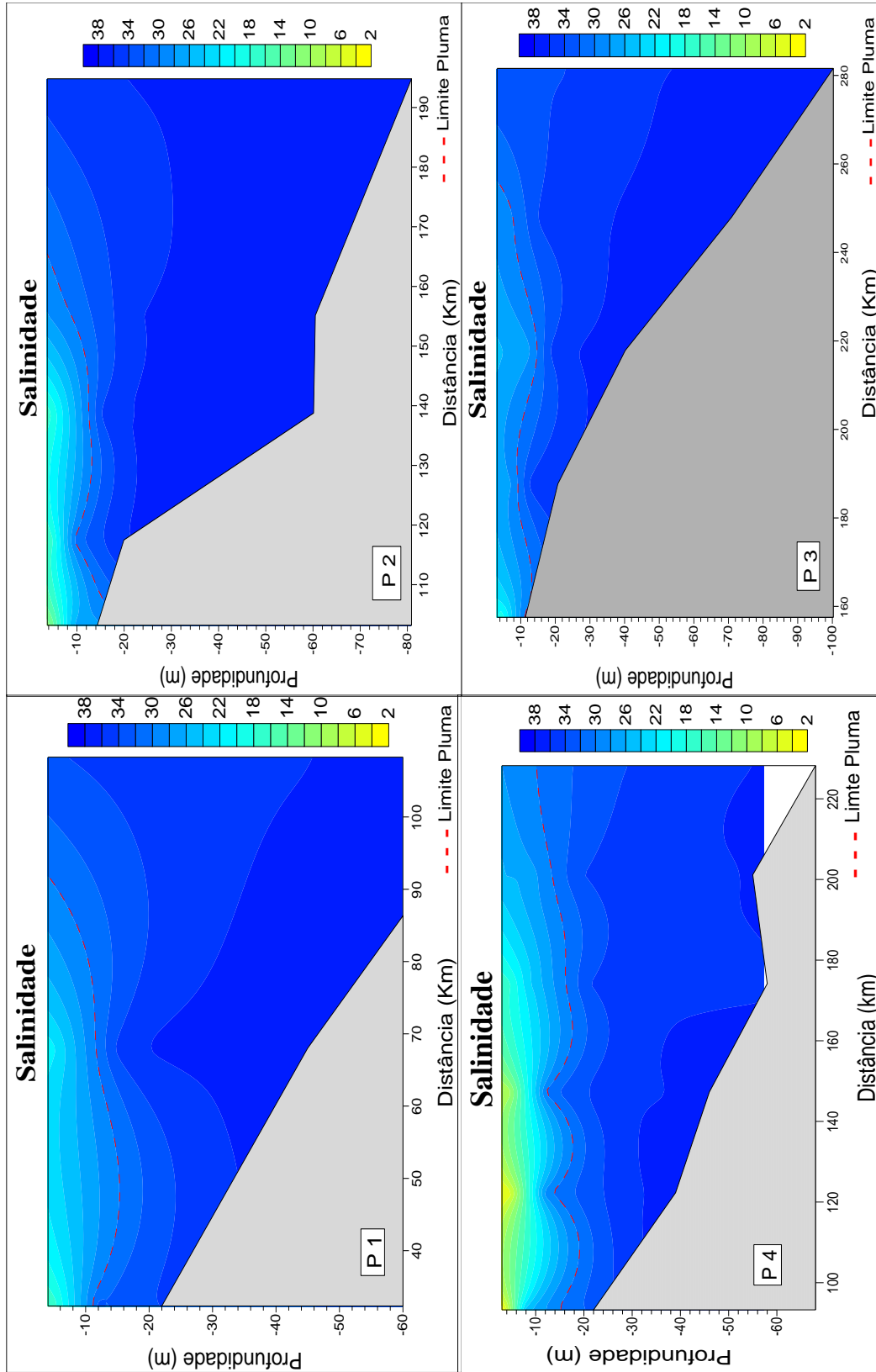
Através dos perfis verticais de salinidade foi possível observar melhor o comportamento da pluma de baixa salinidade do rio Amazonas, durante o período estudado em relação a sua profundidade na PCA. O padrão de salinidade ao longo dos perfis 1, 2, 3 e 4 e o limite da pluma do rio Amazonas considerado ( $S < 30$ ) é mostrado na Fig. 9.

