

II.6.1.1.2. Oceanografia

A caracterização ambiental de uma determinada região representa uma importante ferramenta de planejamento do uso dos recursos naturais e de otimização de investimentos.

Assim sendo, este capítulo aborda os aspectos oceanográficos mais relevantes da Bacia da Foz do Amazonas, mais precisamente, nas proximidades dos blocos FZA-M-57, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-125 e FZA-M-127 (operados pela TOTAL), FZA-M-90 (operado pela QGEP) e FZA-M-59 (operado pela BP).

Para tanto, foram utilizadas informações secundárias de bases regionais e globais, as quais foram analisadas através de procedimentos estatísticos, de forma a atender às exigências do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

Os parâmetros abordados no estudo são: temperatura, salinidade e densidade da água do mar, massas d'água, regime de correntes, regime de ondas e marés.

II.6.1.1.2.1. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala

A região da Bacia da Foz do Amazonas sofre a influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB). Essa corrente é formada a partir da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul-Equatorial (CSE), que flui para oeste em direção ao cabo de São Roque (ponto mais a leste da América do Sul), dividindo-se em duas partes: a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a Corrente do Brasil (CB) (Stramma, 1991).

Na **Figura II.6.1.1.2.1-1** são apresentados mapas esquemáticos das principais correntes encontradas no Atlântico Tropical em superfície, entre 0 e 100 metros. Esses mapas foram adaptados de Stramma & Schott (1999), que fizeram uma descrição da circulação do Atlântico tropical a partir de revisão bibliográfica e observações hidrográficas.

A circulação superficial do Atlântico Tropical, segundo Pickard & Emery (1982), é formada pelas seguintes correntes:

- Corrente Norte Equatorial (CNE), fluindo para Oeste, a norte de 10° N, com velocidade média de 10-15 cm/s;
- Contra-corrente Norte Equatorial (CCNE), fluindo para Leste entre 8° N e 3° N, com velocidades médias de ~40 cm/s;
- Corrente Sul Equatorial (CSE) fluindo para Oeste a sul de 3° N, com velocidade média entre 10 e 20 cm/s.

Atualmente, a CSE é subdividida em 3 (três) ramos distintos, por apresentar uma estrutura muito complexa: um mais ao norte (Corrente Sul Equatorial ramo Norte - CSEN), um central (Corrente Sul Equatorial ramo Central - CESC) e um ao sul (Corrente Sul Equatorial ramo Sul - CSES) (STRAMMA & SCHOTT, 1999). Esses ramos são separados, respectivamente, pela Corrente Sul Equatorial Subsuperficial (CSESS), que flui entre 3° S e 5° S e pela Contra-corrente Sul Equatorial (CCSE), que flui para Leste entre 7° S e 9° S (Menezes, 1999).

Próximo à costa do Brasil, a sul de 10° S, a CSES ramifica-se formando a Corrente do Brasil (CB), que flui para Sul, e a Corrente Norte do Brasil (CNB), fluindo para norte. Em 2° N, a CNB une-se à CSEN, fluindo próximo à costa na direção Noroeste, com velocidades médias entre 1 e 1,5 m/s (Stramma, 1991). Devido à complexa estrutura da CSE no lado oeste da bacia atlântica, a localização exata da origem da CNB não é bem definida (Silveira et al., 1994 apud Menezes, 1999).

Na segunda metade do ano, tipicamente de julho a setembro, a CNB divide-se próximo a 8° N e 50° W, onde uma parte continua para Norte próximo à costa, primeiro como Corrente das Guianas (CGG) e depois como Corrente do Caribe (CC), e outra parte inflete-se para fora da costa, alimentando a CCNE (Silveira *et al.*, 1994 apud Menezes, 1999). Este processo é conhecido como a retroflexão da CNB. Segundo Johns *et al.* (1990 apud Menezes, 1999), a separação da CNB é um processo fortemente estratificado, onde a camada superficial da CNB alimenta a CCNE; a camada da termoclina alimenta a Corrente Equatorial Subsuperficial (CESS); e a camada da sub-termoclina, que é permanentemente retro-refletida entre 3°N e 5° N, alimenta a Corrente Norte Equatorial Subsuperficial (CNESS). A CESS flui para Leste, entre 50 e 300 metros de profundidade.

Na **Figura II.6.1.1.2.1-1-A** e na **Figura II.6.1.1.2.1-1-B** são apresentadas diversas siglas para ilustrar as correntes que compõem a circulação do oceano atlântico tropical. As correntes referentes a cada sigla são apresentadas na Tabela II.6.1.1.2.1-1.

Tabela II.6.1.1.2.1-1 :- Correntes que compõem a circulação superficial do oceano Atlântico.

Sigla	Corrente
CA	Corrente de Angola
CB	Corrente do Brasil
CCNE	Contra-corrente Norte Equatorial
CCSE	Contra-corrente Sul Equatorial
CESS	Corrente Equatorial Subsuperficial
CG	Corrente da Guiné
CGCSS	Corrente do Gabão-Congo Subsuperficial
CNB	Corrente Norte do Brasil
CNE	Corrente Norte Equatorial
CSEC	Corrente Sul Equatorial ramo equatorial
CSEN	Corrente Sul Equatorial ramo norte
CSES	Corrente Sul Equatorial ramo sul
CSESS	Corrente Sul Equatorial Subsuperficial
DA	Domo de Angola
DG	Domo da Guiné
FAB	Frente Angola-Benguela
GA	Giro da Guiné
R	Áreas de provável ressurgência

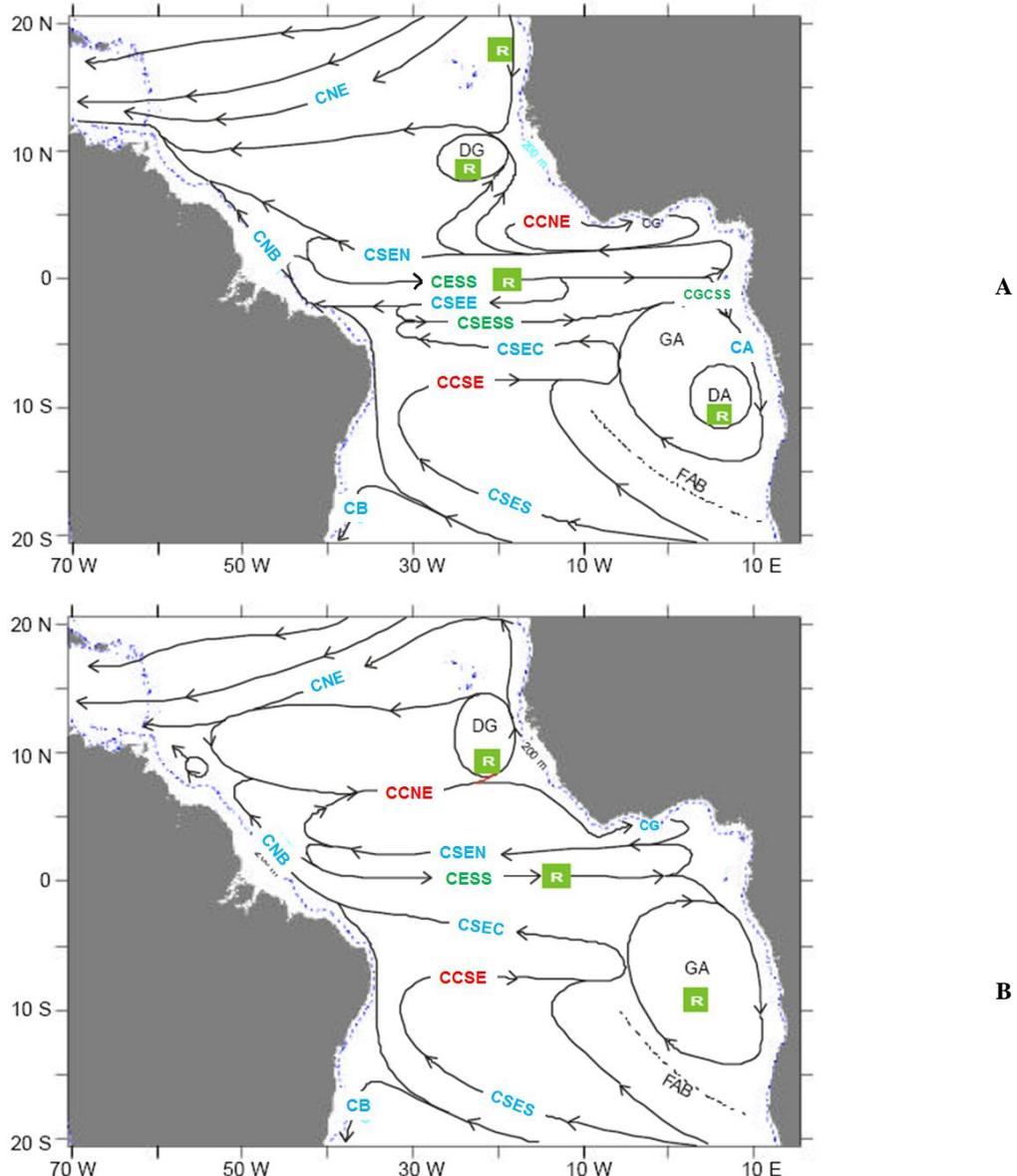


Figura II.6.1.1.2.1-1 - Distribuição esquemática das principais correntes encontradas na camada superficial (entre 0 e 100 m) do Atlântico Tropical: (a) situação típica de outono/HS (março, abril e maio) e (b) situação típica de primavera/HS (setembro, outubro e novembro). Os pontos azuis representam a batimetria de 200 m. Fonte: Menezes (1999).

Na região da Bacia da Foz do Amazonas, além da influência da circulação da CNB descrita anteriormente, ainda existe a influência direta da maré, sendo esta, talvez, o principal mecanismo forçante para as correntes costeiras ali presentes. Essa região possui grandes amplitudes de maré, da ordem de 3 m. Tal fato é causado pela distribuição da variação da maré global no oceano, que naquela região possui grandes oscilações, em contraste com regiões influenciadas por pontos anfídromicos, como as costas sudeste e sul do Brasil. A Figura II.6.1.1.2.1-2 mostra a distribuição das amplitudes e fases da principal componente de maré (M2) no Oceano Atlântico. Pode-se notar um núcleo de grandes amplitudes na região da Bacia da Foz do Amazonas e adjacências.

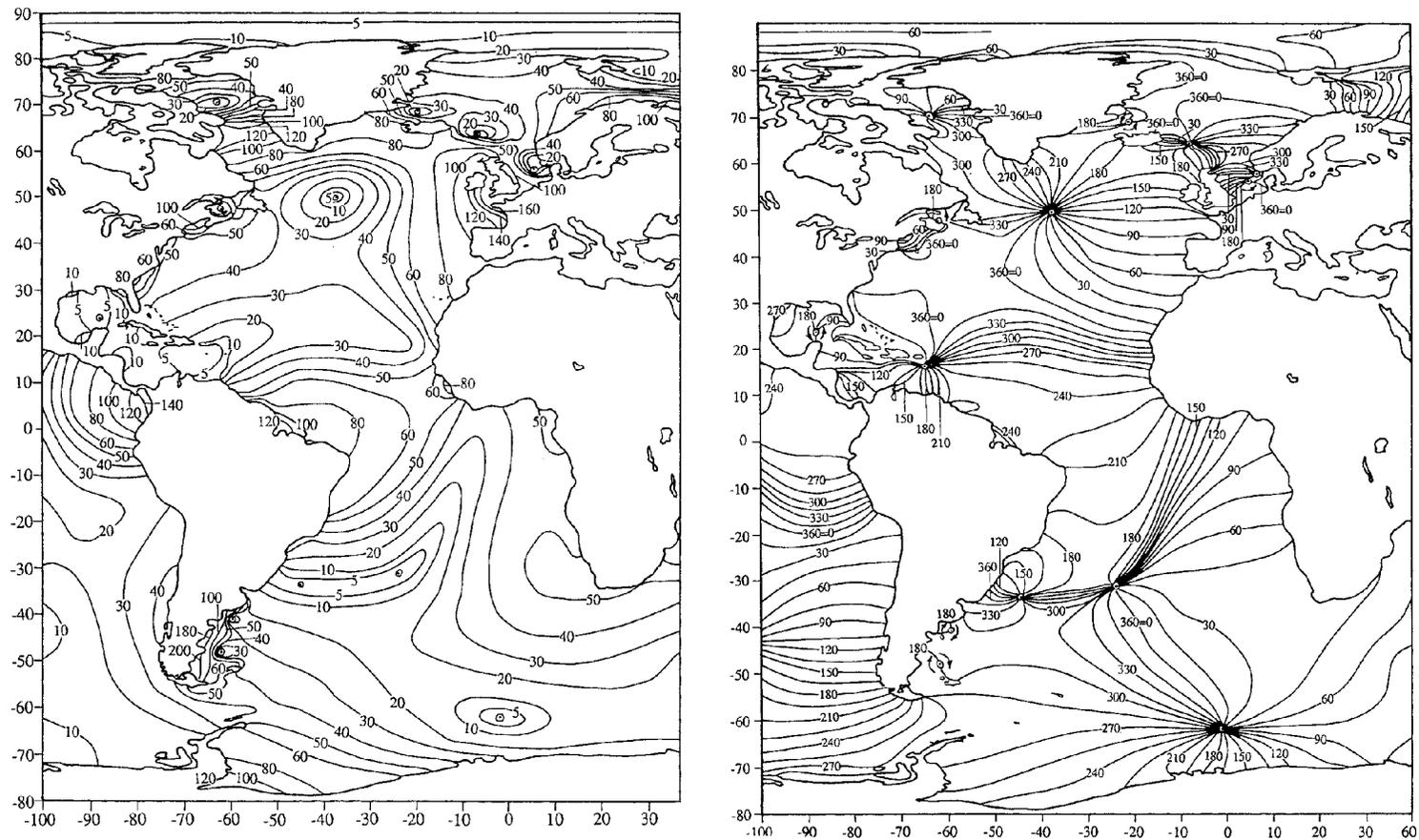


Figura II.6.1.1.2.1-2 - Distribuição das amplitudes (cm) e fases (graus) da componente M2 da maré no Oceano Atlântico. Fonte: Schwerdski (1979).

II.6.1.1.2.2. Caracterização dos fenômenos de mesoescala

A abordagem adotada na caracterização dos fenômenos de mesoescala apresentada neste estudo parte de uma caracterização regional da Bacia da Foz do Amazonas e, sempre que possível, apresenta as características particulares das proximidades dos blocos FZA-M-57, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-125 e FZA-M-127 (TOTAL), FZA-M-90 (QGEP) e FZA-M-59 (BP). Para tanto, foram utilizados, além de referências bibliográficas sobre a oceanografia local, dados de diversas fontes, conforme citado a seguir:

- Ø **Dados de temperatura e salinidade disponíveis no *National Oceanographic Data Center* (NODC);**
- Ø **Dados primários de temperatura e salinidade obtidos do Projeto de Caracterização Ambiental (Baseline) da Margem Equatorial Brasileira.**
- Ø **Dados de temperatura e salinidade obtidos da Análise Global do produto MyOcean.**
- Ø **Dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*).**
- Ø **Dados de onda provenientes de modelagem numérica fornecidos pelo projeto ERA-Interim.**
- Ø **Dados do modelo global de marés TPX07 contendo a fase e a amplitude das principais constituintes de maré.**
- Ø **Dados da estação maregráfica da FEMAR da PENROD.**
- Ø **Dados de correntes da Análise Global do produto MyOcean, do Global Drifter Program (GDP), e do modelo ROMS.**

A **Tabela II.6.1.1.2.2-1** apresenta um resumo das fontes de dados utilizadas no estudo, e as suas respectivas localizações.

Tabela II.6.1.1.2.2-1 - : Localização das fontes de dados utilizadas.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros	Período
	latitude	longitude		
NODC/WOA	5,375° N	49,875° W	T, S e D	Climatologia
NODC/WOA (Área)	2° S – 8° N	45° W - 53° W	T, S, D	Climatologia
NODC/WOD	4,5° N – 5,75° N	49,5° W – 50,75° W	T, S	1937 – 2014
Campanha de Baseline	4,79° N – 5,44° N	49,80° W - 50,44° W	T,S,D	30/3/2015 – 29/4/2015
OSTIA	2° S – 8° N	45° W - 53° W	TSM	2007 – 2014
ERA Interim	5,25° N	50,25° W	Ondas	1979 – 2014
FEMAR	3° N	49,28° W	Maré	-
TPX07	2° S – 8° N	45° W - 53° W	Maré	-
MyOcean	2° S – 8° N	45° W - 53° W	Correntes	2013 (jan - dez)
GDP	2° S – 8° N	45° W - 53° W	Correntes	1997 - 2013
ROMS (plataforma)	4,60° N	50,69° W	Correntes	2013 (jan - dez)

Legenda: T = Temperatura; S = Salinidade; D = Densidade.

Para manter a coerência dos dados apresentados no item de meteorologia, todos os dados foram separados em duas estações, período seco – janeiro a junho - e chuvoso – julho a dezembro. Para a região, estas duas estações foram identificadas e relacionam-se, principalmente, com a migração da ZCIT , cujo característica mais marcante é a precipitação. A definição das estações encontra-se descrita e justificada no item II.6.1.1.1.5 do relatório de meteorologia.

II.6.1.1.2.2.A. Temperatura, salinidade e densidade

Para avaliar a variação vertical de temperatura, salinidade e densidade na região dos blocos analisados, foram utilizados os dados da climatologia sazonal WOA13 (*World Ocean Atlas 13*), do NODC, obtidos através da sua página na internet (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>).

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA13 consistem da análise objetiva dos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos, em navios de pesquisa e de oportunidade. Esta análise objetiva utilizar dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global com resolução espacial de 1/4°. Tais campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 102 profundidades padrão, desde a superfície até 5.500 m de profundidade. Temporalmente, esta climatologia consiste na média realizada para o período compreendido entre os anos de 1773 e 2013. Maiores informações sobre a bases climatológicas do WOA13 podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2013) and Zweng *et al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos de um ponto de grade na região dos blocos, localizado em 5,38°S e 49,88°W, conforme apresentado na **Figura II.6.1.1.2.2.A-1**. Os perfis de temperatura, salinidade e densidade para o período chuvoso (janeiro a junho) e para o período seco (julho a dezembro) são apresentados da **Figura II.6.1.1.2.2.A-2** à **Figura II.6.1.1.2.2.A-5**.

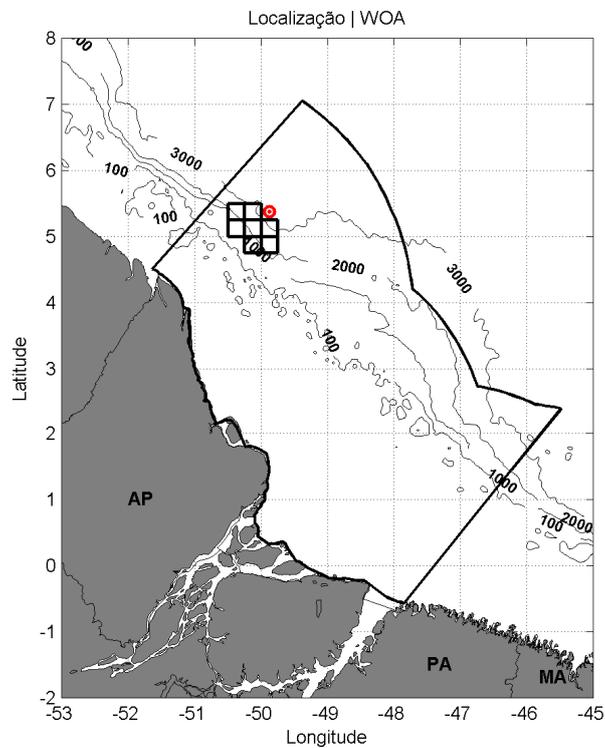


Figura II.6.1.1.2.2.A-1 - Localização do ponto de grade do WOA13 (ponto vermelho) de onde foram retirados os dados de temperatura, salinidade e densidade.

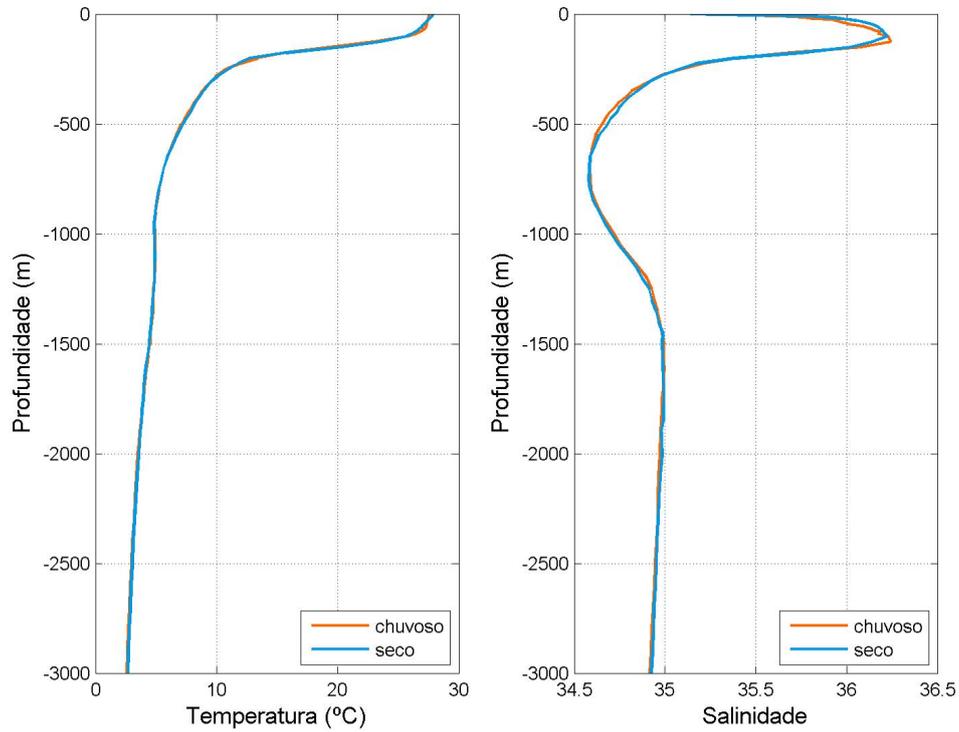


Figura II.6.1.1.2.2.A-2 - Perfis de temperatura (esquerda) e salinidade (direita) ao longo de toda a coluna d'água para os períodos chuvoso e seco na região dos blocos da Foz do Amazonas.

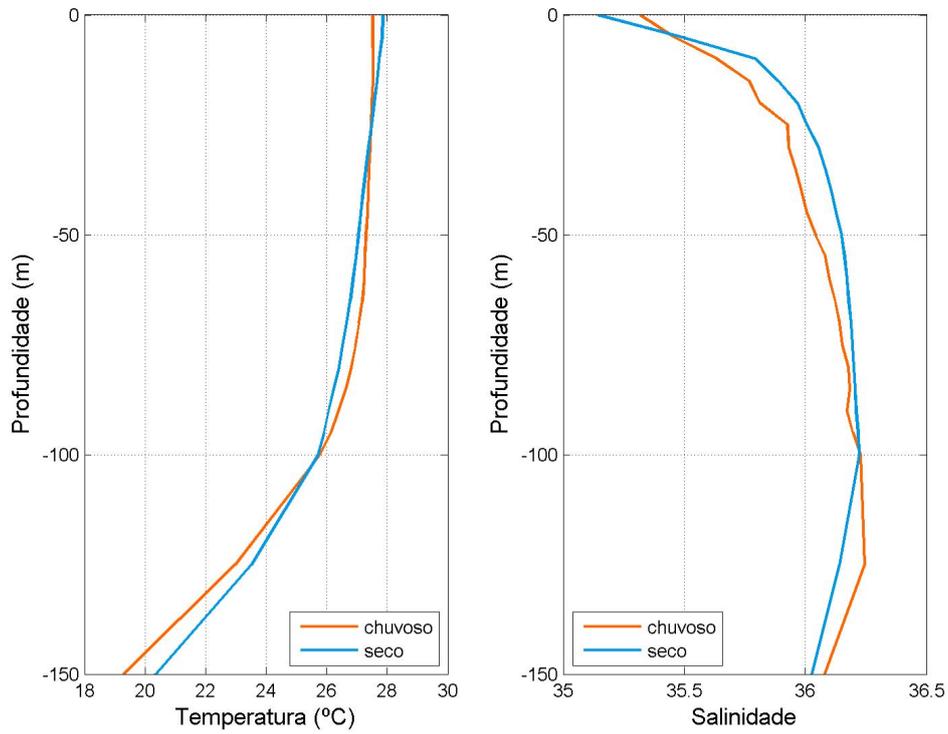


Figura II.6.1.1.2.2.A-3 - Detalhamento dos perfis de temperatura (esquerda) e salinidade (direita) para os primeiros 150 metros de coluna d'água, para os períodos chuvoso e seco na região dos blocos da Foz do Amazonas.

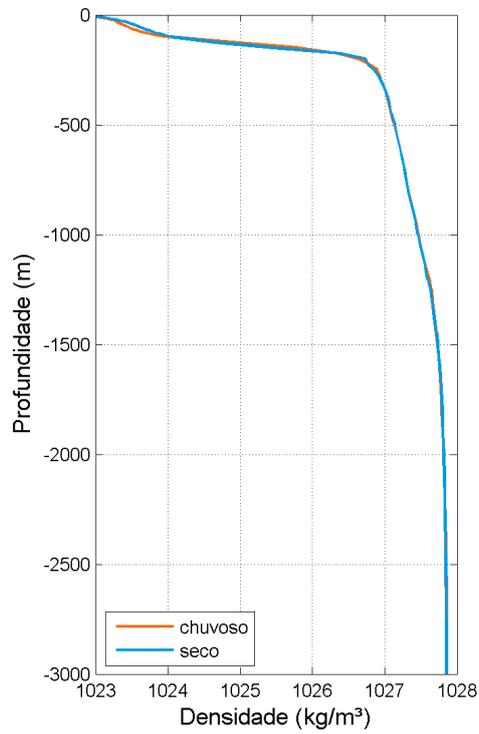


Figura II.6.1.1.2.2.A-4 - Perfis de densidade para os períodos chuvoso e seco na região dos blocos da Foz do Amazonas.

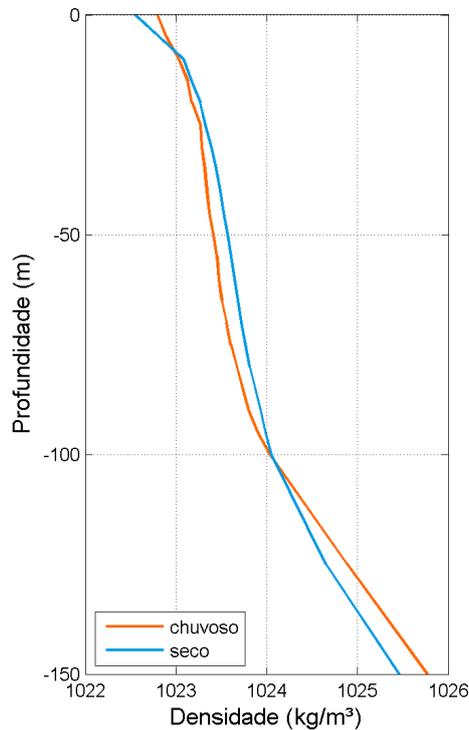


Figura II.6.1.1.2.2.A-5 - Detalhamento dos perfis de densidade para os primeiros 150 metros de coluna d'água, para os períodos chuvoso e seco na região dos blocos da Foz do Amazonas.

Ao analisar os perfis apresentados acima, verifica-se que a camada de mistura na região possui aproximadamente 100m de espessura. Logo abaixo desta camada, entre aproximadamente 100 e 700m de profundidade, é verificado um acentuado gradiente de temperatura, salinidade e densidade, caracterizando a termoclina, haloclina e pycnoclina da região. As variações entre os períodos chuvoso e seco são pouco significativas para o ponto analisado.

Para complementar a caracterização de temperatura, salinidade e densidade, apresenta-se uma descrição e análise dos dados de CTD obtidos na Bacia da Foz do Amazonas, dentro do escopo do Projeto de Caracterização Ambiental (Baseline) da Margem Equatorial Brasileira.

Os dados de CTD da campanha de baseline correspondem a 21 estações de perfilagem. A Tabela II.6.1.1.2.2.A-1 resume as informações das coordenadas, instantes e profundidades locais de cada estação, enquanto que na Figura II.6.1.1.2.2.A-6 pode-se observar a localização das estações em relação aos blocos de interesse.

Tabela II.6.1.1.2.2.A-1 - : Coordenadas das estações, datas de realização das medições e profundidades locais. (Datum: SIRGAS 2000/UTM Zona 22N).

Estação	Data do CTD	Profundidade Local (m)	Longitude	Latitude
1	04/04/15 17:06	2437	-50,431	5,443
2	05/04/15 15:15	1670	-50,444	5,304
3	05/04/15 04:25	2450	-50,309	5,313
4	06/04/15 01:14	835	-50,433	5,187
5	06/04/15 11:42	285	-50,433	5,062
6	06/04/15 17:25	1090	-50,321	5,114
7	07/04/15 16:39	2245	-50,191	5,214
8	07/04/15 08:11	1820	-50,202	5,052
9	08/04/15 04:15	2590	-50,062	5,096
10	25/04/15 17:08	431	-50,205	4,866
11	29/04/15 09:51	2042	-50,073	4,951
12	25/04/15 03:11	775	-50,090	4,797
13	09/04/15 19:12	2300	-49,945	4,867
14	08/04/15 21:39	2670	-49,812	4,945
15	09/04/15 10:39	2450	-49,807	4,799
16	03/04/15 07:57	2950	-50,209	5,429
17	04/04/15 03:43	3160	-50,061	5,444
18	01/04/15 20:11	2930	-50,095	5,299
19	31/03/15 02:34	2940	-49,971	5,179
20	30/03/15 19:20	3002	-49,802	5,188
21	31/03/15 11:12	2840	-49,879	5,049

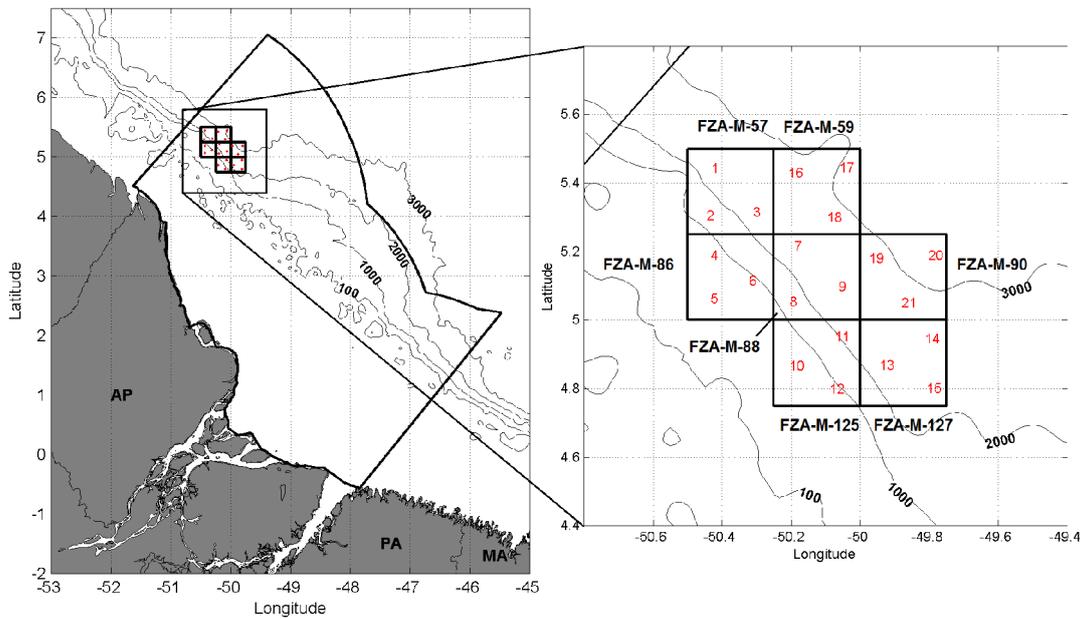


Figura II.6.1.1.2.2.A-6 - Coordenadas das estações de CTD (Datum: SIRGAS 2000). Os quadrados em preto representam as localizações dos Blocos FZA-M-57, FZA-M-86, FZA-M-88, FZA-M-125 e FZA-M-127 (operados pela TOTAL), FZA-M-90 (operado pela QGEP) e FZA-M-59 (operado pela BP).

Para possibilitar comparações com a climatologia WOA13, os dados de temperatura, salinidade e densidade de ambas as fontes de dados foram traçados conjuntamente. No entanto, nos perfis comparativos apresentados da **Figura II.6.1.1.2.2.A-7 à Figura II.6.1.1.2.2.A-9**, os dados do WOA13 utilizados são referentes apenas aos meses de **abril a junho**, de forma com que a climatologia apresentada esteja de acordo com o período de coleta de dados dos CTDs.

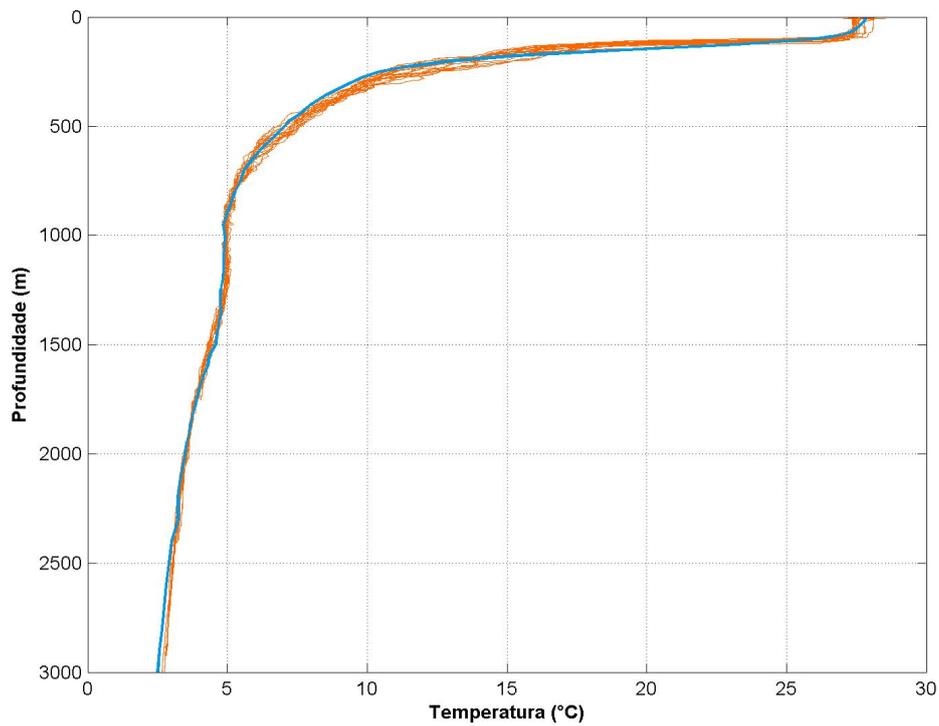


Figura II.6.1.1.2.2.A-7 - Perfis de temperatura das 21 estações da campanha de *baseline* (laranja) e climatologia do WOA13 dos meses de abril a junho (azul).

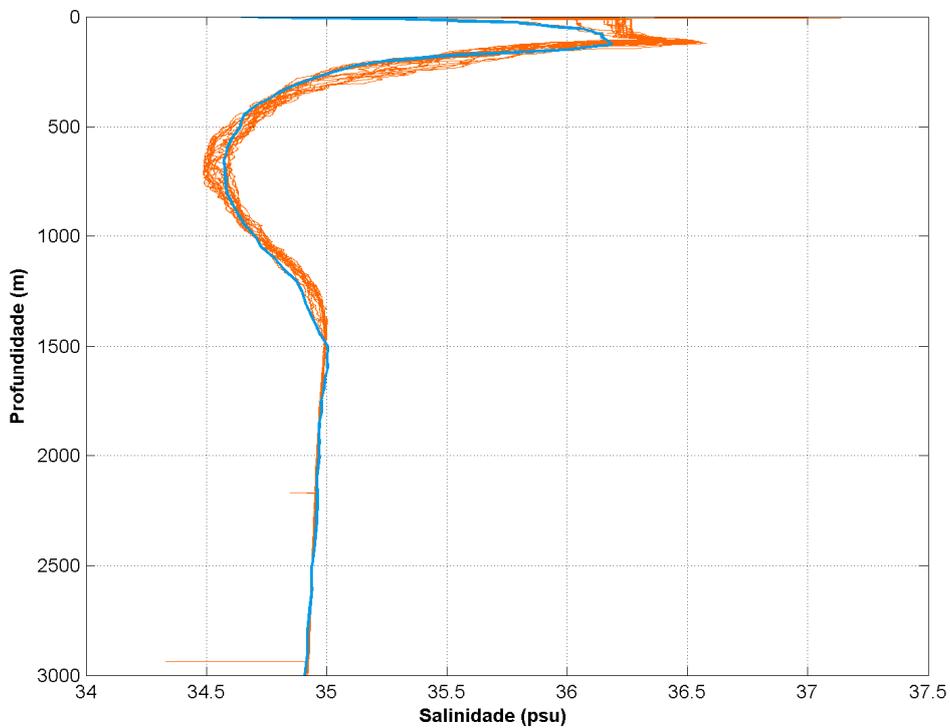


Figura II.6.1.1.2.2.A-8 - Perfis de salinidade das 21 estações da campanha de *baseline* (laranja) e climatologia do WOA13 dos meses de abril a junho (azul).

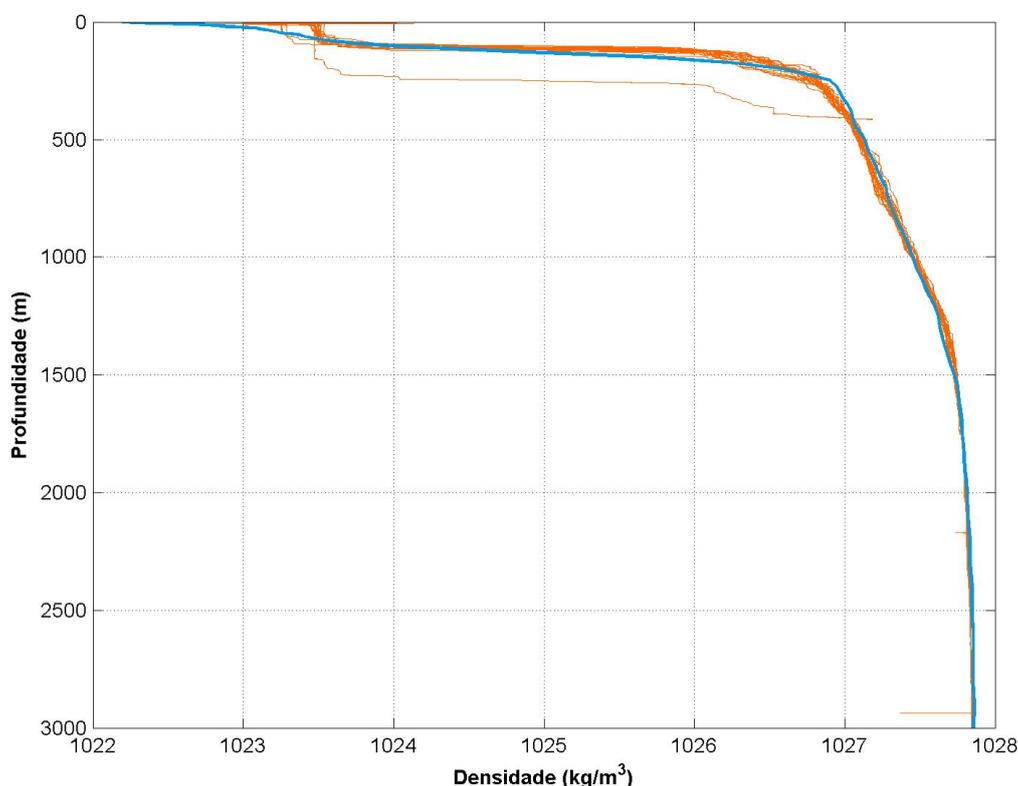


Figura II.6.1.1.2.2.A-9 - Perfis de densidade das 21 estações da campanha de *baseline* (laranja) e climatologia do WOA13 dos meses de abril a junho (azul).

Ao analisar os perfis apresentados acima, verificou-se que a camada de mistura na região possui aproximadamente 100m de espessura, em ambas as fontes de dados. Assim como constatado nos dados do WOA13, nota-se a presença das termoclinas, haloclinas e picnoclinas da região (região de gradiente acentuado), indo até profundidades em torno de 700 m, nos dados de CTD da campanha de *baseline*.

Observando, em detalhes, a comparação entre os perfis, nota-se uma diferença nos dados de salinidade na região da camada de mistura. Enquanto que nos dados da campanha de *baseline* são observados valores de até aproximadamente 36,6 psu, no WOA13 eles não ultrapassam 36,2 psu. Já em temperatura, a diferença menos significativa, não sendo superior a 0,5°C em superfície. No entanto, a diferença vista em salinidade recai, também, nos valores de densidade que por sua vez, também apresentam uma diferença significativa na camada de mistura.

É importante destacar que as diferenças observadas são esperadas, nos primeiros metros da coluna d'água (camada de mistura). Primeiramente, vale ressaltar que a base de dados do WOA13 constitui uma climatologia da região e, portanto, essa comparação não deve ser tratada com uma abordagem de comparação sinótica. Além disso, a camada de mistura é uma região amplamente afetada, em escalas temporais curtas, por fenômenos meteorológicos, tais como precipitações e, também, por aportes fluviais. Portanto, pode-se afirmar que as diferenças observadas estão compreendidas dentro da variabilidade da região, próximas aos valores climatológicos, não caracterizando uma desconformidade em relação aos dados do WOA.

Em profundidades maiores do que a camada de mistura, nota-se que os dados de CTD da campanha da *baseline* se aproximam bastante da climatologia. Isso ocorre porque as massas d'água dessas profundidades possuem sua formação em regiões distantes da área de estudo e, portanto, não sofrem alterações devido a efeitos próprios da região abordada.

Para a análise da variação espacial e sazonal dessas variáveis na região dos blocos, da **Figura II.6.1.1.2.2.A-10** à **Figura II.6.1.1.2.2.A-47**, geradas a partir de dados do NODC, são apresentados mapas de temperatura, salinidade e densidade, para o período chuvoso e seco, nas profundidades de 0, 100, 500, 1000, 2000 e 3000 m.

Em superfície, durante o período chuvoso (janeiro a junho) são observadas águas mais quentes na região da plataforma continental, havendo uma diminuição dos valores em direção ao norte da Bacia da Foz do Amazonas. No período seco (julho a dezembro), as menores temperaturas estão associadas ao fluxo da CNB.

A salinidade superficial apresenta grande variação sazonal na região da plataforma continental. Durante o período chuvoso, a pluma de baixa salinidade do rio Amazonas se estende por grande parte da plataforma continental da Bacia da Foz do Amazonas, enquanto que no período seco, notam-se sinais da retroflexão da CNB na salinidade superficial.

Em profundidade, as variações sazonais de temperatura e salinidade, como esperado, são menores. As variações ocorridas não seguem um padrão, mas parecem estar associadas a variação sazonal da retroflexão da CNB, que ocorre principalmente no período seco.

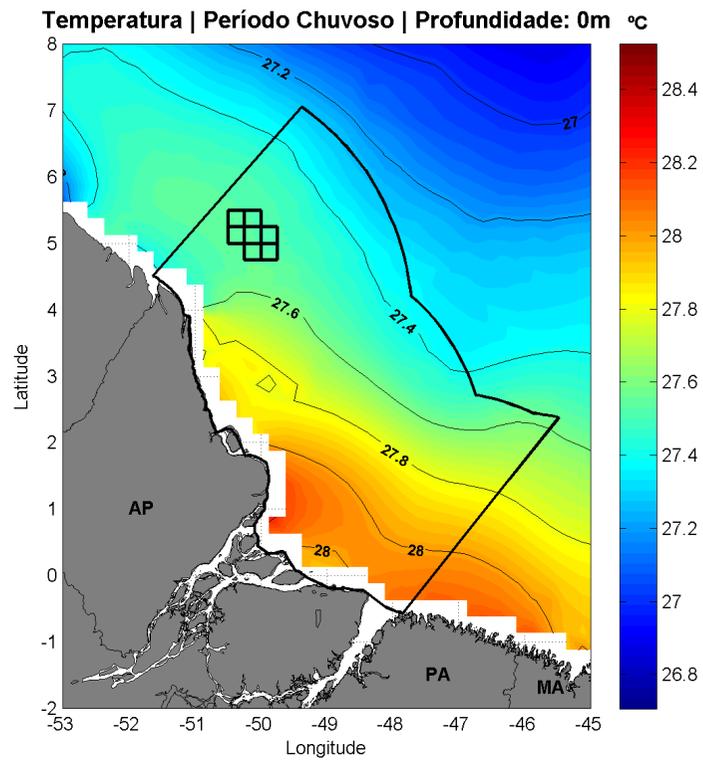


Figura II.6.1.1.2.2.A-10 - Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período chuvoso.

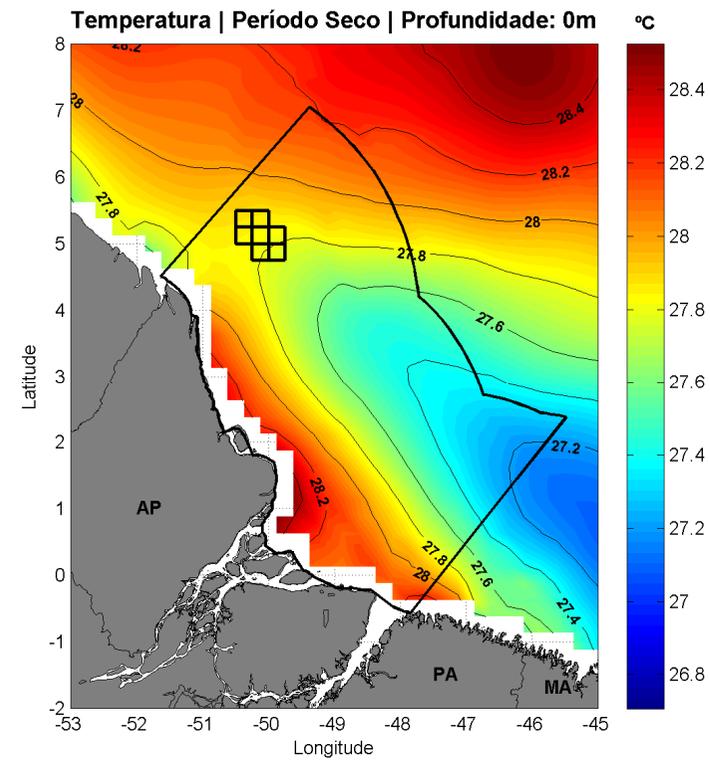


Figura II.6.1.1.2.2.A-11 - Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período seco.

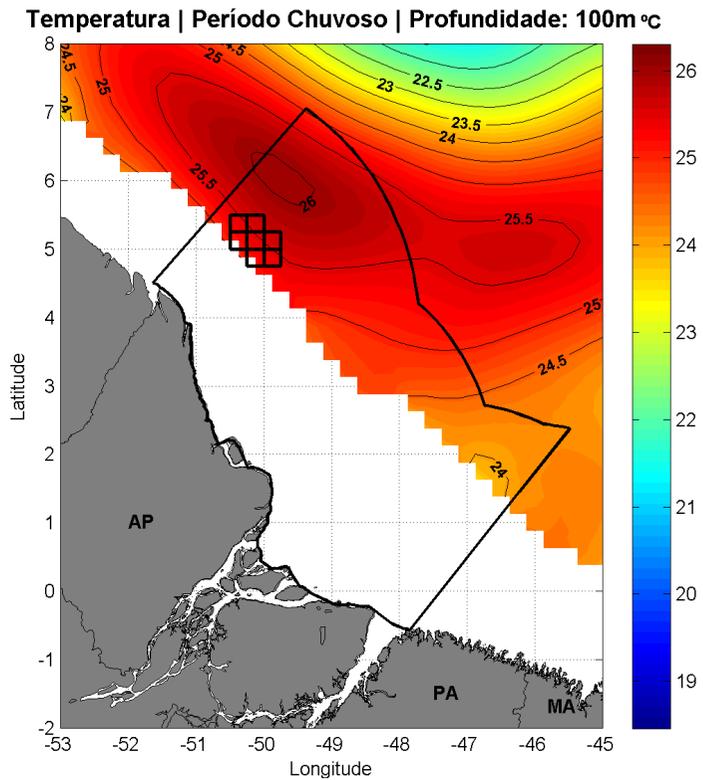


Figura II.6.1.1.2.2.A-12 - Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

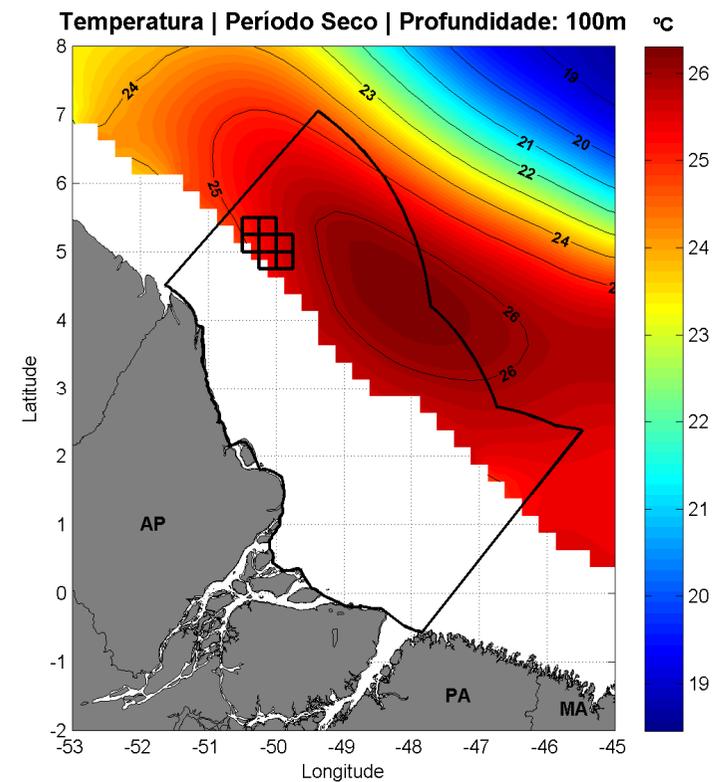


Figura II.6.1.1.2.2.A-13 - Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para o período seco.

Temperatura | Período Chuvoso | Profundidade: 500m °C

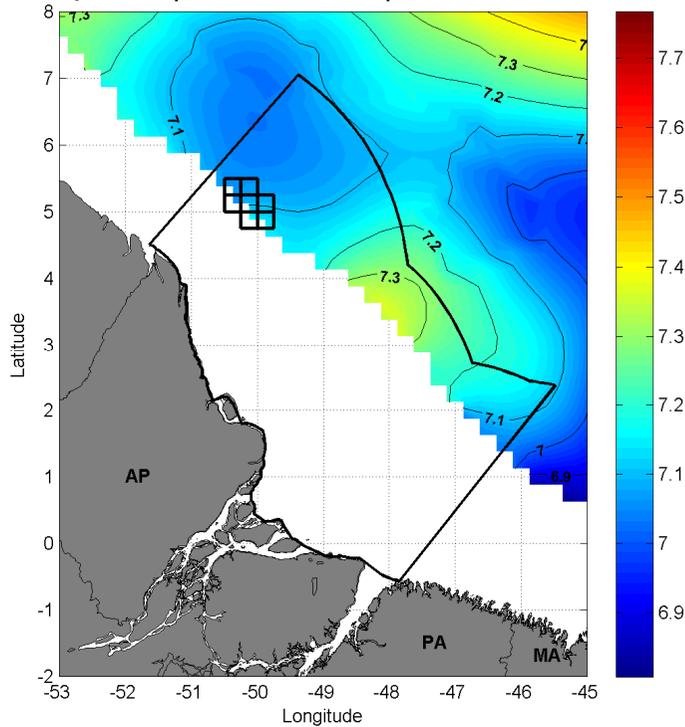


Figura II.6.1.1.2.2.A-14 - Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para o período chuvoso.

Temperatura | Período Seco | Profundidade: 500m °C

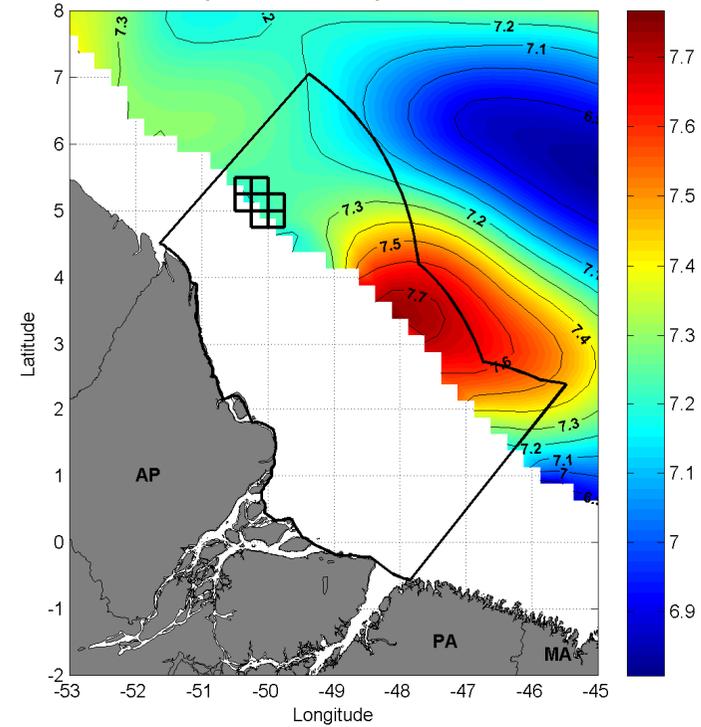


Figura II.6.1.1.2.2.A-15 - Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para o período seco.

