

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

**ANÁLISE DO TRANSPORTE DE EKMAN ENTRE CABO FRIO-RJ E
CABO DE SANTA MARTA-SC, ATRAVÉS DE DADOS DE VENTO DO
SATÉLITE QUIKSCAT**

RAFAEL AUGUSTO DE MELO

PONTAL DO PARANÁ
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

**ANÁLISE DO TRANSPORTE DE EKMAN ENTRE CABO FRIO-RJ E
CABO DE SANTA MARTA-SC, ATRAVÉS DE DADOS DE VENTO DO
SATÉLITE QUIKSCAT**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Oceanografia da UFPR, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador:
Prof. Dr. Mauricio A. Noernberg

PONTAL DO PARANÁ
2010

A verdade de um só ponto de vista é ilusão.
Akhenaton

*A todos aqueles que cruzaram o meu caminho ou
ainda irão o meu muito obrigado.*

RESUMO

Ekman (1905) descreveu a circulação dirigida pelos ventos na camada superior dos oceanos mostrando que o transporte de Ekman corresponde a um vetor a 90° , num sentido anticiclônico, da direção do vento. No Embaiamento Sul Brasileiro o regime de ventos é dominado pela atuação do Anticiclone do Atlântico Sul com ventos de NE e a migração do Anticiclone Migratório Polar, responsável pela frequência e intensidade das frentes frias, com ventos de SO. A partir de dados de vento do satélite QuikSCAT e as equações adaptadas foi possível ter uma visão sinótica para o ano de 2009 do transporte de Ekman na região em questão. O transporte de Ekman tende a ser em direção ao oceano em resposta a predominância dos ventos dos quadrantes de N e em direção a costa em resposta a predominância de ventos dos quadrantes de S, de forma que a passagem de sistemas frontais é determinante para esta dinâmica. Apesar de observar que o transporte de Ekman ocorre principalmente entre os períodos de 5 a 15 dias, sua dinâmica se mistura com outros processos que ocorrem simultaneamente em periodicidades próximas, sendo necessários estudos futuros para quantificar a importância de cada um deles.

ABSTRACT

Ekman (1905) described the wind driven circulation in the upper ocean layer showing the Ekman transport corresponds to a vector from 90° the wind direction on anticyclonic way. The wind pattern in South Brazilian Bight is driven for South Atlantic Anticyclone, with NE wind direction, and the Polar Migratory Anticyclone, with SW wind direction. From QuikSCAT wind data and wind shear equations it was possible have an Ekman transport synoptic scale sight to 2009. Due the wind north's directions the Ekman transport tends goes to offshore while wind south's directions leads the Ekman transport to onshore, such mostly influenced by frontal systems. Although Ekman transport occur mainly in periodicity between 5 to 15 days, it is coexisting with another processes next same periodicities, owing futures researches quantify the importance of each one.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	6
2 - OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBEJTIVOS ESPECÍFICOS	9
3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
4 – METODOLOGIA	12
4.1 DADOS	12
4.1.1 QUIKSCAT	13
4.1.2 DADOS METEOROLÓGICOS	15
4.1.3 DADOS DE CORRENTES	16
4.2 EKMAN	16
4.3 ANÁLISES.....	17
4.3.1 CORRELAÇÃO	17
4.3.2 ESPECTRÓ.....	18
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5.1 PADRÃO DE VENTOS QUIKSCAT E TRANSPORTE DE EKMAN.....	18
5.2 ANÁLISE ENTRE OS DADOS DO QUIKSCAT E OS DADOS <i>IN SITU</i>	30
5.3 ANÁLISE ESPECTRAL.....	36
5.4 ANÁLISE DO TRANSPORTE DE EKMAN DURANTE A PASSAGEM DE UMA FRENTE FRIA	47
6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

A plataforma continental (PC) consiste em uma área plana, possuindo um gradiente de declividade inferior a 1:1000. Gradiente este que decai rapidamente para 1:40, aproximadamente, na borda externa da plataforma, também denominada “quebra de plataforma” (SOUZA, 1999). A hidrodinâmica da PC tem ampla variação espaço-temporal em resposta às forçantes associadas ao vento, à maré, às variações de densidade da água e às descargas fluviais (CASTRO, 2006).