No perfil 1 (P 1) a pluma do rio Amazonas se mostra menos espessa em relação aos outros perfis com profundidade máxima de, aproximadamente, 15m mais próximo à costa. Neste perfil, a pluma apresenta uma espessura menor ao longo da plataforma, e alcança 90 km da costa, distância a partir da qual ocorrem águas com salinidade acima de 30 na superfície. No perfil 2 (P2), a espessura chega a ser um pouco maior ( próximo a 17 m de profundidade) próximo a costa, por outro lado, o alcance da pluma chega a 170 km do litoral, distância na qual a pluma limita-se aos primeiros metros da coluna d'água e onde predominam águas com maior salinidade.

Os perfis 3 e 4, localizados na foz do rio Amazonas mostram o maior alcance da pluma na área. As distâncias observadas foram de, aproximadamente, 260 km no perfil 3 e acima de 220 km no perfil 4. Apesar da maior influência do fluxo de descarga do rio Amazonas na área destes dois perfis, a espessura da pluma não variou de maneira considerável, e a profundidade máxima observada foi em torno de 18 m de profundidade no perfil 4.

Ao observar a Fig. 8, é possível perceber que águas com salinidade acima de 30 predominam a partir de 20m de profundidade, logo abaixo da pluma, nas regiões mais rasas e próximas a costa. Em todos os perfis, a distribuição de salinidade da coluna d'água, aparentemente configura um comportamento de cunha salina na PCA a diferentes distâncias da costa.

Contudo, nota-se um estreitamento da pluma de acordo com a diminuição de influência da descarga do rio Amazonas, do perfil 4 ao 1. Porém sua espessura é quase constante em todos os perfis. Sabe-se que os ventos de nordeste e componentes da maré tem fundamental importância no comportamento da pluma sobre a PCA. Isto pode ser o fator determinante para a manutenção da profundidade da pluma apresentar-se praticamente constante no período estudado.



**FIGURA 9** - Distribuição vertical de salinidade ao longo dos perfis 1, 2, 3, e 4, respectivamente. A linha tracejada indica a isohalina de 30 como limite da pluma de baixa salinidade do rio Amazonas.

## 5.5 MASSAS DE ÁGUA

A partir dos dados de temperatura e salinidade e informações levantadas ao longo dos perfis horizontais e verticais foi possível identificar massas de água presentes na região de estudo durante o período de descarga máxima do rio Amazonas. Para isso foi feita a correlação destes parâmetros através de um diagrama T-S (Fig. 10) para melhor visualização dessas massas de água.

Com os dados disponíveis foi possível a análise de massas de água consideradas superficiais devido a profundidade máxima de coleta nos perfis verticais se limitarem a 80 m. Baseadas nas características termohalinas de massas de águas descritas em estudos realizados por Paiva (2001), Silva (2006) e Stramma et al. (2005), foram observadas três massas de água na PCA: Água Costeira; Água de Mistura e Água tropical (Tab. 3).

A água Costeira caracteriza-se por alta temperatura e salinidade inferior a 30 devido à considerável diluição de água oceânica pela água do rio na plataforma continental. A Água de Mistura é resultado da mistura da Água Costeira com Água Tropical e por isso, apresenta maior salinidade em relação à Água Costeira, e temperaturas próximas à primeira. Por fim, a Água Tropical que tem como principal característica a alta salinidade, com valores acima de 35, e temperaturas relativamente altas, porém pouco menores que as demais na plataforma continental.