Temperatura | Período Chuvoso | Profundidade: 1000mc

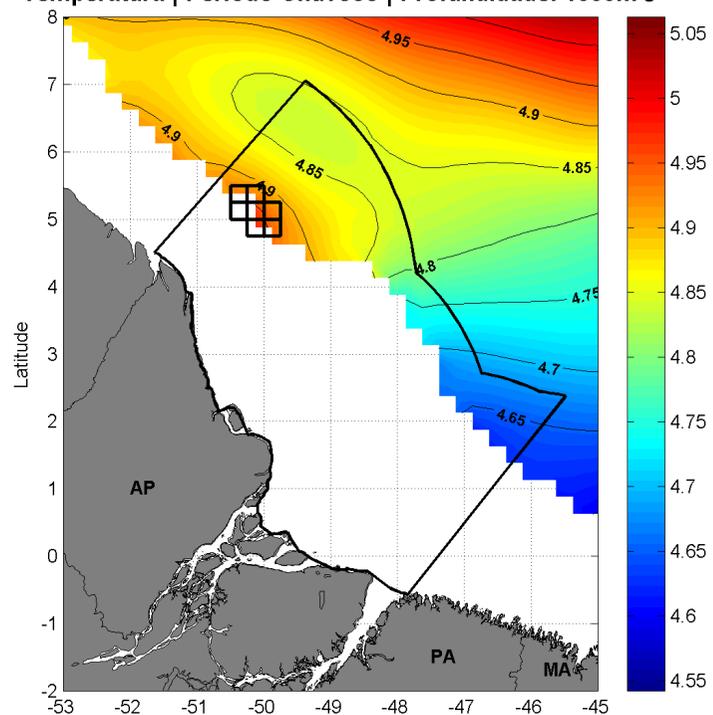


Figura II.6.1.1.2.2.A-16 - Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para o período chuvoso.

Temperatura | Período Seco | Profundidade: 1000m °C

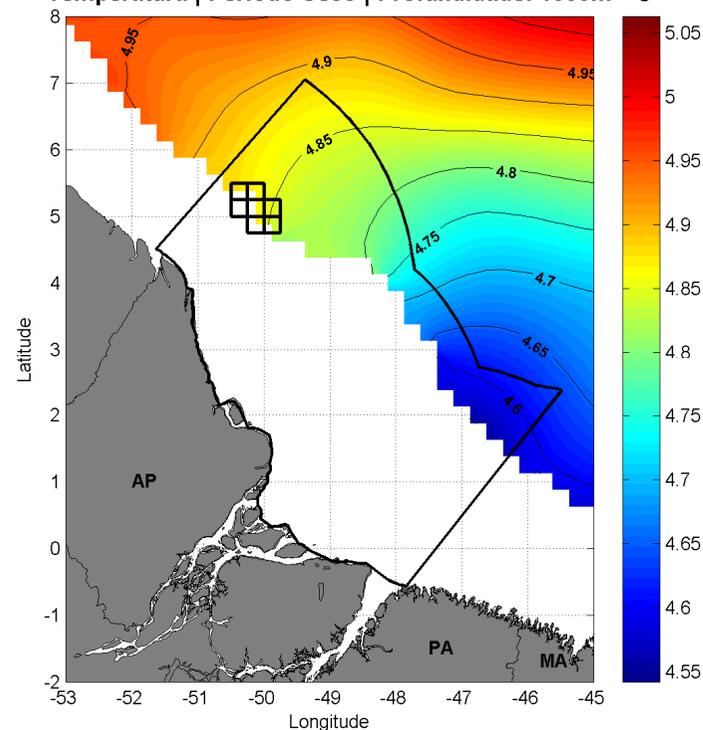


Figura II.6.1.1.2.2.A-17 - Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para o período seco.

Temperatura | Período Chuvoso | Profundidade: 2000m^c

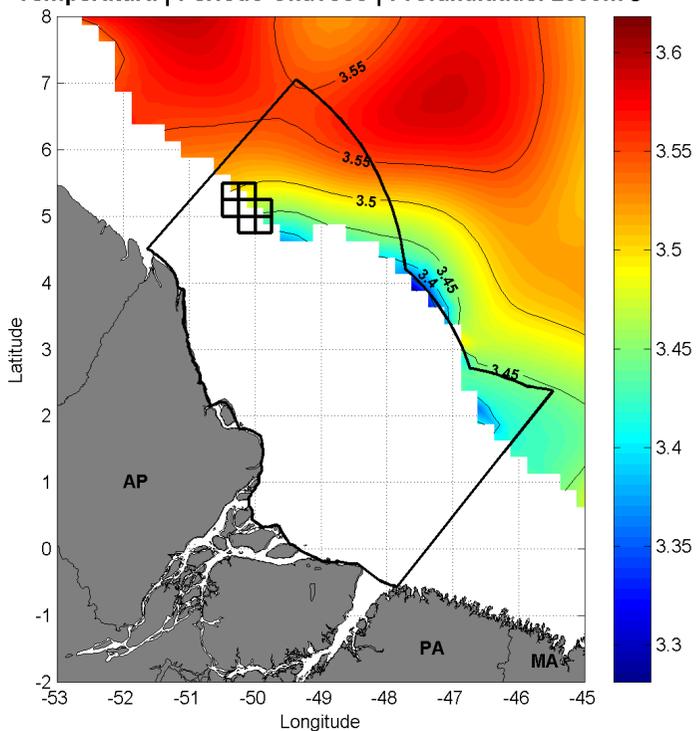


Figura II.6.1.1.2.2.A-18 - Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para o período chuvoso.

Temperatura | Período Seco | Profundidade: 2000m °c

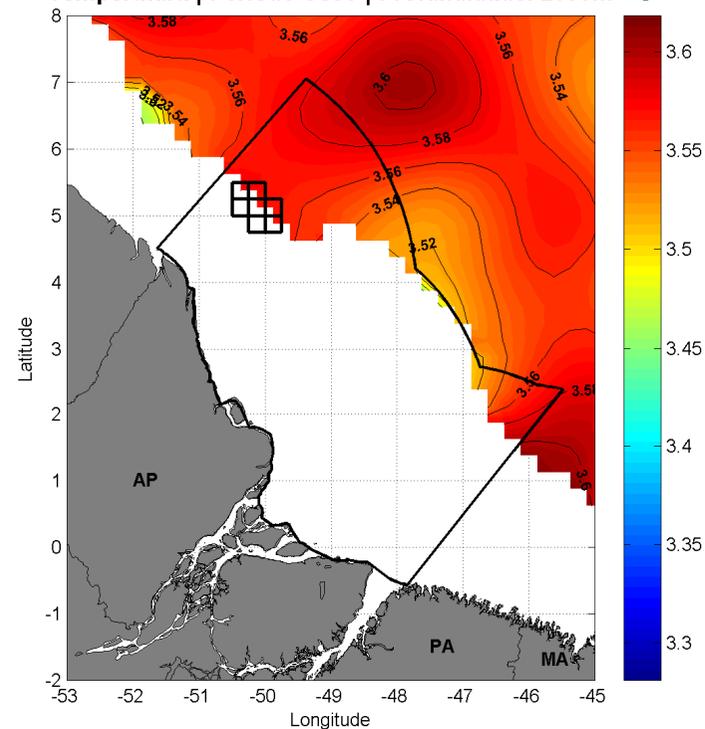


Figura II.6.1.1.2.2.A-19 - Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para o período seco.

Temperatura | Período Chuvoso | Profundidade: 3000m^c

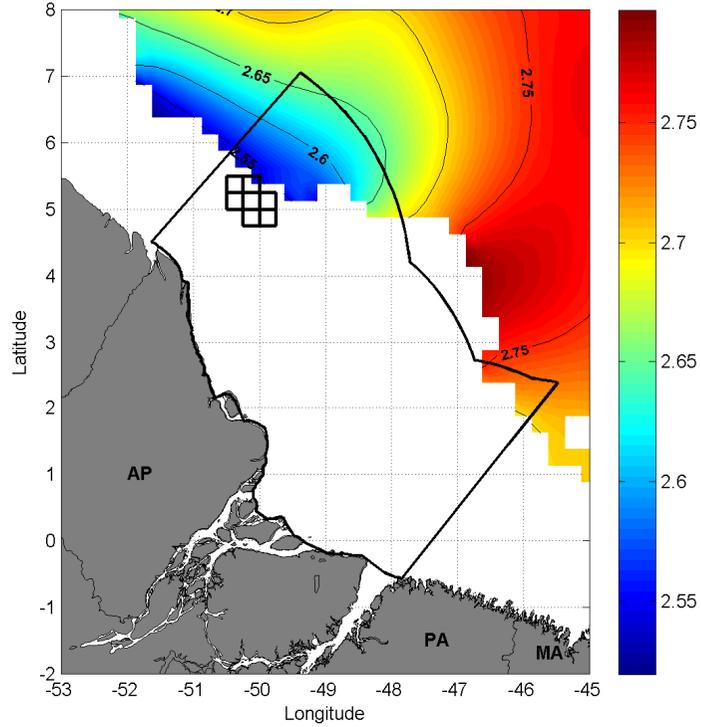


Figura II.6.1.1.2.2.A-20 - Seção horizontal de temperatura em 3000 m de profundidade, para o período chuvoso.

Temperatura | Período Seco | Profundidade: 3000m °c

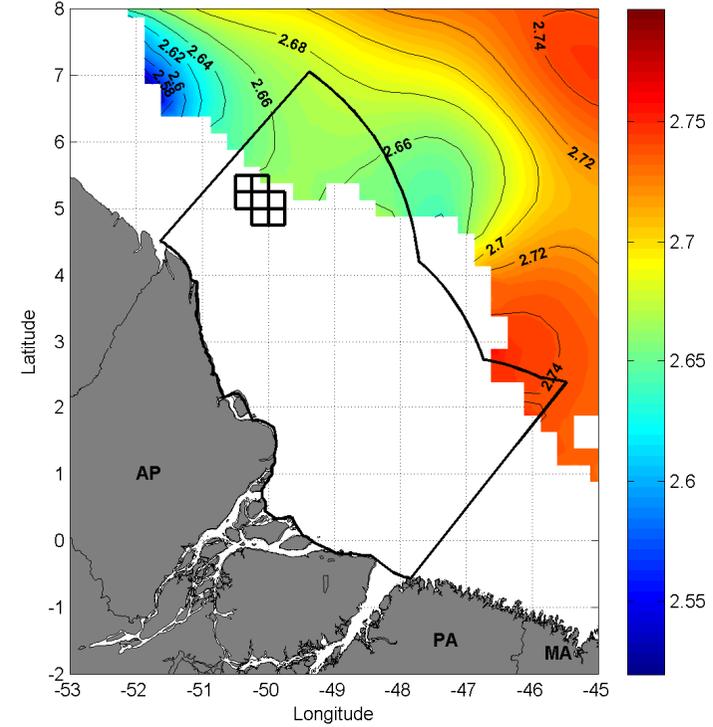


Figura II.6.1.1.2.2.A-21 - Seção horizontal de temperatura em 3000 m de profundidade, para o período seco.

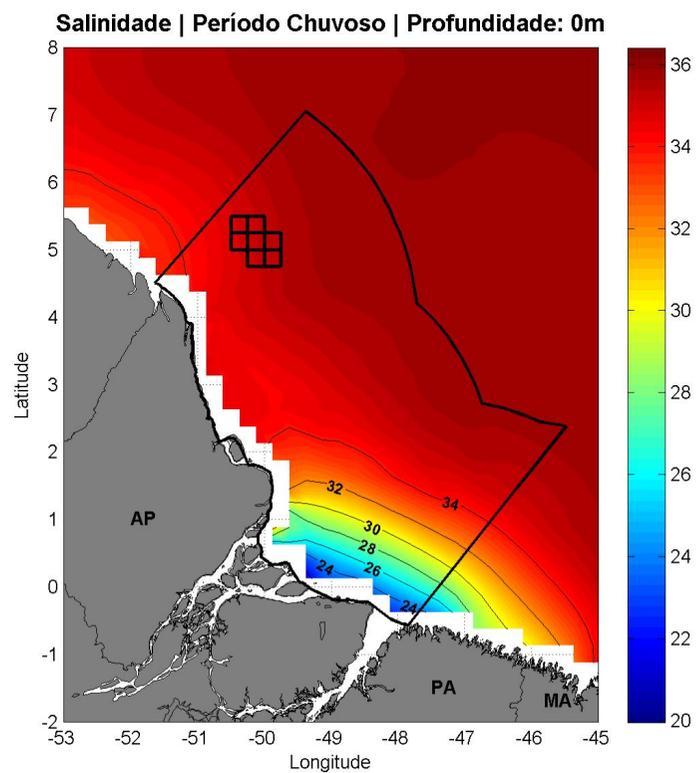


Figura II.6.1.1.2.2.A-22 - Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período chuvoso.

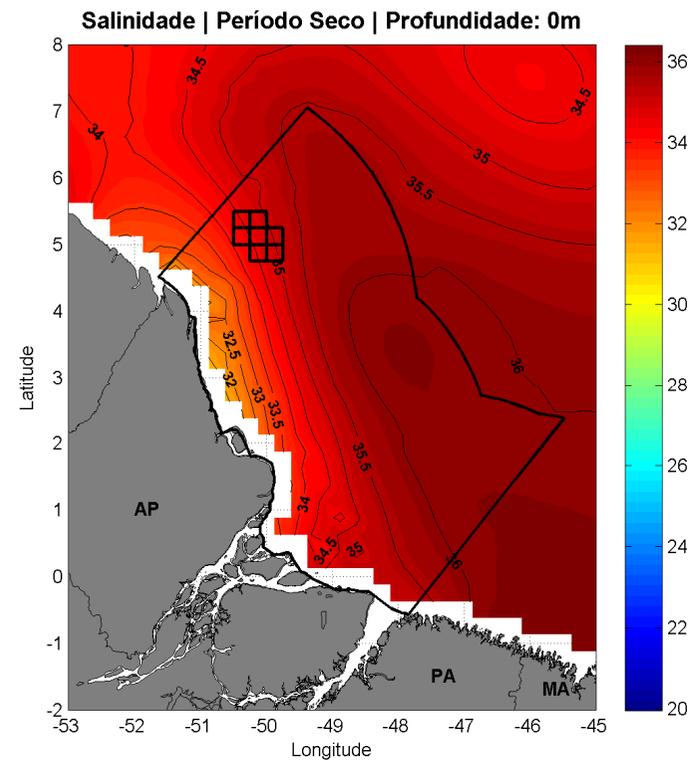


Figura II.6.1.1.2.2.A-23 - Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período seco.

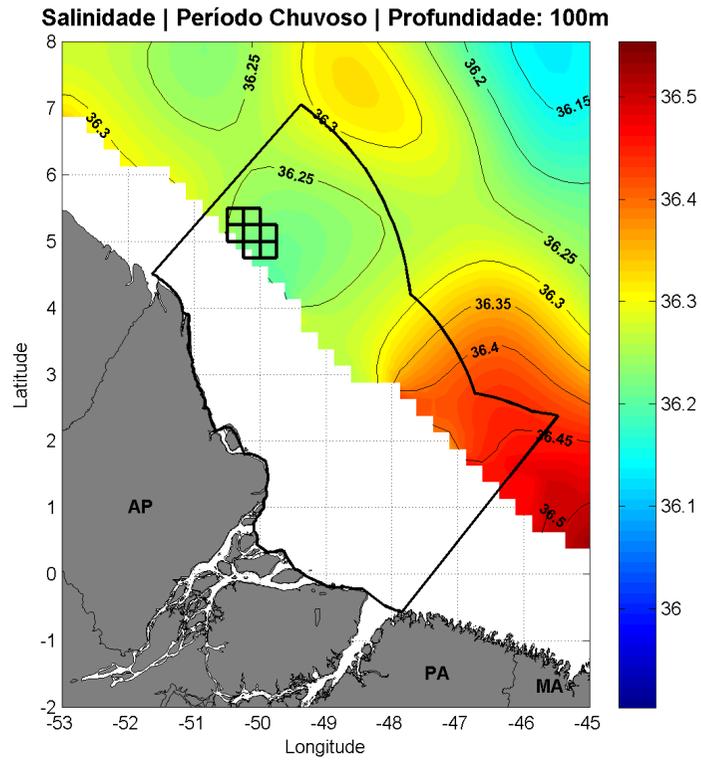


Figura II.6.1.1.2.2.A-24 - Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

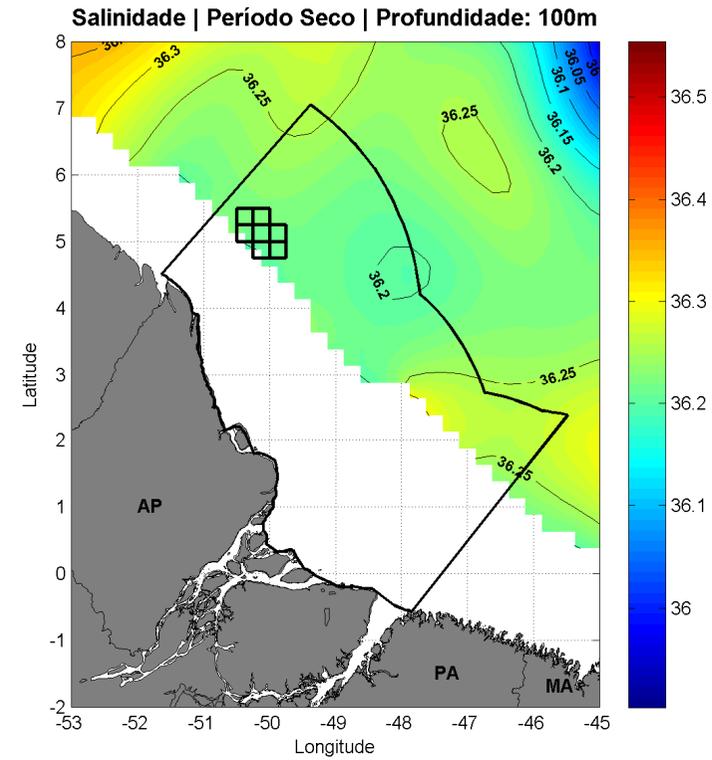


Figura II.6.1.1.2.2.A-25 - Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para o período seco.

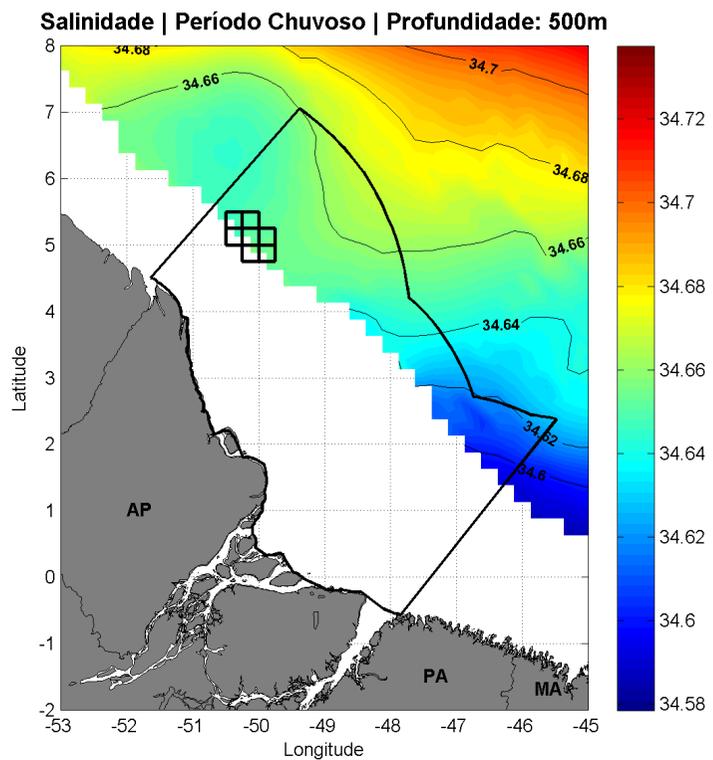


Figura II.6.1.1.2.2.A-26 - Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para o período chuvoso.

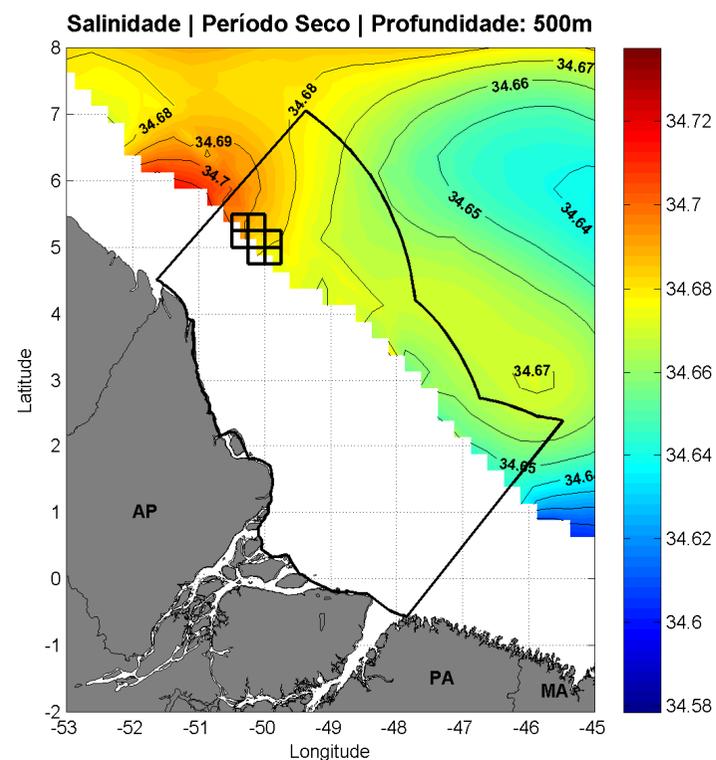


Figura II.6.1.1.2.2.A-27 - Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para o período seco.

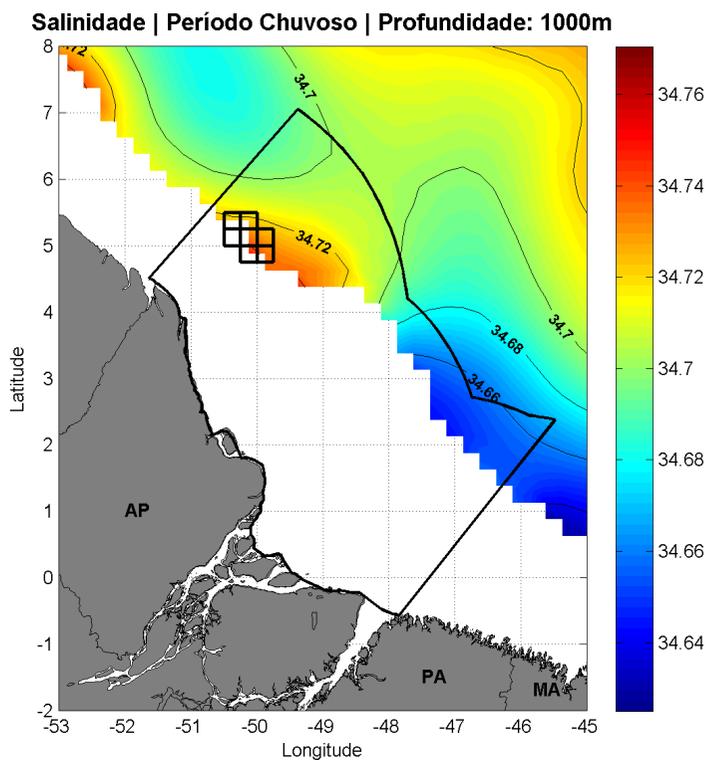


Figura II.6.1.1.2.2.A-28 - Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para o período chuvoso.

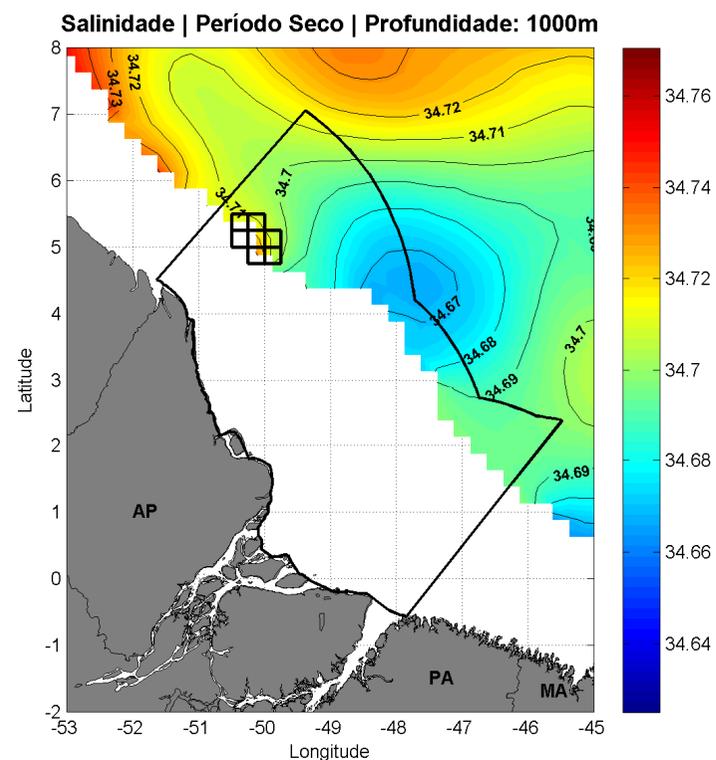


Figura II.6.1.1.2.2.A-29 - Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para o período seco.

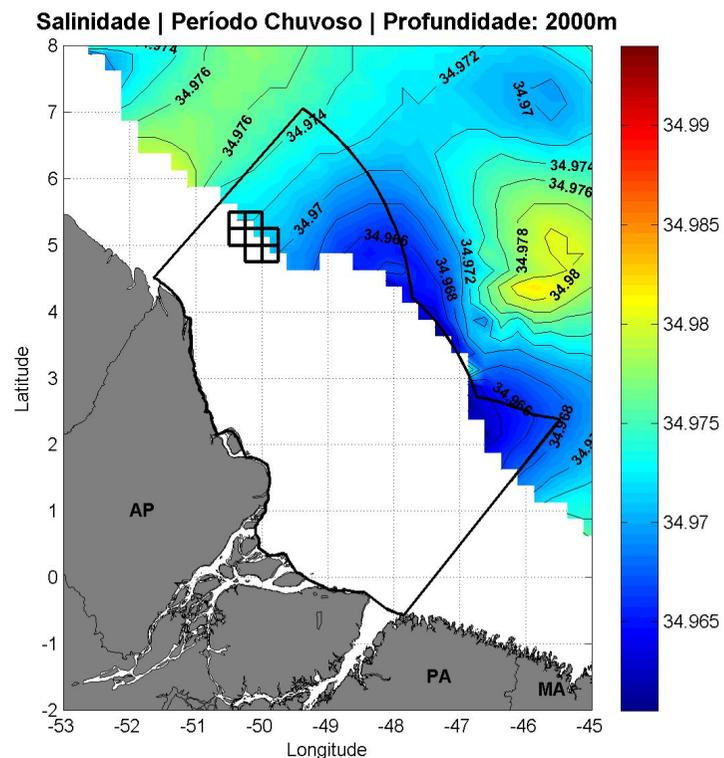


Figura II.6.1.1.2.2.A-30 - Seção horizontal de salinidade em 2000 m de profundidade, para o período chuvoso.

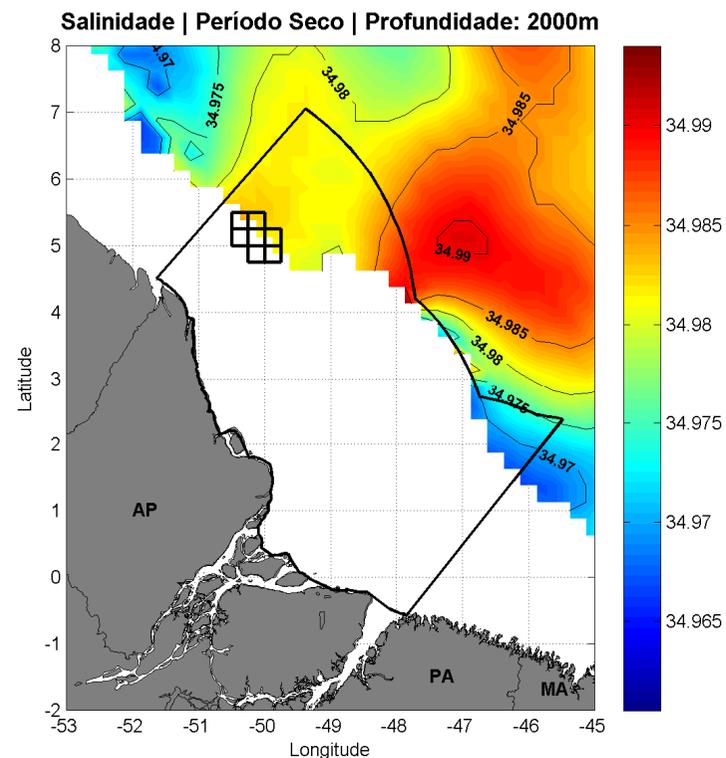


Figura II.6.1.1.2.2.A-31 - Seção horizontal de salinidade em 2000 m de profundidade, para o período seco.

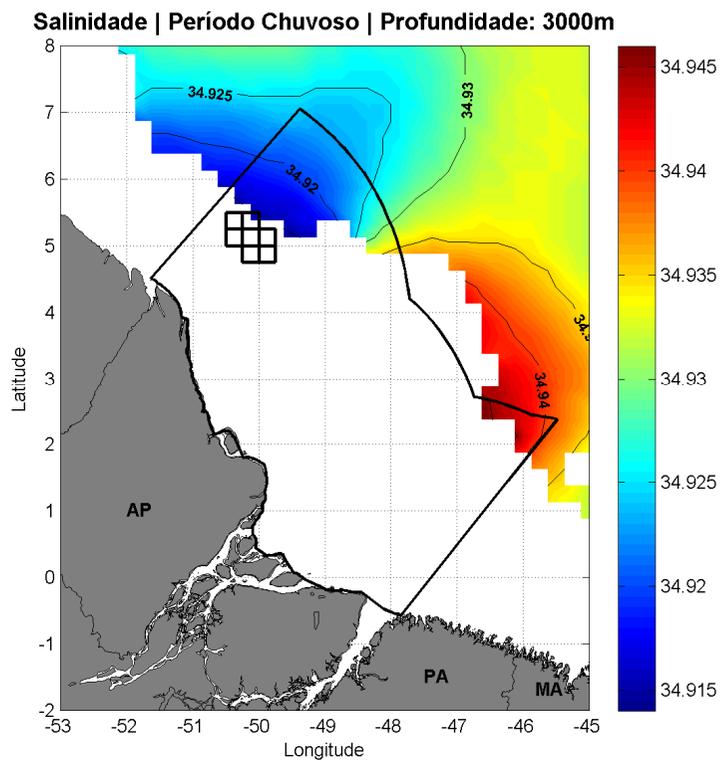


Figura II.6.1.1.2.2.A-32 - Seção horizontal de salinidade em 3000 m de profundidade, para o período chuvoso.

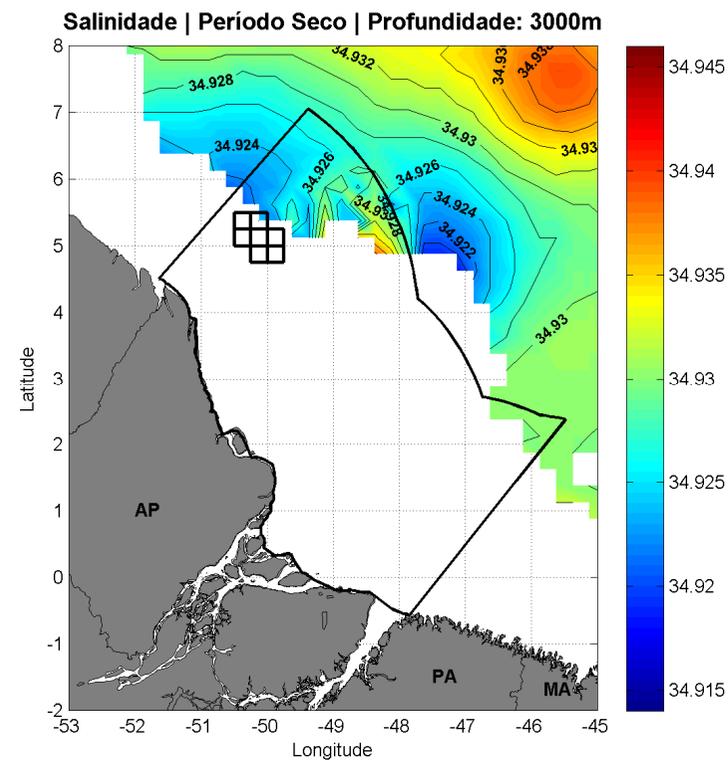


Figura II.6.1.1.2.2.A-33 - Seção horizontal de salinidade em 3000 m de profundidade, para o período seco.

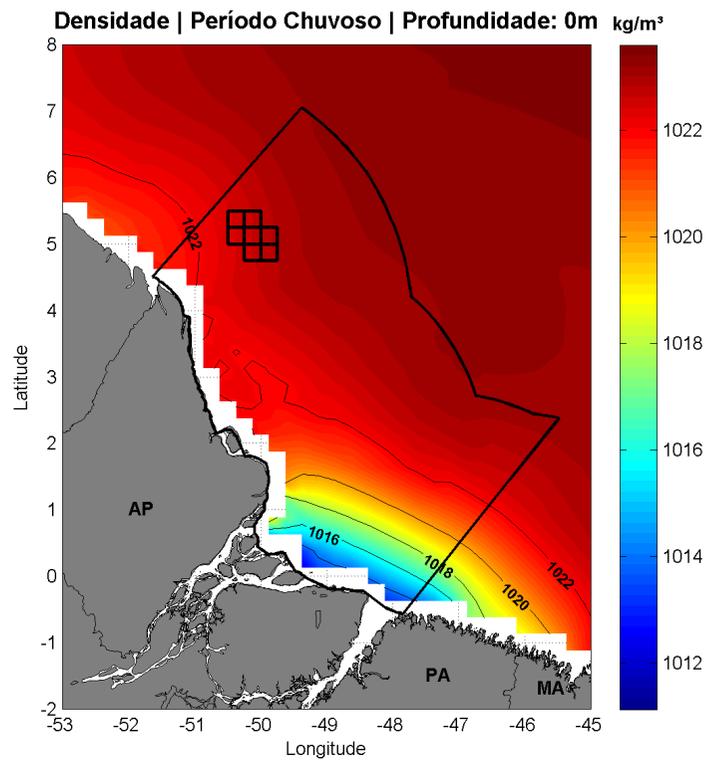


Figura II.6.1.1.2.2.A-34 - Seção horizontal de densidade em superfície, para o período chuvoso.

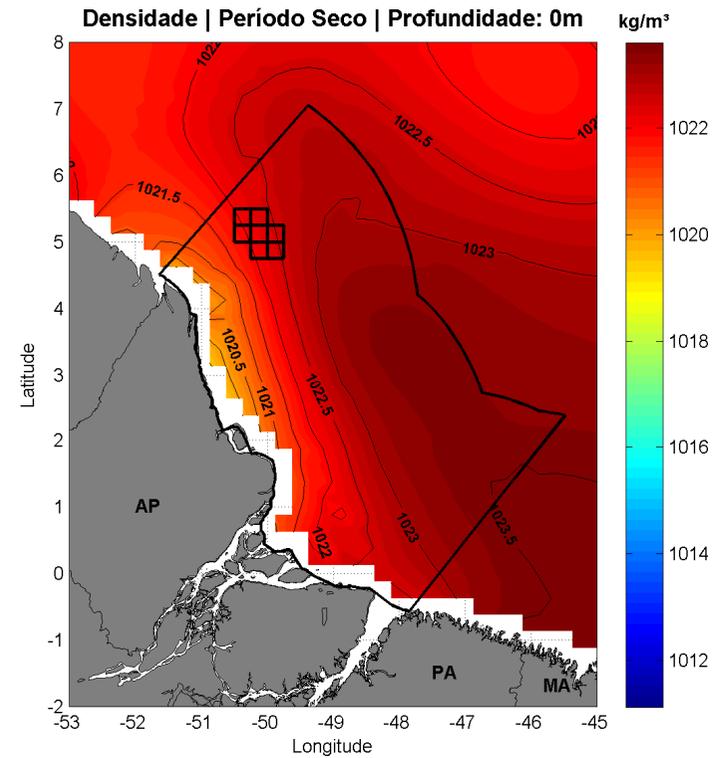


Figura II.6.1.1.2.2.A-35 - Seção horizontal de densidade em superfície, para o período seco.

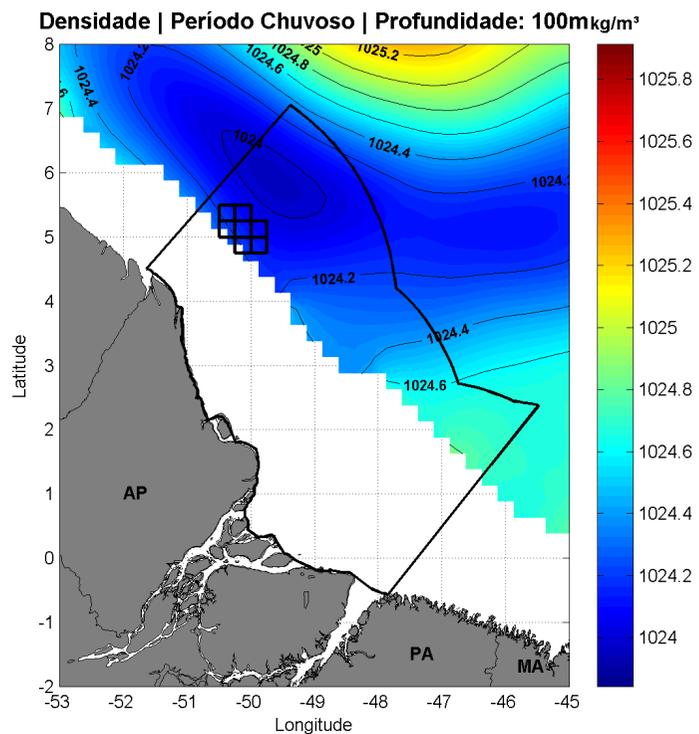


Figura II.6.1.1.2.2.A-36 - Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

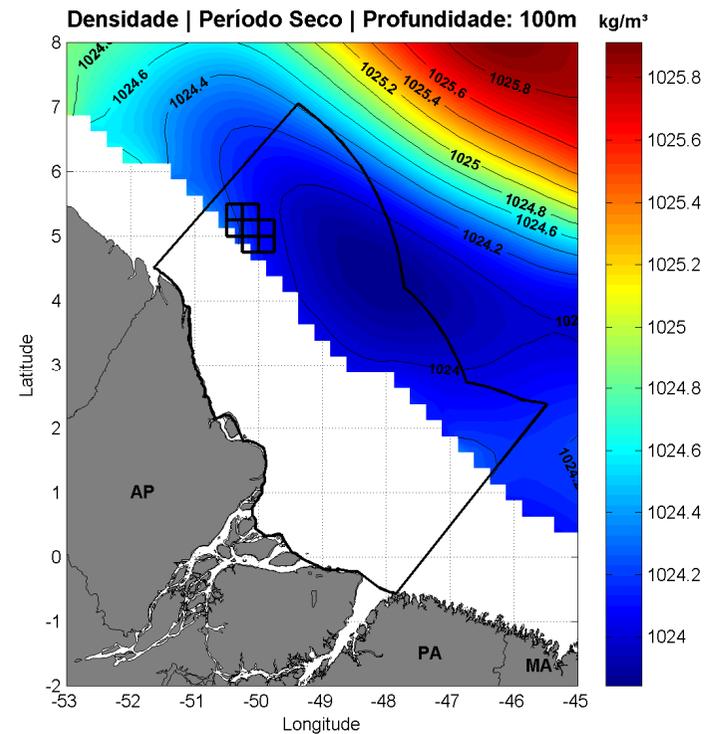


Figura II.6.1.1.2.2.A-37 - Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para o período seco.

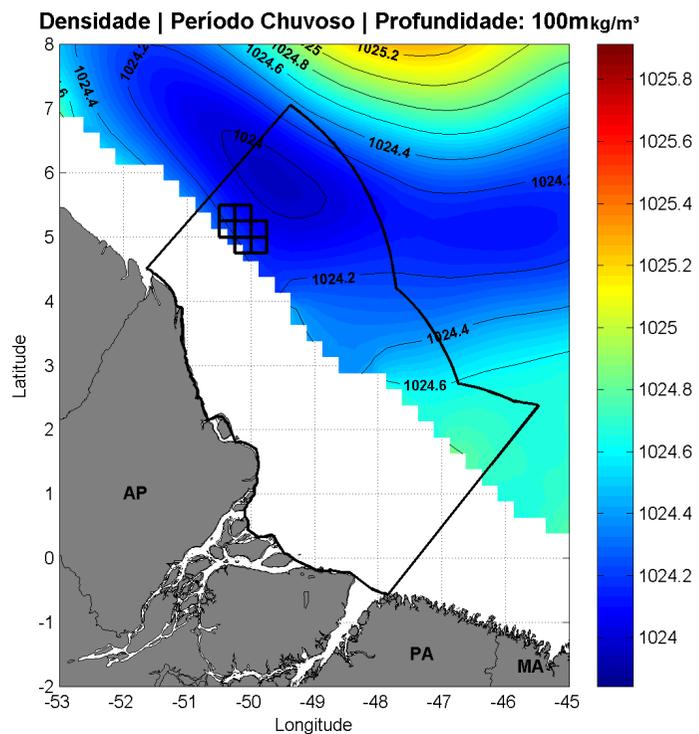


Figura II.6.1.1.2.2.A-38 - Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

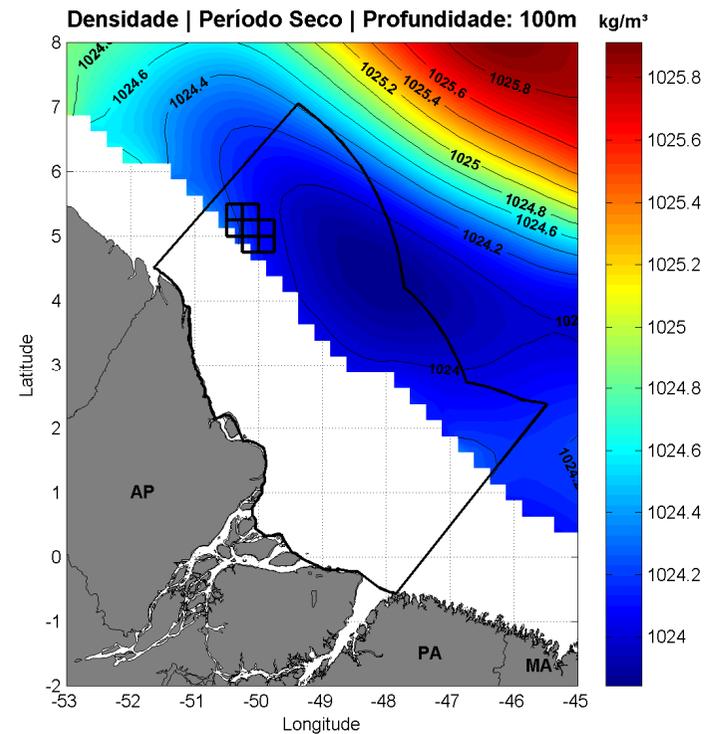


Figura II.6.1.1.2.2.A-39 - Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para o período seco.

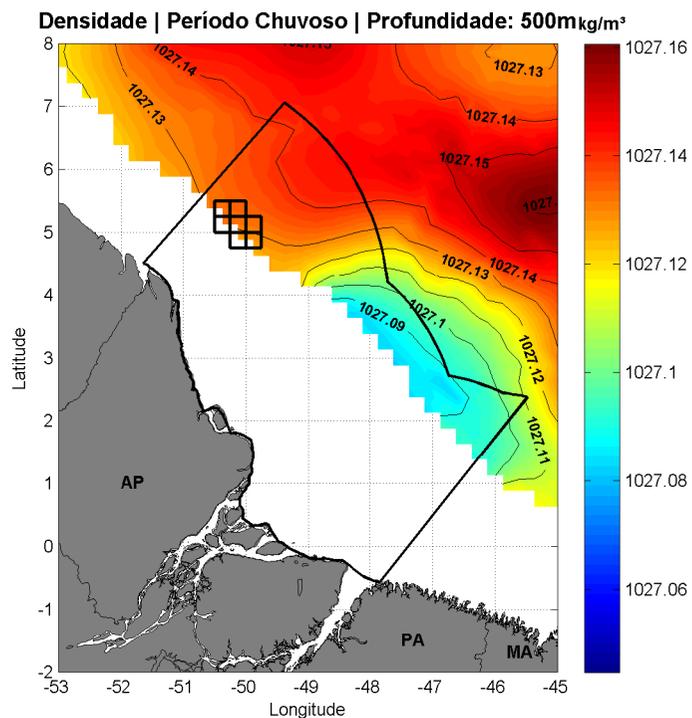


Figura II.6.1.1.2.2.A-40 - Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para o período chuvoso.

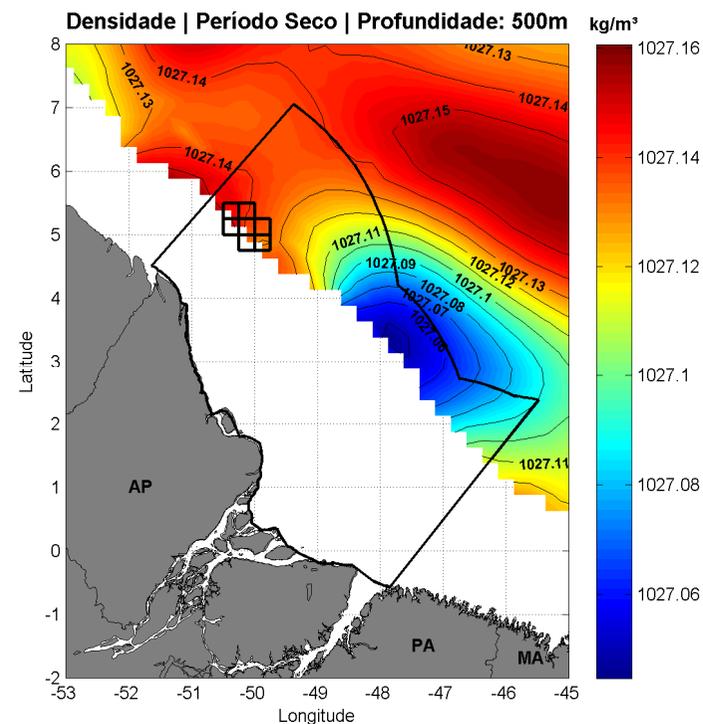


Figura II.6.1.1.2.2.A-41 - Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para o período seco.

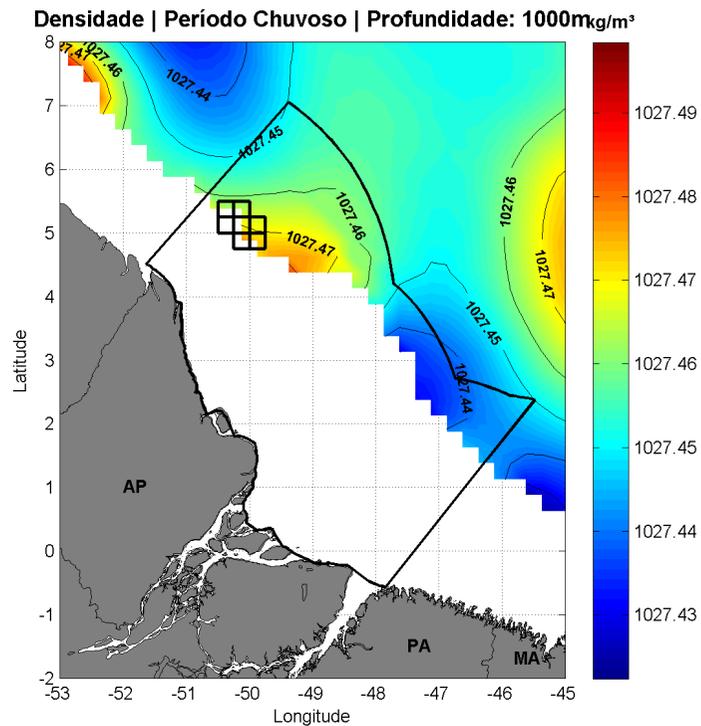


Figura II.6.1.1.2.2.A-42 - Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para o período chuvoso.

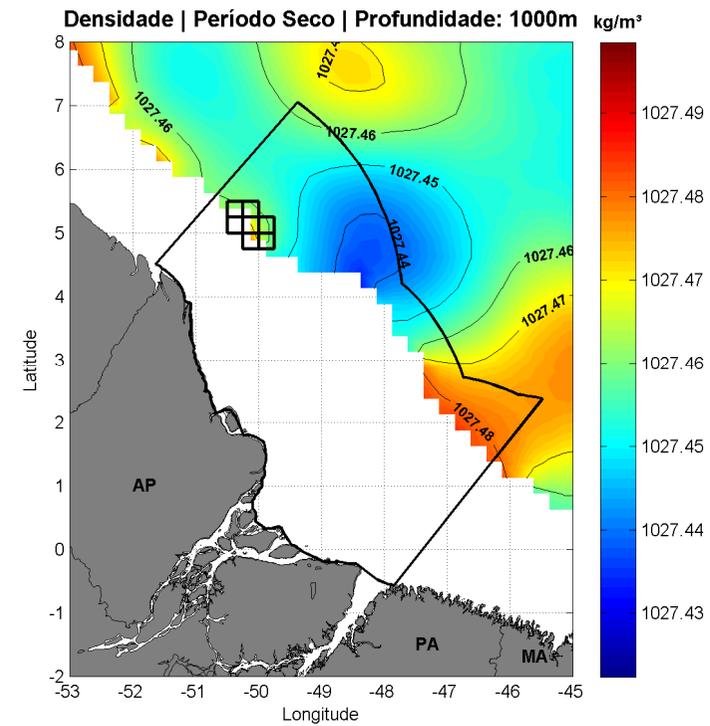


Figura II.6.1.1.2.2.A-43 - Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para o período seco.

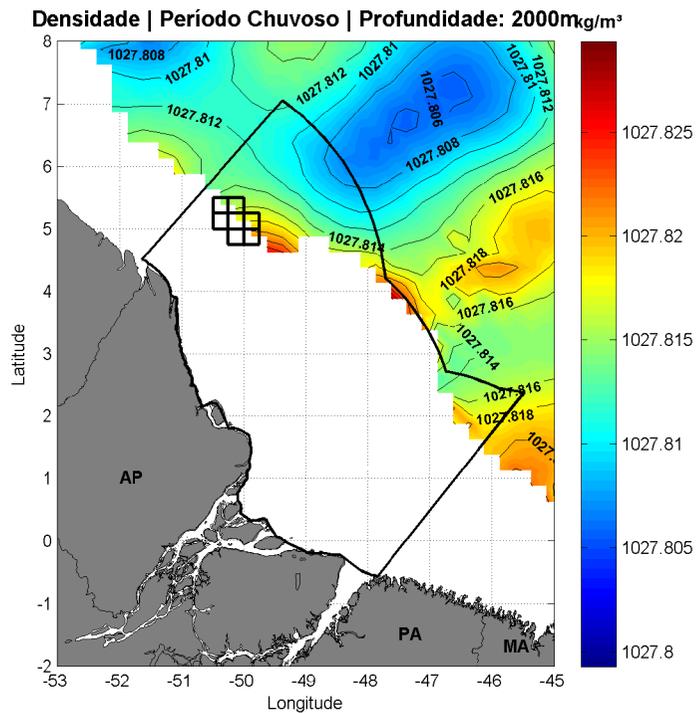


Figura II.6.1.1.2.2.A-44 - Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para o período chuvoso.

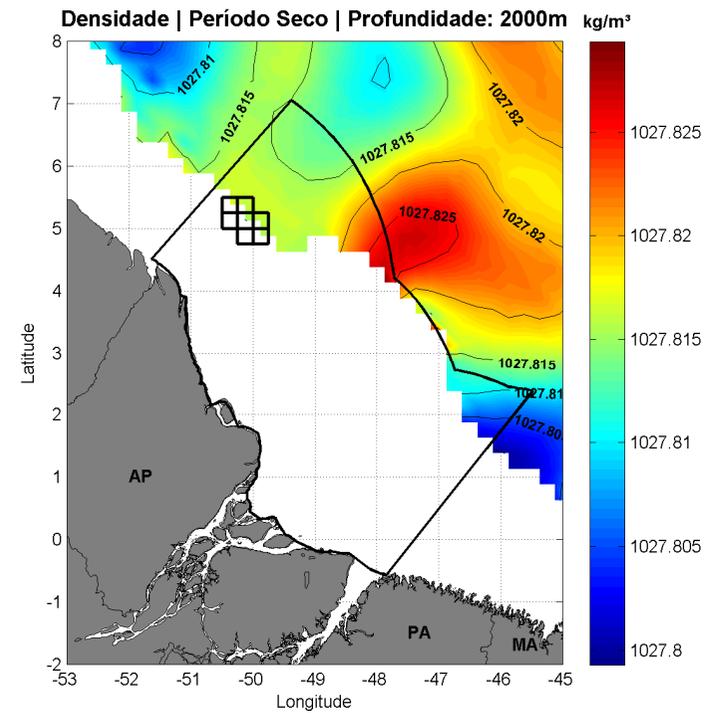


Figura II.6.1.1.2.2.A-45 - Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para o período seco.