Fridtjof Nansen concluiu em 1890 que as correntes oceânicas geradas pelo vento eram afetadas pelo movimento de rotação da Terra, desviando-se da direção do mesmo, após observar esse padrão de movimento em blocos de gelo derivados no Mar Ártico. A compreensão dessas correntes começou a ser esclarecida com a publicação da teoria de Ekman (1905), na qual ele propôs que o balanço entre a transferência vertical de momentum, gerada pelo stress do vento, e a força de Coriolis, causada pela rotação da Terra, regiam a dinâmica das correntes dirigidas pelo vento na camada superior dos oceanos.

Ekman propôs uma teoria matemática, utilizada até os dias atuais, para explicar esta circulação superficial. Ele assumiu pressupostos teóricos que simplificam o ambiente natural, tratando o oceano como um corpo de água homogêneo de extensão e profundidade infinitas; sem qualquer outro movimento (circulação termohalina, marés e ondas de superfície e internas) além das correntes geradas pelo vento. Considerando a ação deste, constante e contínua ao longo do tempo até atingir um estado estável, quando as forças de fricção e rotacional se equilibram. É válido ressaltar que por corpo de água homogêneo compreende-se densidade e pressão constantes, ou seja, condições barotrópicas e inexistência de fluxo geostrófico (THE OPEN UNIVERSITY, 1998; POND *et al.*, 1983).

Na interface oceano-atmosfera o atrito do vento transfere momentum para a água gerando correntes superficiais na mesma direção. Com o passar do tempo essas correntes sofrem uma deflexão na sua direção pela força de Coriolis, e esse fluxo ao atingir um estado estacionário de equilíbrio é denominado Espiral de Ekman. Um

ângulo de desvio de 45° num sentido anticiclônico (direita no hemisfério norte e esquerda no hemisfério sul) é formado entre a direção do vento e a corrente superficial. Essa camada superior transfere momentum para a camada imediatamente inferior e assim por diante, decrescendo a velocidade exponencialmente e aumentando o ângulo de desvio no mesmo sentido do desvio inicial até uma profundidade em que a velocidade seja nula, denominada de profundidade de influência da fricção ou profundidade da corrente dirigida pelo vento. A resultante dos vetores da Espiral de Ekman se dá a 90° da direção do vento e o volume de água transportado nessa direção é denominado de Transporte de Ekman (POND *et al.*, 1983)

Ekman utilizava difusividade turbulenta para efeito de cálculos, pois verificou que sob condições de difusividade laminar, encontrada apenas em laboratório, uma Espiral de Ekman não teria mais que 40 cm de profundidade. No entanto, não considerou as variações verticais nem temporais da difusividade nem das estruturas de densidade devido à dificuldade de obtenção da variação desses parâmetros, tratando-os como constantes (EKMAN, 1905). Variações estas que ocorrem, por exemplo, na termoclina, abaixo da zona de mistura, onde a difusividade reduz-se significativamente devido à menor formação de vórtices em função do maior gradiente de densidade. Esse efeito tem implicação direta na profundidade da Espiral de Ekman, limitando-a durante o dia a uma camada superior (termoclina diária), entre 10 e 30m, ocasionada pelo aquecimento solar. Durante a noite a mesma pode encontrar seu limite na termoclina principal ou sazonal caso ocorra mistura por convecção turbulenta em função do resfriamento da superfície (PRICE *et al.*, 1986).

A limitação de profundidade descrita anteriormente não altera o transporte de Ekman, pois espirais mais rasas tem em compensação velocidades de correntes mais rápidas (PRICE *et al.*, 1986). Segundo Jenkins *et al.* (2006) a direção e magnitude do transporte de Ekman não dependem do perfil de viscosidade. Svensson (1979) recomenda a utilização de um perfil variável de viscosidade para estudos de transporte vertical de substâncias ou organismos, mas para estudos hidrodinâmicos de larga escala não se faz necessário. No entanto, em região rasas, como a PC, a profundidade da espiral torna-se importante devido à presença do atrito com o fundo, que diminui a intensidade do fluxo e assim o ângulo de deflexão da direção (POND *et al.*, 1983).