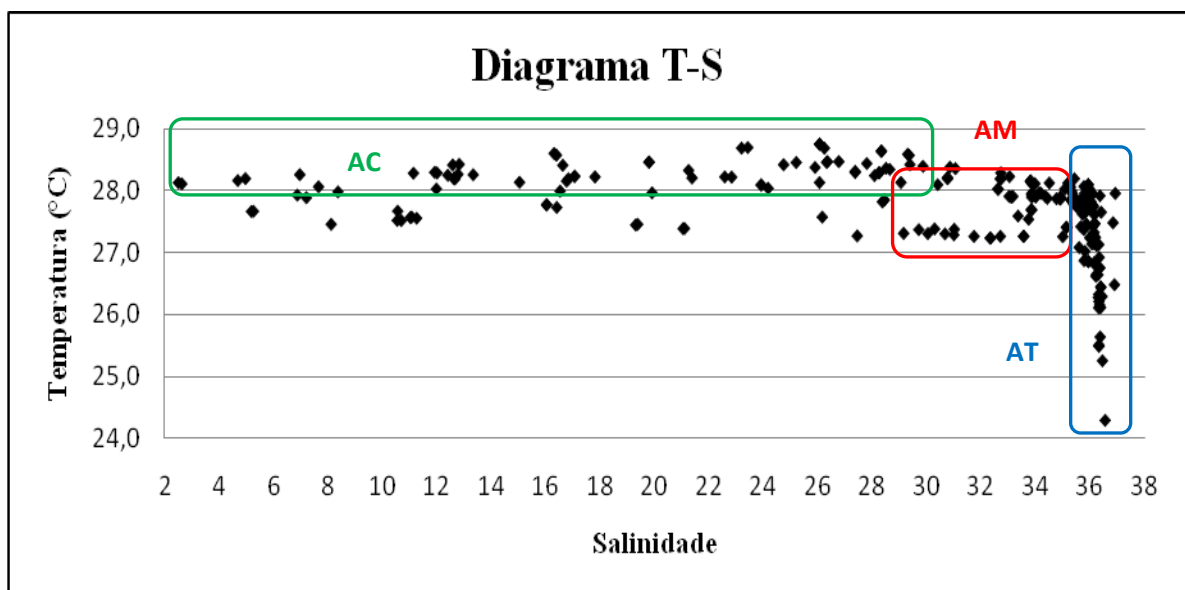
**TABELA 3:** Características de temperatura e salinidade das massas d'água observadas na PCA. Baseado em Paiva (2001), Silva (2006) e Stramma et al. (2005) e

<b>Massa de Água</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Salinidade</b>
<b>Água Costeira (AC)</b>	28 – 29	<30
<b>Água de Mistura (AM)</b>	27 – 29	≥30 – 35
<b>Água Tropical (AT)</b>	25 – 28	>35 – 37

Com o diagrama T-S (Fig. 10) nota-se a expressiva ocorrência da Água Costeira (AC) na área estudada devido o aporte de água doce que chega na PCA através da descarga do rio Amazonas, comprovada anteriormente nos perfis verticais e horizontais de salinidade. No entanto, os mesmos perfis também mostram

águas com salinidades maiores que 30 a certas profundidades e em alguns pontos na superfície que representam a Água de Mistura e Água Tropical, que também são verificadas neste diagrama.

Nota-se que os intervalos de temperatura das massas d'água se cruzam (Tabela 3). Isto ocorre devido à baixa variação da temperatura em águas rasas da região equatorial e de plataforma continental em relação a regiões oceânicas, comprovada nos dados supracitados na PCA. Portanto, a salinidade passa a ser o parâmetro determinante das massas de água observadas na região. Assim, a distribuição de salinidade nos perfis 1 a 4 é utilizada para estimar a disposição das massas d'água presentes na PCA, durante o período de máxima descarga do rio Amazonas, e delimitar, aproximadamente, a disposição das mesmas na área de estudo (Fig. 11).