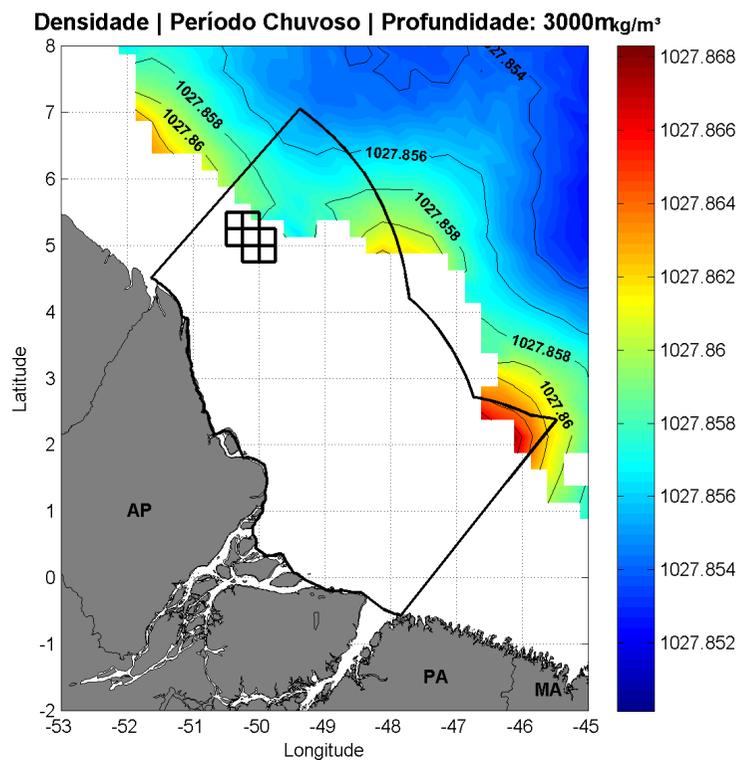


Figura II.6.1.1.2.2.A-46 - Seção horizontal de densidade em 3000 m de profundidade, para o período chuvoso.

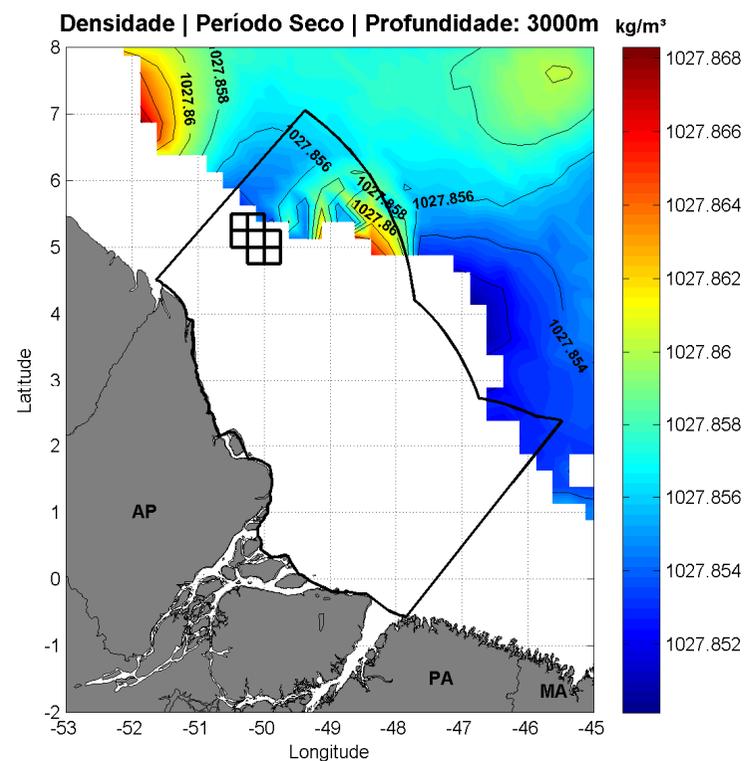


Figura II.6.1.1.2.2.A-47 - Seção horizontal de densidade em 3000 m de profundidade, para o período seco.

Conforme solicitação do IBAMA nos Termos de Referência 22/14 (QGEP), 23/14 (BP) e 24/14 (TOTAL), da **Figura II.6.1.1.2.2.A-48** a **Figura II.6.1.1.2.2.A-81** são apresentados mapas horizontais com dados de temperatura, salinidade e densidade usados como dados de entrada no modelo hidrodinâmico. Esses dados foram obtidos dos resultados do modelo do projeto MyOcean. Esse projeto disponibiliza, diariamente, os resultados da análise global do estado dos oceanos, com resolução de 1/12°. O sistema de previsão utiliza o modelo NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*), forçado pelos campos atmosféricos obtidos da Análise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). O modelo assimila dados de correntes, elevação da superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ*.

Estes dados foram utilizados como condição inicial e de contorno na modelagem hidrodinâmica desenvolvida para os blocos em estudo.

Os resultados do MyOcean apresentaram padrões e valores bastante próximos aos verificados nos dados do WOA13. Destaca-se apenas que a variabilidade sazonal, em profundidade, foi menor.

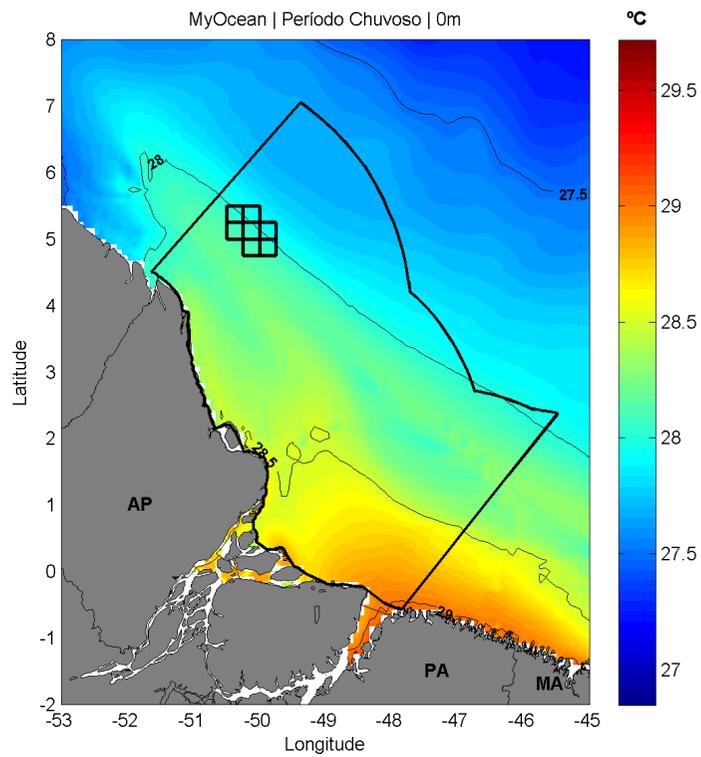


Figura II.6.1.1.2.2.A-48 - Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período chuvoso.

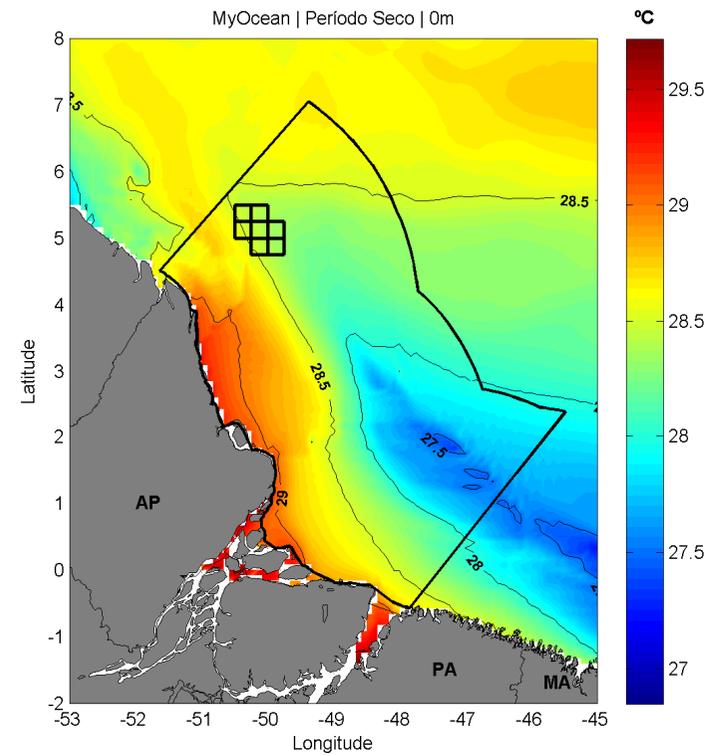


Figura II.6.1.1.2.2.A-49 - Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período seco.

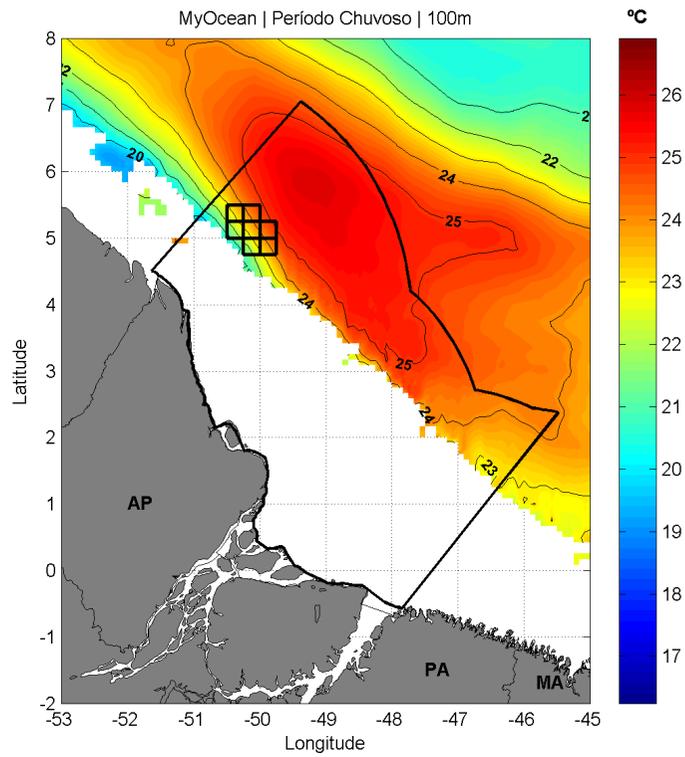


Figura II.6.1.1.2.2.A-50 - Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

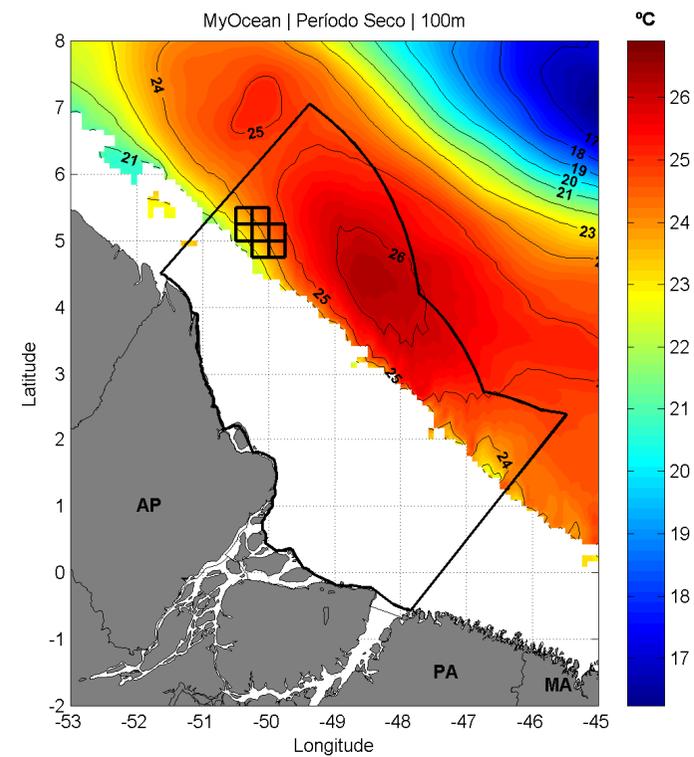


Figura II.6.1.1.2.2.A-51 - Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para o período seco.

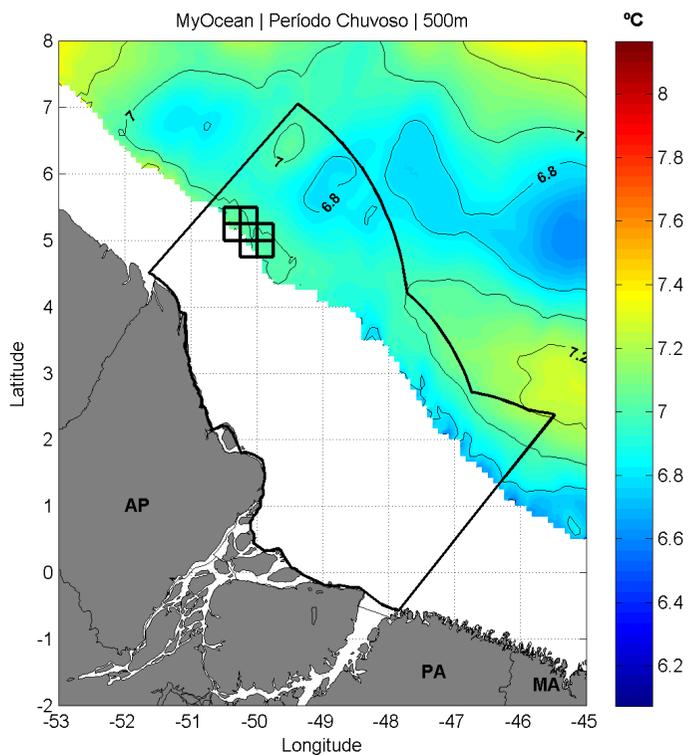


Figura II.6.1.1.2.2.A-52 - Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para o período chuvoso.

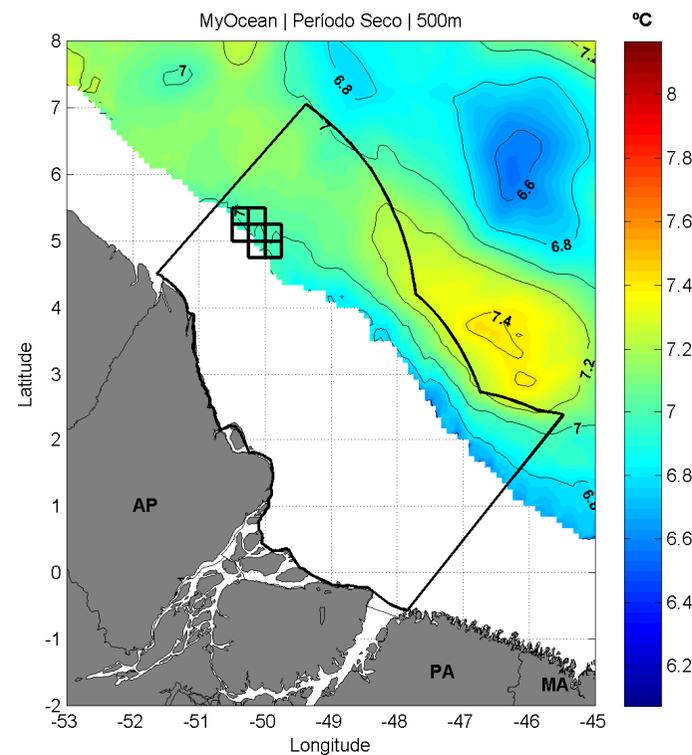


Figura II.6.1.1.2.2.A-53 - Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para o período seco.

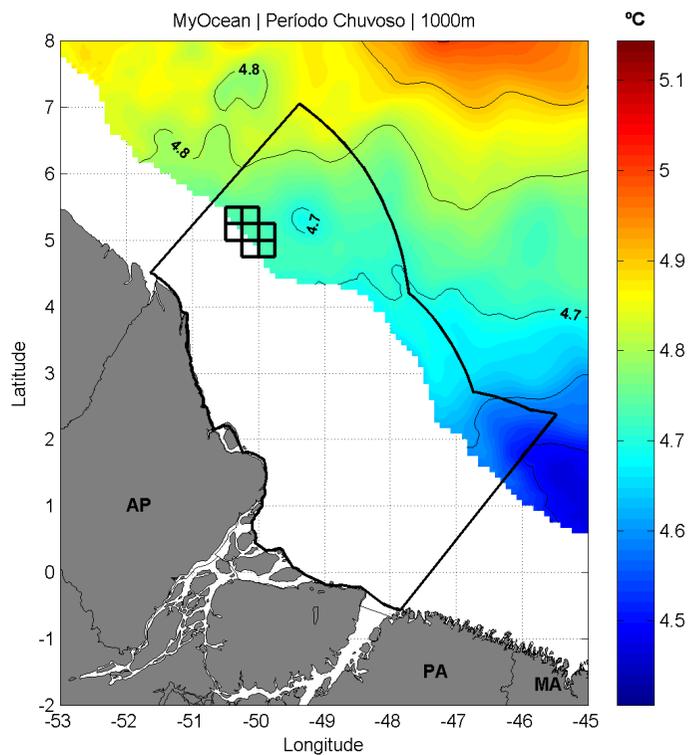


Figura II.6.1.1.2.2.A-54 - Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para o período chuvoso.

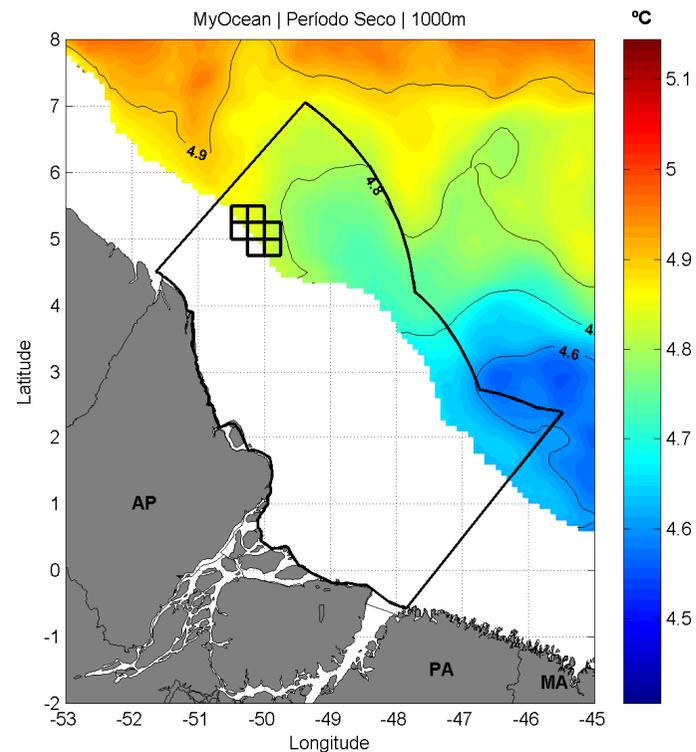


Figura II.6.1.1.2.2.A-55 - Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para o período seco.

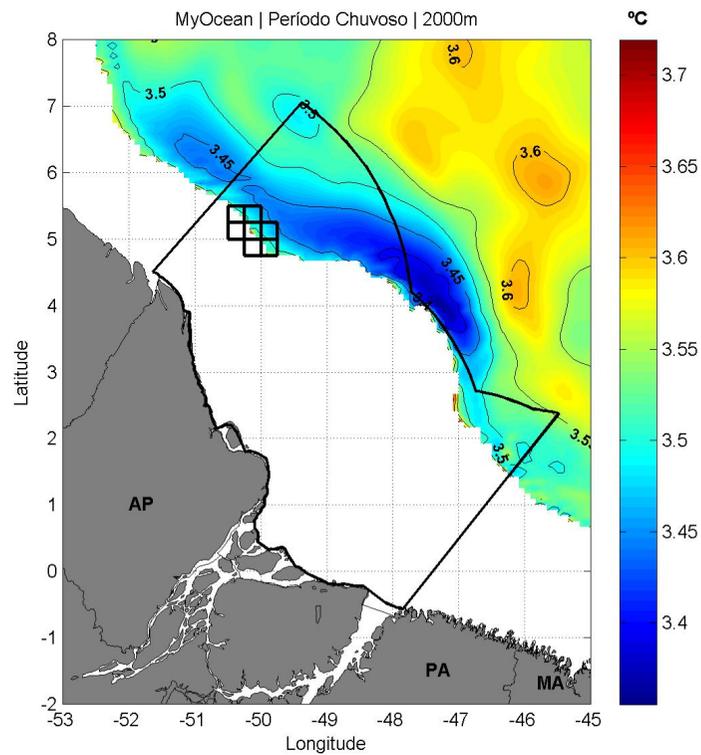


Figura II.6.1.1.2.2.A-56 - Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para o período chuvoso.

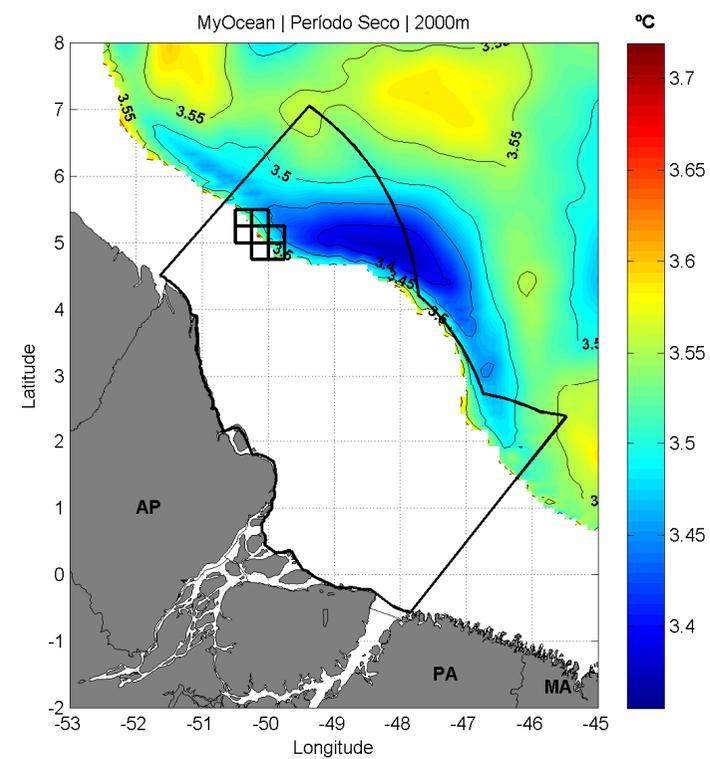


Figura II.6.1.1.2.2.A-57 - Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para o período seco.

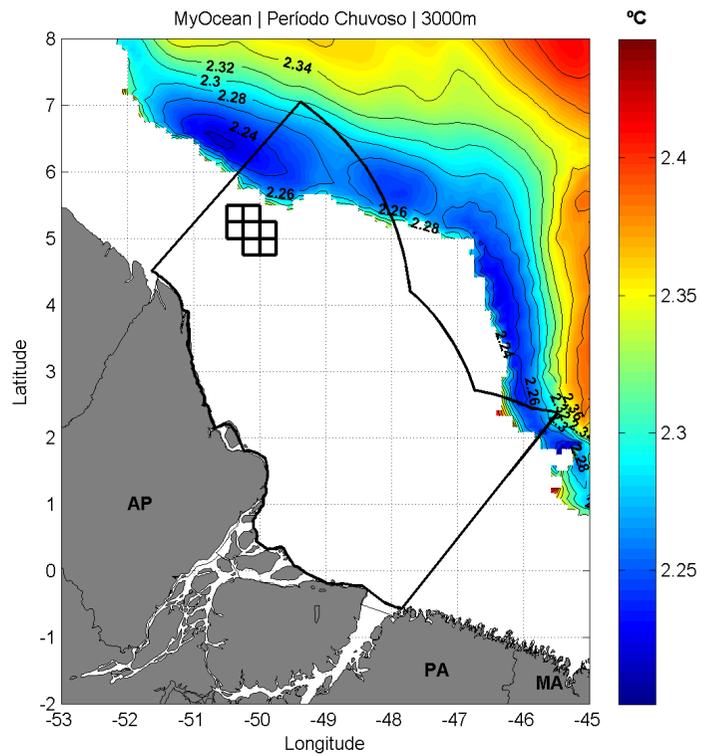


Figura II.6.1.1.2.2.A-58 - Seção horizontal de temperatura em 3000 m de profundidade, para o período chuvoso.

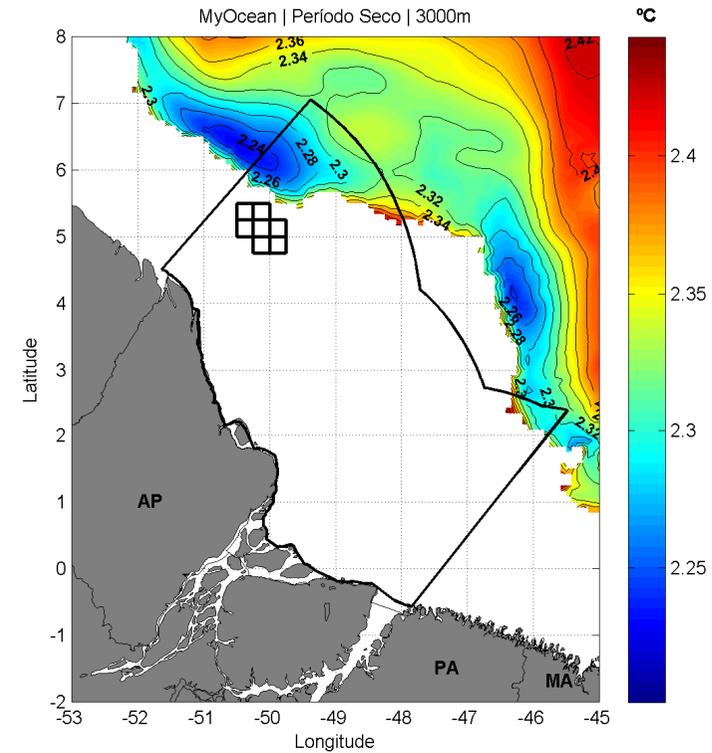


Figura II.6.1.1.2.2.A-59 - Seção horizontal de temperatura em 3000 m de profundidade, para o período seco.

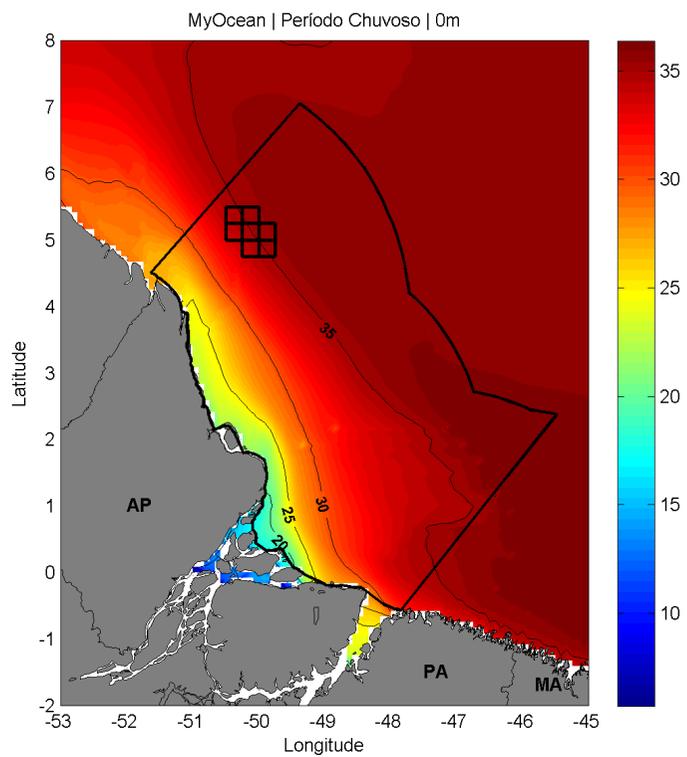


Figura II.6.1.1.2.2.A-60 - Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período chuvoso.

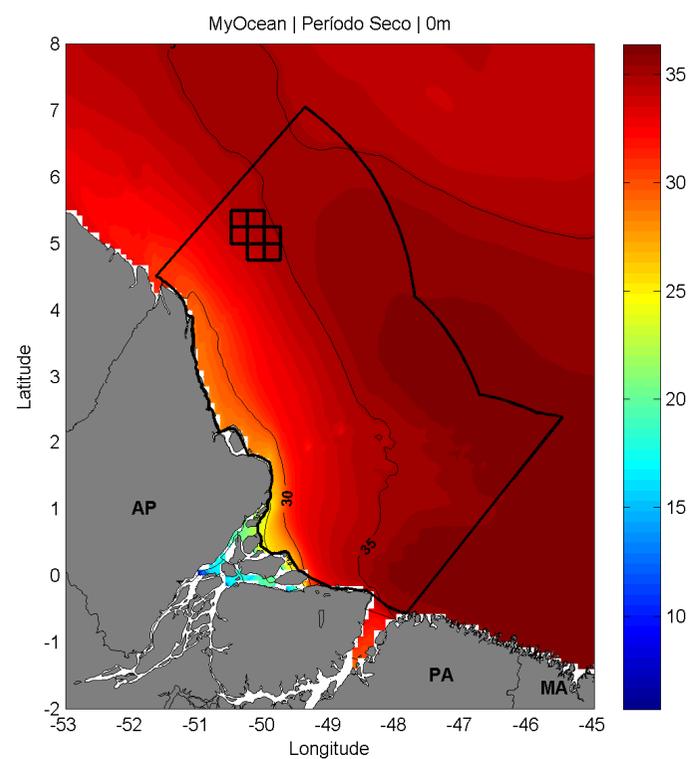


Figura II.6.1.1.2.2.A-61 - Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período seco.

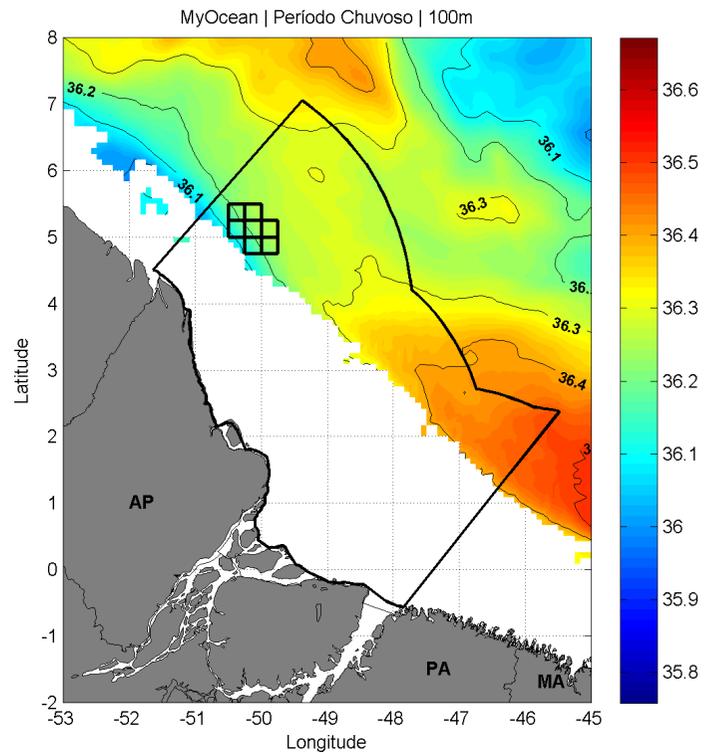


Figura II.6.1.1.2.2.A-62 - Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

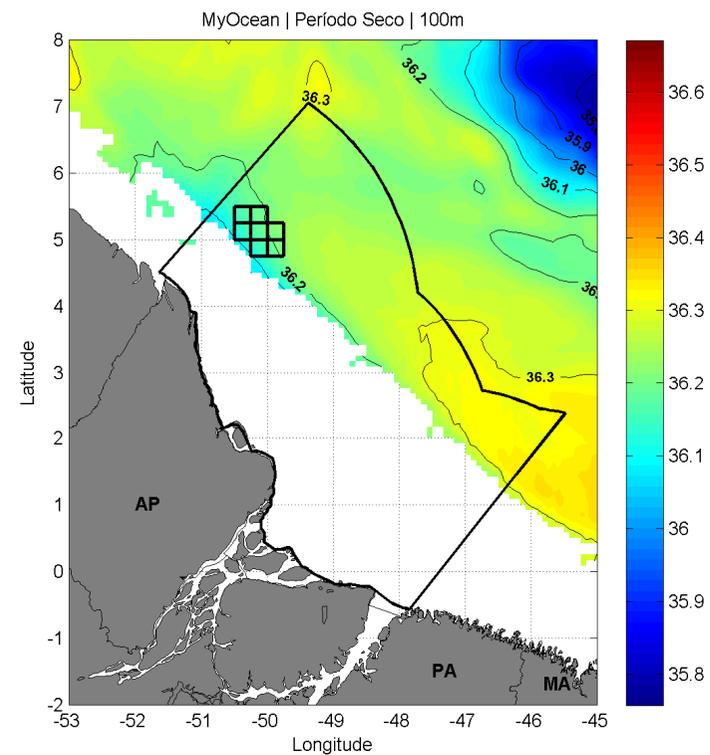


Figura II.6.1.1.2.2.A-63 - Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para o período seco.

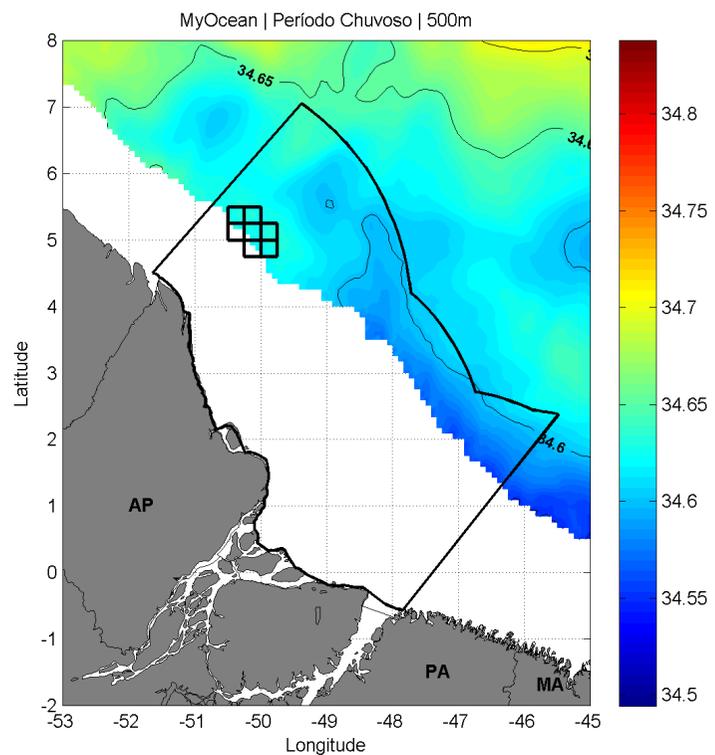


Figura II.6.1.1.2.2.A-64 - Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para o período chuvoso.

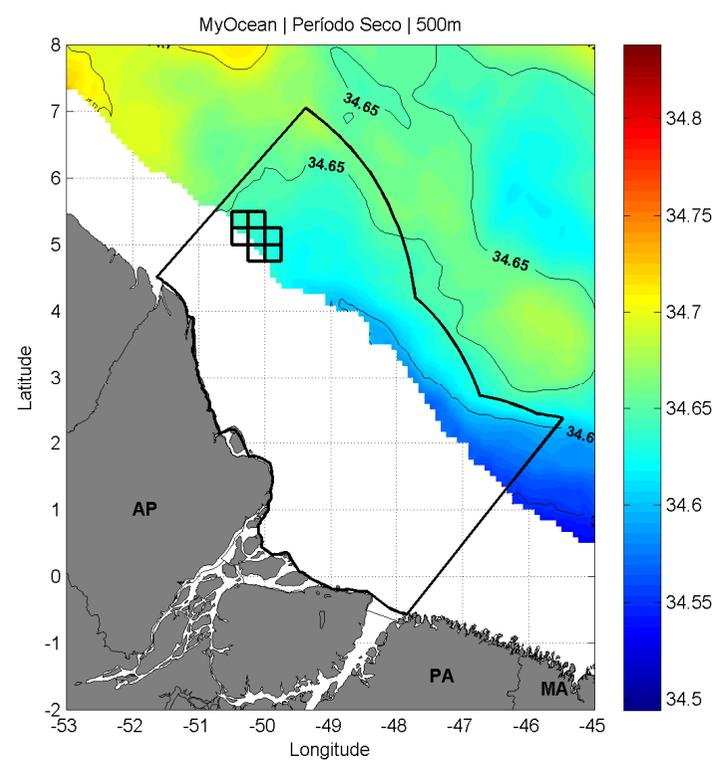


Figura II.6.1.1.2.2.A-65 - Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para o período seco.

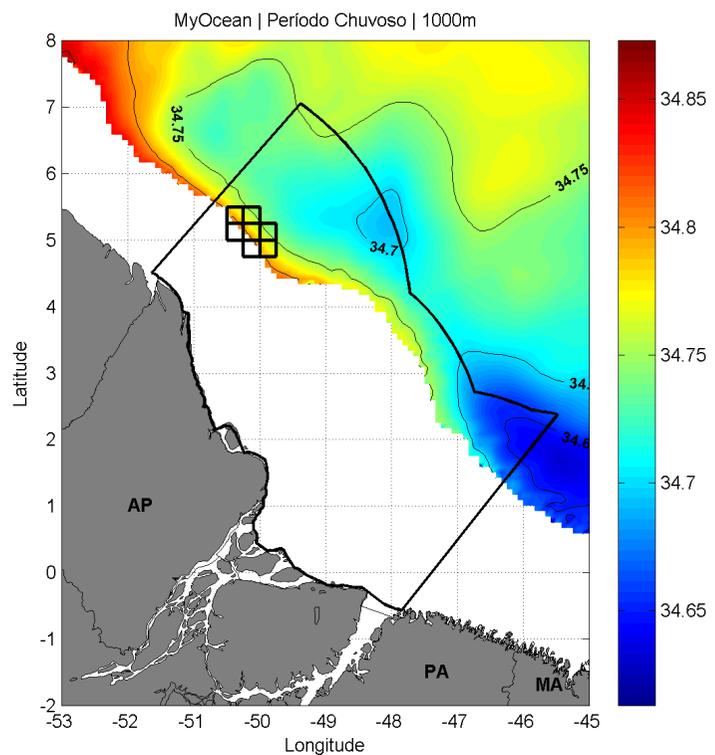


Figura II.6.1.1.2.2.A-66 - Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para o período chuvoso.

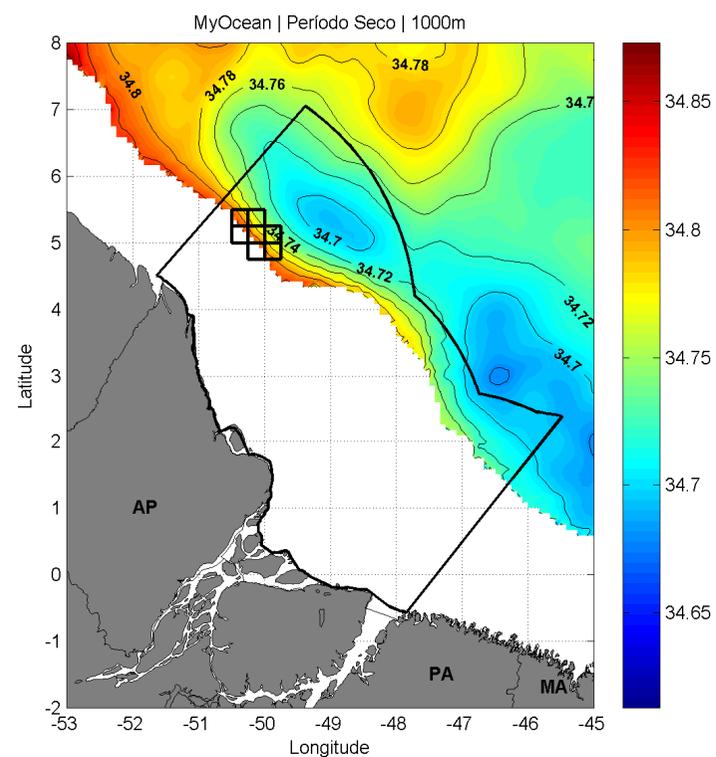


Figura II.6.1.1.2.2.A-67 - Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para o período seco.

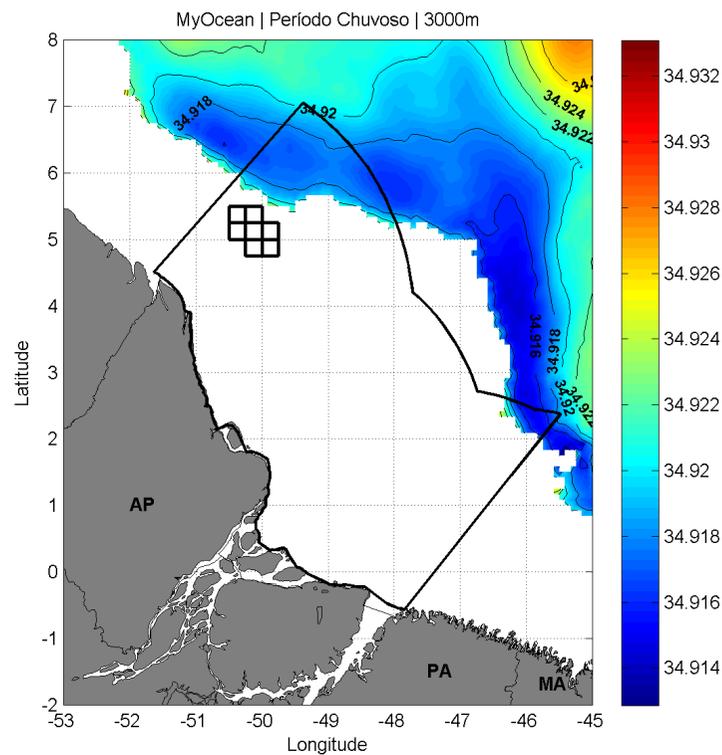


Figura II.6.1.1.2.2.A-68 - Seção horizontal de salinidade em 3000 m de profundidade, para o período chuvoso.

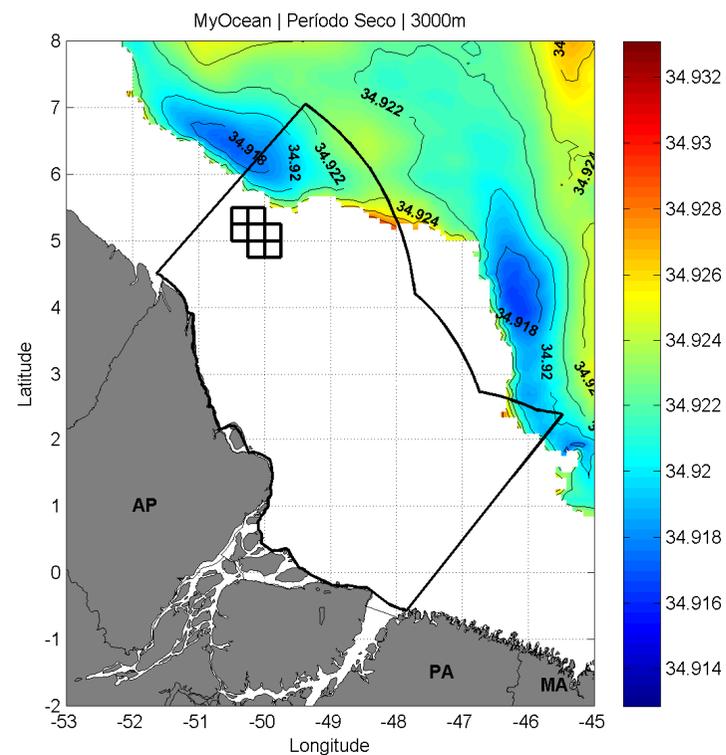


Figura II.6.1.1.2.2.A-69 - Seção horizontal de salinidade em 3000 m de profundidade, para o período seco.

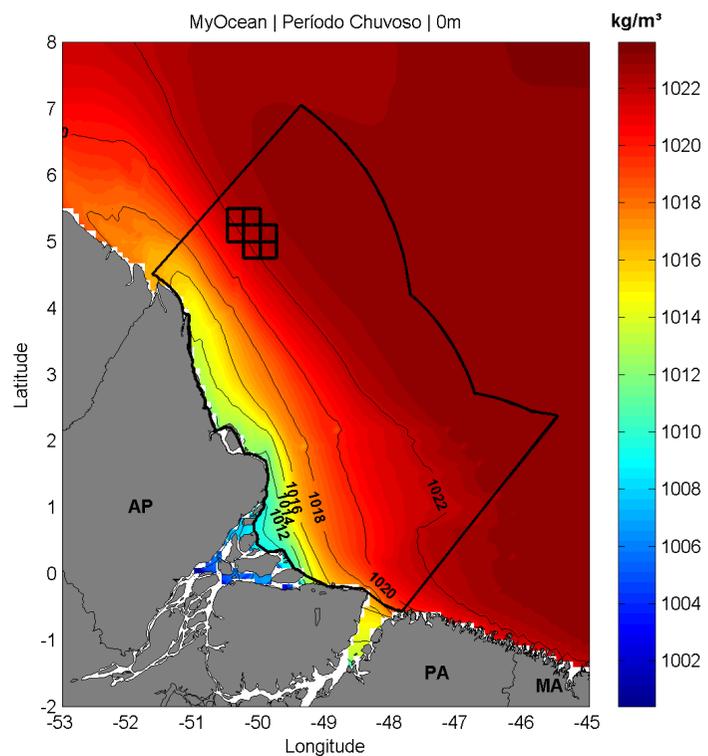


Figura II.6.1.1.2.2.A-70 - Seção horizontal de densidade em superfície, para o período chuvoso.

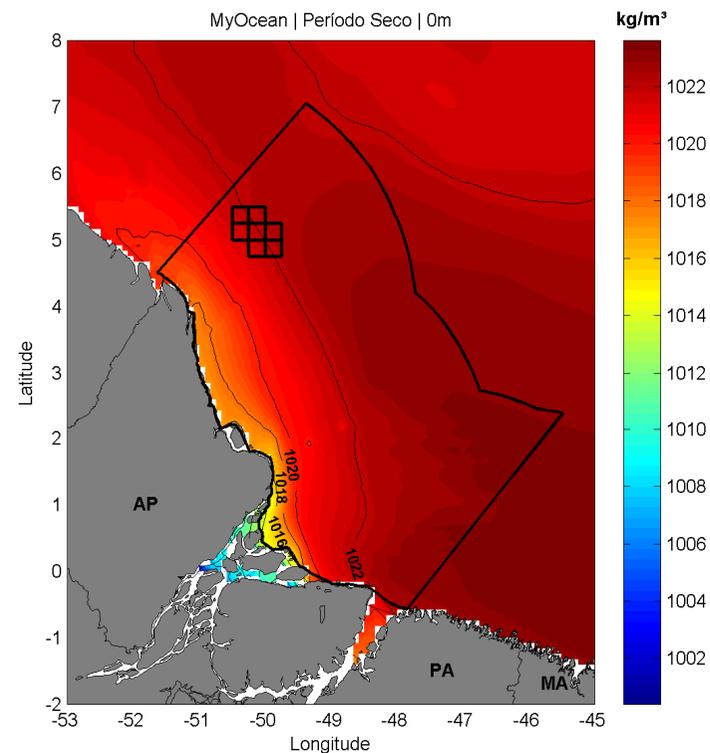


Figura II.6.1.1.2.2.A-71 - Seção horizontal de densidade em superfície, para o período seco.

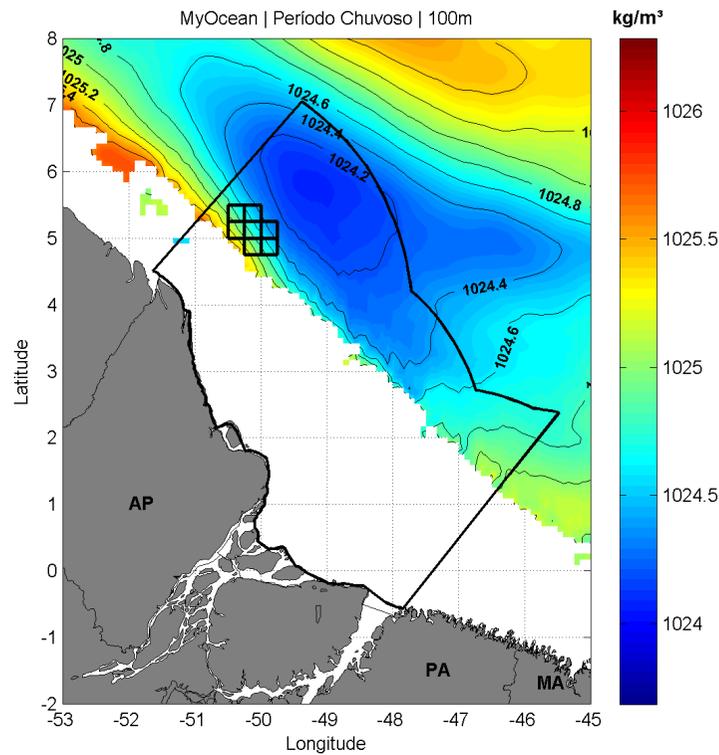


Figura II.6.1.1.2.2.A-72 - Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para o período chuvoso.

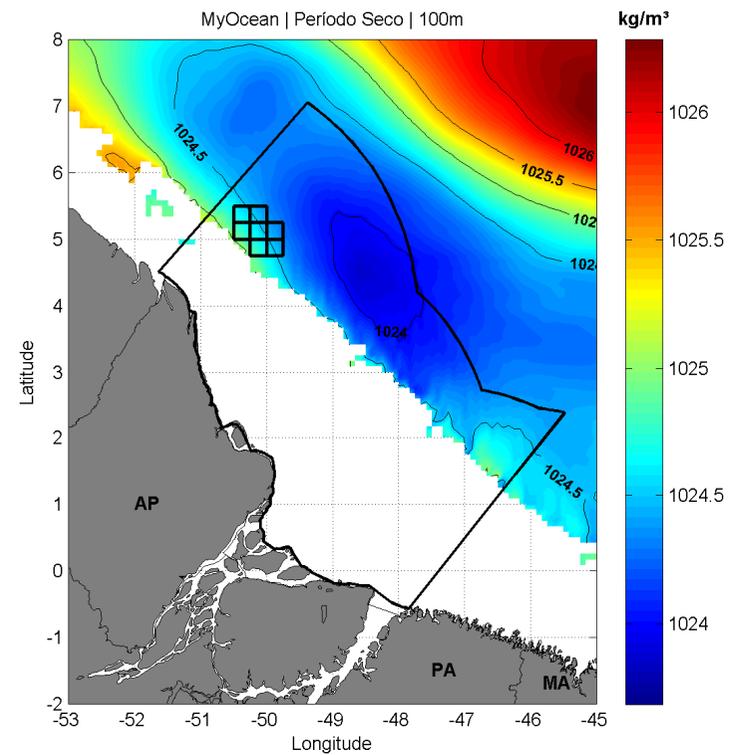


Figura II.6.1.1.2.2.A-73 - Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para o período seco.

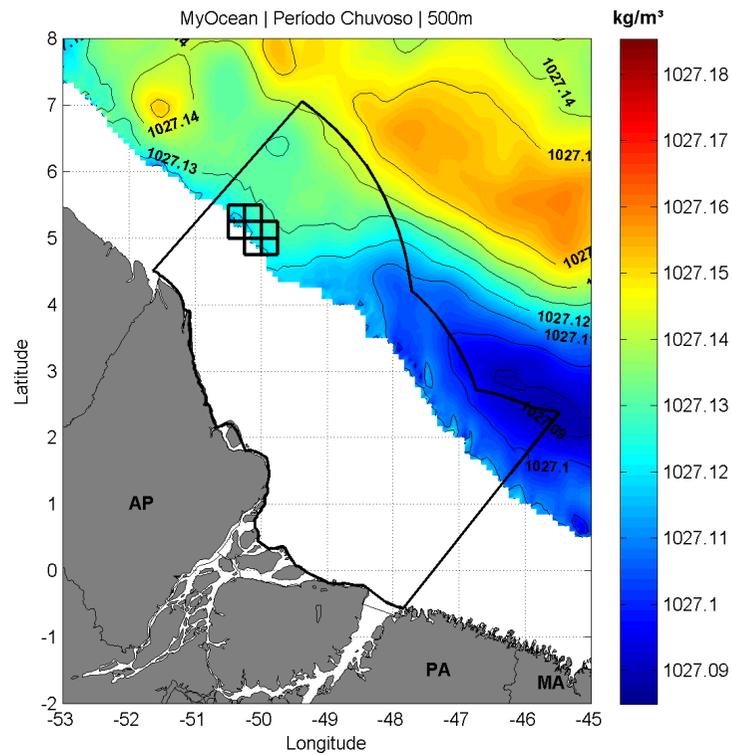


Figura II.6.1.1.2.2.A-74 - Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para o período chuvoso.

