



REMO – Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica

## **BASE HIDRODINÂMICA SSE**

Elaborado por:  
Afonso de Moraes Paiva  
Mariela Gabioux  
Vladimir Santos da Costa  
Bruna Faria de Oliveira

Grupo de Estudos de Processos Oceânicos  
Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica  
Programa de Engenharia Oceânica

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Novembro de 2012

REMO – Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica

## **BASE HIDRODINÂMICA SSE**

Elaborado por:  
Afonso de Moraes Paiva  
Mariela Gabioux  
Vladimir Santos da Costa  
Bruna Faria de Oliveira

Grupo de Estudos de Processos Oceânicos  
Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica  
Programa de Engenharia Oceânica

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Novembro de 2012

## **Sumário**

1 Introdução.....	3
2 Metodologia – o modelo, as configurações dos experimentos e os dados.....	5
2.1 O Modelo HYCOM.....	5
2.2 As configurações dos experimentos numéricos.....	7
2.3 Os dados observacionais.....	12
2.4 Considerações gerais sobre as análises.....	16
3 Análise da base.....	18
3.1 Análises básicas.....	18
3.2 Séries temporais de modelo e dados.....	43
3.3 Marés astronômicas.....	50
3.4 Ondas confinadas costeiras.....	59
3.5 Baixa frequência no oceano.....	66
3.6 Alta frequência no oceano.....	81
4 Conclusões.....	94
Referências.....	96
ANEXO A.....	98
ANEXO B.....	119

## **Base Hidrodinâmica SSE**

### **1 Introdução**

Este relatório apresenta a análise de uma base hidrodinâmica criada para ser utilizada em estudos ambientais envolvendo modelagem de espalhamento de óleo. Esta base foi desenvolvida pela equipe coordenada pelo Prof. Afonso de Moraes Paiva, composta por Mariela Gabioux (Ph.D.), Vladimir Santos da Costa (M.Sc.) e Bruna Faria de Oliveira (B.Sc.), do Grupo de Estudos de Processos Oceânicos (GRUPO) da Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica (AECO) do Programa de Engenharia Oceânica (PENO) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), no escopo da Rede REMO – Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica. A geração de bases hidrodinâmicas para diferentes áreas do litoral brasileiro é um dos objetivos definidos na fase II da REMO. O presente relatório documenta a análise da primeira base desenvolvida.

A REMO é um grupo de pesquisa constituído atualmente por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro, da Universidade Federal da Bahia, do Centro de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil e do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello da Petrobras. Seus objetivos são desenvolver o conhecimento científico em oceanografia no país, através de estudos observacionais e de modelagem oceânica, além de atender a interesses navais e da indústria de óleo e gás. Entre suas metas principais estão o desenvolvimento de modelos de previsão de curto período de correntes e a geração de campos hidrodinâmicos visando a estudos ambientais e projetos de engenharia.

A base apresentada neste relatório é constituída por campos horários de velocidade de corrente na superfície do mar, em unidades S.I., simulados por um período de 7 (sete) anos com o modelo oceânico HYCOM – HYbrid Coordinate Ocean Model (BLECK *et al.*, 2002 e WALLCRAFT *et al.*, 2009). A base representa a região compreendida entre as latitudes 14 e 30 sul

e longitudes 34 e 51 oeste<sup>1</sup>, correspondendo à região SSE do Brasil e incluindo as regiões das bacias do Espírito Santos, de Campos e de Santos. A região é discretizada em uma grade numérica em projeção Mercator de resolução horizontal nominal equivalente a  $1/24^\circ$ , correspondendo na região a um espaçamento de aproximadamente 4,0 a 4,5 km. O modelo é capaz, devido a sua alta resolução espacial, de representar fenômenos de larga e meso escalas no oceano e, em função das forçantes nos contornos, efeitos em escala sinótica e oscilações devidas à maré astronômica. Dados de altimetria, derivados de observações por satélite, são incorporados ao modelo através do método de Cooper & Haines (COOPER e HAINES, 1996).

A validação da base foi realizada utilizando-se: a) diagnósticos globais, como energia cinética turbulenta em superfície, comuns em modelagem oceânica para avaliação geral da qualidade de simulações numéricas; b) comparações de séries temporais de elevação do nível do mar na costa provenientes do projeto GLOSS e dos resultados modelados; e c) comparação de séries temporais de velocidade derivadas de observações oceânicas pontuais, realizadas pela PETROBRAS, com séries de fundeios virtuais derivados da simulação para pontos de localização equivalente. Em reunião da equipe do projeto com técnicos da Petrobras e do IBAMA, realizada em 29/06/2012 para discussão de resultados preliminares relativos a esta base, foi observado que alguns fundeios virtuais não correspondiam na época à localização exata dos pontos de observação e que em alguns casos eram comparadas séries de velocidade em profundidades diferentes. É importante salientar, portanto, que desde então as simulações foram refeitas de forma a que os pontos de análise dos dados e do modelo coincidissem, tanto quanto possível, em localização geográfica e em profundidade.

Desenvolvida na COPPE, esta base representa contudo um esforço conjunto de todos os grupos envolvidos na REMO, que contribuíram em alguma fase do projeto para sua realização, seja na configuração básica dos experimentos, na implementação de modificações nos códigos numéricos ou na discussão sobre os resultados. Na COPPE/UFRJ, somos gratos ao pesquisador João Marcos Azevedo Correia de Souza, ao aluno de doutorado Guilherme Nogueira Mill e aos alunos de mestrado Bruna Reis Leite França e Paulo Roberto Costa Junior (Capitão de Corveta

---

<sup>1</sup> O domínio da base hidrodinâmica é menor do que o domínio de modelagem (12 a 35 sul e 35 a 54 oeste) pois foram desconsideradas para definição da base regiões próximas aos contornos.

atualmente servindo no CHM), que contribuíram com diversas análises e discussões. As simulações numéricas foram realizadas no cluster Netuno, do Centro de Computação de Alto Desempenho do NCE/UFRJ, e somos gratos a Sérgio Guedes e equipe por todo seu esforço em manter o cluster operando em condições que permitiram sua realização.

Este relatório está organizado como descrito a seguir. A seção 2 descreve o modelo adotado, a configuração dos experimentos numéricos e os dados utilizados. Na seção 3 é apresentada a análise e validação da base, compreendendo tanto aspectos gerais sobre a qualidade das simulações como a comparação pontual dos resultados com as séries medidas de dados observacionais, seguindo-se uma ótica de separação por processos físicos. A seção 4 conclui o relatório. Dois anexos complementam os resultados discutidos no relatório. Na reunião de 29/06/2012 mencionada anteriormente, levantou-se que a base final adotada, a ser decidida em função dos resultados das análises em curso, poderia resultar de três simulações com diferentes configurações então em desenvolvimento. Em função disso, uma breve comparação entre os resultados destas três simulações, justificando-se a escolha por uma delas, é apresentada no anexo A. No anexo B são apresentados resultados complementares que adicionam informações as análises discutidas no corpo principal do relatório.

## **2 Metodologia – o modelo, as configurações dos experimentos e os dados**

### **2.1 O Modelo HYCOM**

O HYCOM – HYbrid Coordinate Ocean Model, é um modelo oceânico de circulação global desenvolvido a partir do Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model - MICOM (BLECK e SMITH, 1990; BLECK *et al.*, 1992). Como seu predecessor, utiliza discretização horizontal em diferenças finitas mas, ao contrário deste, possui um sistema generalizado de coordenadas verticais, cuja teoria está baseada nos trabalhos de BLECK e BOUDRA (1981) e BLECK e BENJAMIN (1993). Este

sistema generalizado permite a mudança de coordenadas (isopicnais, sigma e geopotencial ou coordenadas z) dentro do domínio de modelagem (BLECK, 2002). Esta capacidade do modelo de trocar de coordenadas verticais torna-se importante na simulação de certos processos que afetam a distribuição das massas de água e a circulação termohalina e que são representados de forma distinta por cada tipo de discretização vertical (CHASSIGNET *et al.*, 2003). Pelo fato de ser híbrido, o HYCOM é considerado uma ferramenta aplicável a qualquer região do oceano, já que conserva as melhores qualidades dos três sistemas de coordenadas verticais: a) preserva as características de suas massas de águas em integrações de longo período e naturalmente fornece alta resolução vertical em regiões de correntes fortes com cisalhamento vertical significativo, que são características importantes dos modelos em camadas isopicnais; b) permite alta resolução na camada de mistura e em regiões com pouca ou nenhuma estratificação, uma característica do sistema de coordenadas z e; c) permite alta resolução vertical em áreas costeiras, uma característica do sistema de coordenadas sigma. Levando em consideração estas características, a configuração de coordenadas verticais híbridas padrão do modelo apresenta coordenadas isopicnais no interior do oceano, que é estratificado, as quais mudam suavemente para coordenadas sigma nas regiões rasas do domínio (regiões costeiras) e são convertidas em coordenadas z na camada de mistura e/ou em regiões pouco estratificadas. Vale lembrar que a seleção do(s) sistema(s) de coordenadas a ser(em) utilizado(s), assim como a condição de transição entre os diferentes sistemas de coordenadas (no caso de existir mais de um sistema) é determinada pelo usuário. Embora o HYCOM permita o uso de diferentes sistemas de coordenadas verticais, continua sendo essencialmente um modelo em camadas isopicnais, no qual é utilizada a densidade potencial como coordenada vertical na maior parte do domínio de modelagem. Para uma descrição mais detalhada das características do HYCOM ver BLECK *et al.* (2002) e WALLCRAFT *et al.* (2009).

## **2.2 As configurações dos experimentos numéricos**

Para o desenvolvimento da base hidrodinâmica foi realizado, na região do Atlântico Sul Sudoeste, um conjunto de simulações numéricas aninhadas com resolução espacial crescente (1/4, 1/12 e 1/24 de grau) sob forçantes atmosféricas em escala sinótica utilizando o modelo HYCOM. Nas simulações em 1/4 e 1/12 (cujos domínios espaciais abrangeram o Oceano Atlântico e a região

da MetareaV, respectivamente (Figura 1a e 1b) grande parte do esforço de modelagem oceânica foi focado na representação dos fenômenos de larga e meso escalas. Na simulação em 1/24 (Figura 1c, denominada no presente relatório de 1/24-CCH), da qual resulta a base hidrodinâmica discutida neste relatório, inclui-se ainda a forçante de marés.

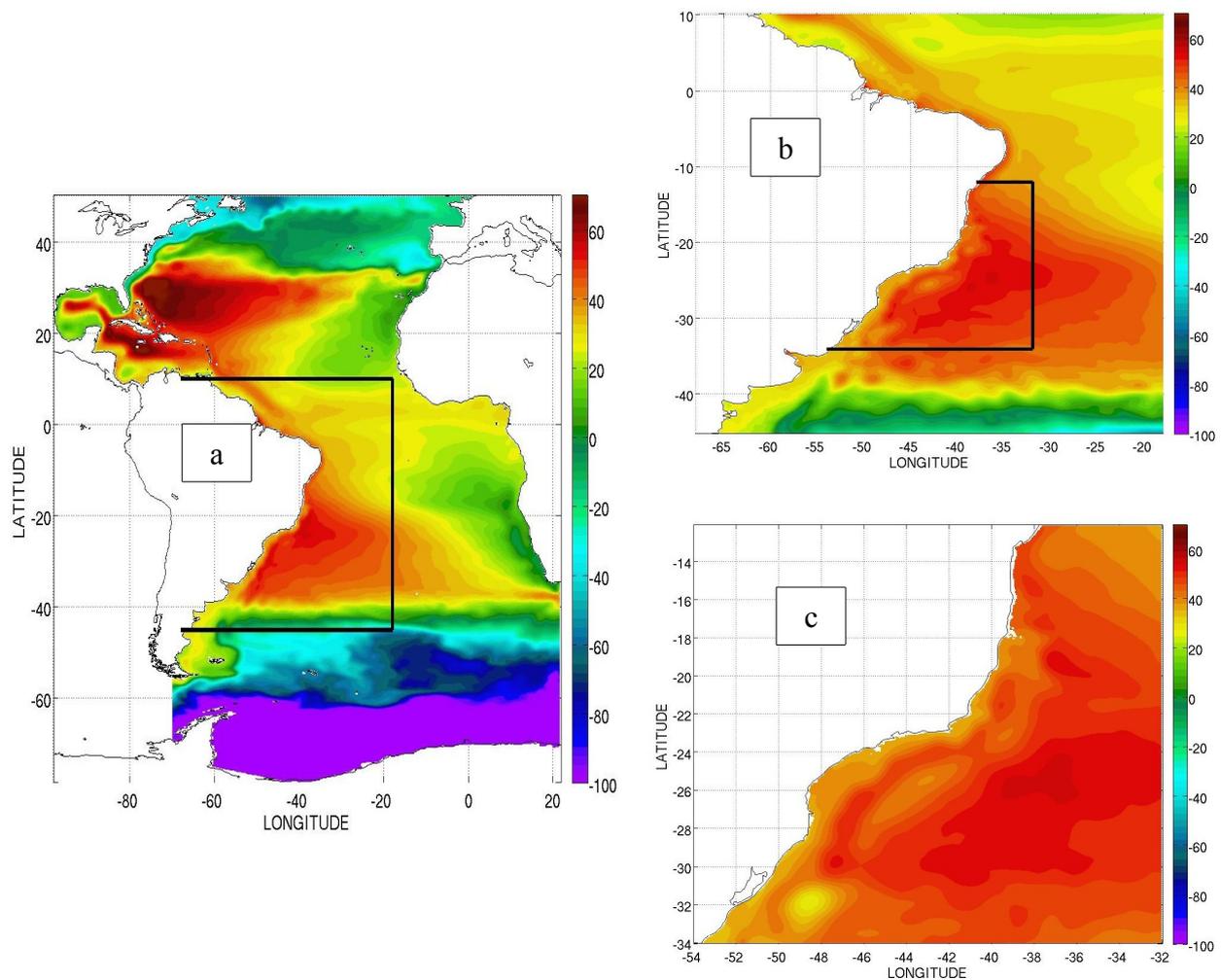


Figura 1: Domínios espaciais de modelagem das simulações numéricas aninhadas. (a) 1/4°, (b) 1/12° e (c) 1/24°. Os campos apresentados nas figuras correspondem à elevação da superfície do mar (SSH) média (em centímetros) para o período de 2004 a 2010.

#### Principais características da simulação 1/24-CCH:

- A grade horizontal foi gerada em projeção Mercator centrada no equador, sendo o tamanho da grade, em graus, constante na direção longitudinal e variável na direção latitudinal (com o cosseno da latitude).

- O domínio de simulação se estendeu de 12°S a 35°S e 54°W a 35°W (Figura 1c) e foi verticalmente discretizado em 21 camadas de densidade sigma theta (Tabela 1).
- A batimetria foi interpolada para o domínio de modelagem a partir da base Etopo 2<sup>2</sup> (sendo posteriormente ajustada com informação de uma base batimétrica desenvolvida pelo Comandante Alvarenga do CHM a partir de folhas de bordo pertencentes à Marinha do Brasil).
- O cálculo dos termos de mistura horizontal de velocidade e espessura da camada foi realizado utilizando uma combinação de parametrizações biharmônica e laplaciana.
- Nos contornos laterais a simulação 1/24-CCH foi forçada com campos diários de velocidade (u – componente zonal e v – componente meridional), temperatura, salinidade e espessura de camada interpolados a partir dos resultados do experimento em 1/12° (denominado neste texto de 1/12-CCH). Considerou-se nos contornos N, S e L, zonas “buffer” de 12 pontos de grade, cuja largura total foi de 35km no contorno sul, 48,5km no contorno norte e 50,9km no contorno leste. O objetivo destas zonas é permitir uma transição suave entre as informações simuladas e aquelas impostas no contorno a partir do aninhamento.
- Para o cálculo das forçantes na interface ar-mar utilizaram-se campos atmosféricos sinóticos (6hs em 6hs) da reanálise 2 do NCEP (Kanamitsu et al., 2002).
- Os fluxos radiativos de calor foram impostos a partir dos dados do NCEP. Os fluxos turbulentos de calor foram calculados internamente pelo modelo a partir de “bulk formulas”, utilizando as informações do NCEP e a TSM do modelo. A estes fluxos foi adicionado um relaxamento newtoniano da TSM para valores climatológicos, com um tempo de restauração equivalente a 90 dias, de forma a minimizar *bias* do modelo.
- O fluxo de massa foi implementado como um fluxo virtual de sal, calculado a partir de evaporação menos precipitação mais um termo de relaxamento newtoniano para climatologia de salinidade mensal da base WOA, com tempo de restauração de 30 dias. Neste caso a precipitação é dada e a evaporação é calculada internamente pelo modelo com “bulk formulas”. Foram também consideradas as vazões dos principais rios que desaguam no Atlântico.
- A maré foi prescrita nos contornos levando em consideração as oito principais constantes

---

2 ETOPO2v2 Global Gridded 2-minute Database, National Geophysical Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Dept. of Commerce, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html>.

harmônicas (M2, S2, N2, K2, O1, P1, Q1, K1), interpoladas a partir dos resultados do modelo TPXO7.2 para o nível e a velocidade (<http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>). No HYCOM esta informação deve ser prescrita na forma de Euler e com a mesma é reconstruído o nível e a velocidade da maré para cada instante de simulação, sendo este valor somado ao nível e velocidade impostos no contorno (informação interpolada do experimento 1/12-CCH). Após testes foi selecionado, para o cálculo da condição de velocidade no contorno, o método de Clamped, no qual a velocidade é prescrita.

- A simulação foi inicializada em 31/12/2003 a partir de um campo instantâneo de uma simulação preliminar de 1/24 (denominada no presente relatório de 1/24-SCH).
- Foram integrados no total 7 anos (2004 a 2010).
- Dados de anomalia de SSH foram incorporados à simulação utilizando o método de Cooper e Haines, referido a partir de agora como C&H. A cada 3 dias, o campo de SSH do modelo foi substituído por um novo campo de SSH constituído pelo somatório do campo de anomalia de SSH da AVISO mais a condição de maré correspondente ao instante de reinicialização (calculado a partir de uma maré prevista), mais um campo médio de SSH proveniente de uma integração prévia do modelo. A cada ano de simulação o campo médio foi recalculado incluindo os resultados mais recentes. O C&H, por sua vez, redistribuiu a espessura das camadas isopícnais em função das anomalias de SSH impostas.
- Os resultados desta simulação correspondentes à camada de mistura, variáveis bidimensionais (SSH, componentes da velocidade barotrópica, etc.) e variáveis da primeira camada, foram armazenados com intervalo horário. Já os resultados das camadas restantes foram armazenados com intervalo diário no período 2004 a 2007 e a cada 6 hs no período 2008 a 2010. Séries temporais horárias foram armazenadas para diversas profundidades em alguns pontos escolhidos previamente, representando fundeios virtuais no modelo, para posterior comparação com dados medidos.

Tabela 1 - Discretização vertical em camadas  $\sigma_\theta$  adotada. Na coluna 3 apresentam-se as massas de água representadas por essas camadas (Água Tropical -AT-, Água Central do Atlântico Sul -ACAS-, Água Intermediária Antártica -AIA-, Água profunda do Atlântico Norte Superior -APANS-, Água profunda do Atlântico Norte Média -APANM). Os índices termohalinos dessas massas de água correspondem a sua área de geração segundo a literatura.

Camada	$\sigma_\theta$	Massas de água	Circulação termohalina		Índices termohalinos:
1	19,50	Camadas utilizadas para melhor discretizar a camada de mistura	Camada Superior	Ramo quente	
2	20,25				
3	21,00				
4	21,75				
5	22,50				
6	23,25				
7	24,00				
8	24,70				
9	25,28	AT ou Água de Máxima Salinidade (MAS)			T > 20°C S > 36,40
10	25,70	ACAS			6°C < T < 20°C 34,60 < S < 36,40
11	26,18				
12	26,52				
13	26,80				
14	27,03	AIA	Camada Intermediária		3°C < T < 6°C 34,20 < S < 34,60
15	27,22				
16	27,38				
17	27,52				
18	27,64	APANS	Camada Profunda	Ramo Frio	3°C < T < 4°C 34,6 < S < 35
19	27,74	APANM			
20	27,82		Camada de Fundo		
21	27,88				

#### Principais características das simulações 1/12-CCH e 1/4:

A simulação em 1/4° força lateralmente a simulação em 1/12° (1/12-CCH), que por sua vez força a simulação em 1/24° (1/24-CCH). Como no caso da simulação 1/24-CCH a grade horizontal de ambas simulações foi gerada em projeção Mercator. O domínio de modelagem da simulação 1/4° abrange o oceano Atlântico Sul e Equatorial e parte do Atlântico Norte, desde ~78°S até ~50°N e desde ~98°W até ~21°E (Figura 1a). Já o domínio da simulação 1/12-CCH estende-se entre 10°N até 45°S e desde 68°W até 18°W (abrangendo a região da Metarea V, Figura 1b). Ambos experimentos possuem a estrutura vertical em 21 camadas sigma theta, as forçantes atmosféricas em superfície, o relaxamento newtoniano da TSM e SSM e a definição dos termos de mistura horizontal de velocidade e espessura da camada descritos para a simulação 1/24-CCH.

A batimetria, no caso da simulação 1/4° foi interpolada a partir da base GEBCO “General

*Bathymetric Chart of the Oceans*” (GEBCO, 2009). Esta base possui uma resolução espacial original de 1 minuto ( $\sim 0,2$  km no equador) a qual foi sub-amostrada para 2 minutos. No caso da simulação 1/12-CCH a batimetria foi obtida a partir da Base Etopo 2 e posteriormente melhorada como descrito para a simulação 1/24-CCH. Quanto as condições de contorno laterais, a simulação 1/12-CCH foi forçada com campos diários de velocidade ( $u$  e  $v$ ), temperatura, salinidade e espessura de camada interpolados a partir dos resultados da simulação 1/4°. Esta última por sua vez foi forçada com informação extraída da climatologia mensal da base WOA mediante um relaxamento newtoniano das variáveis do modelo para temperatura, salinidade e espessura das camadas climatológicas. Foram consideradas zonas *buffer* ao longo de todos os contornos. Na Tabela 2 são apresentadas as principais características das zonas buffer (espessura, tempo de restauração, etc).

Na simulação em 1/4°, nos contornos leste (no sul da África) e oeste (Estreito de Drake), além do relaxamento para a climatologia, foi adicionada uma condição de contorno aberta para a componente barotrópica da velocidade. Desta forma, visou-se levar em consideração a circulação da Corrente Circumpolar Antártica (CCA) necessária para simular de forma realista o padrão de correntes e a distribuição de massas de água no Oceano Atlântico Sul (GABIOUX, 2008). Considerou-se um transporte barotrópico total de 110 Sv, com distribuição espacial uniforme na seção e constante temporalmente.

Tabela 2 - Principais características das zonas buffer utilizadas nos experimentos de 1/4 e 1/12 grau.

Características	1/4 grau	1/12 grau aninhado
Largura Contorno Norte [graus]	3,0	0,8
Tempo de restauração [dias]	5 a 30	0,1 a 9
Largura Contorno oeste [graus]	3,0	-----
Tempo de restauração [dias]	5 a 30	-----
Largura Contorno leste no sul da Africa [graus]	4,5	1,0
Tempo de restauração [dias]	5 a 30	0,1 a 9
Largura Contorno leste no Mediterrâneo [graus]	2,75	1,0
Tempo de restauração [dias]	1 a 30	0,1 a 9

Esta simulação foi inicializada a partir de um campo de massa da climatologia do WOA e velocidades nulas. O instante inicial corresponde ao dia 31/12/1984 e o período total de integração foi de 26 anos (1985-2010). A simulação 1/12-CCH foi inicializada a partir de um campo instantâneo de uma simulação prévia em 1/12° de resolução espacial sem emprego do C&H. A data de início da simulação 1/12-CCH foi 14/10/1992 coincidindo com o início do intervalo disponível de dados de anomalia de SSH da AVISO. A incorporação de dados altimétricos foi realizada com o método de C&H com um intervalo temporal de 7 dias. Foram integrados no total 18 anos completos (1993 a 2010). Os resultados das simulações 1/4° e 1/12-CCH correspondentes as variáveis bidimensionais e tridimensionais foram armazenados com intervalo diário e a cada 6 horas, respectivamente.

### **2.3 Os dados observacionais**

Para avaliação da base hidrodinâmica foi utilizado um conjunto de 4 séries temporais medidas de altura do nível do mar (SSH) em estações costeiras, 7 séries de correntes medidas (intensidade e direção) disponibilizadas pela PETROBRAS, campos diários de anomalia de SSH da AVISO e imagens de TSM do GOES.

#### Séries de elevação (SSH)

As séries de SSH medidas junta à costa formam parte do projeto GLOSS (<http://www.goosbrasil.org/gloss/index.html>). Do conjunto de dados disponíveis foram selecionadas 4 estações ao longo do litoral brasileiro incluindo Macaé (RJ, 22° 14'S - 41° 28'W), Ilha Fiscal (RJ, 22° 56'S - 43° 08'W), Cananéia (SP, 25° 01'S - 47° 56'W) e Imbituba (SC, 28° 08'S - 48° 24'W), cuja localização é mostrada na Figura 2. As séries são horárias sendo o período de dados coincidente com os resultados simulados de 2004 a 2006, com exceção de Ilha Fiscal que se estende até 2007. Na Tabela 3 é apresentado, para cada estação, o período selecionado para a presente análise. O mesmo foi definido após uma verificação da qualidade do dado que permitiu a identificação dos intervalos sem informação, dados espúrios, etc.

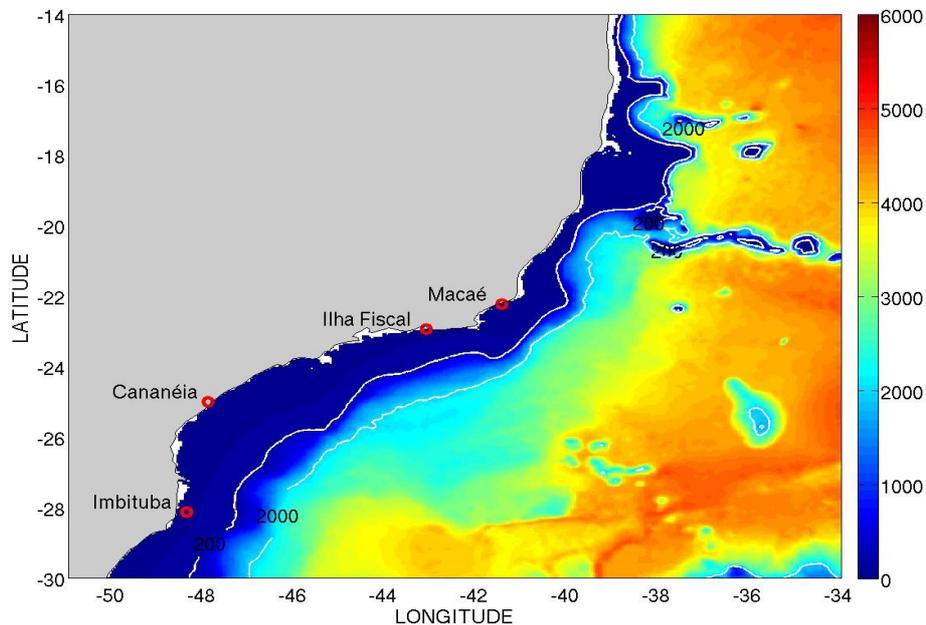


Figura 2: Localização das estações maregráficas do Projeto GLOSS (Imbituba, Cananéia, Ilha Fiscal e Macaé).

Tabela 3: Período de tempo selecionado para cada estação do GLOSS.

Estações	Intervalo dos dados
Imbituba - SP	01/02/2005 - 31/12/2006
Cananéia - SP	01/01/2004 - 21/10/2005
Ilha Fiscal - RJ	01/01/2004 - 31/12/2006
Macaé - RJ	01/01/2004 - 31/12/2006

### Séries de correntes

Os locais das medições dos dados de correntes utilizados no presente relatório são apresentados na Figura 3. Estes dados permitiram realizar uma comparação com o modelo nas bacias do Espírito Santo, Campos e Santos. Na bacia do Espírito Santo, os dados selecionados foram os de um fundeio no campo de Golfinho (localizado na região do talude continental) e outro próximo ao porto de Ubu (localizado na plataforma continental interna); na bacia de Campos, foram selecionados os dados das plataformas de produção FPSOBR, P48, P40 (todos na região do talude)

e PPG1 (na plataforma continental externa) e na Bacia de Santos os dados selecionados foram medidos na bóia oceanográfica denominada BS-500 (na região do talude). Na Tabela 4 são apresentadas as principais características das séries medidas (coordenadas geográficas, a lâmina d'água e as datas inicial e final de cada medição). Todos os dados foram medidos utilizando perfiladores de correntes ADCP (Acoustic Doppler Current Profile).

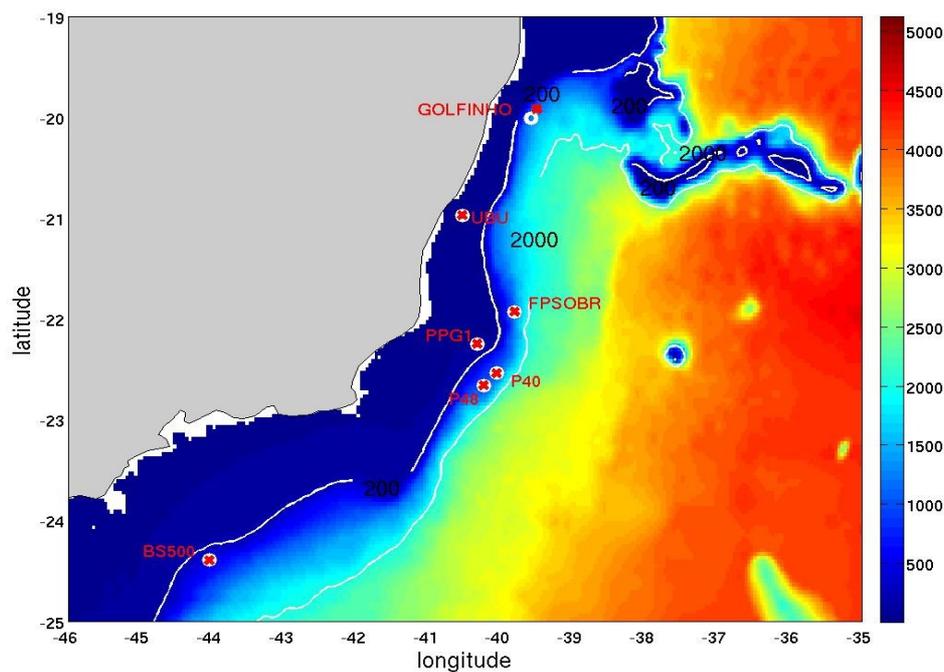


Figura 3: Localização dos dados de corrente da PETROBRÁS (BS500, P48, P40, PPG1, FPSOBR, UBU e GOLFINHO).

Tabela 4: características das séries de corrente medidas.

Plataforma	Intervalo dos dados	Profundidades de medição	Cota (m)
UBU	12/07/2007 – 15/10/2005	1,19 a 18,69 (20 níveis a cada 0,5 m)	20
PPG1	01/01/2007 – 31/12/2007	15,66 a 27,66 (4 níveis a cada 4 m)	100
P40	01/01/2007 – 31/12/2007	39 a 567 (23 níveis a cada 24 m)	1070
P48	01/05/2007 – 31/12/2007	25 a 601 (37 níveis a cada 16 m)	1040
FPSOBR	01/01/2007 – 31/12/2007	45 a 669 (27 níveis a cada 24 m)	1260
GOLFINHO	30/07/2004 – 22/01/2005	13,5 a 93,5 (9 níveis a cada 10 m)	1300
BS500	03/06/2008 – 07/02/2009	6,25 a 53,75 (20 níveis a cada 2.5 m)	500

### Campos de Anomalia de SSH

Os campos de anomalia de elevação da superfície do mar (SSH) utilizados com o método de C&H e nas análises posteriores formam parte de um conjunto de dados altimétricos gerados pela agência francesa AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data – <http://www.aviso.oceanobs.com>). Estes dados correspondem ao período Outubro de 1992 a Dezembro de 2010, apresentados em uma grade Mercator com resolução de  $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ . Os campos de anomalia de SSH foram produzidos a partir de informação de altimetria multisatélite, relativos a uma média de 7 anos da altura da superfície do mar. A combinação de dados satelitais de diferentes missões (TOPEX/POSEIDON (T/P), ERS-1/2, Jason-1, etc) permite mapear as variações da superfície do mar por longos períodos de tempo de forma acurada e com alta resolução espacial (DUCET et al., 2000; LE TRAON et al., 1998, 2003).

### Campos de TSM

Foram utilizadas na presente análise imagens de TSM decorrentes de composições de 72h gerada a partir de informação diária de TSM obtida pelo satélite GOES 12, com resolução espacial de 6km. As composições foram produzidas pelo Laboratório de Meteorologia Aplicada (LMA) da UFRJ, no escopo de um projeto de pesquisa e desenvolvimento em parceria com a PETROBRAS (PAES, et al., 2005).

## **2.4 Considerações gerais sobre as análises**

Um aspecto importante a ser salientado em relação as análises é que os pontos de medição não contêm dados em superfície, em função das limitações observacionais, mas sim em subsuperfície (por exemplo, em P40 o nível mais superficial de medição está a 39m de profundidade, enquanto em BS500 está a 6m de profundidade). Para validação foi utilizado o nível mais superficial em cada ponto de dados. Desta forma, a validação, mesmo quando pontual e utilizando séries de dados medidos, não é propriamente da base hidrodinâmica, constituída por campos de superfície, mas sim da simulação que gerou esta base. A consistência entre as correntes de superfície e de subsuperfície, contudo, pode ser inferida a partir dos resultados do próprio

modelo e com este fim foram calculados: a) a correlação entre as velocidades em superfície e a 50 m de profundidade para inverno e verão, para todo o domínio (Figura 4); e b) a correlação entre a série de velocidades simuladas em superfície e na profundidade de análise para os pontos dos fundeios (Tabela 5). Os altos valores de correlação em ambos os casos sugerem que as análises em subsuperfície refletem também, em grande parte, o comportamento das correntes de superfície.

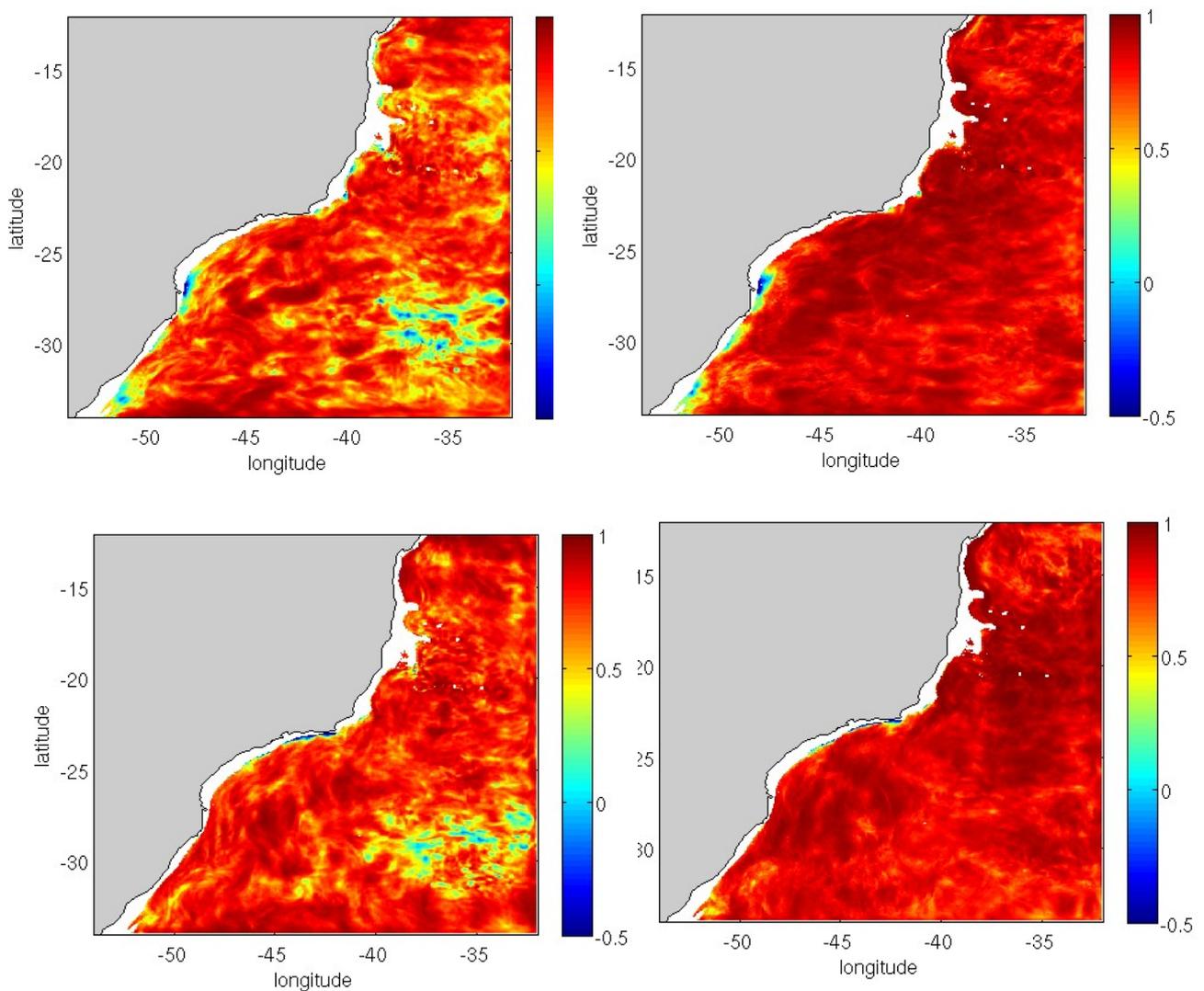


Figura 4: Correlação entre as velocidades em superfície e a 50 metros a partir das simulações em 2007. No painel superior esquerdo apresenta-se a correlação da velocidade zonal no verão; no painel superior direito a da velocidade zonal no inverno. As correlações da velocidade meridional no verão e inverno são apresentadas nos painéis inferiores esquerdo e direito respectivamente.

Tabela 5: Coeficientes de correlação entre a série de velocidades (u e v) em superfície e na profundidade de análise, a partir dos resultados simulados.

Pontos de medição		U	V
Golfinho	5m vs 15m	0.9626	0.9632
FPSOBR	1m vs 45m	0.8735	0.9296
P40	1m vs 39m	0.9098	0.9460
P48	1m vs 25m	0.9625	0.9439
PPG1	1m vs 15m	0.9553	0.9479
BS500	1m vs 5m	0.9954	0.9906

Vale salientar também que no caso do fundeio de UBU (localizado a 20 m de profundidade), onde existem registros de correntes ao longo de quase toda a coluna de água (Tabela 4), foi realizada uma integração na vertical da velocidade. Isto permitiu realizar uma análise mais consistente da maré que é uma feição predominantemente barotrópica. Neste caso a velocidade média na vertical observada foi comparada com a velocidade barotrópica simulada pelo modelo. Novamente esta análise reflete o que ocorre em superfície, como pode ser observado na comparação das séries de velocidade zonal e meridional barotrópica e de superfície simuladas (Figura 5).

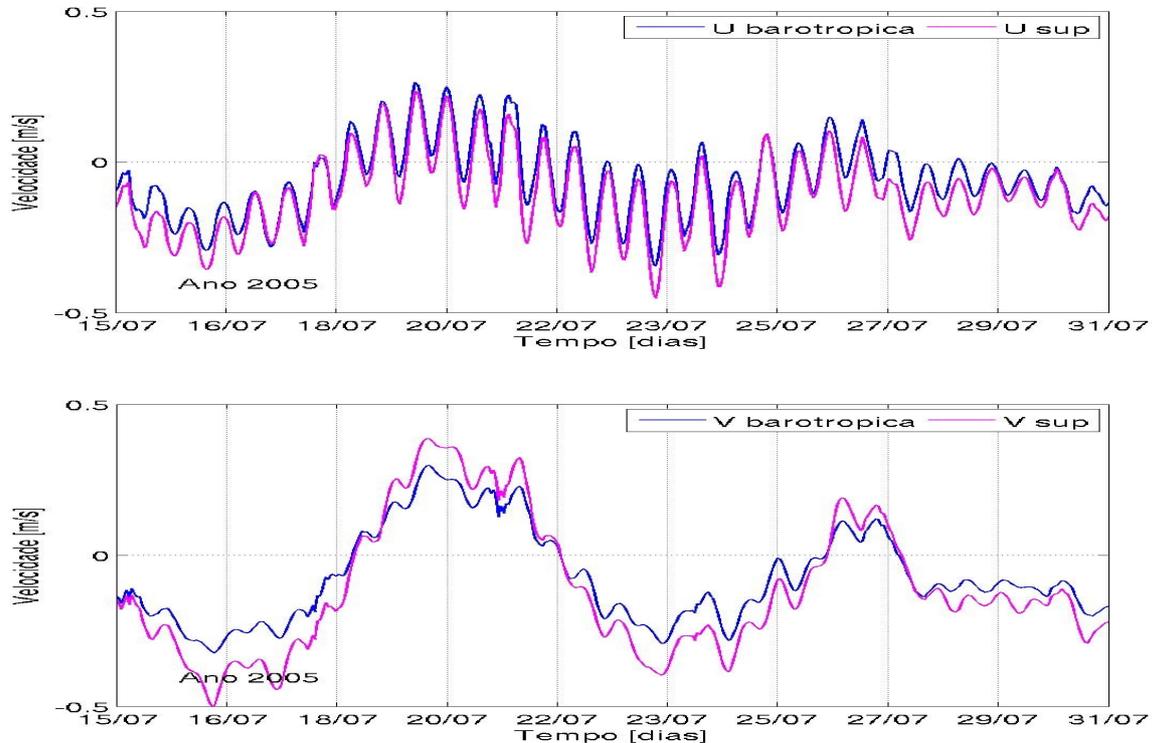


Figura 5: Comparação das velocidades barotrópica (em azul) e em superfície (em magenta) simuladas em UBU (período 15/07/05 - 31/07/05). O painel superior corresponde à componente zonal e o inferior à meridional.

### **3 Análise da base**

Na validação da base privilegiamos a análise de processos, buscando identificar fenômenos oceanográficos e sua representação nos dados e no modelo. A análise será apresentada a partir de uma avaliação geral da qualidade das simulações (seção 3.1), seguida das comparações pontuais nas coordenadas das observações. Inicialmente serão apresentadas todas as séries temporais brutas, geradas a partir de modelo e dados (seção 3.2), seguidas da análise por processo dominante: marés astronômicas (seção 3.3), ondas confinadas costeiras ou maré meteorológica (seção 3.4), baixa frequência no oceano, incluindo a meso escala (seção 3.5) e alta frequência no oceano, incluindo entre outros fenômenos ondas e marés internas e oscilações inercias (seção 3.6).

#### **3.1 Análises básicas**

A simulação 1/24-CCH tem como condições iniciais campos derivados de outra simulação em 1/24° mas sem C&H, ou seja, os campos de massa e correntes já estão próximos de uma situação de equilíbrio. Isto pode ser verificado na Figura 6 onde se apresenta a evolução ao longo do período do experimento 1/24-CCH da energia cinética média no domínio da simulação. Observa-se que o valor de energia oscila em torno de um valor médio que apresenta apenas leve tendência de aumento durante a simulação. Este valor médio é significativamente superior passando-se de 1/4° para 1/12° (também incluídos na figura) e para 1/24°, devido ao aumento de resolução e no último caso também devido à inclusão da maré.

A Figura 6 inclui ainda a evolução da energia cinética média em uma simulação análoga à de 1/24°, mas sem a implementação do C&H. Os níveis energéticos são bastante similares nos dois casos, indicando que o C&H não modifica a energia do modelo em termos médios. Entretanto ele modificará a distribuição da energia em superfície como visto adiante.

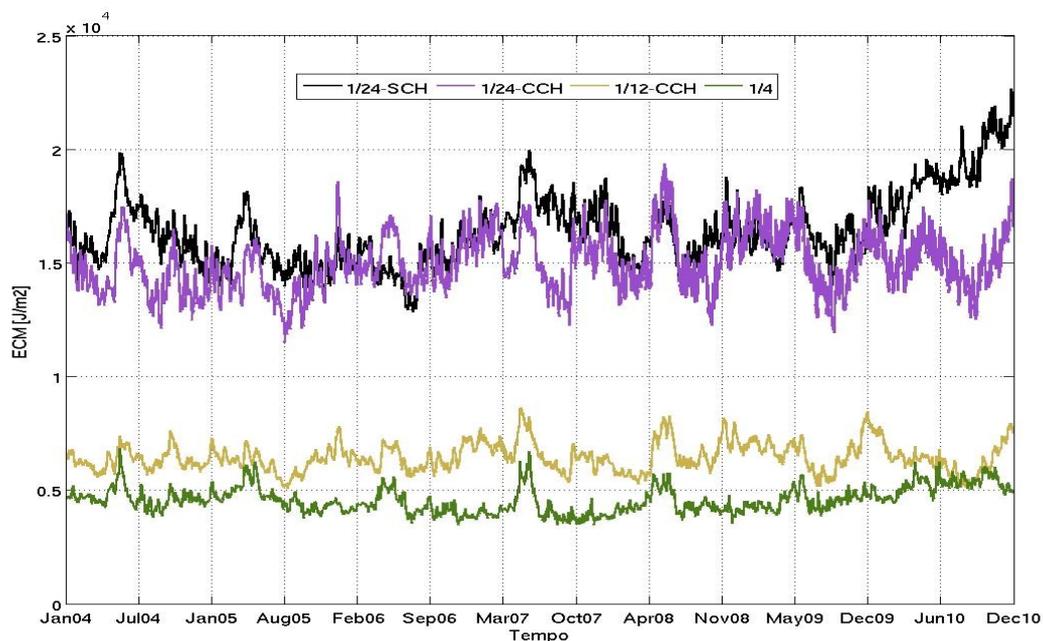


Figura 6: Evolução temporal da energia cinética média, no domínio do  $1/24^\circ$ , para experimentos:  $1/4$ (verde),  $1/12$ -CCH(amarelo),  $1/24$ -CCH(roxo) e  $1/24$ -SCH(preto)

Em relação ao campo de massa a evolução da temperatura e salinidade média no domínio (não apresentado) mostrou que todas as simulações livres (sem C&H) apresentaram-se estáveis com uma leve tendência ao aquecimento e salinização. No período analisado (2004-2010) o aquecimento foi da ordem de  $0,2^\circ\text{C}$  nas simulações em escala de bacia e de  $0,1^\circ\text{C}$  nas aninhadas ( $1/12^\circ$  e  $1/24^\circ$ ) e a salinização em torno de 0,02 e 0,015 respectivamente. A implementação do C&H não altera significativamente estes resultados. A transferência de informações entre as grades no processo de aninhamento parece funcionar adequadamente, com diferenças mais significativas entre os experimentos associadas ao incremento de resolução. Isto pode ser verificado nos campos médios de elevação de superfície para os três domínios (Figura 1), que apresenta uma transição suave dos campos entre as grades, com maior riqueza de estruturas com o aumento de resolução. Quanto à estrutura de massa, conforme ilustrado por uma seção meridional média de salinidade (Figura 7) não há diferenças significativas entre os três casos.

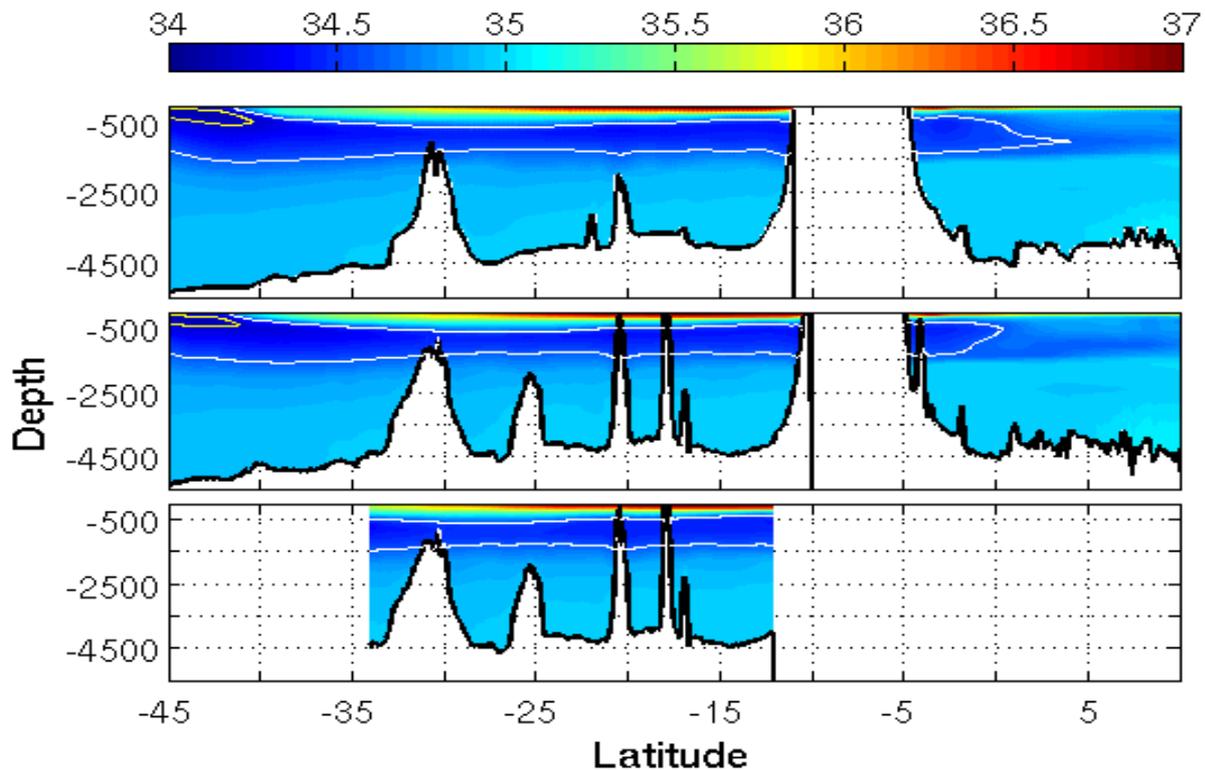


Figura 7: Distribuição meridional da salinidade média no período 2004-2010 em 38W, para a simulação 1/4° (painel superior), 1/12° (painel central) e 1/24° (painel inferior).

Outro aspecto da modelagem que ilustra bem a passagem de informações entre as grades é a representação de ondas confinadas costeiras, as quais são observadas no litoral brasileiro sendo responsáveis por oscilações significativas da elevação junto à costa e do campo de correntes sobre a plataforma continental. Este aspecto é importante pois estas ondas são geradas na realidade em latitudes mais elevadas do que as representadas na simulação regional em 1/24°. Desta forma, sua formação é capturada apenas pelos domínios maiores, de 1/4° e 1/12°, e elas se propagam no modelo regional a partir da imposição das condições de contorno laterais. A Figura 8 ilustra para um pequeno intervalo de tempo, representativo porém de todo o intervalo simulado, como há pouca variação entre a representação destas ondas nos três domínios simulados.