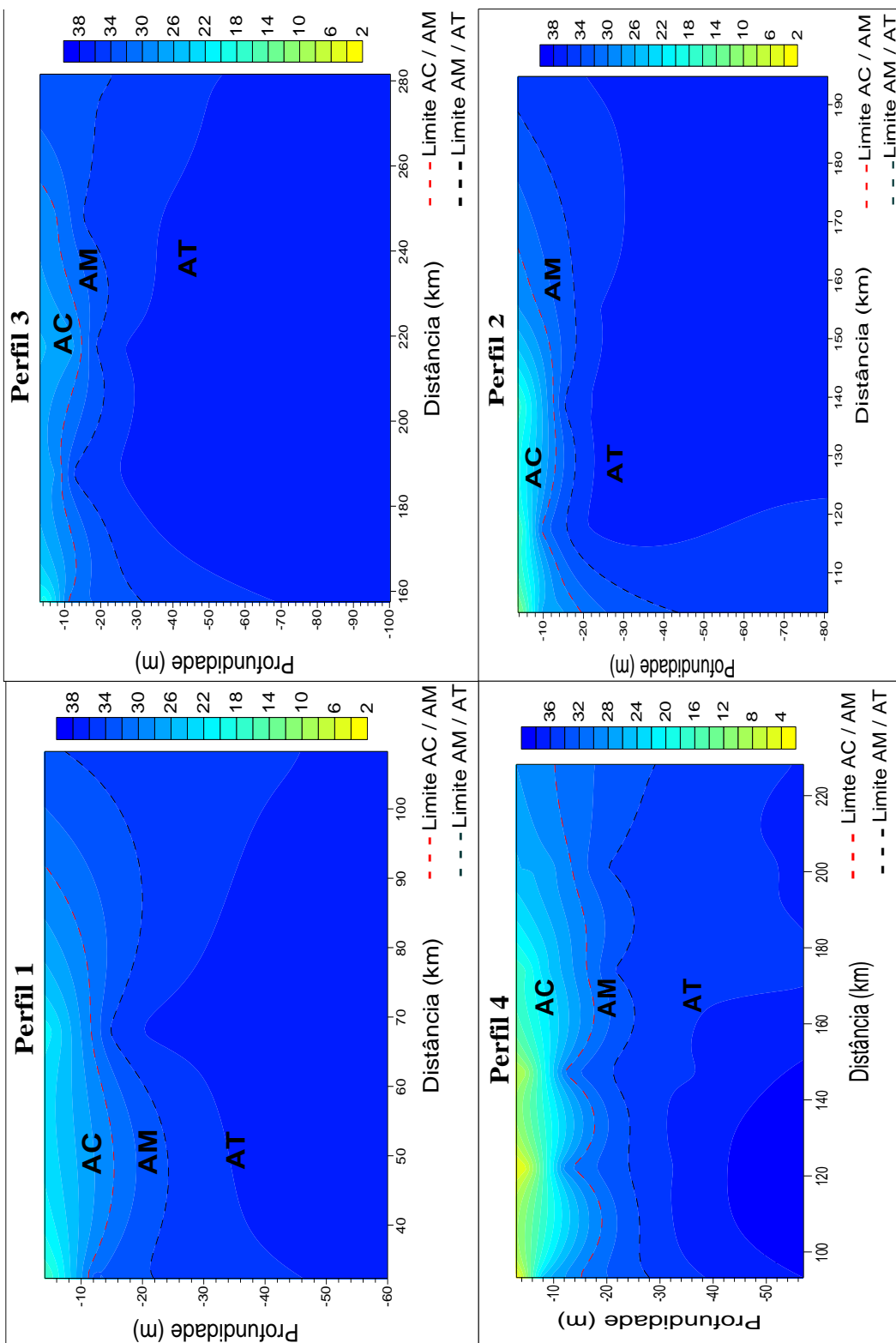
**FIGURA 10** - Diagrama T-S e massas d'água observadas na PCA durante o período estudado.

A Água Costeira equivale à pluma do rio Amazonas que se estende horizontalmente por toda a PCA. Alcança mais de 220 km da costa no perfil 4 e se estreita para 90 km a noroeste da PCA, no perfil 1 (Figura 11). Na coluna d'água esta massa d'água é observada da superfície até aproximadamente 18m de profundidade, como já apresentado anteriormente, sendo mais espessa no perfil 4 (Fig. 06, 09 e 11).

A Água de Mistura representa uma transição ente Água Costeira e Água Tropical. Na PCA esta massa d'água localiza-se logo abaixo da Água Costeira nas regiões mais internas da PCA. Quanto mais se afasta da costa e diminui a influência da pluma do rio Amazonas, esta massa d'água é observada na superfície para além de 260 e 220 km nos perfis 3 e 4, respectivamente, localizados na foz do rio Amazonas. Do perfil 1 ao 3, a Água de Mistura encontra-se com limite inferior, em torno de 20m de profundidade. Já no perfil 4, alcança mais de 30m na coluna d'água e se mantém com espessura em torno de 14m.

A Água Tropical é encontrada abaixo de 20m de profundidade nos perfis 1 e 2 onde há menor influência da pluma do rio Amazonas e a PCA se estreita. Já nos perfis 3 e 4, encontra-se mais profunda com limite superior em torno de 30m nesta plataforma continental. Apenas nos perfis a noroeste da desembocadura do rio Amazonas (Perfis 1 e 2) é que se observa Água Tropical na superfície, além de 180 km da costa. Nos demais perfis esta massa d'água se mantém abaixo da Água de Mistura até o fundo da PCA.