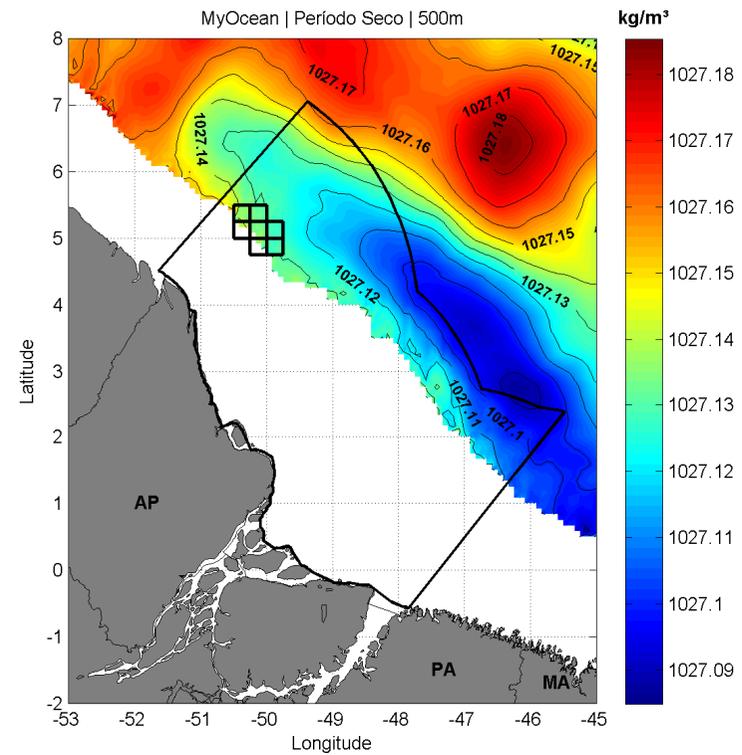


Figura II.6.1.1.2.2.A-75 - Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para o período seco.

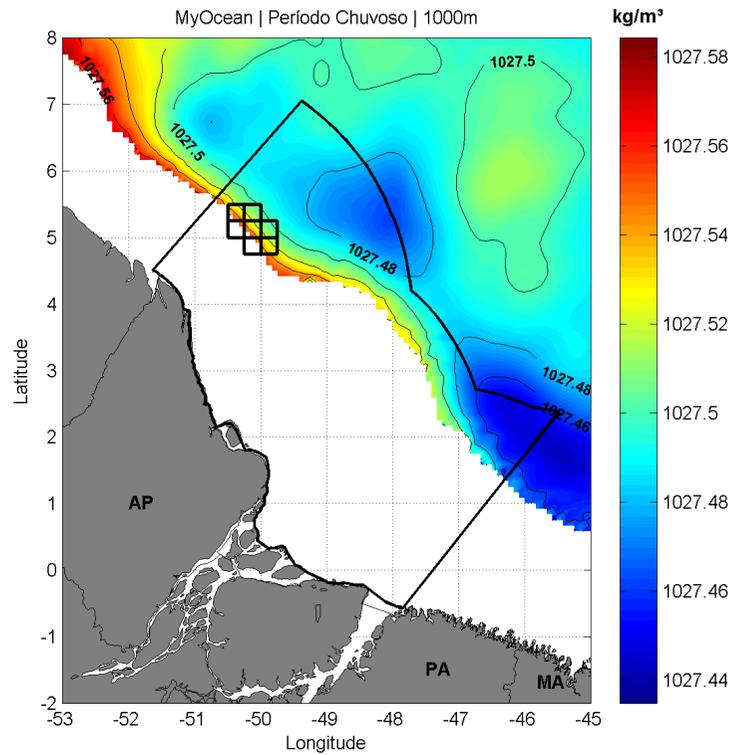


Figura II.6.1.1.2.2.A-76 - Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para o período chuvoso.

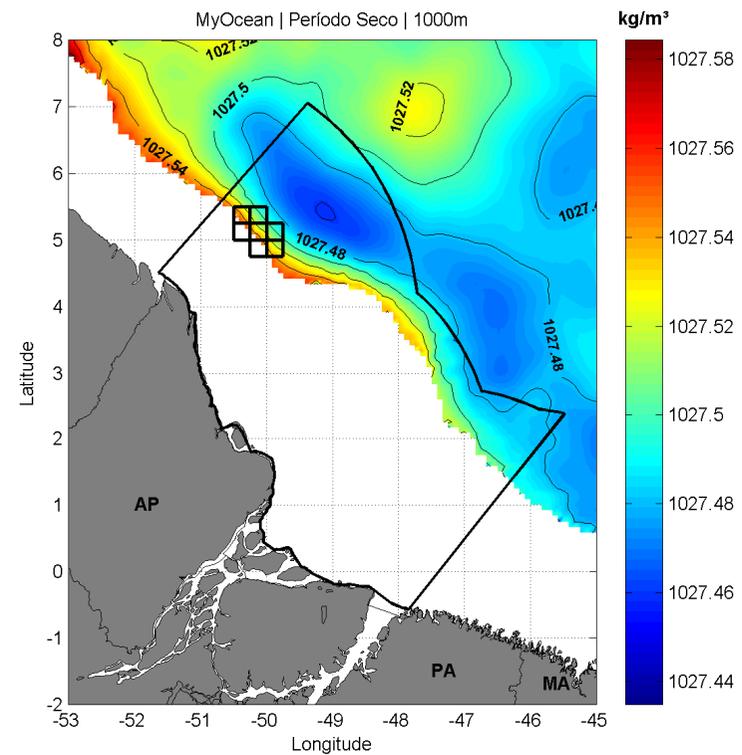


Figura II.6.1.1.2.2.A-77 - Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para o período seco.

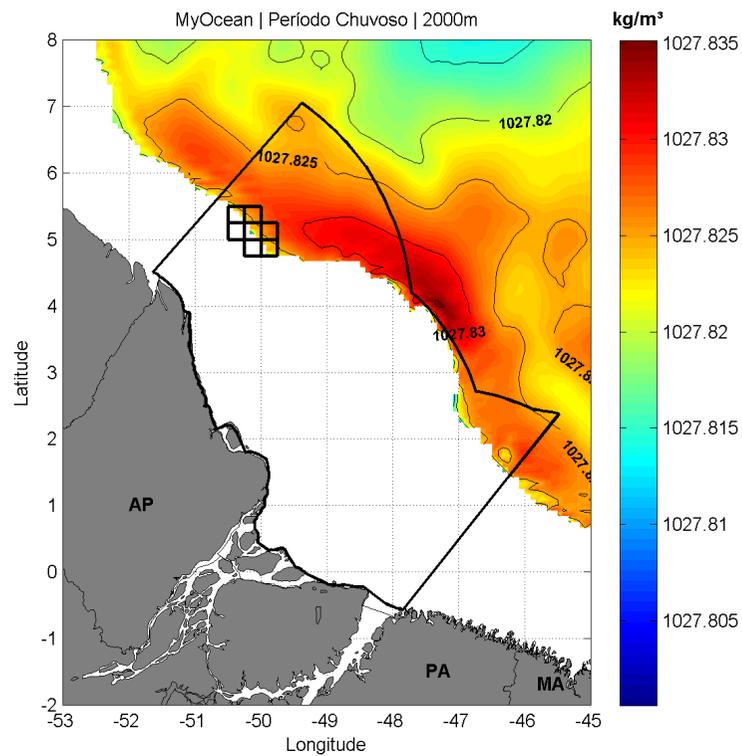


Figura II.6.1.1.2.2.A-78 - Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para o período chuvoso.

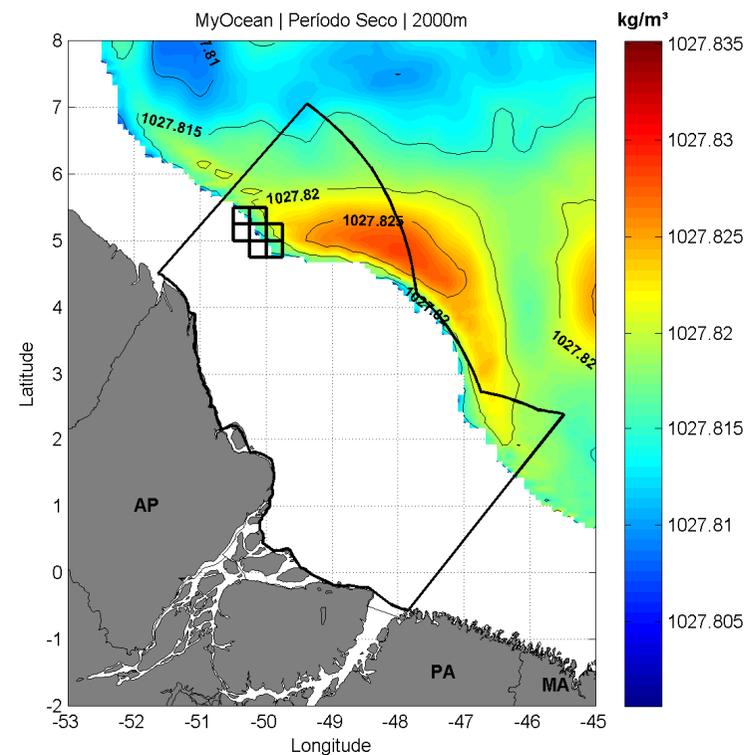


Figura II.6.1.1.2.2.A-79 - Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para o período seco.

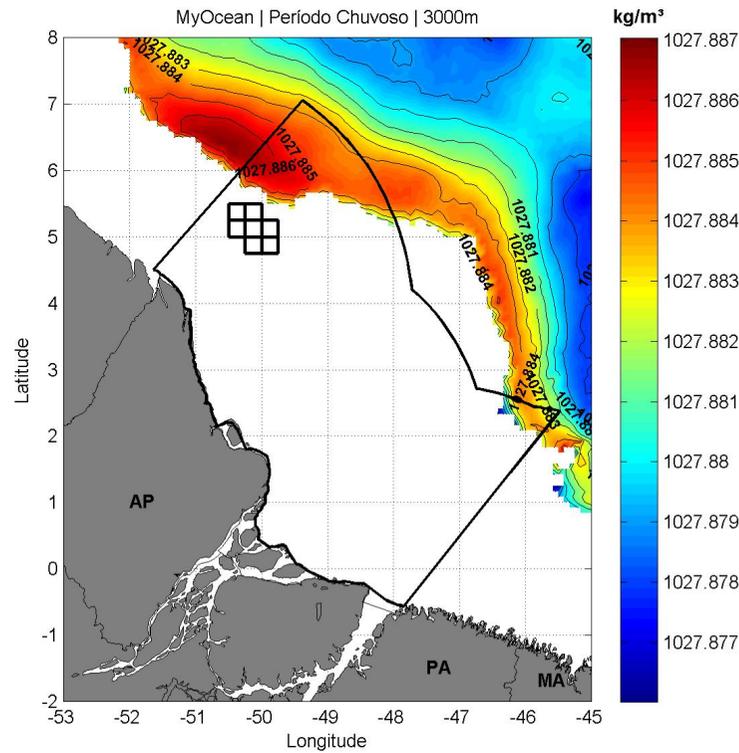


Figura II.6.1.1.2.2.A-80 - Seção horizontal de densidade em 3000 m de profundidade, para o período chuvoso.

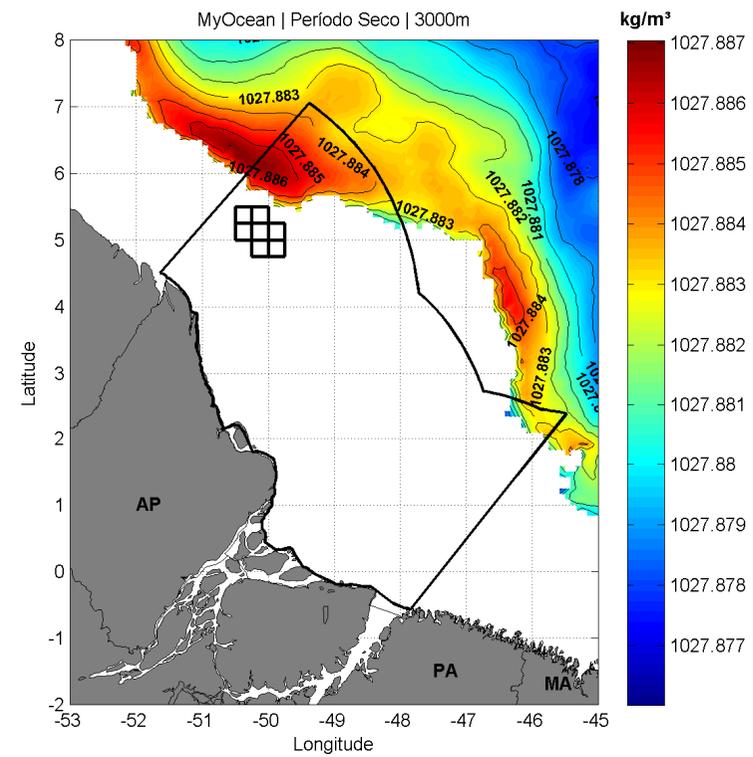


Figura II.6.1.1.2.2.A-81 - Seção horizontal de densidade em 3000 m de profundidade, para o período seco.

A seguir, da **Figura II.6.1.1.2.2.A-82** à **Figura II.6.1.1.2.2.A-87**, são apresentadas as seções verticais de temperatura, salinidade e densidade obtidas do WOA13 para os períodos chuvoso e seco. Essas seções foram realizadas na longitude de 50°W passando pelo meio dos blocos.

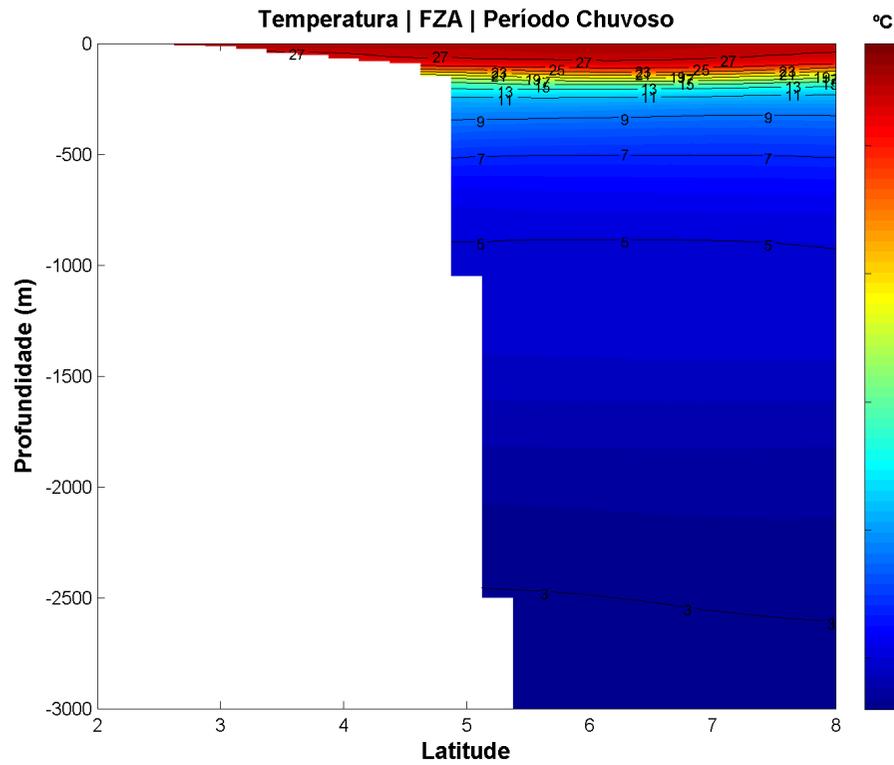


Figura II.6.1.1.2.2.A-82 - Seção vertical de temperatura para o período chuvoso na região dos blocos.

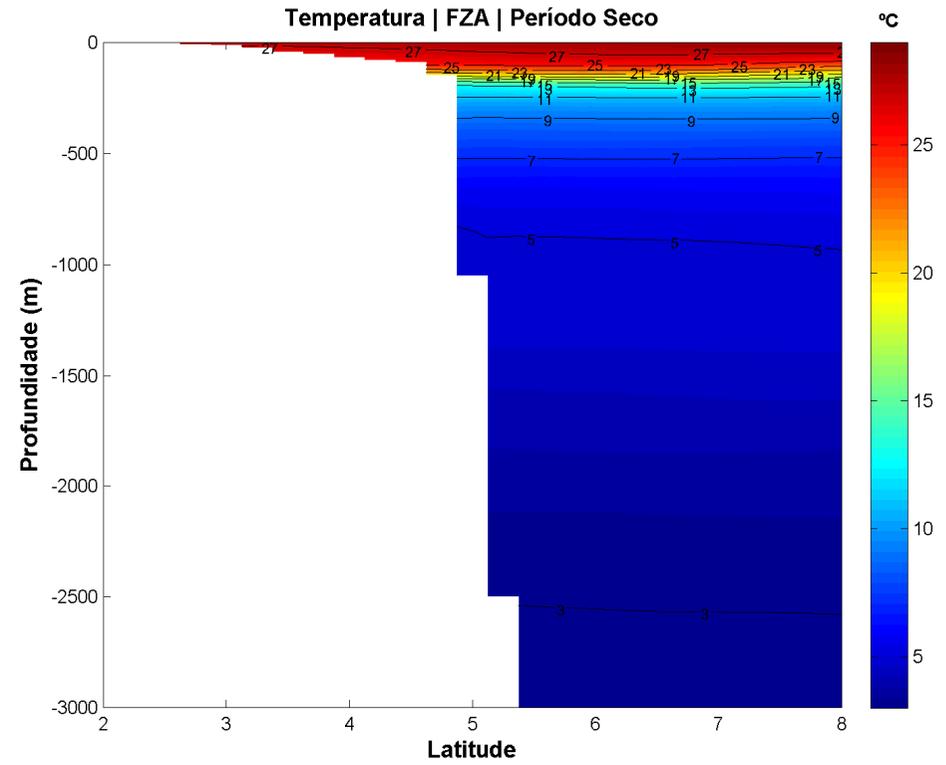


Figura II.6.1.1.2.2.A-83 - Seção vertical de temperatura para o período seco na região dos blocos.

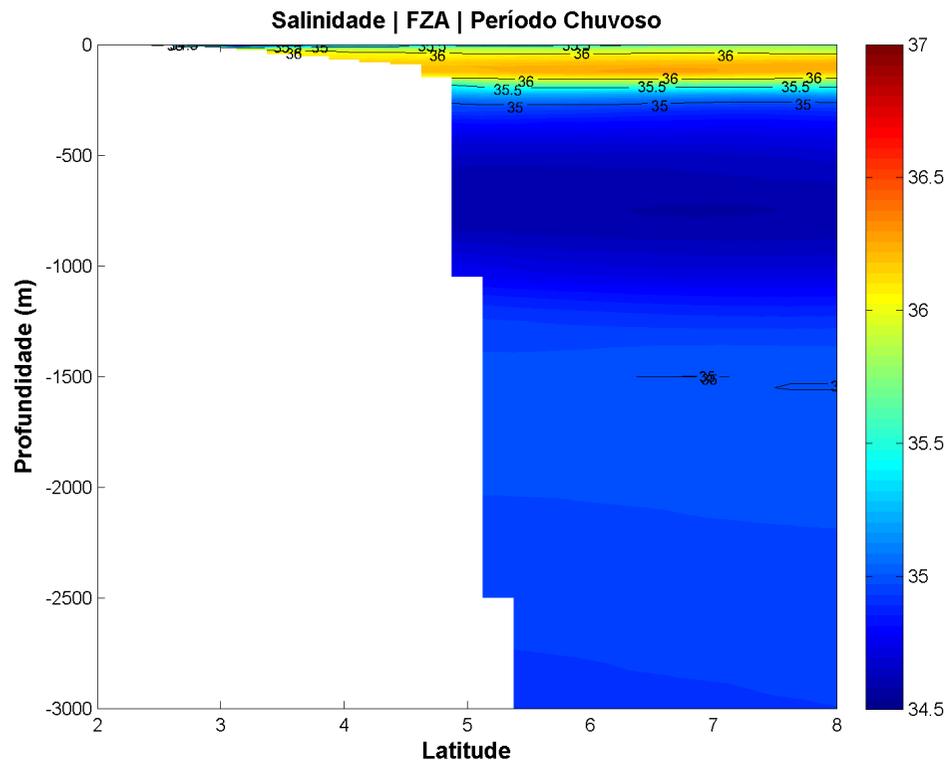


Figura II.6.1.1.2.2.A-84 - Seção vertical de salinidade para o período chuvoso na região dos blocos.

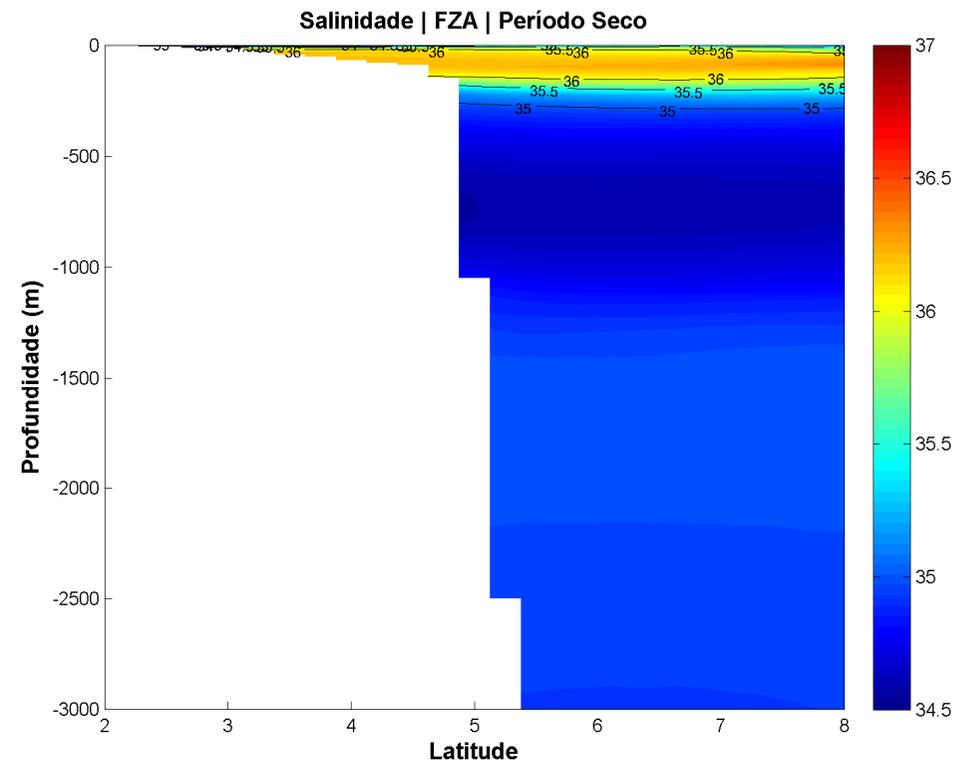


Figura II.6.1.1.2.2.A-85 - Seção vertical de salinidade para o período seco na região dos blocos.

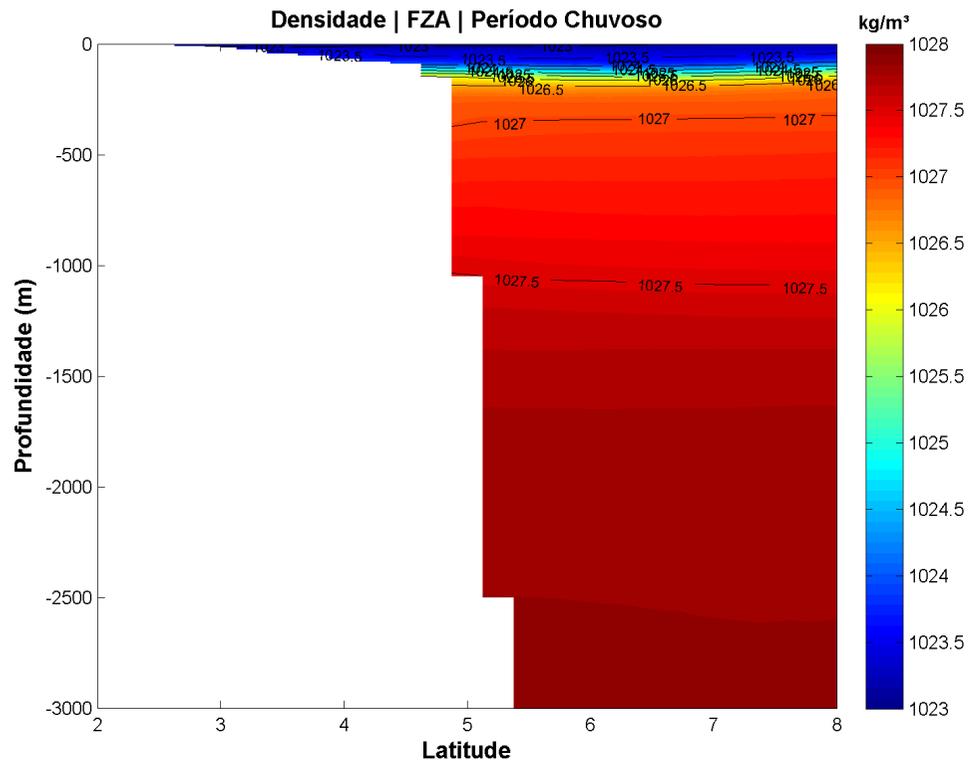


Figura II.6.1.1.2.2.A-86 - Seção vertical de densidade para o período chuvoso na região dos blocos.

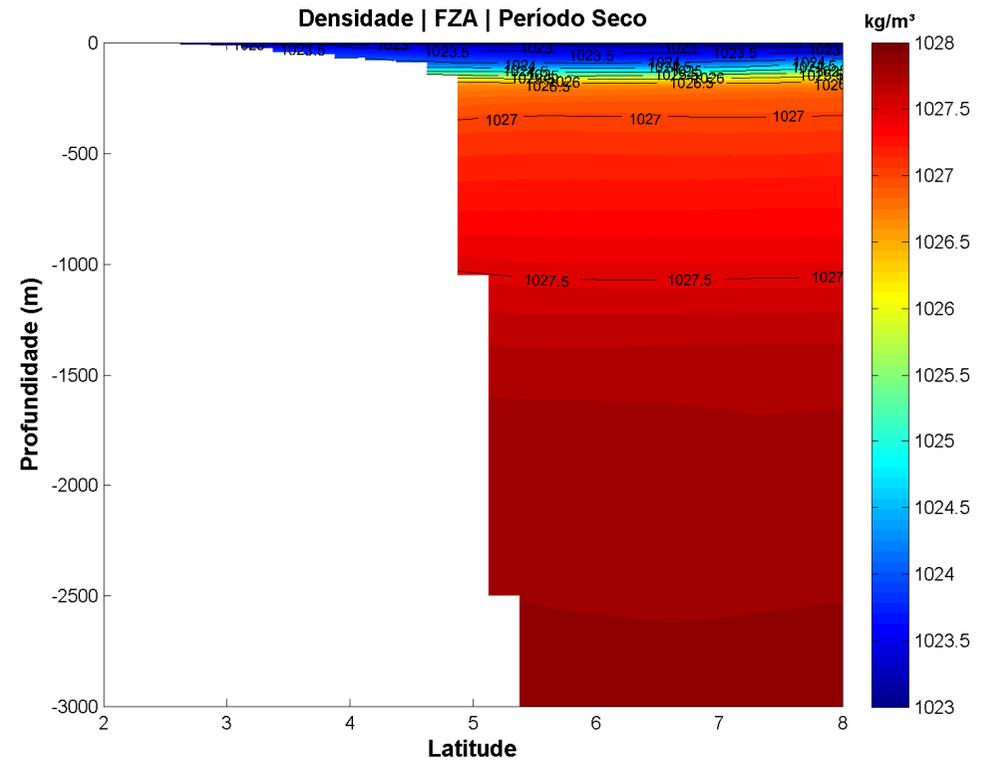


Figura II.6.1.1.2.2.A-87 - Seção vertical de densidade para o período seco na região dos blocos.

Através das seções verticais, pode-se observar uma camada de mistura bem definida nos primeiros 100 m da coluna d'água. Entre aproximadamente 500 m e 1000 m destaca-se a presença de um núcleo de baixa salinidade, associado à Água Intermediária Antártica (AIA).

Para o estudo da variabilidade sazonal da TSM foram utilizados dados satelitais disponibilizados pelo NCOF (*National Center for Ocean Forecast*), adquiridos através do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*). Este produto abrange todo o globo e possui alta resolução (~6 km). O produto é oferecido diariamente, sendo resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e micro-ondas, além de dados *in situ* por meio de processo de Análise Objetiva. Este produto tem oferecido dados acurados de TSM, com um erro médio quadrático menor que 0,6°C, em alta resolução, os quais são disponibilizados em tempo quase real (Stark *et al.* 2007). A seguir, na **Figura II.6.1.1.2.2.A-88** e na **Figura II.6.1.1.2.2.A-89**, são apresentadas as médias sazonais (período chuvoso e seco) elaboradas a partir dos dados obtidos na região da Bacia da Foz do Amazonas, para o período de 2007 a 2014.

A grande vantagem da utilização do sensoriamento remoto para obtenção de dados de temperatura é que devido à elevada sensibilidade dos sensores que estão em operação, pequenas variações em áreas extensas podem ser capturadas, principalmente quando comparados a resultados obtidos a bordo de navios (Souza *et al.*, 2005).

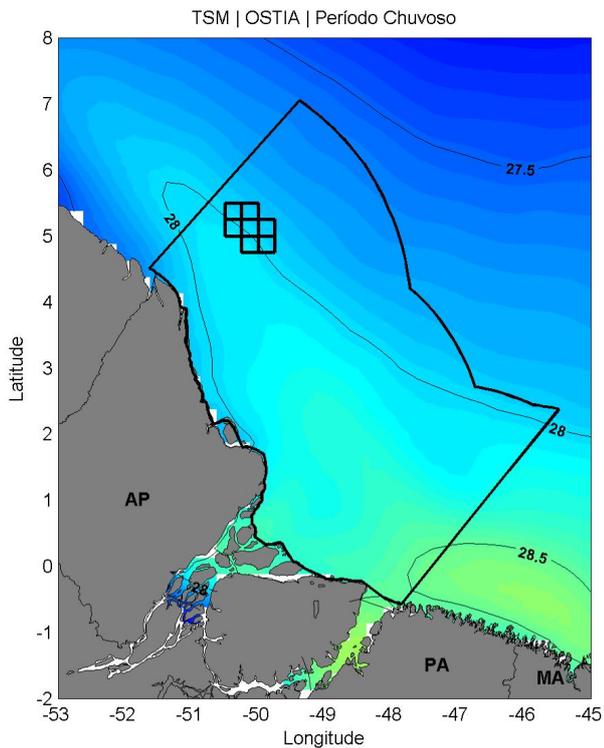


Figura II.6.1.1.2.2.A-88 - TSM na região da Bacia da Foz do Amazonas no período chuvoso. Média sazonal de janeiro a junho para o período de 2007 a 2014.

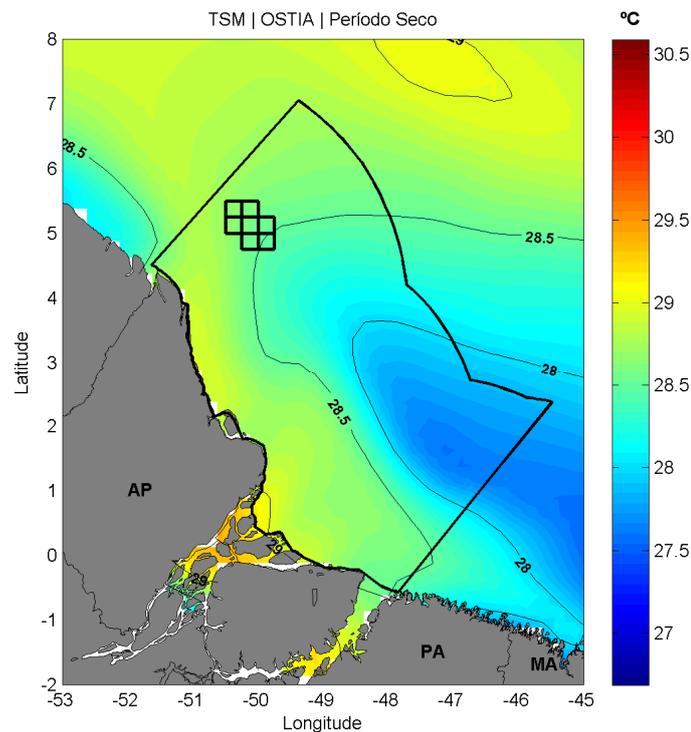


Figura II.6.1.1.2.2.A-89 -: TSM na região da Bacia da Foz do Amazonas no período seco. Média sazonal de julho a dezembro para o período de 2007 a 2014.

Analisando as imagens, observa-se que no período chuvoso as maiores temperaturas na região da Foz do Amazonas, em média, são encontradas próximas à costa e, as águas mais frias, em direção ao oceano. A temperatura média na região dos blocos foi de $\sim 28^{\circ}\text{C}$ neste período.

No período seco (julho a dezembro) observa-se uma região com menores temperaturas associadas ao fluxo da CNB. Neste período a TSM foi de $\sim 28,5^{\circ}\text{C}$ na região dos blocos.

A variabilidade da TSM no Oceano Atlântico Tropical é caracterizada, principalmente, pelo ciclo sazonal, associado à oscilação Norte-Sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), havendo também variações interanuais e decadais significativas. Destas variações interanuais, destacam-se eventos de aquecimento das águas na região equatorial do Atlântico, similares ao El Niño no Pacífico tropical (CLAUZET, 2001).

II.6.1.1.2.2.B. Massas d'água

Segundo Stramma & Schott (1999) e Castro & Miranda (1998), que realizaram uma descrição preliminar das massas d'água presentes na costa norte brasileira, espera-se encontrar as seguintes massas de água na região:

- Água Costeira (AC) – água de salinidade abaixo de 33 devido à influência que sofre do continente.
- Água Tropical (AT) – formada pela mistura de camadas do Tropical Atlântico, apresentando temperaturas maiores que 18°C, e salinidades maiores que 36.
- Água de Mistura (AM) – apresenta salinidade variando entre 33 e 36 e valores de temperatura acima de 18°C. Massa d'água proveniente da mistura entre AST e AC;
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – apresenta um mínimo de temperatura de 6°C e um máximo de 18°C; e a salinidade oscila entre 34,5 e 36. Massa d'água situada entre a Água Superficial Tropical (AST) e a Água Intermediária Antártica (AIA). É formada na Convergência Subtropical. Chega ao Equador através da Corrente Norte do Brasil (CNB) e da Contra Corrente Norte do Brasil (CCNB).
- Água Intermediária Antártica (AIA) – apresenta valores de temperatura entre 2,75°C e 5°C e de salinidade entre 34,1 e 34,5. É proveniente da Convergência Antártica direcionando-se ao Atlântico Norte. Apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1.100 m de profundidade.
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – apresenta valores de temperatura variando de 2°C a 3°C, sua salinidade oscila entre 34,7 e 35,5. Formada na região Ártica é observada entre 1.000 e 2.500 m de profundidade.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.B-1** são apresentados mapas do Oceano Atlântico mostrando em quais profundidades (**Figura II.6.1.1.2.2.B-1-a**) são encontrados valores mínimos de salinidade (**Figura II.6.1.1.2.2.B-1-b**), que indicam a presença da Água Intermediária Antártica.

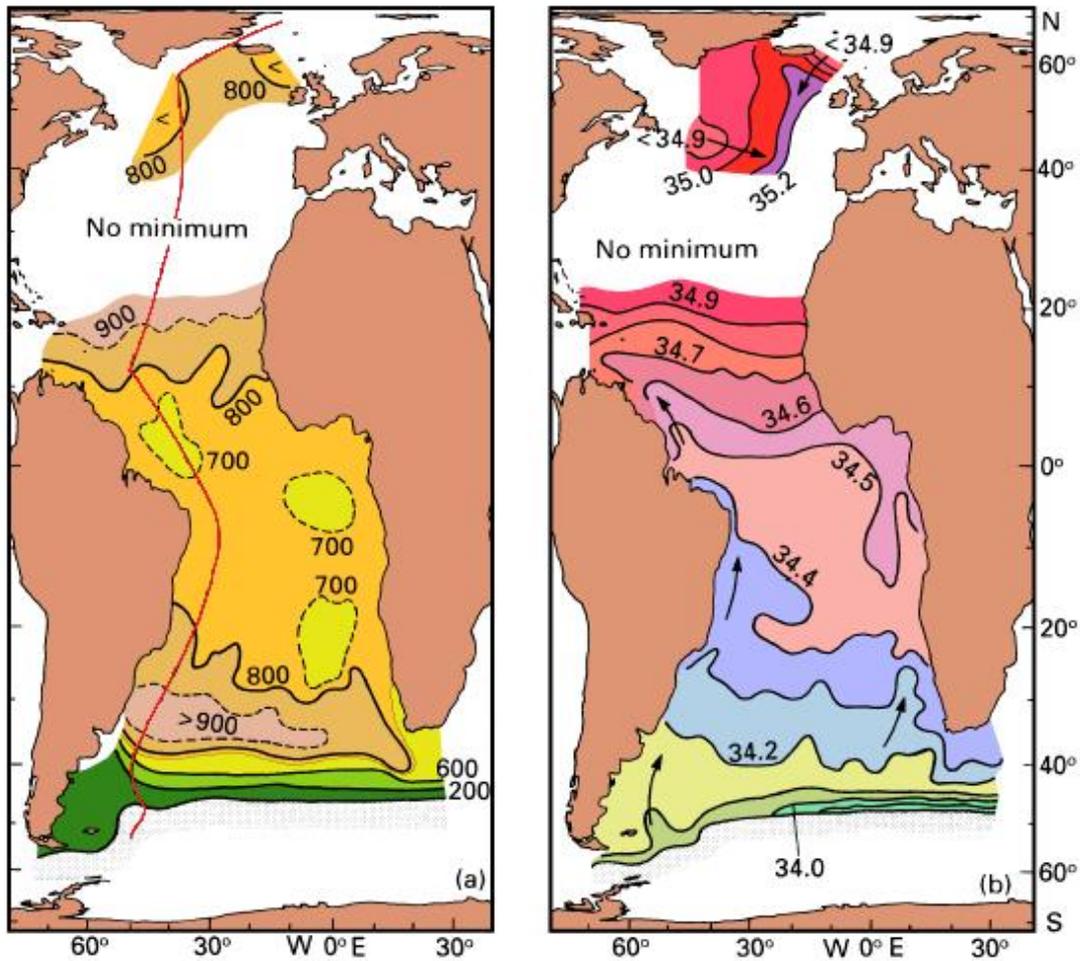


Figura II.6.1.1.2.2.B-1 - Mapa dos valores mínimos de salinidade provocados pela Água Intermediária. (a) profundidade da mínima; (b) salinidade na profundidade mínima. Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.

É apresentada, na Figura II.6.1.1.2.2.B-2, uma seção vertical de salinidade variando com a latitude e a profundidade. Esta seção é indicada por um traço contínuo na Figura II.6.1.1.2.2.B-1-a, acima.

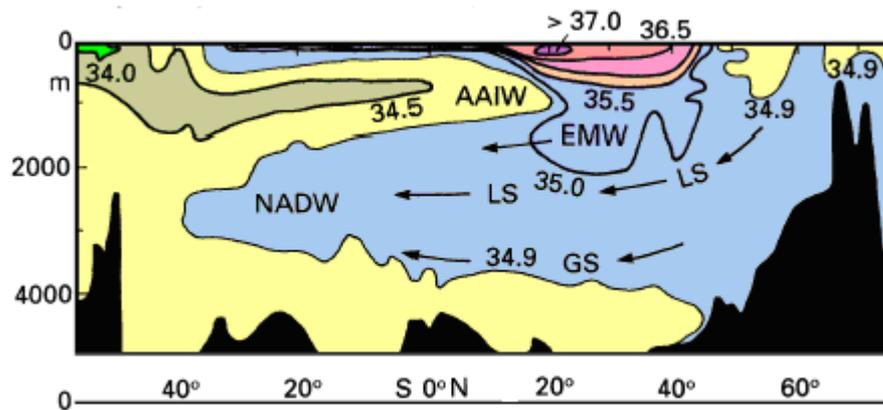


Figura II.6.1.1.2.2.B-2 - Seção vertical de salinidade através da bacia oeste do Oceano Atlântico, com indicação das massas d'água encontradas. AIA – Água Intermediária Antártica (AAIW), APAN - Água Profunda do Atlântico Norte (NADW), Mar do Labrador (LS), Mar da Groenlândia (GS), AME - Água Mediterrânea Eurafriana (EMW). Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.

É possível notar, para a latitude da região de estudo, próxima a 5°N, a presença da AIA e da APAN, além de águas mais superficiais com maiores valores de salinidade.

No estudo realizado por Molleri et al. (2006) foram apontadas zonas de transição entre as massas d'água. Os autores apresentam uma zona de transição entre a AC e a AT chamada de Zona de Transição AC-AT (ZACAT), que representa a mistura entre a AC e a AT, e outra entre a AT e a ACAS, denominada Zona de Transição AT-ACAS (ZATACAS). Deve ser ressaltado que os dados utilizados nesta abordagem foram coletados entre os meses de maio e junho de 1999, correspondendo ao período de máxima descarga do rio Amazonas.

Da **Figura II.6.1.1.2.2.B-3** à **Figura II.6.1.1.2.2.B-9** são apresentados os mapeamentos das massas d'água na região da plataforma continental amazônica (PCA) nas profundidades de 10, 50, 100, 150, 200, 600-700, e > 800 m, respectivamente.

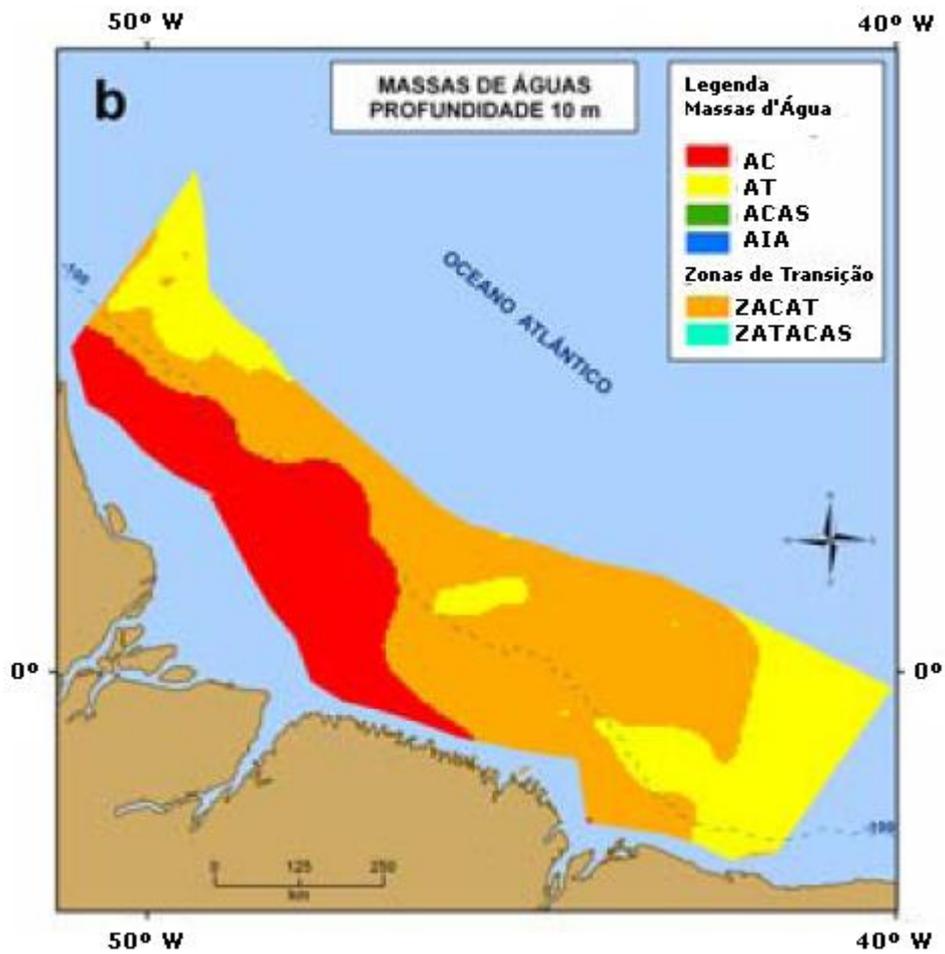


Figura II.6.1.1.2.2.B-3 - Massas d'água na (PCA) na profundidade de 10 m. Fonte: Moller *et al.* (2006).

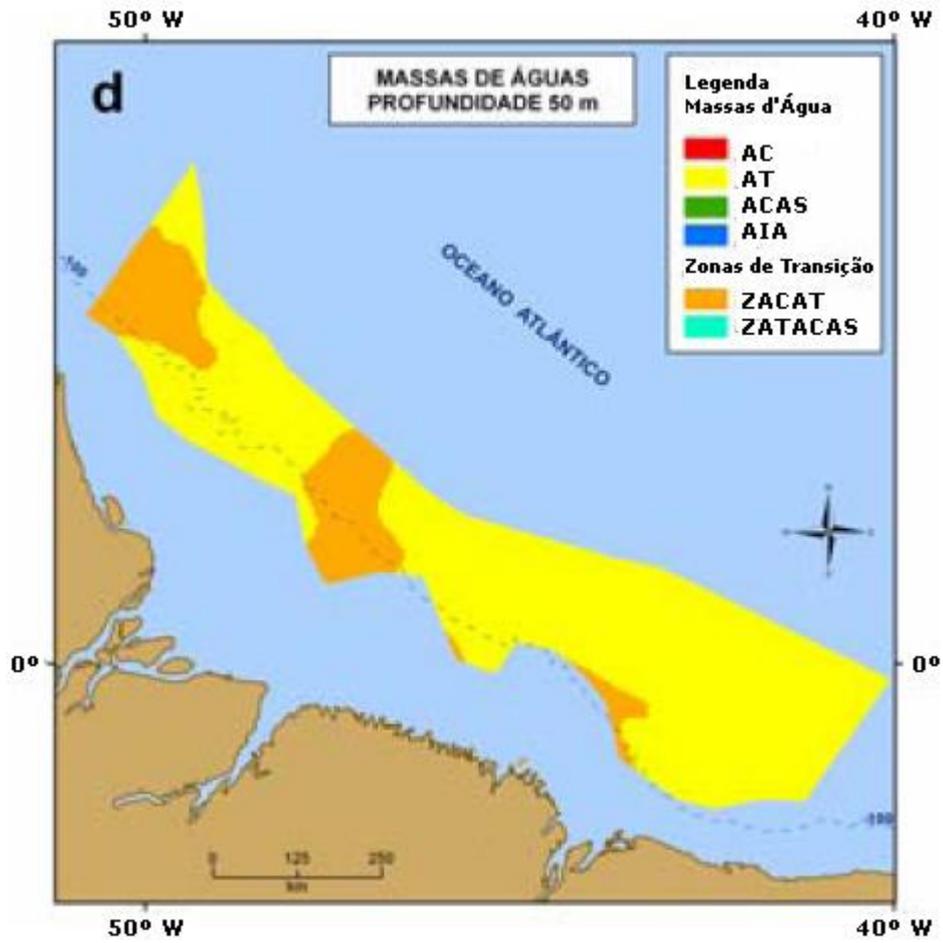


Figura II.6.1.1.2.2.B-4 - Massas d'água na (PCA) na profundidade de 50 m. Fonte: Molleri *et al.* (2006).

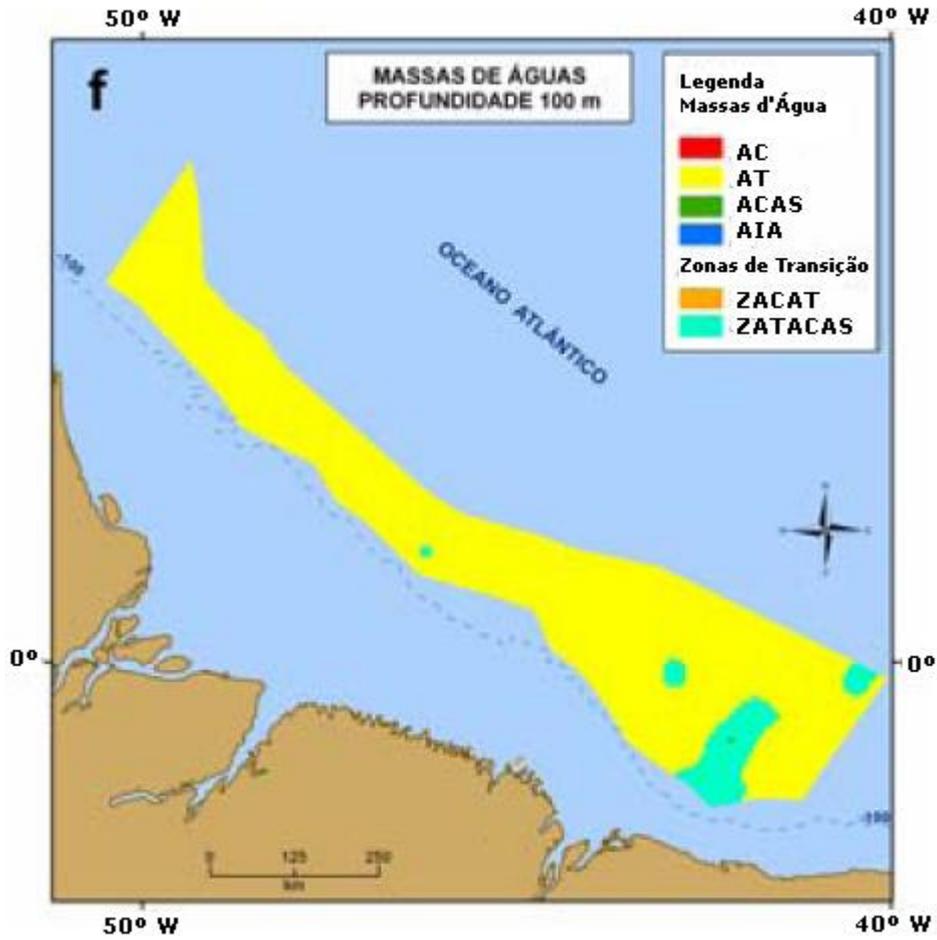


Figura II.6.1.1.2.2.B-5 - Massas d'água na (PCA) na profundidade de 100 m.
Fonte: Molleri *et al.* (2006).

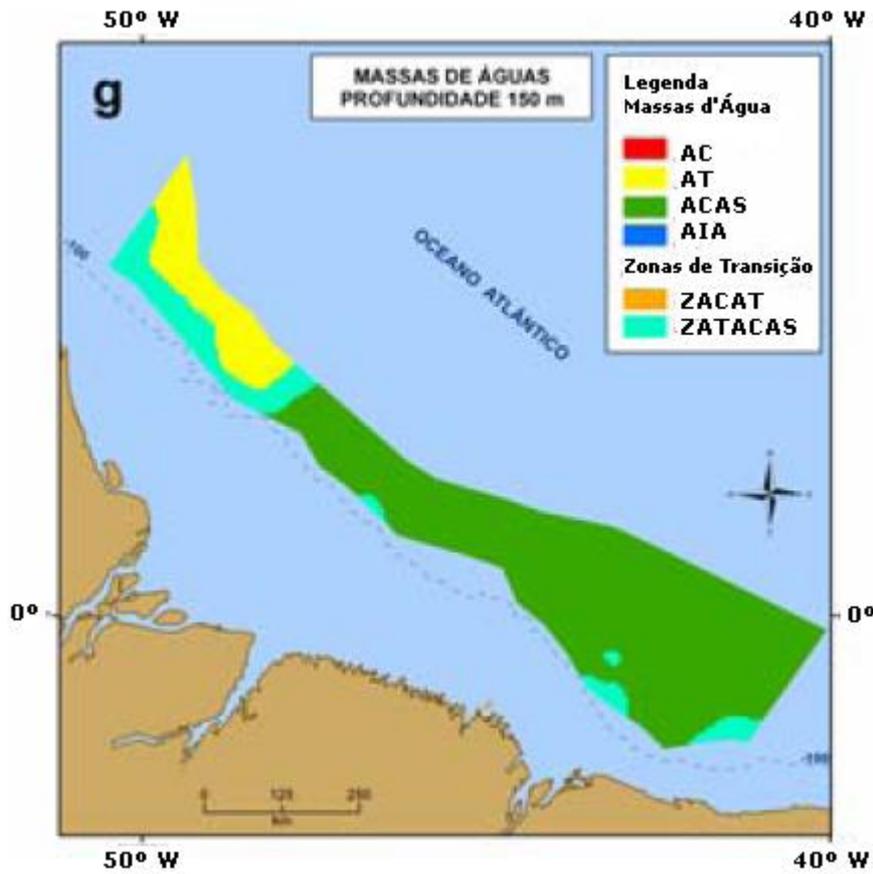


Figura II.6.1.1.2.2.B-6 - Massas d'água na (PCA) na profundidade de 150 m.
Fonte: Molleri *et al.* (2006).