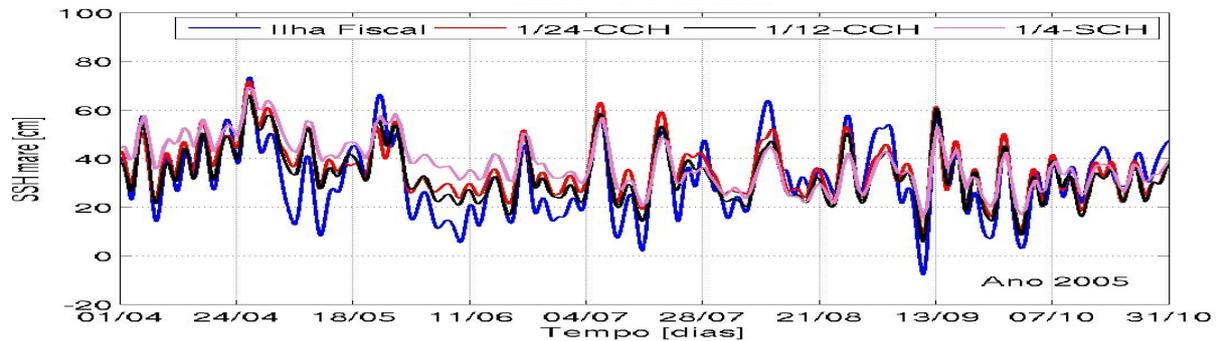


Figura 8: Série temporal de níveis na costa em Ilha Fiscal para o período de 01/04/2005 a 31/10/2005.

Já em relação a campos médios em superfície, o modelo representa bem a salinidade média (não mostrado), mas apresenta um viés (ou *bias*) com temperaturas consistentemente mais elevadas do que valores climatológicos em cerca de 1 a 2 graus (Figura 9). Este é um problema recorrente em todos os domínios de simulação e nos casos com ou sem C&H, cuja causa não está clara. É possível que esteja relacionado de alguma forma aos campos de forçante em superfície, mas pode também ser reflexo da dinâmica das camadas superiores simulada. Estudos preliminares, contudo, indicam que a camada de mistura superior do oceano é adequadamente simulada (COSTA Jr, 2012). No momento este aspecto é parcialmente contornado com a inclusão de um relaxamento das temperaturas de superfície para a climatologia, com uma constante de relaxamento suave o bastante para não inibir o desenvolvimento de variabilidade sinótica ou de mesoescala no campo de temperatura. Outra possibilidade utilizada comumente em modelagem oceânica, mas ainda não testada nestes experimentos, é a inclusão de um pequeno bias na radiação em todo o domínio, diminuindo a energia incidente. Este problema requer maiores investigações em desenvolvimentos futuros da simulação.

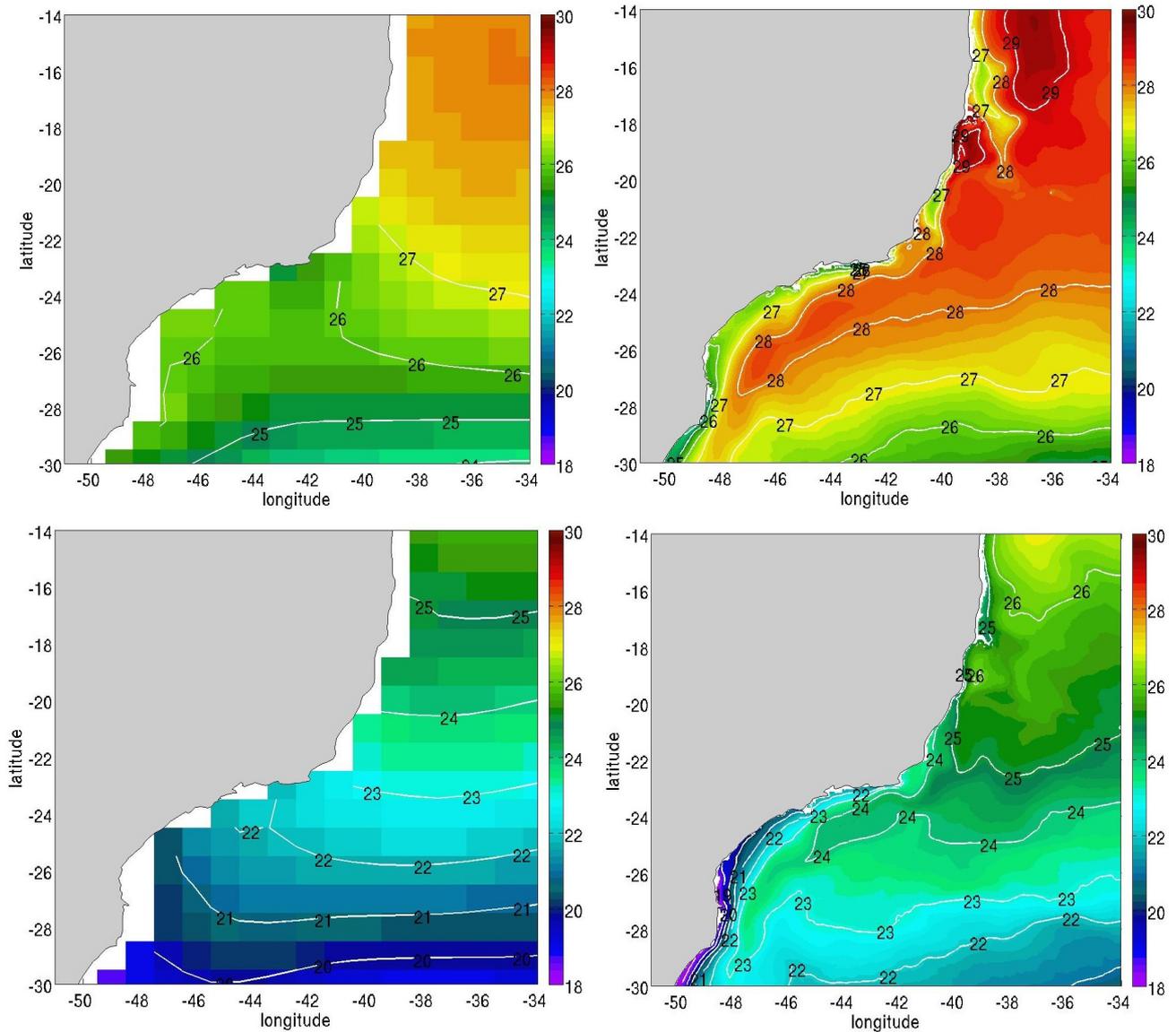


Figura 9: Temperaturas médias em superfície para verão (painel superior) e inverno (painel inferior) calculadas com a climatologia do WOA (esquerda), e a simulação 1/24-CCH no período 2004-2010 (direita).

### A Corrente do Brasil

O modelo representa uma Corrente do Brasil (CB) realista, ocupando as primeiras centenas de metros da coluna d'água nas regiões do talude e da plataforma externa. Após “negociar” de maneira bastante diversificada sua passagem pelos canais da Cadeia Vitoria-Trindade (PIMENTEL,

2012), a corrente se reorganiza e flui de forma mais ou menos bem organizada para altas latitudes até a fronteira sul do domínio de modelagem.

A corrente apresenta intensa variabilidade tanto em posição como em extensão vertical ao longo da simulação e, embora seja uma feição robusta, presente em todo o domínio e com uma assinatura marcante no campo médio (Figura 10 e Figura 11), por vezes chega a ser de difícil identificação em campos instantâneos. Este problema de delimitação da corrente aparece na análise de seções transversais em momentos de intensa atividade de mesoescala e por vezes em campos superficiais de correntes devido ao transporte de Ekman associado ao vento. Ainda assim é possível calcular-se, ou estimar-se, seu transporte a cada latitude, e este resultado é apresentado na Figura 12 e comparado com transportes estimados a partir de dados observacionais. Em geral o transporte médio é pequeno, conforme esperado, inferior a cerca de 10Sv, apresentando um aumento progressivo em direção a altas latitudes. Existe bastante variação entre as estimativas de transporte apresentados na literatura (conforme mostrado na figura), o que se deve em grande parte as diferentes formas de estimativa direta ou indireta do transporte, mas possivelmente reflete variações reais da corrente. O modelo apresenta também bastante variabilidade no transporte instantâneo em diferentes escalas temporais, dentro da faixa apresentada na literatura (note que as barras na figura representam um desvio padrão).

A CB média, embora realista, é mais rasa (Figura 10) do que esperado com base na literatura e, possivelmente, em função disso invade com alguma frequência a plataforma externa, deixando uma assinatura deste processo também no campo médio (Figura 11). Este aspecto da simulação é relevante não somente em termo hidrodinâmicos, mas também porque o campo médio em superfície (na verdade SSH médio) é utilizado como base para aplicação da técnica de C&H.

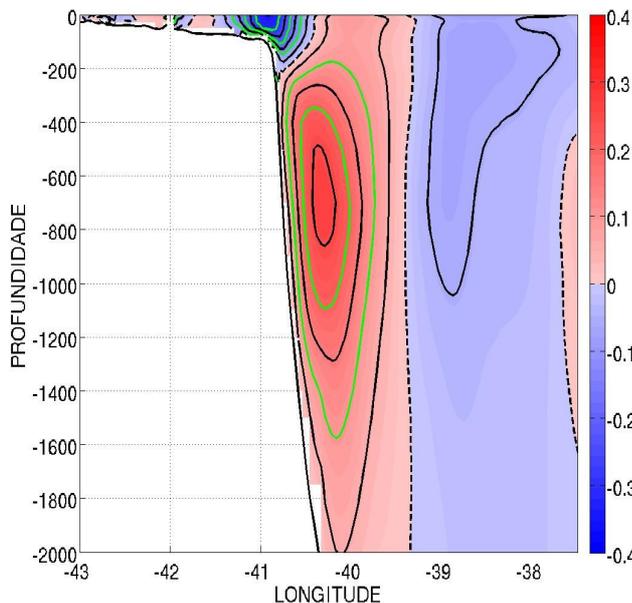


Figura 10: Seção transversal da CB, em 23S, de correntes médias (em m/s) ao longo do período de simulação

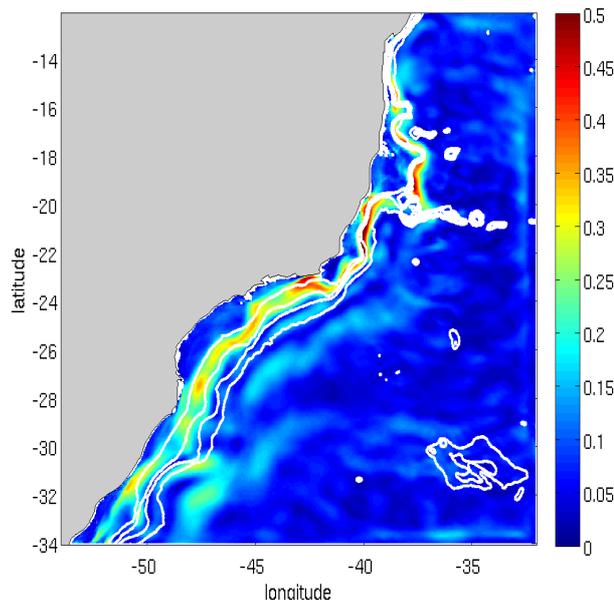


Figura 11: Intensidade média, ao longo do período de simulação, do campo de correntes em superfície (em m/s)

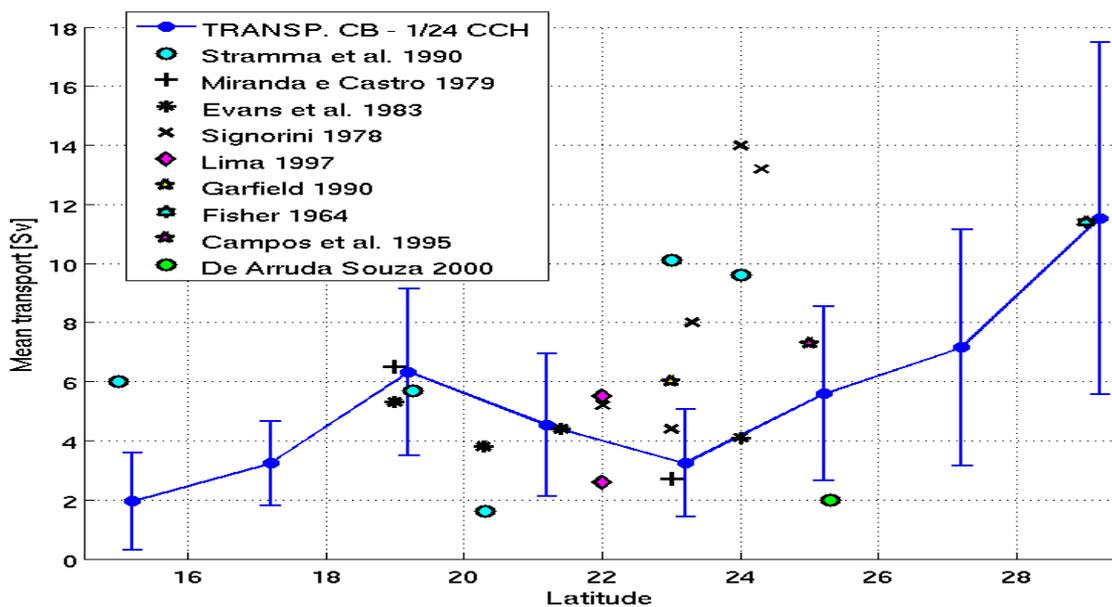


Figura 12: Transporte médio da CB (em Sv) no período de simulação para diferentes latitudes (linha cheia e pontos em azul) e estimativas de transporte apresentadas na literatura para diferentes latitudes (compiladas por SILVEIRA et.al,2000). As estimativas da literatura são baseadas em medições diretas e principalmente em cálculos geostróficos. As estimativas do modelo representam o fluxo total para sul em uma janela fixa em longitude e profundidade, variável a cada latitude.

Subjacente à CB, o modelo simula também de forma realista o fluxo sobre o talude em direção a baixas latitudes da Corrente Intermediária (Figura 10). Esta corrente, centrada em cerca de 700 m de profundidade e ocupando uma considerável extensão vertical, transporta águas de níveis picnoclínicos (Águas Centrais do Atlântico Sul – ACAS) e subpicnoclínicos (Águas Intermediárias Antárticas – AIA). Os valores de velocidade e transporte (não apresentados) são condizentes com a literatura (ver PIMENTEL, 2012, para uma revisão). A corrente está sujeita a intensa variabilidade de mesoescala, por vezes aparentemente desacoplada e por vezes associada à variabilidade da CB em níveis mais superficiais.

No modelo, o fluxo para norte da Corrente Intermediária se inicia em latitudes mais elevadas do que sugerido pelas poucas observações disponíveis (MULLER *et al* 1998). Testes preliminares sugerem que este aspecto da simulação, assim como as menores profundidades da CB quando comparadas à realidade, estão associadas à resolução vertical do modelo. Um maior número de camada isopícnais do que empregado atualmente parece ser necessário para que o modelo represente adequadamente o cisalhamento associado as duas correntes. Este aspecto deverá ser contemplado em implementações futuras do modelo, mas certamente trará um custo computacional adicional cujo impacto precisará ser avaliado cuidadosamente.

### A mesoescala

Grande parte das variações do campo de correntes, tanto em superfície como em profundidade, nas regiões da plataforma continental externa, talude e interior do oceano, está associada a processos geralmente agrupados sob a denominação de variabilidade de mesoescala. São perturbações em escala espacial da ordem de  $(10)^5$ m, relacionada dinamicamente ao raio de deformação de Rossby local, e temporal da ordem de dias a meses. Sua gênese está relacionada aos processos de instabilidade barotrópica e, principalmente, baroclínica, das correntes, mais intensos no caso de correntes relativamente fortes como a Corrente do Brasil e a Corrente Intermediária. Pode estar relacionada ainda a perturbações com vorticidade relativa elevada e mais ou menos organizadas, não diretamente associadas as correntes, refletindo tanto processos locais como fenômenos remotos.

No caso da modelagem oceânica, a referência a “alta resolução” geralmente, e este é o caso da presente simulação, se refere à capacidade da grade numérica de resolver as escalas associadas ao Raio de Deformação de Rossby e, portanto, permitir o desenvolvimento e crescimento de instabilidades. Tanto as simulações em  $1/12^\circ$  como as em  $1/24^\circ$  desenvolvem espontaneamente uma intensa atividade de mesoescala, com níveis mais elevados de energia próximo à região da CB. Com a implementação do C&H, procura-se impor ao modelo a variabilidade do campo de massa (profundidade de isopicnais), e portanto do campo de correntes, a partir de sua assinatura na elevação da superfície do mar percebida pela altimetria (campos do AVISO derivados de observações baseadas em satélites orbitais). A variabilidade de mesoescala presente nas simulações será, portanto, um misto da variabilidade gerada internamente pela física do modelo e daquela capturada pela altimetria.

A variabilidade de mesoescala pode ser percebida tanto em campos instantâneos de velocidade, como também de elevação e de temperatura da superfície do mar. Uma forma de sintetizar esta informação estatisticamente é a partir da representação de mapas de energia cinética turbulenta, basicamente a variância do campo de velocidades (Figura 13 e Figura 14). A boa correspondência entre os campos derivados do AVISO e da simulação  $1/24^\circ$ -CCH não é surpreendente e revela, na verdade, o sucesso da implementação do C&H em condicionar a variabilidade do modelo em superfície aquela observada pelo satélite. Note que a resolução do campo de energia do modelo na Figura 14 foi degradada para permitir a comparação com o AVISO, cuja resolução é de cerca de  $1/3^\circ$  e portanto inferior a resolução de  $1/24^\circ$  do modelo, correspondendo os dois casos ao cálculo da energia a partir do campo de correntes geostrófica derivada da elevação da superfície. A variabilidade de mesoescala, porém, não está restrita à superfície e afeta o campo de correntes em toda a região da picnoclina, como ilustrado para 200 m de profundidade na Figura 15.

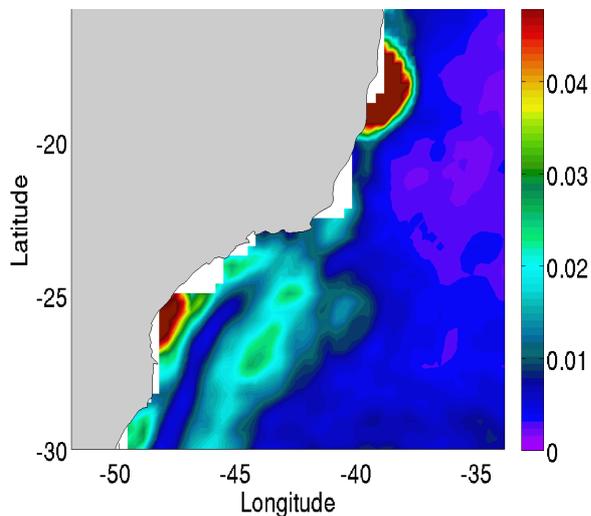


Figura 13: Energia Cinética Turbulenta (ECT), calculada com dados de anomalia de SSH da AVISO para o período de 2004 a 2006.

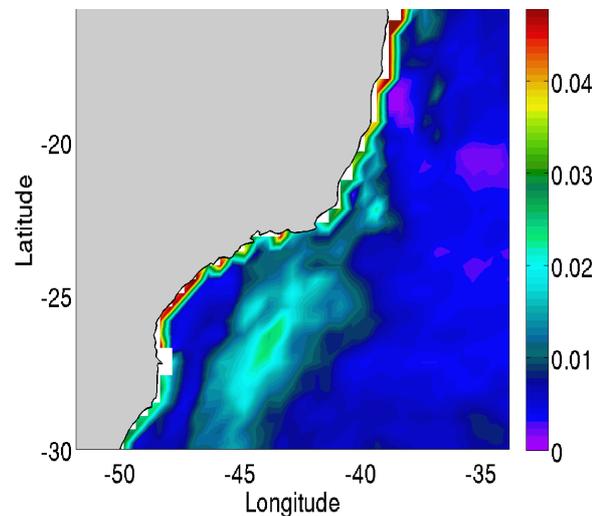


Figura 14: ECT calculada com a anomalia de SSH do 1/24-CCH para 2004-2006.

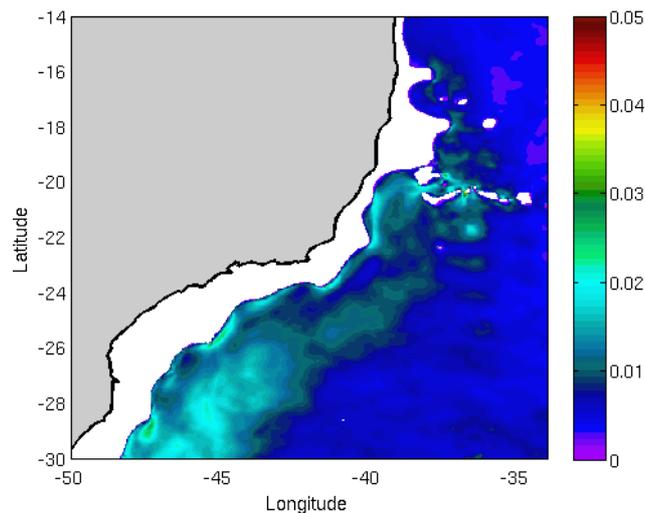


Figura 15: ECT calculada com o campo de correntes a 200 m do 1/24-CCH para 2004-2009.

Os dados da AVISO não fornecem informações diretas sobre velocidades em superfície, mas apenas de anomalia de elevação. Estas velocidades, contudo, podem ser estimadas a partir da anomalia de elevação através do cálculo geostrófico. A implementação do C&H, por sua vez, modifica diretamente o campo de massa e leva, a partir de um ajuste geostrófico do modelo, à modificação do campo de correntes em toda a coluna d'água, incluindo a superfície. Quando se avalia a simulação e a eficácia do C&H, pode-se esperar apenas que o campo de correntes do

modelo convirja para o campo de anomalias de velocidade associadas as anomalias de elevação da altimetria. Desta forma foi feita uma comparação, para todo o domínio de modelagem, entre os campos de anomalia de velocidade geostrófica inferidos da altimetria com os campos de anomalia da velocidade em superfície simulada pelo modelo, o que é ilustrado nas Figuras 16 e 17 para duas posições distintas. Observa-se, inicialmente, nos dois casos apresentados, que o modelo contém informações em alta frequência não presentes na altimetria, devido a baixa resolução espacial e temporal desta. Observa-se ainda que o sinal de baixa frequência da altimetria é parcialmente capturado pelo modelo, cujo nível de aderência ao dado varia ao longo do tempo e de ponto para ponto. O coeficiente de correlação entre anomalias de velocidade de dado e modelo, filtrada a alta frequência, apresentado na Figura 18 para todo o domínio, por outro lado, ilustra bem a eficácia do modelo e do C&H. Correlações acima de 0,7 ou 0,8 estão presentes na maior parte do domínio. Altas correlações não são esperadas na plataforma continental, uma vez que o C&H não é aplicado nesta região e a altimetria não captura o efeito das ondas confinadas costeiras. Uma faixa de baixa correlação, pelo menos para velocidade zonal, parece estar associada à presença da Cadeia Vitória Trindade. Melhores correlações são obtidas na porção sul do domínio, não sendo clara a razão para tal. Note ainda que baixas correlações não significam necessariamente que o modelo não representa bem a mesoescala, que pode estar estatisticamente bem representada, mas possivelmente que não houve uma datação adequada da mesma pelo C&H.

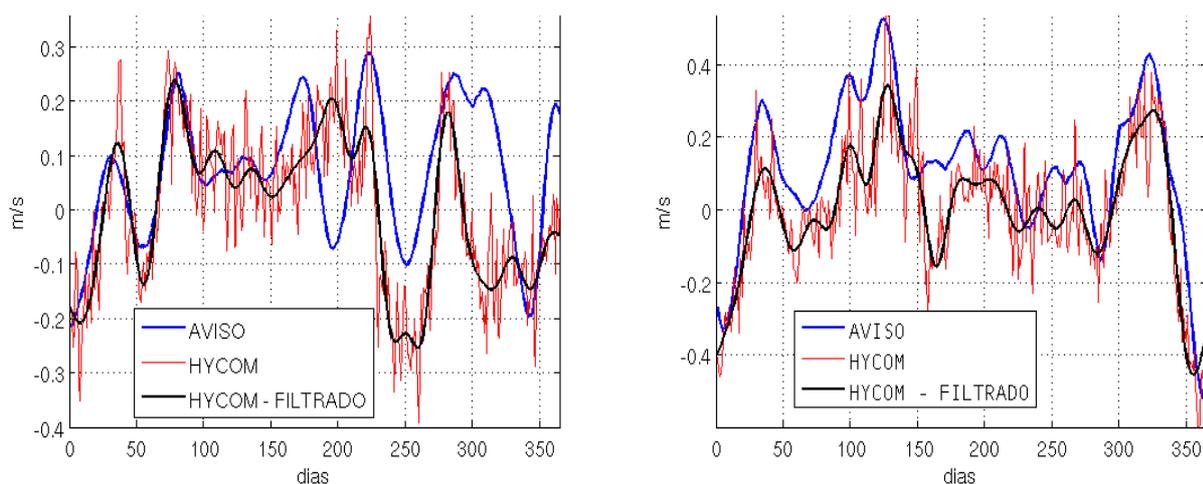


Figura 16: Comparação entre anomalia de velocidade geostrófica derivada da altimetria com anomalias de velocidade em superfície simuladas para o ano de 2007: a linha azul representa o dado, a linha vermelha o modelo e a linha preta o modelo retirada a alta frequência. Nos painéis esquerdo e direito apresentam-se as velocidades zonais e meridionais correspondentes ao ponto localizado em 27,0591S e 43,7917W. (ver também Figura 18)

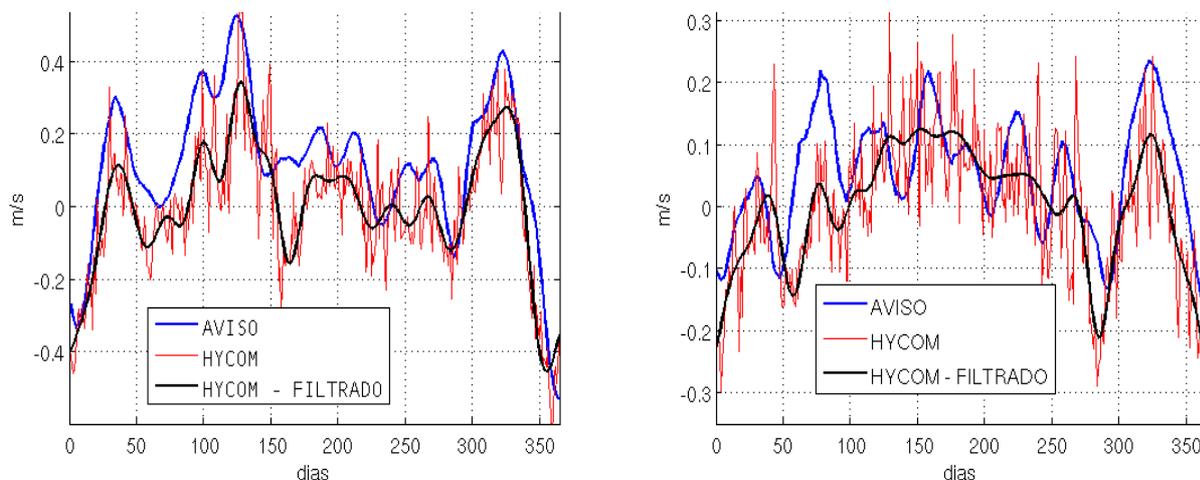


Figura 17: Comparação entre anomalia de velocidade geostrófica derivada da altimetria com anomalias de velocidade em superfície simuladas para o ano de 2007: a linha azul representa o dado, a linha vermelha o modelo e a linha preta o modelo retirada a alta frequência. Nos painéis esquerdo e direito apresentam-se as velocidades zonais e meridionais correspondentes ao ponto localizado em 24,2425S e 41,5W . (ver também Figura 18)

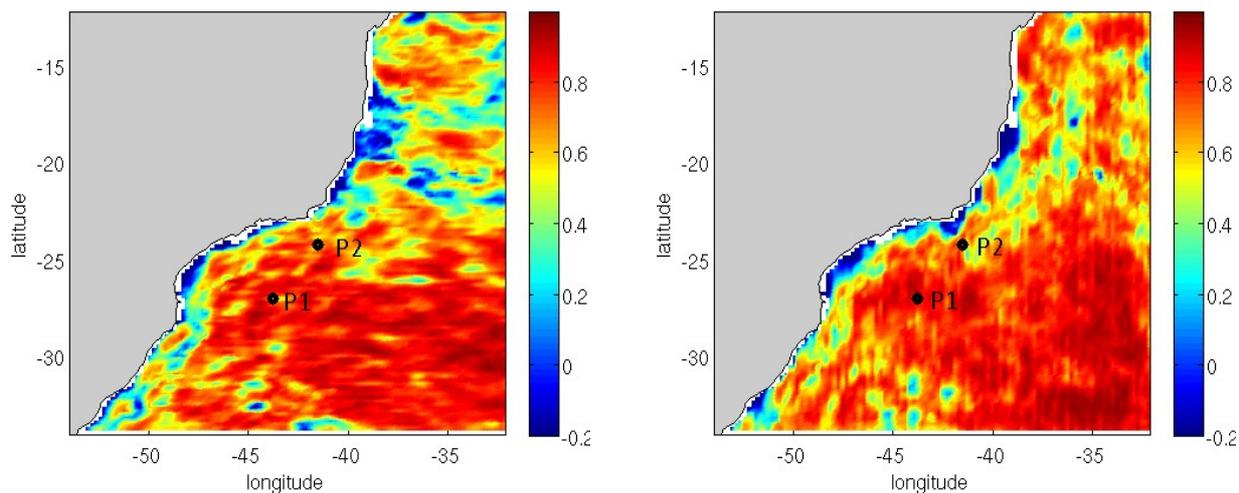


Figura 18: Coeficiente de correlação entre anomalias de velocidade geostrófica calculadas a partir da altimetria e anomalias de velocidade em superfície simuladas, retirada a alta frequência no caso do modelo, para o ano de 2007 em todo o domínio. No painel esquerdo apresentam-se os coeficientes de correlação para as velocidades zonais e no painel direito os coeficientes de correlação para as velocidades meridionais.

Um aspecto importante associado a mesoescala na região modelada é a presença de meandros da CB que muitas vezes se fecham em vórtices, os quais podem se desprender da corrente, sendo emitidos para o interior do oceano, ou serem reabsorvidos pela corrente. Ao largo da

costa SSE brasileira, é recorrente a formação de circulações ciclônicas nas proximidades de São Tomé e de Cabo Frio, geralmente referidas como o Vórtice do Cabo de São Tomé - VST (GARFIELD III, 1990) e o Vórtice de Cabo Frio - VCF (MASCARENHAS et al., 1971). Serão apresentados a seguir dois eventos específicos, um em novembro de 2009, representando o VST, e outro em julho de 2006 representando o VCF. Desta forma pretende-se ilustrar o processo conforme representado no modelo, como o C&H consegue inserir (datar) tais feições e alguns problemas e limitações associados.

No primeiro caso, nota-se a presença do VST, centrado em torno de 22.8°S e 40°W, nas imagens de satélite tanto de TSM como de anomalia de elevação do dia 14 de novembro de 2009 (Figura 19 e Figura 20). Esta feição é inserida com relativo sucesso, apresentando uma assinatura não somente nos campos de SSH e TSM, como também nos campos de corrente do modelo em superfície (Figura 21 e Figura 22). Note que no caso das figuras de elevação, o dado corresponde a anomalia tanto de elevação como de correntes, enquanto o modelo corresponde a campos totais de elevação e de correntes. Tanto na região do VST como no restante do domínio, contudo, é possível observar-se diversas feições análogas nos dados e no modelo. O mesmo, porém, não é esperado na região da plataforma continental onde o C&H não é aplicado. É importante observar ainda que o vórtice é inserido não apenas em superfície, mas que afeta também o campo de correntes em profundidade (Figura 23). A presença do vórtice causa um afastamento da CB, que se intensifica e aprofunda, até que o vórtice se destaca completamente e a CB volta a fluir para sul (não mostrado).

É evidente ainda, nas figura, o bias quente da TSM do modelo. Note ainda neste caso, em relação à TSM, que embora o modelo reproduza a deformação do campo de temperatura correspondente à formação do vórtice, a frente térmica simulada é menos intensa que a presente no dado. Nas simulações sem C&H (ver anexo A), as frentes térmicas na região costumam ser melhor simuladas (embora não datadas) do que no caso com C&H. Com C&H, como o vórtice é imposto artificialmente mas não há assimilação ou restauração de TSM, a advecção promovida pelo campo de correntes consegue apenas parcialmente modificar a temperatura em função da presença do vórtice. Este é um aspecto recorrente no caso da aplicação do C&H e aparentemente mais significativo no caso do VCF, como visto a seguir.

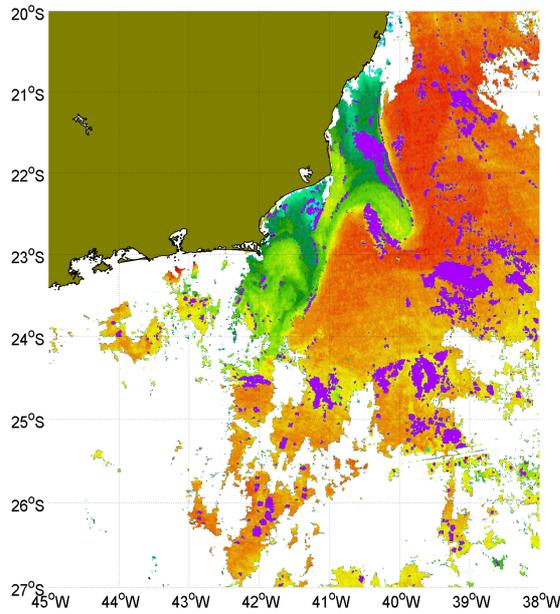


Figura 19: Campo de TSM medido por satélite no dia 14/11/2009.

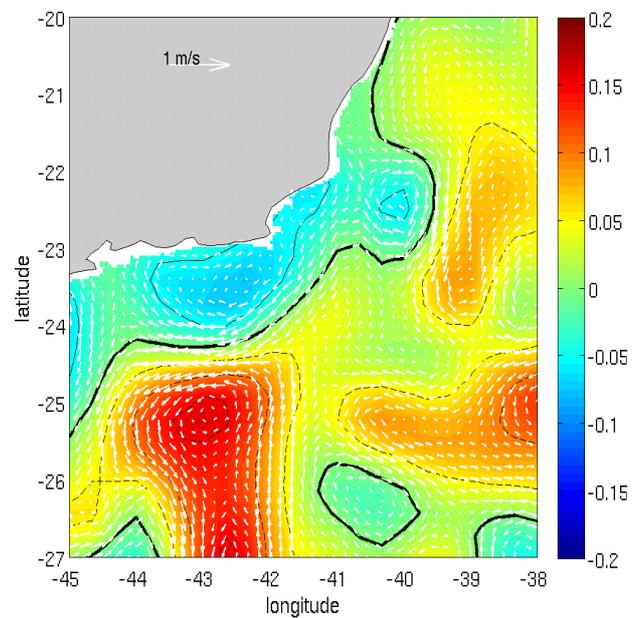


Figura 20: Campo de anomalia de SSH da AVISO e correntes geostróficas para o dia 14/11/2009.

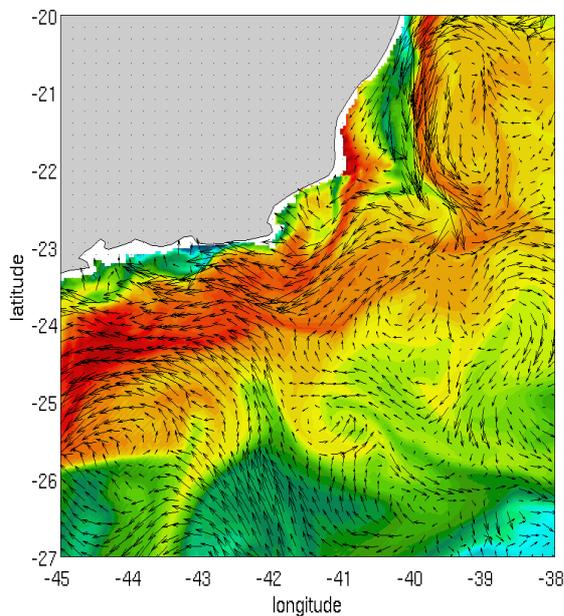


Figura 21: Campos de corrente e TSM simulados no 1/24-CCH para o dia 16/11/2009.

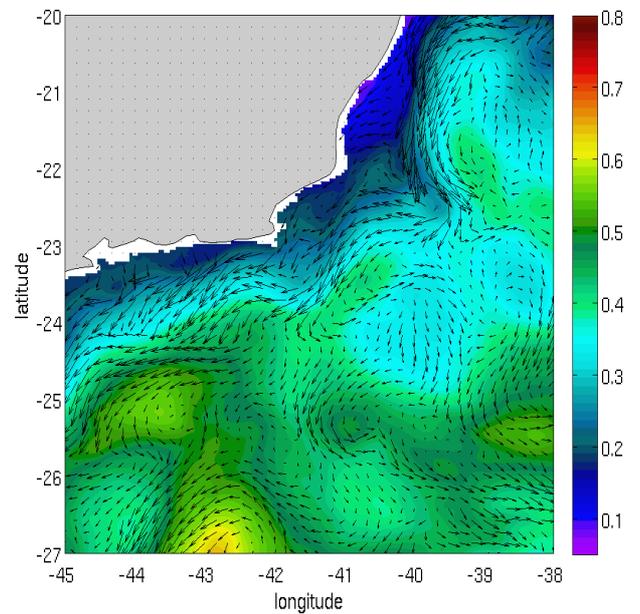


Figura 22: Campos de corrente e SSH simulados no 1/24-CCH para o dia 14/11/2009.

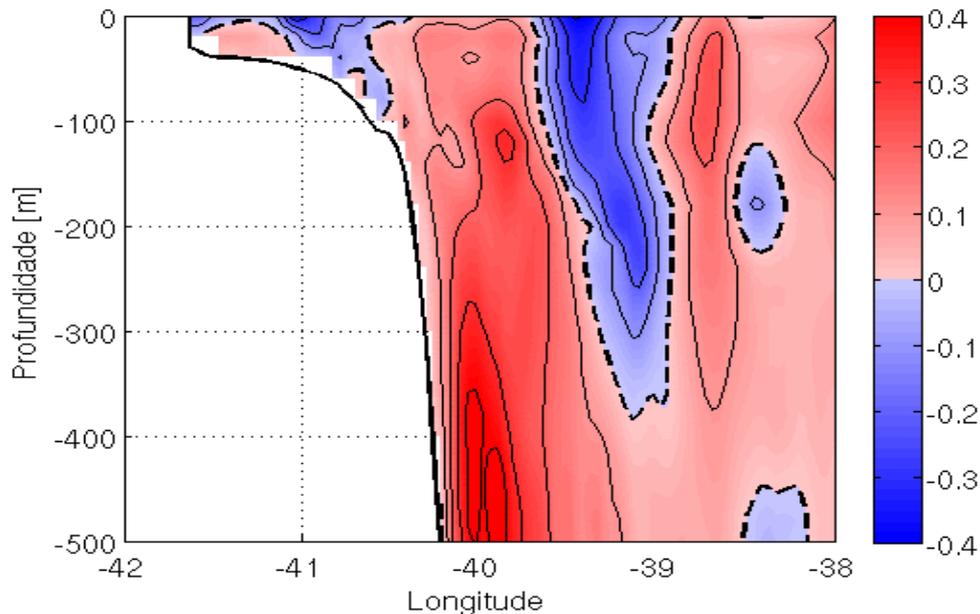


Figura 23: Seção de velocidade na latitude 22,35°S no 1/24-CCH no dia 14/11/2009, ilustrando a influência do VST no campo de velocidades em profundidade..

No segundo caso, nota-se a presença do VCF nas imagens de satélite de TSM e de anomalia de SSH no dia 24 de julho de 2006, centrado em  $\sim 22.3^{\circ}\text{S}$  e  $42.3^{\circ}\text{W}$  (Figura 24 e Figura 25). Na verdade observa-se em SSH a presença de um tripolo, com o VCF mais a leste flanqueado por um vórtice anticiclônico localizado a SE, seguido por outro vórtice ciclônico cuja sequência de imagens e de campos do modelo indica ser um VCF que se destacou da corrente meses antes (GUERRA, 2012). Estas feições estão presentes claramente no campo de SSH do modelo (Figura 27), mas não apresentam uma assinatura clara em TSM (Figura 26). Nota-se, porém, nestas mesmas figuras, a formação de um VST que não tem assinatura na anomalia de SSH mas é bem representado na TSM pelo modelo. Em relação ao VCF e ao tripolo de vórtices, nota-se na Figura 27 que o sinal imposto a partir da informação em superfície da altimetria se estende a grandes profundidades afetando a CB em toda a coluna d'água.

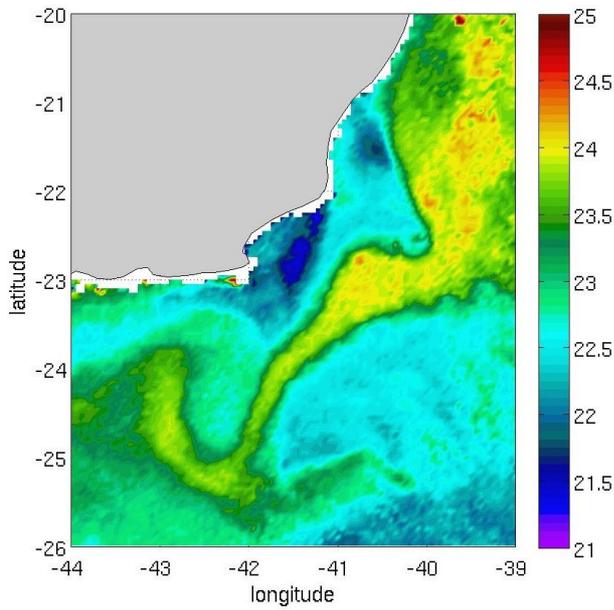


Figura 24: Campo de TSM medido por satélite no dia 24/07/2006.

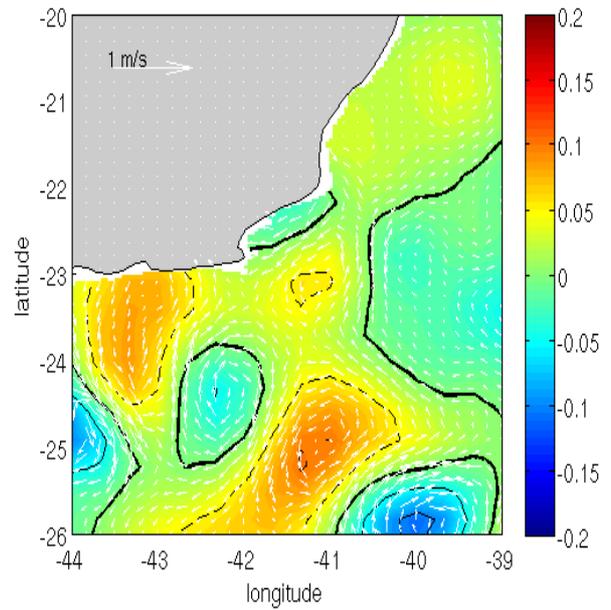


Figura 25: Campo de anomalia de SSH da AVISO e correntes geostróficas para o dia 24/07/2006.

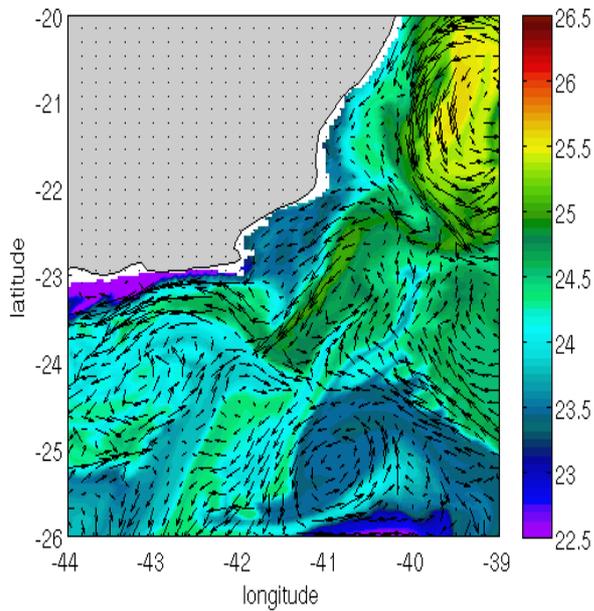


Figura 26: Campos de corrente e TSM simulados no 1/24-CCH para o dia 24/07/2006.

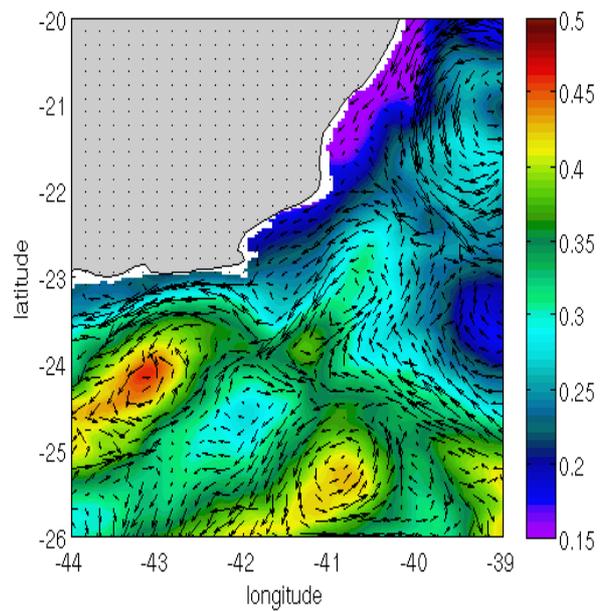


Figura 27: Campos de corrente e SSH simulados no 1/24-CCH para o dia 24/07/2006.

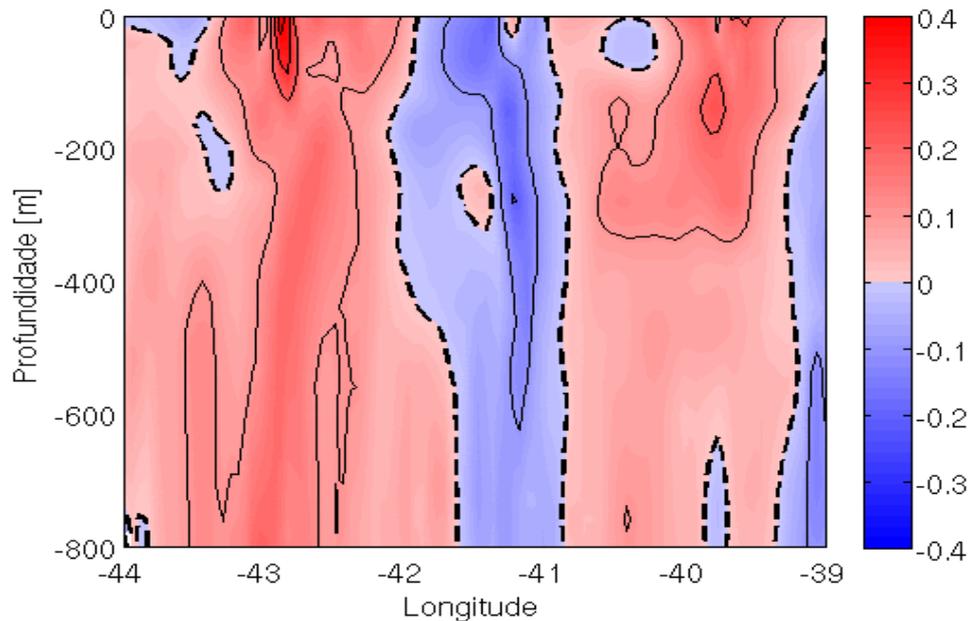


Figura 28: Seção de velocidade na latitude 24,54°S no 1/24-CCH no dia 24/07/2006, ilustrando a influência do VCF no campo de correntes em profundidade.

Os exemplos acima ilustram como o modelo é capaz de reproduzir bem a mesosescala da região (apesar dos problemas com a TSM), como o método de C&H consegue fazer com que o modelo convirja parcialmente para a realidade imposta pelos campos de anomalia de SSH da AVISO, datando até certo ponto a mesoescala, e como a informação proveniente do dado superficial de satélite afeta camadas inferiores do modelo até grandes profundidades. Na comparação direta com dados medidos em fundeios, porém, pequenas diferenças de fase ou de localização das feições poderão comprometer a correlação entre dado e modelo, conforme discutido em LIMA (2011).

### A maré barotrópica

A maré é geralmente tratada como desacoplada da circulação geral do oceano e da plataforma, sendo de difícil observação nestas regiões tanto em relação ao nível d'água quanto às correntes, as quais podem atingir alguns poucos cm/s. No modelo a maré é imposta nos contornos a partir de oito componentes harmônicas derivadas de uma simulação global barotrópica em baixa resolução, denominada TPXO7.2. Uma possível forma de validação da maré é a comparação de

como estas componentes se propagam em todo o domínio simulado neste modelo global e no modelo regional em alta resolução.

Desta forma, campos de SSH e de correntes barotrópicas simulados foram submetidos a análise harmônica, a qual foi comparadas as análises (constantes harmônicas) do TPXO7.2. A boa correspondência entre os dois modelos, tanto em fase como em amplitude, é ilustrada nas Figuras 29 a 40 para SSH e correntes, para uma componente semidiurna ( $M_2$ ) e uma diurna ( $K_1$ ). Conforme esperado, o modelo regional em alta resolução apresenta mais estruturas e variabilidade espacial nos campos do que o modelo global em baixa resolução. Um sinal que se propaga da cadeia Vitória Trindade em SSH é capturado apenas em alta resolução, o que pode estar relacionado tanto à melhor representação da batimetria associada à cadeia como à estratificação presente apenas no modelo regional. Este é um aspecto interessante da simulação que merece ser melhor investigado. Em relação às correntes, observa-se ainda uma amplificação do sinal de todas as componentes sobre a cadeia em relação ao modelo global, o que pode também estar relacionado à diferença em resolução espacial.