**FIGURA 11** - Distribuição das massas d'água na PCA durante o período de máxima descarga do rio Amazonas.

## 6 DISCUSSÃO

A grande dinâmica da Plataforma Continental do Amazonas evidenciada pela influencia conjunta de maré, ventos, correntes e a enorme descarga do rio Amazonas faz desta, uma área importante para estudos de circulação no oceano Atlântico Equatorial. Os dados de temperatura e salinidade, bem como a distribuição das massas d'água analisados neste estudo são comparados a outros trabalhos já realizados nesta região, a fim de entender melhor a distribuição destes parâmetros na PCA e as influências das forçantes ambientais mais importantes no período de máxima descarga do rio Amazonas.

A temperatura superficial das águas oceânicas na região tropical apresenta sempre um valor relativamente elevado e constante. A variação de temperatura em superfície na PCA mostrados corroboram com os observados por Santos et al. (2008) e com os dados adquiridos na operação PAVASAS I (BRASIL, 1989 apud Santos et al., 2008) para a mesma área, que mostram uma variação entre 27 e 28°C.

São poucos os trabalhos realizados na costa norte do Brasil (da costa do Maranhão ao Amapá) que abordam distribuição de temperatura na coluna d'água de plataforma, pois consideram a coluna d'água homogênea termicamente. Estudos de Silva (2001) e Pontes (2008) abordam a distribuição vertical de temperatura na plataforma continental norte do Brasil (PCA e na Plataforma Continental do Maranhão, respectivamente), porém nos dois casos, os dados utilizados são do período menos chuvoso em que a coluna d'água se apresenta bem misturada e temperaturas abaixo de 27°C encontram-se distantes da costa.

No presente estudo, a distribuição da temperatura apresenta-se totalmente diferente devido ao período de máxima descarga do rio Amazonas. A coluna d'água é bem estratificada com variações, da superfície ao fundo, que chegam a ser superiores a 3°C, e valores abaixo de 27°C que são encontrados na PCA a partir de 20m de profundidade e restrita a certos locais na costa do Amapá (Fig.8).

A salinidade, por outro lado, mostra variação considerável tanto horizontal quanto vertical na PCA, devido à influência da pluma do rio Amazonas. Limeburner et al. (1995) verificaram que no período de descarga máxima do rio Amazonas a salinidade mínima foi de 12 próximo a costa e máxima de 36 em mar aberto. Esta

variação é similar a observada neste estudo, porém a mínima salinidade foi de 2,49 na plataforma continental interna, na foz do rio Amazonas.

A notável variação de salinidade na PCA em virtude da grande descarga do rio Amazonas gera um forte gradiente de salinidade na área de cerca de 10 a 25 em 10 km (GEYER et al., 1995). Assim, a salinidade representa um parâmetro estudado com mais ênfase na área por diversos autores, dada a sua relevância para o entendimento da dinâmica da pluma do rio Amazonas e a circulação tanto na PCA como no Oceano Atlântico Equatorial (FONTES, 2008; GEYER; KINEKE, 1995; MANSSON & DELECLUSE, 2001; NIKIEMA 2007; SILVA et al., 2005; SILVA, 2006;).

A pluma do rio Amazonas apresenta limites variados de acordo com o tipo de análise e metodologia aplicada por autores distintos. Em relação à delimitação da pluma, por exemplo, Ffield (2005), Silva (2006) e Nikiema (2007), que trabalharam com dados remotos e/ ou modelos, utilizam salinidade 34 como marca do limite máximo de salinidade da pluma. Já Fontes (2008) em seus resultados de modelagem para dinâmica da pluma, delimita a mesma com salinidade de 24. Entretanto, como este trabalho utiliza dados coletados *in situ*, o limite de salinidade 30 utilizado, baseia-se em estudos de Geyer e Kineke (1995) e Nitrouer e DeMaster (1996) realizados no âmbito do programa AMASSEDS também com dados *in situ* na PCA.

Pela distribuição de salinidade apresentados neste trabalho é possível observar o comportamento e influência da pluma do rio Amazonas na PCA no que diz respeito a sua espessura, alcance, e forçantes que determinam seu destino e dinâmica (Fig. 06, 09 e 11). A espessura máxima observada no presente estudo (18m) é próxima à observada por modelos de Nikema et al. (2007), que mostram profundidade acima de 16m na coluna d'água.

Como mostrado anteriormente, no período de máxima descarga em 1999, a pluma se manteve na PCA com espessura praticamente constante na área de estudo. De acordo com Fontes et al. (2008), esta pluma mantém sua espessura relativamente constante na coluna d'água a grandes distâncias da foz do rio Amazonas devido aos movimentos de maré e do constante fluxo de água doce do rio.