A teoria de Ekman é simples e pode ser claramente vista em experimentos laminares em laboratório, porém no ambiente natural raramente são observadas espirais bem desenvolvidas e persistentes. Vários estudos posteriores mostraram que a circulação superficial dos oceanos tem um padrão em espiral, porém apresentando menor desvio na direção e um achatamento em relação ao modelo. Além das discrepâncias entre os pressupostos do modelo e o ambiente natural existem dificuldades em separar a dinâmica das correntes geradas pelo vento de outros processos como correntes geostróficas, ondas internas e correntes inerciais (ALVAREZ *et al.*, 2008)

O conceito de transporte de Ekman, no entanto, continua válido para fornecer descrições macroscópicas do transporte de água próximo a superfície (ALVAREZ *et al.*, 2008). Transporte este de grande importância em vários processos biológicos como dispersão de larvas e ovos de peixes assim como dispersão de óleo e outros poluentes (MORINTA *et al.*, 1997). É responsável por parte do transporte de calor, estimado por Kraus & Levitus (1986) em torno de 50% para o oceano Atlântico dos trópicos em direção aos pólos, além de mistura e transferência de momentum. É também o principal mecanismo gerador de ressurgências e tem importante papel na alimentação de modelos numéricos.

O lento desenvolvimento da compreensão e de modelos da circulação oceânica relacionada ao acoplamento oceano-atmosfera tem incentivado a utilização de observações por satélites (QUILFEN *et al.*, 2001). A utilização destas propicia estudos oceânicos de meso e larga escala, o que antes era inviabilizado devido a pouca disponibilidade de plataformas flutuantes e os custos elevados, enquanto as plataformas de sensoriamento remoto possuem uma visão sinótica com alta resolução temporal e espacial por longos períodos e ampla cobertura de área (SOUZA, 2005). Atualmente a obtenção de dados de vento por satélite é realizada pela Agência Espacial Europeia através do European Remote-Sensing Satellite 2 (ERS2) /Active Microwave Instrument (AMI). Os EUA possuíam até 2009 o satélite QuikSCAT/SeaWinds lançado em 1999, com o intuito de preencher a lacuna de dados deixada pelo NASA Scatterometer (NSCAT) e devido a perda do ADEOS I (Advanced

Earth Observing Satellite 1). Em 2002 ADEOS II foi lançado, mas teve problemas no ano seguinte e parou de funcionar (OHHASHI, 2004)

Através do banco de dados de ventos do QuikSCAT o presente estudo se propõe a fazer uma abordagem em mesoescala ao longo do tempo do transporte de Ekman. Analisando sua variabilidade ao longo da PCSE (Plataforma Continental Sudeste) e comparando-a com dados de vento e correntes obtidos *in situ*.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar a variabilidade espaço-temporal do transporte de Ekman no embaiamento sul brasileiro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular o transporte de Ekman utilizando dados do satélite QuikSCAT.
- Comparar os dados de vento do satélite com dados de vento da estação meteorológica de Pontal do Sul-PR.
- Comparar os valores do Transporte de Ekman com dados de correntes *in situ* na costa do Paraná.
- Identificar padrões sazonais e mensais do transporte de Ekman.
- Analisar a variabilidade do transporte de Ekman durante a passagem de um sistema frontal.

- Identificar os períodos de atuação do transporte de Ekman.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região do litoral brasileiro compreendida entre Cabo Frio-RJ e o cabo de Santa Marta-SC recebe a denominação de Embaiamento Sul Brasileiro (Figura 1) devido a sua forma convexa (CASTRO *et al.*, 2006).