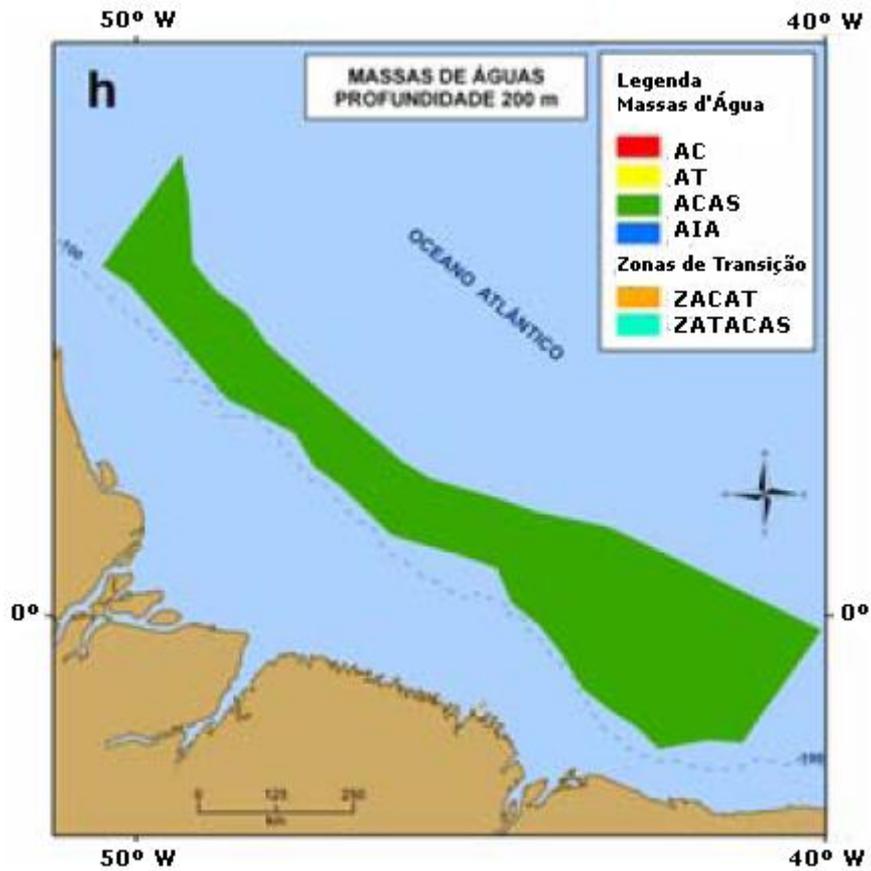


Figura II.6.1.1.2.2.B-7 - Massas d'água na (PCA) na profundidade de 200 m.
Fonte: Molleri *et al.* (2006).

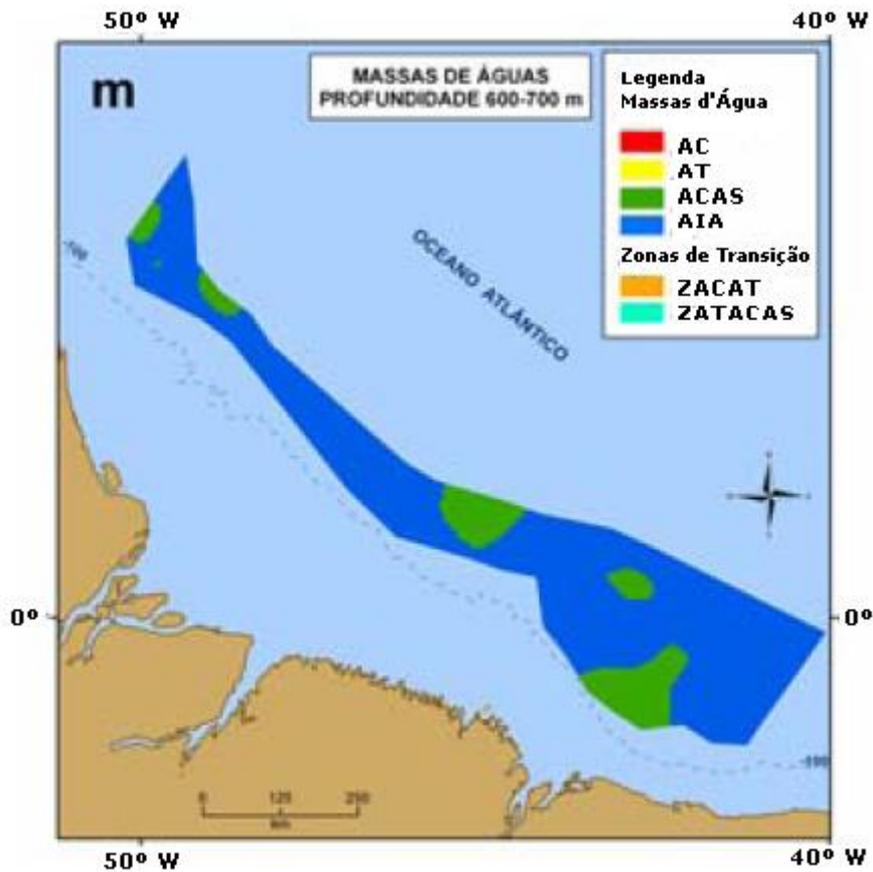


Figura II.6.1.1.2.2.B-8 - Massas d'água na (PCA) na profundidade de 600-700 m. Fonte: Molleri *et al.* (2006).

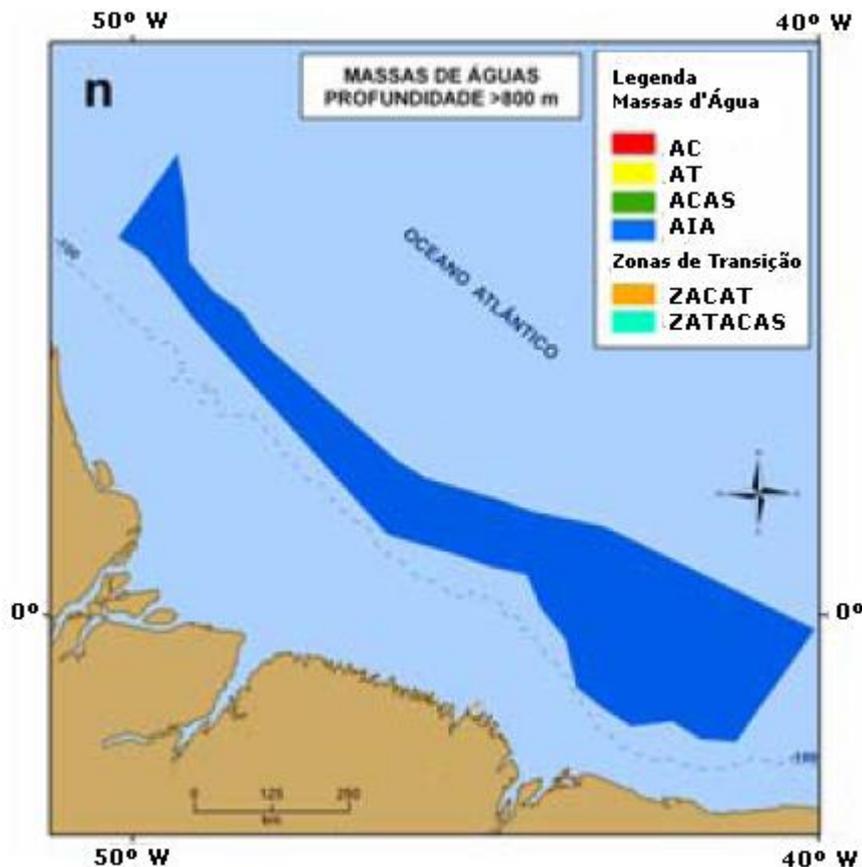


Figura II.6.1.1.2.2.B-9 - Massas d'água na (PCA) em profundidades de maiores que 800 m. Fonte: Molleri *et al.* (2006).

A Tabela II.6.1.1.2.2.B-1 apresenta um resumo das massas d'água encontradas por Molleri *et al.* (2006) nas diferentes profundidades. A massa d'água ZATACAS refere-se à zona de transição entre a AT e a ACAS.

Tabela II.6.1.1.2.2.B-1 - Massas d'água encontradas por Molleri *et al.* (2006) nos níveis de 10, 50, 100, 150, 200, 600-700 e >800 m na PCA.

Profundidade (m)	Massa d'água
10	AC, AT, AM
50	AC, AM
100	AT, ZATACAS
150	AT, ZATACAS, ACAS
200	ACAS
600-700	ACAS, AIA
>800	AIA

A avaliação das massas d'água presentes na região de interesse é feita a partir da análise de dados primários obtidos da campanha de *baseline* (Figura II.6.1.1.2.2.A-6) e dados disponíveis no banco de dados WOD13 (*World Ocean Database* 2013), além de dados secundários, disponíveis no WOA13 do NODC.

A base de dados conhecida como WOD13, corresponde aos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos por todo o globo. Uma descrição completa sobre esta base de dados pode ser encontrada em Boyer et al. (2013).

A partir dos dados primários da campanha de *baseline*, e dos dados WOD13, coletados entre os anos de 1937 e 2014, foi realizada uma análise das massas d'água presentes na região dos blocos, a partir da confecção de um diagrama TS.

Os dados obtidos foram tratados e para eliminar dados espúrios, observações com valores inferiores ou superiores a três vezes o desvio padrão para cada profundidade foram descartadas.

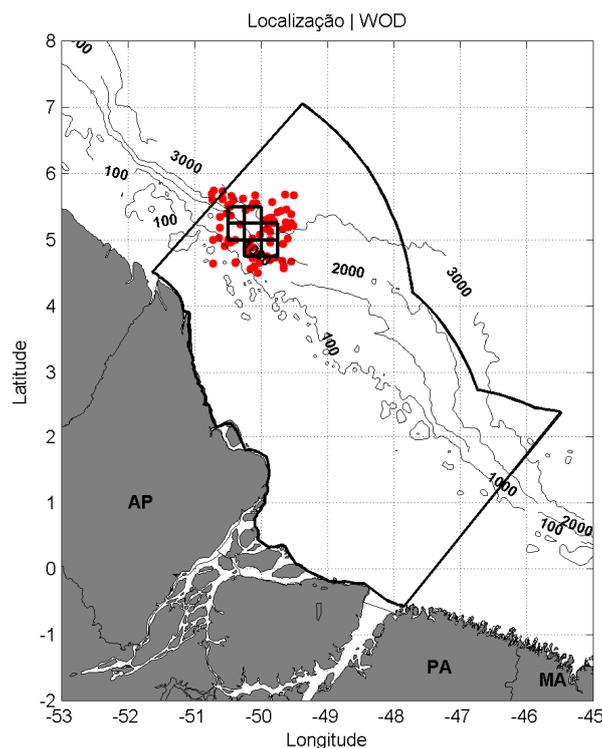


Figura II.6.1.1.2.2.B-10 - Localização dos pontos do WOD13 utilizados.

Na Figura II.6.1.1.2.2.B-11 é apresentado o diagrama TS espalhado, elaborado com os dados da campanha de *baseline* e do NODC. As cores são referentes às profundidades dos dados.

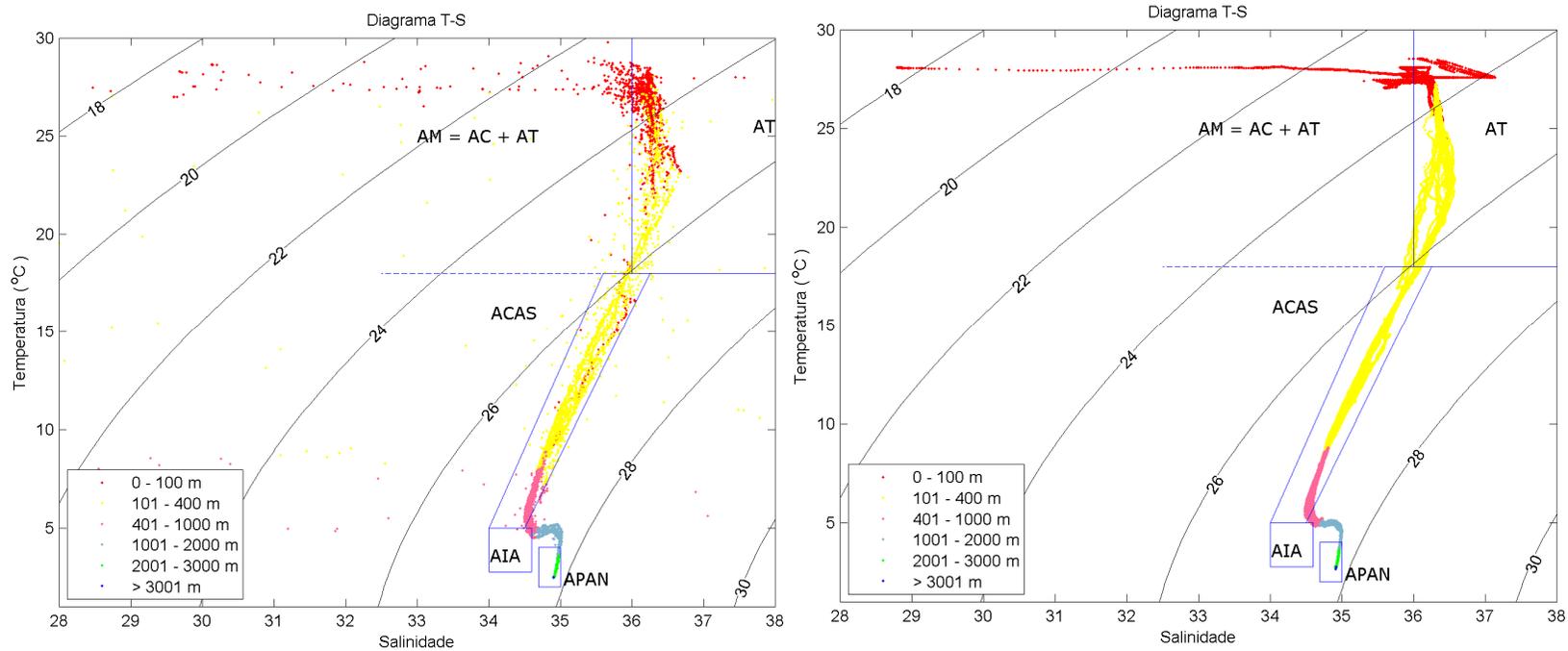


Figura II.6.1.1.2.2.B-11 - Diagrama TS espalhado para a região da Bacia da Foz do Amazonas, elaborado com os dados do NODC (esquerda) e dos CTDs da campanha de baseline (direita). A linha em azul representa o gabarito elaborado por Silva et al. (1982).

A partir do diagrama T-S, nota-se a presença das seguintes massas d'água na região dos blocos da Foz do Amazonas: Água de Mistura (AM), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

Para análise da variabilidade sazonal das massas d'água, foram elaboradas seções verticais da densidade da água do mar para o período seco (julho a dezembro) e período chuvoso (janeiro a junho) na longitude de 50° W. Essa análise foi feita com dados obtidos no WOA13, do NODC.

As massas d'água são inferidas a partir dos seus respectivos limites de densidade (linhas isopicnais). Pode-se observar, através das seções, a presença da AT entre 0 e 100 m de profundidade, a AIA entre 300 e 1000 m e a APAN entre 1000 e 3000 m.

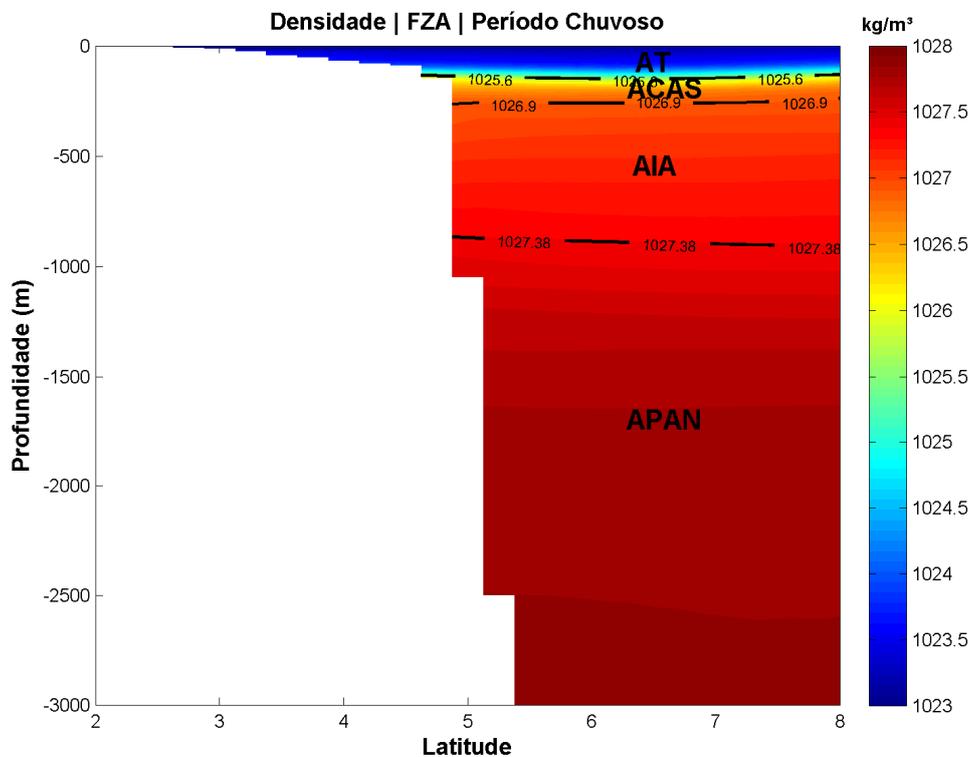


Figura II.6.1.1.2.2.B-12 - Seção vertical de densidade potencial climatológica para o período chuvoso. As linhas isopicnais representam os limites entre as massas d'água. Figura gerada a partir de dados do NODC.

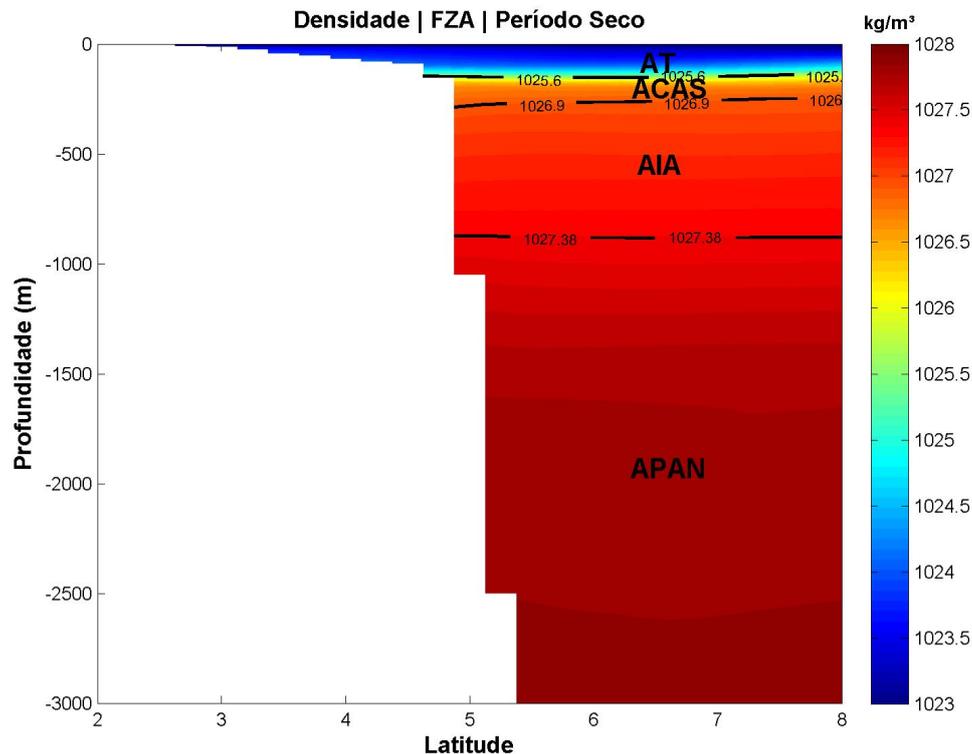


Figura II.6.1.1.2.2.B-13 - Seção vertical de densidade potencial climatológica para o período seco. As linhas isopícnas representam os limites entre as massas d'água. Figura gerada a partir de dados do NODC

II.6.1.1.2.2.C. Correntes

Para análise da circulação na região da Bacia da Foz do Amazonas, foram utilizados os dados da Análise Global do projeto MyOcean para o período compreendido entre janeiro de 2013 e dezembro de 2013.

Da **Figura II.6.1.1.2.2.C-1** à **Figura II.6.1.1.2.2.C-12** são apresentados os campos médios elaborados com os dados do MyOcean para o período chuvoso (janeiro a junho) e para o período seco (julho a dezembro), em 0, 100, 500, 1000, 2000 e 3000 m de profundidade.

Os resultados do MyOcean para o ano de 2013 demonstram que os blocos sofrem influência direta da CNB, que flui para NW na região, com velocidades médias superiores a 1 m/s. No período seco, há uma presença bem marcada da retroflexão da CNB na região norte da Bacia da Foz do Amazonas.

A CNB é observada também nos mapas elaborados para a profundidade de 100 m, entretanto com velocidades menores, aproximadamente 0,6 m/s.

Entre 500 e 1000 m são observados, respectivamente, fluxos para NW e SE, com o fluxo para SE a 1000 m apresentando velocidades baixas, da ordem de 0,1 m/s. Entre 2000 e 3000 m esse fluxo para SE aparece mais organizado, atingindo velocidades maiores que 0,2 m/s em 2000 m.

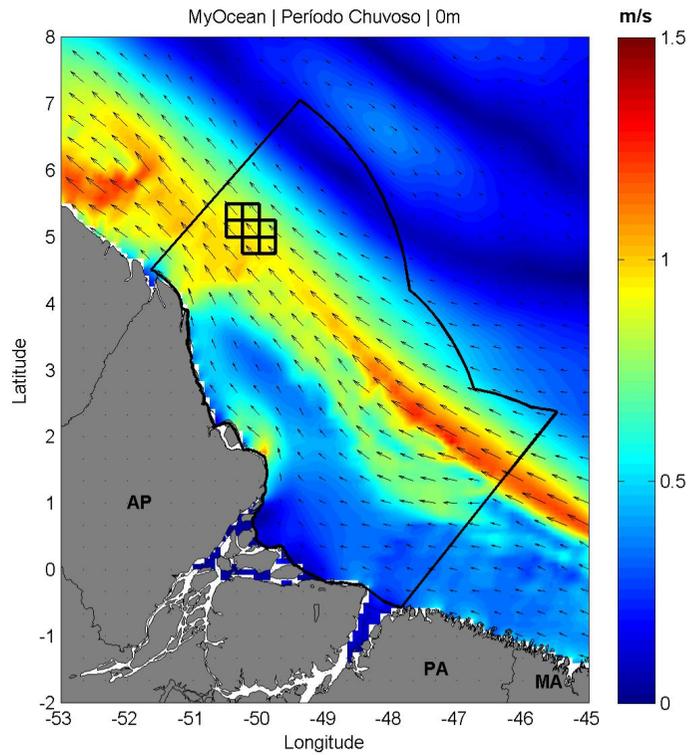


Figura II.6.1.1.2.2.C-1 - Campo médio sazonal das correntes superficiais na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período chuvoso.

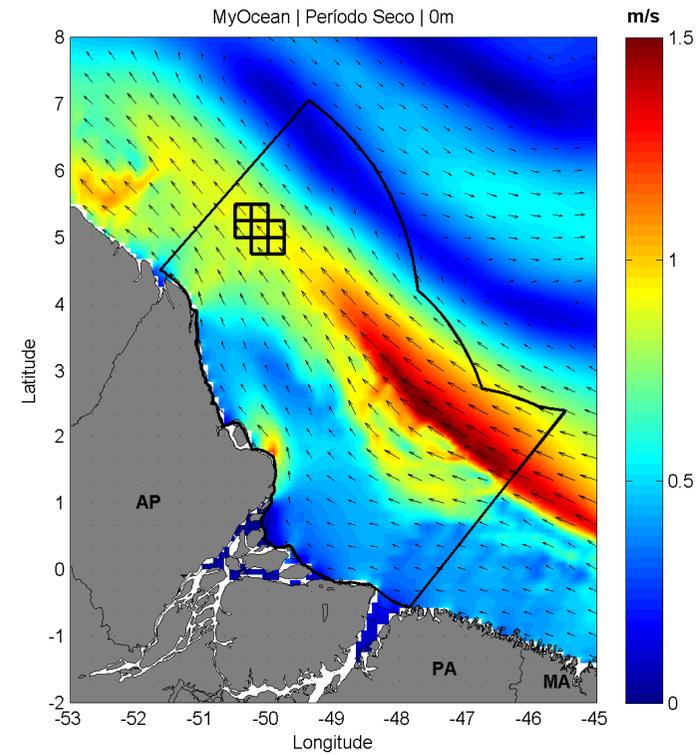


Figura II.6.1.1.2.2.C-2 - Campo médio sazonal das correntes superficiais na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período seco.

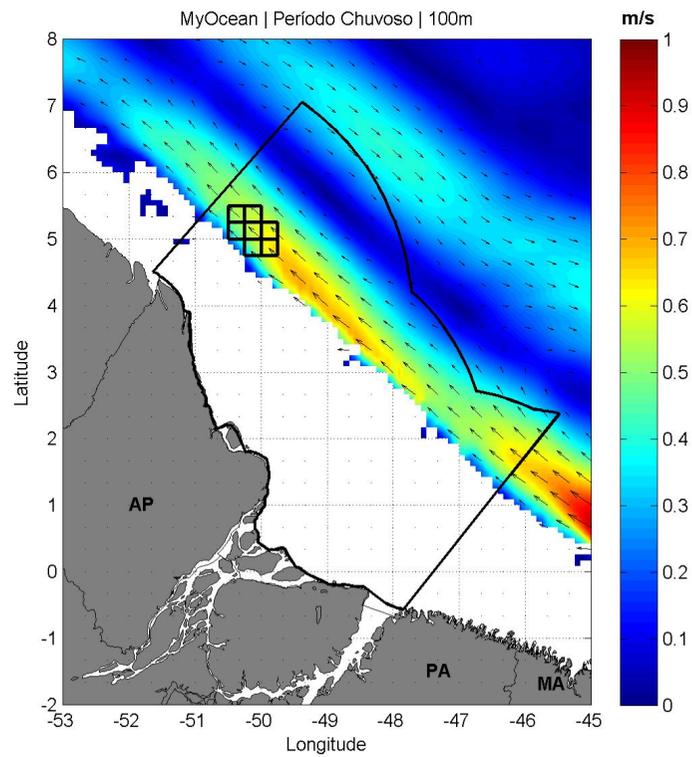


Figura II.6.1.1.2.2.C-3 - Campo médio sazonal das correntes a 100 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período chuvoso.

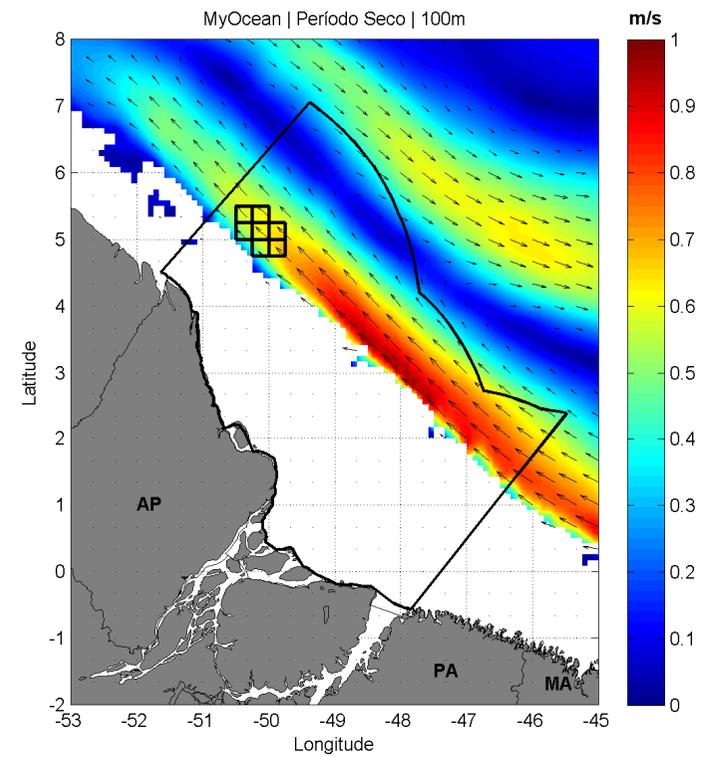


Figura II.6.1.1.2.2.C-4 - Campo médio sazonal das correntes a 100 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período seco.

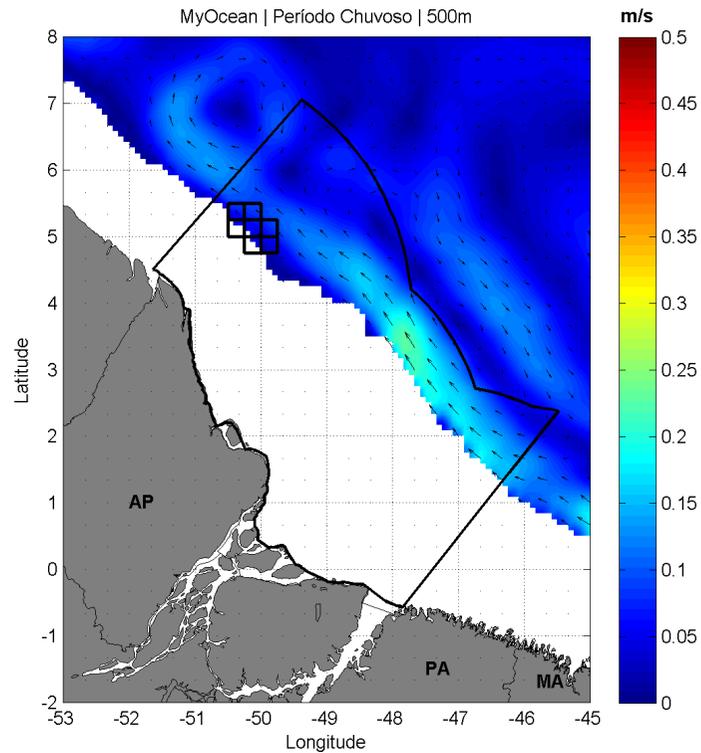


Figura II.6.1.1.2.2.C-5 - Campo médio sazonal das correntes a 500 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período chuvoso.

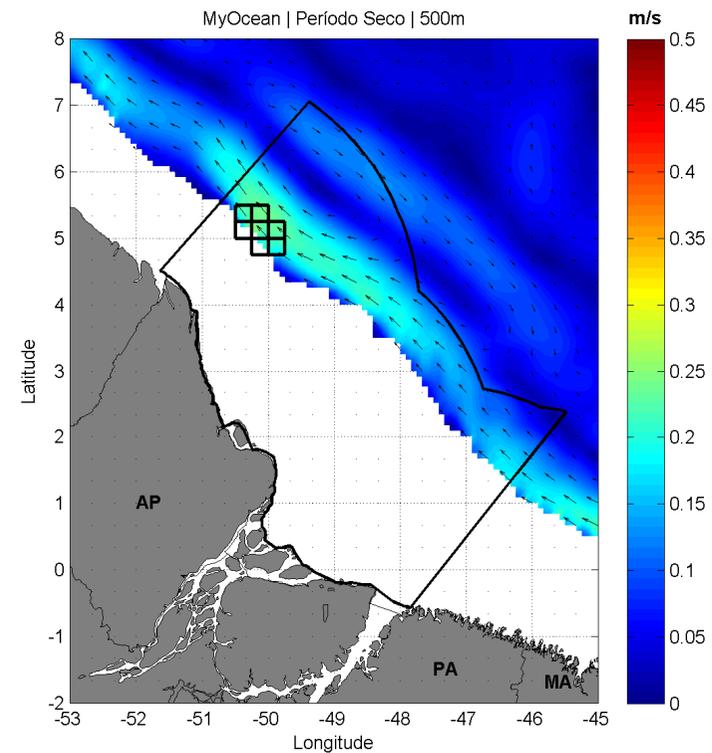


Figura II.6.1.1.2.2.C-6 - Campo médio sazonal das correntes a 500 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período seco.

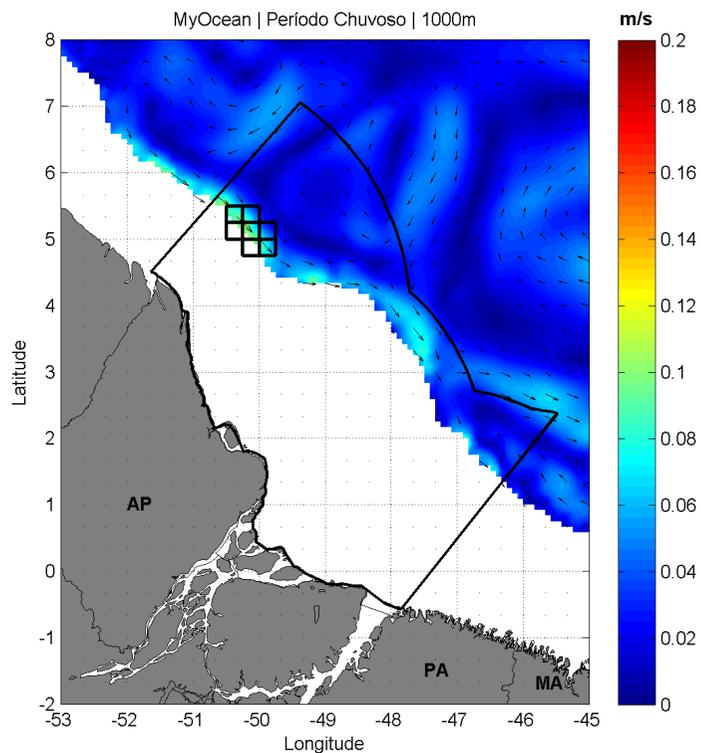


Figura II.6.1.1.2.2.C-7 - Campo médio sazonal das correntes a 1000 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período chuvoso.

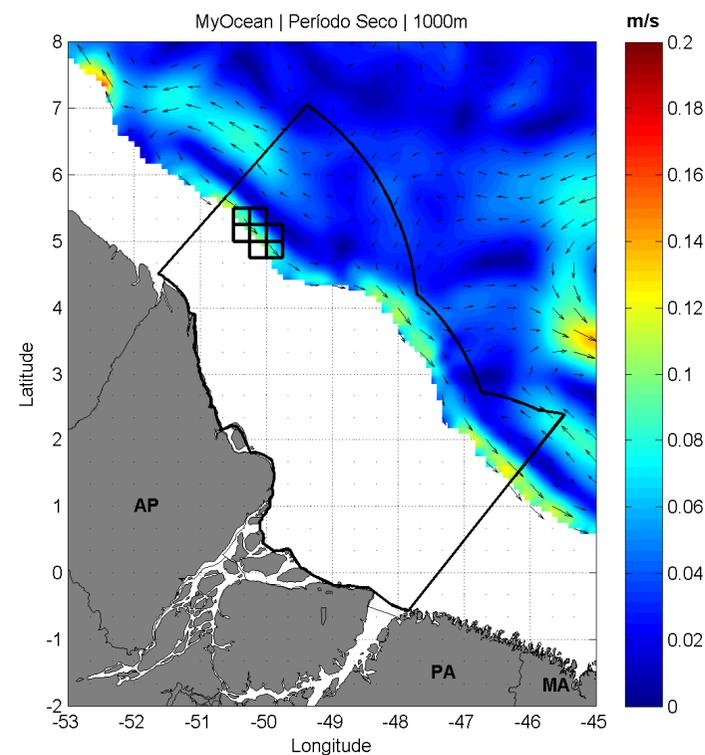


Figura II.6.1.1.2.2.C-8 - Campo médio sazonal das correntes a 1000 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período seco.

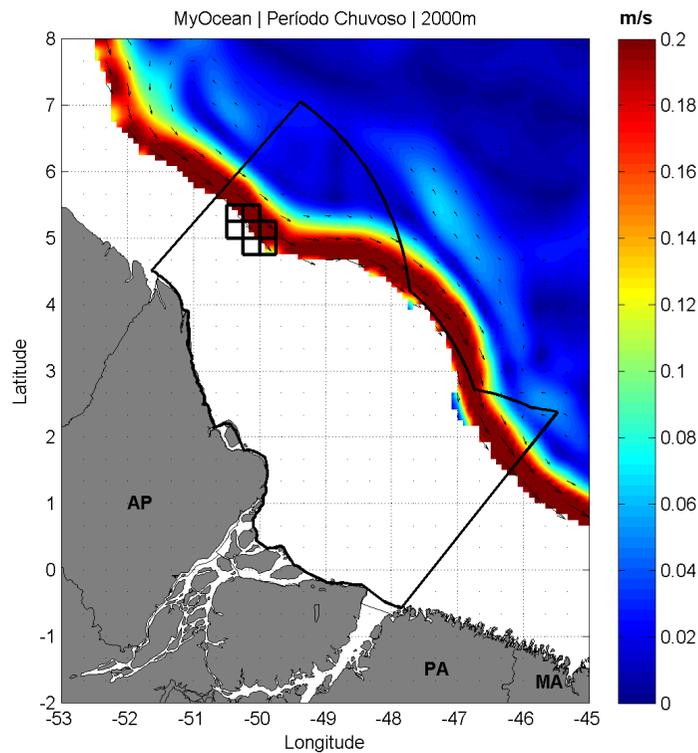


Figura II.6.1.1.2.2.C-9 - Campo médio sazonal das correntes a 2000 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período chuvoso.

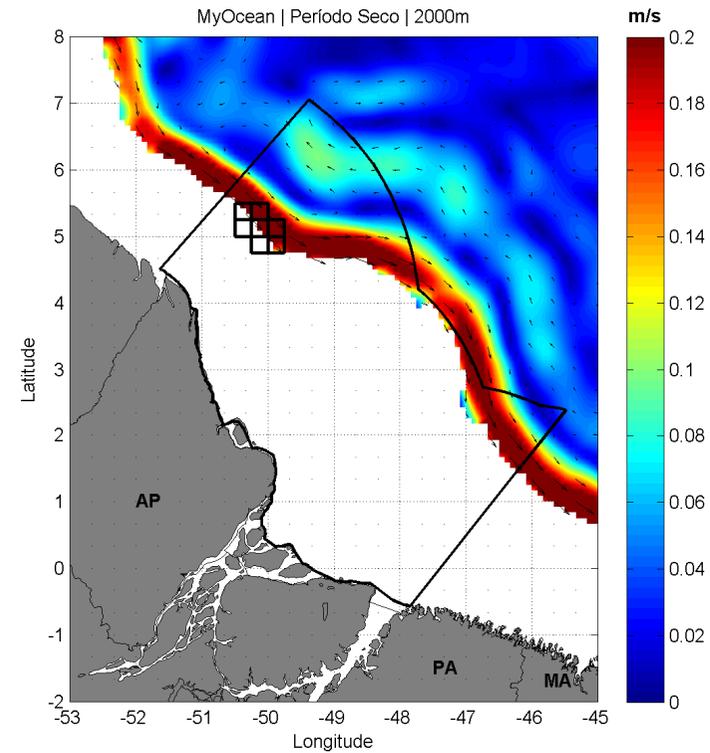


Figura II.6.1.1.2.2.C-10 - Campo médio sazonal das correntes a 2000 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período seco.

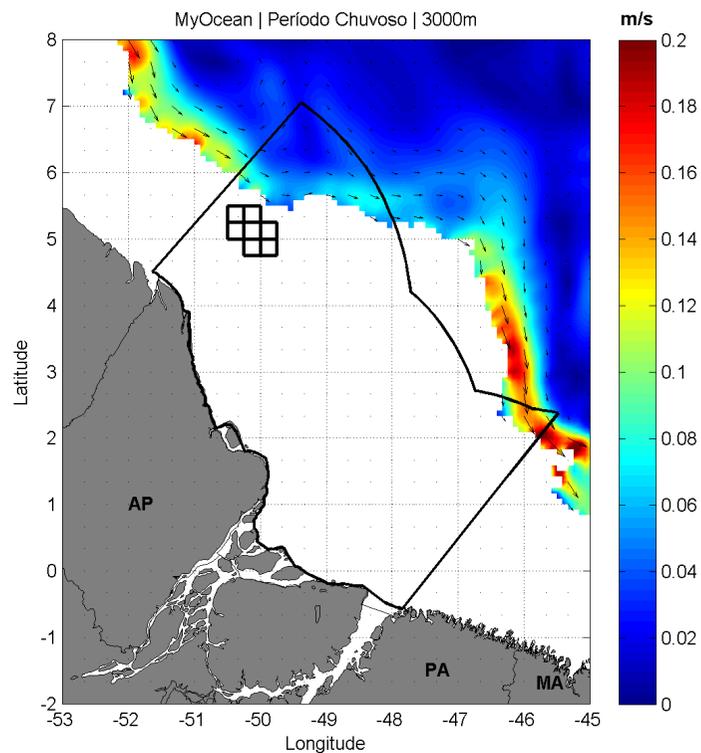


Figura II.6.1.1.2.2.C-11 - Campo médio sazonal das correntes a 3000 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período chuvoso.

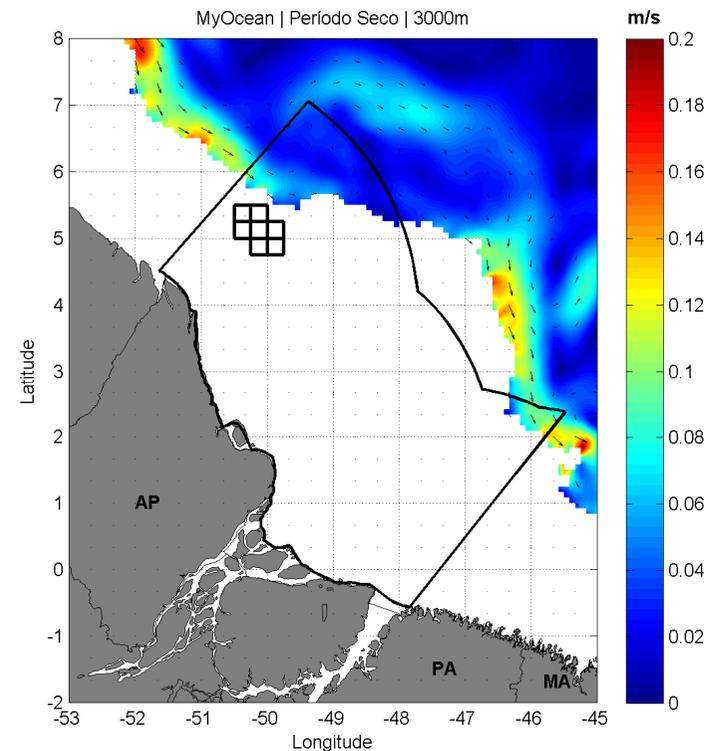


Figura II.6.1.1.2.2.C-12 - Campo médio sazonal das correntes a 3000 m de profundidade na região da Bacia da Foz do Amazonas para o período seco.

Para auxiliar a caracterização das correntes em superfície na região da Bacia da Foz do Amazonas, uma importante fonte de informações consiste nos dados de derivadores superficiais do *Global Drifter Program* (GDP), gerenciado pelo *Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory* (AOML/NOAA). Esta base de dados agrupa os dados brutos dos derivadores, aplicando um controle de qualidade, e interpolando os dados via *kriging*¹, para intervalos regulares de 6 horas. Os dados transmitidos pelas bóias encontram-se disponíveis na internet, no endereço (AOML, 2013). Para a análise em questão foram obtidos os dados de todos os derivadores que passaram na região de estudo, entre os meses de agosto de 1997 e setembro de 2013.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.C-13** e na **Figura II.6.1.1.2.2.C-14** são apresentados os vetores de corrente para o período chuvoso (janeiro a junho) e seco (julho a dezembro), na região da Bacia da Foz do Amazonas.

¹ Método de regressão usado em estatística e geoestatística para interpolação de dados.

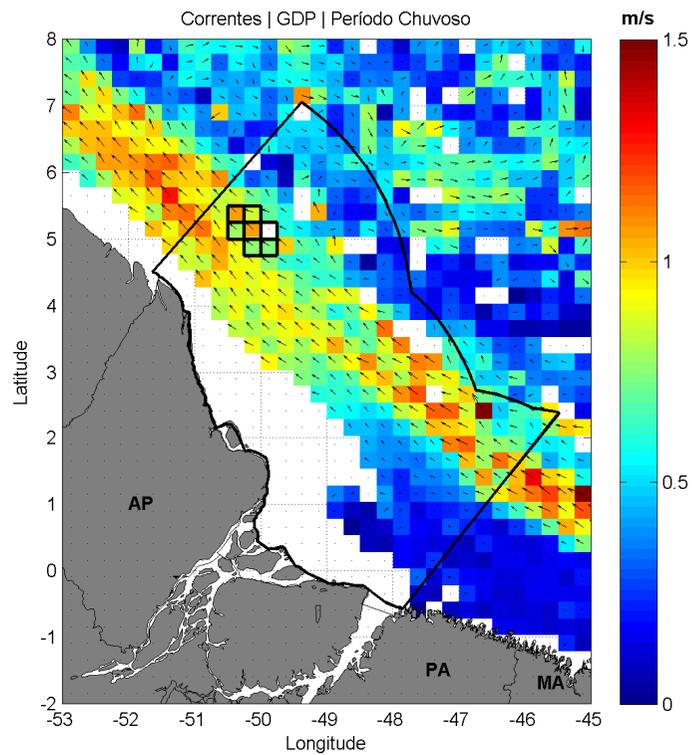


Figura II.6.1.1.2.2.C-13 - Velocidade das correntes (m/s) medidas por derivadores, para o período chuvoso. Fonte: GDP.

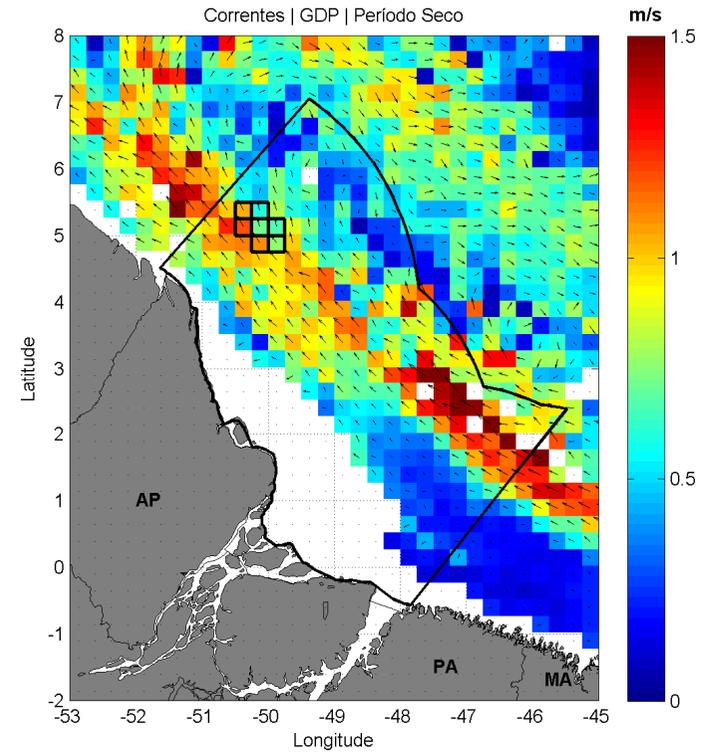


Figura II.6.1.1.2.2.C-14 - Velocidade das correntes medidas por derivadores, para o período seco. Fonte: GDP.

É possível observar, baseado nos dados analisados, que as correntes superficiais na região dos blocos apresentam sentido preferencial noroeste, indicando, de acordo com a bibliografia e com os resultados do MyOcean, a presença da CNB. Nota-se, também, uma retroflexão da CNB mais marcada no período seco.

Em outra avaliação do regime de correntes na região dos blocos e adjacências, foram utilizados os resultados da modelagem hidrodinâmica desenvolvida com o *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) para os estudos de dispersão de óleo, que possui resoluções espacial de $1/16^\circ$ e temporal de 2 h. A localização dos pontos de grade de onde foram extraídos os resultados pode ser observada na **Figura II.6.1.1.2.2.C-15**. Estes pontos foram escolhidos para avaliar o regime de correntes em diferentes províncias fisiográficas (Pto.1 – plataforma continental, pto. 2 – talude e pto. 3 – bacia oceânica).

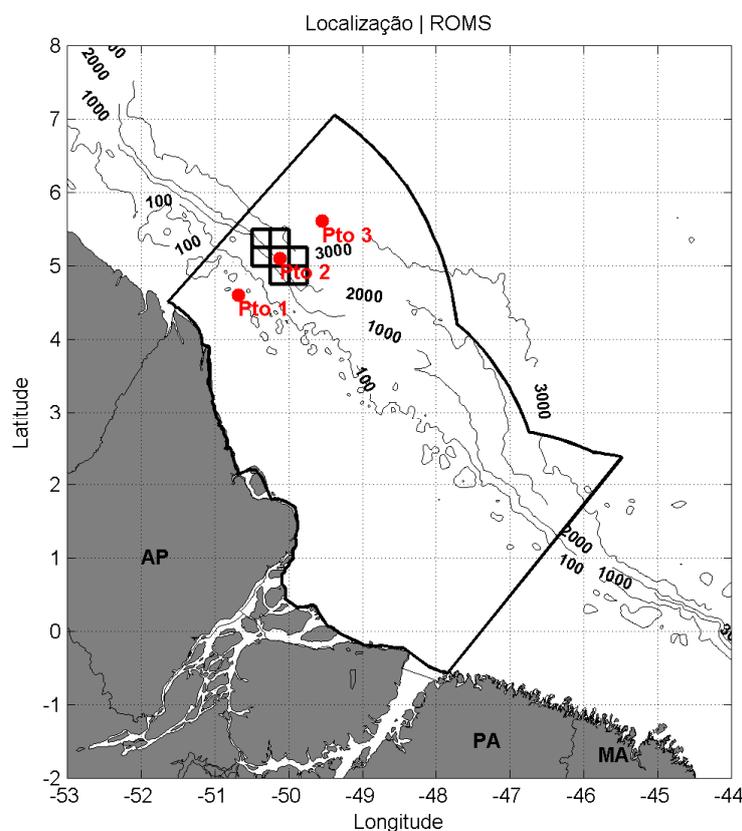


Figura II.6.1.1.2.2.C-15 - Localização dos pontos de grade ROMS, utilizados para análise de correntes na plataforma continental (pto1), no talude (pto2) e na bacia oceânica (pto3).

A seguir, da **Figura II.6.1.1.2.2.C-16** a **Figura II.6.1.1.2.2.C-19**, são apresentadas rosas de correntes, série temporal e intensidade média de correntes, *stickplots* para os meses do ano e gráfico com parâmetros estatísticos para a região da plataforma continental.

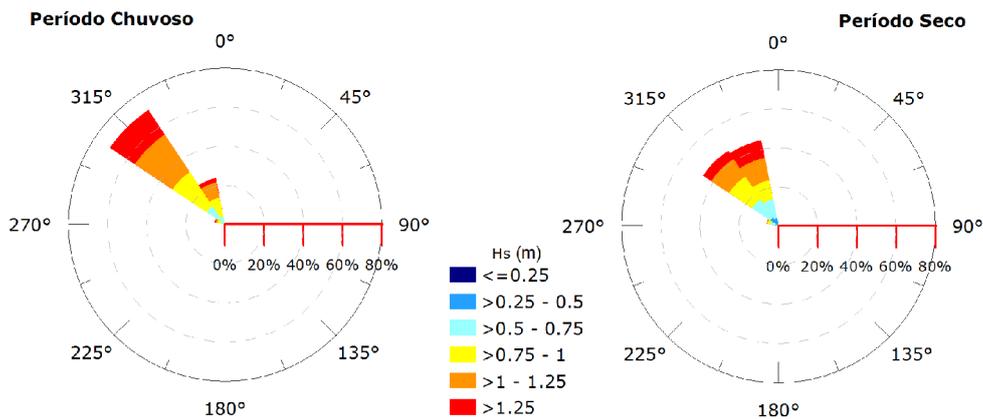


Figura II.6.1.1.2.2.C-16 - Rosas de correntes superficiais para o período chuvoso e período seco na região da plataforma continental. Resultados extraídos do ROMS.