A pluma do rio Amazonas é controlada por fatores dinâmicos relacionados, predominantemente, a ventos, maré e à CNB que traça o caminho da pluma no

sentido noroeste, aumentando sua extensão. À medida que se afasta da costa e aumenta a declividade da plataforma continental, o fluxo do rio deixa de receber influência do fundo, então, a mesma tende a se dissipar devido a maior mistura com água do mar e a maiores distâncias da foz do rio Amazonas, onde as correntes de fluxo do rio em direção ao mar aberto são menores Fontes et al. (2008). A partir da análise da Fig. 06 percebe-se o espalhamento da pluma para offshore em frente à foz do rio Amazonas e para noroeste ao alcançar a borda da PCA (FONTES et al., 2008; FRATANTONI; GLICKSON, 2002; MASSON e DELECLUSE, 2001; SILVA 2006;).

Os ventos também exercem um papel importante na PCA ligados ao posicionamento sazonal da ZCIT. Segundo Silva (2006), na época de maior vazão do rio Amazonas, os ventos alísios de nordeste minimizam o transporte da pluma para noroeste. Fontes et al. (2008) explicam que a ação destes ventos acumula água sobre a plataforma continental, assim pode-se ter maior confinamento da pluma sobre a PCA, aumentando a espessura da camada de baixa salinidade na coluna d'água.

Quanto às massas d'água observadas na região, a distribuição das mesmas baseadas apenas nos dados de salinidade corrobora com os limites apresentados por Silva (2006) que utiliza limites isopícnais para delimitá-las. A água Costeira corresponde à pluma do rio Amazonas e juntamente com a Água de Mistura (localizada entre a AC e AT) alcança maior distância da costa em frente à foz do rio Amazonas, onde ultrapassa o limite da PCA, e se estreita a noroeste da desembocadura deste rio.

A Água Tropical representa a camada de mistura no Oceano Atlântico Tropical e é nela que se encontra o máximo valor de salinidade da região. Forma-se na transição entre os trópicos e subtropicais e segue em direção ao equador Stramma et al. (2005). Na área de estudo, esta massa d'água se encontra abaixo da água de mistura (em torno de 20m de profundidade) e domina as águas superficiais da plataforma continental somente cerca de 180 km da costa a noroeste da foz do rio, como indicado por Silva (2006).

A grande descarga do rio Amazonas faz com que os processos estuarinos de mistura e interação com a região oceânica ocorram distantes da costa, sobre a plataforma continental principalmente durante o período de máxima descarga. Assim, eventos meteorológicos de El Niño e La Niña tem repercussão na

intensidade e frequência de chuvas na Amazônia. De acordo com CEPTEC (1999), na época do presente estudo, configurava-se um período de La Niña moderado. Este evento, junto com a intensa atividade convectiva da ZCIT, causou aumento significativo de chuvas na região Norte com maior pluviometria no noroeste do Pará e Ilha do Marajó (em torno de 500mm). Foram registradas anomalias de 100 a 200 mm acima da média histórica o que provocou elevação anômala dos rios.

Contudo é clara a possibilidade de influência do período de La Niña, em maio de 1999, como agente intensificador das chuvas na Amazônia que, juntamente com a ação da ZCIT, causou aumento da descarga do rio Amazonas e sua interação com as águas da PCA. Assim a disposição das massas de água na PCA observadas neste trabalho podem ser únicas deste período devido à interação de diferentes forçantes que ditam a dinâmica nesta plataforma continental.

## 7 CONCLUSÃO

A partir das informações adquiridas nos mapas de distribuição vertical e horizontal apresentados, pode-se perceber que a temperatura apresentou variação esperada para a PCA com valores em torno de 27 e 28°C na maior parte da área e da coluna d'água. Sendo assim, a temperatura está de acordo com o padrão das águas do Oceano Atlântico Equatorial.

Já a salinidade apresentou forte gradiente tanto vertical, como horizontal, devido à influência da pluma do rio Amazonas na área. Observou-se uma pluma bem estabelecida de salinidades abaixo de 30 a cerca de 18m de profundidade que se estreita e torna-se menos espessa a noroeste da foz do rio Amazonas. Somente além desta profundidade é possível constatar que não se tem mais influência da pluma e que talvez ocorra uma cunha de água oceânica seguindo em direção a foz do rio Amazonas que compensa o movimento de fluxo na superfície.