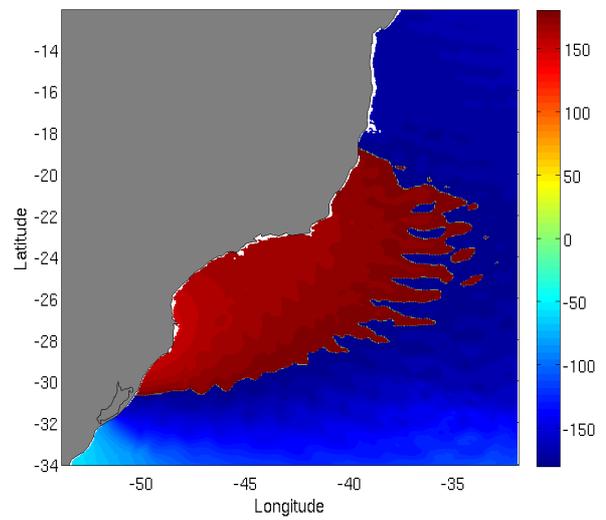
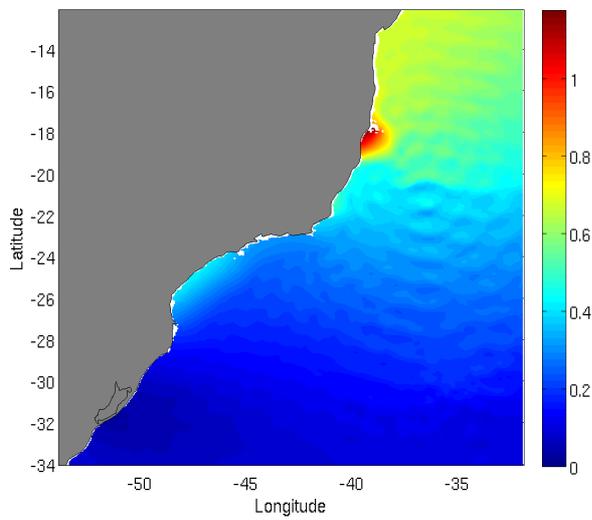
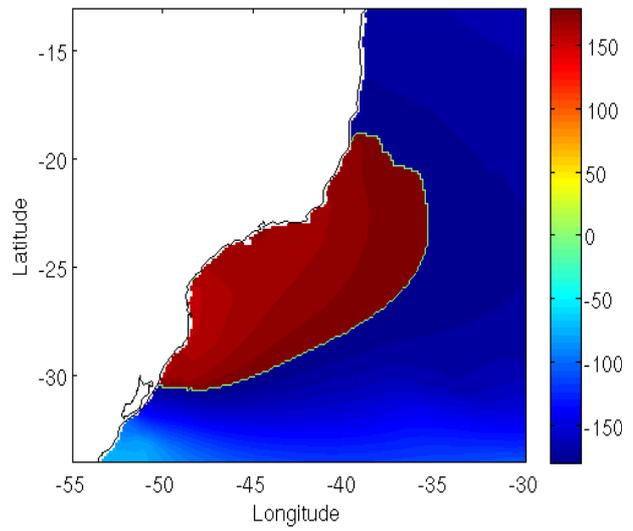
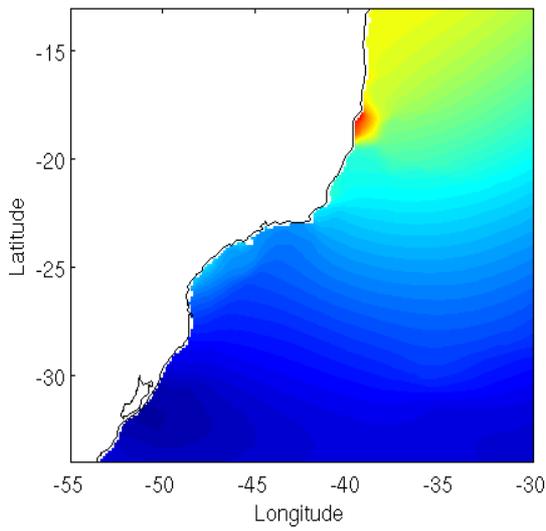


Figura 29: Amplitude da  $M_2$  para SSH do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

Figura 30: Fase da  $M_2$  para SSH do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

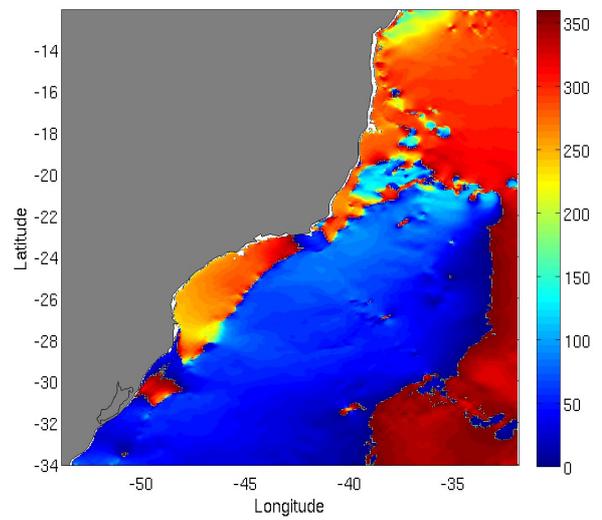
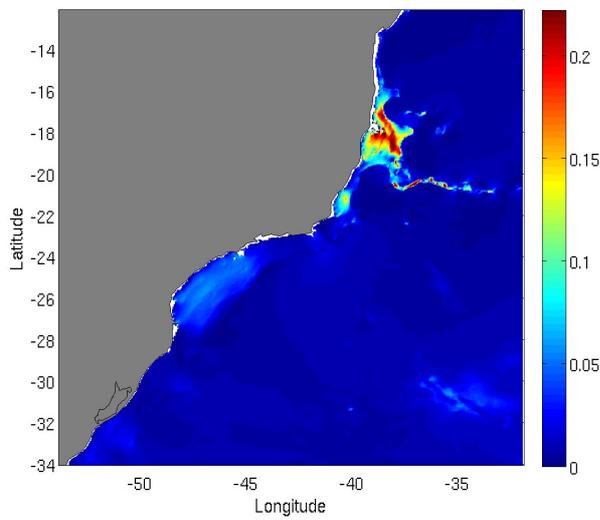
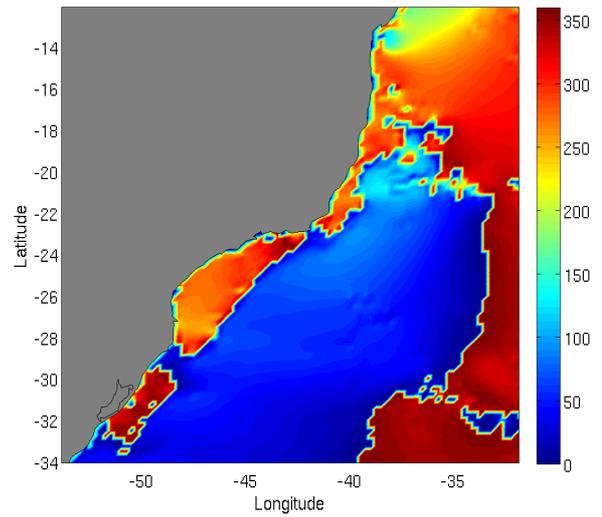
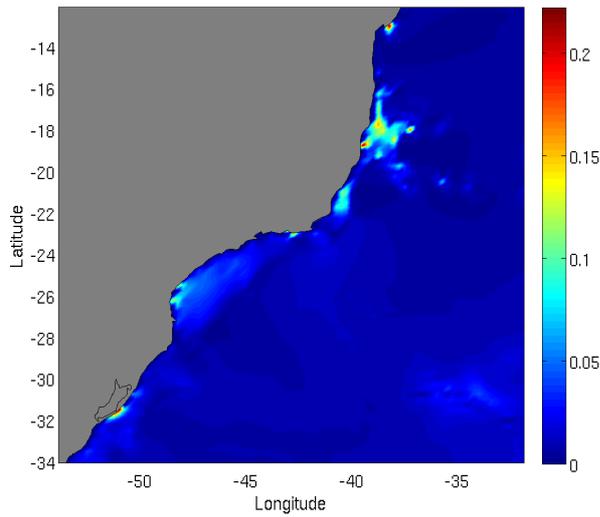


Figura 31: Amplitude da componente  $M_2$  para a componente zonal da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

Figura 32: Fase da componente  $M_2$  para a componente zonal da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

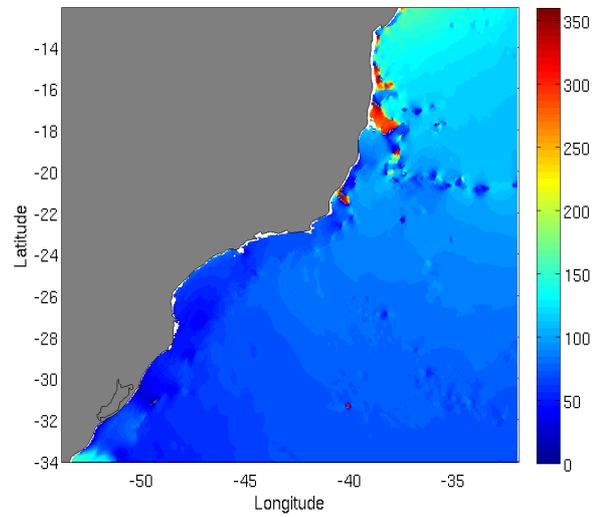
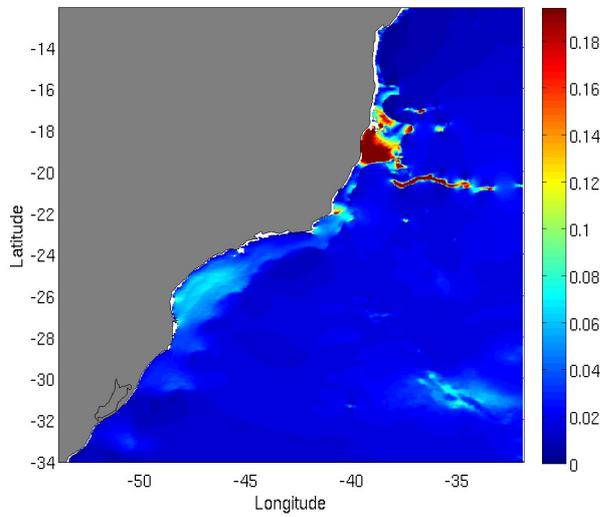
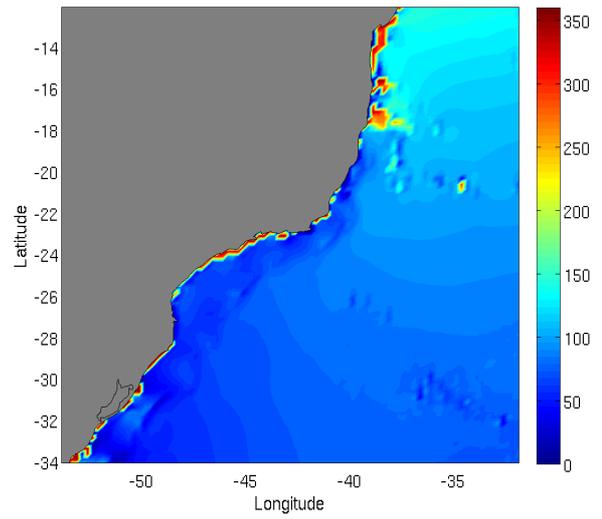
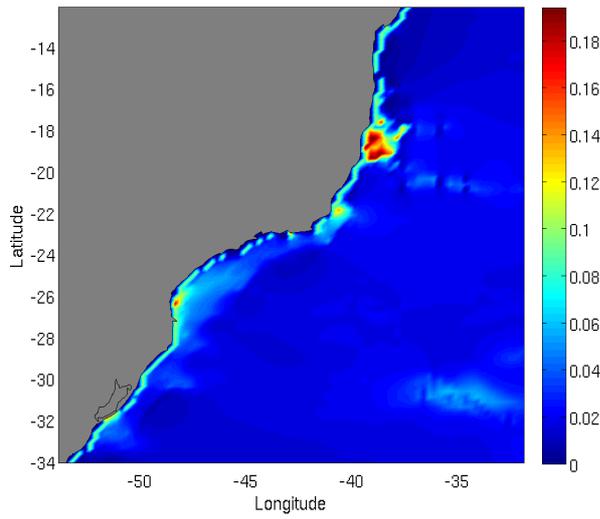


Figura 33: Amplitude da componente  $M_2$  para a componente meridional da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

Figura 34: Fase da componente  $M_2$  para a componente meridional da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

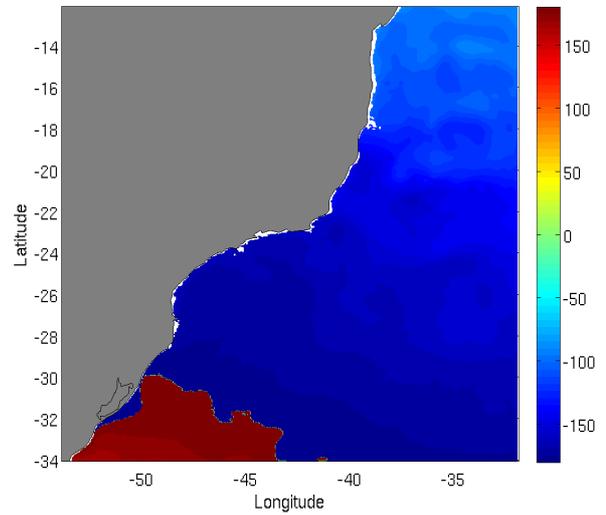
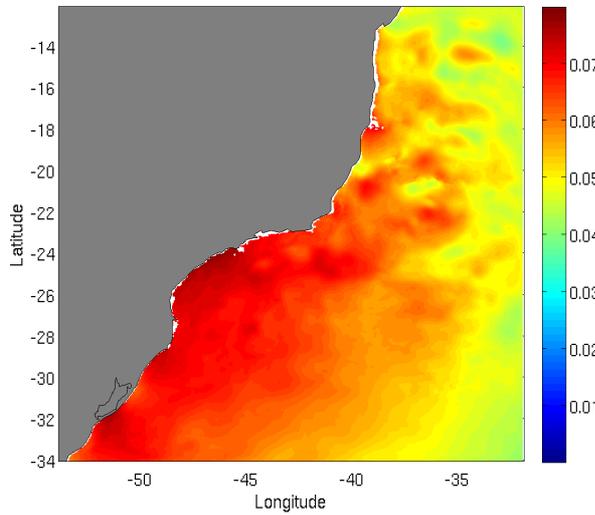
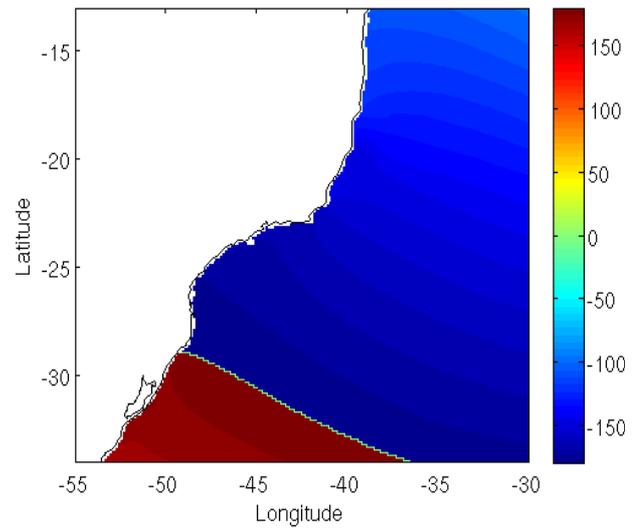
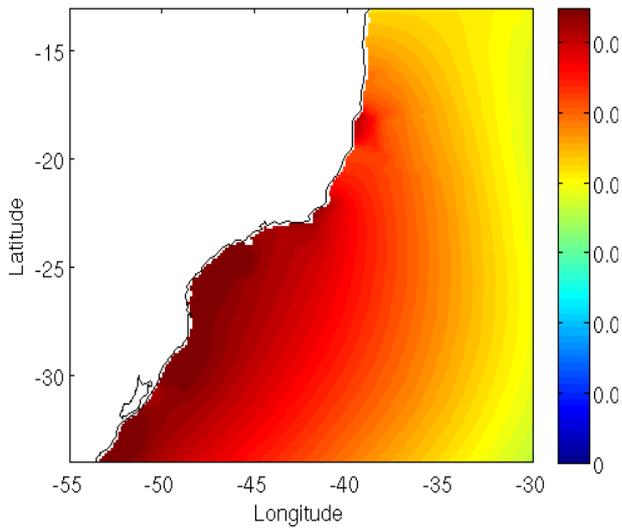


Figura 35: Amplitude da  $K_1$  para SSH do TPX07.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

Figura 36: Fase da  $K_1$  para SSH do TPX07.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

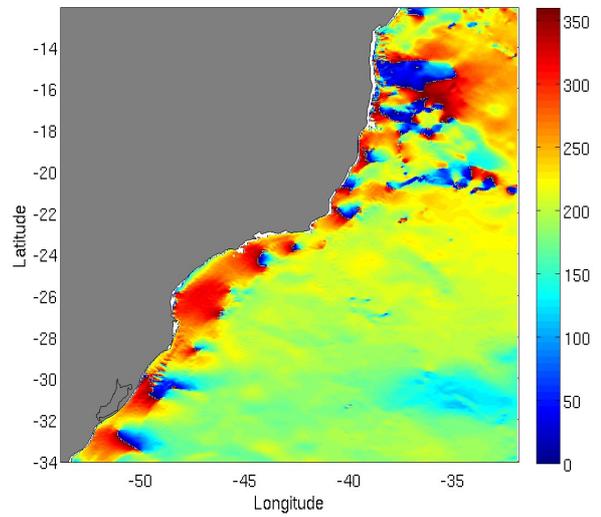
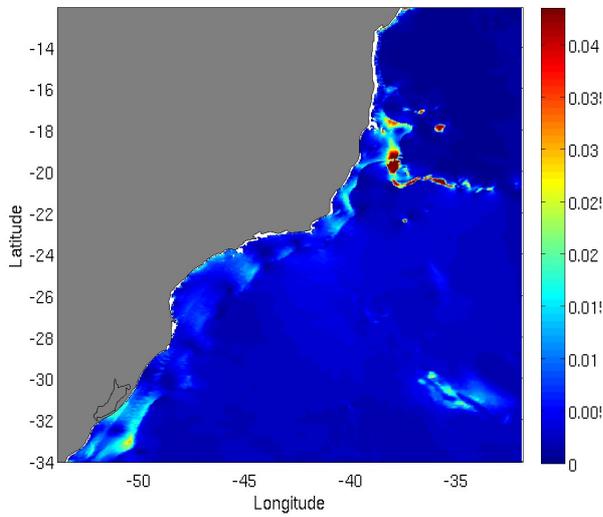
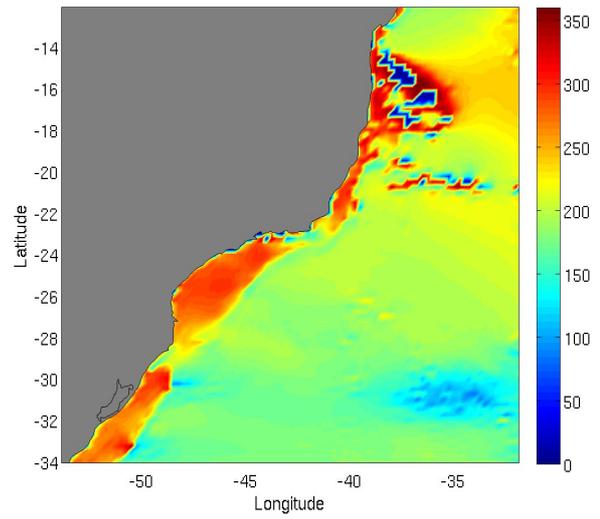
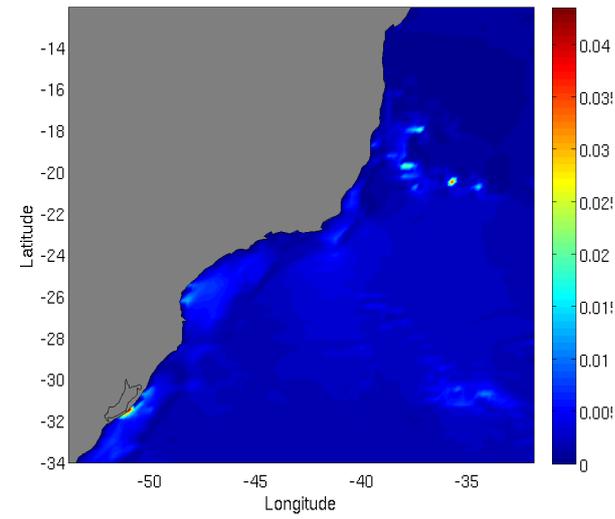


Figura 37: Amplitude da componente  $K_1$  para a componente zonal da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

Figura 38: Fase da componente  $K_1$  para a componente zonal da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

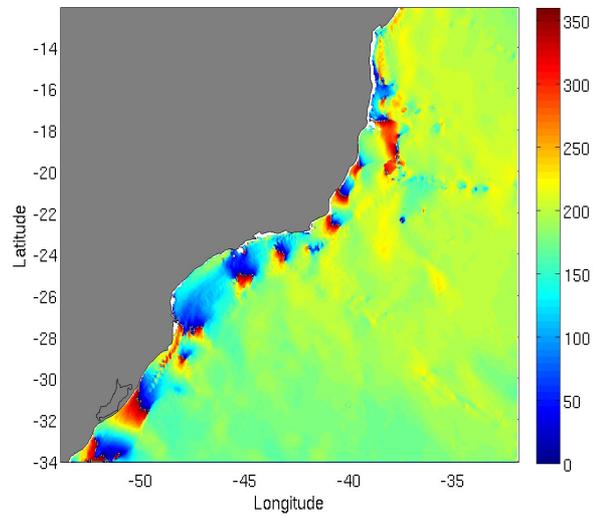
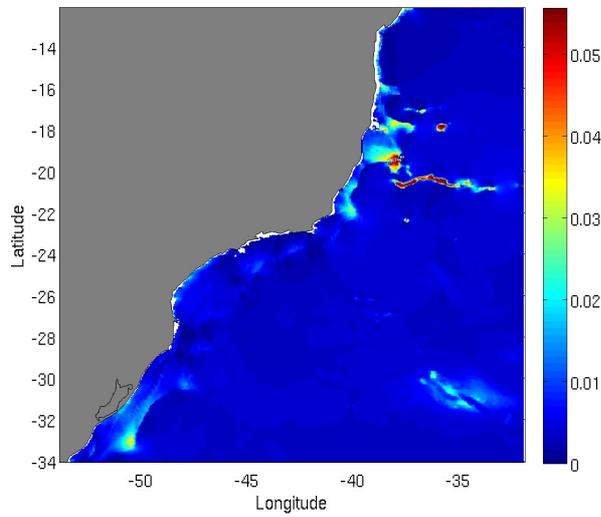
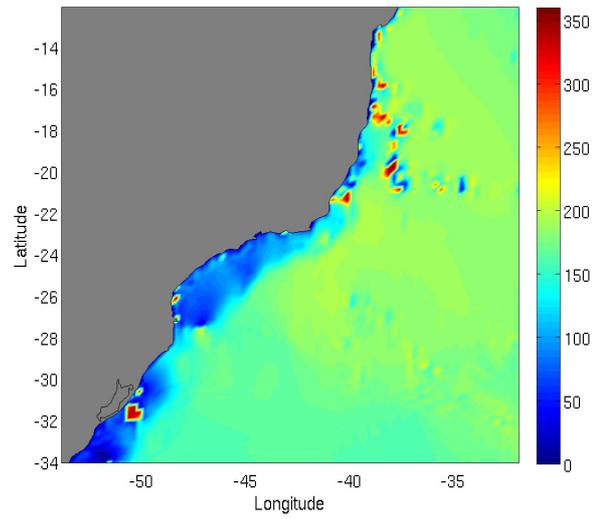
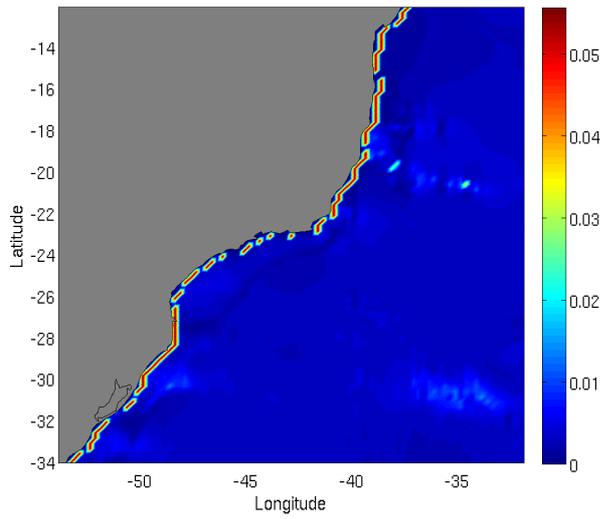


Figura 39: Amplitude da componente  $K_1$  para a componente meridional da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

Figura 40: Fase da componente  $K_1$  para a componente meridional da velocidade do TPXO7.2 (painel superior) e do 1/24-CCH (painel inferior).

### 3.2 Séries temporais de modelo e dados

Nesta seção são apresentadas as séries brutas de dados e modelo para os diversos pontos de medição (cuja localização é apresentada nas Figuras 2 e 3).

No caso das séries de elevação junto à costa, o modelo foi comparado a dados maregráficos disponibilizados pelo GLOSS em quatro locais: Imbituba (Figura 41), Cananéia (Figura 42), Ilha Fiscal (Figura 43) e Macaé (Figura 44). Como as séries são muito longas (alguns anos), dificultando a visualização, foi selecionado um pequeno trecho como ilustração. Uma comparação visual simples atesta a qualidade do modelo quanto a este processo (em seções seguintes estas séries serão filtradas e analisadas em maiores detalhes).

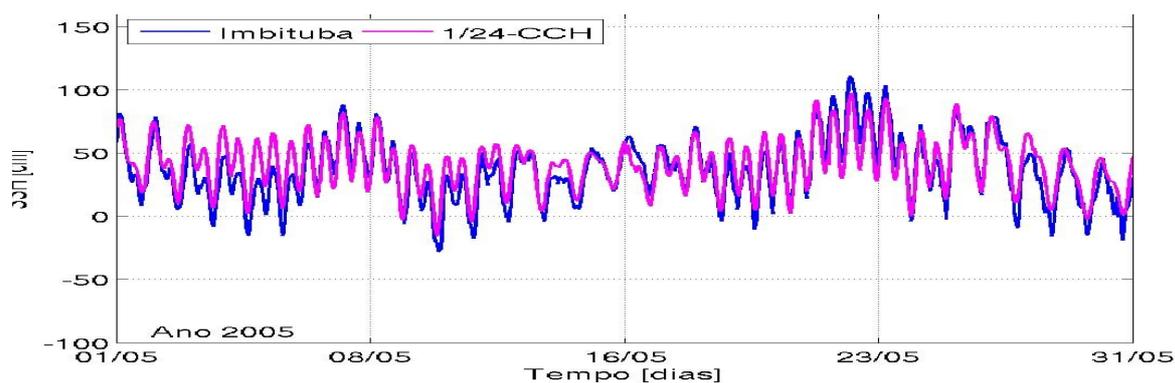


Figura 41: Série temporal de níveis na costa em Imbituba para dados (azul) e modelo (magenta), para o período de 01/05/2005 a 31/05/2005.

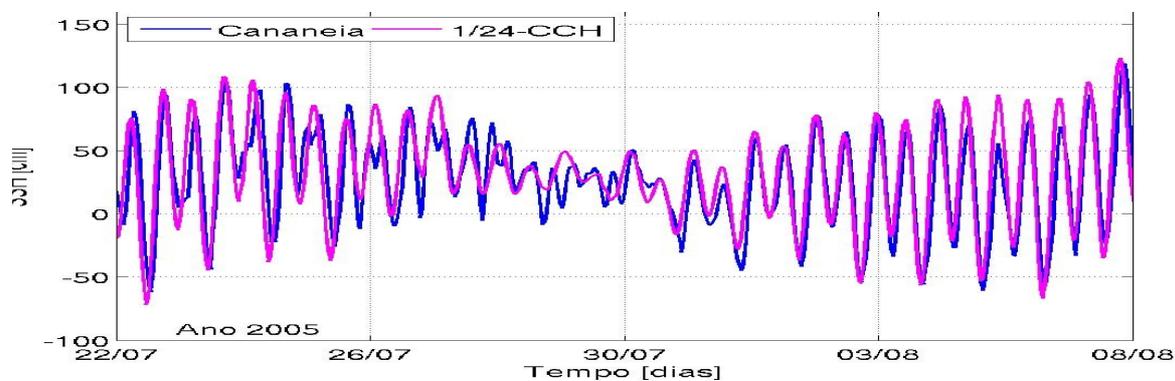


Figura 42: Série temporal de níveis na costa em Cananéia para dados (azul) e modelo (magenta), para o período de 22/07/2005 a 08/08/2005.

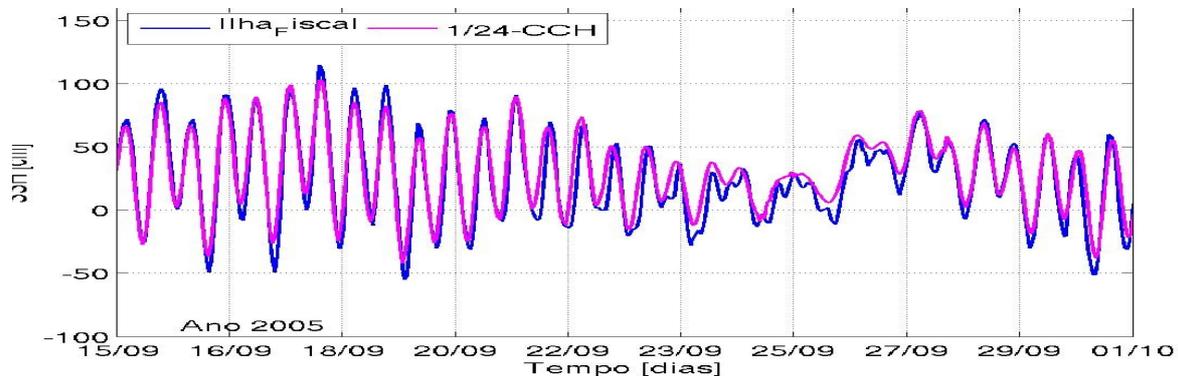


Figura 43: Série temporal de níveis na costa em Ilha Fiscal para dados (azul) e modelo (magenta), para o período de 15/09/2005 a 01/10/2005.

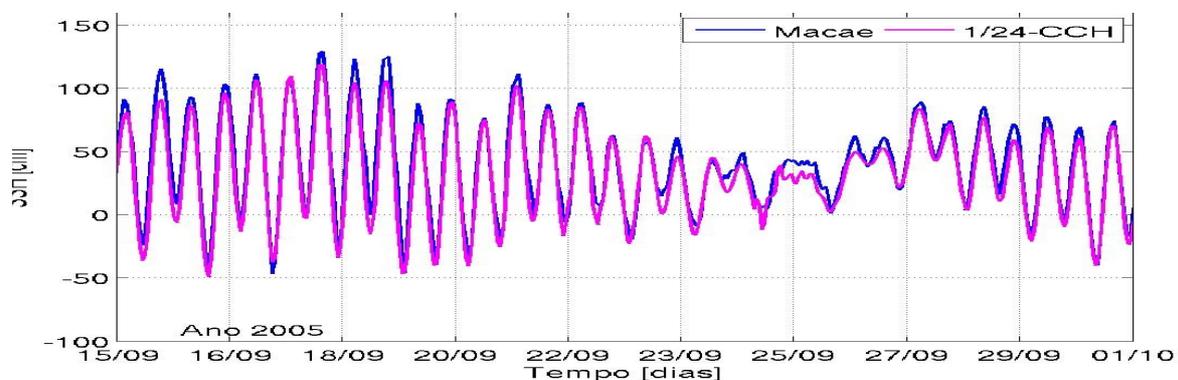


Figura 44: Série temporal de níveis na costa em Macaé para dados (azul) e modelo (magenta), para o período de 15/09/2005 a 01/10/2005.

A seguir são apresentadas as séries de correntes (componente  $u$  – zonal e  $v$  - meridional) nos diversos pontos de medição cedidos pela PETROBRAS para esta análise. Dispomos de um único ponto na plataforma continental interna, denominado UBU, localizado na cota de 20 m (Figura 3). Como descrito na metodologia, para as análises em UBU foram calculadas (para as séries medidas) as velocidades ( $u$  e  $v$ ) médias na vertical e comparadas com as velocidades barotrópicas simuladas (Figuras 45 e 46). Percebe-se inicialmente que a maré é dominante na direção zonal, apresentando pequena amplitude no sinal meridional. Em ambos, porém, um sinal de baixa frequência é capturado tanto pelos dados como pelo modelo.

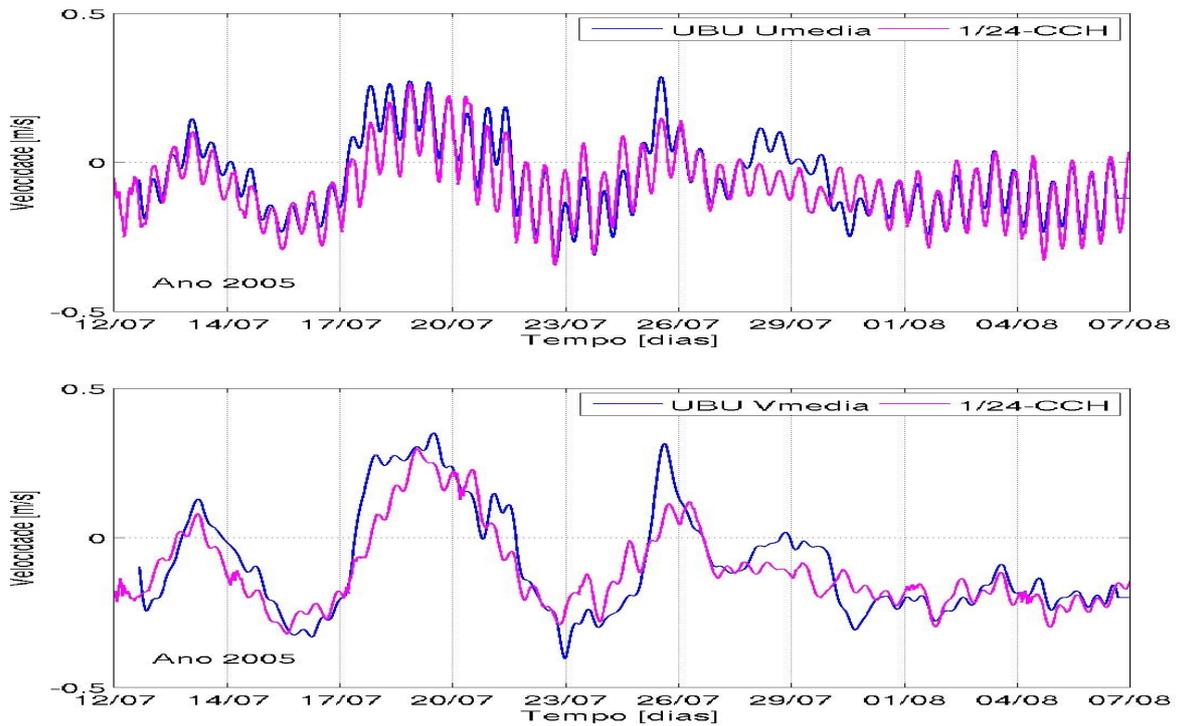


Figura 45: Correntes médias na vertical em UBU, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), no período de 12/07/2005 a 07/08/2005, para dados (azul) e modelo (magenta).

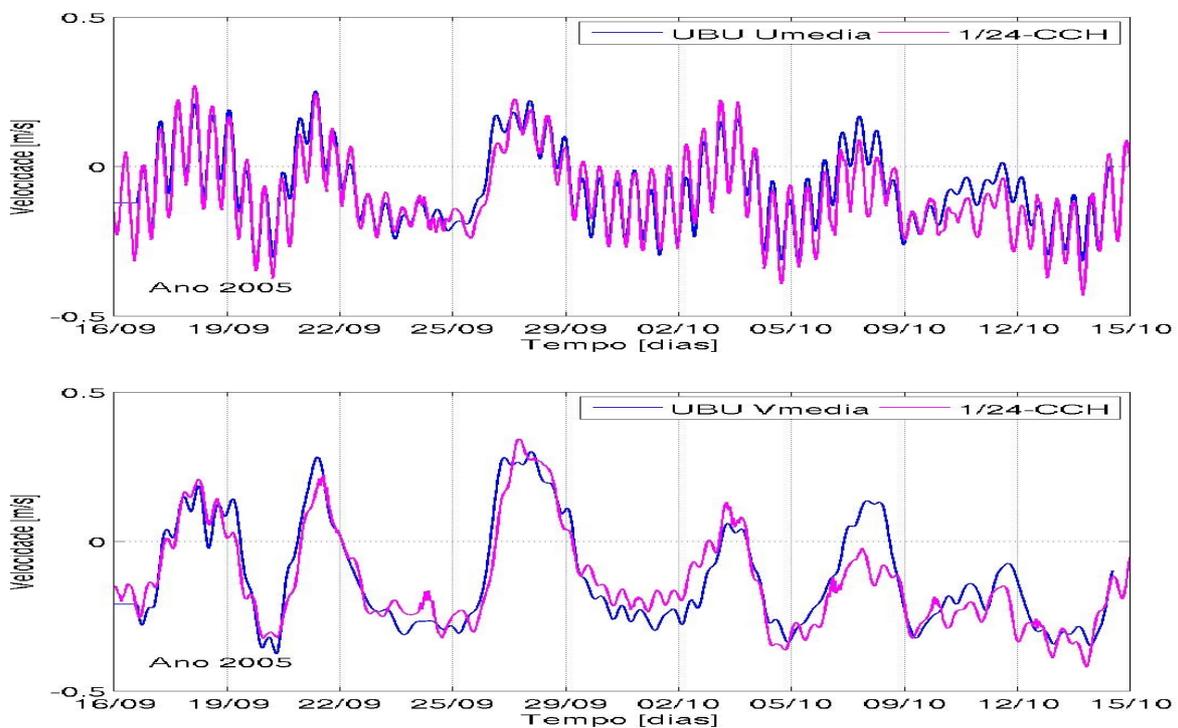


Figura 46: Correntes médias na vertical em UBU, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), no período de 16/09/2005 a 15/10/2005, para dados (azul) e modelo (magenta).

Disponemos de seis (6) pontos oceânicos com medição de correntes, sendo um (1) na plataforma continental externa, denominado PPG1, e cinco (5) no talude continental: um (1) na Bacia do Espírito Santo, denominado Golfinho, três na bacia de Campos, denominados de P40, P48 e FPSOBR, e um na Bacia de Santos, denominado (BS500). Ver Figura 3 e Tabela 4 para localização e informações sobre as medições. As séries correspondentes de velocidade de corrente, para componentes zonal e meridional, são apresentadas nas Figuras 47, 48, 49, 50, 51 e 52. Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os valores máximos, mínimos e desvio padrão para cada série. Em geral os resultados são compatíveis com os dados, tanto em relação aos valores médios (exceto Golfinho) como em relação à intensidade da variabilidade e às inversões na direção das correntes, tanto para velocidades zonais como meridionais. Observa-se desde já algum nível de datação em todas as series, associada ao C&H nos pontos oceânicos, embora alguns eventos extremos presentes nos dados não sejam capturados pelo modelo ou tenham seu sinal reduzido.

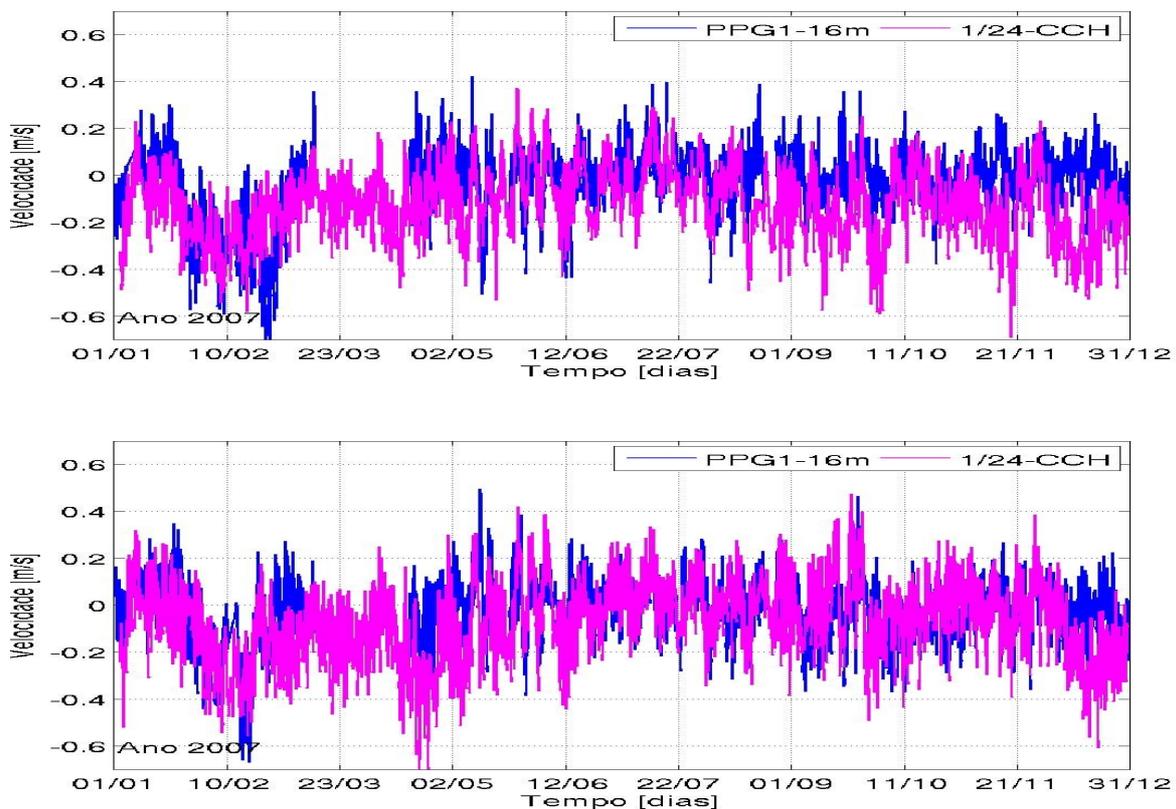


Figura 47: Correntes em PPG1, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), na profundidade 16m, para o ano de 2007 em azul (dados) e magenta (modelo).

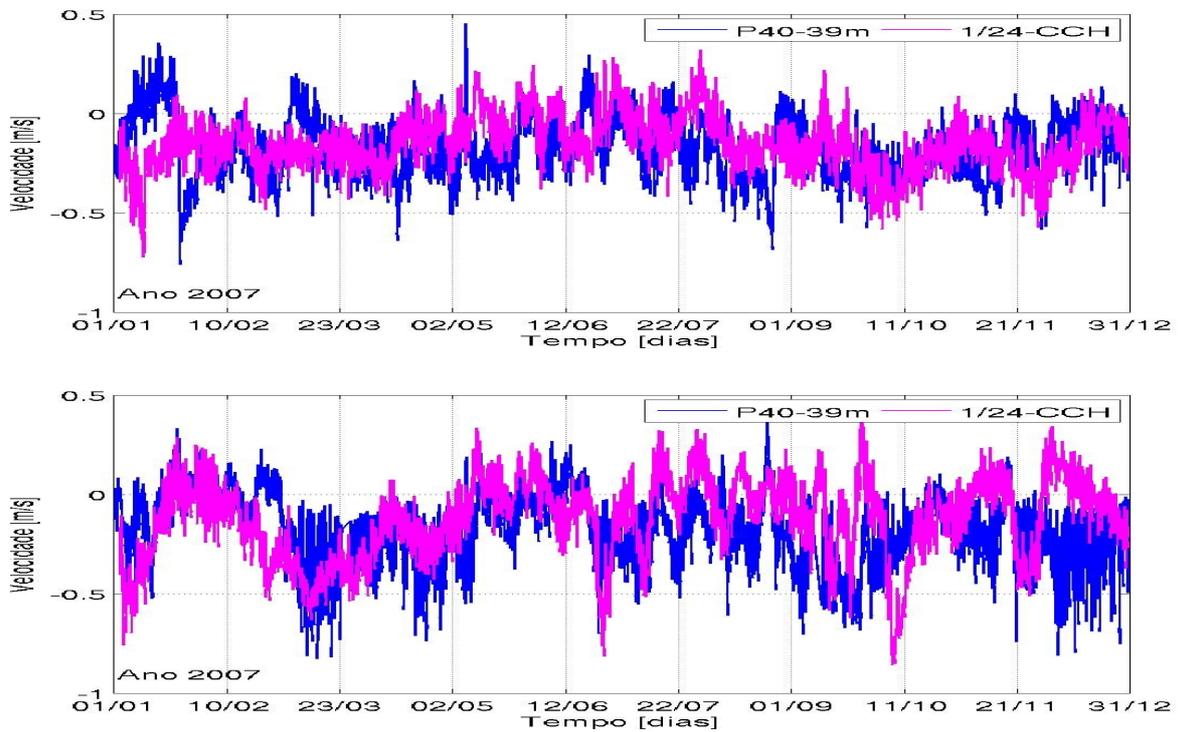


Figura 48: Correntes em P40, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), na profundidade 39m, para o ano de 2007 em azul (dados) e magenta (modelo).

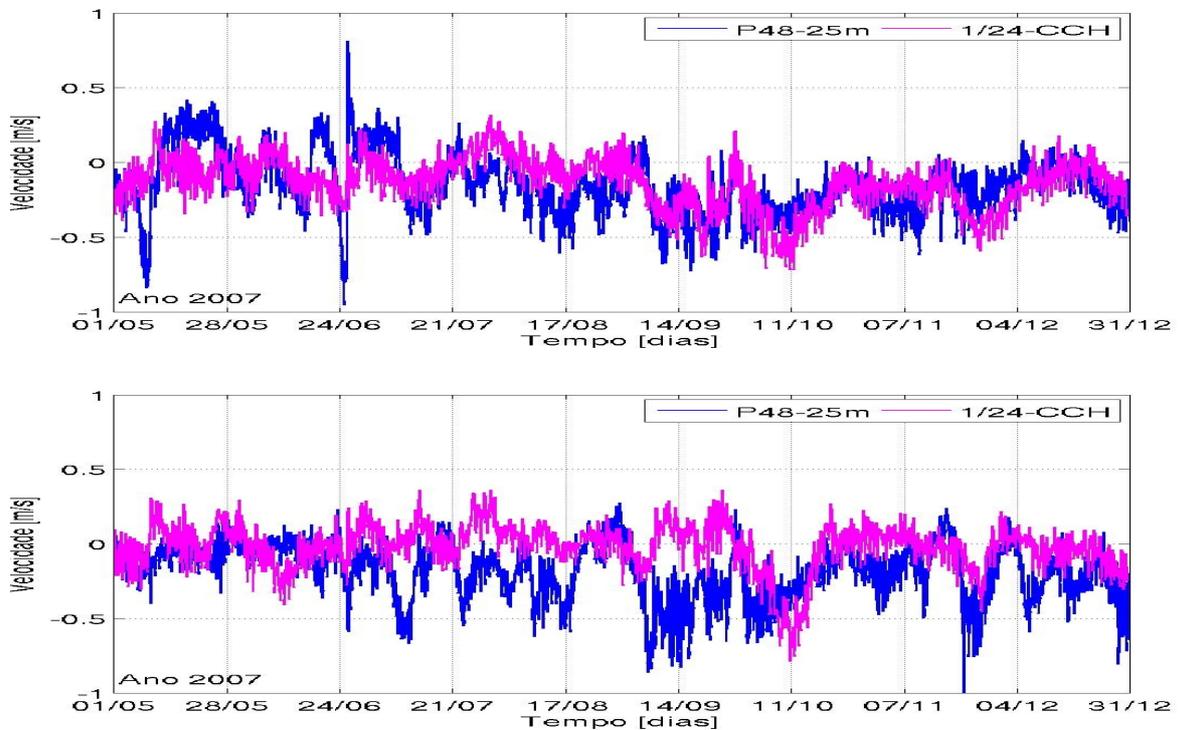


Figura 49: Correntes em P48, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), na profundidade 25m, para o período de 01/05/2007 a 31/12/2007 em azul (dados) e magenta (modelo).

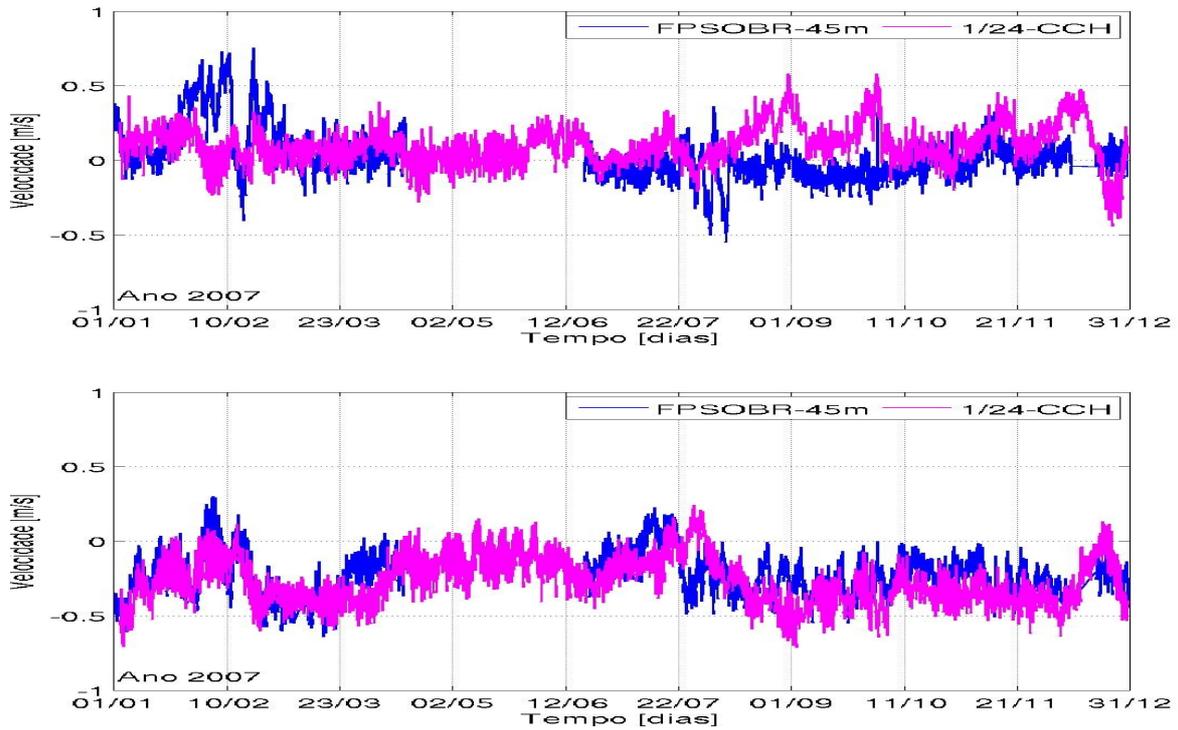


Figura 50: Correntes em FPSOBR, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), na profundidade 45m, para o ano de 2007 em azul (dados) e magenta (modelo).