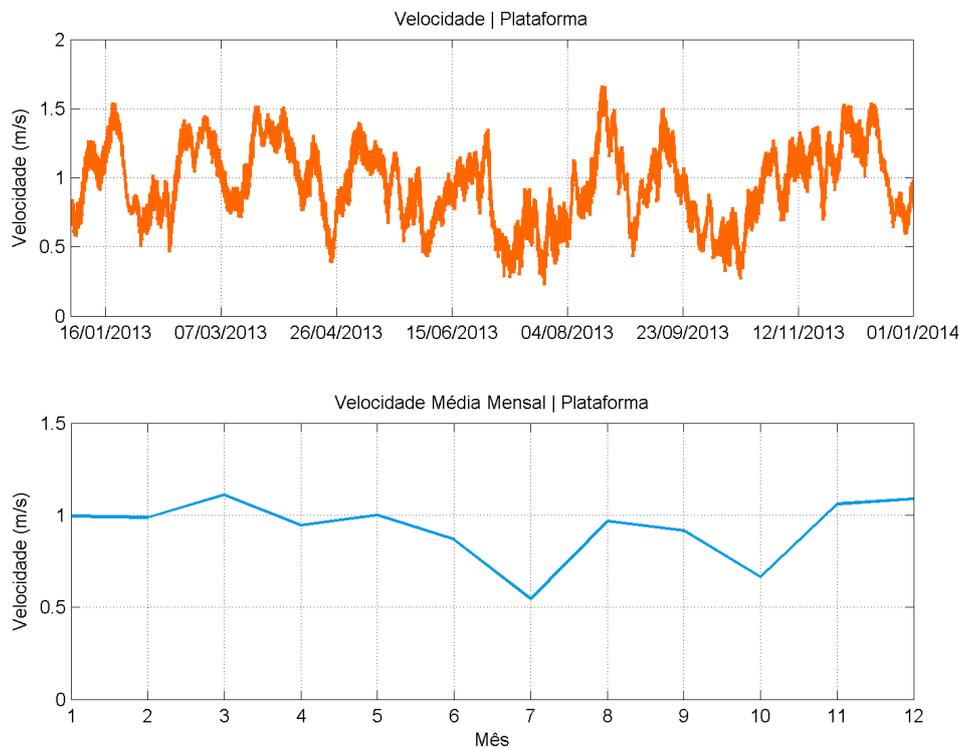


Figura II.6.1.1.2.2.C-17 - Intensidade de corrente superficial na região da plataforma continental. Resultados extraídos do ROMS.

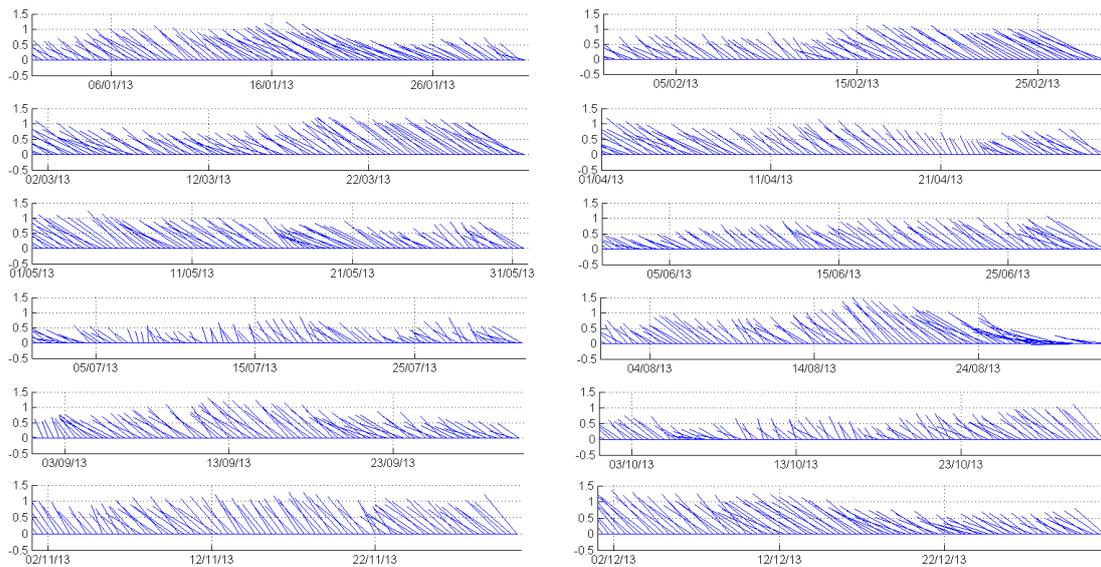


Figura II.6.1.1.2.2.C-18 - Stickplots de corrente no ponto de grade localizado na região da plataforma continental, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita).

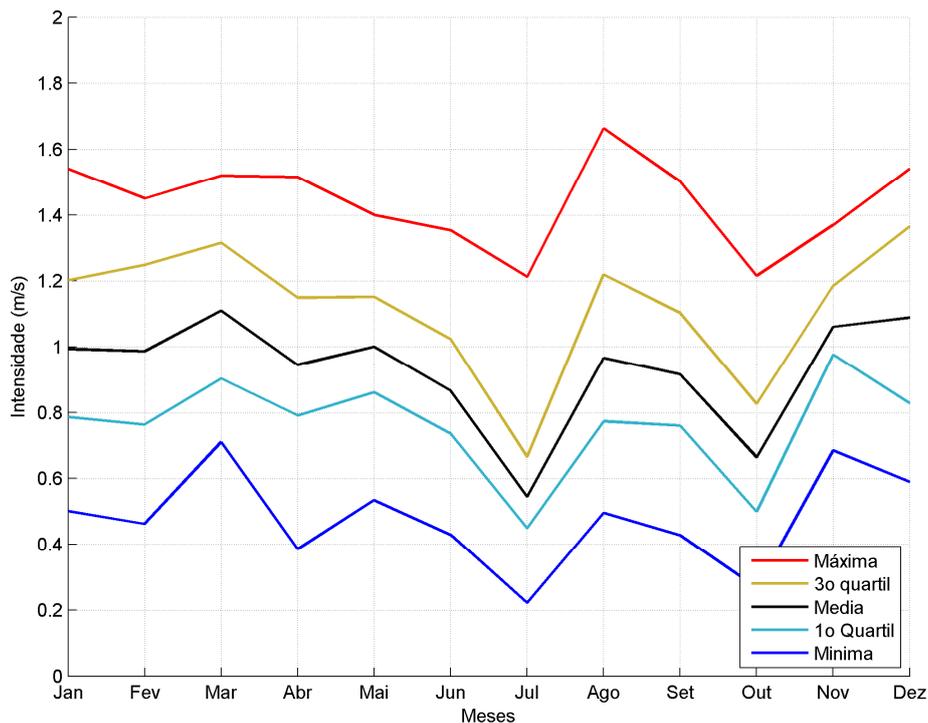


Figura II.6.1.1.2.2.C-19 - Média, Mínima, Máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região da plataforma continental. Resultados extraídos do ROMS.

Os gráficos demonstram um fluxo dominante para NW, ao longo de todo o ano, com oscilações de baixa frequência, da ordem de dias a meses, demonstrando uma influência da CNB nesta porção da plataforma continental. Nessa região também há uma modulação associada à maré, com variações de velocidade da ordem de 0,2 m/s. As velocidades máximas de corrente na plataforma foram de aproximadamente 1,5 m/s.

Na **Tabela II.6.1.1.2.2.C-1**, é apresentada a ocorrência conjunta de intensidade e direção, para a região da plataforma continental.

Tabela II.6.1.1.2.2.C-1 - Ocorrência conjunta de intensidade e direção de corrente na região da plataforma continental.

Direção ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0,5	0,75	23	0	0	0	0	0	3	315	341	15,97
0,75	1	13	0	0	0	0	0	0	694	707	33,11
1	1,25	0	0	0	0	0	0	0	697	697	32,65
1,25	1,5	0	0	0	0	0	0	0	378	378	17,70
1,5	1,75	0	0	0	0	0	0	0	12	12	0,56
> 1,75		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		36	0	0	0	0	0	3	2096	2135	0
Freq (%)		1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	98,17	0	

Resultados extraídos do ROMS.

A seguir, na Figura II.6.1.1.2.2.C-20 e na Figura II.6.1.1.2.2.C-21 são apresentados perfis verticais médios de corrente para o ponto da plataforma continental, no período chuvoso e seco.

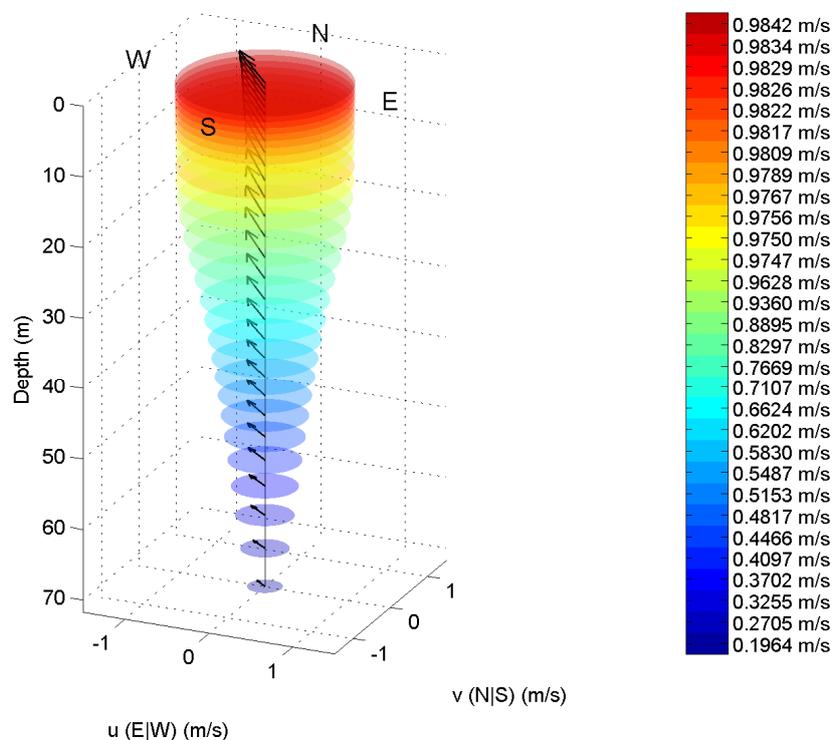


Figura II.6.1.1.2.2.C-20 - Perfil médio de correntes para o período chuvoso (janeiro a junho), na região da plataforma continental. Resultados extraídos do ROMS.

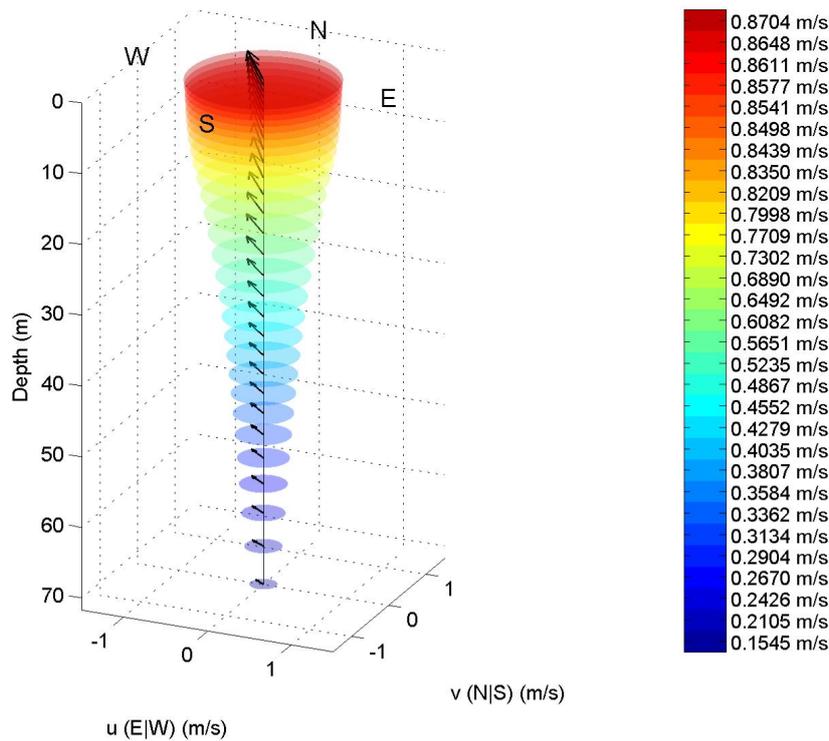


Figura II.6.1.1.2.2.C-21 - Perfil médio de correntes para o período seco (julho a dezembro), na região da plataforma continental. Resultados extraídos do ROMS.

Os perfis verticais médios para a plataforma continental demonstram um comportamento barotrópico ao longo dos 70 m de coluna d'água. Há uma diminuição gradativa das velocidades de corrente com a proximidade do fundo, e um ligeiro deslocamento para direção W, também com o aumento da profundidade.

A seguir, da **Figura II.6.1.1.2.2.C-22** à **Figura II.6.1.1.2.2.C-33** e na **Tabela II.6.1.1.2.2.C-2** são apresentadas as mesmas análises para a região do talude.

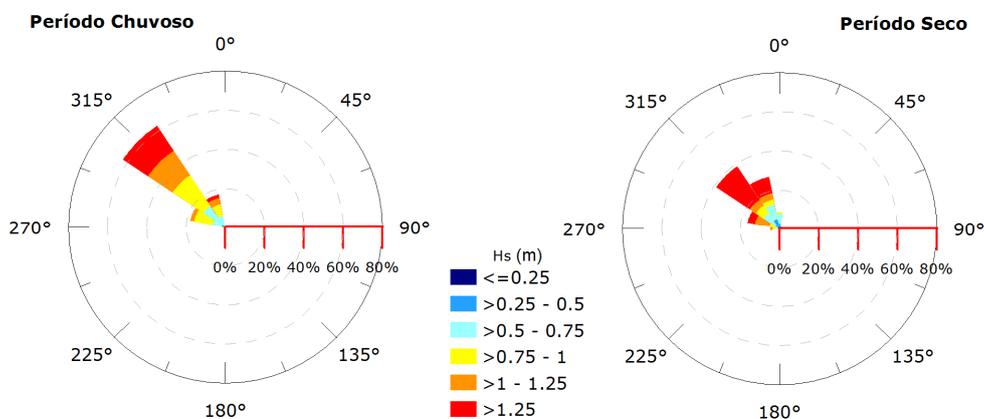


Figura II.6.1.1.2.2.C-22 - Rosas de correntes superficiais para o período chuvoso e período seco na região do talude. Resultados extraídos do ROMS.

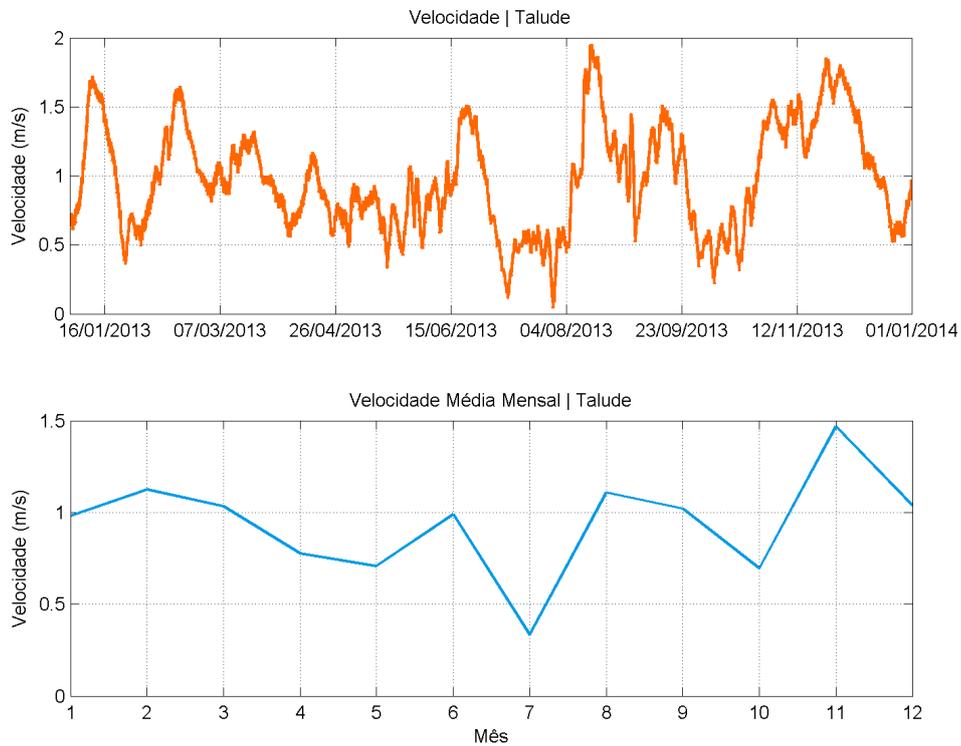


Figura II.6.1.1.2.2.C-23 - Intensidade de corrente superficial na região do talude. Resultados extraídos do ROMS.

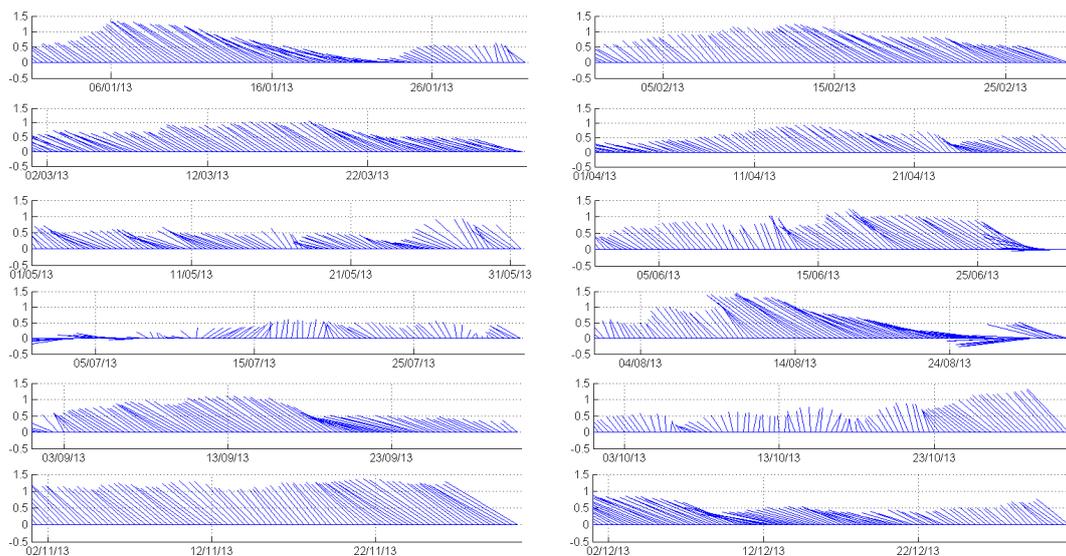


Figura II.6.1.1.2.2.C-24 - Stickplots de corrente no ponto de grade localizado na região do talude, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita).

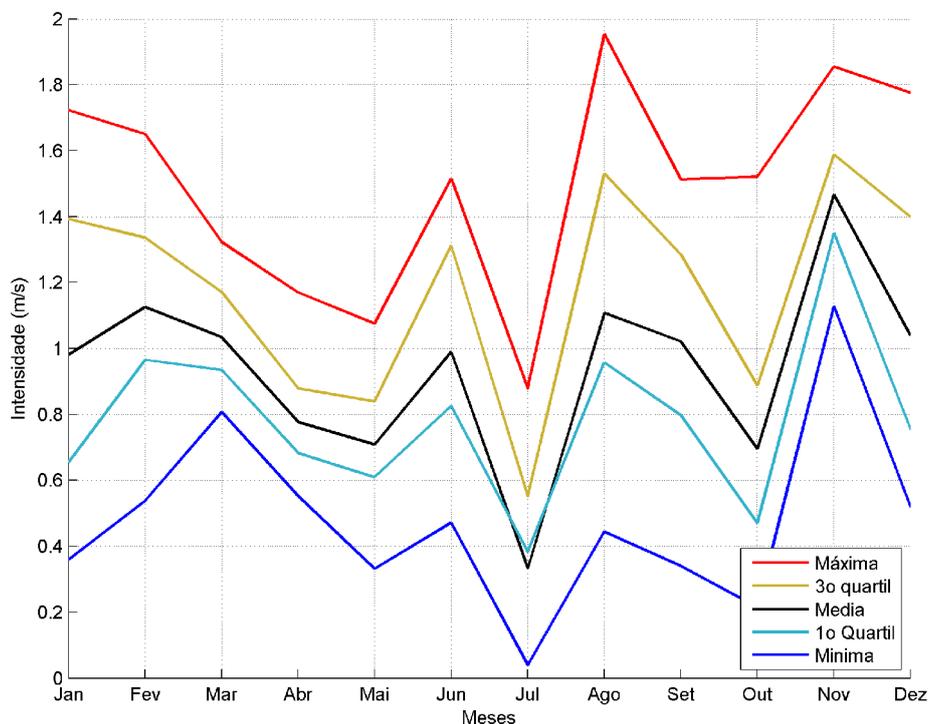


Figura II.6.1.1.2.2.C-25 - Média, Mínima, Máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente. Resultados extraídos do ROMS.

Tabela II.6.1.1.2.2.C-2 - Ocorrência conjunta de intensidade e direção de corrente na área do talude.

Direção ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0,5	0,75	169	10	0	0	0	0	91	691	961	24,57
0,75	1	64	0	0	0	0	0	65	921	1050	26,84
1	1,25	21	0	0	0	0	0	123	659	803	20,53
1,25	1,5	0	0	0	0	0	0	30	613	643	16,44
1,5	1,75	0	0	0	0	0	0	0	374	374	9,56
> 1,75		0	0	0	0	0	0	0	81	81	2,07
Total		254	10	0	0	0	0	309	3339	3912	
Freq (%)		6,49	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	7,90	85,35		

Os perfis verticais médios de correntes para a região do talude são apresentados na Figura II.6.1.1.2.2.C-26 e Figura II.6.1.1.2.2.C-27.

Na região do talude predomina o fluxo da CNB para NW, com intensidades de até ~2 m/s. No período seco (julho a dezembro) há um maior percentual de correntes para NNW, devido à presença mais marcante da retroflexão da CNB neste período.

Os perfis verticais de corrente evidenciam o núcleo da CNB bem concentrado nos primeiros 100 – 200 m da coluna d'água. Abaixo dessa profundidade, as correntes médias tem uma brusca queda de velocidade, passando de aproximadamente 0,8 m/s para 0,2 m/s.

Entre 800 e 1200 m é verificada uma região de correntes praticamente nulas e abaixo deste nível, o fluxo inverte para SE, atingindo velocidades máximas de 0,3 m/s em 1600 m.

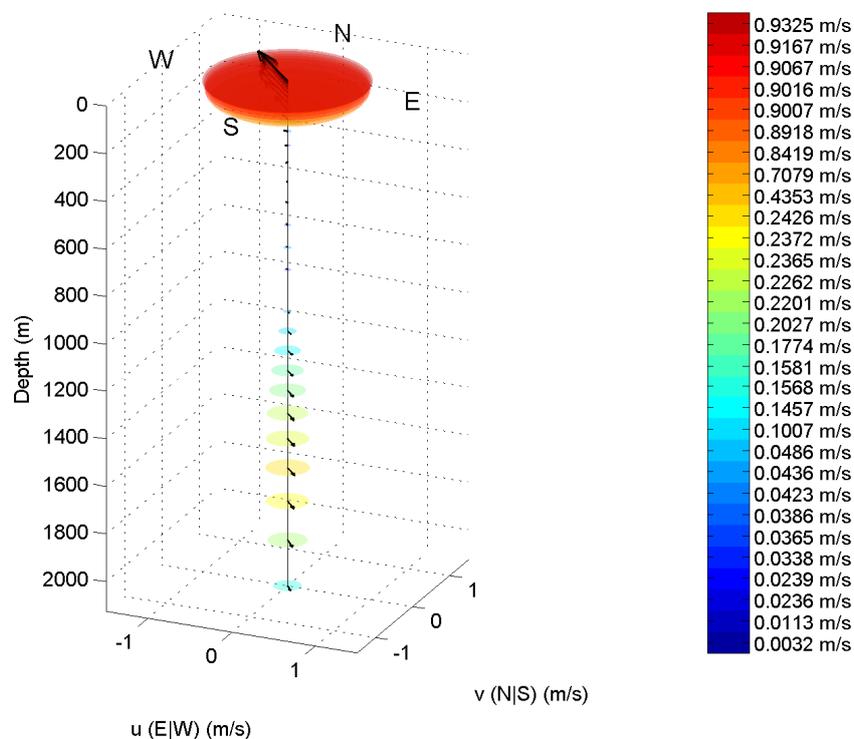


Figura II.6.1.1.2.2.C-26 - Perfil médio de correntes para o período seco na região do talude. Resultados extraídos do ROMS.

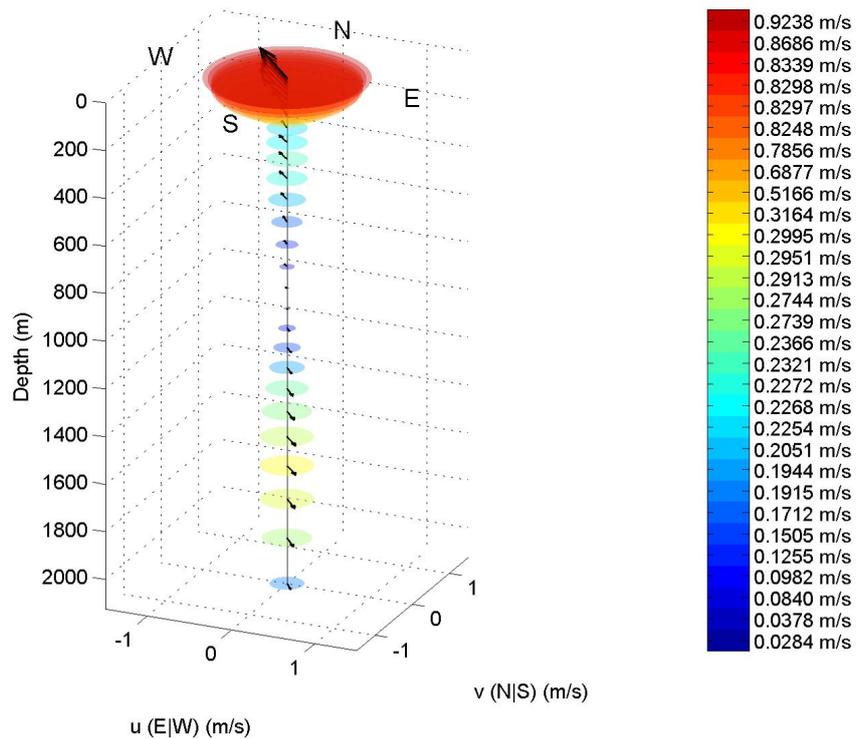


Figura II.6.1.1.2.2.C-27 - : Perfil médio de correntes para o período seco na região do talude. Resultados extraídos do ROMS.

A seguir, da **Figura II.6.1.1.2.2.C-28** á **Figura II.6.1.1.2.2.C-33** e na Tabela II.6.1.1.2.2.C-3 são apresentadas as análises para a região da bacia oceânica adjacente.

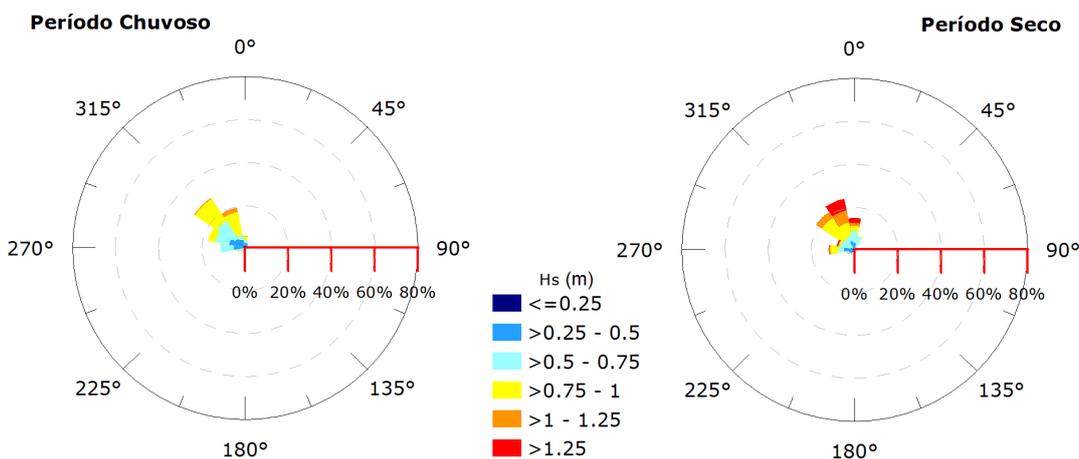


Figura II.6.1.1.2.2.C-28 - Rosas de correntes superficiais para o período chuvoso e período seco na região da bacia oceânica. Resultados extraídos do ROMS.

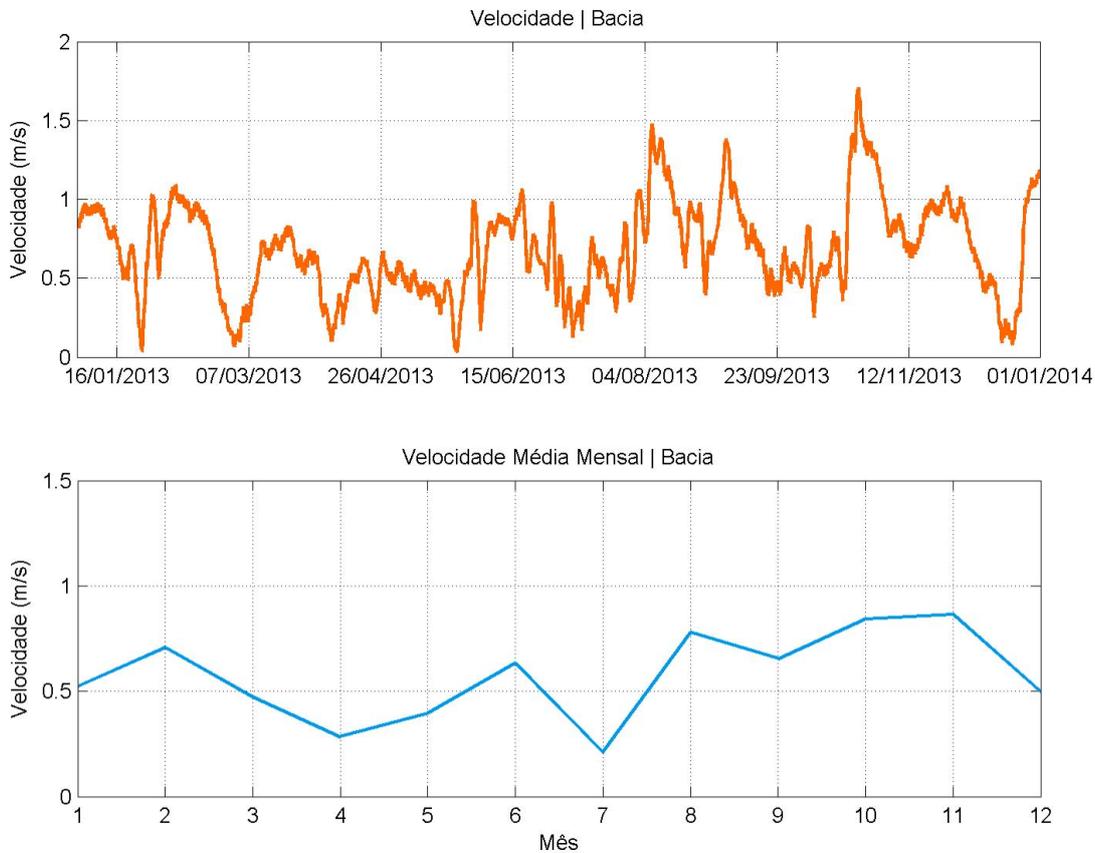


Figura II.6.1.1.2.2.C-29 - Intensidade de corrente superficial na região da bacia oceânica. Resultados extraídos do ROMS.

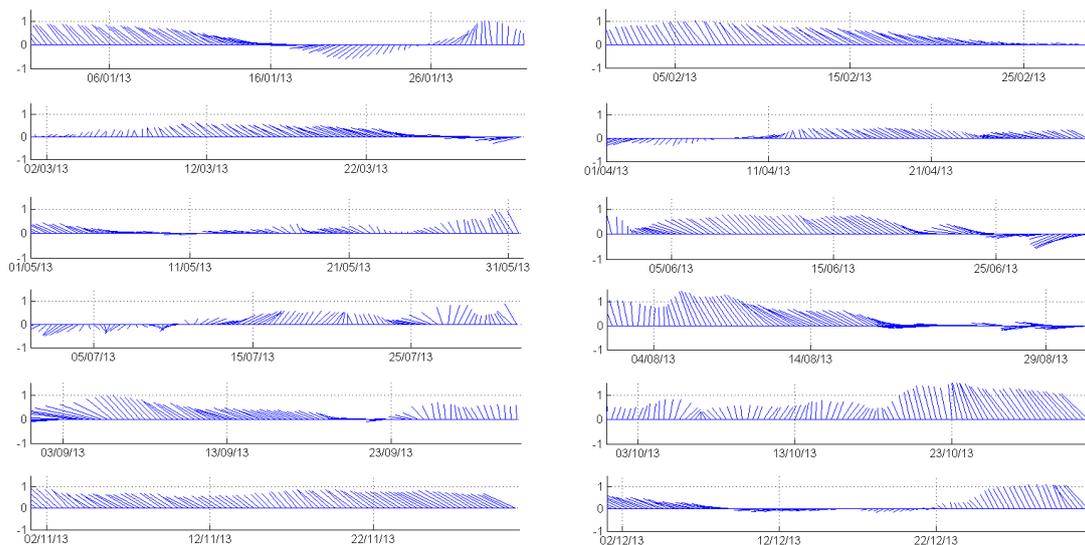


Figura II.6.1.1.2.2.C-30 - Stickplots de corrente no ponto de grade localizado na região da bacia oceânica, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita).

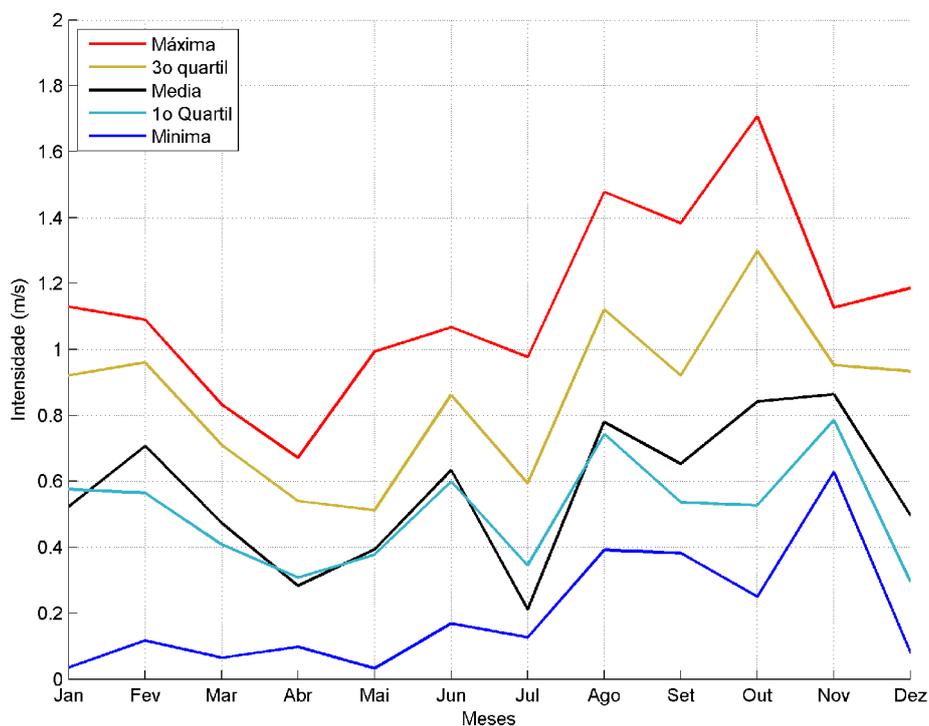


Figura II.6.1.1.2.2.C-31 - Média, Mínima, Máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente. Resultados extraídos do ROMS.

Tabela II.6.1.1.2.2.C-3 - Ocorrência conjunta de intensidade e direção de corrente na área da bacia oceânica.

Direção ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0,5	0,75	56	8	0	0	0	76	205	349	694	50,62
0,75	1	88	0	0	0	0	18	12	496	614	44,78
1	1,25	39	0	0	0	0	0	0	24	63	4,60
1,25	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1,5	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
> 1,75		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Total		183	8	0	0	0	94	217	869	1371	
Freq (%)		13,35	0,58	0,00	0,00	0,00	6,86	15,83	63,38		

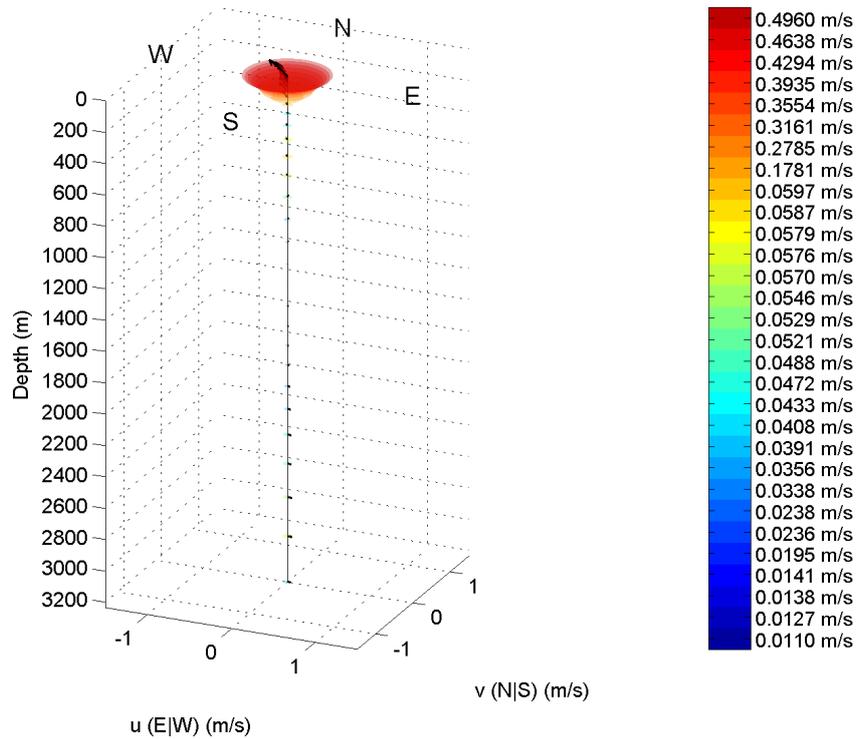


Figura II.6.1.1.2.2.C-32 - Perfil médio de correntes para o período de verão na região da bacia oceânica. Resultados extraídos do ROMS.

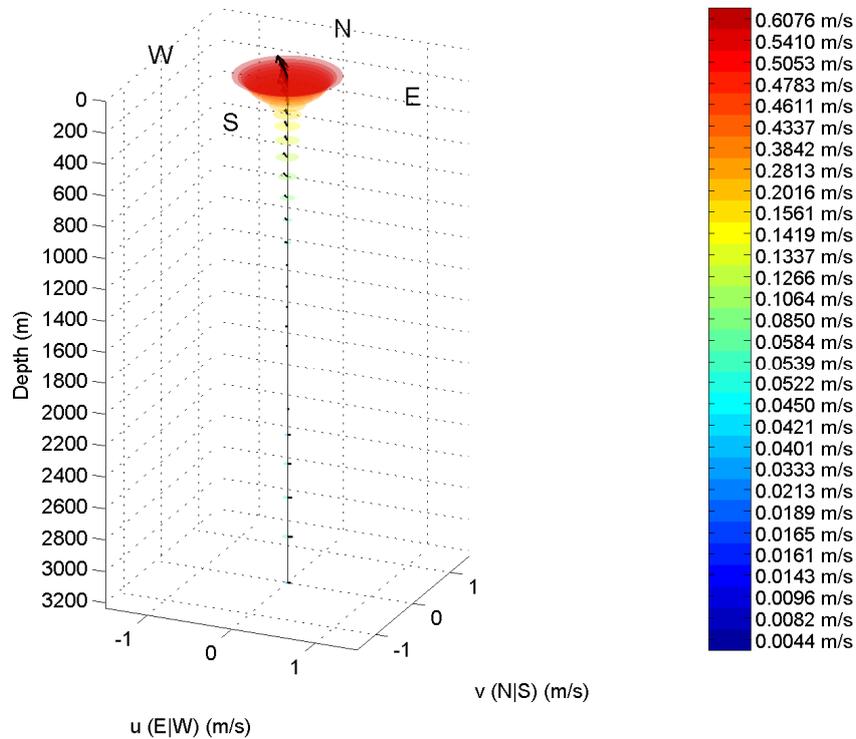


Figura II.6.1.1.2.2.C-33 - Perfil médio de correntes para o período de inverno na região da bacia oceânica. Resultados extraídos do ROMS.

A análise dos dados existentes demonstra que as correntes superficiais na região da bacia oceânica apresentam comportamento semelhante à região do talude, sendo a circulação ainda influenciada pela CNB, porém com menores intensidades de corrente (média de 0,4 m/s no período chuvoso e 0,6 m/s no período seco). Abaixo de 800 m de profundidade, são observadas correntes pouco intensas, sem um fluxo bem definido.

II.6.1.1.2.2.C.1. . Circulação de plataforma e pluma do Amazonas

Os fenômenos oceanográficos na região da Bacia da Foz do Amazonas, sobretudo nas regiões costeiras e na plataforma continental interna, onde a complexa interação entre a pluma do rio Amazonas, correntes costeiras e marés resultam em um ambiente altamente energético e bastante complexo.

A circulação sobre a plataforma continental amazônica está sujeita a forçantes de várias origens: fluxos de densidade induzidos pela descarga de água doce do Rio Amazonas, fortes correntes costeiras associadas com a Corrente Norte do Brasil, correntes de maré intensas e ventos alísios de NE/SE (dependendo da estação do ano) quase que constantes (Nikiema et al., 2006).

Na plataforma continental amazônica as correntes são dominadas por dois componentes principais, correntes de maré, barotrópicas e perpendiculares a costa e às isóbatas, e um fluxo para NW paralelo à costa, associado às interações com a CNB e com os ventos alísios. Medições indicam que as correntes de maré possuem grande variação entre os regimes de sizígia e quadratura. As velocidades máximas são observadas na plataforma continental interna, durante as marés de sizígia, atingindo até 2 m/s. Nas marés de quadratura, as máximas atingem valores próximos a 0,7 m/s (Geyer et al., 1991).

Embora a maré seja a forçante dominante nas correntes perpendiculares à plataforma, deve ser ressaltado que esta circulação é bidirecional, com correntes atuando em sentidos opostos ao longo do ciclo de maré, interferindo pouco nos fluxos residuais.

Exemplos da importância das correntes de maré, e sua variação ao longo da plataforma continental amazônica pode ser obtidos de Alessi et al. (1992), e através dos resultados do ROMS.

Alessi et al. (1992) apresentam séries temporais de correntes medidas em três fundeios (M1, M2 e M3) ao longo da plataforma continental próxima aos blocos (**Figura II.6.1.1.2.2.C-34**). Os dados foram coletados entre fevereiro e abril de 1990. O ponto M1 situa-se na plataforma continental interna, em região com coluna d'água de 18 m, o ponto M2 na plataforma média, com lâmina d'água de 65 m, e o ponto M3 localiza-se próximo a quebra da plataforma onde a profundidade local é de 103 m.

Os fundeios M1, M2 e M3 foram medidos no âmbito do projeto multidisciplinar conhecido como AmasSeds (Amazon Shelf Sediment Study). O AmasSeds consiste em um programa observacional conduzido para melhorar o entendimento da características dinâmicas e propriedades da água e das correntes na plataforma continental Amazônica.

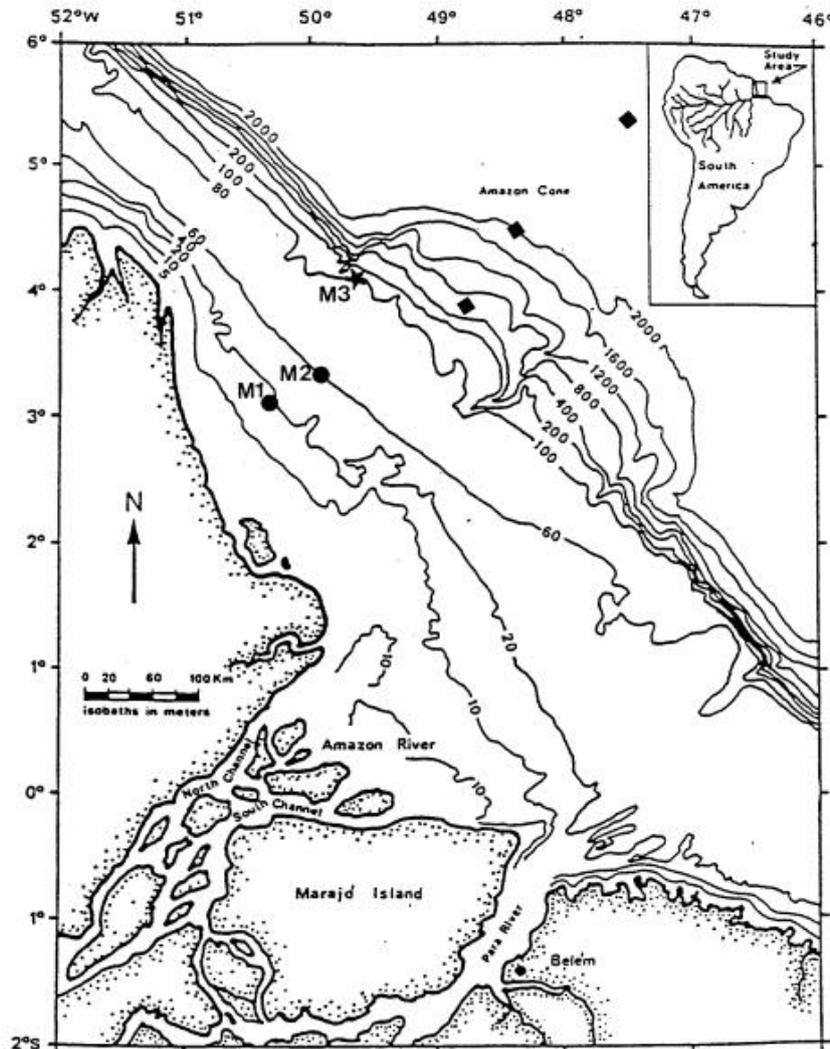


Figura II.6.1.1.2.2.C-34 - Localização dos pontos M1, M2 e M3 onde foram coletados os dados de corrente. Fonte: Alessi et al. (1992).

A seguir, da **Figura II.6.1.1.2.2.C-35** a **Figura II.6.1.1.2.2.C-40** são apresentadas as séries temporais de velocidade de corrente para os três pontos, obtidas de Alessi et al. (1992) e do ROMS. Deve ser ressaltado que o ROMS foi integrado para o ano de 2013, e que os dados apresentados em Alessi et al. (1992) foram coletados entre fevereiro e abril de 1990. **Sendo assim, ressalta-se que os dados apresentados não devem ser comparados diretamente. As avaliações devem ser feitas em função das magnitudes e amplitudes das correntes observadas.**

Para esta análise foram extraídos os dados do ROMS para o mesmo período do ano dos quais os dados foram medidos, entretanto, em anos distintos, 1990 e 2013. Nesses gráficos, valores positivos representam correntes direcionadas no sentido *offshore* (para a componente perpendicular à linha de costa), e correntes orientadas para NW, no caso das correntes paralelas a linha de costa.

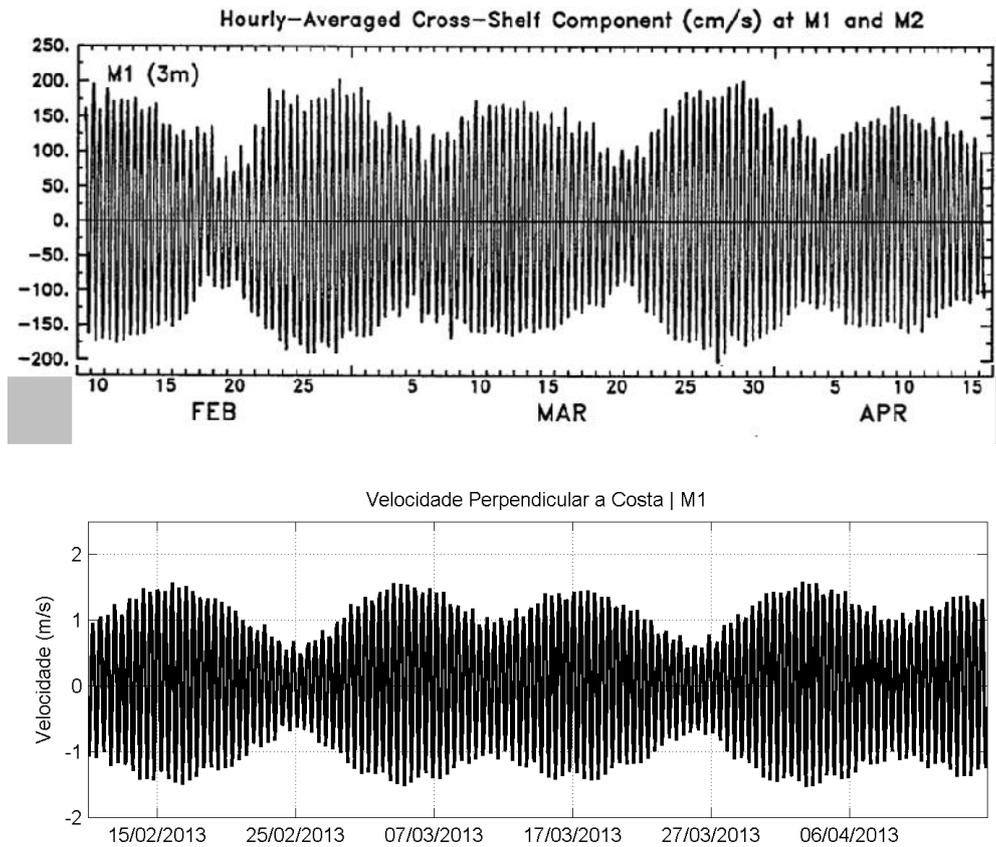


Figura II.6.1.1.2.2.C-35 - Série temporal da componente perpendicular à linha de costa obtida de Alessi et al. (1992) (painel superior) e dos resultados do ROMS (painel inferior) para o ponto M1.

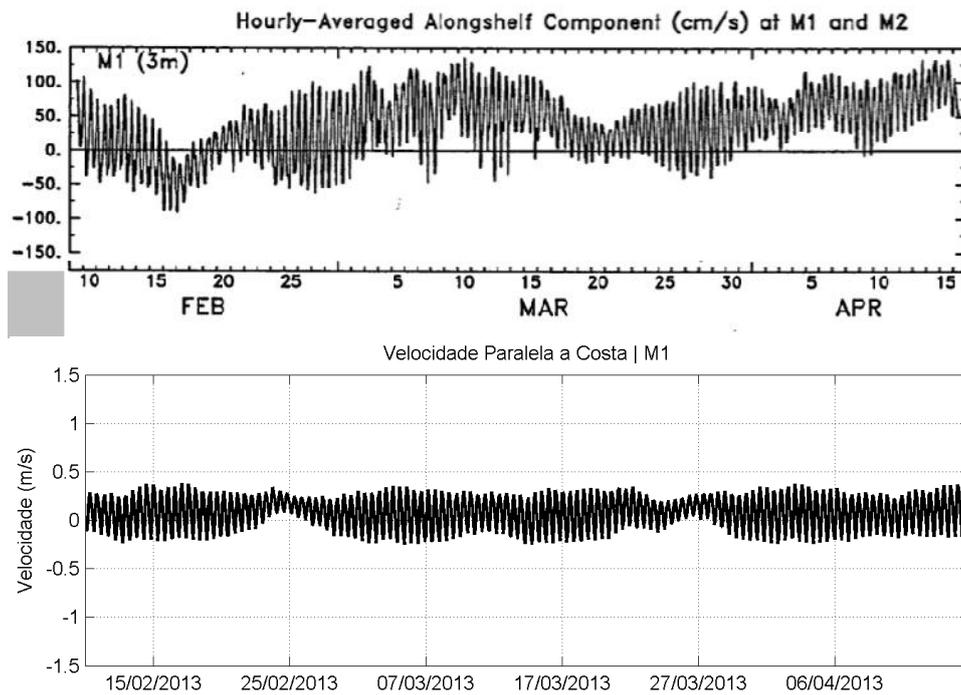


Figura II.6.1.1.2.2.C-36 - Série temporal da componente paralela à linha de costa obtida de Alessi et al. (1992) (painel superior) e dos resultados do ROMS (painel inferior) para o ponto M1.

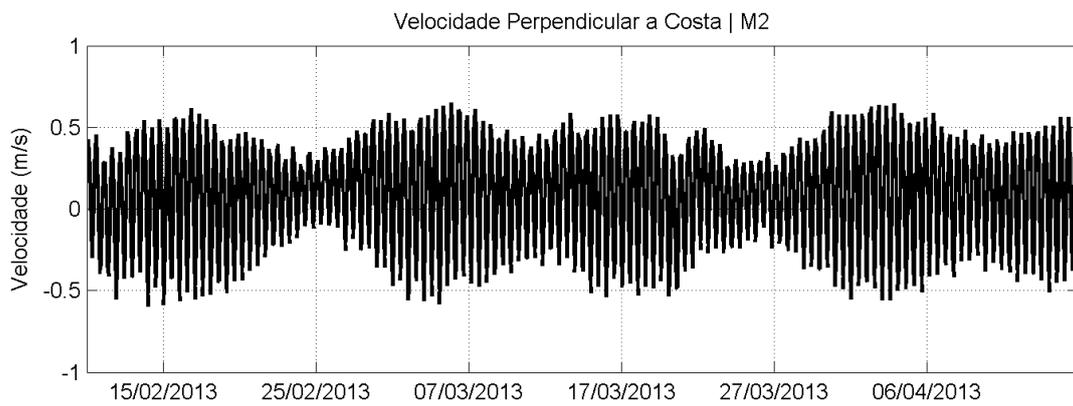
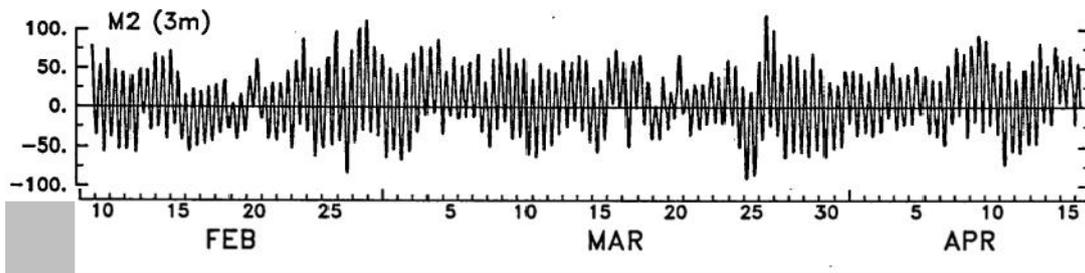


Figura II.6.1.1.2.2.C-37 - Série temporal da componente perpendicular à linha de costa obtida de Alessi et al. (1992) (painel superior) e dos resultados do ROMS (painel inferior) para o ponto M2.