A partir destas características de temperatura e salinidade das águas da PCA foram registradas três massas de água: Água Costeira, Água de Mistura e Água Tropical. Pela análise do diagrama T-S foi observada a forte presença da Água Costeira na PCA devido ao fluxo de água do rio Amazonas para a PCA em seu período de máxima descarga, forçar a maior presença de águas continentais nesta plataforma continental, capazes de diluir a água oceânica e diminuir a salinidade.

Em comparação com outros trabalhos realizados na área estudada, foram observadas diferenças consideráveis na distribuição dos parâmetros analisados na PCA. Portanto a caracterização e ocorrência de massas de água nesta plataforma continental devem ser analisadas com cautela, atentando para as forçantes predominantes no período considerada, a sazonalidade de descarga do rio e a correlação com processos de diversas escalas que atuam na região.

## REFERÊNCIAS

BEARDSLEY, R.C., CANDELA, J.; LIMEBURNER, R., GEYER, W.R., LENTZ, S.J., CASTRO, B.M., CACCHIONE, D., CARNEIRO, N. The M2 tide on the Amazon shelf. **Journal Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2283–2319. 1995.

BARNIER, B.; REYNAUD, T.; BECKMANN, A.; BÖNING, C.; MOLINES, J.; BERNARD, S.; JIA, Y. On the Sazonal Variability and Eddies in North Brazil Current: Insights from Model Intercomparison experiments. **Progress in Oceanography** n. 48. p. 195-230. 2001.

COUTINHO, P. N. Sedimentos carbonáticos da Plataforma Continental Brasileira. **Revista Geologia**, Fortaleza, 65-73. 1995.

BRASIL. MARINHA DO BRASIL. Diretoia de Hidrografia e Navegação-DHN; 1989. **CXXXV Comissão Oceanográfica. Operação PAVASAS I. NOc. “Almirante Saldanha” (28/06 a 19/09/87)**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil. 28p.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. *Climanálise*, v. 5(6) p. 36-45, Jun. 1990

FONTES, R. F. C.; CASTRO, B. M.; BEARDSLEY; R. C. Numerical Study of Circulation on the Inner Amazon Shelf. **Ocean Dynamics**. V. 58 p. 187–198. 2009.

FRATANTONI, D. M. & GLICKSON, D. A. North Brazil Current Rings Generation and Evolution Observed by SeaWifs. **Journal of Physical Oceanography**. n32 p. 1058-1074. 2002.

GABIOUX, M. Influência da Lama em Suspensão na Propagação da Maré na Plataforma Continental Amazônica. 2002 99f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2002

GABIOUX, M.; VINZON, S.; PAIVA, A. M., 2005. Tidal propagation over fluid mud layers on Amazon shelf. **Continental Shelf Research** v. 25 p.113–125.

GALLO, M. N.; VINZON, S. B.; Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. **Ocean Dynamics**. V. 55 p. 441–448. 2005

GIBBS R. J. Circulation in the Amazon river estuary and adjacent Atlantic ocean. **Journal of Marine Research**, v. 28 p.113–123. 1970.

GIBBS, R. J. Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean. *Geology*, [S. l.], v. 4, p. 45-48, 1976.

GEYER, W. R.; KINEKE, G. C. **Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone**. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. C2 p. 2321-2339. 1995.

GRIMM, A. M.; DOYLE; M. E.; BARROS, V. R. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of. Climate**, v. 13, p. 35-58. 2000.

HÜBSCHER, C.; FIGUEIREDO JR., A. G.; KRUSE, L.; SPIEB, V. High-resolution analysis of the deposition pattern on the Amazon sub-aquatic delta and outer continental shelf. **Marine Geophysical Researches**. v. 23 p. 209–222. 2002.

KUEHL, S.A.; NITTRouer, C.A.; DEMASTER, D.J. Modern Sediment Accumulation and Strata Formation on the Amazon Continental Shelf. **Marine Geology**, v. 49 p. 279-300. 1982.

JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R. ; CASTRO, B.M. Annual cycle and variability of the North Brazil Current. **Journal of. Physic Oceanography**., v. 28 p. 103-128. 1998.

LIMEBURNE, R; BEARDSLEY, R.C; SOARES, ID; LENTZ, S.J.; CANDELA, J. Langrangian Flow Observations of the Amazon River Discharge Into the North Atlantic. **Journal Geysicaophl. Research**, v. 100, n. c2 p. 2401-2416. 1995.