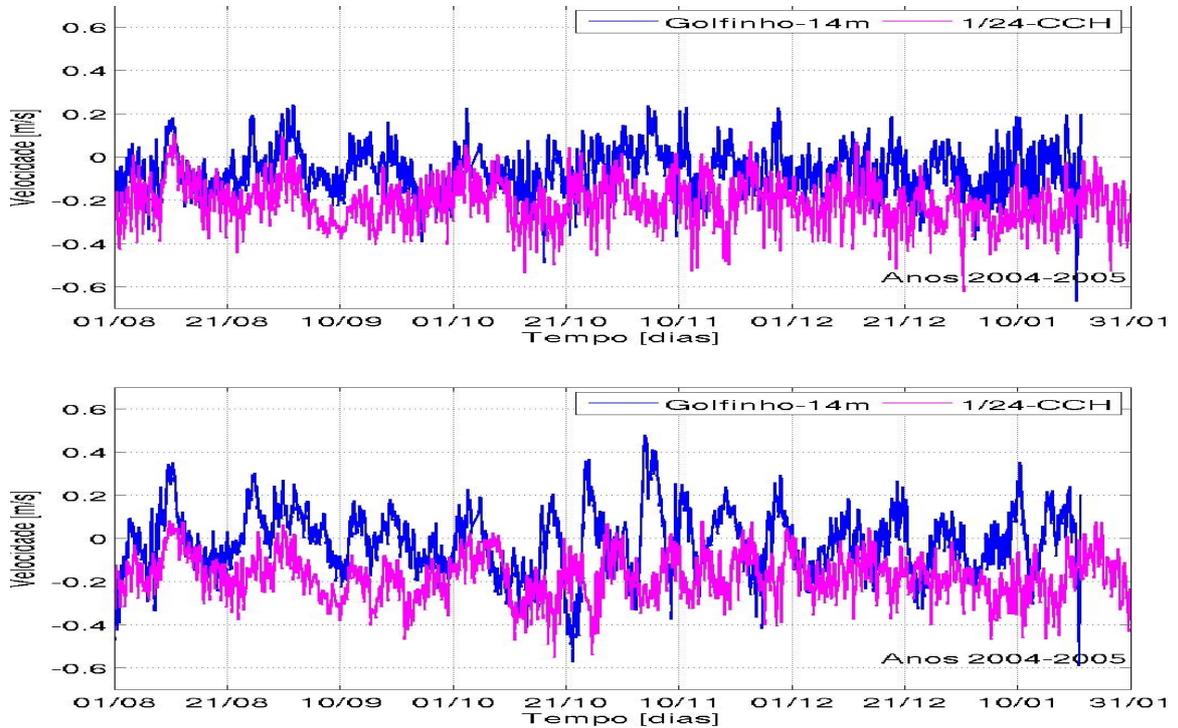


Figura 51: Correntes em Golfinho, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), na profundidade 14m, para o período de 30/07/2004 a 31/01/2005 em azul (dados) e magenta (modelo).

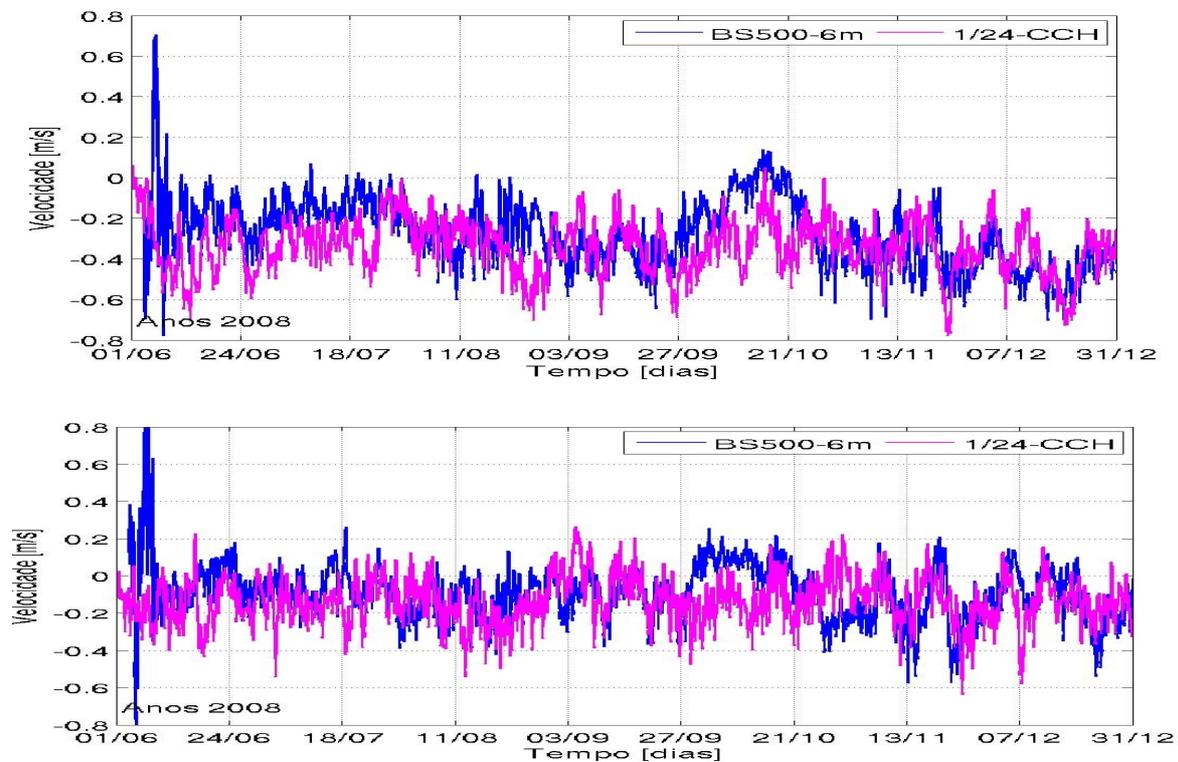


Figura 52: Correntes em BS500, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), na profundidade 6m, para o período de 03/06/2008 a 31/12/2008 em azul (dados) e magenta (modelo).

Tabela 6: Valores máximos, mínimos e desvio padrão das séries da componente U das correntes medidas e simuladas.

Pontos de medição	U – Dado $[(\text{cm/s})^2]$			U – 1/24 – CCH $[(\text{cm/s})^2]$		
	Máximo	Mínimo	Desvio	Máximo	Mínimo	Desvio
UBU média na vertical	0,3134	-0,3938	0,1313	0,3611	-0,4625	0,1170
Golfinho	0,2430	-0,6676	0,1061	0,2298	-0,7671	0,1216
FPSOBR	0,7548	-0,5510	0,1610	0,5815	-0,4439	0,1323
P40	0,4538	-0,7597	0,1553	0,3214	-0,7229	0,1370
P48	0,8132	-0,9544	0,2094	0,3169	-0,8196	0,1684
PPG1	0,4212	-0,7785	0,1355	0,3709	-0,6921	0,1541
BS500	0,7058	-0,7799	0,1640	0,3737	-0,7788	0,1759

Tabela 7: Valores máximos, mínimos e desvio padrão das séries de corrente medidas.

Pontos de medição	V – Dado [(cm/s) <sup>2</sup> ]			V– 1/24 – CCH [(cm/s) <sup>2</sup> ]		
	Máximo	Mínimo	Desvio	Máximo	Mínimo	Desvio
UBU média na vertical	0,4002	-0,4543	0,1782	0,5266	-0,4838	0,1402
Golfinho	0,4798	-0,5898	0,1480	0,2993	-0,6725	0,1209
FPSOBR	0,3012	-0,6415	0,1539	0,2430	-0,7135	0,1616
P40	0,4041	-0,8274	0,1891	0,3944	-0,8575	0,2068
P48	0,2756	-0,9972	0,1939	0,3623	-0,7874	0,1763
PPG1	0,4948	-0,6709	0,1172	0,4751	-0,7888	0,1737
BS500	0,8907	-0,8149	0,1445	0,3383	-0,6363	0,1367

### 3.3 Marés astronômicas

A maré astronômica tem importância mais significativa em águas costeiras e semi abrigadas. No presente caso foi possível avaliar a simulação da maré em quatro estações maregráficas, com medições horárias de nível do mar, e em uma estação (UBU) na plataforma interna (ver localização nas Figuras 2 e 3), com medições de corrente, onde o sinal da maré é predominante.

Nas estações profundas o efeito da maré, tanto em elevação como em correntes é bastante diminuído, correspondendo neste último caso a geralmente alguns poucos cm/s. Para dificultar a análise, somente a componente barotrópica (média na vertical) da maré é determinística, enquanto a componente baroclínica depende de condições locais como relevo, correntes e estratificação. Algum sinal de maré interna estará presente nas velocidades medidas e simuladas nestes locais, sendo porém muito difícil de ser modelada com exatidão. Estes sinais são tratados na seção 3.6. A análise da componente barotrópica da maré astronômica é apresentada na seção 3.1 e não é feita a partir dos dados medidos nos fundeios oceânicos, pois estes não permitem uma integração vertical em toda a coluna d'água do campo de velocidades. Nesta seção trataremos das estações costeiras, onde o sinal da maré é mais evidente.

As séries de dados de elevação na costa foram submetidas a filtragem, com período de corte de 3 dias e preservando-se as altas frequências, para ilustrarmos a comparação entre dados e modelo nos quatro pontos amostrais do GLOSS. As séries totais, sem filtragem, foram submetidas a análise harmônica, para identificação de amplitudes e fases da maré astronômica. Os resultados são apresentados, para série filtrada (apenas um trecho ilustrativo da série) e componentes harmônicas (calculadas para toda a série), nas Figuras 53, 54 e 55, (Imbituba), 56, 57 e 58 (Cananéia), 59, 60 e 61, (Ilha Fiscal) e 62, 63 e 64, (Macaé).

A correspondência entre modelo e dados é boa tanto em amplitude como em fase, com maiores diferenças em Imbituba e Cananéia e melhores resultados em Ilha Fiscal e Macaé. É interessante notar que uma representação ideal não é esperada em função não somente dos erros associados aos dados e modelos, mas também de dois outros fatores. Em primeiro lugar, os dados são medidos geralmente em baías e outros locais abrigado, cuja geometria não é representada pelo modelo na resolução atual. Desta forma foi selecionado no modelo um ponto de grade em águas abertas, o mais próximo possível das coordenadas das medições, e deverão haver diferenças entre a maré em águas abertas e confinadas, mesmo para pontos próximos. Em segundo lugar, o modelo representa a partir das condições de contorno apenas oito (8) componentes harmônicas, um número menor do que as cerca de duas dezenas de componentes geralmente identificadas a partir da análise harmônica dos dados.

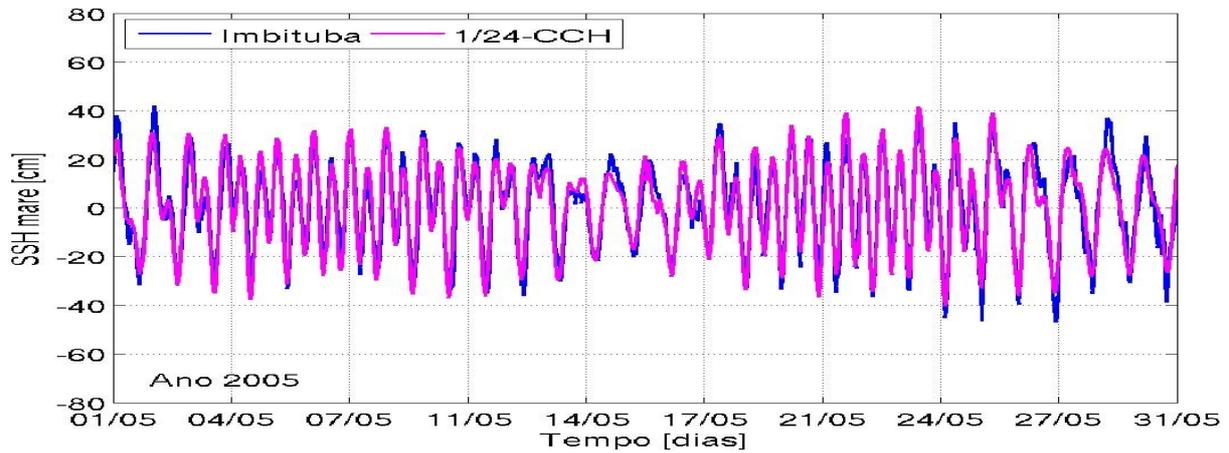


Figura 53: Imbituba - série filtrada, com período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência para 01/05/2005 a 31/05/2005

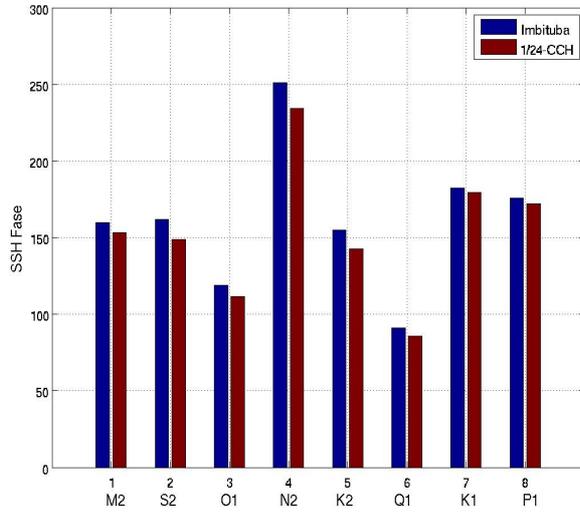


Figura 54: Fase das principais componentes para Imbituba em azul (dados) e vermelho (modelo).

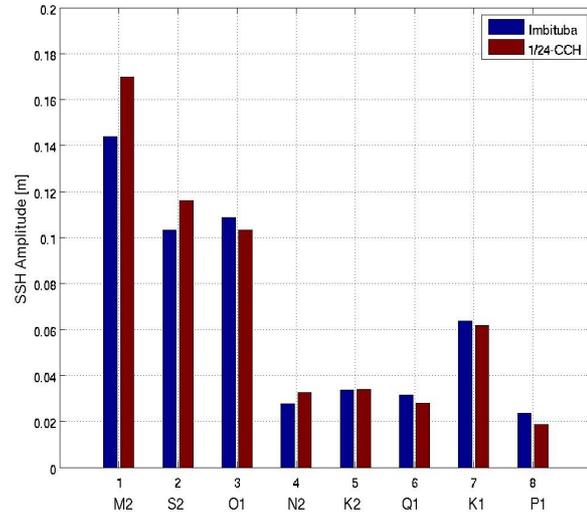


Figura 55: Amplitude das principais componentes para Imbituba em azul (dados) e vermelho (modelo).

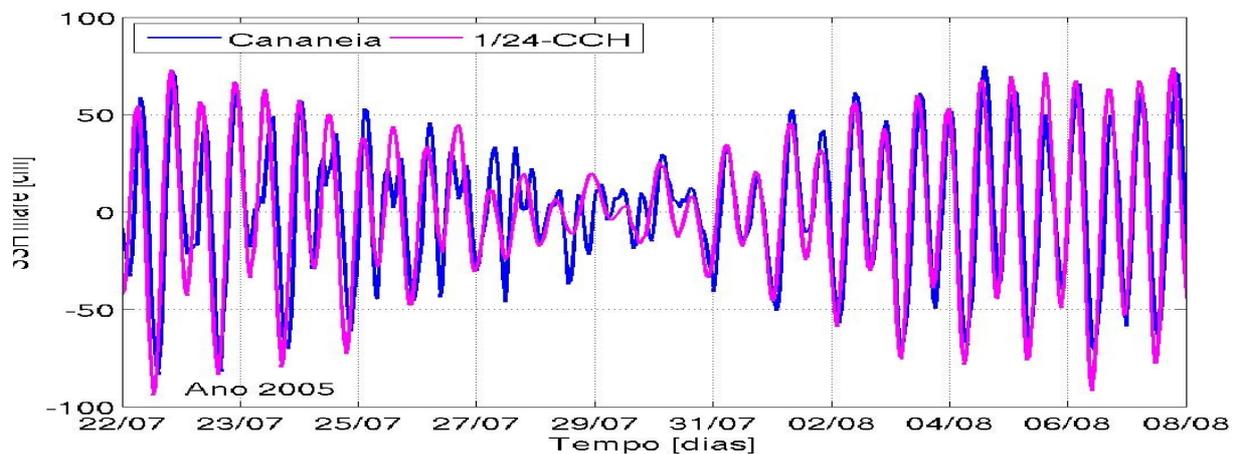


Figura 56: Cananeia - série filtrada, com período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência para 22/07/2005 a 08/08/2005

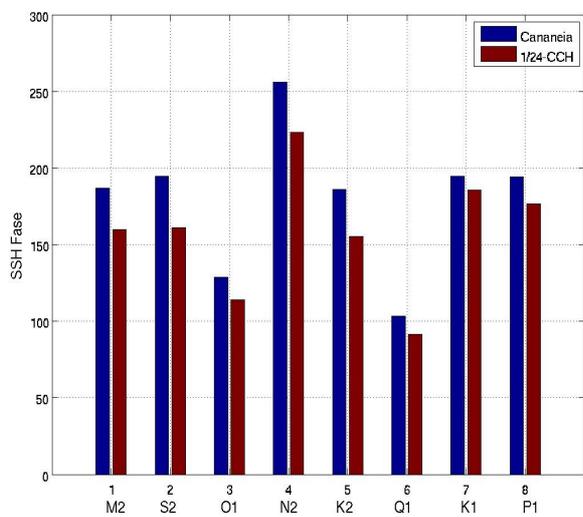


Figura 57: Fase das principais componentes para Cananeia em azul (dados) e vermelho (modelo).

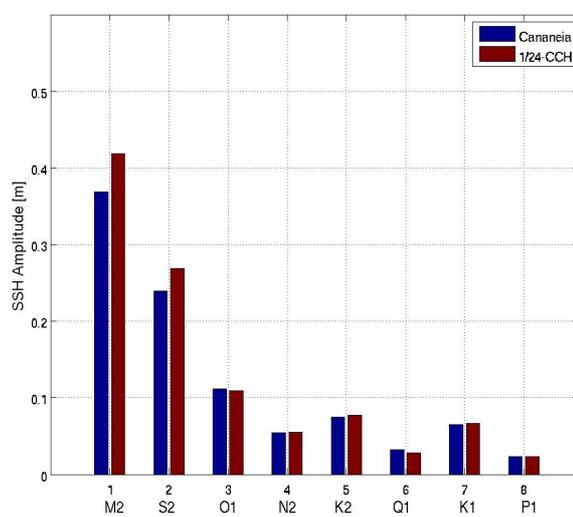


Figura 58: Amplitude das principais componentes para Cananeia em azul (dados) e vermelho (modelo).

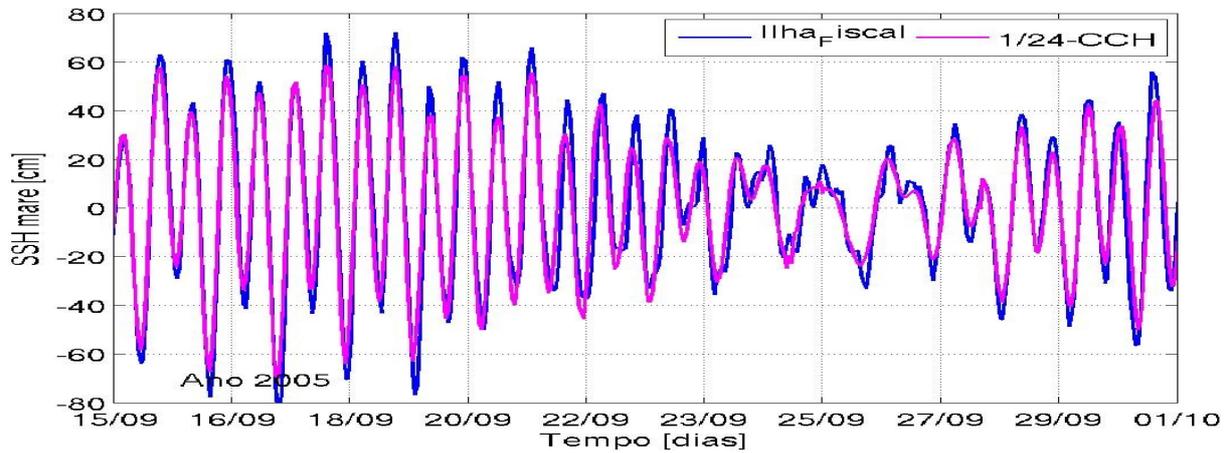


Figura 59: Ilha Fiscal - série filtrada, com período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência para 15/09/2005 a 01/10/2005

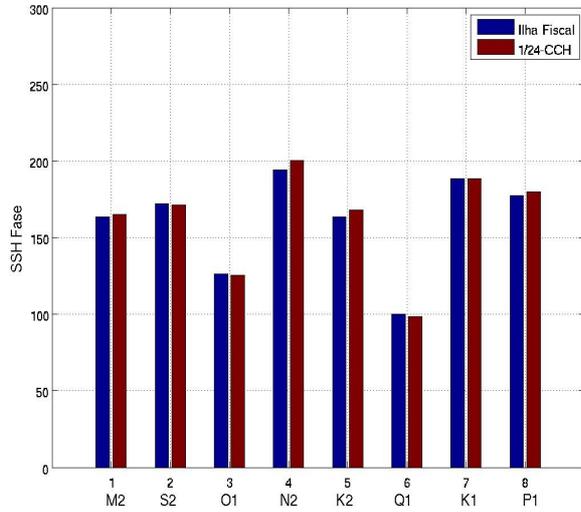


Figura 60: Fase das principais componentes para Ilha Fiscal em azul (dados) e vermelho (modelo).

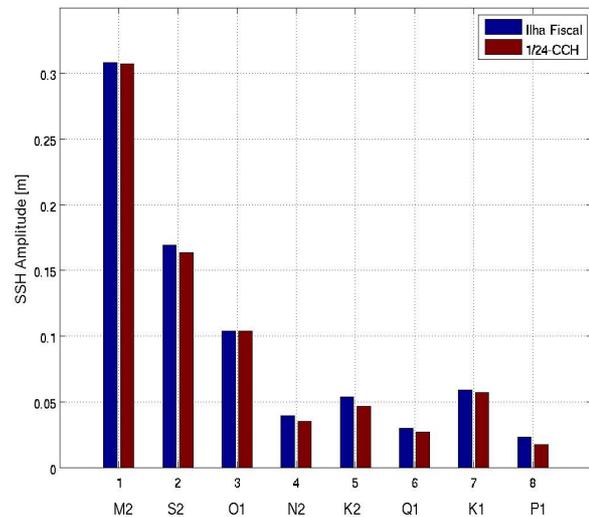


Figura 61: Amplitude das principais componentes para Ilha Fiscal em azul (dados) e vermelho (modelo).

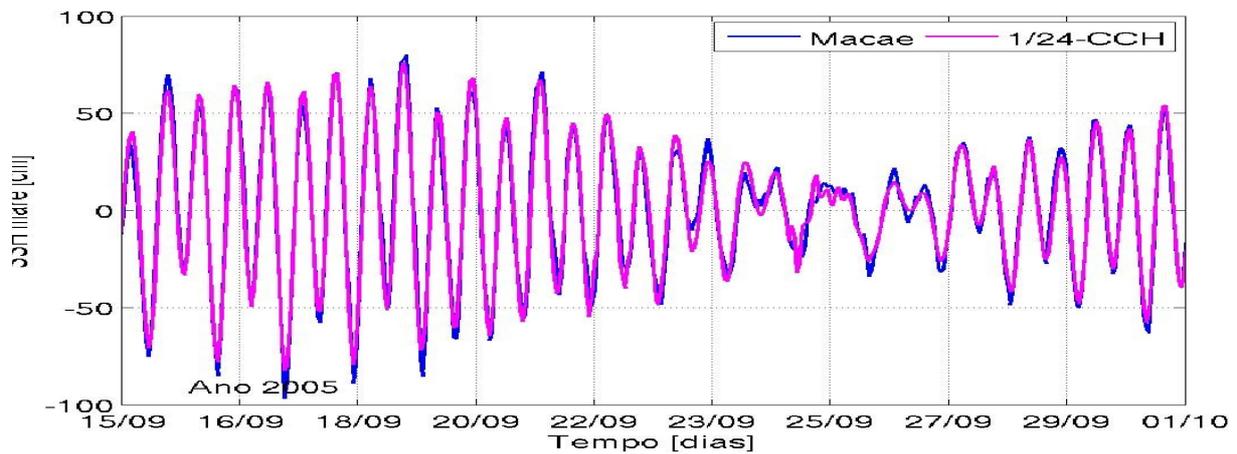


Figura 62: Macaé - série filtrada, com período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência para 15/09/2005 a 01/10/2005.

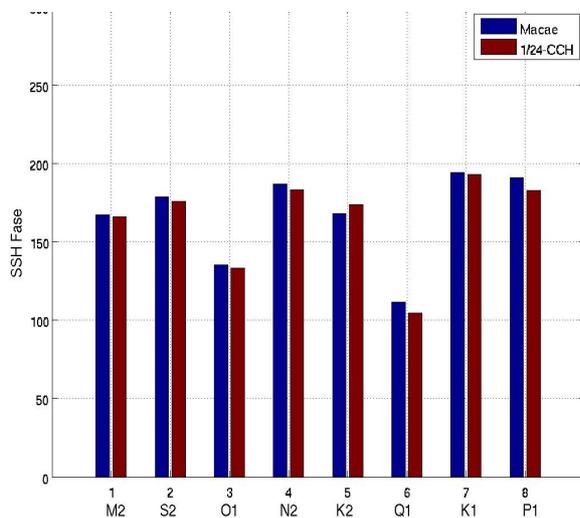


Figura 63: Fase das principais componentes para Macaé em azul (dados) e vermelho (modelo)

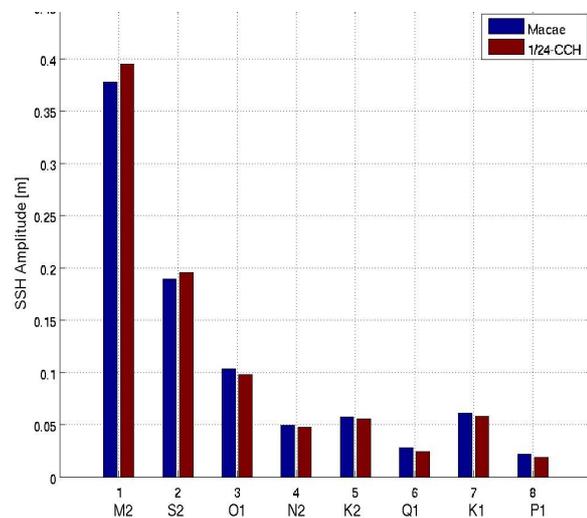


Figura 64: Amplitude das principais componentes para Macaé em azul (dados) e vermelho (modelo)

A comparação entre as correntes de maré medidas e simuladas na estação costeira em UBU é ilustrada na Figura 65, para componentes zonal e meridional. A modelagem de nível geralmente é mais fácil do que a modelagem de correntes, pois depende apenas de conservação de volume e não da direção exata na qual a maré se propaga. É até surpreendente, de certo modo, a qualidade da simulação de correntes em um ponto tão raso em um modelo de caráter notadamente oceânico. Isto possivelmente está relacionado a pouca estratificação vertical no ponto de medição, levando à dominância da componente barotrópica de velocidades.

A análise harmônica das componentes zonal (Figuras 66 e 67) e meridional (Figuras 68 e 69) comprova a qualidade da modelagem quanto a correntes de maré em águas costeiras. Neste caso a análise identificou em dados e modelo apenas seis (6) das oito (8) componentes que forçam o modelo nos contornos. A comparação visual mostra que o modelo apresenta tendência a superestimar as correntes, gerando uma maré mais energética que os dados, o que está relacionado, segundo a análise harmônica comprova, principalmente a representação das componentes  $M_2$ ,  $S_2$  e  $K_1$ . É interessante notar ainda, a partir da análise harmônica, que, enquanto a componente zonal de velocidades apresenta oscilações principalmente semidiurnas, a componente meridional apresenta significativa contribuição também das componentes diurnas. Estas características, presentes nos dados, são capturadas também pelo modelo.

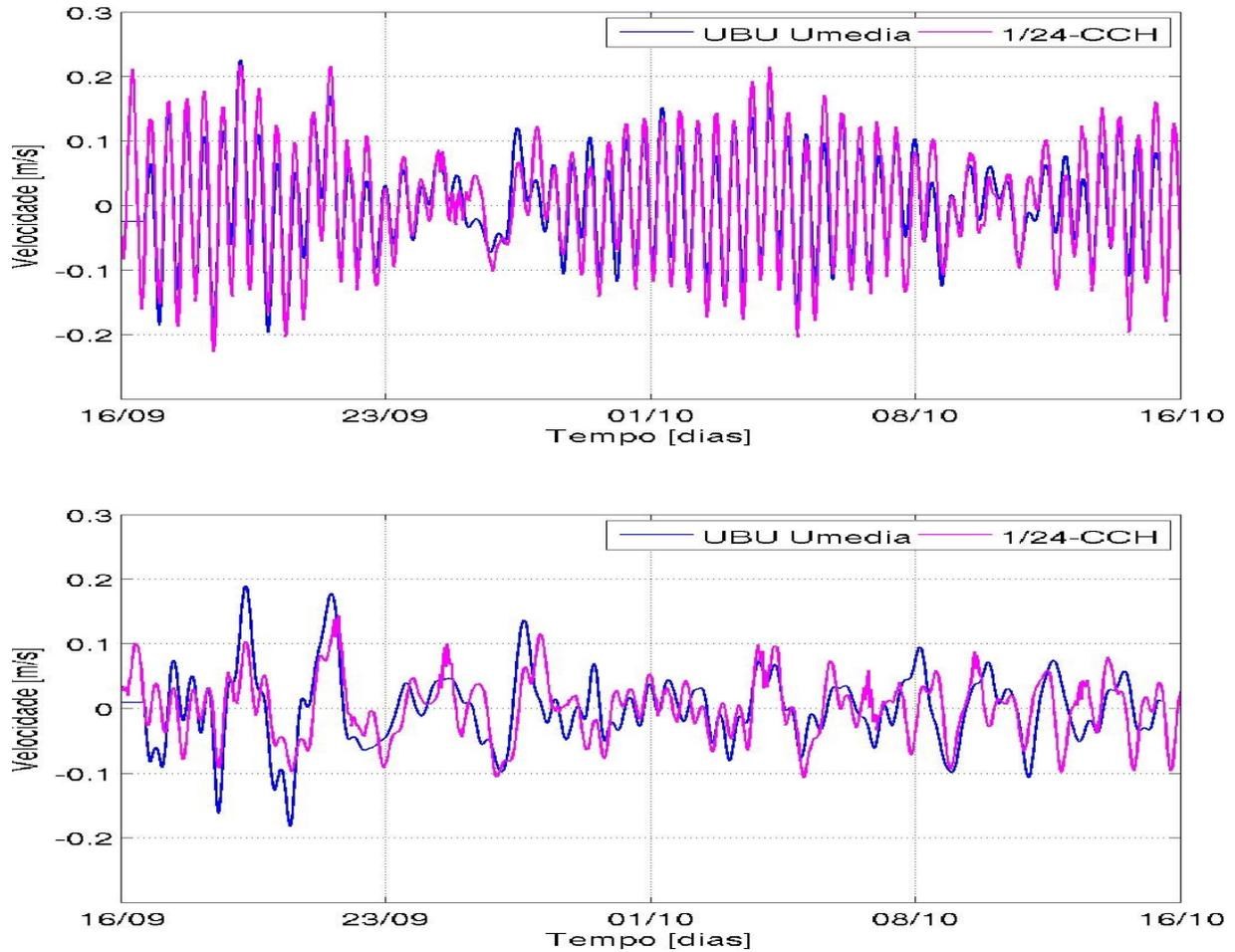


Figura 65: Correntes barotrópicas em UBU, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), no período de 16/09/2005 a 16/10/2005, para dados (azul) e modelo (magenta), para altas frequências (período de corte de 3 dias).

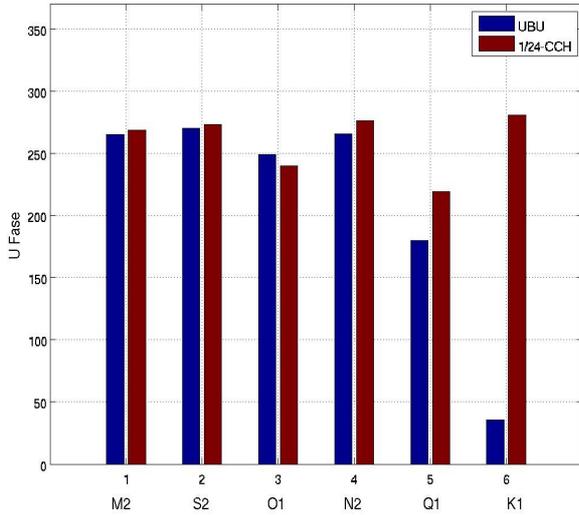


Figura 66: Fase da componente zonal em UBU.

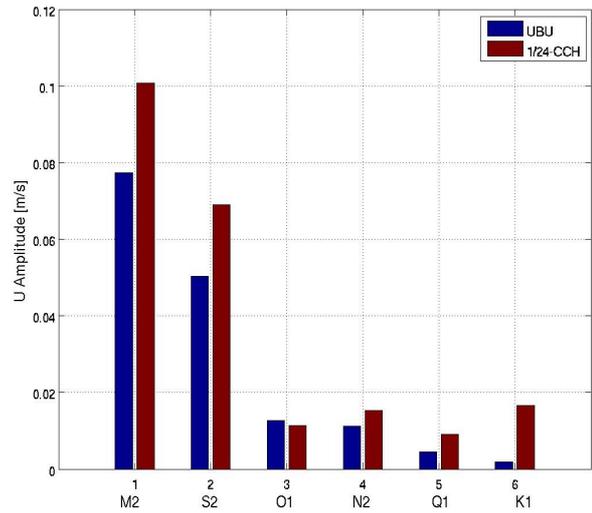


Figura 67: Amplitude da componente zonal em UBU.

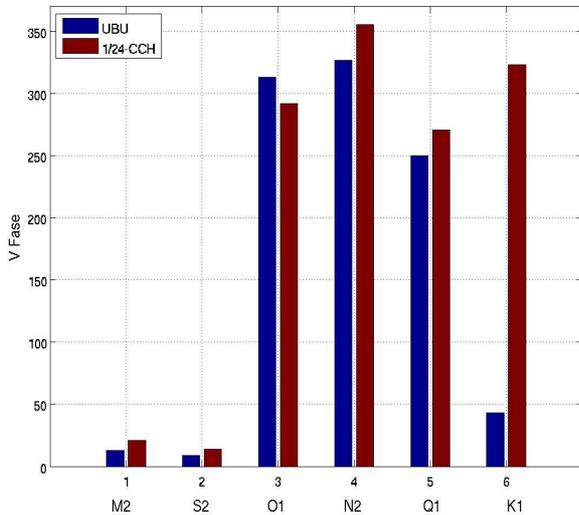


Figura 68: Fase da componente meridional em UBU.

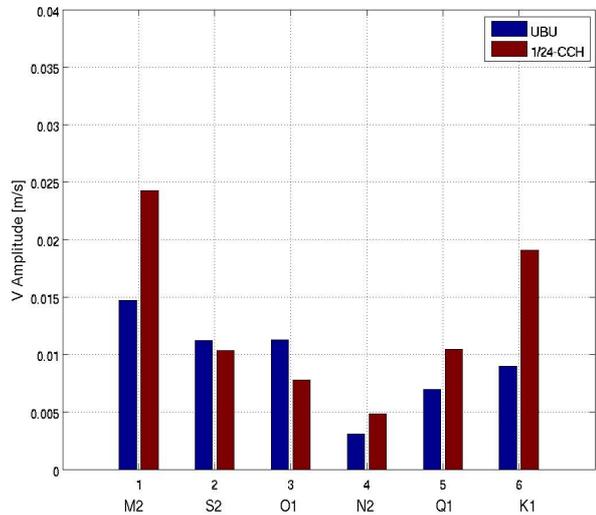


Figura 69: Amplitude da componente meridional em UBU

### 3.4 Ondas confinadas costeiras

O fenômeno conhecido como maré meteorológica está associado às oscilações de baixa frequência geralmente observadas em registros maregráficos de nível d'água na costa. Suas causas envolvem em algum grau efeitos locais devidos ao vento, mas estão principalmente relacionadas à propagação ao longo da plataforma continental de ondas confinadas costeiras (Figura 70). Estas ondas tem sua origem principal nas oscilações do campo de ventos em regiões remotas, o que na costa SSE brasileira ocorre de maneira mais marcante em escala sinótica. Análises espectrais dos registros de níveis, e também dos registros de correntes quando disponíveis, apresentam em geral uma concentração de energia entre períodos de 3 a 15 dias, aproximadamente.

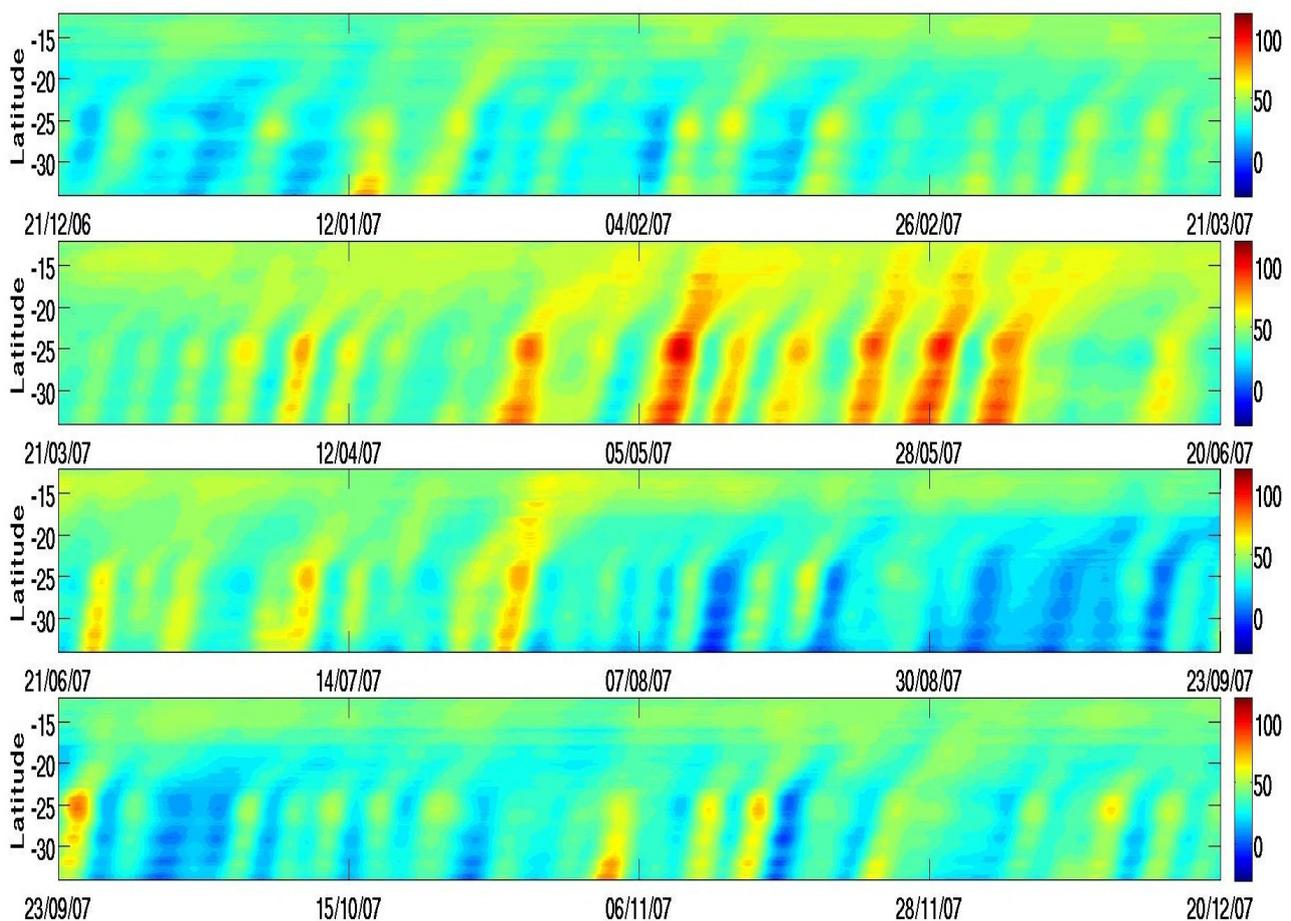


Figura 70: Hovmoller de elevação do nível do mar em baixa frequência, junto à costa, no modelo, ilustrando para o ano de 2007 a recorrência de sinais se propagando para menores latitudes, associados a propagação de ondas confinadas costeiras.

O modelo captura a propagação destas ondas de forma bastante realista, com amplitudes e fases simuladas compatíveis com os valores observados. Para nível junto à costa a comparação entre modelo e dados é feita para Imbituba (Figuras 71, 72 e 73), Cananéia (Figuras 74, 75 e 76) Ilha Fiscal (Figuras 77, 78 e 79) e Macaé (Figuras 80, 81 e 82). Para cada um destes locais é apresentada uma comparação visual das séries filtradas com filtro passa-banda, com períodos de corte de 3 e 14 dias, seguida da análise espectral cruzada entre modelo e dados para o período de 2004 a 2006. Nas figuras com as séries é apresentado somente um trecho do período analisado, pois séries muito longas tornariam a comparação visual praticamente impossível devido ao tamanho das figuras. A análise espectral revela que as séries são coerentes para todas as frequências energéticas, para um nível de confiança de 95%. Enquanto as fases são muito bem simuladas, as amplitudes do sinal na costa é por vezes subestimado, o que leva à obtenção de menores energias no espectro. Não está claro se esta subestimação se deve a uma falha no modelo ou nas forçantes, ou se está associada à variação de localização dos pontos de análise entre modelo e dados.

No caso de correntes associadas à passagem de ondas confinadas costeiras, a comparação é possível em UBU (localização na Figura 3), para um curto período de dados. Novamente o modelo se compara muito bem com os dados, capturando tanto fase e amplitude das velocidades zonal e meridional, assim como as inversões na direção da corrente (Figura 83 e Figura 84). O efeito destas ondas pode ser sentido ainda no ponto de amostragem localizado na plataforma continental externa (PPG1), principalmente para eventos mais significativos, assim como em menor escala para pontos no talude. Nestes casos, contudo, a análise destes sinais está incorporada na análise de baixa frequência no oceano, apresentada na seção a seguir.

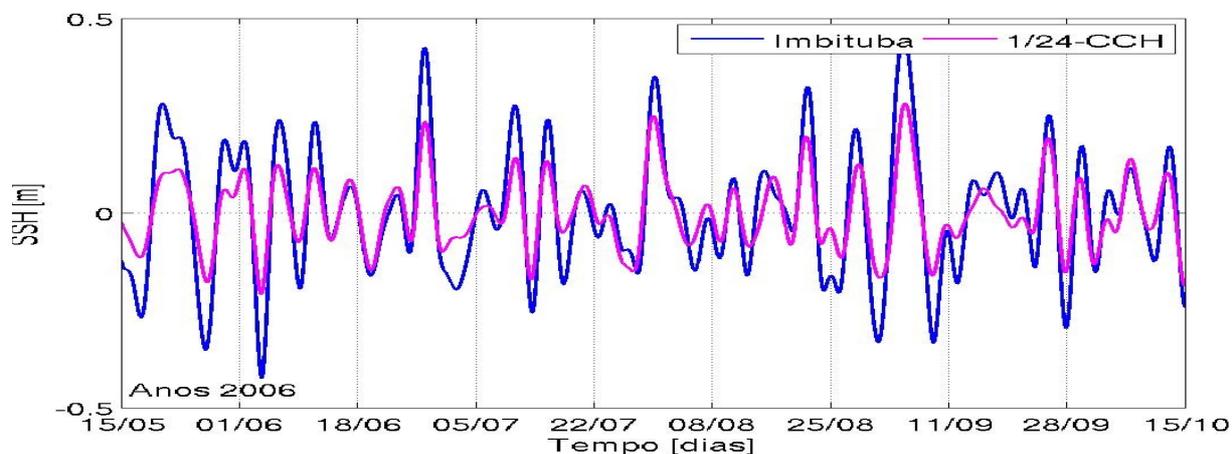


Figura 71: Imbituba - série filtrada de elevação para banda definida por períodos de corte de 3 e 14 dias, ilustrando para um período de 5 meses a correspondência entre dados (azul) e modelo (magenta) quanto à representação da maré meteorológica na costa.

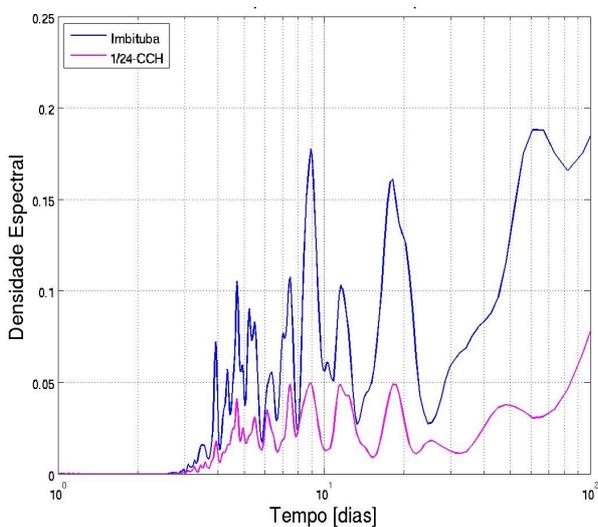


Figura 72: Imbituba – análise espectral de dados (azul) e modelo (magenta), retiradas as altas frequências (período de corte de 3 dias).

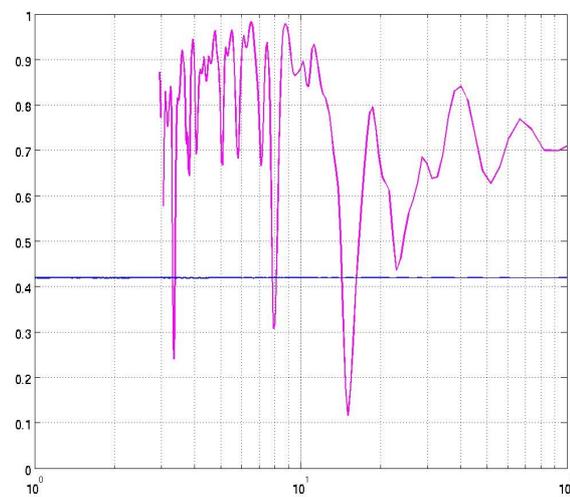


Figura 73: Imbituba – coeficiente de coerência da análise espectral cruzada entre dados e modelo (magenta) e nível de coerência de 95% (azul).

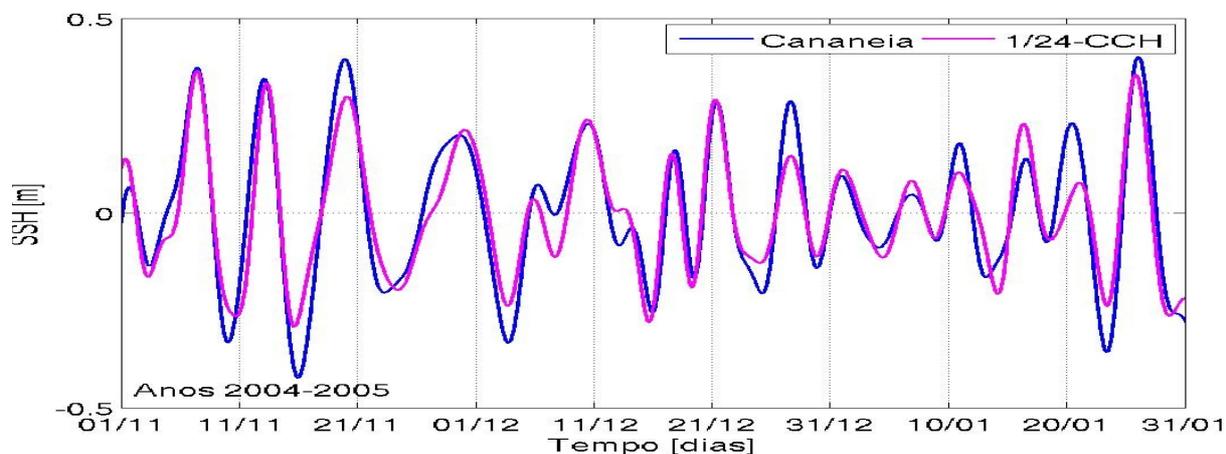


Figura 74: Cananeia - série filtrada de elevação para banda definida por períodos de corte de 3 e 14 dias, ilustrando para um período de 3 meses a correspondência entre dados (azul) e modelo (magenta) quanto à representação da maré meteorológica na costa.

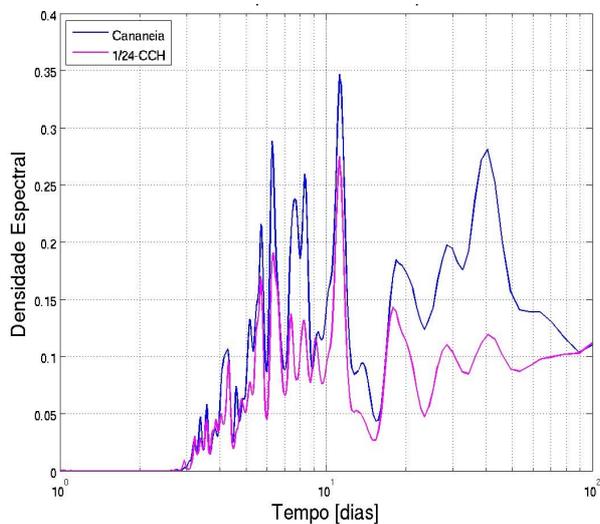


Figura 75: Cananeia – análise espectral de dados (azul) e modelo (magenta), retiradas as altas frequências (período de corte de 3 dias).

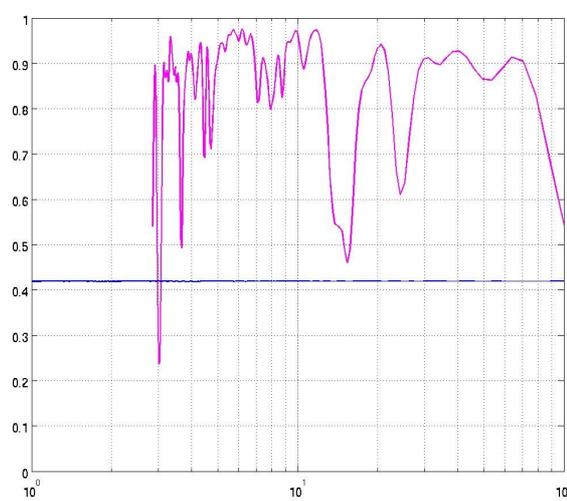


Figura 76: Cananeia – coeficiente de coerência da análise espectral cruzada entre dados e modelo (magenta) e nível de coerência de 95% (azul).