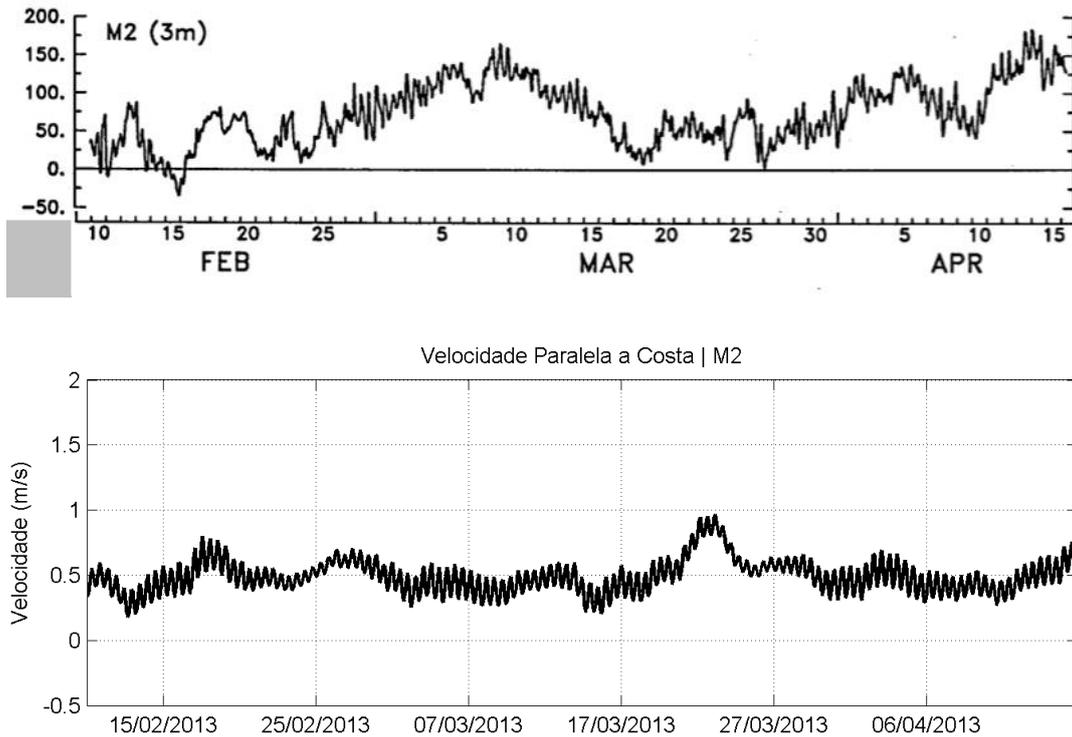


Figura II.6.1.1.2.2.C-38 - Série temporal da componente paralela à linha de costa obtida de Alessi et al. (1992) (painel superior) e dos resultados do ROMS (painel inferior) para o ponto M2.

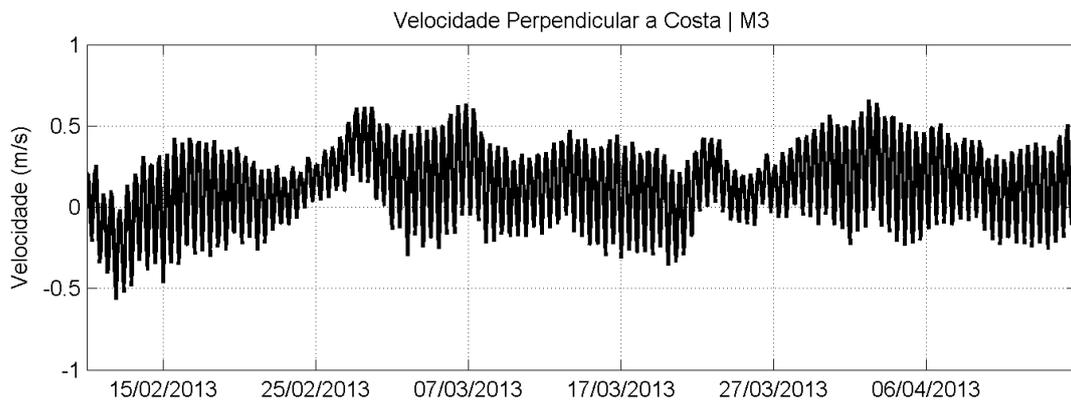
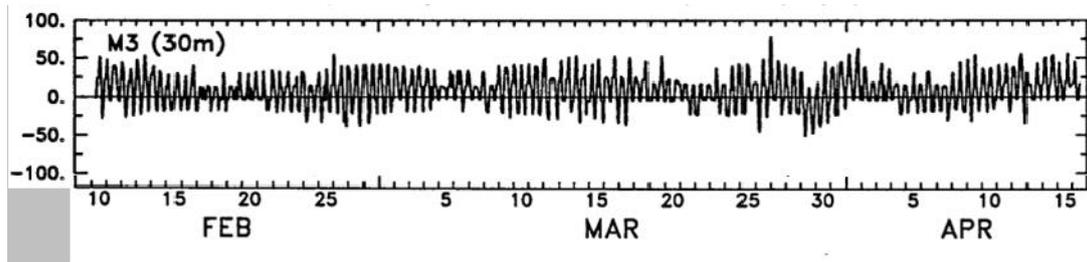


Figura II.6.1.1.2.2.C-39 - Série temporal da componente perpendicular à linha de costa obtida de Alessi et al. (1992) (painel superior) e dos resultados do ROMS (painel inferior) para o ponto M3.

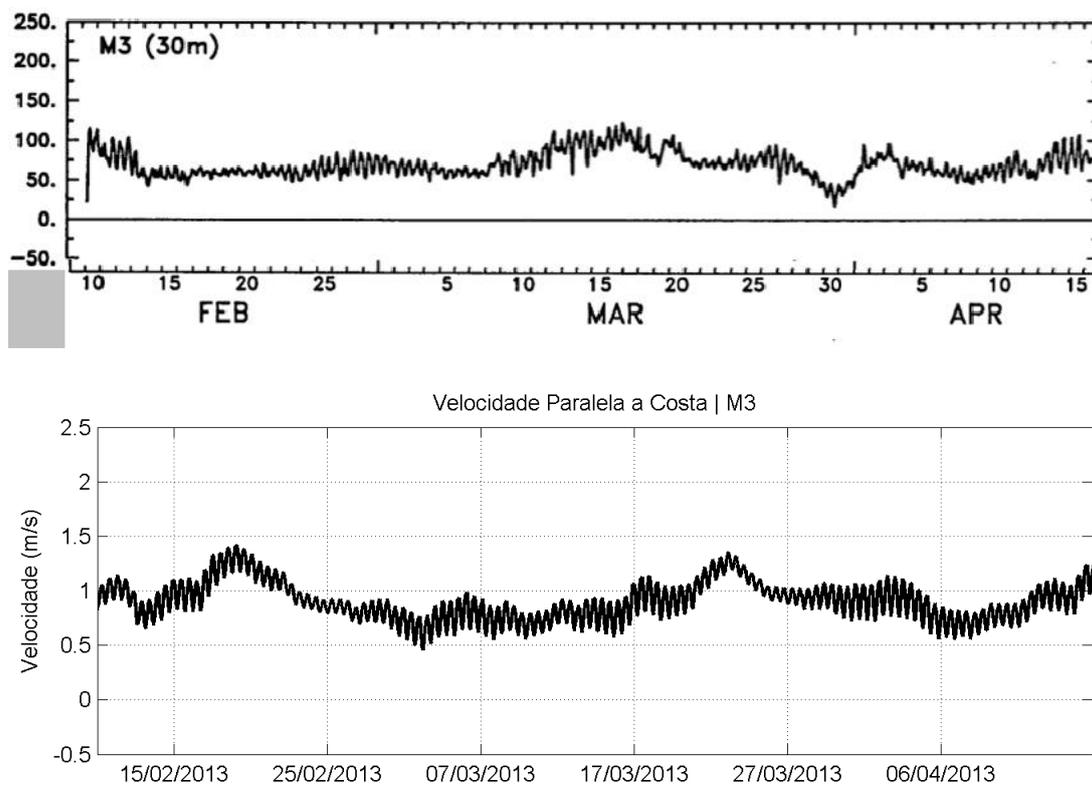


Figura II.6.1.1.2.2.C-40 - Série temporal da componente paralela à linha de costa obtida de Alessi et al. (1992) (painel superior) e dos resultados do ROMS (painel inferior) para o ponto M3.

Os dados do ROMS apresentados reforçam o padrão indicado pela literatura e identificado nos dados coletados no projeto AmasSeds. Na plataforma continental interna (ponto M1), a maré é a forçante que domina a componente perpendicular à costa, com velocidades entre 1,5 e 2 m/s em situações de sizígia. Na componente paralela à costa, embora seja observada influência da maré, esta é muito menor, com as correntes para NW sendo forçadas por outros aspectos da circulação de plataforma, como o vento e a influência da CNB.

No ponto M2, nota-se uma diminuição das amplitudes de corrente perpendiculares à costa devido à diminuição da influência da maré. As velocidades de corrente de maré na região intermediária da plataforma atingem pouco mais que 0,5 m/s.

Nas proximidades da quebra da plataforma, além da redução da importância da maré nas correntes (inclusive na componente perpendicular à costa), nota-se uma maior contribuição de oscilações de frequência mais baixa, associadas à interferência da CNB e sua atividade de mesoescala na plataforma continental.

No que tange ao Rio Amazonas, este apresenta descargas fluviais entre aproximadamente 80.000 e 250.000 m³/s de água doce na plataforma continental da Bacia da Foz do Amazonas (Oltman, 1968 apud Geyer et al.,

1991). A pluma resultante dessa descarga se estende por centenas de quilômetros em direção ao oceano e para NW ao longo da costa (Gibbs, 1970 apud Geyer et al., 1991).

A estrutura da pluma do Rio Amazonas é influenciada por uma variedade de processos físicos presentes na plataforma continental Amazônica, como a CNB (Flagg et al., 1986 apud Nikiema et al., 2006), os ventos alísios (Hellerman, 1980) e as fortes correntes de maré (Gibbs, 1982 apud Nikiema et al., 2006).

Entre 1°S e 5°N, a pluma tem uma espessura de 3 a 10 m, e uma extensão para offshore que varia entre 80 e 200 km. Nos períodos de cheia (entre março e maio), essa extensão pode atingir até 500 km devido a alta descarga do rio, combinada com a ação dos ventos (Lentz, 1995).

Já Nikiema et al. (2006) indicam que a pluma do Rio Amazonas tem sua deriva forçada, principalmente, pela circulação de plataforma, com a pluma sendo transportada para NW e mais ou menos confinada ao longo da costa, de acordo com a intensidade das correntes costeiras. Exemplos desse comportamento podem ser verificados nas médias mensais de salinidade para o período chuvoso (janeiro a junho) e seco (julho a dezembro), calculadas a partir dos resultados do MyOcean para o ano de 2013 (**Figura II.6.1.1.2.2.A-61**).

Nota-se que a pluma de baixa salinidade associada a descarga do Rio Amazonas é transportada para NW devido a circulação de plataforma. No período chuvoso a extensão da pluma é maior devido ao aumento da vazão do rio. Para avaliar a circulação residual nas proximidades da desembocadura do Amazonas são apresentados os campos médios de correntes superficiais calculados a partir dos resultados do ROMS (**Figura II.6.1.1.2.2.C-41 e Figura II.6.1.1.2.2.C-42**).

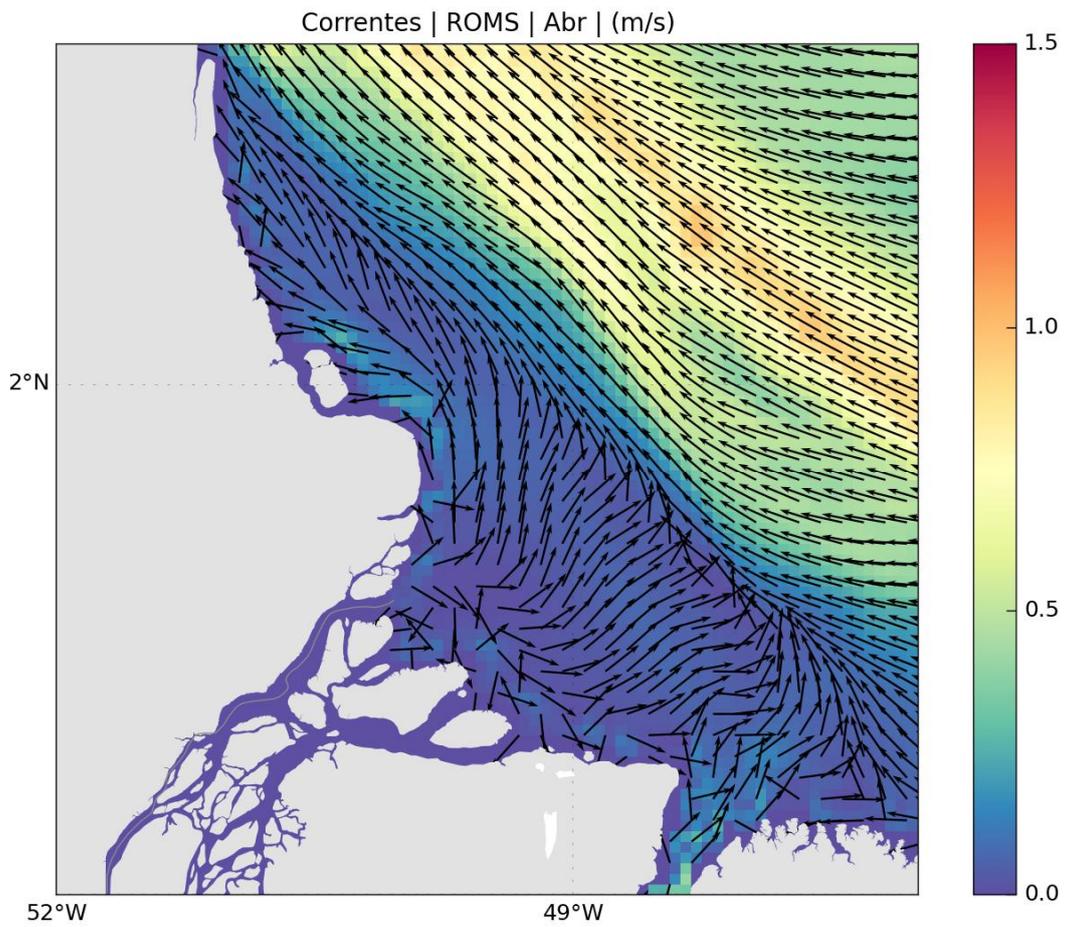


Figura II.6.1.1.2.2.C-41 - Campo médio de correntes superficiais obtidas do ROMS para o mês de abril (período chuvoso/cheia do rio).

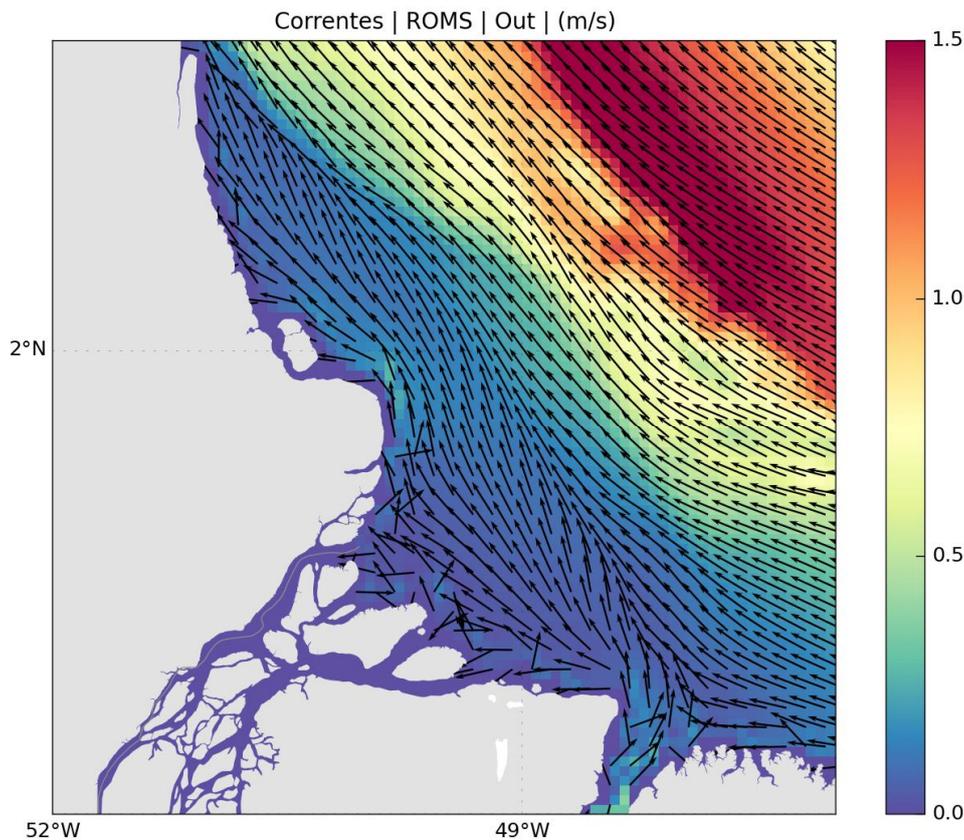


Figura II.6.1.1.2.2.C-42 - Campo médio de correntes superficiais obtidas do ROMS para o mês de outubro (período seco/seca do rio).

Nota-se, nas proximidades da Foz do Rio Amazonas, um fluxo residual de velocidades baixas em direção ao oceano no mês de abril (período chuvoso/cheia). No período seco (média para o mês de outubro), o escoamento é basicamente paralelo à linha de costa, indicando uma menor influência da pluma nos campos de circulação. Os campos médios também evidenciam que, apesar das fortes correntes de maré, estas praticamente não geram correntes residuais.

Através da análise dos resultados ROMS e do MyOcean, em conjunto com a bibliografia especializada para a região, pode-se concluir que:

Os fluxos residuais na plataforma continental amazônica são direcionados para NW, paralelamente a linha de costa. Este padrão pôde ser verificado pelos dados do ROMS, do MyOcean, e é corroborado pela literatura.

- Embora a maré apresente grande influência nas velocidades de corrente na plataforma continental interna, esta praticamente não altera a circulação residual.
- Os campos residuais são gerados, principalmente, por outras forçantes que não a de maré, como o vento e a influência da CNB e sua atividade de mesoescala na circulação de plataforma.
- A vazão do Rio Amazonas provoca alterações na circulação nas proximidades de sua embocadura, principalmente no período chuvoso (entre janeiro e junho).

- Alterações nas amplitudes das componentes harmônicas de maré devido à vazão do Rio Amazonas são significativas, apenas, em regiões internas e estuarinas, não alterando a propagação da maré ao longo da plataforma continental.

II.6.1.1.2.2.D. Ondas

Existem duas principais zonas de geração de ondas no Atlântico Sul, associadas a dois centros de circulação de ventos: (i) o cinturão extra tropical de tempestades de médias e altas latitudes; e (ii) o cinturão dos ventos alísios. Este último, localizado entre 10°N e 10°S, é caracterizado por uma alta frequência de ventos com velocidade mínima de 5 m/s, que é a mínima necessária para gerar ondas capazes de produzir alguma mudança geomórfica significativa ao longo da linha de costa (Davies, 1972).

Devido a sua localização geográfica, a região da Bacia da Foz do Amazonas encontra-se no cinturão dos ventos alísios, sendo influenciada por ondas de longas pistas do quadrante Norte e Leste.

Ondas originadas por ventos de tempestade de inverno no Atlântico Norte, que ocorrem principalmente entre os meses de dezembro e março, também podem atingir a área dos blocos, na forma de *swell*. Segundo Inocentinni *et al.* (2001), na região Norte do Brasil, de Natal, no Rio Grande do Norte até o Amapá, as ondas incidentes são formadas pelos alísios, e apresentam altura próxima de 1-1,5 m em mar aberto. Eventualmente, chegam ondas com período de 15-20 s provenientes das tempestades formadas no extremo norte do Atlântico (Inocentinni *et al.*, 2001).

Coincidentemente, durante o inverno do Hemisfério Norte, a Zona de Convergência Intertropical cruza a área em direção ao sul, expondo a região às ondas geradas pelos alísios de Nordeste.

A caracterização dos estados de mar pode ser feita em função de três parâmetros: altura significativa (H_s), direção principal (D_p) e período de pico (T_p). A altura significativa é uma medida estatística, representada pela média da terça parte das ondas com maiores alturas, observadas ao longo de um determinado tempo. Corresponde, aproximadamente, à altura relatada por um observador experiente, no caso de um marulho. A direção principal (D_p) é a direção média das ondas significativas. Já o período de pico é o período no qual a maior quantidade de energia da ondulação está concentrada.

Como não existem dados de onda disponíveis na região de interesse, serão utilizados os resultados do modelo de ondas do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*), do projeto ERA-Interim, com resultados a cada 6 horas e abrangência de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.

O ponto de grade utilizado tem coordenadas 5,25° N / 50,25° W, cuja localização pode ser observada na **Figura II.6.1.1.2.2.D-1**.

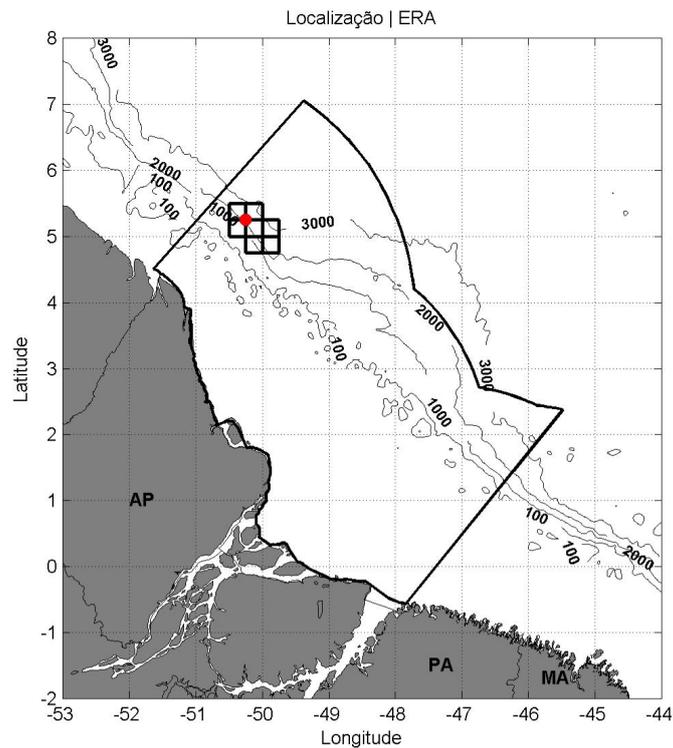


Figura II.6.1.1.2.2.D-1 - Localização do ponto de grade do ERA-Interim utilizado nas análises pontuais (ponto vermelho).

A seguir, na **Figura II.6.1.1.2.2.D-3** e na **Figura II.6.1.1.2.2.D-4** apresenta-se a série temporal completa e média mensais, de direção média e altura significativa, respectivamente, das ondas no ponto mais próximo dos blocos de interesse, oriundo do projeto ERA-Interim (ECMWF).

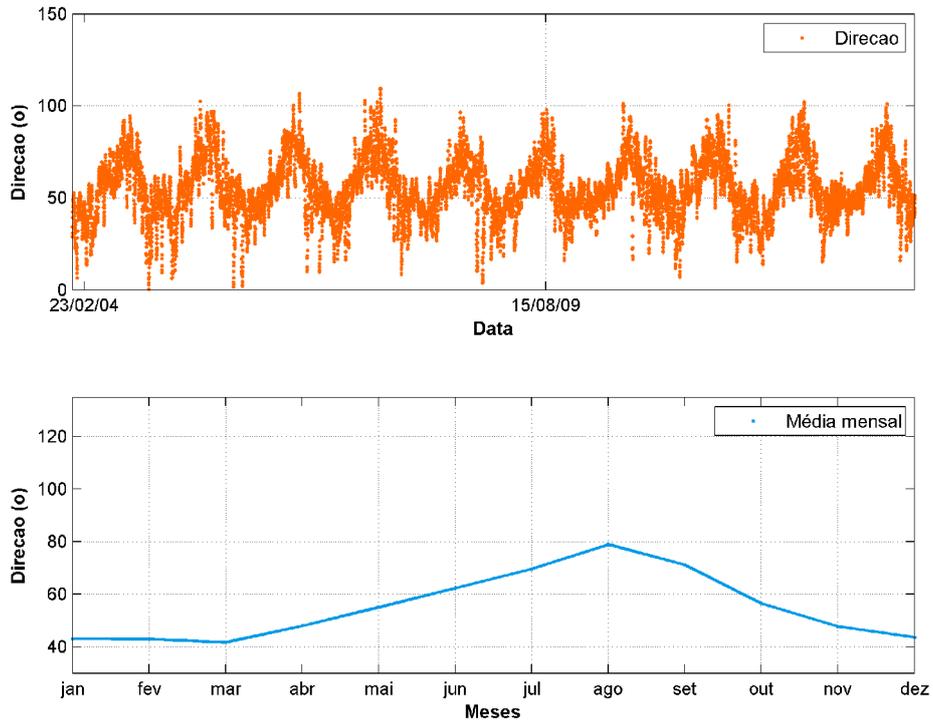


Figura II.6.1.1.2.2.D-2 - Série temporal de direção média para todo o período (acima) e médias mensais (abaixo) para o ponto mais próximo aos blocos de interesse. Fonte: ECMWF.

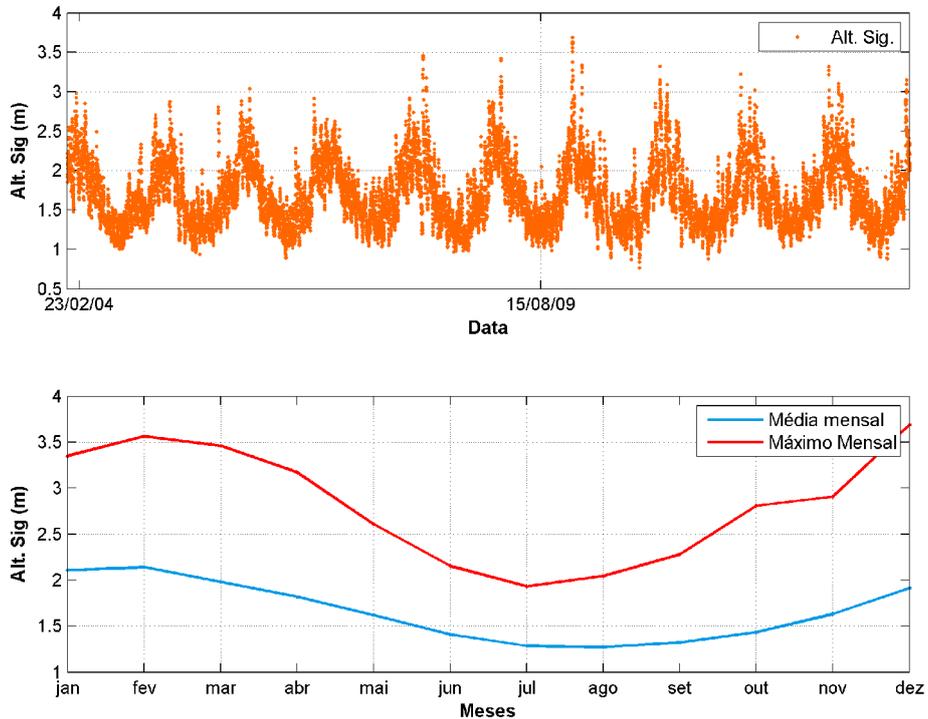


Figura II.6.1.1.2.2.D-3 - Série temporal de altura significativa média para todo o período (acima) e médias mensais (abaixo) para o ponto mais próximo aos blocos de interesse. Fonte: ECMWF.

Verifica-se um padrão sazonal bem definido, com ondas maiores, de nordeste, nos meses de novembro a abril e ondas menores, de leste/nordeste, nos meses de maio a outubro.

Na **Tabela II.6.1.1.2.2.D-1** apresenta-se a estatística básica da altura significativa e direção associada e mês de ocorrência dos máximos e mínimos.

Tabela II.6.1.1.2.2.D-1 - Valores máximos e mínimos de altura significativa, com sua direção e mês de ocorrência associados.

Hs Maxima	Direção e mês associados	Hs Mínima	Direção e mês associados
3,69	48º/Dezembro	0,77	52º/Outubro

Apresenta-se a seguir histogramas direcionais das ondas no ponto de análise, para os períodos seco e chuvoso.

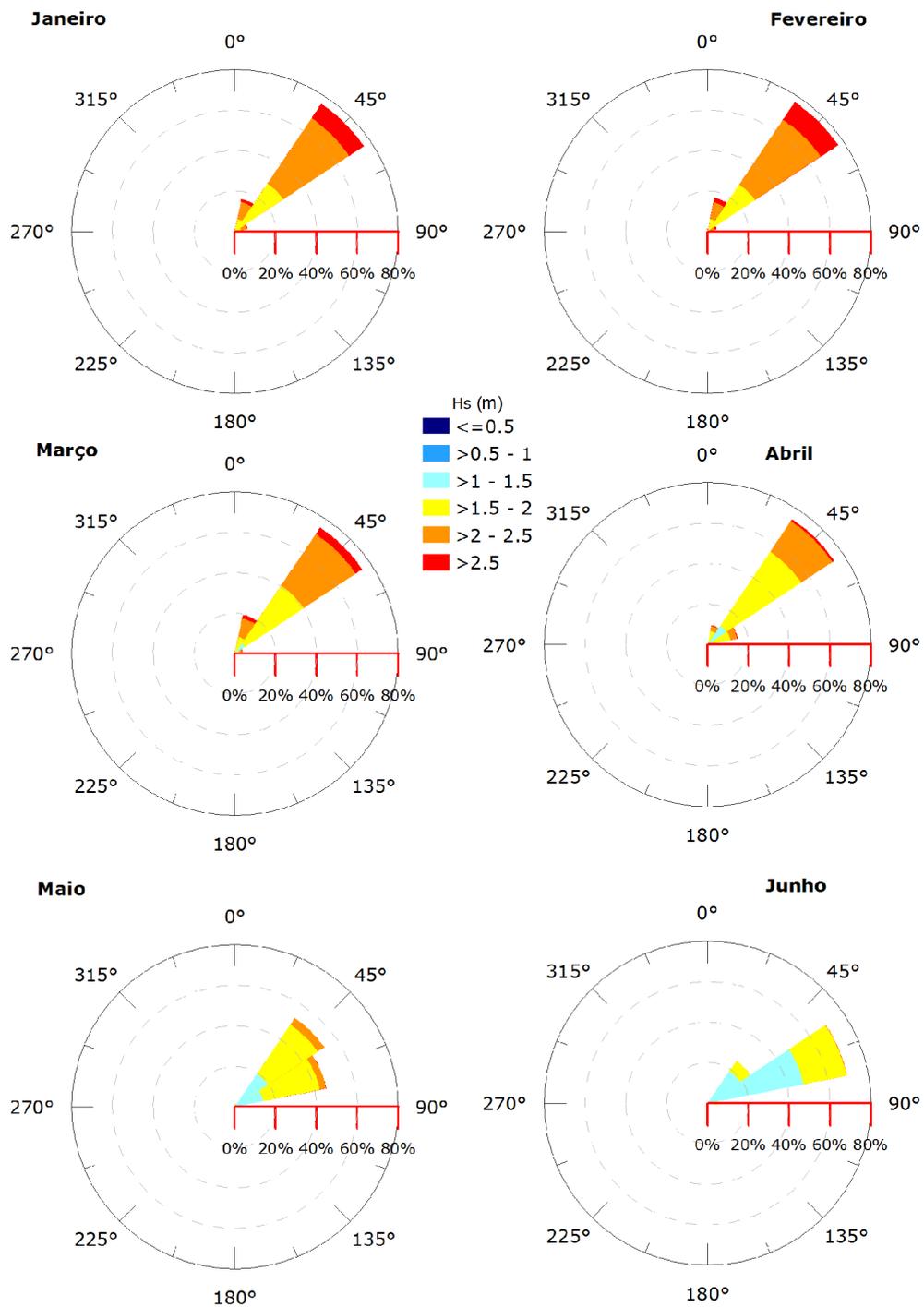


Figura II.6.1.1.2.2.D-4 - Histogramas direcionais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise, para os meses de janeiro a junho (período chuvoso).

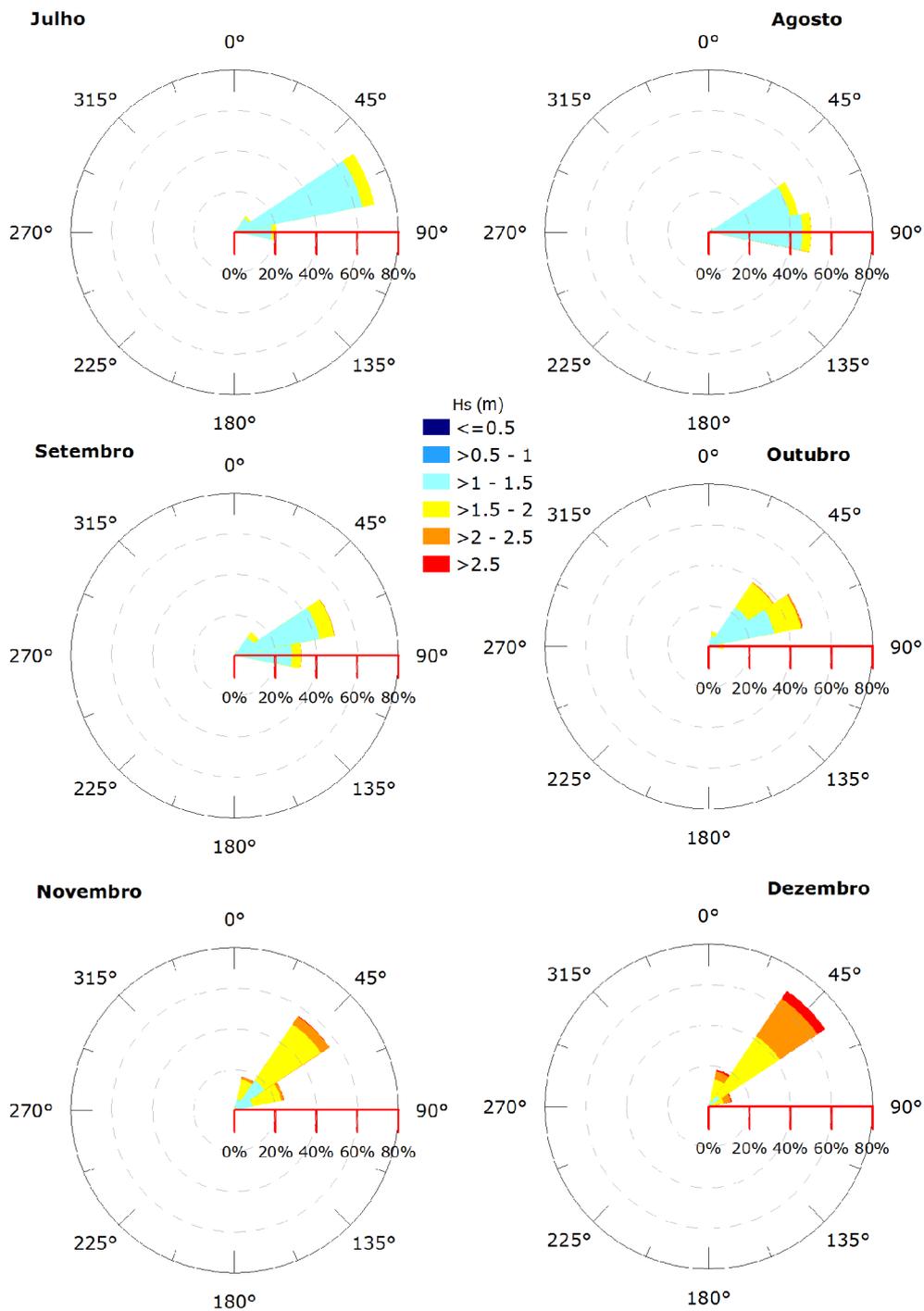


Figura II.6.1.1.2.2.D-5 - Histogramas direcionais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise para os meses de julho a dezembro (período seco).

A seguir, apresenta-se o histograma direcional sazonal da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise. Para a separação sazonal foi utilizada a mesma divisão descrita no item II.6.1.1.2.3.

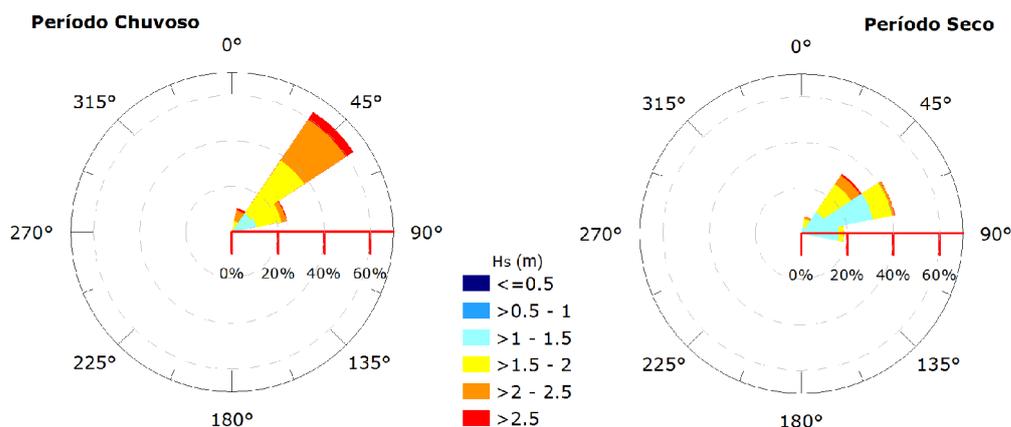


Figura II.6.1.1.2.2.D-6 - Histogramas direcionais sazonais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise. Fonte ECMWF.

Conforme esperado, nota-se que durante o período chuvoso (janeiro a junho), as ondas incidem de nordeste, com altura predominante de 1,5 a 2,5 m/s. Já no período seco (julho a dezembro), a predominância é de ondas de nordeste e leste, com alturas menores e apresentando incidência de ondas de 1 a 2 m de altura significativa.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.D-7** apresenta-se um gráfico de dispersão da altura significativa pela direção média, para cada período (seco e chuvoso).

Pode-se notar que as ondas mais energéticas estão concentradas nas direções abaixo de 50°, ou seja, de nordeste e norte, típicas de tempestades de inverno no hemisfério norte.

As distribuições de período de pico por direção (**Figura II.6.1.1.2.2.D-8**) para os períodos chuvoso e seco indicam que, no período chuvoso, o *swell*, associado aos maiores períodos de onda é proveniente de NE. Entretanto no período seco, o *swell* mais energético vem de direções mais próximas de N.

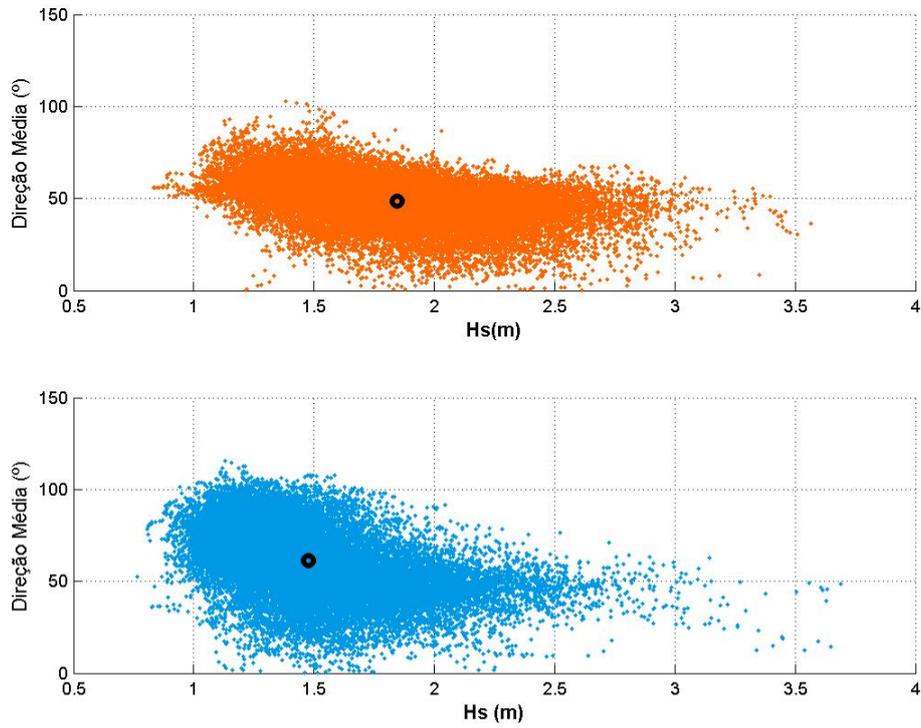


Figura II.6.1.1.2.2.D-7 - Gráfico de dispersão de altura significativa e direção para os dois períodos, chuvoso (acima) e seco (abaixo). A média de cada estação é representada pelo ponto preto. Fonte: ECMWF.

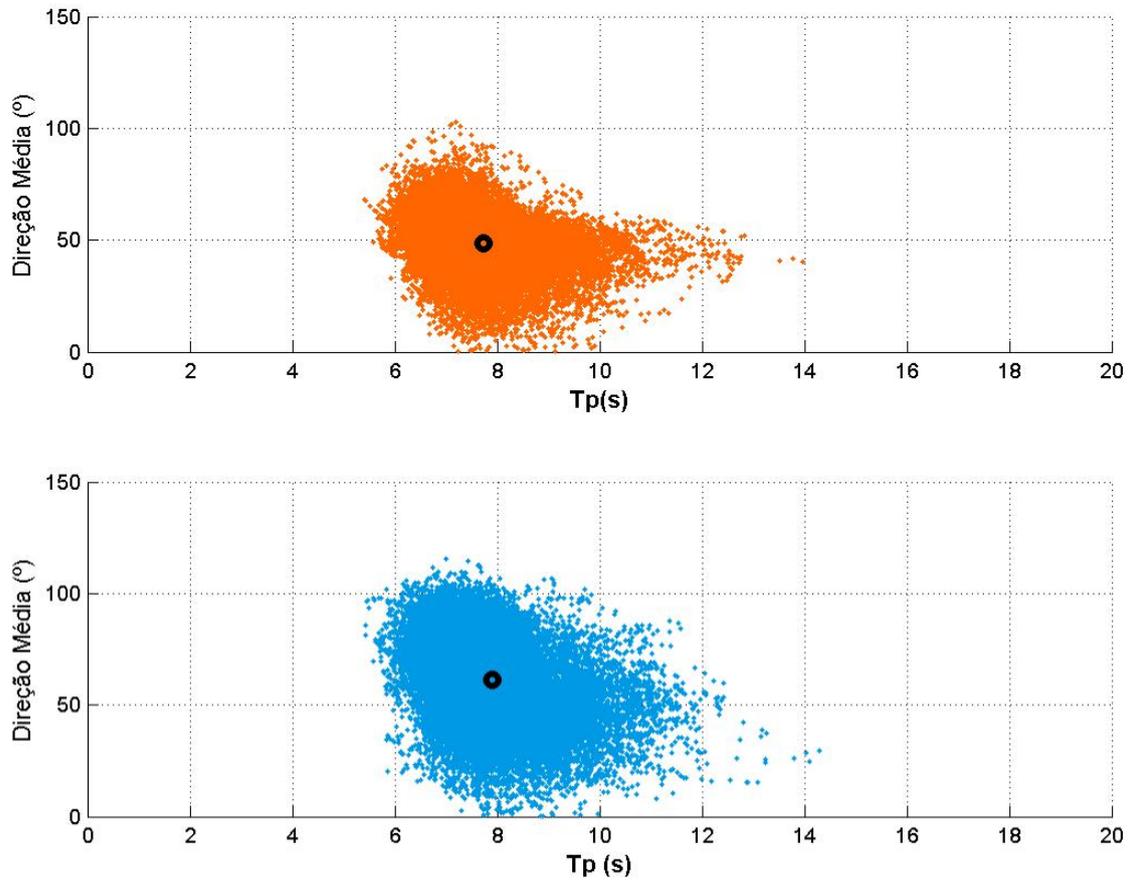


Figura II.6.1.1.2.2.D-8 - Gráfico de dispersão de período de pico e direção para as duas estações, chuvosa (acima) e seca (abaixo). A média de cada estação é representada pelo ponto preto. Fonte: ECMWF.

Na **Tabela II.6.1.1.2.2.D-2** são apresentados os percentis 5, 50 e 95 da altura significativa nos dois períodos do ano (chuvoso e seco).

Tabela II.6.1.1.2.2.D-2 - Percentis 5, 50 e 95 da altura significativa nos dois períodos do ano (seco e chuvoso).

	5° Percentil	50° Percentil	95° Percentil
Chuvoso	1,25	1,82	2,52
Seco	1,08	1,40	2,12

A seguir, apresentam-se tabelas de ocorrência conjunta de altura significativa por direção (**Tabela II.6.1.1.2.2.D-3**) e de período de pico por direção (**Tabela II.6.1.1.2.2.D-4**)

Tabela II.6.1.1.2.2.D-3 - Ocorrência conjunta de direção e altura significativa para todo o período (1979 a 2014)

Altura (m)/direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total	%
0 - 0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
0,5 - 1,0	0	165	230	0	0	0	0	0	395	0,75
1,0 - 1,5	253	12299	9352	3	0	0	0	0	21907	41,65
1,5 - 2,0	630	16724	1900	0	0	0	0	0	19254	36,61
2,0 - 2,5	514	8732	78	0	0	0	0	0	9324	17,73
2,5 - 3,0	99	1474	5	0	0	0	0	0	1578	3,00
3,0 - 4,0	12	126	0	0	0	0	0	0	138	0,26
4,0 - 5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
5,0 - 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
> 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
total	1508	39520	11565	3	0	0	0	0	52596	
%	2,87	75,14	21,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		

Tabela II.6.1.1.2.2.D-4 - Ocorrência conjunta de direção e período de pico para todo o período (1979 a 2014).

Altura (m)/direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total	%
0 - 0,5	1	128	94	0	0	0	0	0	223	0,42
0,5 - 1,0	73	6044	3005	1	0	0	0	0	9123	17,35
1,0 - 1,5	593	17839	6419	2	0	0	0	0	24853	47,25
1,5 - 2,0	517	10483	1589	0	0	0	0	0	12589	23,94
2,0 - 2,5	234	3661	353	0	0	0	0	0	4248	8,08
2,5 - 3,0	64	1040	93	0	0	0	0	0	1197	2,28
3,0 - 4,0	21	247	12	0	0	0	0	0	280	0,53
4,0 - 5,0	4	66	0	0	0	0	0	0	70	0,13
5,0 - 6,0	1	9	0	0	0	0	0	0	10	0,02
> 6,0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0,01
total	1508	39520	11565	3	0	0	0	0	52596	
%	2,87	75,14	21,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		

Como pode ser observado, a direção mais frequente das ondas é de nordeste (75,14%), porém ondas de leste (21,99%), norte (2,87%) e sudeste (0,01%) também ocorrem na região. A faixa de período entre 6 e 9 segundos concentra aproximadamente 90% das ocorrências de ondas, porém, ondas de até 15 segundos podem ocorrer na região. A faixa de altura significativa de até 2m é a mais comum na região (88,95%).

Como comparação dos resultados obtidos, podemos recorrer ao estudo desenvolvido por Pianca et al. (2010). Os autores caracterizaram o clima de ondas ao longo da costa brasileira através de resultados do modelo WW3, dividindo em seis setores de acordo com as características comuns. O setor denominado W6 é considerado como representativo para a porção mais ao norte da costa brasileira (Figura II.6.1.1.2.2.D-9). Os resultados analisados por Pianca et al. (2010) correspondem a um período de 11 anos (1997 a 2007).

Pianca *et al.* (2010) indicam que no setor W6 o regime de ondas é controlado pela ZCIT e sua oscilação meridional.

Os diagramas direcionais de altura e período de ondas nas quatro estações do ano para o setor W6 são apresentados na Figura II.6.1.1.2.2.D-10.

Durante o verão e o outono (período chuvoso), predominam ondas de NE com alturas típicas entre 1 e 3 m. No inverno e na primavera as ondas dominantes são de E. Esse padrão reflete bem as características dos ventos na região e a migração da ZCIT e está de acordo com os resultados do ERA-Interim apresentados na Figura II.6.1.1.2.2.D-6.

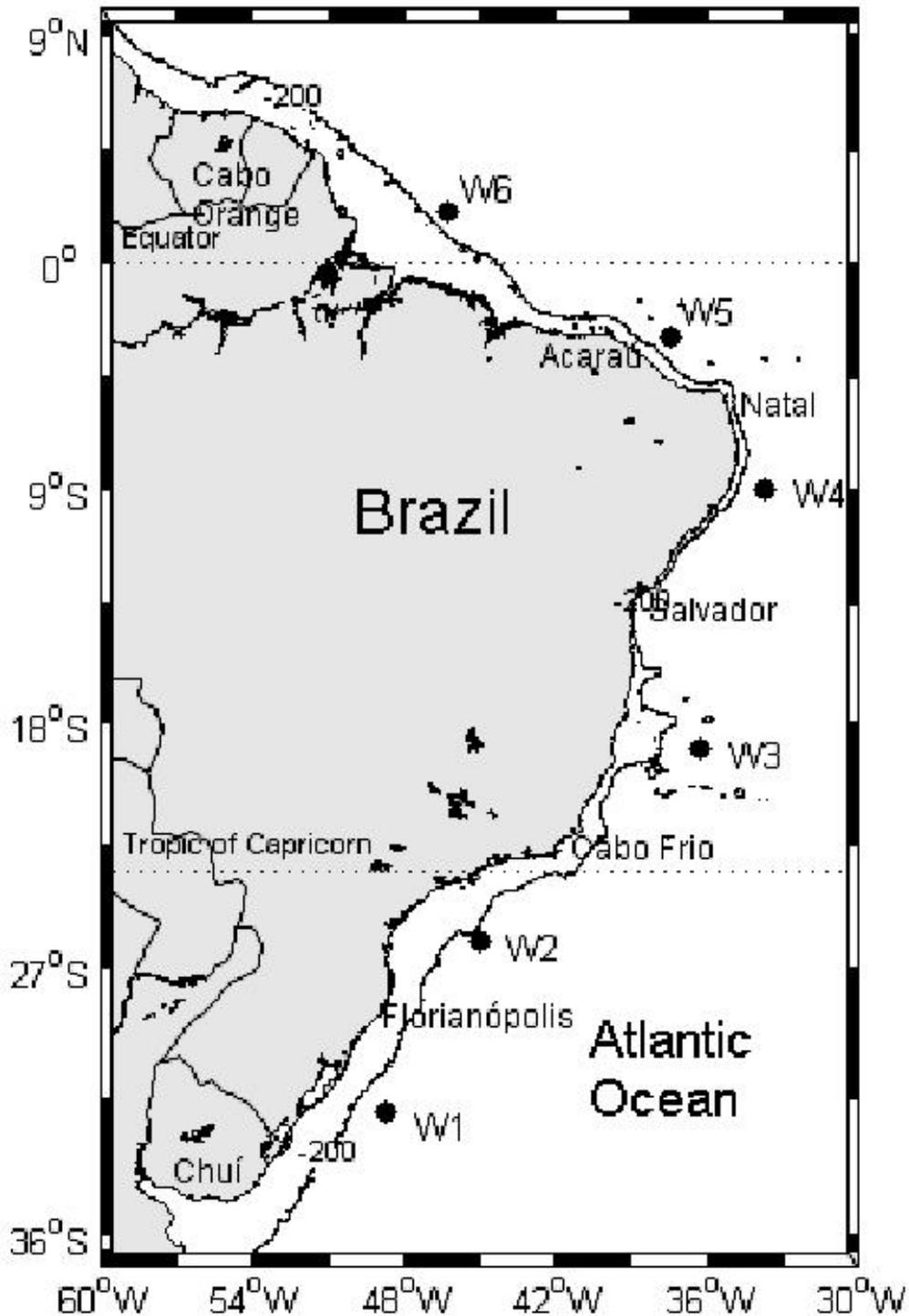


Figura II.6.1.1.2.2.D-9 - Localização dos pontos de grade utilizados para caracterizar os diferentes setores da costa brasileira. Retirado de: Pianca et al. (2010).