LENTZ SJ ; LIMEBURNER R. The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. **Journal of Geophysical Research**. v. 100 n. C2 p. 2355–2376. 1995

LUCAS, E. W. M. et al. Regionalização da precipitação na bacia hidrográfica do Xingu, Pará, Pará In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2006, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis/SC: SBMET, 2006.

MASSON, S.; DELECLUSE, P. Influence of the Amazon River Runoff on the Tropical Atlantic. **Phys. Chem. Earth (B)**, v. 26, n. 2, p. 137-142. 2001.



MILLIMAN, J. D.; SUMMERHAYES, C. P.; BARRETTO, H. Contribuição ao estudo de material em suspensão na Plataforma Continental do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. Porto Alegre/RG, **Anais** Porto Alegre-RG: SBG, 1974. p:364-382. 1974.

MOLION, L.C.B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de Precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2 p. 107 – 117. 1987.

MOLION, L.C.B. E DALLAROSA, R.L.G.. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 53 p. 40 – 42. 1990.

MARENGO, J. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. **International Journal of Climatology**, v. 15 p. 995-1010. 1995;

MULLER-KARGER FE, MCCLAIN CR & RICHARDSON PL. The dispersal of the Amazon's water. **Nature**, 333: 56–69. 1988.

NIKIEMA, O.; DEVENONA, J. L.; BAKLOUTI, M. Numerical modeling of the Amazon River plume. **Continental Shelf Research** n 27 p.873–899. 2007

NITTROUER, C. A; MOUHAB, T. S., DeMASTER, D. J. Variations of Sediment Texture on the Amazon Continental Shelf. **Journal of Sedimentary Petrology**. 53 N° 1 p179-191. 1983.

NITTROUER, C. A., DeMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, New York, v. 16, n.5/6, p. 553-574. 1996.

OLTMAN R. E. Reconnaissance investigation of discharge and water quality of the Amazon River. US. Washigton DC, [s.n.], 1968. 16 p. (Geological Survey Circular, 552).

PONTES, P. H. P. Massa d'água da Plataforma Continental do Maranhão, durante período seco (novembro de 1997). **Boletim Labohidro**, v 21 p 17-24. 2001.

RICHARDSON P. L., HUFFORD, G.; LIMEBURNER, R.; Brown, W. North Brazil Current retroflection eddies. **Journal Geophysical Research.**, n. 99, p. 5081–5093. 1994.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with el niño-southern oscillation. **Monthly Weather Review**, n.115, p.1606-1626. 1987.

SAMPAIO, G.; SATYAMURTY, P. El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10 ; CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINO-AMERICANA E IBÉRICA DE SOCIEDADES DE METEOROLOGIA, 8., 1998. Brasília. **Anais**, Brasília: SBMET,1998.

SANTOS, M. L. S. **Distribuição dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) na Plataforma Continental do Amazonas**. 2004. 143f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SANTOS, M. L.S.; MEDEIROS, C.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. N.; SCHWAMBORN, RALF & MACÊDO, S. J. Influence of the Amazon and Pará Rivers on Water Composition and Phytoplankton Biomass on the Adjacent Shelf. **Journal of Coastal Research**. v. 24 n. 3 p585–593. 2008.

SILVA, A. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S. Campos de Temperatura e Salinidade na Plataforma Continental do Amazonas, durante a Descarga Mínima do Rio Amazonas: Uma Análise Ambiental. **Revista Virtual de Iniciação Acadêmica da UFPA**. V. 1, n. 1, março 2001. 1-12. 2001.

SILVA, A; ARAUJO, M.; MEDEIROS, C.; SILVA, M.; BOURLES, B. Sasonal Changes in the Mixed and Barrier Layers in the Western Equatorial Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography** v. 53. 2005.

SILVA A. C. **An analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results**. 2006. 156f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SOARES, I. **Dinâmica do oceanos**. Notas de aula do Curso de Graduação da FURG, 2003. p.176.

STRAMMA L.; SCHOTT F. 1999. The mean Flow Field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep Sea Research II**, v. 46 p.279–303.

Stramma, L.; Rhein, M.; Brandt, P.; Dengler, M.; Boning, C. & Walter, M. 2005. Upper ocean circulation in the western tropical Atlantic in boreal fall 2000. **Deep Sea Research I**, v. 52 p. 221-240.