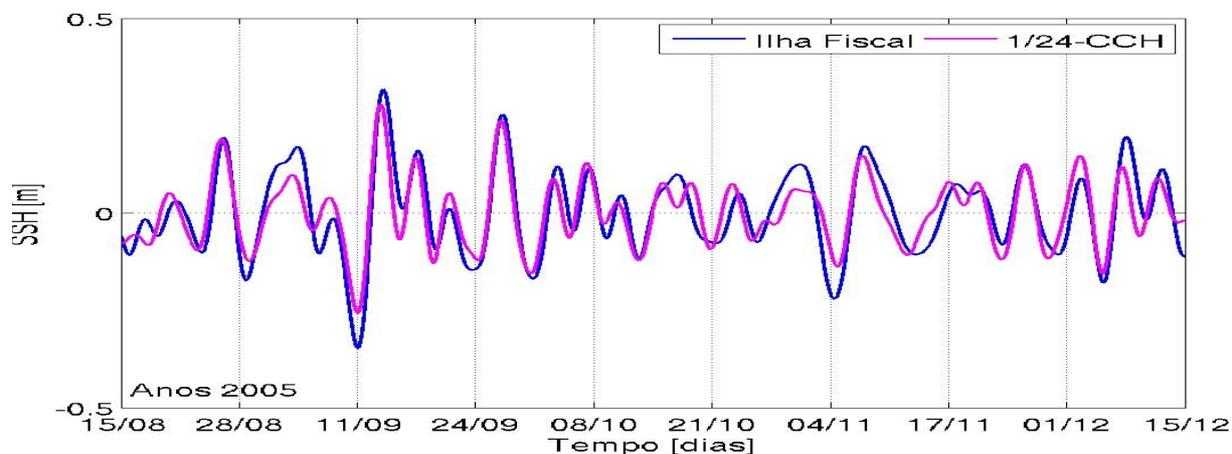


Figura 77: Ilha Fiscal - série filtrada de elevação para banda definida por períodos de corte de 3 e 14 dias, ilustrando para um período de 4 meses a correspondência entre dados (azul) e modelo (magenta) quanto à representação da maré meteorológica na costa.

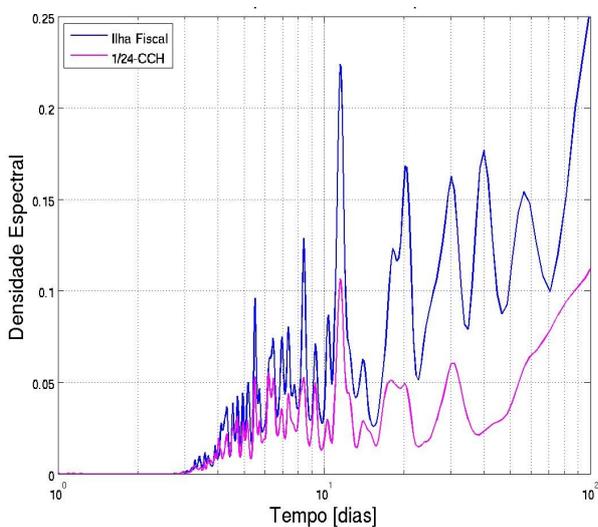


Figura 78: Ilha Fiscal – análise espectral de dados (azul) e modelo (magenta), retiradas as altas frequências (período de corte de 3 dias).

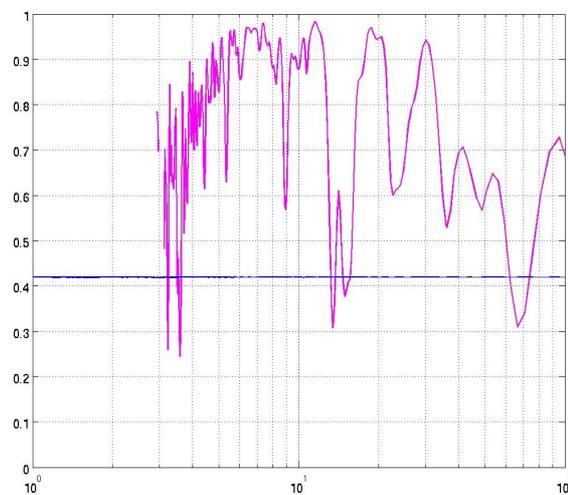


Figura 79: Ilha Fiscal – coeficiente de coerência da análise espectral cruzada entre dados e modelo (magenta) e nível de coerência de 95% (azul).

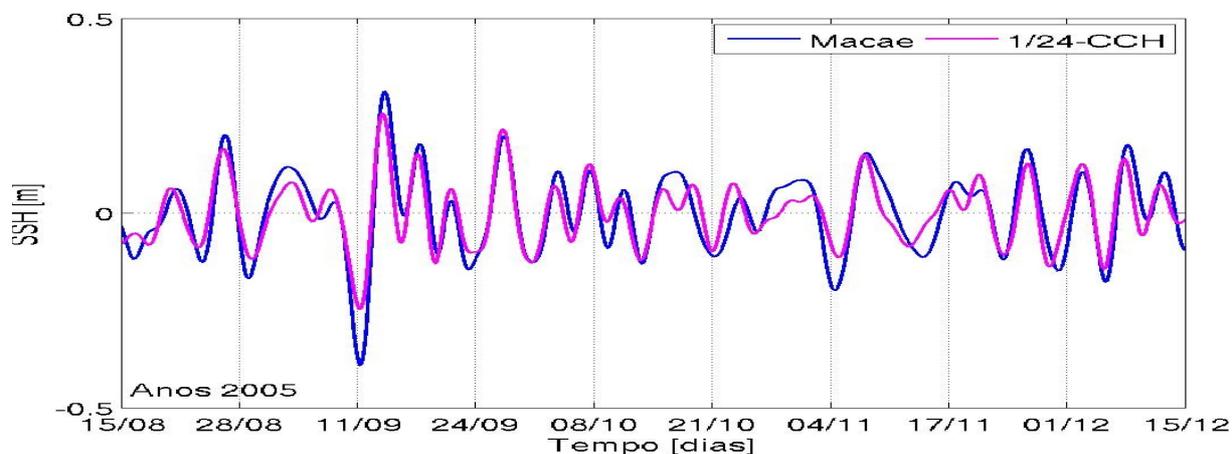


Figura 80: Macaé - série filtrada de elevação para banda definida por períodos de corte de 3 e 14 dias, ilustrando para um período de 4 meses a correspondência entre dados (azul) e modelo (magenta) quanto à representação da maré meteorológica na costa.

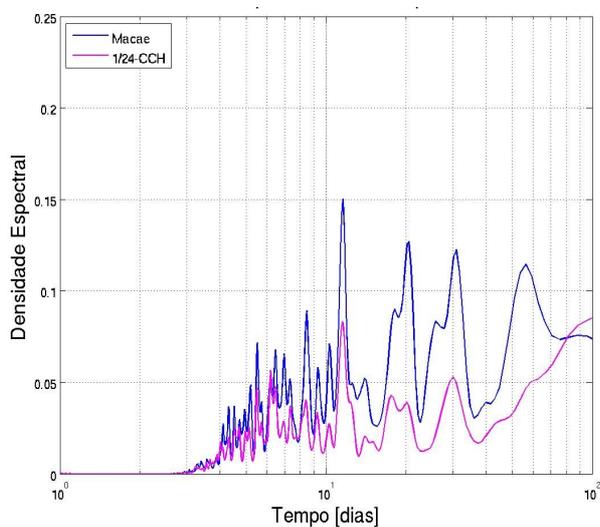


Figura 81: Macaé – análise espectral de dados (azul) e modelo (magenta), retiradas as altas frequências (período de corte de 3 dias).

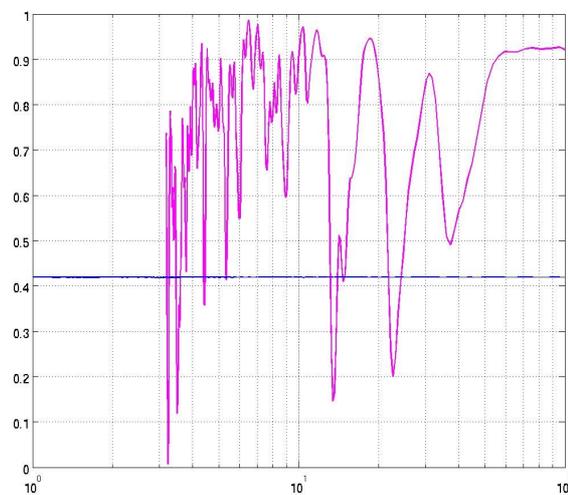


Figura 82: Macaé – coeficiente de coerência da análise espectral cruzada entre dados e modelo (magenta) e nível de coerência de 95% (azul).

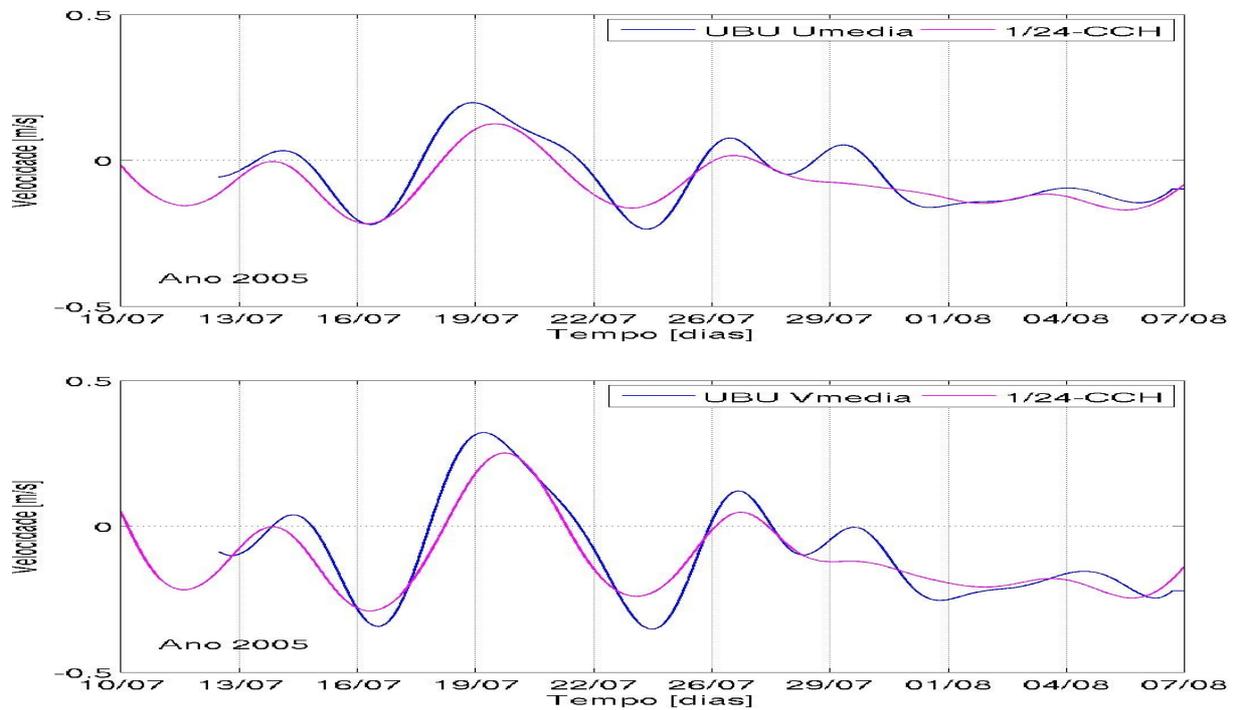


Figura 83: Correntes em UBU, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), no período de 07/2005 a 08/2005, para dados (azul) e modelo (magenta), para baixas frequências (período de corte de 3 dias).

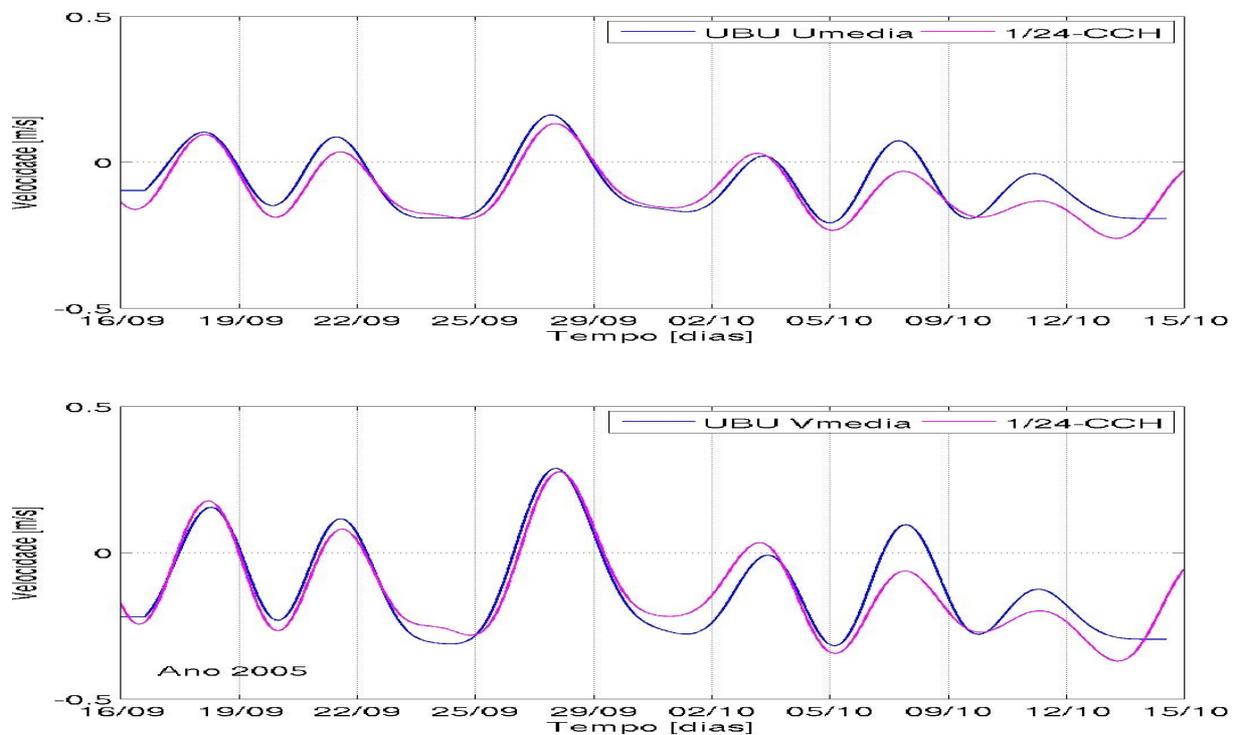


Figura 84: Correntes em UBU, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior), no período de 09/2005 a 10/2005, para dados (azul) e modelo (magenta), para baixas frequências (período de corte de 3 dias).

### **3.5 Baixa frequência no oceano**

A baixa frequência na região oceânica, correspondendo a oscilações com períodos variando de dias a meses, está associada principalmente a: a) instabilidades do campo de correntes, mais significativas nas proximidades da CB e associadas ao processo de meandramento e geração de vórtices; b) propagação de ondas de vorticidade; c) efeitos sinóticos associados ao campo de vento; e d) possíveis efeitos das ondas confinadas ainda sentidos na porção externa da plataforma continental e no talude. Embora o meandramento das correntes deva se refletir nas medições como perturbações nas séries de velocidade, sua interpretação principalmente quando associada à propagação de vórtices não é trivial nestas mesmas séries. Em função da localização das observações em relação ao fenômeno oceanográfico, as medições podem registrar apenas parte do processo, capturar apenas oscilações ou até inversões abruptas da direção das correntes, ou mesmo perder o evento por completo. Desta forma, um mesmo fenômeno, pode ser “percebido” por pontos próximos de medição de forma diferente e não ser “visto” no registro de correntes como um padrão único (LIMA, 2011).

Serão apresentadas a seguir comparações entre as séries medidas e modeladas filtrada a alta frequência, ou seja, mantidos períodos acima de um período de corte de 3 dias, para as medições em PPG1 (Figura 85), P40 (Figura 88), P48 (Figura 91), FPSOBR (Figura 94), Golfinho (Figura 97) e BS500 (Figura 100), para os períodos totais de medição. Estas séries são complementadas com rosas de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes filtradas, para cada estação: PPG1 (Figuras 86 e 87), P40 (Figuras 89 e 90), P48 (Figuras 92 e 93), FPSOBR (Figuras 95 e 96), Golfinho (Figuras 98 e 99) e BS500 (Figuras 101 e 102).

Em PPG1 tanto os níveis de variabilidade como a média das velocidades simulada é compatível com os dados, tanto para as maiores como para as menores frequências. Eventos extremos de intensificação das correntes (com valores negativos), como observado e simulado nos dois primeiros meses da série, ocorrem no modelo também na segunda metade do período analisado. Isto se reflete na rosa de frequências, que apresenta uma dominância na direção SW no modelo (Figura 86) que não é observada nos dados (Figura 87). Em PPG1 é interessante notar ainda, como ilustração, três pulsos intensos ao final de maio e início de junho, os quais são

capturados pelo modelo, embora com maior amplitude. Observando-se a Figura 70, percebe-se que representam uma sequência de três grandes ondas de plataforma com sinal ainda nítido neste ponto de medição.

Em P40 e P48 também os valores médios e variância dos resultados são semelhantes aos dados, o que se reflete neste caso em rosas de frequência similares. Percebe-se alguma datação para o início da série e para oscilações de menor intensidade, mas alguns eventos extremos nos dados não são simulados pelo modelo. É interessante notar desde já como duas estações tão próximas (ver Figura 88 e Figura 91) apresentam sinais bastante diversos, em acordo com os resultados apresentados por LIMA (2011). Em FPSOBR (Figura 94), localizada também na Bacia de Campos mais ao norte do que as duas estações anteriores, a comparação direta parece mais favorável para a componente meridional do que a zonal. Neste último caso, porém, embora não haja datação das séries, observa-se que o evento de intensificação de velocidades positivas observado no início do ano ocorre algumas vezes no modelo na segunda metade do ano. Já o evento de reversão para velocidades negativas no início de agosto, observado nos dados, não é percebido pelo modelo a partir da análise da série pontual de resultados. Para FPSOBR a rosa de frequências é similar, com maior tendência para direção SE no modelo (Figura 96) que nos dados (Figura 95).

Para Golfinho, na Bacia do Espírito Santo (Figura 97), o nível de variabilidade é semelhante para modelo e dados, tanto em frequência como em amplitude (principalmente para velocidades zonais). Na simulação, porém, a CB invade mais intensamente a posição do fundeio, o que compromete a comparação das rosas de frequência que apresentam no modelo uma dominância para SW, correspondendo ao fluxo da corrente (Figura 99). O mesmo pode ser observado diretamente nas séries temporais cuja média é negativa para o modelo e próxima de zero para os dados. Em BS500, na Bacia de Santos, novamente valores médios e variabilidade modelados são compatíveis com os dados, o que se reflete em rosas de frequência bastante similares (Figura 101 e Figura 102). Não observa-se tão claramente, porém, a datação das oscilações e o modelo não percebe por exemplo o intenso evento no início da série (Figura 100). A questão da datação será melhor discutida no restante desta seção, incluindo uma comparação entre modelo, dados e AVISO.

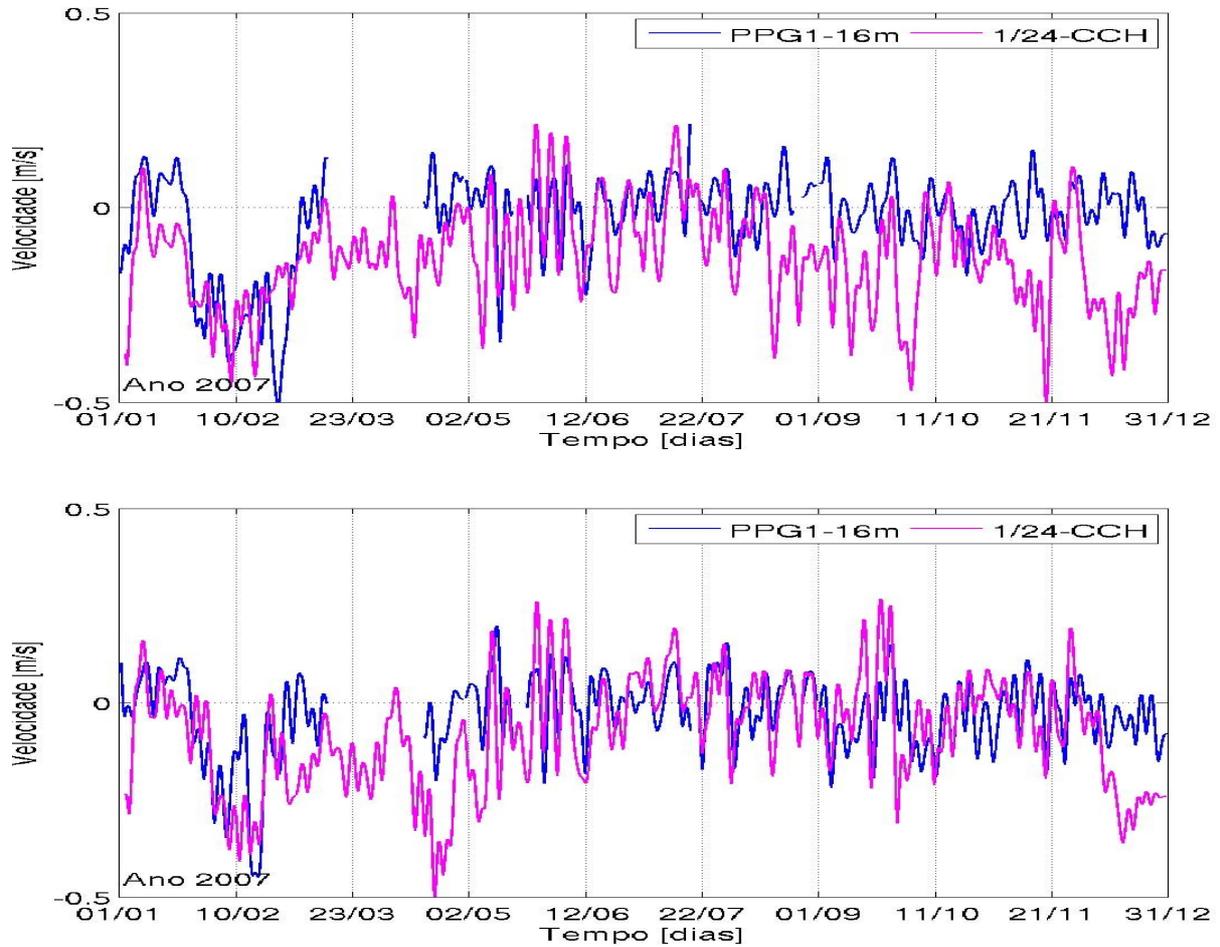


Figura 85: PPG1 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias).

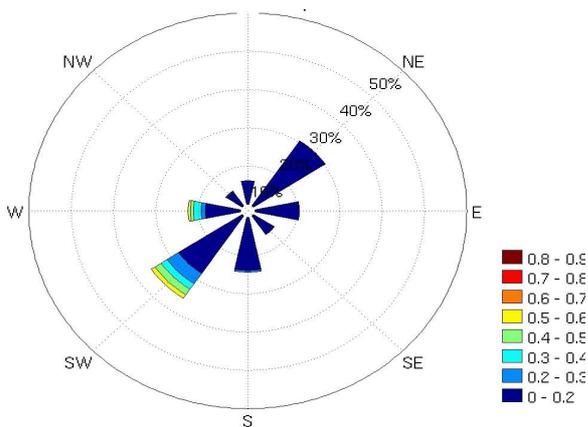


Figura 86: PPG1 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dados

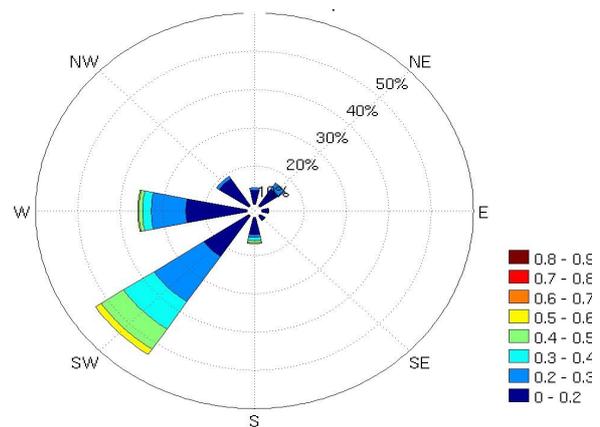


Figura 87: PPG1 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para modelo

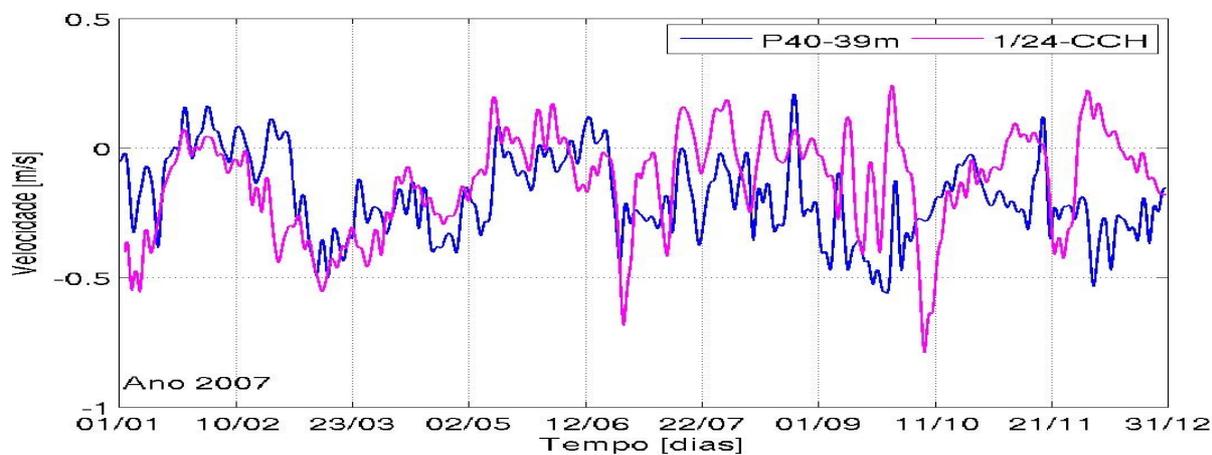
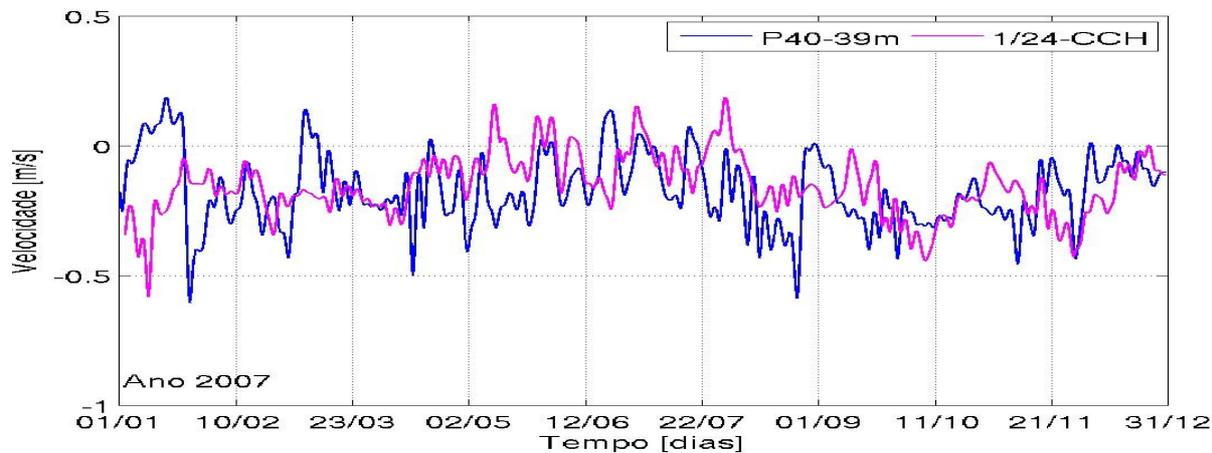


Figura 88: P40 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias).

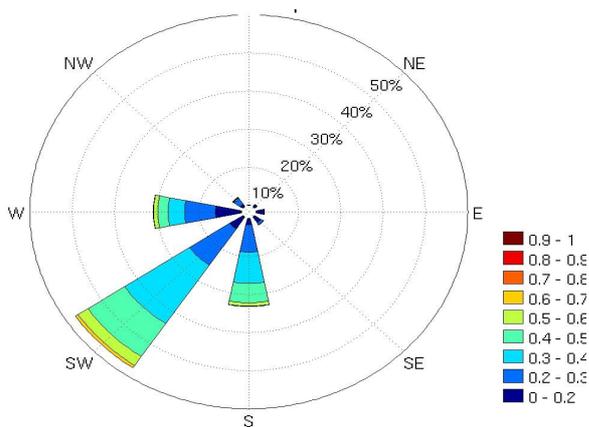


Figura 89: P40 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

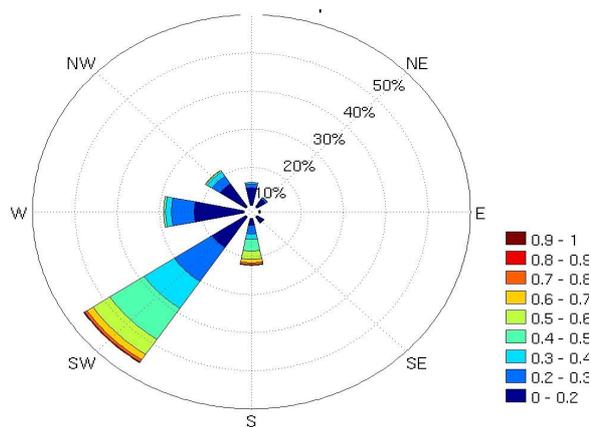


Figura 90: P40 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para modelo

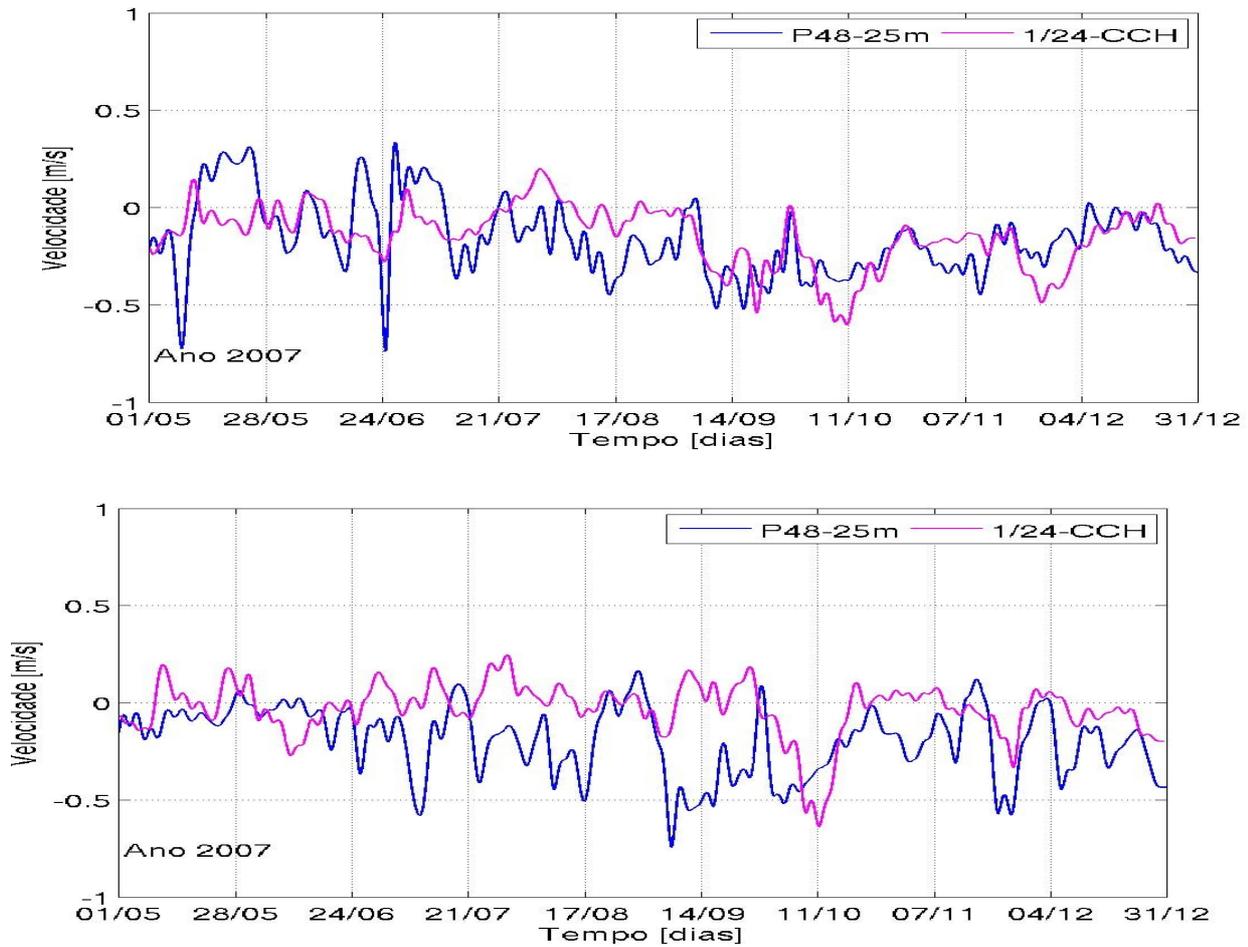


Figura 91: P48 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias).

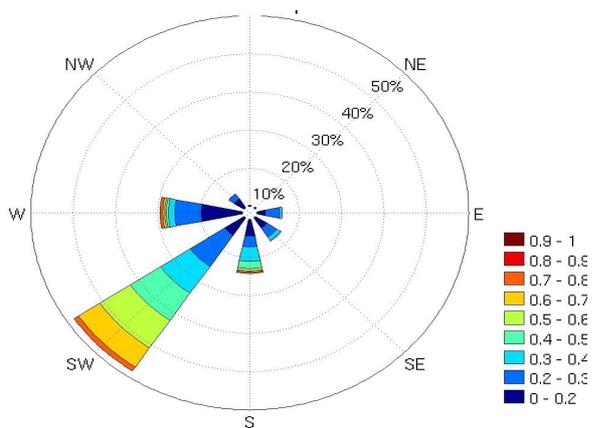


Figura 92: P48 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

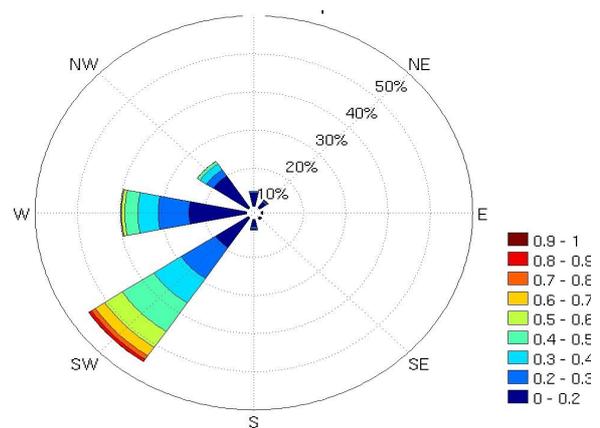


Figura 93: P48 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

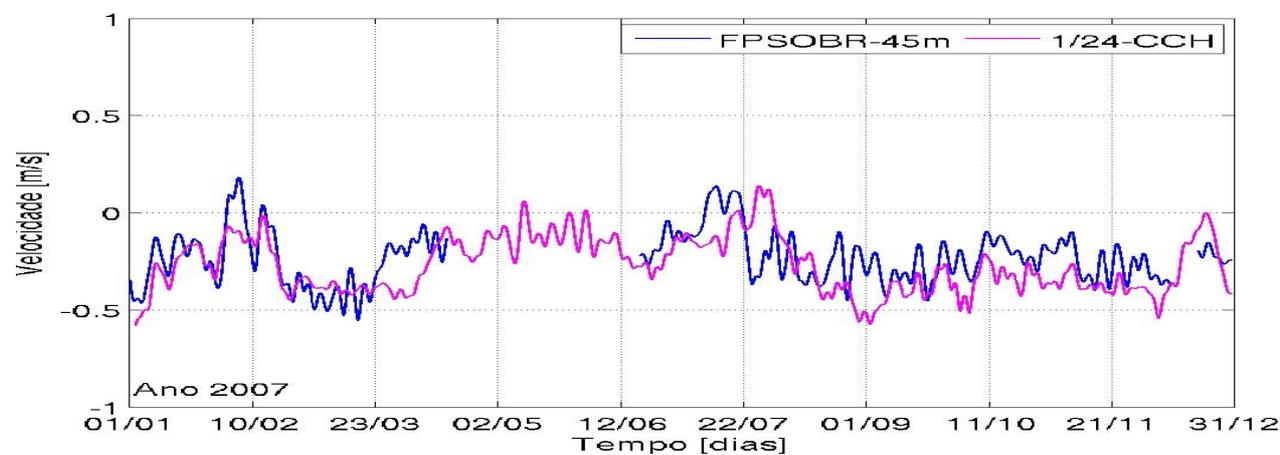
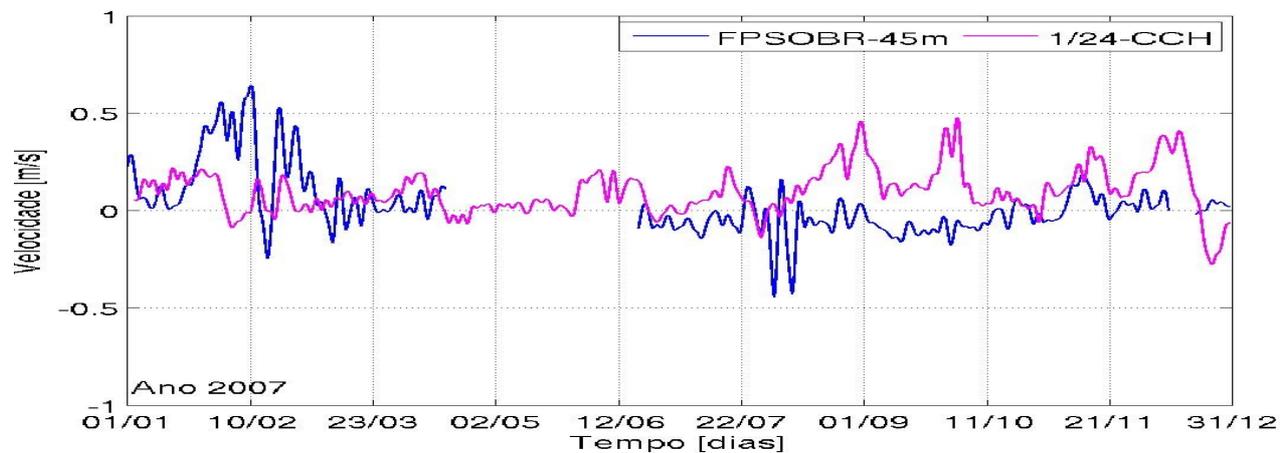


Figura 94: FPSOBR - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias).

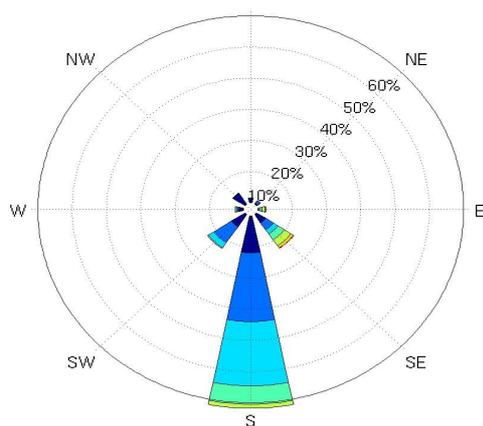


Figura 95: FPSOBR - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

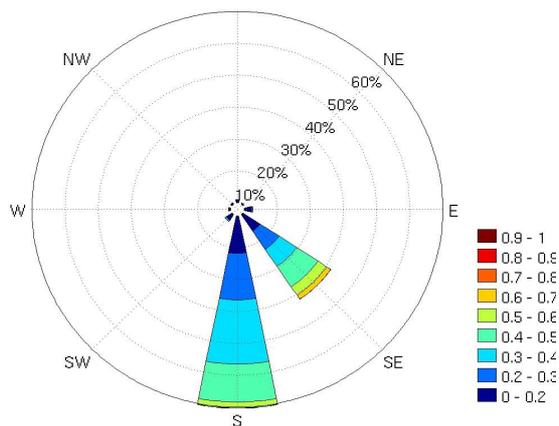


Figura 96: FPSOBR - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

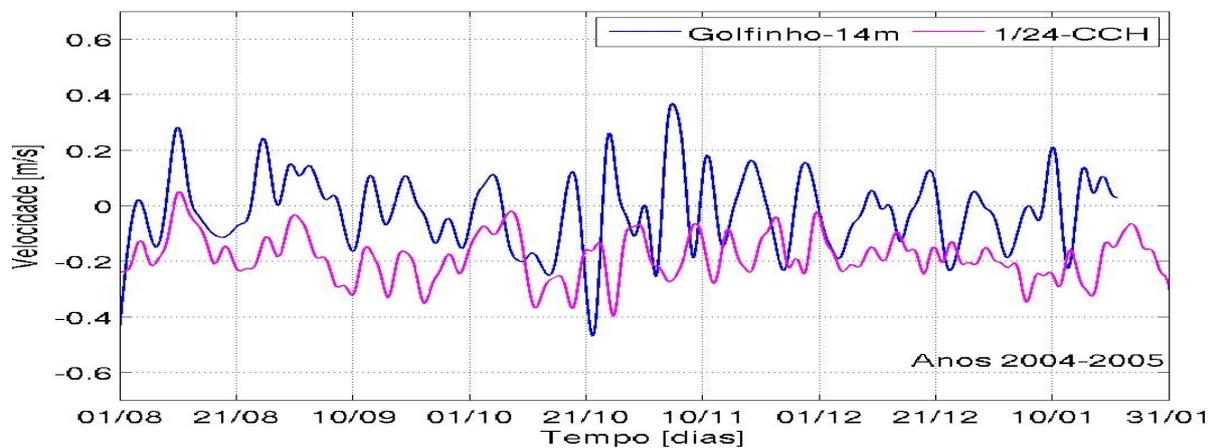
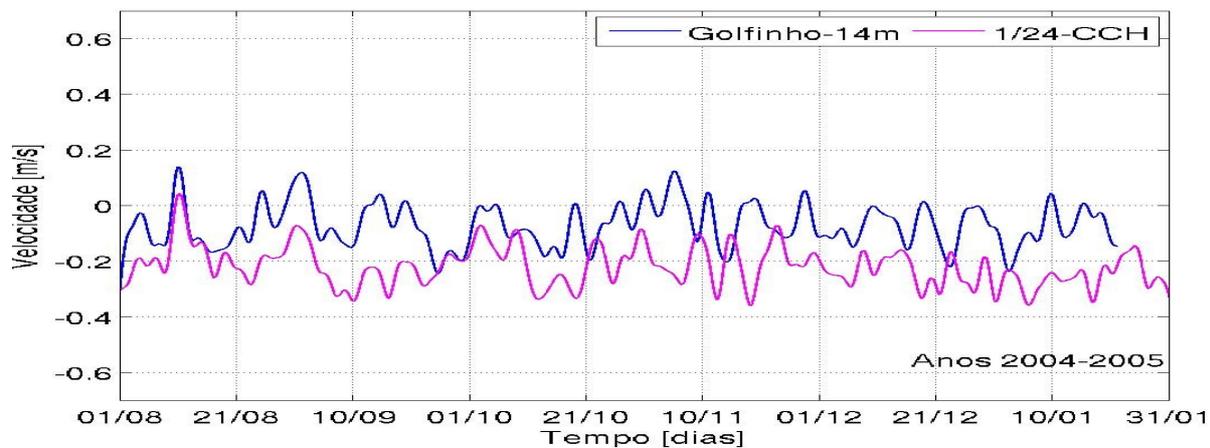


Figura 97: Golfinho - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias).

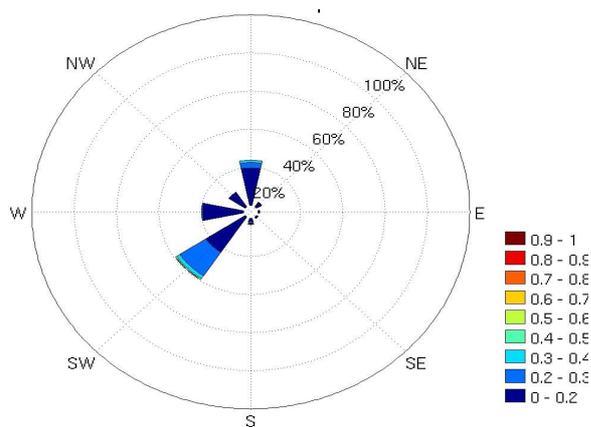


Figura 98: Golfinho - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

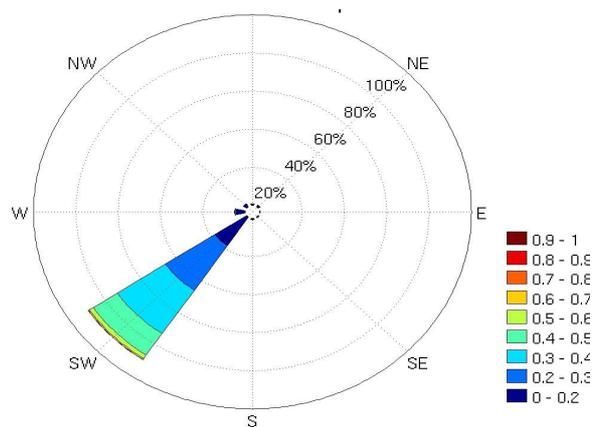


Figura 99: Golfinho - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para modelo

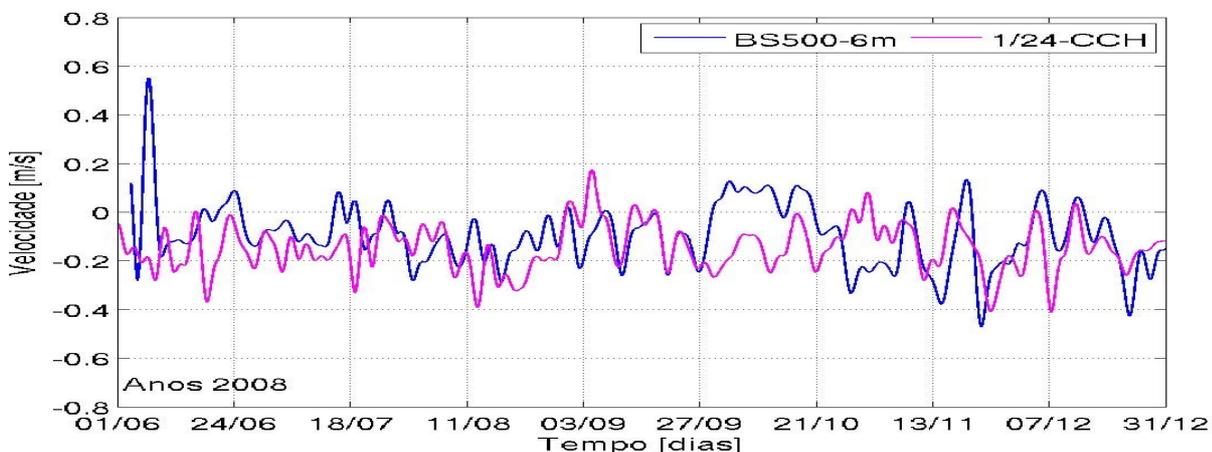
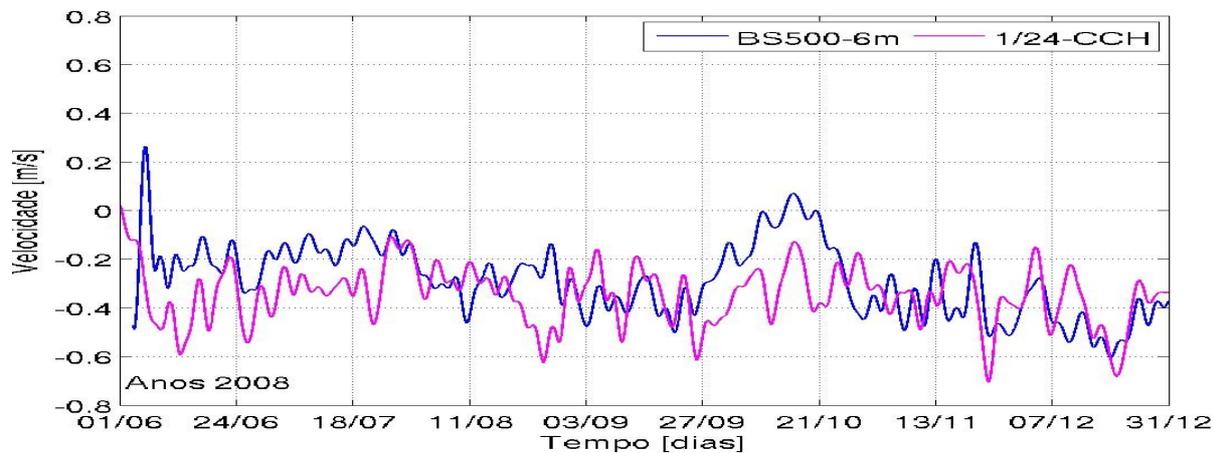


Figura 100: BS500 - séries de velocidade zonal (acima) e meridional (abaixo) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias).

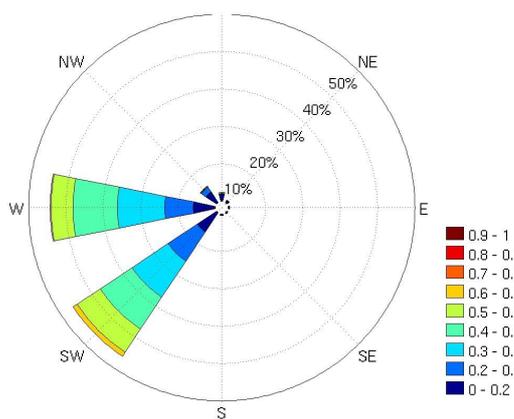


Figura 101: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

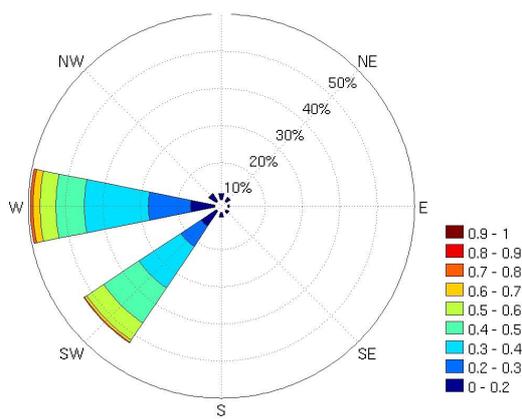


Figura 102: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

A análise mais detalhada de dois eventos pode ajudar na melhor compreensão do significado das comparações apresentadas anteriormente. No início de 2007, um intenso e longo período de meandramento na CB é observado nos dados e ilustrado nas imagens de satélite e no modelo para o dia 16/2/2007 (Figura 103). Em PPG1 (Figura 85) este evento é percebido tanto nos dados como no modelo como uma intensificação das velocidades negativas zonais e meridionais, ou seja, um fluxo para SW. Isto indica que a CB invade a plataforma continental passando sobre o ponto. Já nas estações oceânicas (P40, mais ao sul, e FPSOBR, mais ao norte) o evento é percebido nos dados de forma bastante diversa. Em P40 (figura 88) por uma abrupta modificação do sentido da velocidade zonal próximo ao final de janeiro, para oeste (velocidades negativas) indicando a presença do ramo sul do meandro, que não é capturado ou é capturada mais cedo pelo modelo. Em FPSOBR (Figura 94), a intensificação do fluxo para leste (velocidades positivas) nos dados, indicando o ramo norte do meandro, também não é percebida no modelo. O comportamento da velocidade meridional, porém, nos dois casos, é semelhante no modelo e nos dados. Campos de velocidade do modelo são comparados aos campos derivados do AVISO na Figura 104, mostrando a evolução do evento, que ocorre no modelo mas com estrutura e posição não correspondendo exatamente aos dados, o que explica as diferenças observadas na comparação das séries temporais.