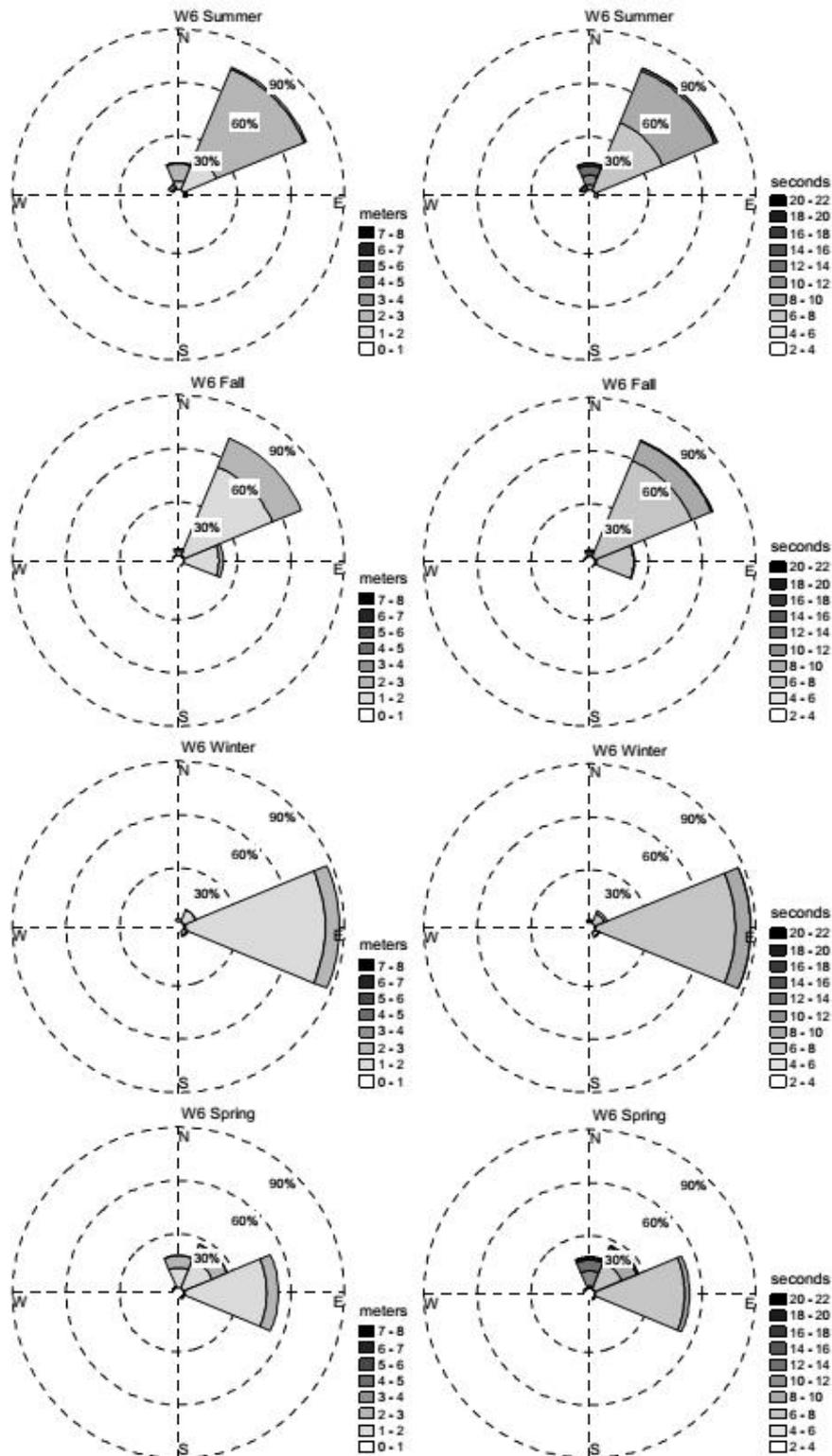


Figura II.6.1.1.2.2.D-10 - Diagrama direcional sazonal alturas (esquerda) e períodos (direita) das ondas no setor W6. Fonte: Pianca et al. (2010).

II.6.1.1.2.2.C.2. . Refração e Deriva Litorânea

Este capítulo busca atender à solicitação expressa dos TRs 022/14 (QGEP), 023/14 (BP) e 024/14 (TOTAL), acerca da caracterização de refração de ondas e correntes de deriva litorânea.

Para tal, foi empregada a metodologia proposta no trabalho de Dominguez (2007), baseada nos conceitos e expressões presentes em Komar (1976; 1998). Nesta, um modelo regional de propagação de ondas é utilizado para propagar ondas características de uma determinada região, desde águas profundas até a costa. A partir, então, dos resultados deste modelo regional na zona costeira (altura significativa e direção) e da angulação da linha de costa, obtêm-se estimativas da deriva litorânea.

Para avaliar o clima de ondas nas proximidades dos blocos e definir as ondas mais características da região, foram obtidos 35 anos de dados (de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014) de onda da reanálise do ECMWF, da base ERA-Interim. O ponto utilizado para as análises é o mesmo apresentado na **Figura II.6.1.1.2.2.D-1**.

O SWAN foi o modelo escolhido para realizar a propagação dos cenários de ondas selecionadas desde águas profundas até a zona costeira. Trata-se de um modelo de ondas de terceira geração, utilizado para obtenção de estimativas reais de parâmetros de ondas de gravidade em áreas costeiras (SWAN, 2014). Seus resultados serão utilizados para o estudo da refração de ondas e deriva litorânea na região costeira

Segundo a teoria de propagação de ondas, as mesmas interagem com o fundo oceânico e com barreiras como ilhas, quebra mares e afunilamentos físicos, alterando sua altura e direção de propagação (difração, refração e empinamento). Desta forma, a batimetria tem um importante papel na propagação das ondas e quando bem resolvida é crucial para a obtenção de bons resultados. Para esse trabalho foi utilizada a batimetria obtida a partir das cartas náuticas 201, 232, 302, 303 e B40, digitalizadas até a profundidade de 1000m, e para regiões mais profundas foram utilizados dados do ETOPO1 (Amante, 2009).

II.6.1.1.2.2.C.3. . Seleção dos Cenários

A fim de se analisar as direções de onda mais frequentes no local, e assim selecionar os cenários para a realização da modelagem, foram utilizados os dados apresentados na Tabela II.6.1.1.2.2.D-3, de ocorrência conjunta de altura significativa e direção das ondas.

Nota-se que as direções de Nordeste (NE) e Leste (E) são as mais frequentes, contabilizando juntas 96,93% das ocorrências. A partir da análise geral realizada com todo o conjunto de dados, foi realizado um refinamento da mesma análise, com intuito de se obter as características das ondas mais representativas da região para, então, utilizá-las no estudo de propagação de onda.

Desta forma, são apresentadas, a seguir, tabelas de ocorrência conjunta de Altura Significativa (Hsig) por Período médio (Tp), para cada uma das duas direções predominantes na região, Nordeste (**Tabela II.6.1.1.2.2.D-5**) e Leste (**Tabela II.6.1.1.2.2.D-6**).

Tabela II.6.1.1.2.2.D-5 - Ocorrência conjunta de Hsig e Tp para ondas de Nordeste, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014.

Período ->		2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18	Total	Freq (%)
Altura Sig.(m)											
0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
0,5	1	0	3	126	35	1	0	0	0	165	0.42
1	1,5	0	65	8716	3155	349	14	0	0	12299	31.12
1,5	2	0	47	9659	6390	599	26	3	0	16724	42.32
2	2,5	0	13	4599	3814	277	29	0	0	8732	22.10
2,5	3	0	0	737	675	56	6	0	0	1474	3.73
3	4	0	0	46	75	5	0	0	0	126	0.32
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
> 6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	128	23883	14144	1287	75	3	0	39520	
Freq (%)		0.00	0.32	60.43	35.79	3.26	0.19	0.01	0.00		

Tabela II.6.1.1.2.2.D-6 - Ocorrência conjunta de Hsig e Tp para ondas de Leste, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014.

Período ->		2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18	Total	Freq (%)
Altura Sig.(m)											
0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
0,5	1	0	0	0	218	12	0	0	0	230	1.99
1	1,5	0	0	73	7776	1442	61	0	0	9352	80.86
1,5	2	0	0	21	1393	447	39	0	0	1900	16.43
2	2,5	0	0	0	35	38	5	0	0	78	0.67
2,5	3	0	0	0	2	3	0	0	0	5	0.04
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
> 6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0	94	9424	1942	105	0	0	11565	
Freq (%)		0.00	0.00	0.81	81.49	16.79	0.91	0.00	0.00		

De acordo com as análises apresentadas, pode-se dizer que as condições apresentadas na **Tabela II.6.1.1.2.2.D-7** são as mais frequentes, sendo esses os cenários de ondas a serem propagadas no modelo regional (SWAN).

Tabela II.6.1.1.2.2.D-7 - Ondas mais frequentes para cada direção incidente.

	Nordeste	Leste
Hsig (m)	1-2	1,5-2
Período (Tp)	6-8	8-10

II.6.1.1.2.2.C.4. Propagação de ondas ao largo

A direção e altura com as quais a onda incide sobre a linha de costa são determinadas pela propagação das ondas geradas em águas profundas até a zona costeira que, ao interagirem com o fundo sofrem refração, empinamento e difração, alterando sua direção de propagação e altura.

A partir dos cenários de ondas determinados através da climatologia apresentada acima, que conta com mais de 30 anos de dados, foi elaborado um modelo de ondas em alta resolução para a região de interesse, com os cenários de ondas selecionados sendo propagados desde águas profundas até a linha de costa.

Vale ressaltar que o domínio do modelo regional de ondas precisou ser reduzido em relação a toda extensão da costa contida na bacia Foz do Amazonas devido a algumas questões do processo de modelagem, conforme exposto a seguir:

A região da desembocadura do Amazonas apresenta alguns complicadores para se executar uma modelagem de propagação de ondas de gravidade em alta resolução, uma vez que devido ao grande volume de água e sedimentos trazidos pelo rio, a batimetria local é dinâmica e apresenta muitas áreas não hidrografadas, ou seja, sem informações batimétricas.

Além das incertezas e da falta de dados de batimetria em algumas regiões, o fundo lamoso e as correntes do rio interagem com as ondas incidentes gerando dissipação de energia e refração.

Somado a esses fatores, a grande quantidade de reentrâncias, franjas de mangue, ilhas e bancos (**Figura II.6.1.1.2.2.D-11**), torna o estudo de propagação de ondas e deriva litorânea nesta área uma tarefa complexa, visto a magnitude dos outros processos, como o deságue do Amazonas e as correntes de maré.

Deve-se ressaltar que o objetivo deste estudo é apresentar estimativas dos processos de refração de ondas e deriva litorânea, e não obter valores precisos para cada reentrância ou praia da região. Para fins de caracterização ambiental da Foz do Amazonas, a metodologia e os dados utilizados, bem como os resultados obtidos são suficientes para uma visão geral desses processos na região de estudo.



Figura II.6.1.1.2.2.D-11 - Complexidades morfológicas da região da desembocadura do Amazonas. Destaca-se a presença de reentrâncias, pequenas ilhas e canais de maré.

Pelas considerações apresentadas, o domínio do modelo regional foi reduzido para abranger desde as proximidades de 50° W até o limite norte do território brasileiro, na desembocadura do rio Oiapoque. O domínio e a batimetria utilizados no estudo podem ser visualizados na Figura II.6.1.1.2.2.D-12.

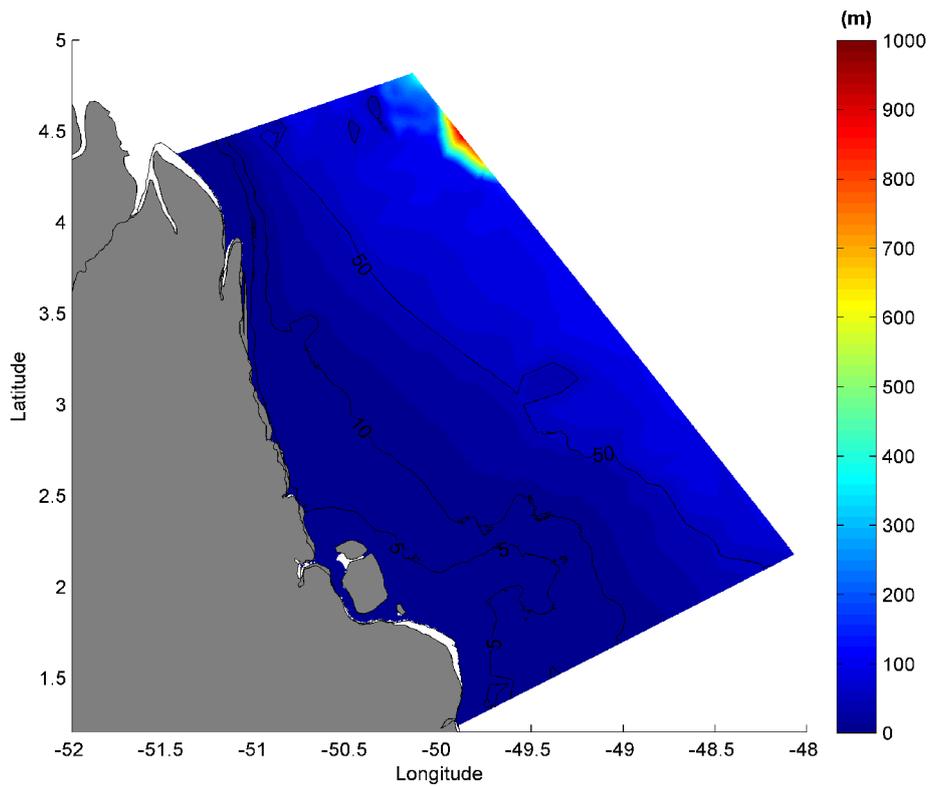


Figura II.6.1.1.2.2.D-12 - Batimetria e domínio do modelo regional de propagação de ondas utilizados no estudo.

A seguir, na **Figura II.6.1.1.2.2.D-13** e na **Figura II.6.1.1.2.2.D-14** apresentam-se os mapas de refração de onda para os dois cenários seleccionados, de ondas de NE, e ondas de E.

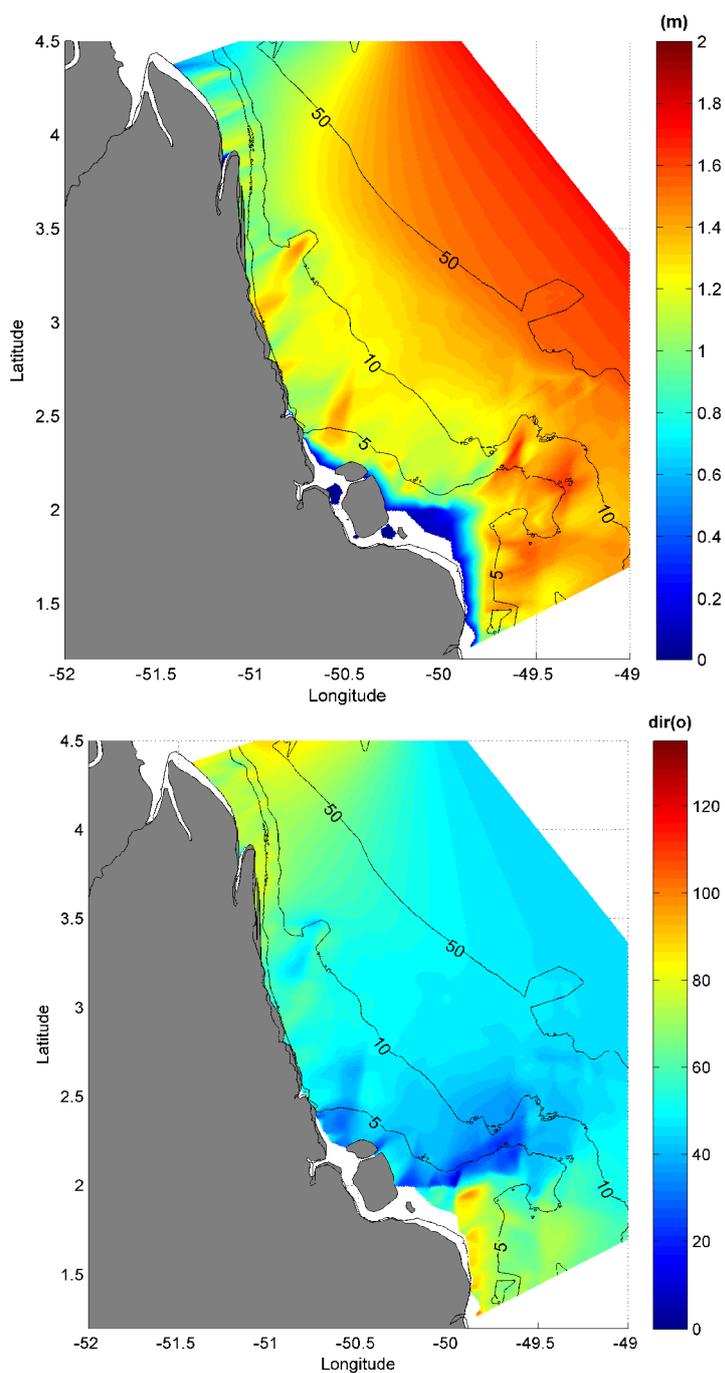


Figura II.6.1.1.2.2.D-13 - Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de NE, com 1,75m e 7 segundos de período.

Os resultados apresentadas na **Figura II.6.1.1.2.2.D-13** mostram que as ondas originadas de NE chegam à região costeira com alturas entre 0 m, na região mais ao sul, e 1,4 metros, entre as latitudes de 2,5° e 4,5° Norte. Percebe-se a tendência a um aumento das alturas de ondas em algumas regiões próximas à costa. Também podem ser notadas regiões de sombreado, referentes às ilhas e reentrâncias costeiras. A direção de chegada das ondas na costa varia entre NE (na região mais ao norte), N (na latitude de 2° N) e E (na região mais ao sul).

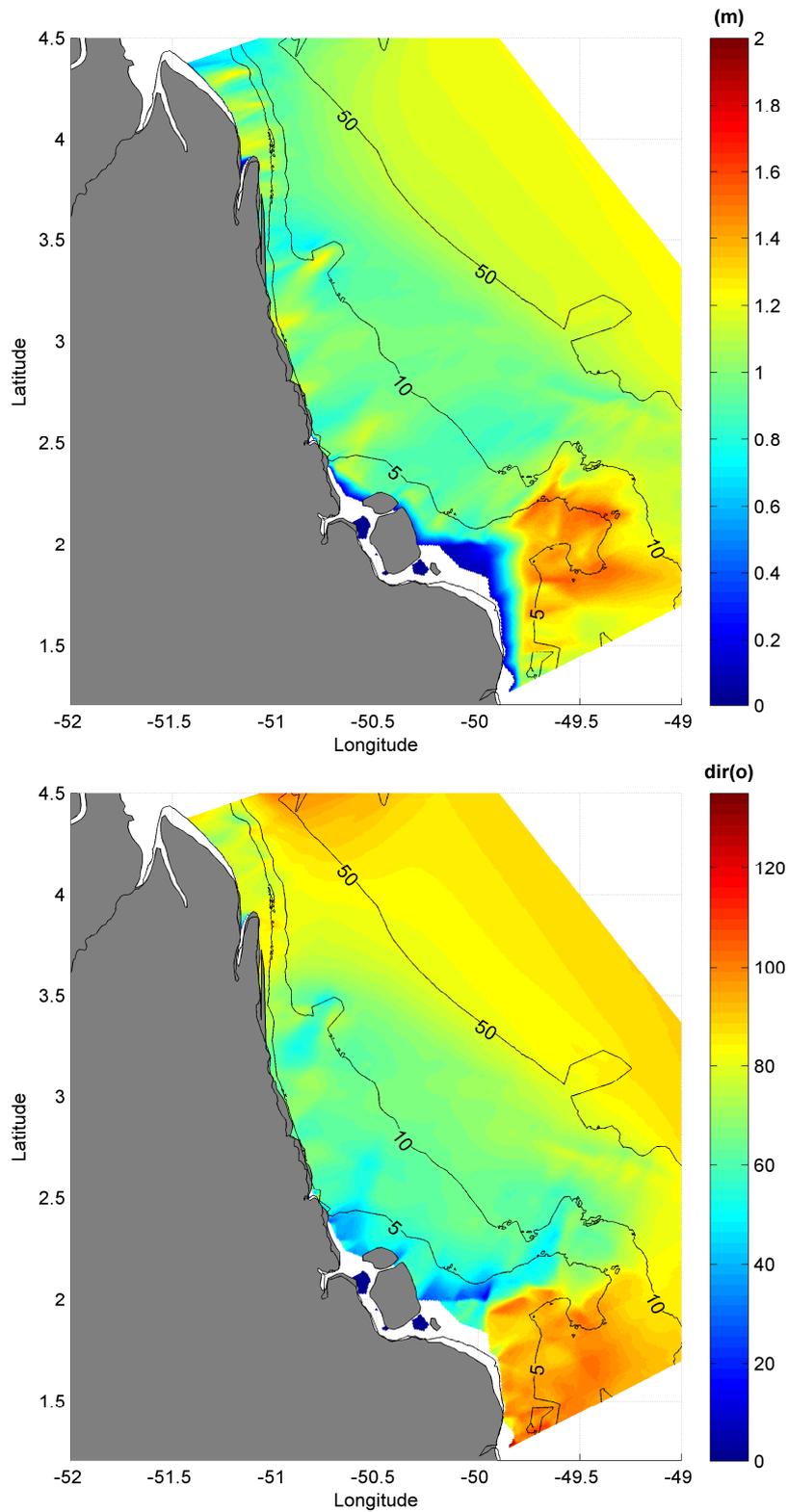


Figura II.6.1.1.2.2.D-14 - Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de E, com 1,25m e 9 segundos de período.

Os resultados apresentados na **Figura II.6.1.1.2.2.D-14** mostram que as ondas originadas de leste (E) chegam à região costeira com alturas entre 0 m, na região mais ao sul, e de 0,8 a 1,0 metros no restante da região, entre as latitudes de 2,5° e 4,5° Norte. Na região ao sul de 2°N, as ondas chegam a alturas de aproximadamente 1,6 m. A direção de chegada das ondas na costa varia entre Norte (na latitude de 2° N) e E-SE (no restante da região).

A partir dos resultados obtidos com o modelo regional de ondas apresentado acima foi possível obter uma estimativa do potencial de deriva litorânea para a região de interesse.

II.6.1.1.2.2.C.5. Deriva Litorânea

As ondas, ao alcançarem a zona litorânea, além de dissiparem sua energia através da interação com o fundo, geram correntes costeiras. Segundo Komar (1967; 1998), a deriva litorânea é composta pela corrente longitudinal e a deriva de praia, onde a direção e magnitude dessa deriva é função da direção de incidência da onda em relação à linha de costa e a energia com a qual a onda chega à praia.

A intensidade do potencial da deriva (X) está relacionada com o ângulo de incidência e com a energia das ondas que, por sua vez, é proporcional ao quadrado das alturas, segundo a expressão abaixo, descrita em Dominguez (2007):

$$X = Y * H^2$$

$$Y = \text{sen}(\alpha) * \cos(\alpha)$$

Onde α é o ângulo que a frente de onda faz com a linha de costa e H é a altura significativa das ondas na zona costeira.

Como o trecho de costa estudado é relativamente longo, para se obter o ângulo da linha de costa foi necessário segmentar a faixa litorânea em intervalos que pudessem ser representados por linhas retas, tendo sido gerados 23 segmentos (**Figura II.6.1.1.2.2.D-15**).

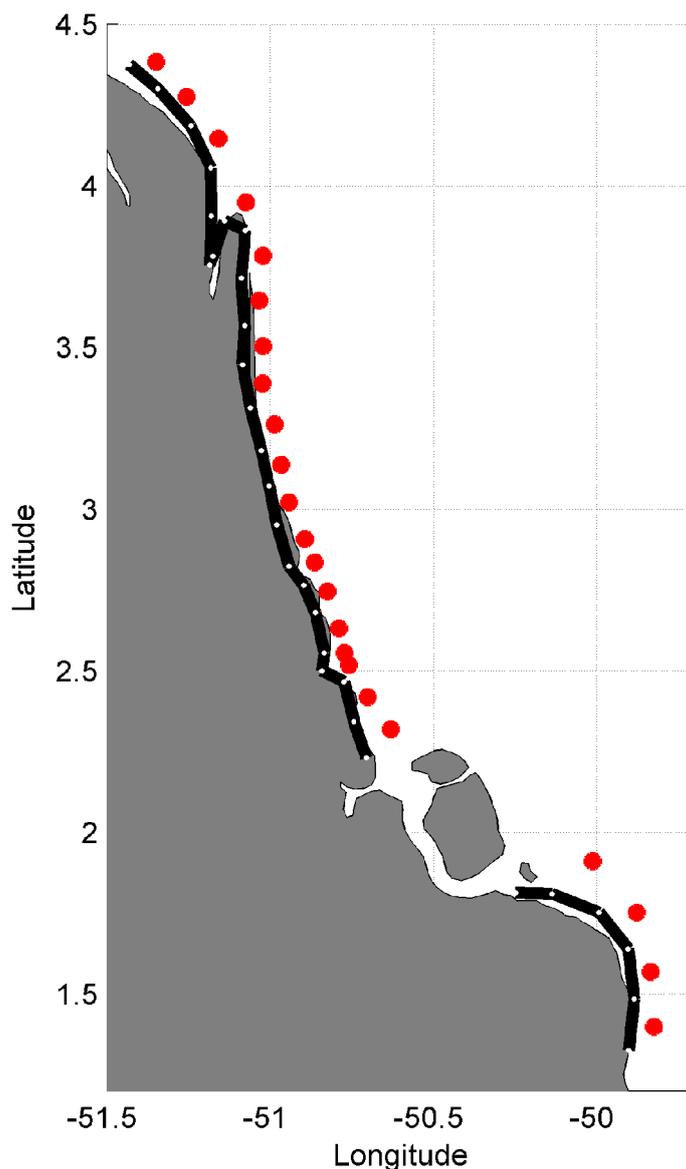


Figura II.6.1.1.2.2.D-15 - Divisão da costa da região de interesse em 23 segmentos. As linhas pretas separadas por pontos brancos representam os segmentos e os pontos vermelhos representam os pontos dos quais os parâmetros de altura e direção de onda foram retirados.

É importante que se faça uma consideração sobre o método proposto e aplicado neste estudo. Como explicado, a deriva litorânea é determinada pelo ângulo formado entre a frente de onda incidente na zona costeira e a orientação da linha de costa. Ao segmentar a costa, muitas quebras de orientação são retilizadas. Por exemplo, em uma determinada praia que apresente formato de arco, uma mesma direção de onda pode gerar derivas em sentido inverso. Logo, ressalta-se que os resultados gerados neste estudo devem ser encarados como tendências gerais para cada segmento definido.

Para cada ponto central dos segmentos, foram obtidos os parâmetros de altura e direção da onda incidente, a partir dos resultados do modelo de ondas regional (SWAN), para cada um dos cenários estudados. A intensidade do potencial da deriva foi, então, calculada para cada segmento e cenário estudados, a partir da expressão apresentada acima. Os resultados vetorizados podem ser vistos na **Figura II.6.1.1.2.2.D-16** e na **Figura II.6.1.1.2.2.D-17**.

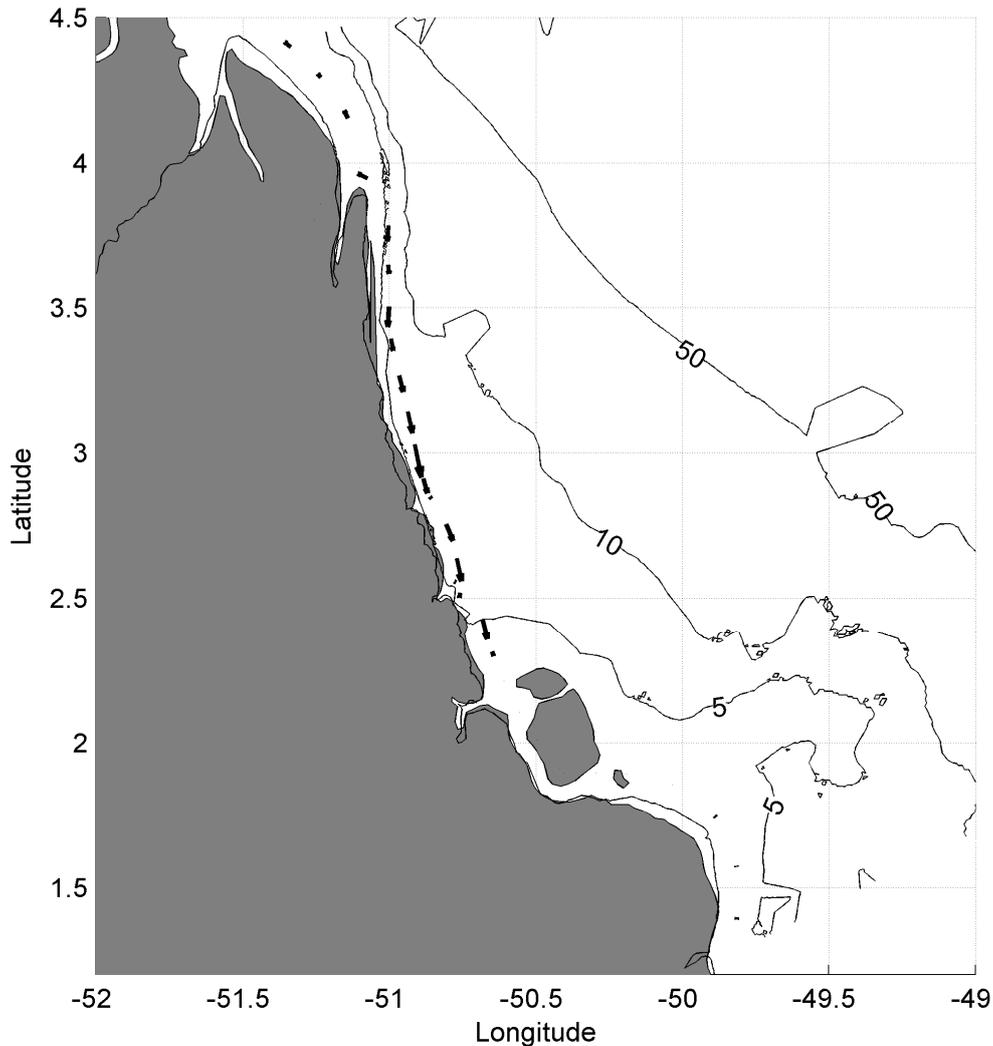


Figura II.6.1.1.2.2.D-16 - Potencial da deriva litorânea ao longo da zona costeira da região de estudo, para o cenário de ondas de Nordeste (NE), com altura significativa de 1,75m e período de 7 segundos.

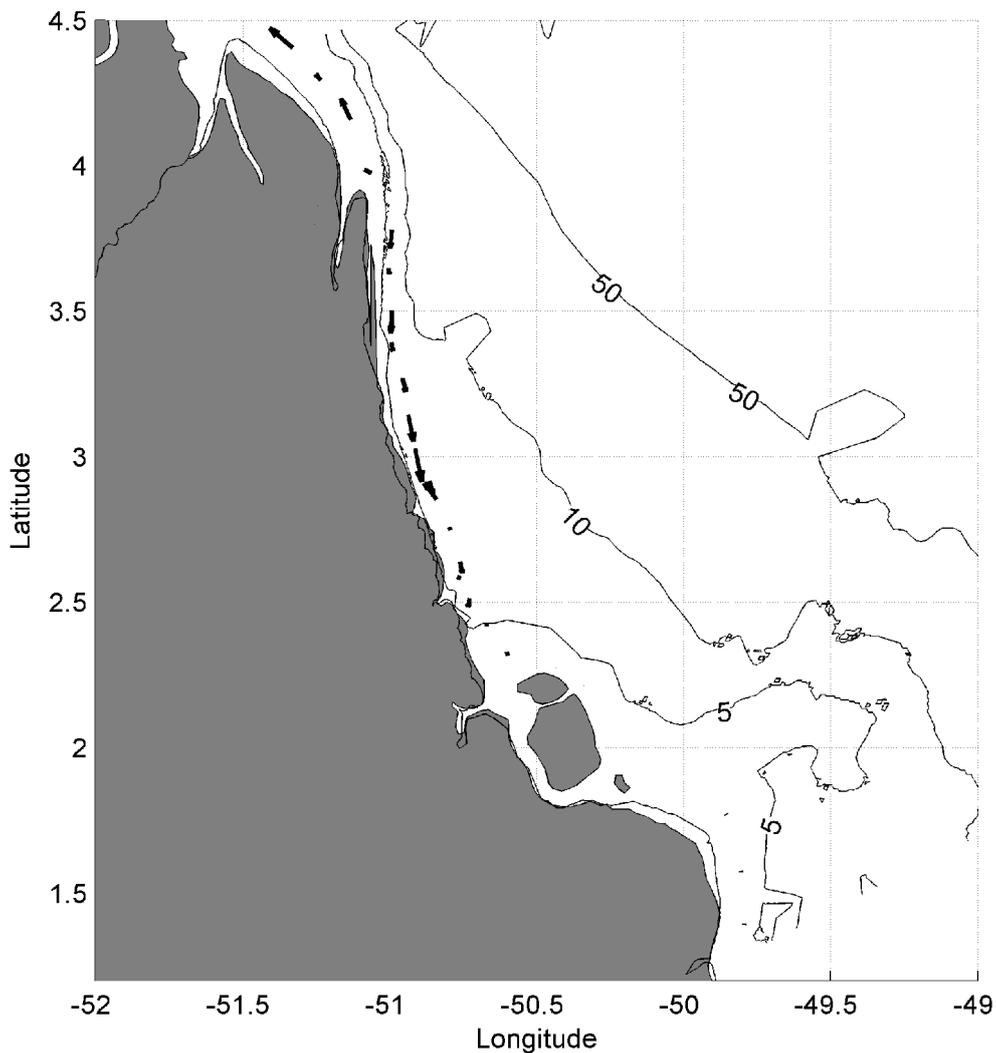


Figura II.6.1.1.2.2.D-17 - Potencial da deriva litorânea ao longo da zona costeira da região de estudo, para o cenário de ondas de Leste (E), com altura significativa de 1,75 m e período de 9 segundos.

Os dois cenários de ondas simulados apresentaram potencial de deriva similar, com deriva para norte, a norte da latitude de 3,75°N e para sul no restante do domínio. , nota-se que no cenário de ondas de NE há um menor potencial de deriva para norte quando comparado com o cenário de ondas de E.

Na região abaixo da latitude de 2°N, devido à dissipação da energia das ondas pela quebra e pelo atrito com o fundo, as ondas não chegam a atingir a costa com energia suficiente para gerar resultados de potencial de deriva significativos.

II.6.1.1.2.2.C.6. Conclusões

Com o objetivo de realizar um estudo de refração de ondas e estimativa da deriva litorânea na região da bacia da Foz do Amazonas, foi conduzida uma análise em duas etapas. Primeiramente realizou-se uma para a climatologia de ondas, baseada em uma série de 35 anos de dados, tendo sido obtidos os dois cenários de ondas mais característicos para a região. A partir destes cenários, elaborou-se um modelo regional, que foi utilizado para propagar as ondas selecionadas desde águas profundas até a zona costeira. Desta forma obtiveram-se as transformações sofridas pelas ondas ao interagirem com o fundo, até alcançarem à costa.

A partir da direção relativa entre as ondas e a inclinação da linha de costa, e da energia com a qual a onda chega à praia, fornecidos pelas modelagens, a deriva litorânea foi calculada e apresentada. Conclui-se que:

- Para o cenário de incidência de ondas de NE, com altura significativa de 1,75m e período de 7 segundos, a deriva litorânea foi predominantemente para sul, a partir da latitude de 3,75°N, com um ligeiro aumento de intensidade entre 3,5° e 3°N, também havendo uma deriva para norte, entre 3,75° e 4,5°N.
- Para o cenário de incidência de ondas de E, com altura significativa de 1,75 m e período de 9 segundos, a deriva litorânea também foi predominante para sul, a partir da latitude de 3,75°N, com um aumento de sua intensidade aproximadamente na latitude de 3°N. A deriva para norte, também observada acima de 3,75°N, é mais marcada quando comparada com a deriva para norte na incidência de ondas de NE, com intensidade maior na latitude de 4,5°N.

Ressalta-se, novamente, que os resultados gerados neste estudo devem ser encarados como tendências gerais para cada segmento definido.

II.6.1.1.2.2.E. Regime de Marés

Podemos classificar a maré quanto ao seu período, ou seja, pode-se determinar se a maré é diurna, semi-diurna, mista principalmente diurna ou mista principalmente semi-diurna (POND & PICKARD, 1978).

Para classificar a maré, calcula-se um fator que leva em consideração a amplitude das principais componentes diurnas e semi-diurnas. Segundo Pond & Pickard (1978), esse fator é definido por:

$$F = \frac{\alpha(K_1 + O_1)}{\beta(M_2 + S_2)} \frac{\delta}{\theta}$$

De acordo com essa classificação temos:

- $F = 0$ a 0,25 - Maré semi-diurna, ou seja, a maré cujo período é de aproximadamente 12h. Neste caso, tem-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual à outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.

- $F = 0,25$ a $1,5$ - Maré mista, principalmente semi-diurna, ou seja, maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, semi-diurna, podendo ser diurna em algumas épocas do ano.
- $F = 1,5$ a $3,0$ - Maré mista, principalmente diurna, ou seja, maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, diurna, podendo ser semi-diurna em algumas épocas do ano.
- $F > 3,0$ - Maré diurna, ou seja, maré cujo período é de aproximadamente 24h. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.

Para a caracterização da maré na região costeira próxima aos blocos, foram utilizadas as constantes harmônicas obtidas da estação maregráfica da Plataforma Penrod, localizada em 3° N e $49,28^{\circ}$ W, obtida do Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras da Fundação de Estudos do MAR (FEMAR). As constantes harmônicas dessa estação foram obtidas de uma série de nível do mar medido ao longo de 1 mês (11/01/1974 a 11/02/1974) no local. Foram utilizados os dados de amplitude e fase de 07 (sete) componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1).

A localização dessa estação pode ser observada na **Figura II.6.1.1.2.2.E-1** e as constantes harmônicas encontram-se na **Tabela II.6.1.1.2.2.E-1**.

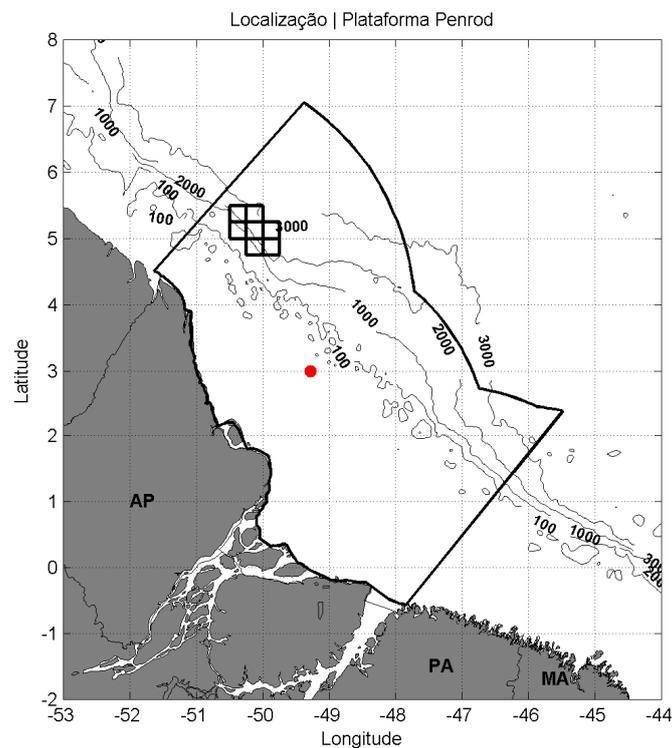


Figura II.6.1.1.2.2.E-1 - Localização da estação maregráfica da FEMAR da Plataforma Penrod (ponto vermelho).

Tabela II.6.1.1.2.2.E-1 - Constantes harmônicas obtidas da FEMAR para a estação da Plataforma Penrod.

Componente	Nome	Amplitude (m)	Fase (graus)
Q1	lunar elíptica diurna	1,1	166
O1	lunar principal diurna	7,8	180
K1	luni-solar principal diurna	10,1	211
N2	lunar elíptica semi-diurna	20,1	171
M2	lunar principal semi-diurna	85,1	164
S2	solar principal semi-diurna	21,7	168
K2	luni-solar semi-diurna	5,9	168

Utilizando os valores apresentados na **Tabela II.6.1.1.2.2.E-1**, podemos concluir que na região de interesse temos $F = 0,16$, portanto, uma maré semidiurna.

Podemos calcular também, segundo a formulação de Pond & Pickard (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será $2(M2+S2) = 2,14$ m, para a estação da Plataforma Penrod.

Portanto, podemos classificar a maré na região como sendo semidiurna e com amplitudes médias de maré de sizígia variando em torno de 2,14 m.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.E-2** é apresentada a série de elevação para todo o ano de 2014. Foram verificadas alturas máximas de, aproximadamente, 1,25 m, e mínimas de -1,5 m.

Através da figura, podemos concluir que as marés de quadratura na região possuem amplitudes médias da ordem de 1,20 m.

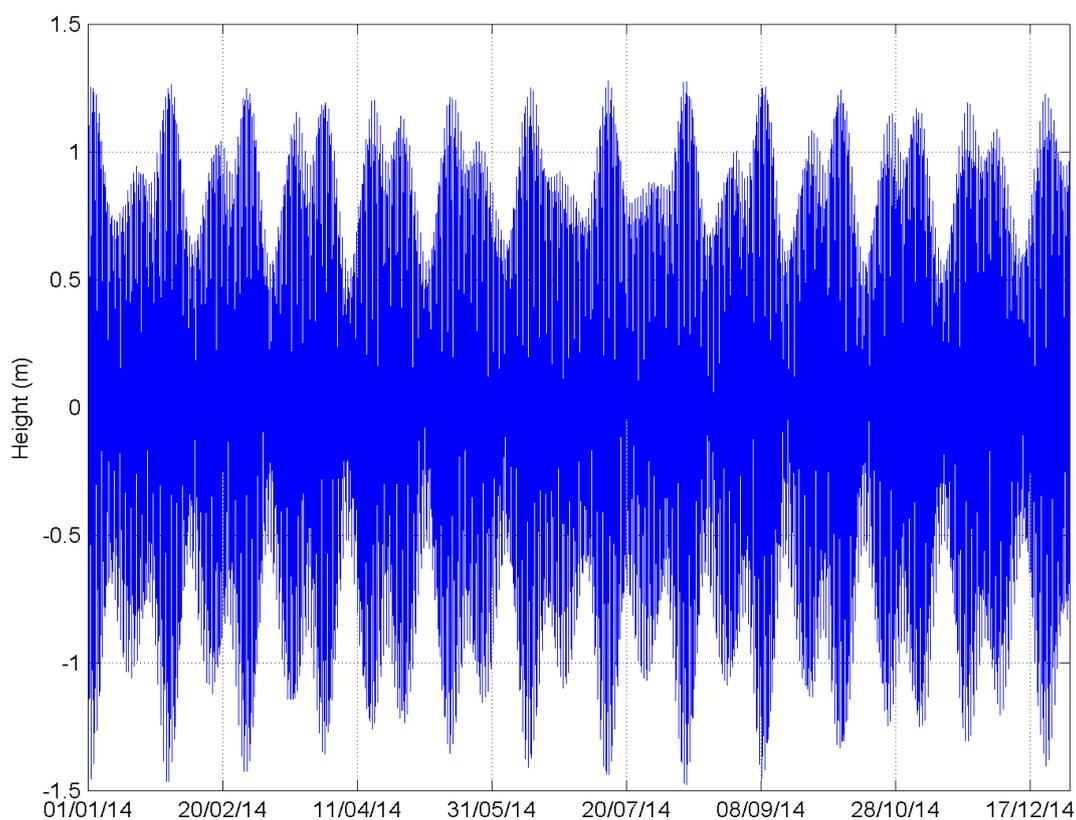


Figura II.6.1.1.2.2.E-2 - Elevação da superfície do mar (m) para todo o ano de 2014 na região da Plataforma Penrod.

Exemplos dos campos de amplitude e fase da componente M2 (mais significativa na região) podem ser vistos na **Figura II.6.1.1.2.2.E-3** e na **Figura II.6.1.1.2.2.E-4**. A amplitude da componente M2 na costa norte do Brasil apresenta valores máximos na região costeira entre a Baía de São Marcos – MA e a Foz do Rio Amazonas. Os mapas foram extraídos do modelo global de marés TPX07 (EGBERT; EROFEEVA, 2002), que possui resolução de $1/4^\circ$ e utiliza dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

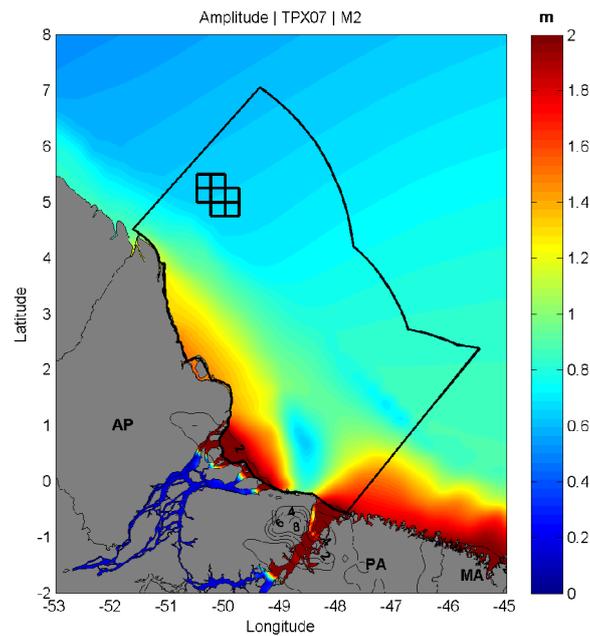


Figura II.6.1.1.2.2.E-3 - Amplitude da componente M2 para região de interesse.

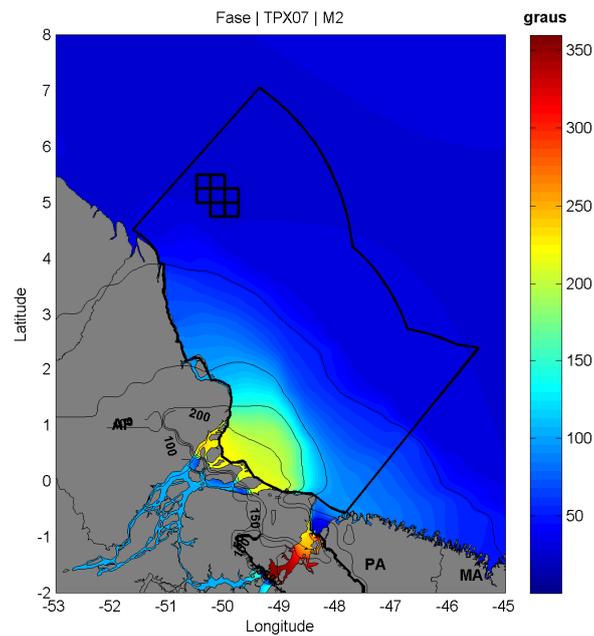


Figura II.6.1.1.2.2.E-4 - Fase da componente M2 para região de interesse.

II.6.1.1.2.3. Identificação da Sazonalidade

Através de análise conjunta das variáveis meteorológicas e oceanográficas, foi identificado um ciclo sazonal bem marcado na região da Bacia da Foz do Amazonas. Esse ciclo tem como principal forçante a migração oscilatória da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Conforme apontado na caracterização meteorológica, ao longo do ano, a ZCIT passa de sua posição mais ao norte nos meses de inverno austral (de julho a dezembro), para sua posição mais ao sul, nos meses de verão austral (de janeiro a junho). Esta, em seu movimento oscilatório anual, passa sobre a região da Bacia da Foz do Amazonas, influenciando fortemente a meteorologia e a oceanografia locais.

No período chuvoso (janeiro a junho), destaca-se a presença da pluma de baixa Rio Amazonas. No período de inverno (julho a dezembro), embora ainda haja influência da descarga do Rio Amazonas na Plataforma Continental Amazônica, seu efeito na salinidade da região é menor.

Os dados de correntes obtidos do MyOcean, derivadores oceânicos e do modelo ROMS indicaram que a sazonalidade das correntes na região é bastante marcada pela retroflexão da CNB, que é observada principalmente no período seco, e que as velocidades de corrente são ligeiramente maiores nesse período.

Em relação ao regime de ondas, verifica-se um padrão sazonal bem definido, com ondas maiores, de NE, nos meses de novembro a abril, e ondas menores e de E/NE, nos meses de maio a outubro.

II.6.1.1.2.4. Identificação de fenômenos oceanográficos extremos

Neste item buscou-se identificar a ocorrência de eventos extremos a partir das séries de dados de correntes e ondas existentes na Bacia da Foz do Amazonas. A definição utilizada para evento extremo é a de evento raro, conforme definido nos Termos de Referência emitidos para a região. Desta forma, eventos extremos são aqueles que estão a uma distância da média de mais ou de menos duas vezes o desvio padrão.

Apresenta-se a seguir, na **Tabela II.6.1.1.2.4-1**, uma síntese dos eventos extremos, onde para cada variável, podem-se observar os limiares positivos e negativos (duas vezes acima e abaixo da média, respectivamente), a frequência de ocorrência de ambos nas séries e os meses onde esses eventos extremos ocorreram mais vezes dentro das séries analisadas.

Para velocidade de correntes foram analisados os resultados do ROMS para a região do talude, e para os dados de ondas, foram avaliados os resultados do ERA-Interim.

Tabela II.6.1.1.2.4-1 - Tabela síntese de eventos extremos. Limiares superiores e inferiores, frequência de ocorrência acima e abaixo dos limiares e meses críticos para ocorrência.

Variável	Máximo	Limiares		Frequência de ocorrência		Mês Crítico	
		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Vel. de correntes (m/s)	1,95	1,51	0,38	0,91%	1,51%	agosto	julho
Altura significativa de ondas (m)	3,69	2,47	0,84	0,04%	0,0002%	fevereiro	agosto

Deve considerar que ocorrem variações de velocidade de correntes ao longo da região oceânica da Bacia da Foz do Amazonas. O ponto onde foi encontrada maior velocidade média na bacia, localizado em 2,37° N e 47,69° W (400 km a sudoeste dos blocos), apresenta limiares bem superiores aos encontrados para os blocos, como demonstrado pela Tabela II.6.1.1.2.4-2.

Tabela II.6.1.1.2.4-2 - Tabela síntese de eventos extremos. Limiares superiores e inferiores, frequência de ocorrência acima e abaixo dos limiares e meses críticos para ocorrência para o ponto localizado em 2,37°N e 47,69°W.

Variável	Máximo	Limiares		Frequência de ocorrência		Mês Crítico	
		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Vel. de correntes (m/s)	2,17	2,06	0,76	0,17%	5,92%	agosto	maio

II.6.1.1.2.5. Considerações finais

A análise dos dados oceanográficos da região adjacente aos blocos, na Bacia da Foz do Amazonas, demonstrou a presença de uma termoclina permanente na região, que se inicia entre 100 m de profundidade, chegando até 700-800 m, onde é encontrado um mínimo de salinidade (~34,5), associado à AIA.

No período chuvoso (janeiro a junho), ocorrem os maiores índices de precipitação na região Norte, fazendo com que a pluma de baixa salinidade do Rio Amazonas seja mais pronunciada. A análise do diagrama T-S mostrou a presença na região de todas as massas d'água encontradas por Silva *et al.* (1982) quais sejam: AC, AT, ACAS, AIA e APAN.

Com base na análise do clima de ondas da região, verificou-se que a classe de altura mais frequente foi de 1 a 2m, enquanto que o período mais frequente foi de 6 a 9s. Notou-se, também, a presença de ondulações maiores, ultrapassando 3m de altura e 14s de período médio, associadas a situações de *swell*, gerados por tempestades no Atlântico Norte, mais frequentes no período seco. Vale resaltar, porém, que como os blocos se situam em profundidades superiores a 200m, as ondas na região não sofrem influência da batimetria.

Os dados de correntes mostram que a região é influenciada, principalmente, pela Corrente Norte do Brasil (CNB). Até aproximadamente 500 m de profundidade, o fluxo tem direção preferencial para NW. A partir dessa profundidade há uma inversão no sentido das correntes devido ao transporte da AIA. Na área dos blocos, devido as grandes profundidades locais, não é esperada grande influência das correntes de maré na circulação. Entretanto, em regiões próximas à costa, situadas sobre a plataforma continental, estas passam a ser mais significativas.

Na região costeira adjacente aos blocos, as marés apresentam amplitudes médias de sizígia de 2,14 m. Na plataforma continental interna, as correntes geradas pelas marés podem atingir até 2 m/s, entretanto, devido ao movimento oposto de enchente/vazante, não geram resultante significativo para a circulação.

A pluma do Rio Amazonas gera correntes residuais para *offshore* de velocidades baixas, sendo transportada para NW ao longo da costa pelas correntes costeiras da Bacia da Foz do Amazonas.

Concluindo, a partir dos estudos realizados e aqui descritos, pode-se dizer que, de uma forma geral, os parâmetros oceanográficos na Área de Estudo sofrem grande influência da migração da ZCIT, e das alterações meteorológicas provocadas por esta.