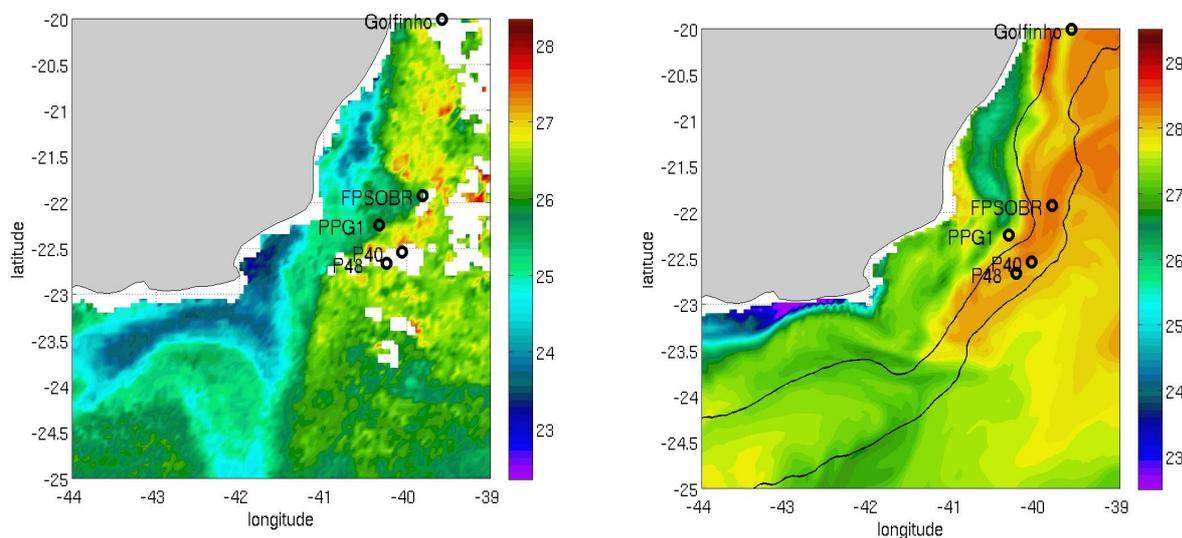


Figura 103: TSM para dados (esquerda) e modelo (direita), em 16/2/2007, mostrando a formação de um meandro na região de São Tomé.

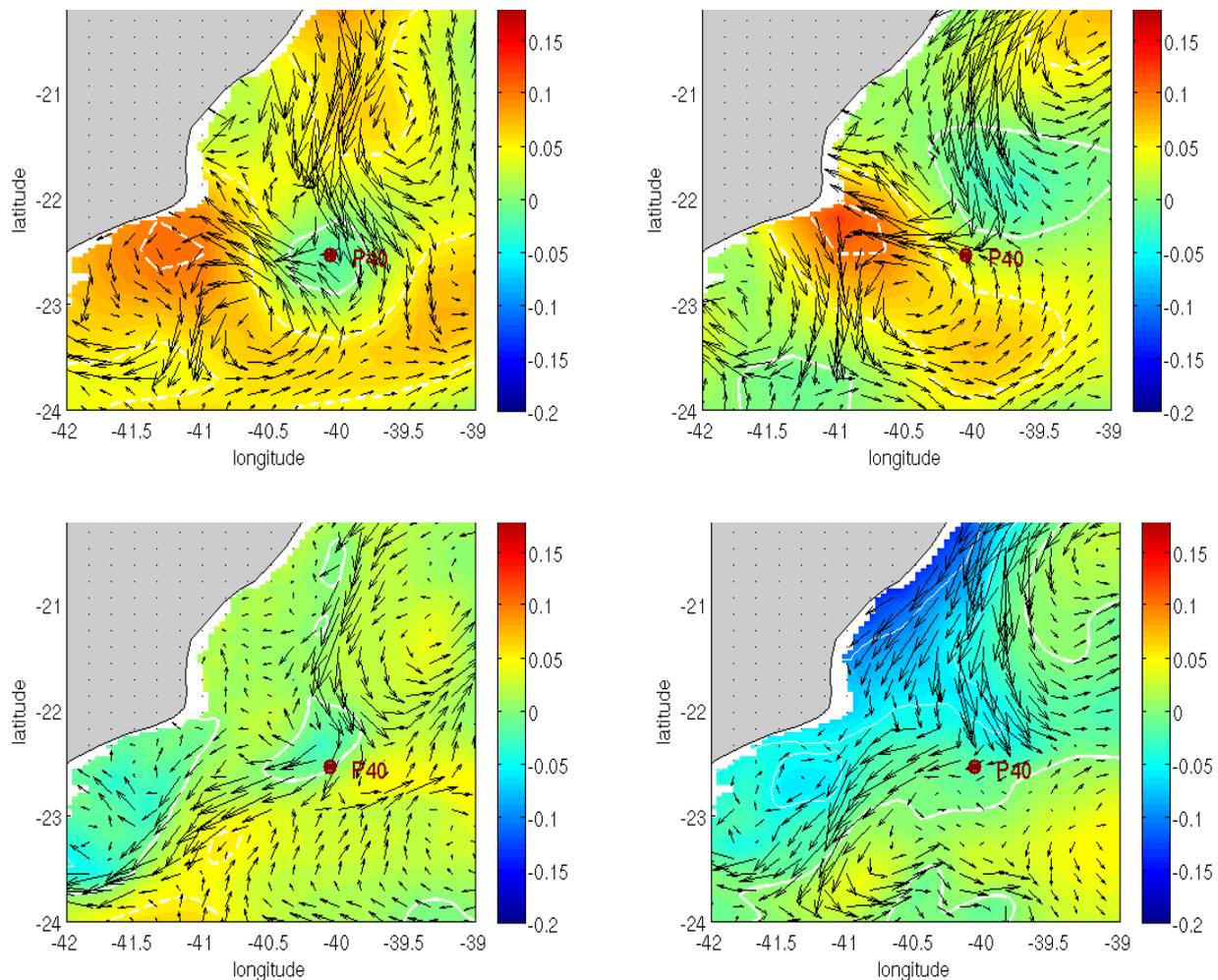


Figura 104: Campos de velocidade reconstruídos (velocidades geostróficas adicionadas a média do modelo) a partir da altimetria do AVISO (acima) e campo de velocidade superficial e anomalia de SSH do modelo (abaixo), para dois instantes durante o evento de mesoescala ocorrido no início de 2007.

No segundo caso, um intenso e curto evento é percebido em P48 (Figura 91) em 24/06, com inversão das velocidades zonais, o qual não é capturado pelo modelo neste ponto de fundeio. Em P40 (Figura 88) observa-se, de forma um pouco menos evidente, a mesma inversão, neste caso capturada e até intensificada pelo modelo. A imagem de satélite para uma data próxima mostra que o evento corresponde a um intenso meandramento da corrente dando origem a um VST (Figura 105). O mesmo evento aparece na TSM do modelo, se bem que menos bem definido, e é evidente

no campo de velocidade do modelo. Variações entre modelo e dados na estrutura e na posição do vórtice explicam novamente a diferença observada nas séries, embora o evento esteja presente em ambos.

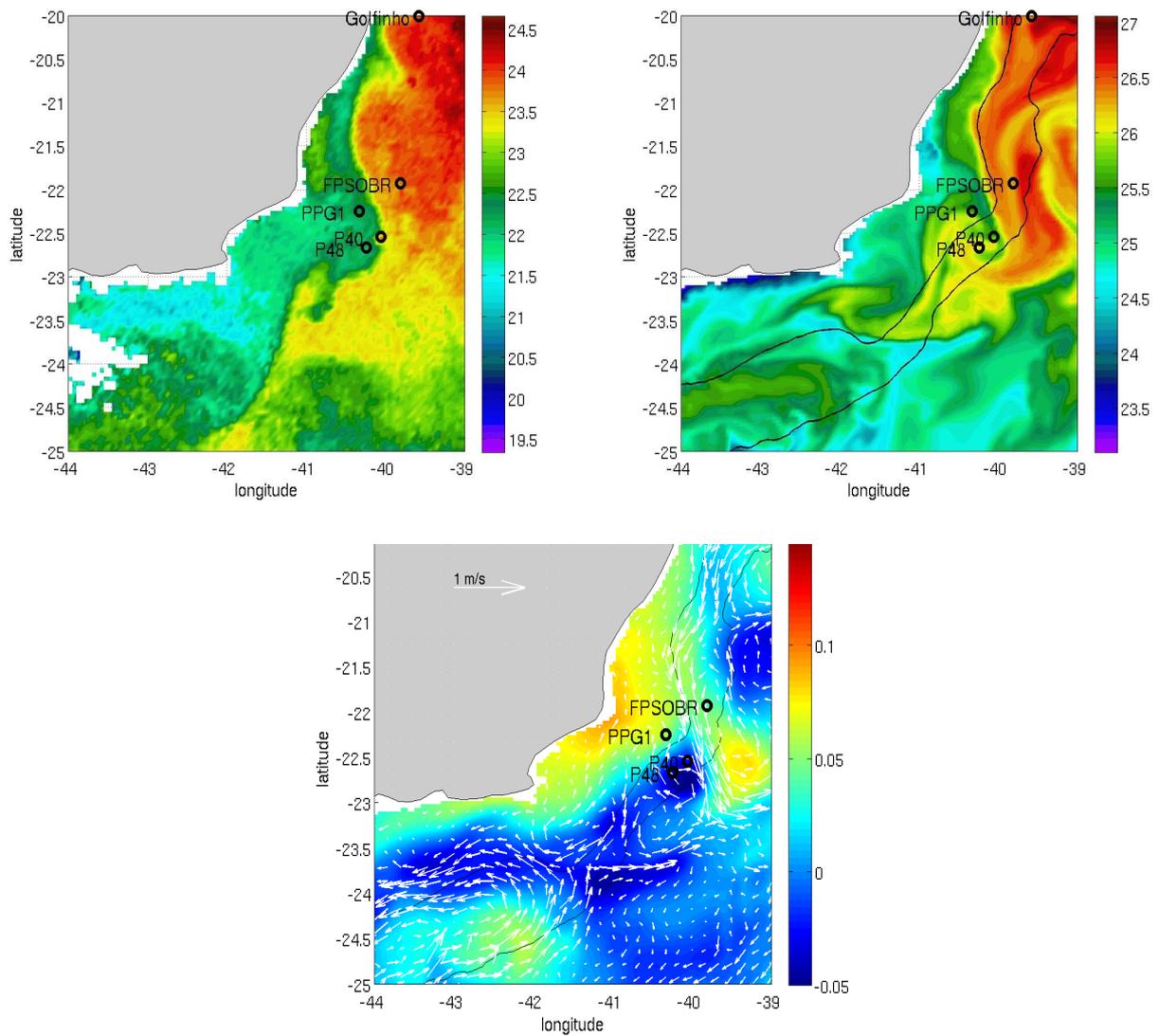


Figura 105: TSM observada (painel superior esquerdo) e modelada (painel superior direito), e campo de correntes modelado (painel inferior) para evento ocorrido ao final de junho de formação de um VST.

Uma questão importante quanto à comparação das séries pontuais do modelo e dos dados é entender o quanto a informação contida na altimetria do AVISO, a qual efetivamente força a datação do modelo através do C&H, é consistente com os dados medidos nos fundeios. Este aspecto é ilustrado na Figura 106, na qual são comparadas séries de anomalia de velocidade geostrófica, calculada com o AVISO, e de anomalias de velocidade do dado e do modelo em baixa frequência (período de corte neste caso de 15 dias) para dois pontos de fundeio<sup>3</sup>. É importante notar que a altimetria do AVISO não contém energia significativa em escalas de tempo menores que uma quinzena, aproximadamente, não sendo viável a datação nestas escalas.

Para velocidades meridionais em P40 (painel superior direito da Figura 106), por exemplo, verifica-se uma boa concordância entre AVISO, modelo e dado para todo o trecho entre o início do ano e setembro, aproximadamente. Já no final do ano, o modelo se ajusta melhor ao AVISO (conforme esperado) do que ao dado, sendo que neste período já não há tão boa correspondência entre AVISO e dado. Para velocidades zonais (painel superior esquerdo), por sua vez, existe melhor correlação entre AVISO, modelo e dados para a tendência anual do que para as frequências mais altas mostradas na figura, para as quais existe datação apenas para alguns poucos eventos. Em BS500, tanto para velocidades zonais como meridionais (painéis inferiores), o AVISO não se correlaciona tão bem com os dados como observado para velocidades meridionais na P40, o mesmo acontecendo com o modelo que segue mais de perto a informação contida no AVISO.

Estes dois pontos, que ilustram bem o comportamento geral observado nos demais fundeios, mostram que podem ocorrer diferentes situações, com diferentes níveis de correlação entre dado e modelo, entre dado e AVISO e entre modelo e AVISO. A menos de erros de medição (interferência

---

<sup>3</sup> Uma comparação direta entre AVISO, dados e modelo é dificultada por algumas razões: a) o AVISO fornece SSH e não velocidades de corrente; b) a informação do AVISO se refere à superfície enquanto os dados foram medidos em maiores profundidade; e c) a altimetria do AVISO, em função de sua resolução contém menos informação que o dado, ou seja, não contém altas frequências. Para contornar estes problemas foram considerados: a) anomalias de velocidades geostróficas calculadas a partir da altimetria do AVISO; b) que existe grande correlação entre a superfície e as profundidades de medição, como demonstrado na metodologia e que, portanto, é válida para o presente propósito a comparação de velocidades do AVISO e do modelo em superfície com velocidades dos dados na profundidade de medição; e c) filtragem das séries de dados e modelo preservando escalas temporais compatíveis com as apresentadas pelo AVISO.

da plataforma de exploração sobre o sensor, por exemplo), as velocidades medidas nos fundeios devem ser mais realistas que as calculadas a partir do AVISO (que representa uma composição de imagens de vários dias). O modelo porém somente recebe informações do AVISO a partir do C&H e uma datação aproximada de fenômenos de mesoescala pode não corresponder a uma datação exata de séries pontuais.

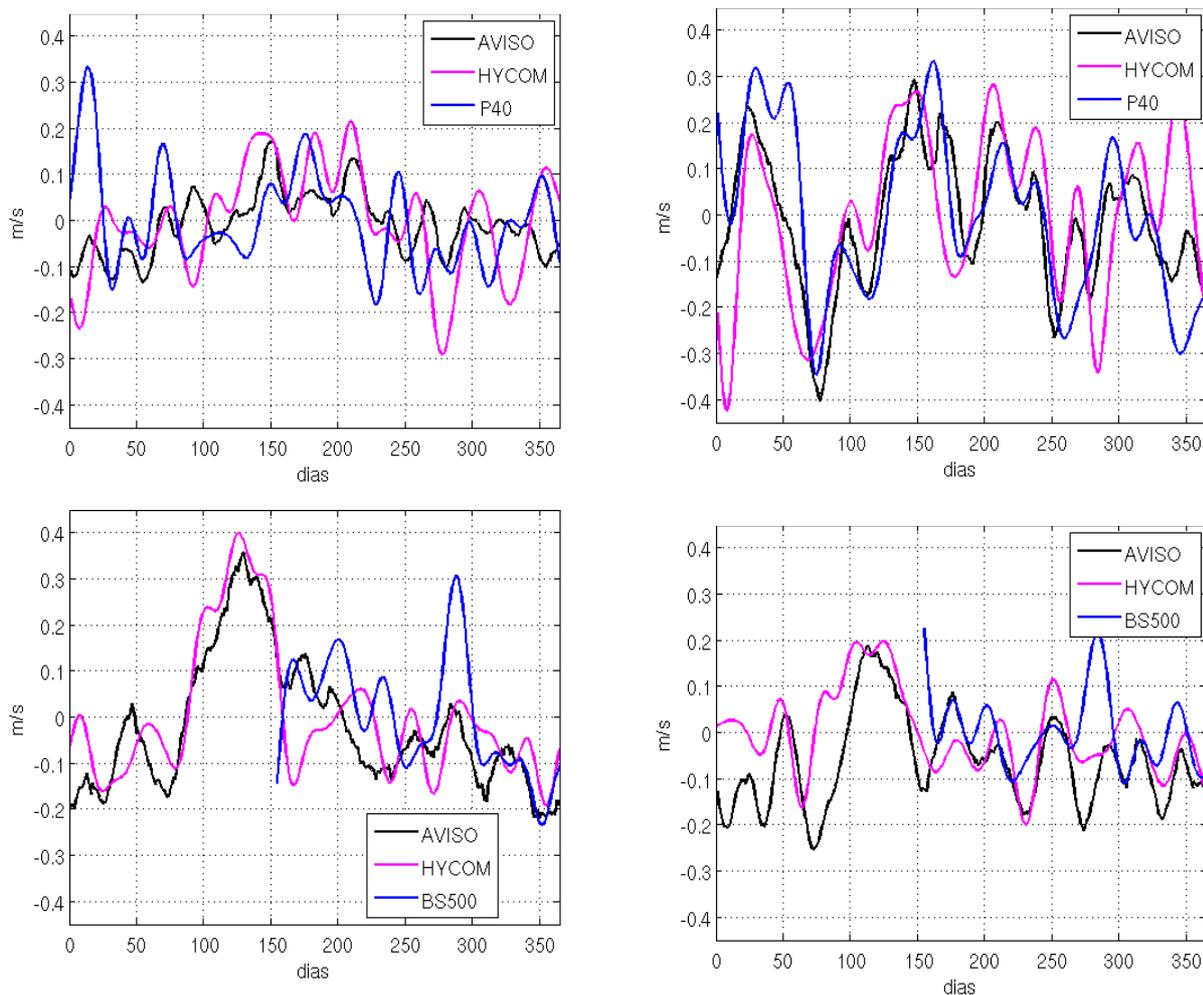


Figura 106: Comparação entre anomalias de velocidade zonal (esquerda) e meridional (direita), em P40 (acima) e BS500 (abaixo), para dados medidos (em azul), modelo (magenta) e velocidades geostróficas derivadas do AVISO (preto). Dados e modelo foram submetidos a filtragem passa-baixa com período de corte de 15 dias. O eixo horizontal corresponde aos dias do ano de 2007 para P40 e 2008 para BS500.

### **3.6 Alta frequência no oceano**

Nos pontos oceânicos (plataforma continental externa e talude), observações e modelo apresentam significativa energia em alta frequência (no caso a resultante de uma filtragem com período de corte de 3 dias). Fisicamente, estas oscilações são mais provavelmente o resultado da ocorrência combinada de marés internas, ondas internas inerciais-gravitacionais e oscilações inerciais. Estes fenômenos podem ser considerados menos determinísticos na presente simulação, uma vez que dependem de uma representação exata e datada do campo de massa e de efeitos associados a forçantes atmosféricas em escalas não representadas com a atual resolução dos mesmos. Desta forma o que se pode esperar do modelo é que represente estes fenômenos em seus resultados e que o sinal de alta frequência contenha escalas temporais e níveis energéticos compatíveis com os observados, o que é apresentado nas figuras a seguir.

Trechos das séries filtradas ilustrando a representação pelo modelo e pelos dados destas oscilações são apresentados nas Figuras 107, 112, 117, 122, 127 e 132, para as plataforma PPG1, P40, P48, FPSOBR, Golfinho e BS500, respectivamente. Rosas de distribuição de frequência por direção e intensidade (Figuras 108, 109, 113, 114, 118, 119, 123, 124, 133 e 134) e espectros (Figuras 110, 111, 115, 116, 120, 121, 125, 126, 130, 131, 135 e 136) complementam esta comparação. Tanto visualmente, a partir das séries temporais, como em função dos espectros, verifica-se que a variabilidade em alta frequência é semelhante, com níveis energéticos comparáveis em todos os casos. As componentes semidiurna e diurna da maré interna são evidentes nos espectros, sendo em alguns casos com maior energia no modelo que nos dados. Picos de energia no modelo em aproximadamente 14 e 18 horas são consequência da implementação do C&H e não aparecem nas simulações em que o C&H não é utilizado. Sua causa é incerta. As rosas de frequência apresentam comparação favorável, com distribuição mais ou menos regular (com pequena dominância de direção em alguns pontos) em todas as direções, tanto no modelo como nos dados.

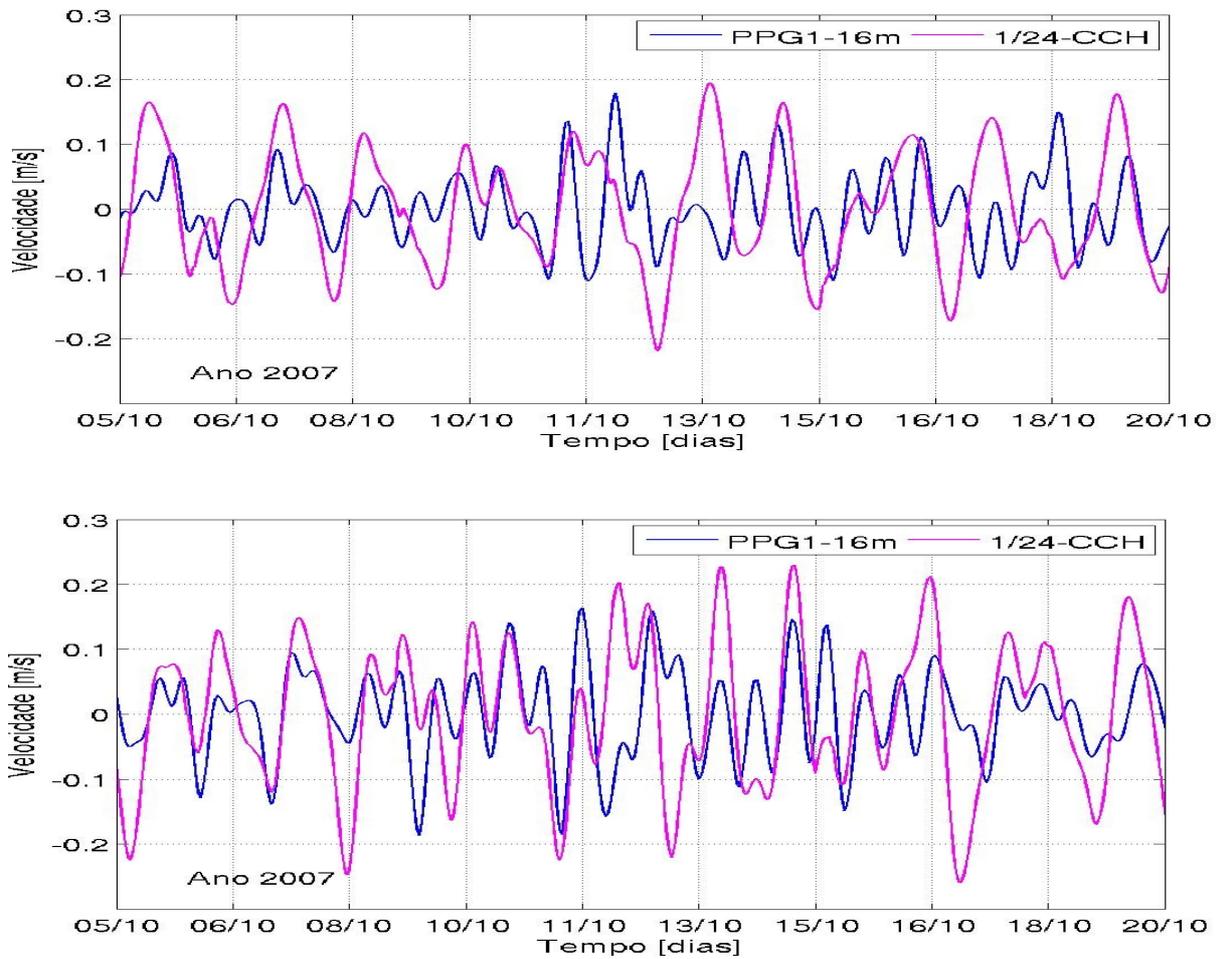


Figura 107: PPG1 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias).

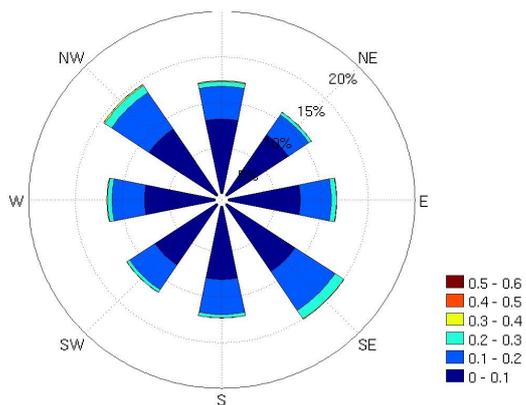


Figura 108: PPG1 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

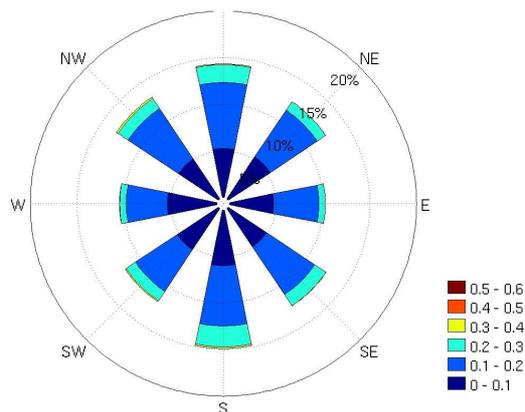


Figura 109: PPG1 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

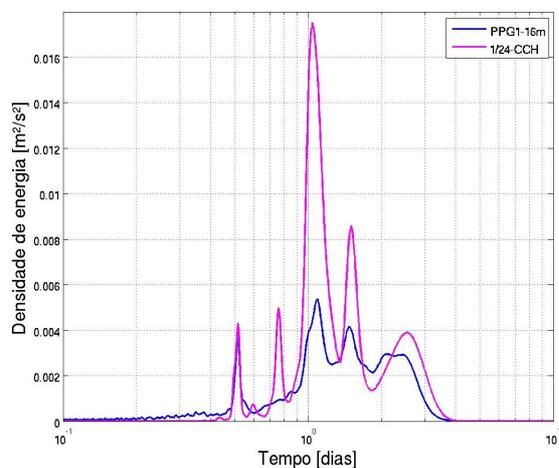


Figura 110: PPG1 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente zonal.

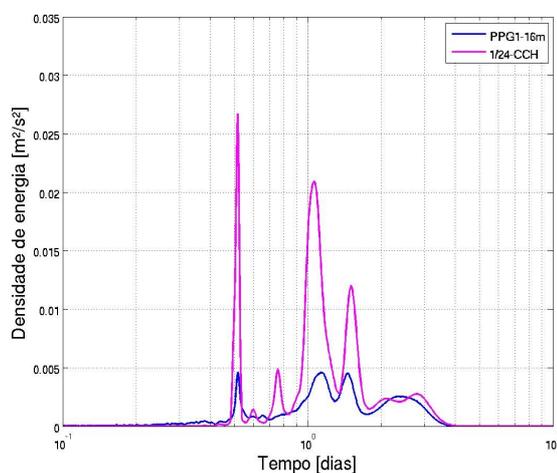


Figura 111: PPG1 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente meridional.

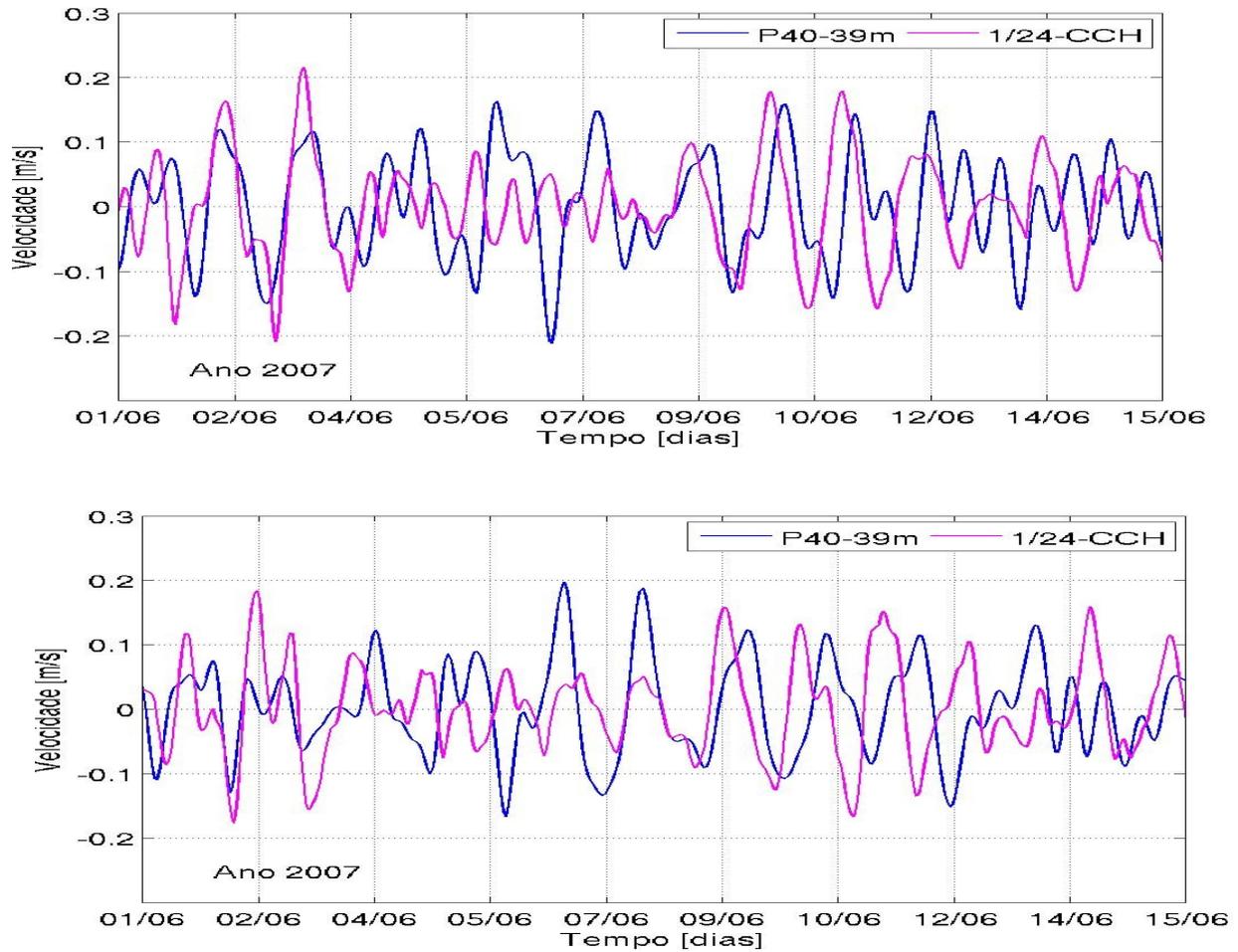


Figura 112: P40 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias).

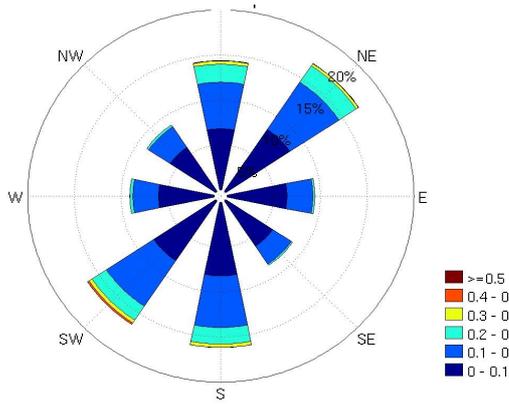


Figura 113: P40 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

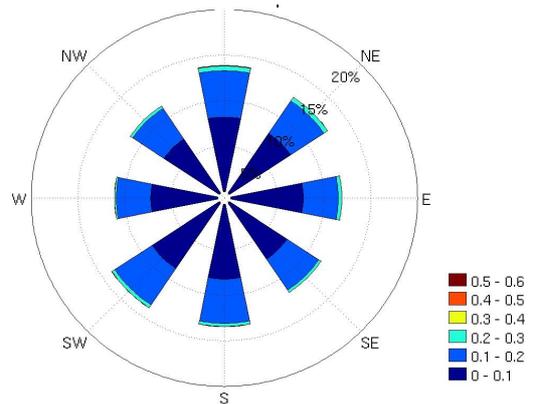


Figura 114: P40 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

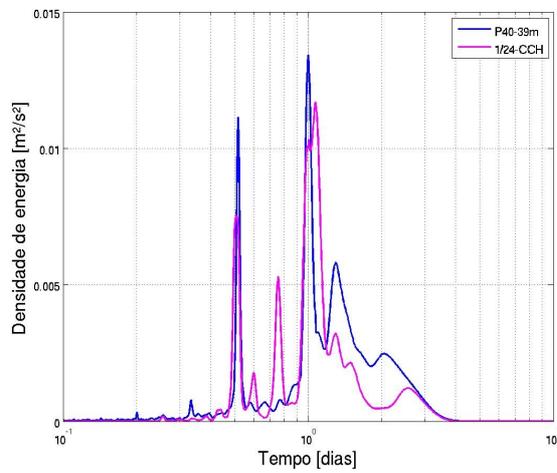


Figura 115: P40 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente zonal.

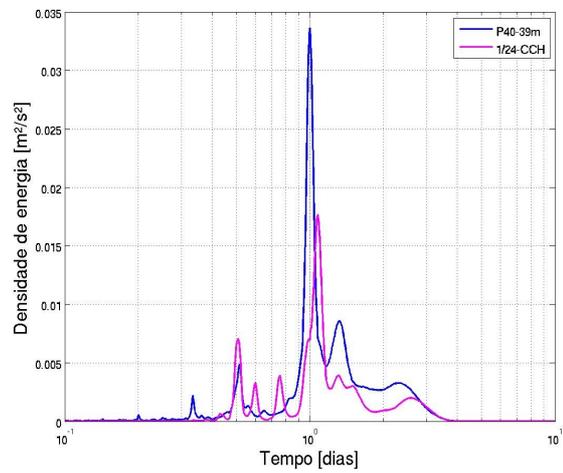


Figura 116: P40 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente meridional.

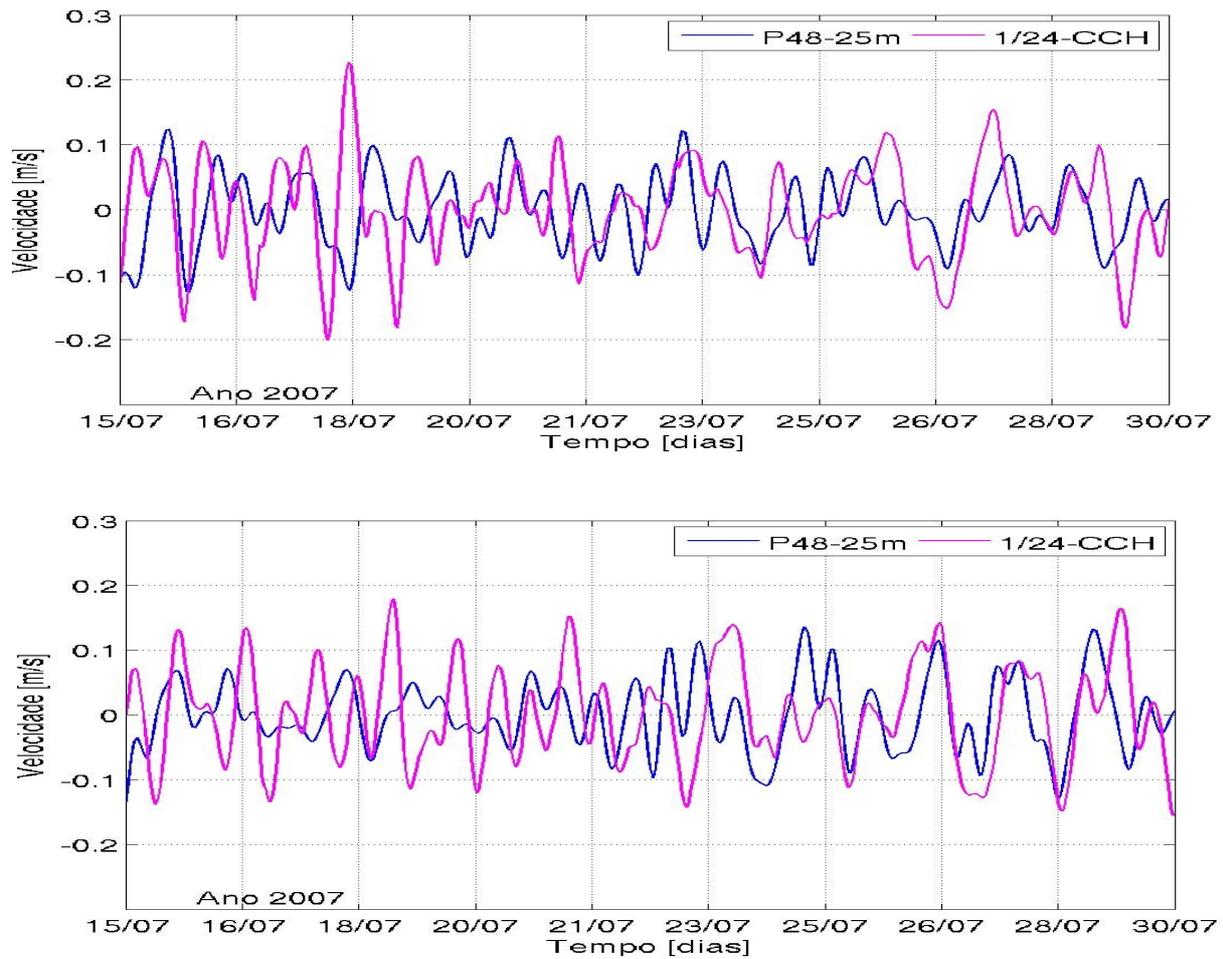


Figura 117: P48 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias).

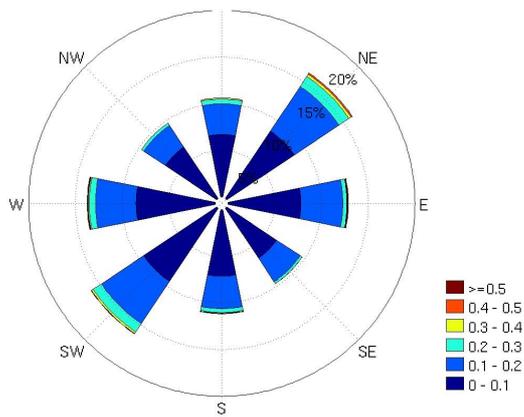


Figura 118: P48 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

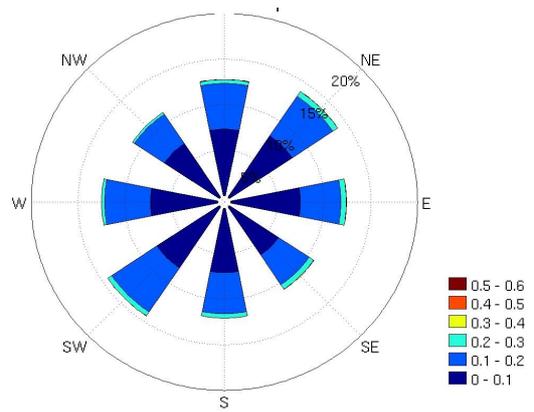


Figura 119: P48 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

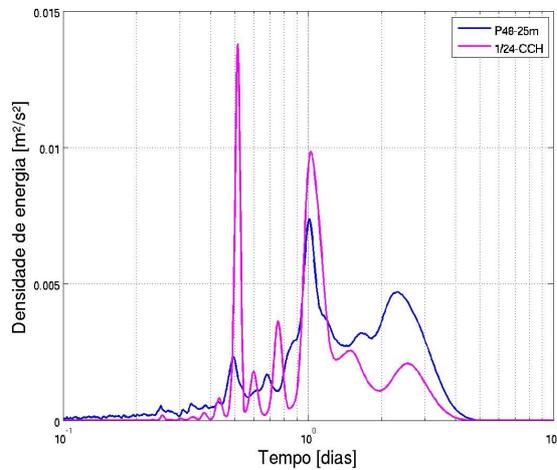


Figura 120: P48 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente zonal.

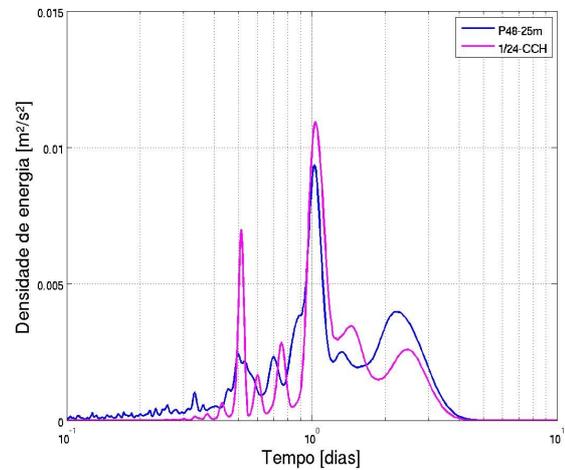


Figura 121: P48 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente meridional.

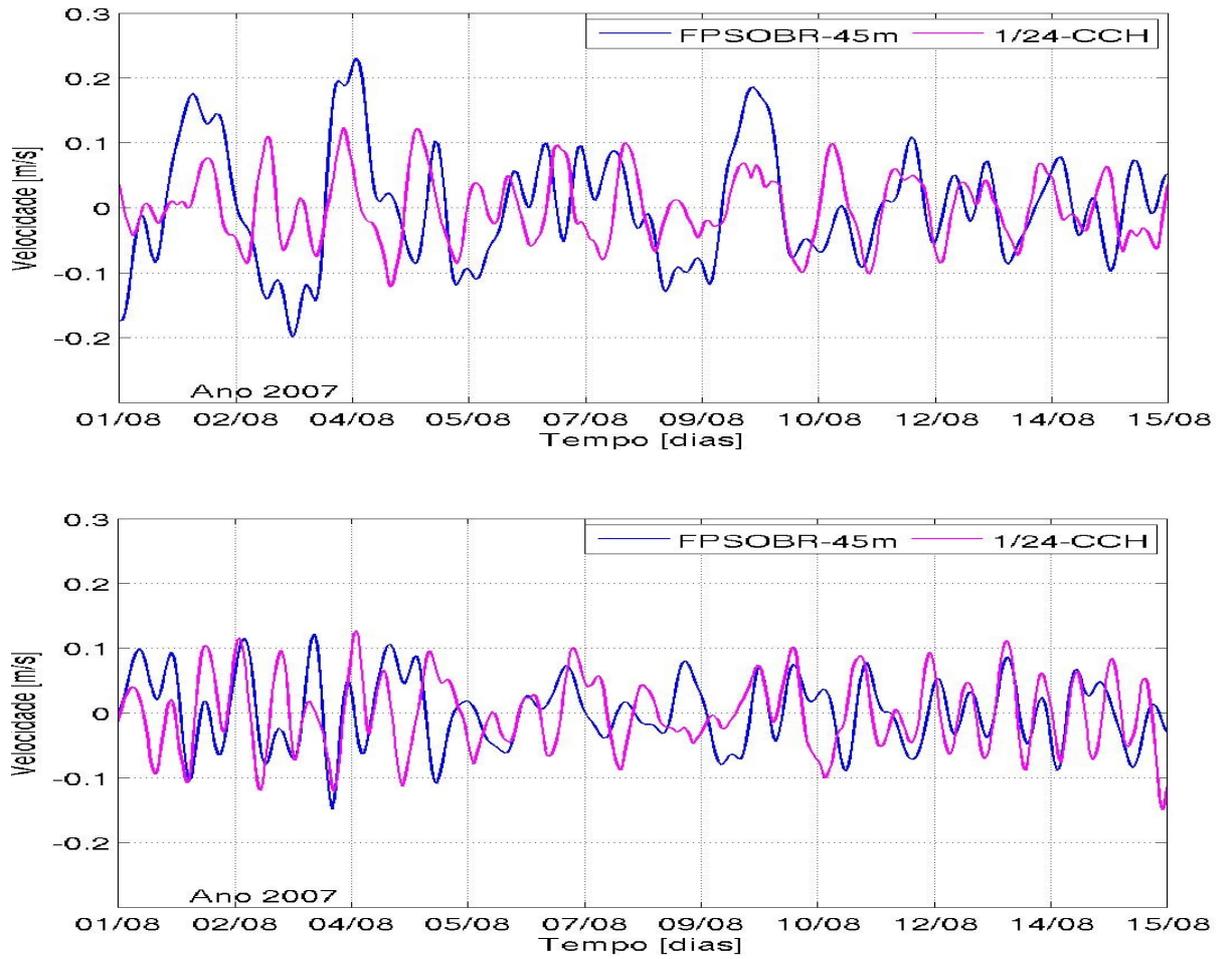


Figura 122: FPSOBR - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias).

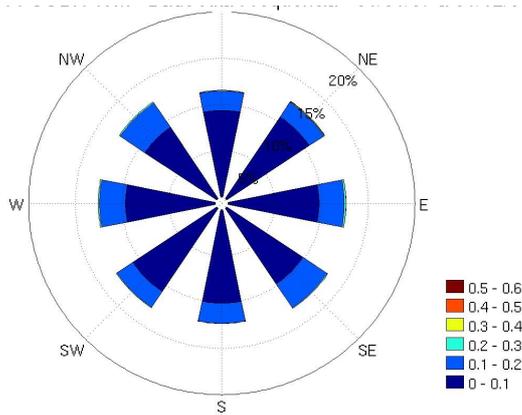


Figura 123: FPSOBR - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

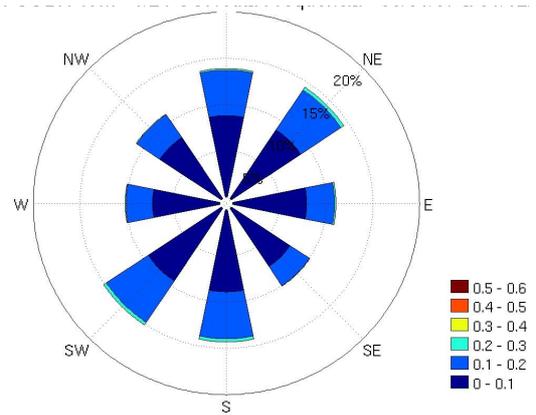


Figura 124: FPSOBR - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

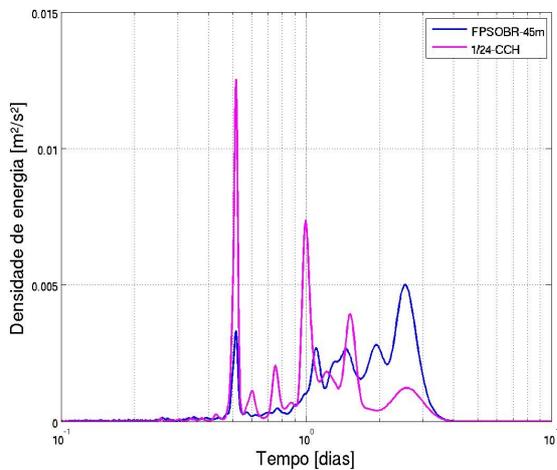


Figura 125: FPSOBR - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente zonal.

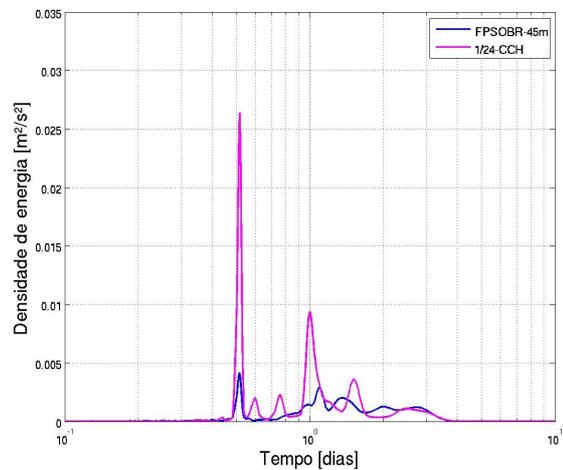


Figura 126: FPSOBR - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente meridional.

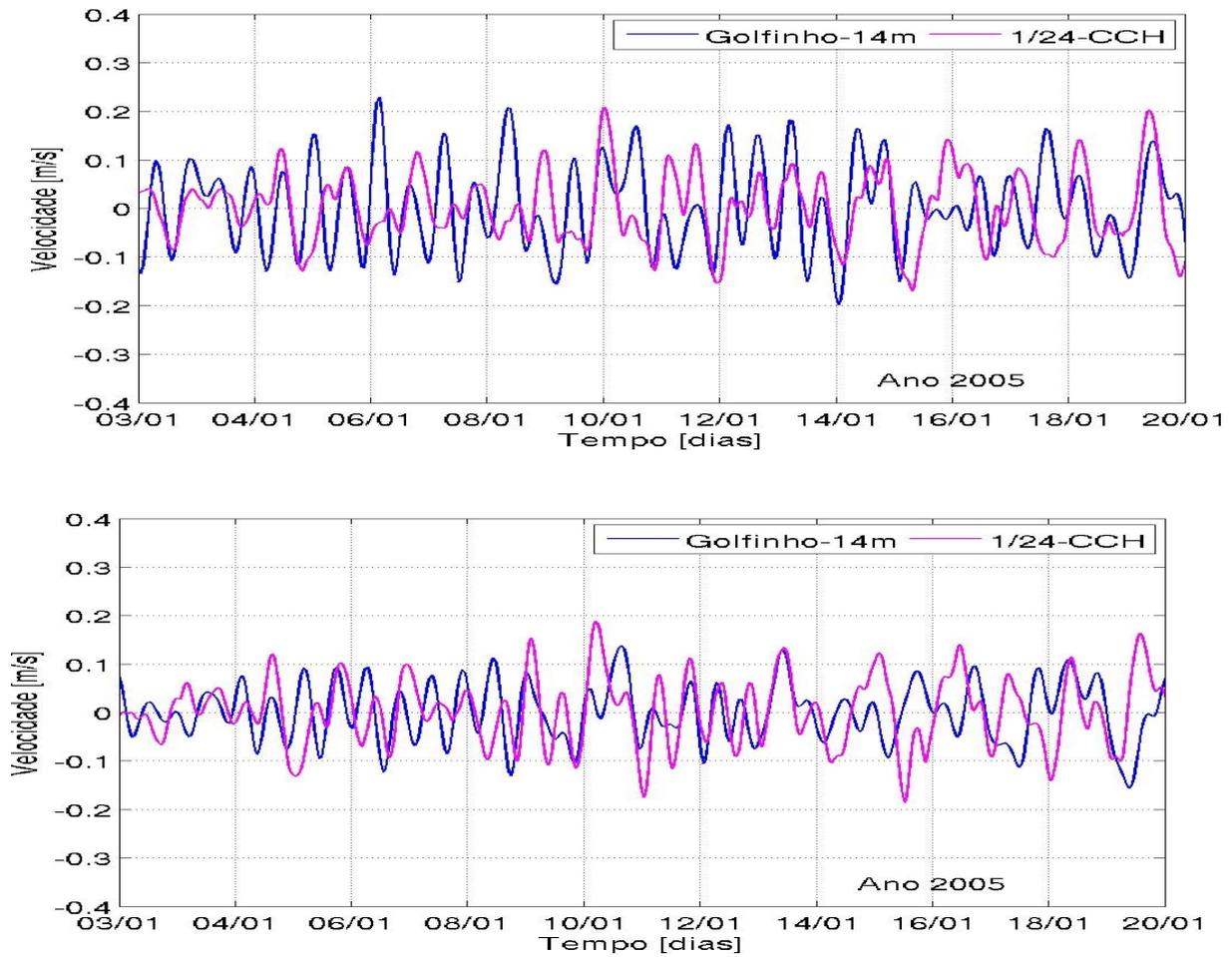


Figura 127: Golfinho - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias).

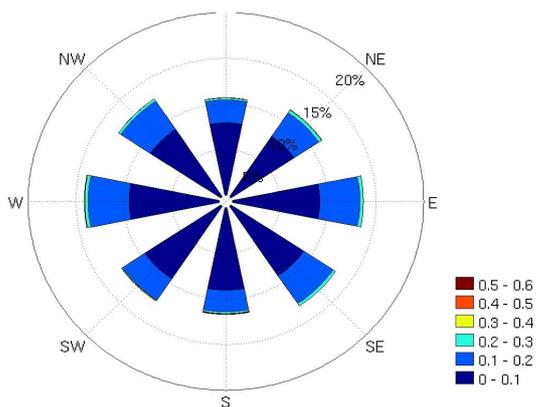


Figura 128: Golfinho - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

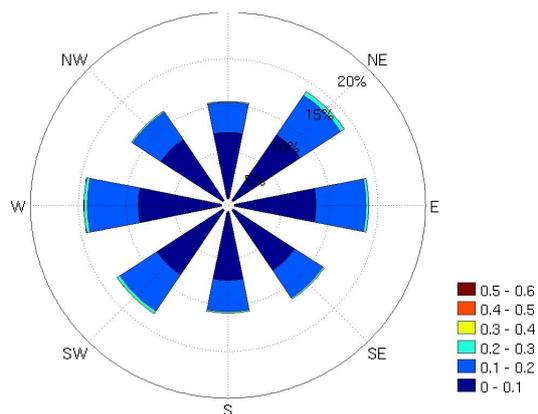


Figura 129: Golfinho - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

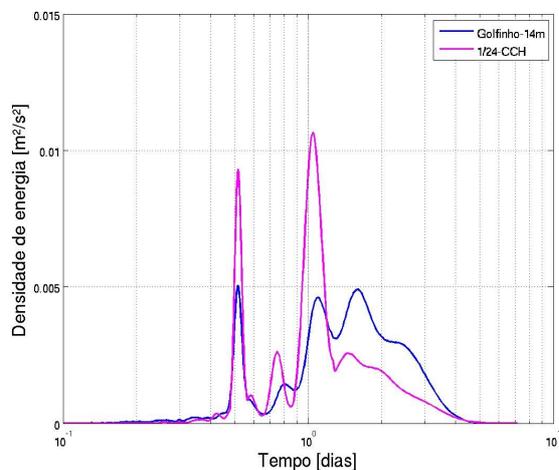


Figura 130: Golfinho - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente zonal.

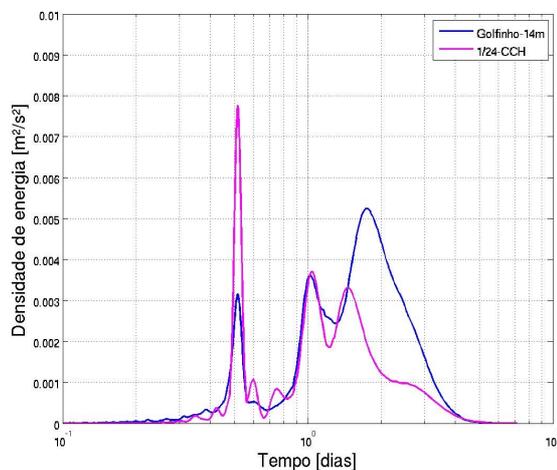


Figura 131: Golfinho - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente meridional.

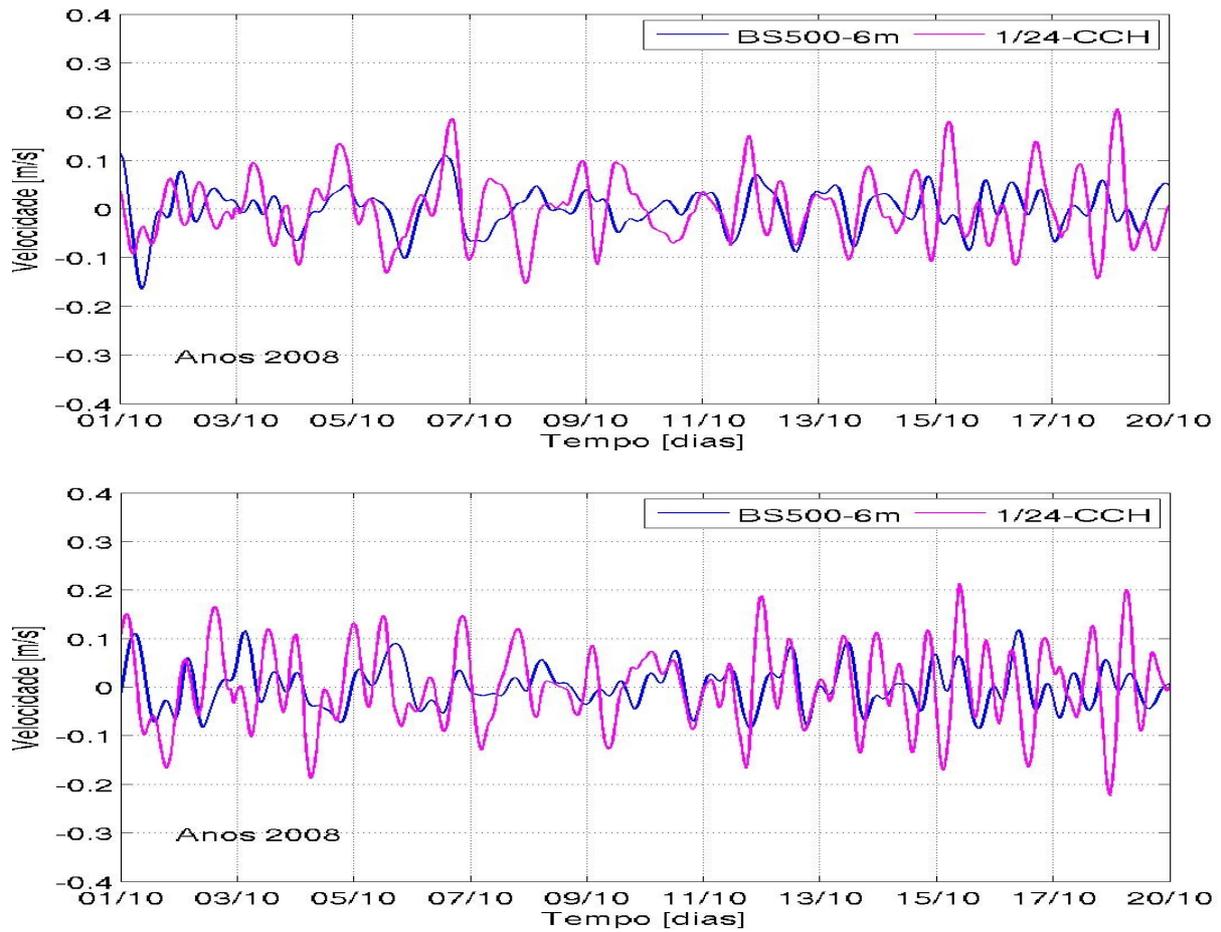


Figura 132: BS500 - séries de velocidade zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) de dados (azul) e modelo (magenta), retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias).

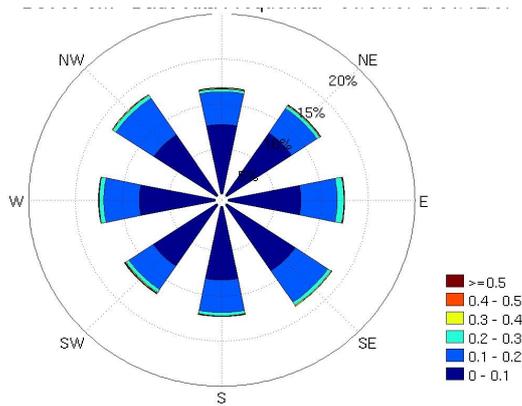


Figura 133: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para dados.

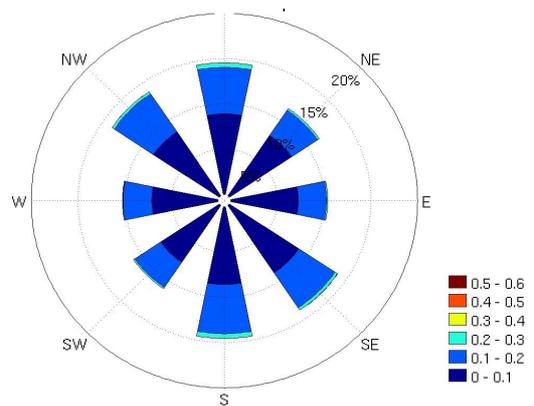


Figura 134: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a baixa frequência (período de corte de 3 dias) para modelo.

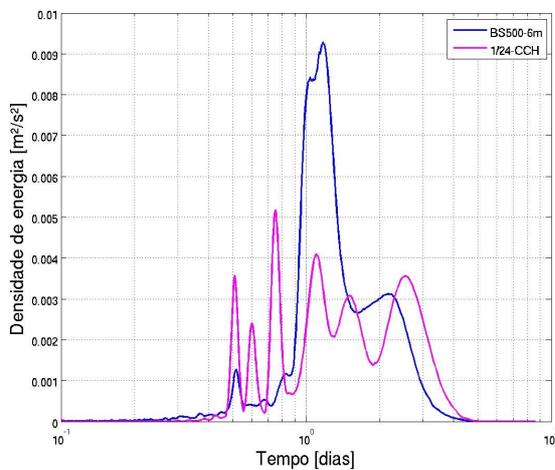


Figura 135: BS500 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente zonal.

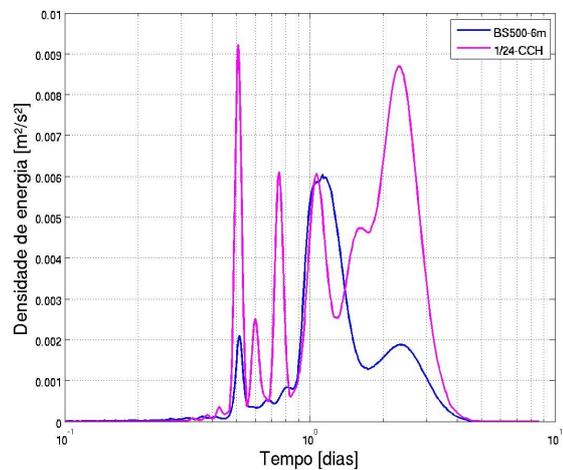


Figura 136: BS500 - análise espectral entre dados (azul) e modelo (magenta) para componente meridional.

## **4 Conclusões**

Neste relatório documentou-se a análise da primeira versão de uma base hidrodinâmica criada pela REMO, composta de campos de corrente em superfície para a região SSE do país simulados em alta resolução com o modelo HYCOM. Quando possível, esta análise contemplou a comparação direta dos resultados com séries de dados medidos em alguns locais distribuídos na região modelada. Em geral pode-se afirmar que a simulação atinge seu objetivo principal de gerar campos de corrente de alta qualidade para a região.

Entre os aspectos que merecem uma maior investigação e um aprimoramento do modelo em versões futuras destacam-se: uma TSM média em torno de 1 a 2 graus mais elevada do que a climatologia para a região; a baixa resolução espacial dos campos de vento, que possivelmente afeta a formação de alguns processos em superfície como oscilações inerciais; uma CB um pouco mais rasa e que, aparentemente em consequência disto, invade a plataforma continental mais do que esperado; e uma corrente intermediária que se bifurca mais ao sul do que sugerido pelas observações. Ações tem sido tomadas para melhorar a simulação nestes aspectos, especificamente: uma investigação mais detalhada das forçantes mecânica e térmica em superfície e de alternativas para sua formulação e para as bases de dados utilizadas; e modificações na configuração básica envolvendo possíveis alternativas para o domínio de modelagem e aumento da discretização vertical em posições chave da coluna d'água.

Entre os aspectos positivos do modelo destacam-se: um transporte da CB com valores consistentes com os dados para a região; um nível de variabilidade de mesoescala compatível com o observado; uma tendência a datação da mesoescala a partir da utilização do método de Cooper & Haines para incorporação de informações de altimetria; uma maré barotrópica cujas constantes harmônicas, tanto para níveis na costa como para velocidades, estão bastante próximas de valores calculados a partir dos dados; a propagação de ondas confinadas costeiras (maré meteorológica) consistente em fase e amplitude com as observações; e um nível de variabilidade de alta frequência no oceano compatível com os níveis inferidos pelos dados.

Este produto da REMO na forma de uma base hidrodinâmica em superfície é o resultado de um longo período de esforços e pesquisas realizados na área e de um processo contínuo de aperfeiçoamento, muitas vezes comprometido por limitações computacionais. Integrações longas em alta resolução demandam um longo tempo para sua execução o que limita o número de experimentos e variantes que podem ser testadas e avaliadas. O resultado deste esforço e a disponibilidade de séries de dados medidos para validação permitiram uma evolução considerável em termos da qualidade de resultados numéricos quando comparados ao que podia ser realizado a poucos anos atrás. Somente um investimento contínuo, que contemple o desenvolvimento e aprimoramento das configurações adotadas e a implementação de técnicas mais sofisticadas de assimilação de dados, permitirá evoluirmos ainda mais na obtenção de bases cada vez mais confiáveis para estudos ambientais e de projeto.

## Referências

- BLECK, R. An Oceanic General Circulation Model Framed in Hybrid Isopycnic-Cartesian Coordinates, *Ocean Modelling*, v. 37, pp. 55-88. 2012
- BLECK, R., BOUDRA, D. B. Initial Testing of a Numerical Ocean Circulation Model using a Hybrid (Quasi-Isopycnic) Vertical Coordinate, *Journal of Physical Oceanography*, v. 11, n. 6, pp. 755-769. 1981.
- BLECK, R., SMITH, L. A Wind-driven Isopycnic Coordinate Model of the North and Equatorial Atlantic Ocean 1. Model development and supporting experiments. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. C3, pp. 3273-3285. 1990
- BLECK, R., BENJAMIN, S., Regional Weather Prediction with a Model Combining Terrain-following and Isentropic Coordinates. Part I: model description. *Monthly Weather Review*, v. 121, n. 6, pp. 1770-1785. 1993
- BLECK, R., HALLIWELL, G. R. Jr, WALLCRAFT, A. J., CARROLL, S. N., KELLY, K. RUSHING, K. User's Manual. Details of the numerical code [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://hycom.org/hycom/documentation>. 2002
- CHASSIGNET, E. P., SMITH, L. T., HALLIWEL, G. R., *et al.* North Atlantic Simulations with the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and termobaricity. *Journal Physical Oceanography*, v. 33, n. 12, pp. 2504-2526. 2003
- COOPER, M., and HAINES, K. Altimetric assimilation with water property conservation. *Journal of Geophysical Research*, 101, 1059-1078. 1996
- COSTA JR, P. R. Dinâmica da camada de mistura superior do oceano na METAREA-V. Dissertação de Msc - COPPE/UFRJ, 2012.
- DUCET, N., LE TRAON, P. Y., REVERDIN, G. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and -2", *Journal of Geophysical Research*, v. 105, n. C8, pp. 19477-19498. 2000
- GARFIELD III, N. *The Brazil Current at Subtropical Latitudes*, D.Sc. These, University of Rhode Island. 1990
- LE TRAON, P. Y., NADAL, F., DUCET, N. An Improved Mapping Method of Multisatellite Altimeter Data", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 15, pp. 522-534. 1998

- LE TRAON, P. Y., FAUGERE, Y., HERNANDEZ, F., et al. Can We Merge GEOSAT Follow-On with TOPEX/Poseidon and ERS-2 for an Improved Description of the Ocean Circulation? *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 20, pp. 889–895. 2003
- LIMA, N. D. A estrutura vertical do sistema Corrente do Brasil-Corrente de Contorno Intermediária ao largo do Cabo de São Tomé. Dissertação de MSc. COPPE/UFRJ. 2011.
- MASCARENHAS, A. S. Jr., MIRANDA, L. B., ROCK, N. J. A Study of Oceanographic Conditions in the Region of Cabo Frio. In: J. D. Costlow (ed.), *Fertility of the Sea*, Gordon and Breach Science Publishers, v.1, pp. 285-308. 1971.
- MÜLLER, T. J., IKEDA, Y., ZANGENBERG, N., et al. Direct Measurements of Western Boundary Currents off Brazil between 20°S and 28°S. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, pp. 5429-5437. 1998
- PAES, R. C. O. V., OLIVEIRA, A. N., FRANÇA, G. B., SARTORI NETO, A. Composição de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para Assimilação em Modelos Numéricos de Circulação Oceânica. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, p. 7031-7038, 2005.
- PIMENTEL, F. P., A Corrente do Brasil e a Corrente de Contorno Intermediária na região da Cadeia Vitória-Trindade. Dissertação de MSc. COPPE/UFRJ. 2012.
- SILVEIRA, I. C. A. SCHMIDT, A. C. K., EDMO, J. D. C, GODOI, S. S., I, YOSHIMINE. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste Brasileira. *Rev. Bras. Oceanog.*, 48(2);171-183, 2000.
- WALLCRAFT, A. J., METZGER, E. J., CARROLL, S. N. Software Design Description for the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) Version 2.2 . [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://hycom.org/hycom/documentation>. 2009.

## **ANEXO A**

### **Comparação das simulação 1/24-CCH, 1/24-SCH e 1/12-SCH**

Como mencionado no corpo do texto, na reunião realizada do dia 29/06/2012, que contou com a presença da nossa equipe do projeto e técnicos da Petrobras e do IBAMA, foi colocado que a base hidrodinâmica poderia resultar de três simulações com diferentes configurações então em desenvolvimento. Estas simulações são: a 1/24-CCH já descrita no relatório, uma outra simulação em 1/24° de resolução espacial, com as mesmas características de domínio e configuração da anterior mas sem aplicação do C&H (denominada no presente relatório de 1/24-SCH) e outra simulação em 1/12° de resolução espacial com as mesmas características que a 1/12-CCH porém com forçante de maré e sem C&H (denominada 1/12-SCH)<sup>4</sup>.

Visando justificar a nossa escolha da simulação 1/24-CCH como a base hidrodinâmica a seguir são apresentadas algumas análises comparativas entre os resultados destas três simulações. Como parte das análises básicas foi avaliada a qualidade das simulações enquanto à representação da estrutura de massa na região em estudo e do padrão de circulação médio e instantâneo. Em relação a estrutura termohalina todas as simulações representaram corretamente a localização, características e principais feições das massas de água locais. Isto é ilustrado na Figura 137 que mostra uma seção meridional de salinidade a 42W, onde o núcleo de baixa salinidade associado a AIA está localizado em ~800 m de profundidade em todas as simulações em concordância com a literatura. Por sua vez o padrão médio de circulação também foi bem representado, como é observado nas Figura 138 e 139 que apresentam, para as três simulações, a evolução latitudinal do transporte médio da CB e o campo médio de SSH, respectivamente.

---

4 Há ainda uma quarta simulação com C&H mas sem maré. Como a maré era considerado essencial para a base hidrodinâmica, esta simulação não foi considerada nesta análise. Devido a limitações computacionais ainda não foi desenvolvida uma base em 1/12° para toda a Metarea V com maré e com C&H.

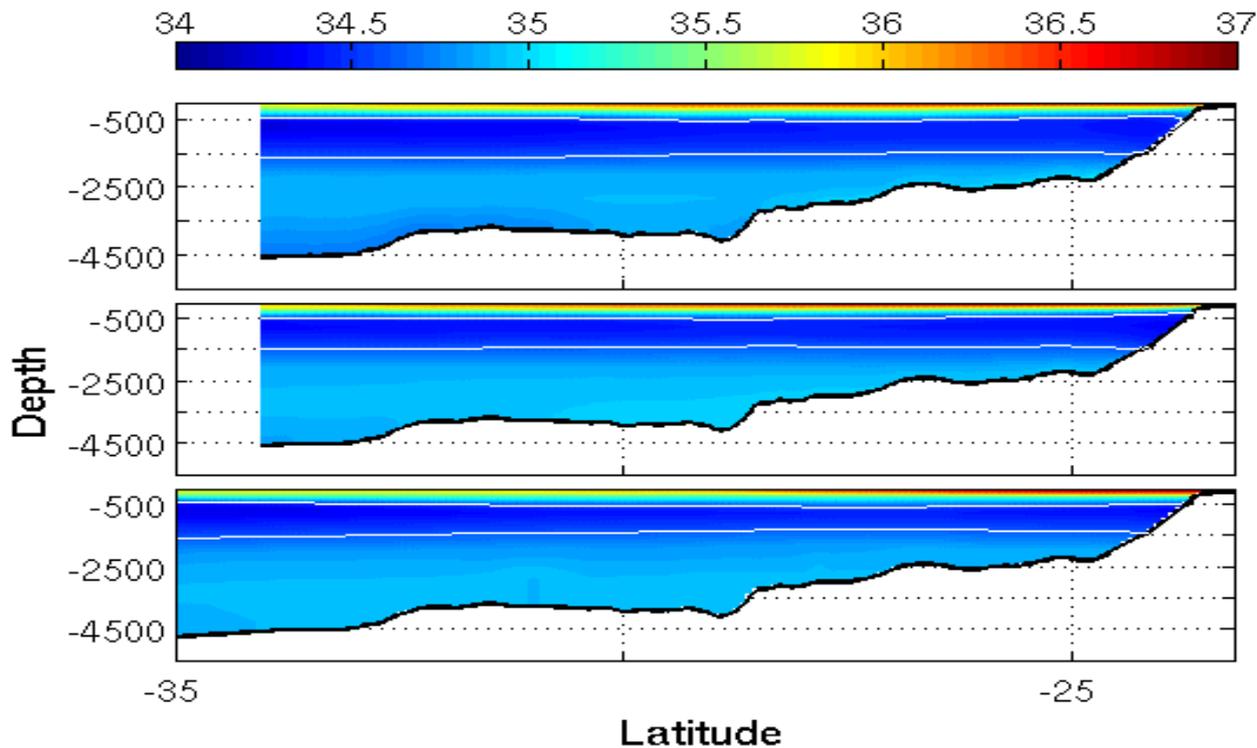


Figura 137: Distribuição meridional da salinidade média no período 2004-2010 em 42W, para (a) 1/24-CCH (painel superior); (b) 1/24-SCH (painel central) e (c) 1/12-SCH (painel inferior).

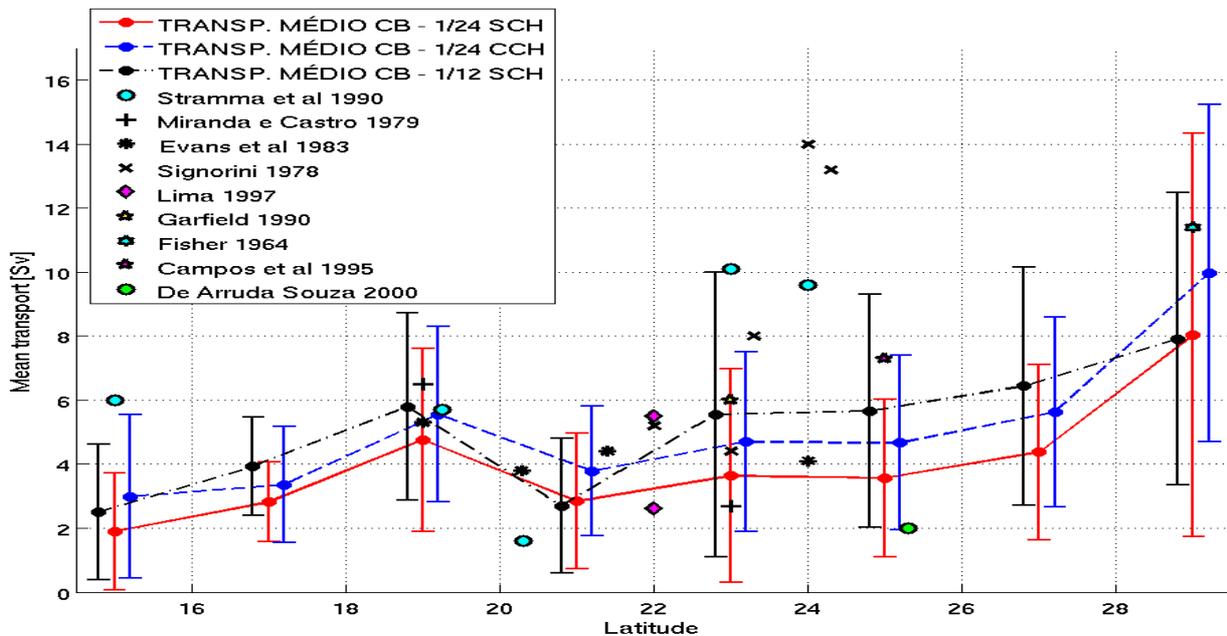


Figura 138: Evolução latitudinal do transporte médio da CB para 1/24-CCH (em azul), 1/24-SCH (em vermelho) e 1/12-SCH (em preto).

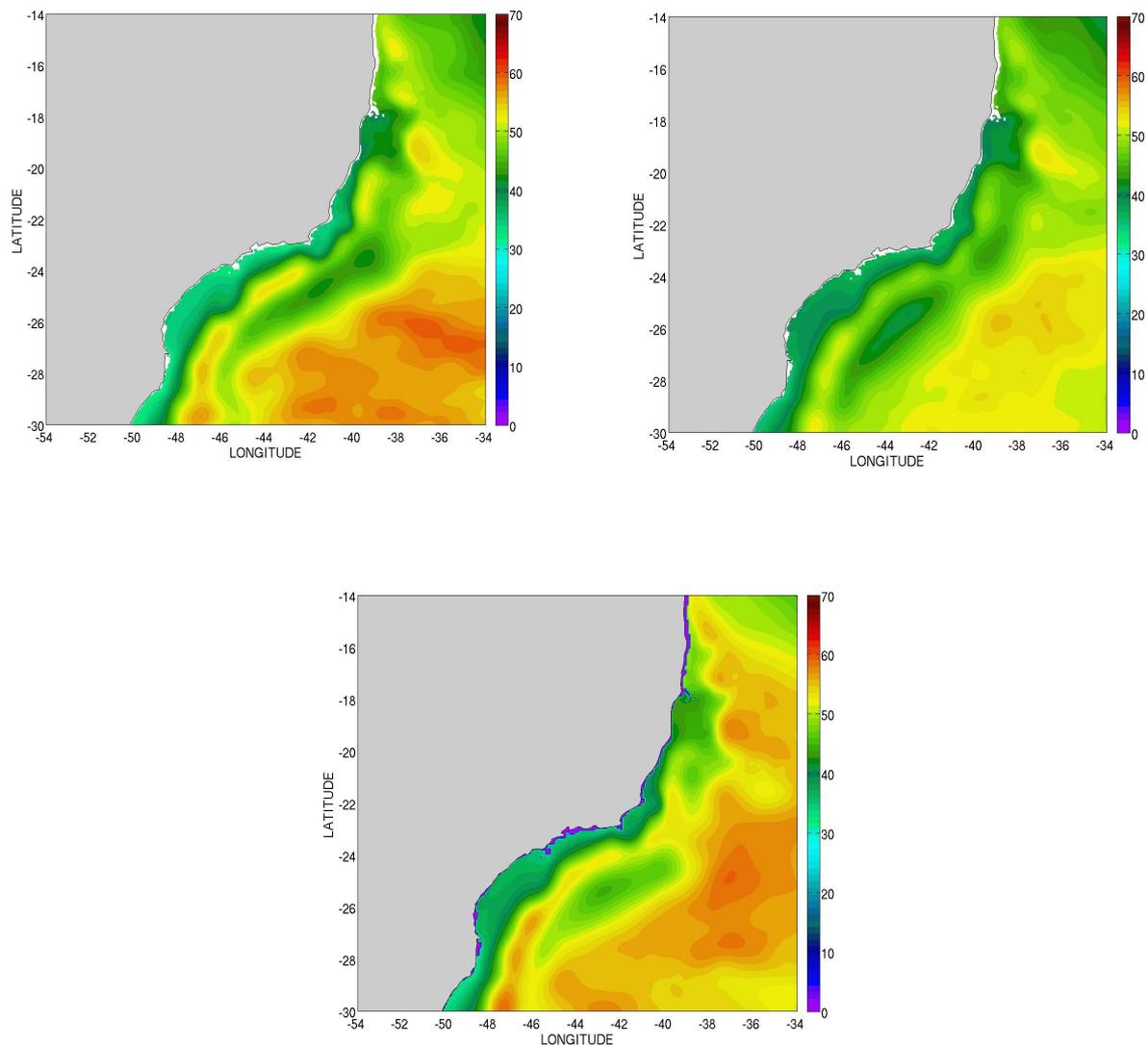


Figura 139: Campos de SSH médio (em centímetros) para o período de 2004 a 2010 para 1/24-CCH (painel superior esquerdo); 1/24-SCH (painel superior direito) e 1/12-SCH (painel inferior).

Já os campos de circulação instantâneos permitiram verificar a representação dos processos de mesoescala. Todas as simulações representaram as principais feições no domínio da base, como os Vórtices de Cabo São Tomé e Cabo Frio. No caso das simulações sem C&H, ambas feições (Vórtice de Cabo São Tomé - Figura 140 e Figura 141 e Vórtice de Cabo Frio - Figura 142 e Figura 143) apresentaram tamanho e localização concordante com as observações. Estas porém não são “datadas”, como no caso da simulação com C&H. De maneira geral, ambas as simulações sem

C&H permitem acompanhar a formação e crescimento de VCF e VST de forma mais bem definida em TSM do que a simulação com C&H. Sem C&H os vórtices se desenvolvem espontaneamente e a evolução da TSM acompanha diretamente o processo. Com C&H, por outro lado, a imposição dos vórtices nem sempre é acompanhada pela evolução da TSM e o processo é mascarado, embora bem definido em campos de SSH ou de velocidades. Este problema parece ser mais significativo em relação ao VCF do que VST, por razões que não estão claras no momento. A solução para este problema possivelmente virá com a assimilação de TSM.

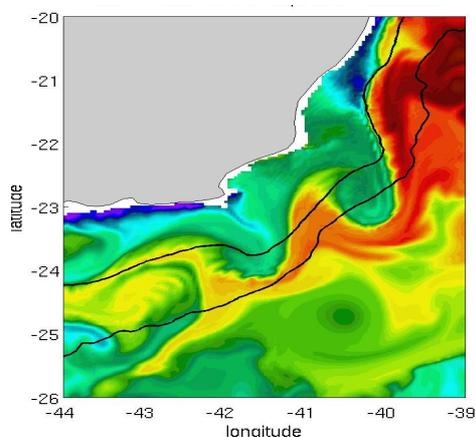


Figura 140: Campo de TSM simulado no 1/24-SCH para o dia 13/08/2008

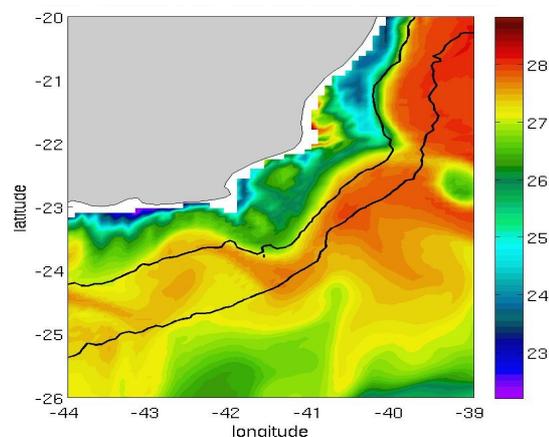


Figura 141: Campo de TSM simulado no 1/12-SCH para o dia 27/01/2000.

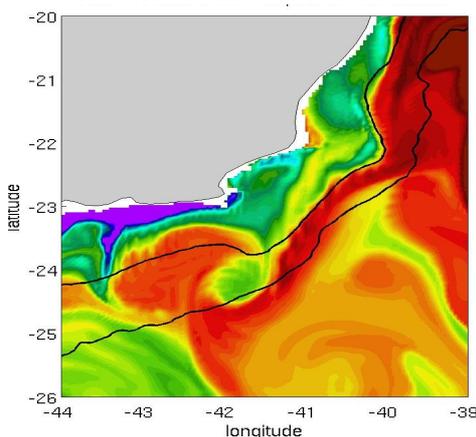


Figura 142: Campo de TSM simulado no 1/24-SCH para o dia 10/10/2007

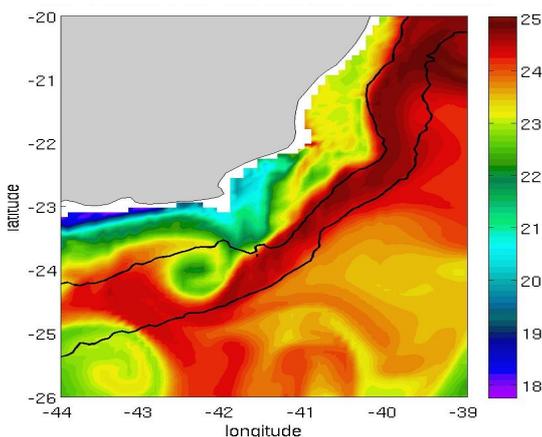


Figura 143: Campo de TSM simulado no 1/12-SCH para o dia 01/10/2000.

Uma outra forma de avaliar a qualidade da mesoescala simulada é a partir do campo de Energia Cinética Turbulenta (ECT), o qual permite quantificar se os níveis de energia associados aos eventos simulados nestas escalas são condicentes com os observados. Uma análise comparativa do campo de ECT calculado a partir dos dados de anomalia da AVISO (Figura 144) com os obtidos com os resultados numéricos mostrou que as simulações sem assimilação de dados superestimaram os níveis de energia na região da base, assim como a distribuição espacial dos núcleos de máxima energia (Figura 146 e Figura 147). Já a simulação 1/24-CCH mostrou níveis de energia e distribuição especial dos núcleos de ECT semelhantes aos obtidos para os dados medidos (Figura 145).

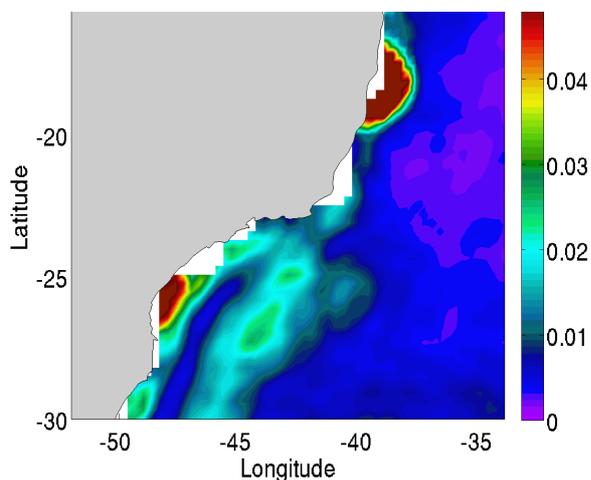


Figura 144: Energia Cinética Turbulenta (ECT) calculada com dados de SLA da AVISO para 2004-2006.

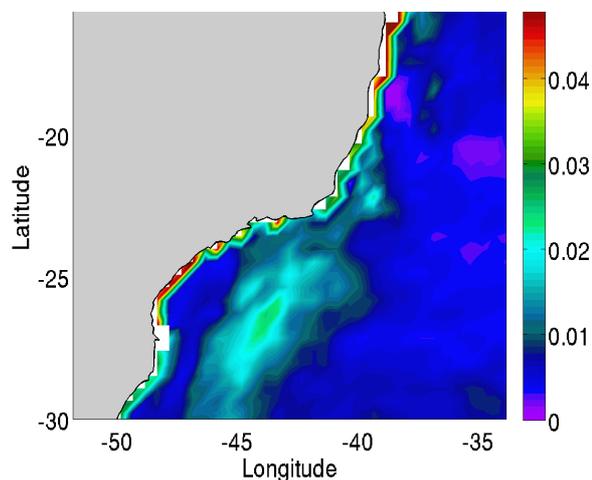


Figura 145: ECT calculada com a anomalia de SSH do 1/24-CCH para 2004-2006.

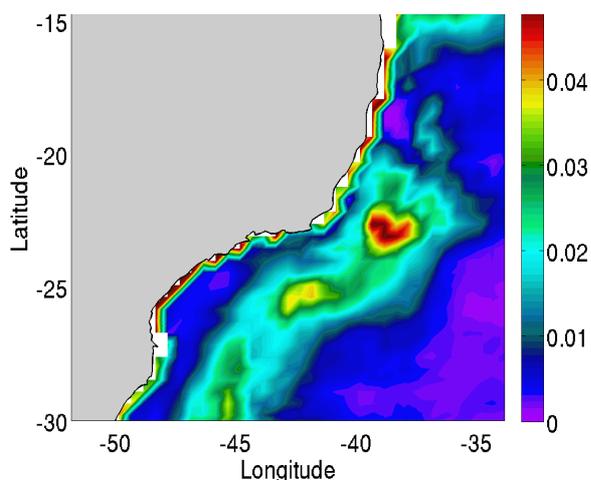


Figura 146: ECT calculada com a anomalia de SSH do 1/24-SCH para 2004-2006.

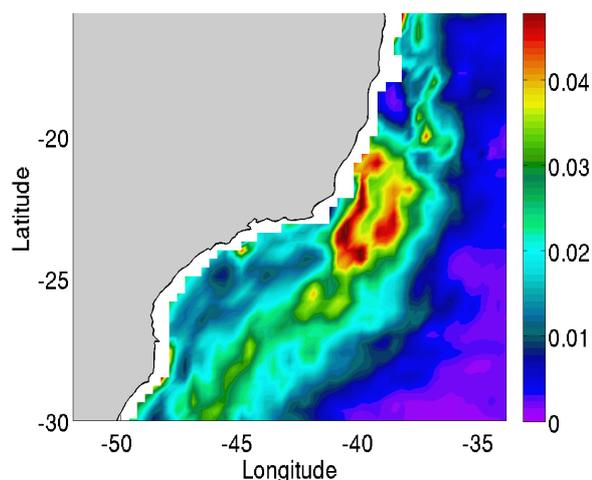


Figura 147: ECT calculada com a anomalia de SSH do 1/12-SCH para 2004-2006.

Como parte do estudo comparativo das simulações, realizou-se uma análise de processos buscando (como fora descrito na validação da base) identificar fenômenos oceanográficos e suas representações nos dados e nas simulações. Realizaram-se para tal fim comparações pontuais, nas coordenadas das observações, dos processos dominantes, as quais mostraram uma boa representação dos mesmos em todas as simulações. Como no caso da avaliação da base, os processos analisados foram marés astronômicas, ondas confinadas costeiras, baixa frequência no oceano (incluindo a mesoescala) e alta frequência no oceano (incluindo entre outros fenômenos ondas, marés internas e oscilações inercias). Vale salientar que, ainda que todas as simulações apresentaram um comportamento similar na representação dos diferentes processos, alguns deles foram melhor representados do que outros em cada simulação.

### Maré astronômica

A representatividade da maré astronômica nas simulações foi analisada com base na metodologia já descrita na avaliação da base. As séries de dados de elevação na costa e as séries de velocidade ( $u$  e  $v$ ) média na vertical de UBU foram submetidas a filtragem, com período de corte de 3 dias e preservando-se as altas frequências. A comparação das séries de níveis medidas e simuladas nos quatro pontos amostrais do GLOSS mostrou uma boa concordância em todos os casos (como ilustrado para a estação de Ilha Fiscal, Figura 148). O mesmo ocorreu para as séries de velocidade de corrente em UBU (Figura 151 e Figura 154). Isto foi corroborado pela análise harmônica das séries de níveis e correntes, a qual mostrou que, em geral, para as 8 componentes astronômicas da maré utilizadas como forçantes, não foram observadas mudanças significativas na fase e amplitude simulada nos três casos. A modo de exemplo são apresentados os histogramas de fase e amplitude da série de níveis de Ilha Fiscal (Figura 149 e Figura 150) e das séries de correntes zonal e meridional em UBU (Figura 152, Figura 153, Figura 155 e Figura 160)

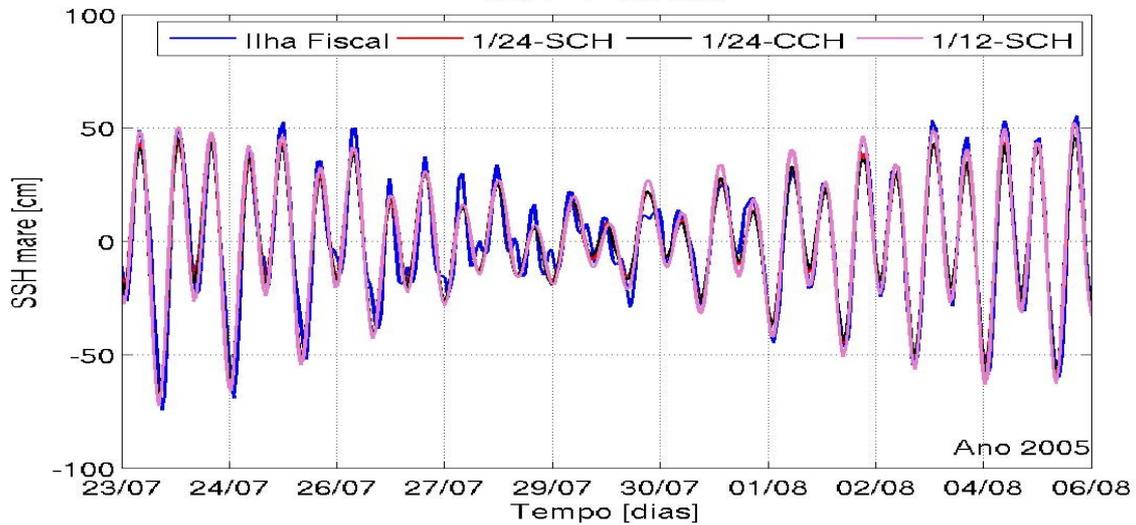


Figura 148: Ilha Fiscal - série filtrada, com período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência para 23/07/2005 a 06/08/2005.

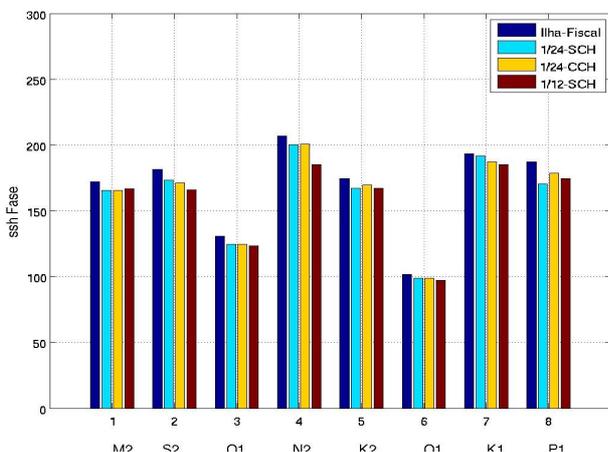


Figura 149: Fase das principais componentes para Ilha Fiscal.

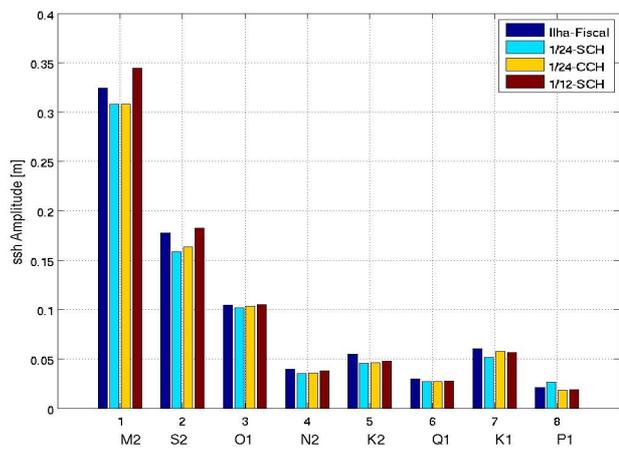


Figura 150: Amplitude das principais componentes para Ilha Fiscal.

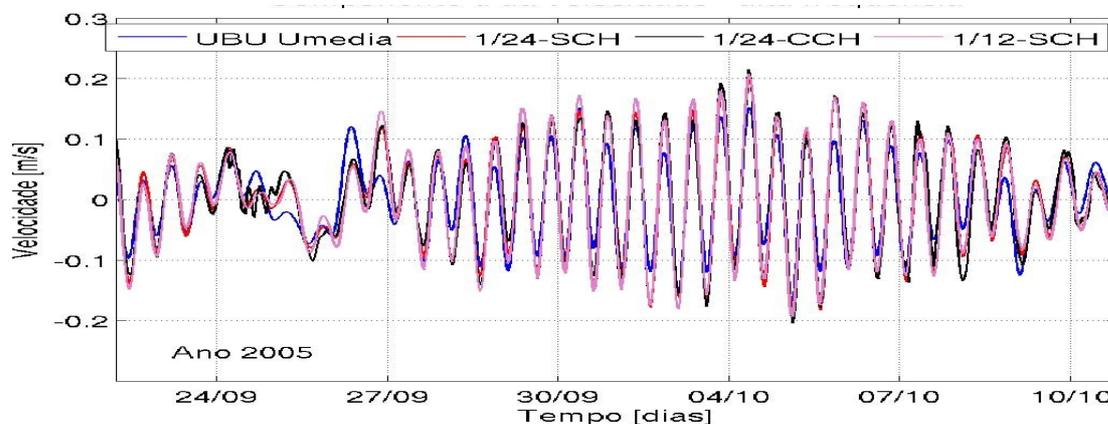


Figura 151: Correntes de maré barotrópica em UBU (componente zonal) correspondente ao intervalo 23/09/2005 a 11/10/2005. Período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência.

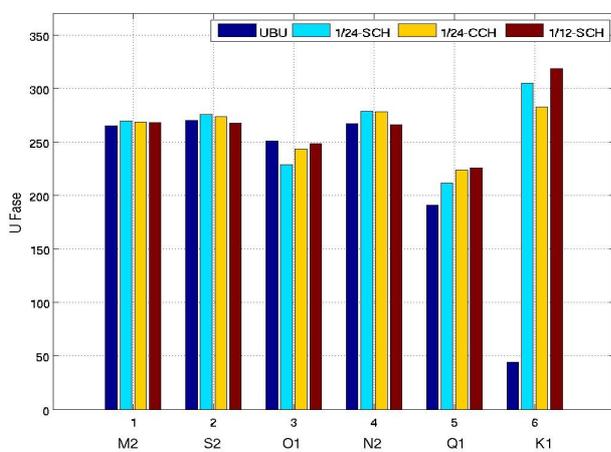


Figura 152: Fase das principais componentes para a série de correntes em UBU (componente zonal).

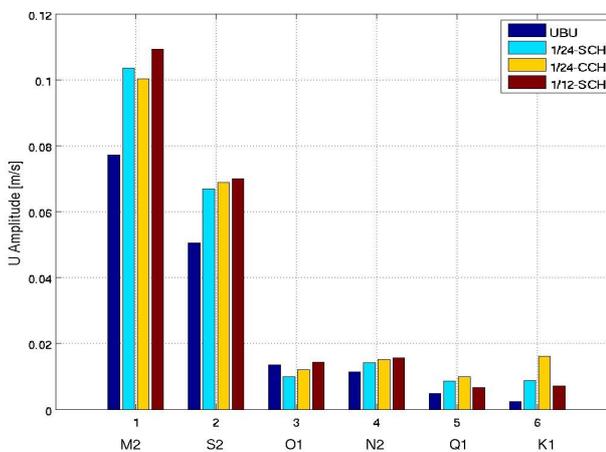


Figura 153: Amplitude das principais componentes para a série de correntes em UBU (componente zonal).

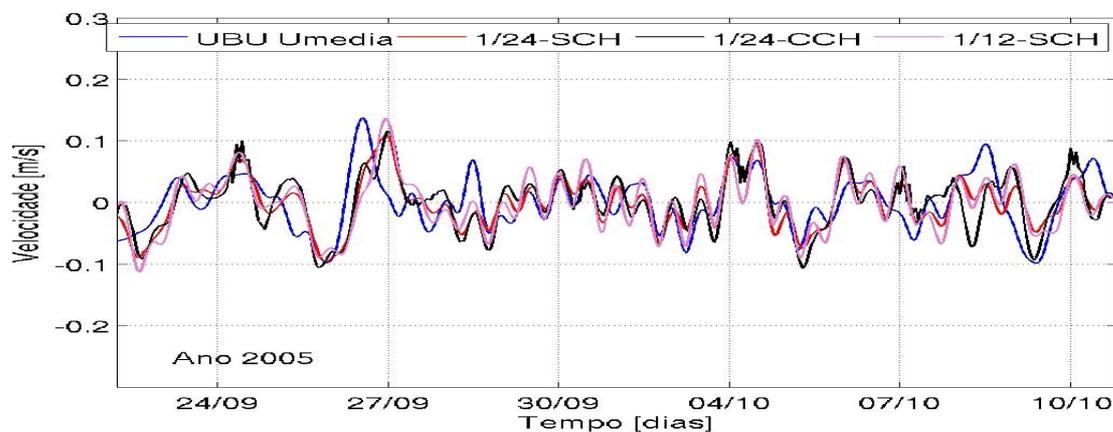


Figura 154: Correntes de maré barotrópica em UBU (componente meridional) correspondente ao intervalo 23/09/2005 a 11/10/2005. Período de corte de 3 dias, preservando-se a alta frequência.

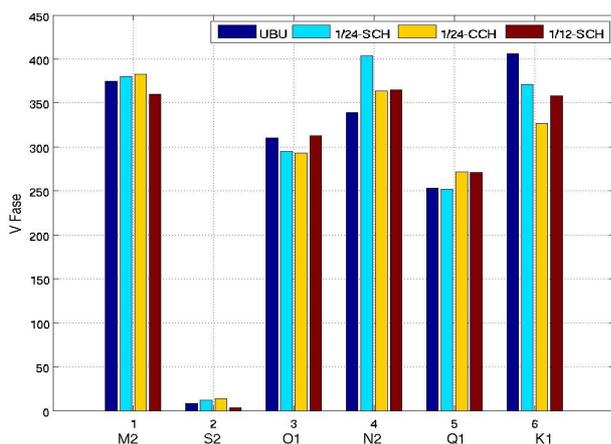


Figura 155: Fase das principais componentes para a série de correntes em UBU (componente meridional).

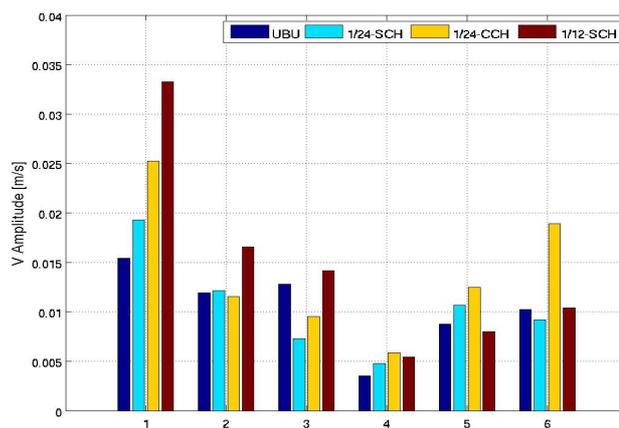


Figura 156: Amplitude das principais componentes para a série de correntes em UBU (componente meridional).

### Ondas confinadas costeiras

Como descrito para a simulação 1/24-CCH as simulações 1/24-SCH e 1/12-SCH capturam a propagação das ondas de plataforma de forma realista, para todas as estações analisadas com amplitudes e fases simuladas compatíveis com os valores observados. A comparação das séries filtradas com filtro passa baixa com período de corte de 3 dias mostrou que as fases são

corretamente simuladas, enquanto que as amplitudes são em alguns casos subestimadas (Figura 157). Já a análise espectral cruzada entre o dado e as diferentes simulações para o período de 2004 a 2006 (Figura 158) revelou que as séries são coerentes para todas as frequências energéticas, para um nível de confiança de 95% (Figura 159) porém com menores energias nos espectros simulados em concordância com a subestimação das amplitudes.

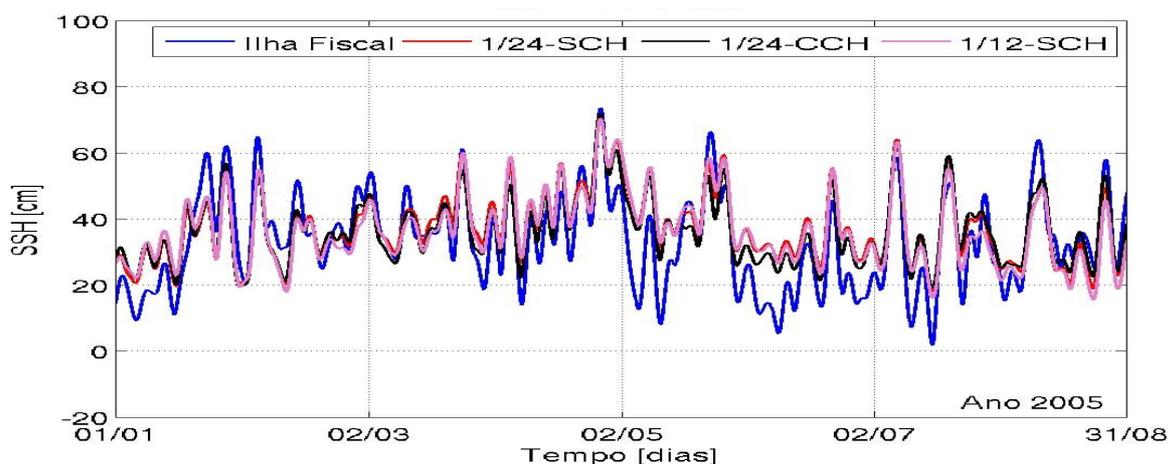


Figura 157: Ilha Fiscal - série filtrada (período de corte de 3 dias), preservando-se a baixa frequência para 01/01/2005 a 31/08/2005.

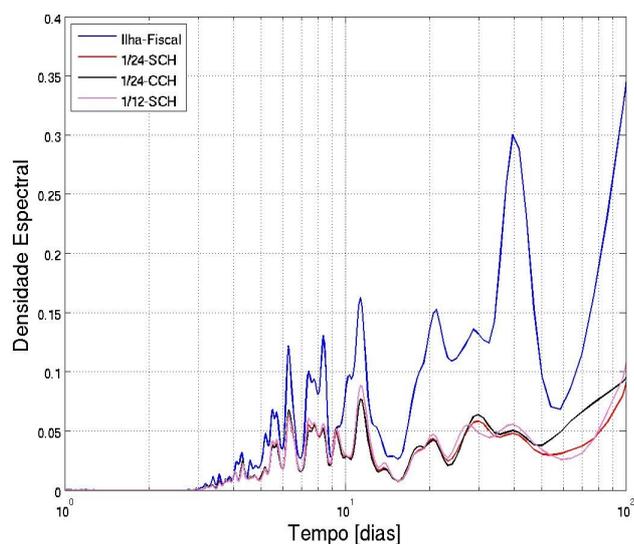


Figura 158: Espectros das séries de baixa frequência, para Ilha Fiscal (período de corte de 3 dias)

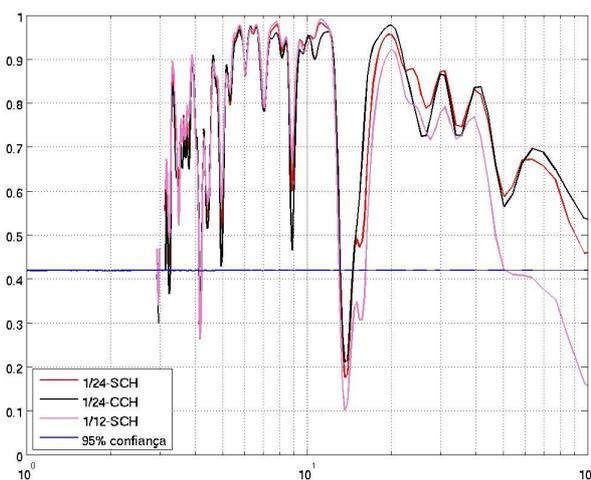


Figura 159: coeficiente de coerência

No caso de correntes associadas a passagem de ondas confinadas costeiras, a comparação em UBU, mostrou que todas as simulações se compararam muito bem com os dados. Novamente como descrito para a simulação 1/24-CCH, as simulações 1/24-SCH e 1/12-SCH representaram corretamente a fase e amplitude das velocidades zonal e meridional, assim como as inversões na direção da corrente (Figura 138).

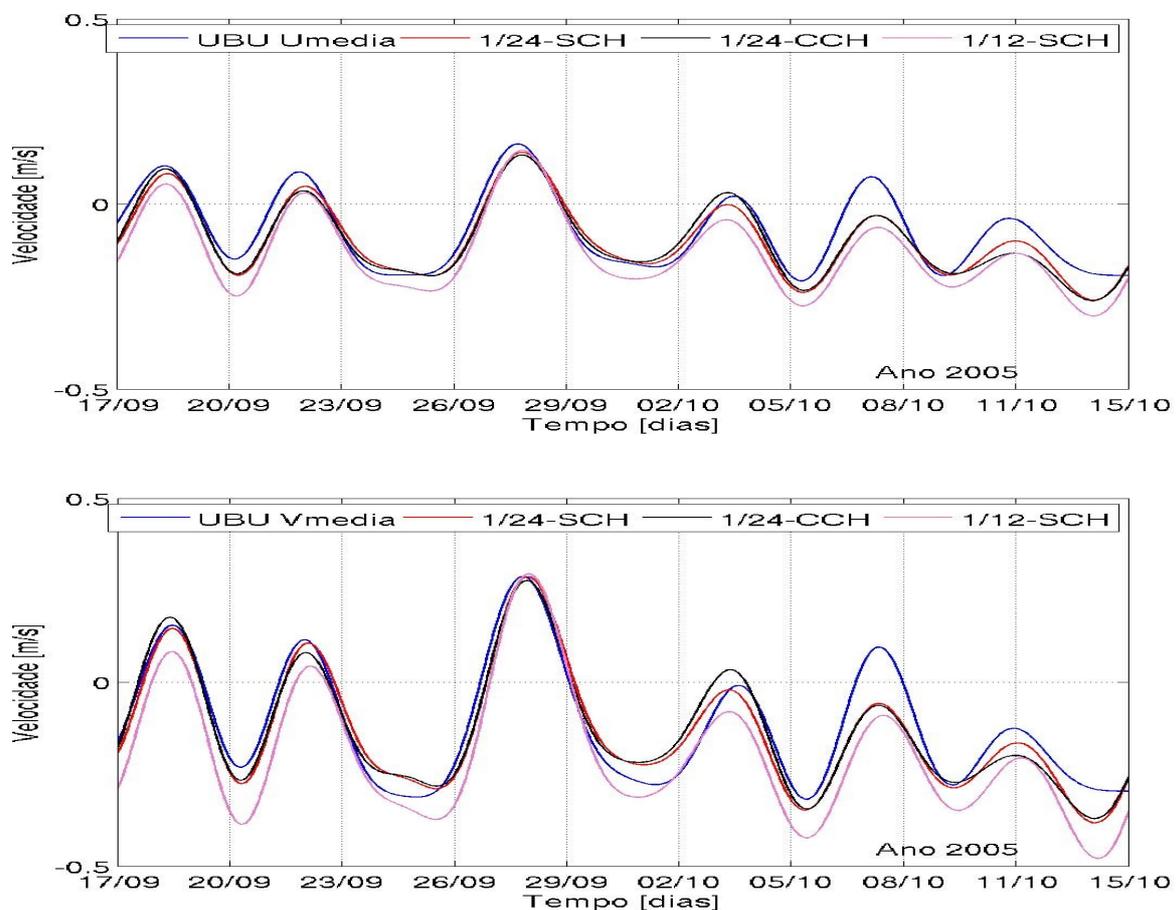


Figura 160: Correntes médias em UBU, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 17/09/2005 a 15/10/2005. Séries filtradas (período de corte de 3 dias), preservando-se a baixa frequência.

### Baixa frequência no oceano

A baixa frequência na região oceânica foi avaliada a partir da comparação entre as séries de correntes medidas e modeladas, filtrando-se a alta frequência (mantidos períodos acima de 3 dias), nas 6 plataformas analisadas. Como parte da análise comparativa foram calculados, para todas as series, as medidas estatísticas básicas (média, máximo e mínimo, desvio padrão), as rosas de distribuição de frequência de direção e velocidade e o erro médio quadrático entre modelo e dados das séries simuladas em relação ao dado medido em cada estação.

Em relação às médias e desvios não se observa uma melhora significativa e consistente para alguma das três configurações analisadas (Tabelas 8, 9, 10 e 11). Da mesma forma, o erro médio quadrático não diminui significativamente e consistentemente quando se aumenta a resolução de 1/12° para 1/24°, ou quando se inclui o C&H (Tabelas 12 e 13). A análise visual comparativa das séries modeladas e dos dados, apesar de alguma tendência a datação em alguns instantes no caso do C&H, também não revela diferenças significativas na qualidade das simulações (como exemplificado para PPG1, P40 e BS500 nas Figuras 161, 162 e 163). Algumas rosas de frequência, mas não todas, apresentam uma melhora significativa com a aplicação do C&H (por exemplo em BS500, Figura 164).

Tabela 8 - Média da componente zonal das correntes de baixa frequência

	Dado	1/24-SCH	1/24-CCH	1/12-SCH
Golfinho	-0,0777	-0,0725	-0,2101	---
FPSOBR	0,0101	0,0337	0,0963	-0,0228
P40	-0,1776	-0,0466	-0,1574	-0,0921
P48	-0,1623	-0,0941	-0,1455	-0,1713
PPG1	-0,0237	-0,1358	-0,1354	-0,0546
BS500	-0,2864	-0,2659	-0,3517	-0,2280

Tabela 9 - Média da componente meridional das correntes de baixa frequência

	Dado	1/24-SCH	1/24-CCH	1/12-SCH
Golfinho	-0,0058	-0,1012	-0,1824	---
FPSOBR	-0,2253	-0,0557	-0,2717	-0,1221
P40	-0,1935	-0,0242	-0,1347	-0,2404
P48	-0,1964	-0,0349	-0,0328	-0,1458
PPG1	-0,0327	-0,1373	-0,0835	-0,0743
BS500	-0,0975	-0,1250	-0,1481	-0,0931

Tabela 10 - Desvio padrão da componente zonal das correntes de baixa frequência

	dado	1/24-SCH	1/24-CCH	1/12-SCH
Golfinho	0,0869	0,1384	0,0742	---
FPSOBR	0,1485	0,1229	0,1147	0,0822
P40	0,1361	0,1455	0,1170	0,1642
P48	0,1892	0,1619	0,1518	0,2112
PPG1	0,1157	0,1380	0,1256	0,1147
BS500	0,1474	0,1816	0,1157	0,1132

Tabela 11 - Desvio padrão da componente meridional das correntes de baixa frequência

	dado	1/24-SCH	1/24-CCH	1/12-SCH
Golfinho	0,1156	0,1380	0,0842	---
FPSOBR	0,1433	0,1614	0,1434	0,1794
P40	0,1568	0,1929	0,1920	0,3113
P48	0,1750	0,1606	0,1372	0,2757
PPG1	0,0931	0,1570	0,1383	0,1537
BS500	0,1284	0,1302	0,0973	0,0767

Tabela 12 - Erro médio quadrático, em relação aos dados, da componente zonal simulada das correntes em baixa frequência

	1/24-SCH	1/24-CCH	1/12-SCH
Golfinho	0,1296	0,1544	---
FPSOBR	0,1986	0,2111	0,1750
P40	0,2129	0,1702	0,2106
P48	0,1984	0,1795	0,1993
PPG1	0,1777	0,1702	0,1504
BS500	0,1794	0,1723	0,1914

Tabela 13 - Erro médio quadrático, em relação aos dados, da componente meridional simulada das correntes em baixa frequência

	1/24-SCH	1/24-CCH	1/12-SCH
Golfinho	0,1434	0,1990	---
FPSOBR	0,2503	0,1543	0,2314
P40	0,2421	0,2202	0,3438
P48	0,2562	0,2593	0,2698
PPG1	0,1854	0,1291	0,1622
BS500	0,1586	0,1568	0,1379

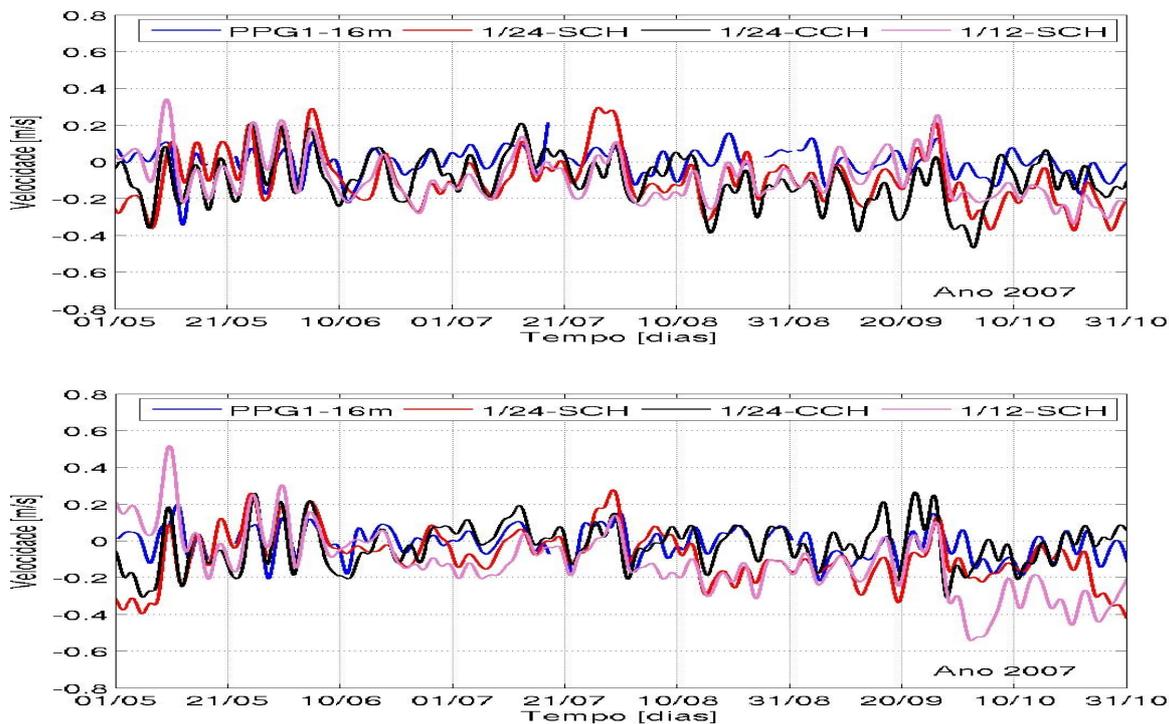


Figura 161: Correntes em PPG1, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 01/05/2007 a 31/10/2007. Séries filtradas (período de corte de 3 dias) preservando-se a baixa frequência.

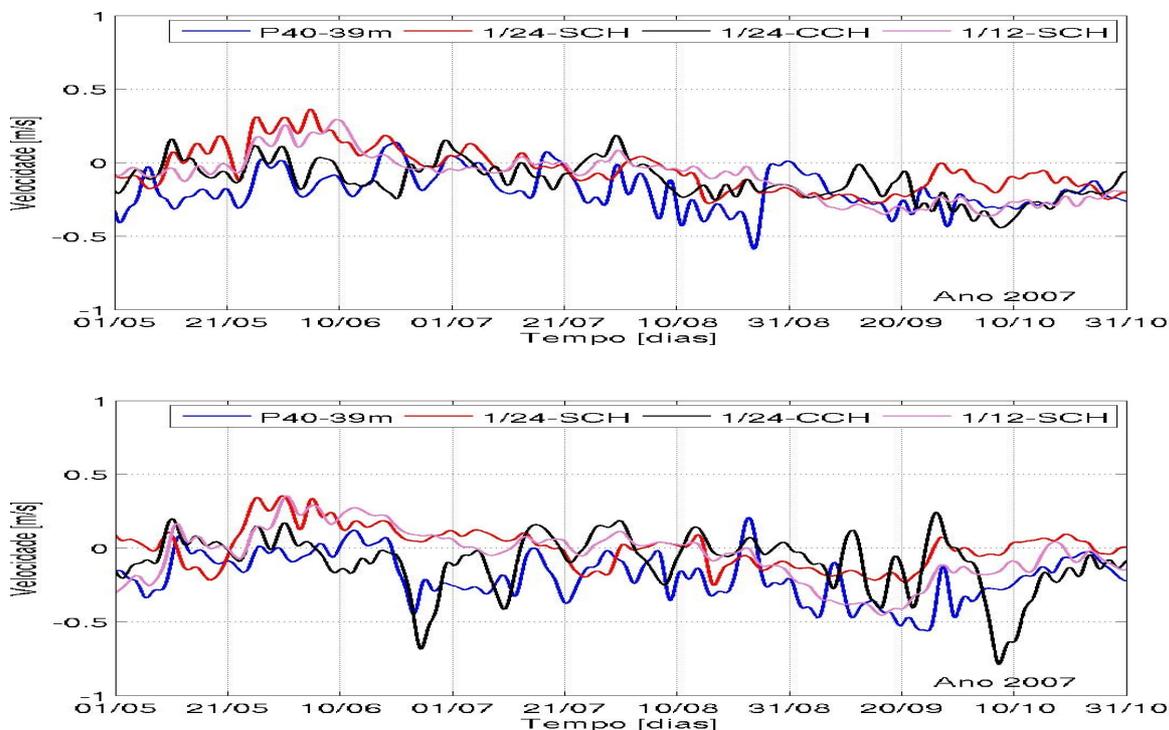


Figura 162: Correntes em P40, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 01/05/2007 a 31/10/2007. Séries filtradas (período de corte de 3 dias) preservando-se a baixa frequência.

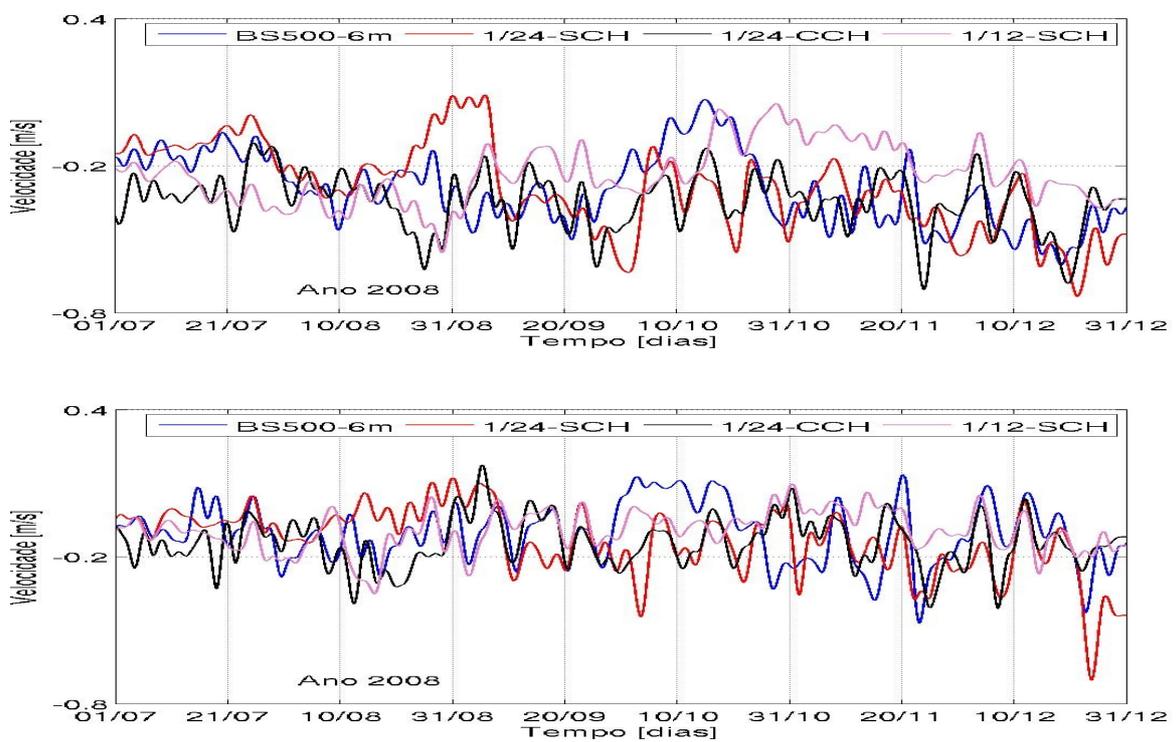


Figura 163: Correntes em BS500, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 01/07/2008 a 31/12/2008. Séries filtradas (período de corte de 3 dias) preservando-se a baixa frequência.

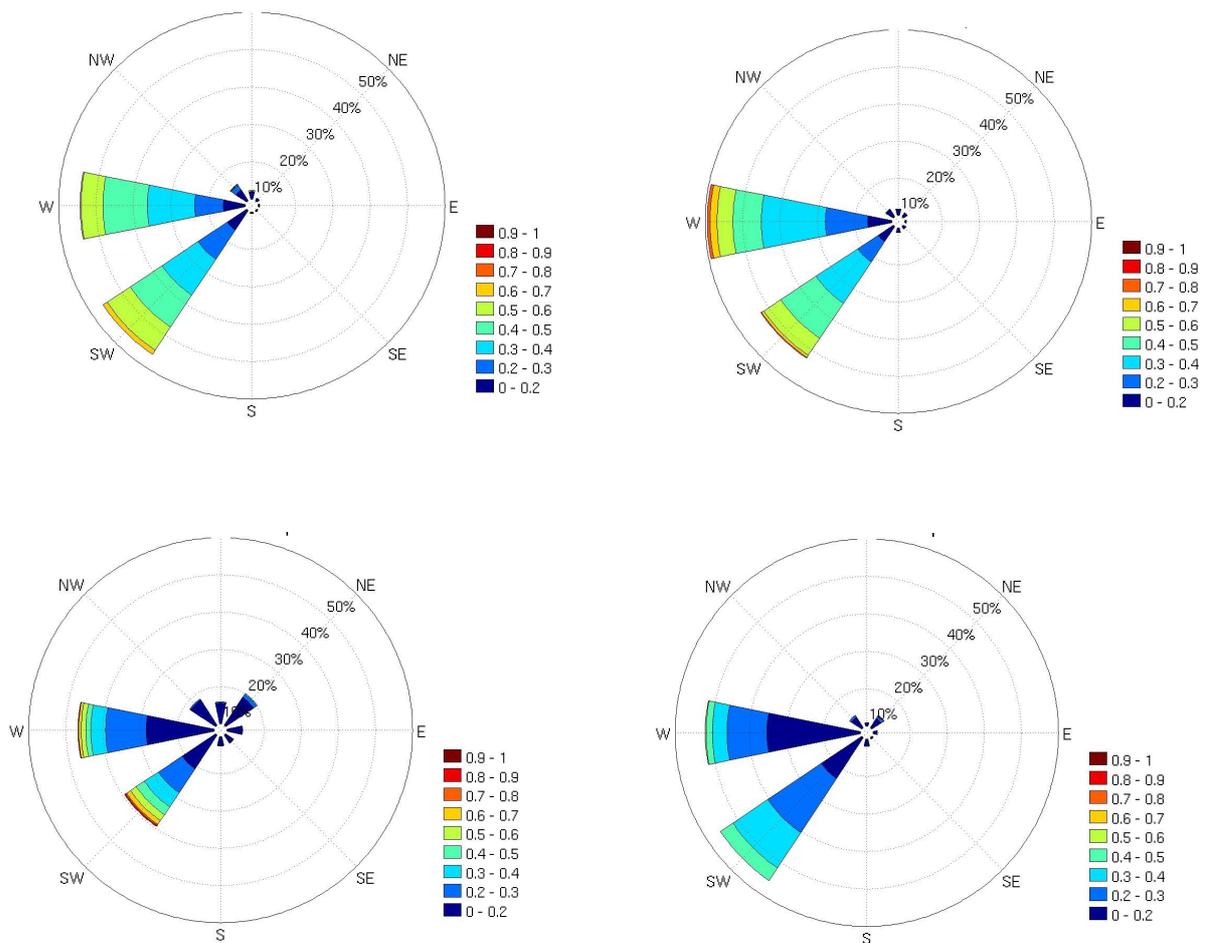


Figura 164: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, retirada a alta frequência (período de corte de 3 dias) para dado(superior esquerda), 1/24-CCH (superior direita), 1/24-SCH (inferior esquerda) e 1/12-SCH (inferior direita).

### Alta frequência no oceano

As simulações sem assimilação de dados apresentaram nas plataformas oceânicas, como descrito para 1/24-CCH, significativa energia em alta frequência (filtrados os períodos maiores a 3 dias), com níveis energéticos compatíveis com os observados. Isto é ilustrado para as plataforma PPG1, P40, e BS500 nas Figuras 165, 166 e 167 onde são apresentados trechos das séries filtradas, e nas Figuras 168, 169, 170, 171, 172 e 173. Mesmo o aumento de resolução não levou a um aumento significativo do nível de energia em alta frequência. Por outro lado, a inclusão do C&H, se não alterou os níveis energéticos significativamente, gerou picos no espectro de 6 e 18 horas, cuja causa não está clara no momento.

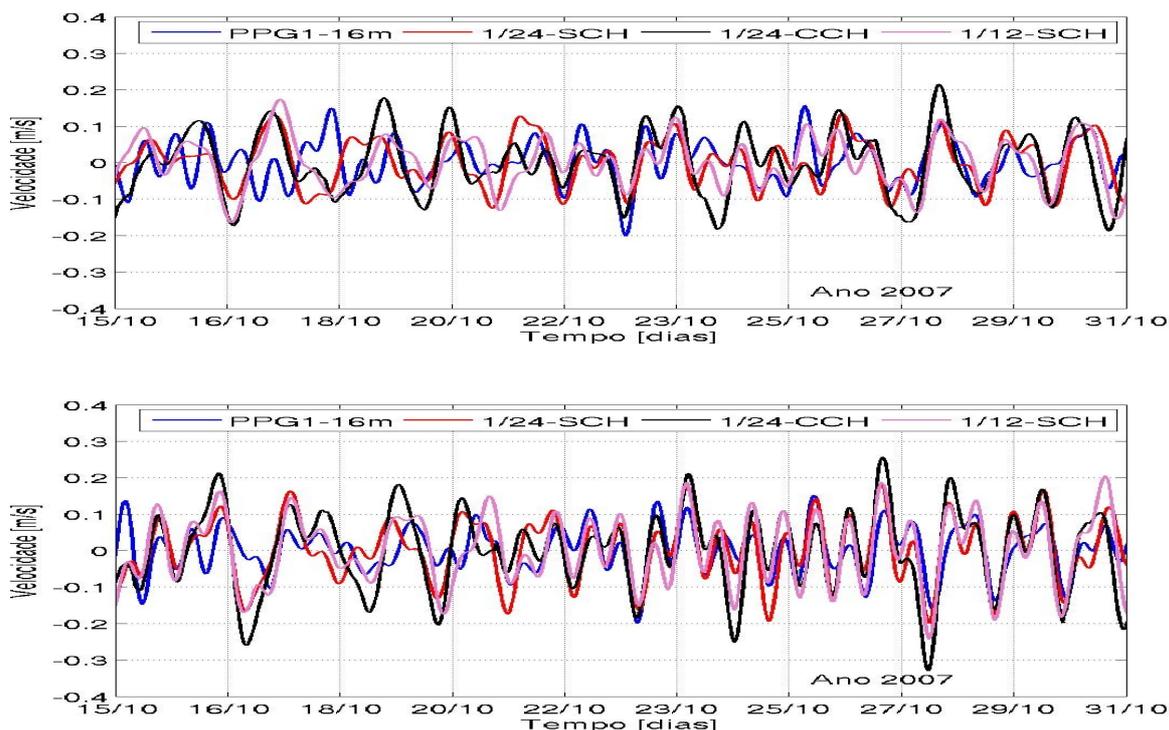


Figura 165: Correntes em PPG1, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 15/10/2007 a 31/10/2007. Séries filtradas (período de corte de 3 dias) preservando-se a alta frequência.

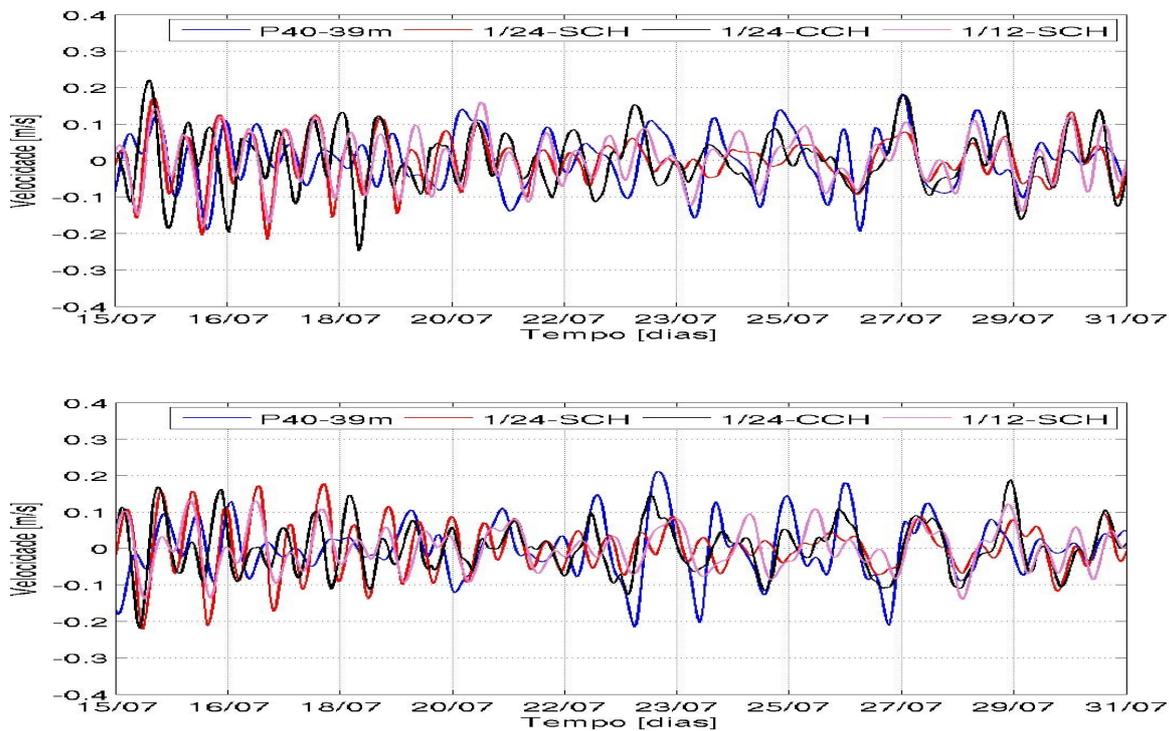


Figura 166: Correntes em P40, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 15/07/2007 a 31/07/2007. Séries filtradas (período de corte de 3 dias) preservando-se a alta frequência.

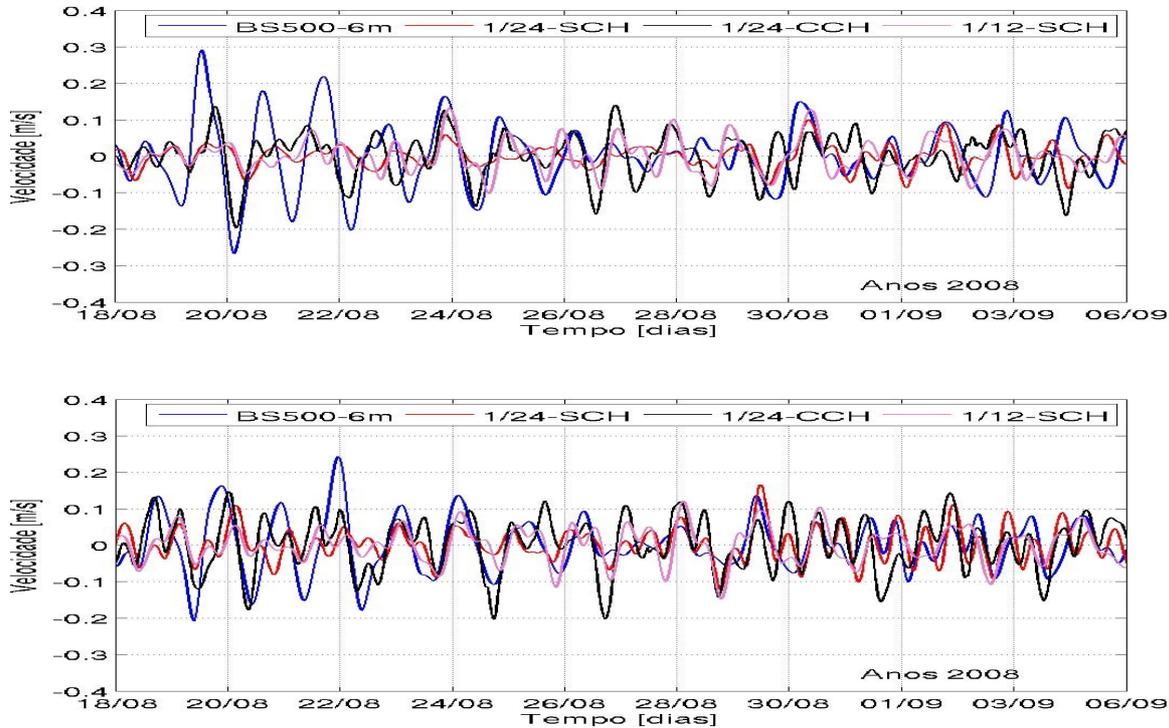


Figura 167: Correntes em BS500, zonal (painel superior) e meridional (painel inferior) no período de 18/08/2008 a 06/09/2008. Séries filtradas (período de corte de 3 dias) preservando-se a alta frequência.

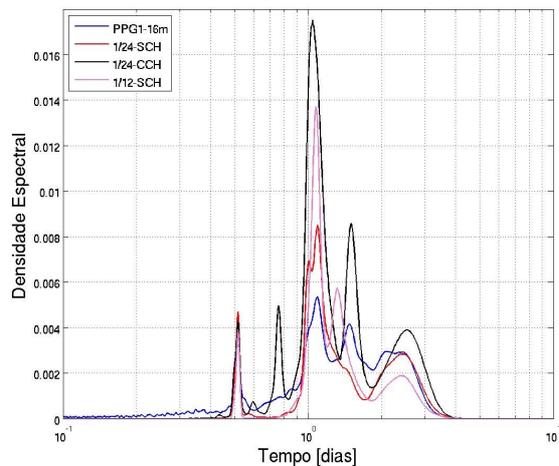


Figura 168: Espectro da serie de alta frequência da componente zonal da corrente em PPG1.

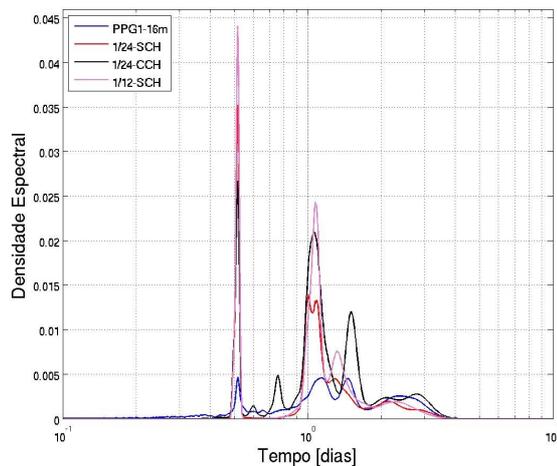


Figura 169: Espectro da serie de alta frequência da componente meridional da corrente em PPG1.

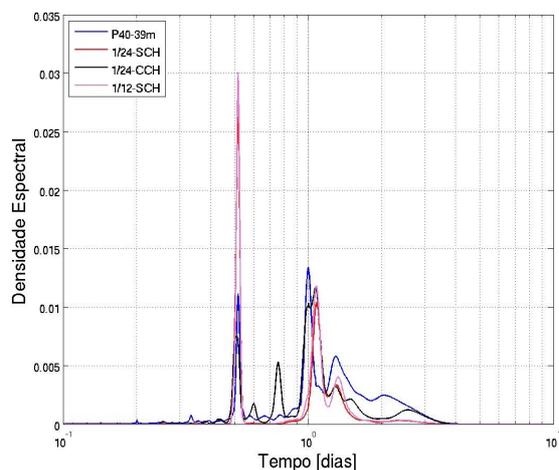


Figura 170: Espectro da serie de alta frequência da componente zonal da corrente em P40.

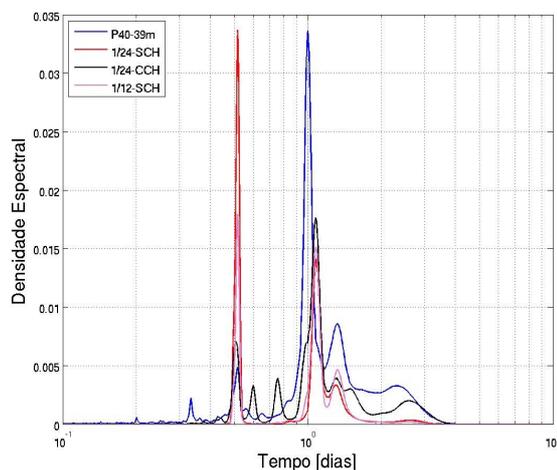


Figura 171: Espectro da serie de alta frequência da componente meridional da corrente em P40.

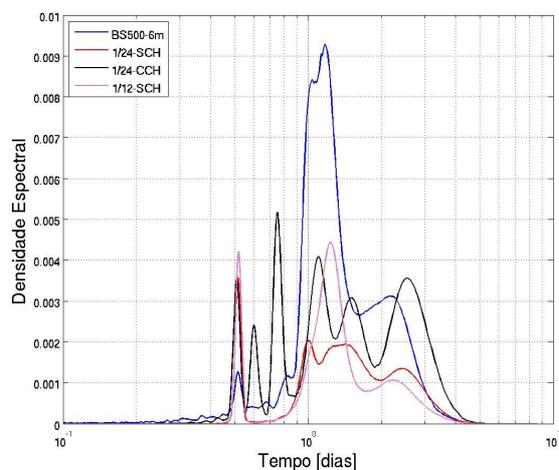


Figura 172: Espectro da serie de alta frequência da componente zonal da corrente em BS500.

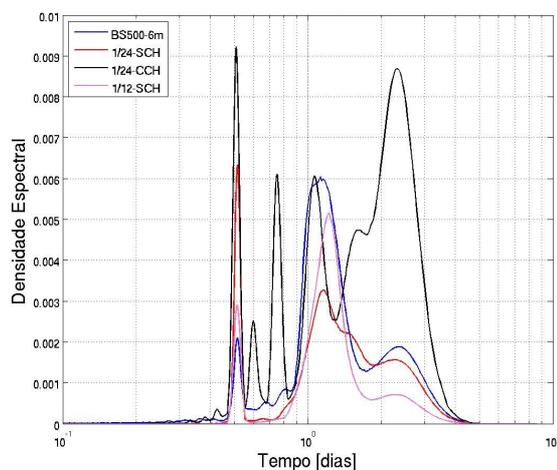


Figura 173: Espectro da serie de alta frequência da componente meridional da corrente em BS500.

## Conclusões

Em geral não foram observadas diferenças muito significativas entre a qualidade dos três experimentos. Marés e ondas confinadas costeiras tem representação praticamente igual nos três casos, enquanto a alta frequência tem níveis energéticos semelhantes. Para a baixa frequência as rosas de frequência de direção e intensidade aparentam ser melhores em 1/24-CCH, mas isso não ocorre em todos os casos. Por um lado, a evolução da TSM nas regiões de geração de vórtices é melhor representada nos casos sem C&H. Por outro lado, existe uma tendência a datação no caso com C&H, especialmente quando comparadas a séries de velocidade em superfície simulada e inferida da altimetria, e os níveis energéticos em superfície são melhor simulados neste caso. Estes últimos fatores determinaram a escolha da configuração em 1/24° com C&H, embora aparentemente todas as três sejam apropriadas.

### Anexo B: Rosas sem filtragem

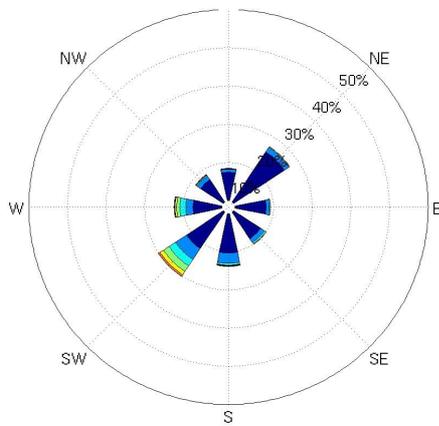


Figura 174: PPG1 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para dados.

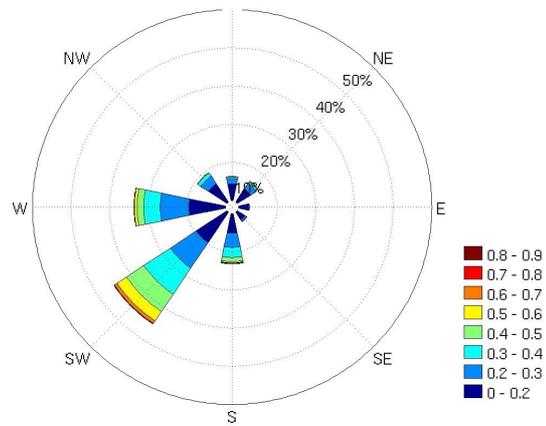


Figura 175: PPG1 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para 1/24-CCH.

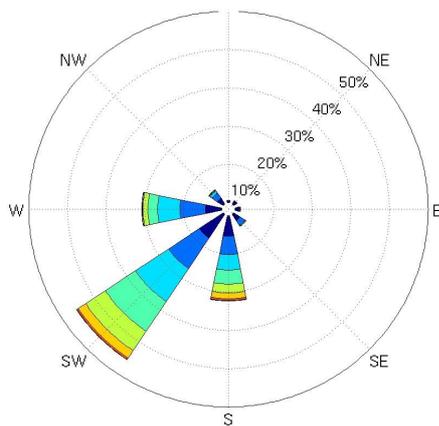


Figura 176: P40 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para dados.

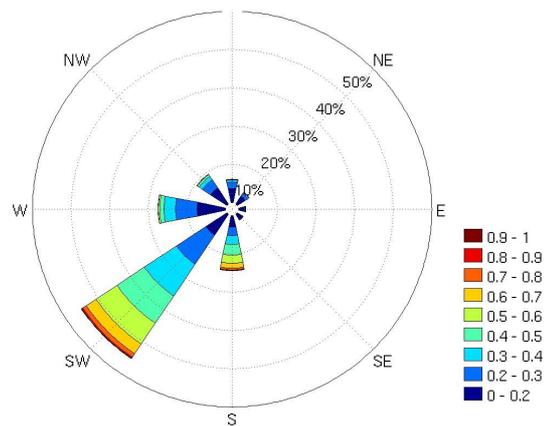


Figura 177: P40 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para 1/24-CCH.

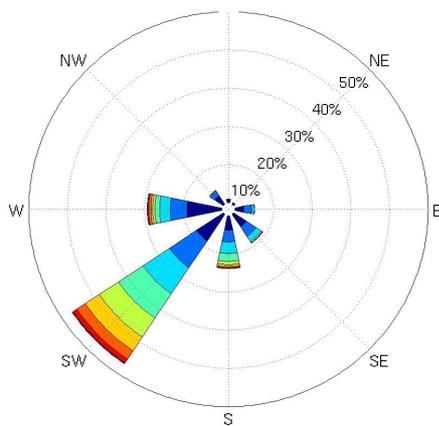


Figura 178: P48 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para dados.

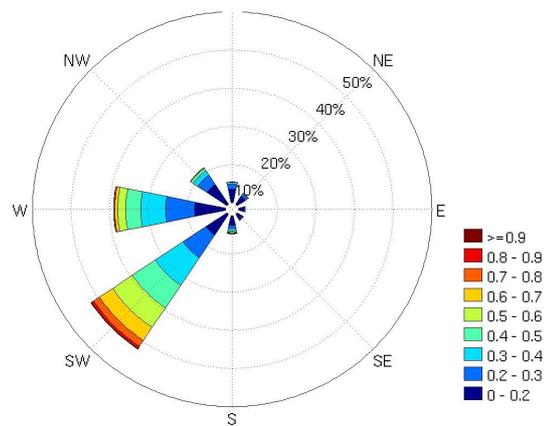


Figura 179: P48 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para 1/24-CCH.

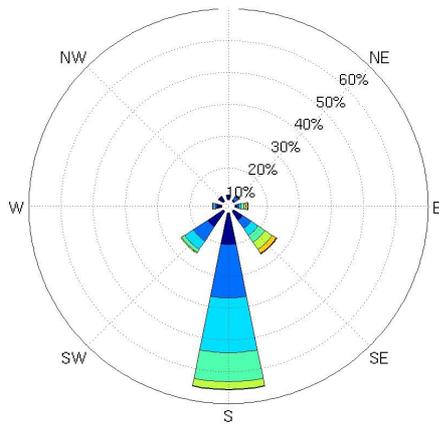


Figura 180: FPSOBR - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para dados.

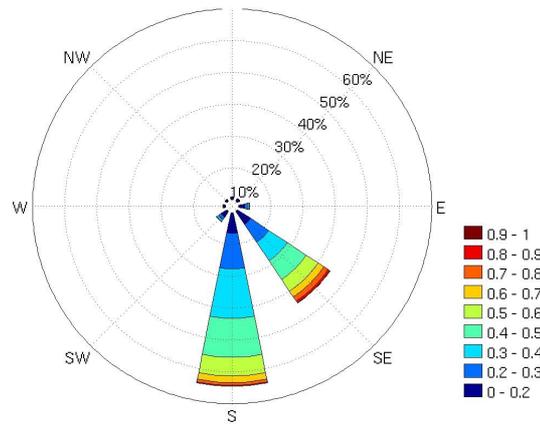


Figura 181: FPSOBR - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para 1/24-CCH.

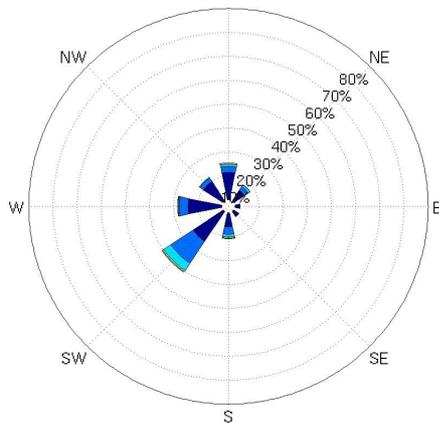


Figura 182: Golfinho - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para dados.

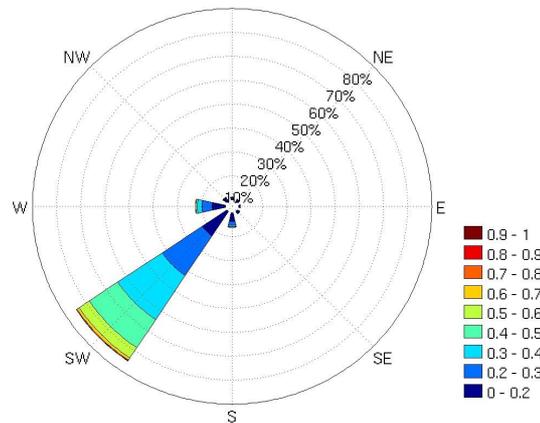


Figura 183: Golfinho - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para 1/24-CCH.

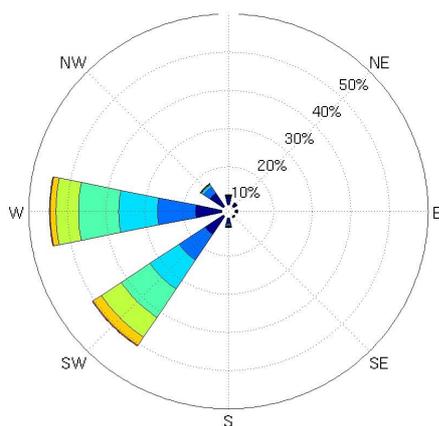


Figura 184: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para dados.

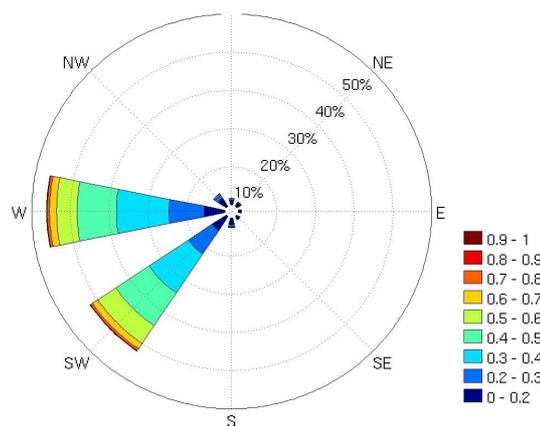


Figura 185: BS500 - rosa de distribuição de frequência de direção e velocidade das correntes, para 1/24-CCH.