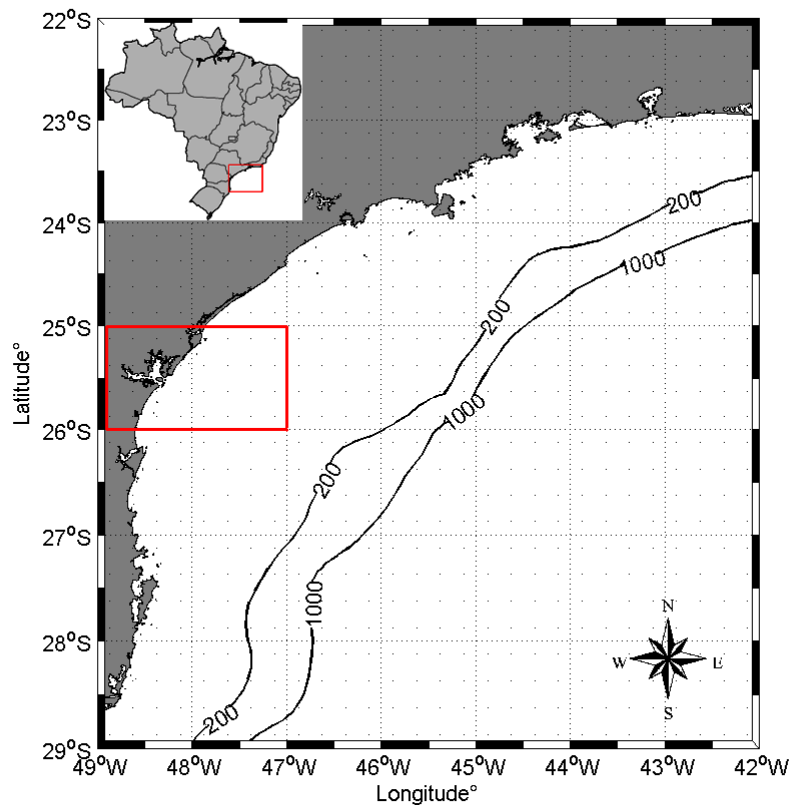


Figura 1 – Área de estudo: Embaiamento Sul Brasileiro. Em destaque no retângulo vermelho o recorte utilizado para comparação com dados *in situ*.

Nessa região localiza-se a Plataforma Continental Sudeste (PCSE), sua parte mais larga está localizada em frente a Santos com 230km e as partes mais estreitas nas proximidades de Cabo Frio, com 50km, e cabo de Santa Marta, com 70km. Possui uma extensão de aproximadamente 1100km e área de 150 mil km² com uma topografia suave e isóbatas paralelas à linha de costa, sendo a profundidade da quebra da plataforma entre 120 e 180m (CASTRO, 2006).

A circulação na PCSE pode ser dividida em três regiões de acordo com a combinação de forçantes. Na plataforma externa a circulação está associada ao fluxo da Corrente do Brasil (CB), centrada entre as isóbatas de 200 e 1000m, na quebra da plataforma. A CB fecha o Giro Subtropical do Atlântico Sul, correspondendo ao contorno oeste e flui para sul até convergir com a Corrente das Malvinas na Convergência Subtropical. Na região mediana a circulação é principalmente regida pelo regime de ventos, no qual o Anticiclone Tropical ou Alta do Atlântico Sul gera ventos de NE e E e correntes marinhas predominante para sul (CASTRO, 2006), e a migração do Anticiclone Migratório Polar influencia na ocorrência de sistemas frontais de sul e sudoeste (QUADROS, 2002). Embora no verão frentes frias sejam de pouca ocorrência e as correntes geradas pelo vento sejam predominantemente para sul (SOARES, 2003), durante eventos de frentes frias os ventos de sul podem se intensificar e se tornarem persistentes o bastante para inverter a circulação, forçando as correntes das águas da plataforma para nordeste (CASTRO, 2006). Na plataforma interna as correntes têm direção predominante para norte devido ao gradiente de pressão baroclínico resultante da grande quantidade de desembocaduras de estuários, efeito este ampliado com a passagem de frentes frias, mas que pode ser invertido com a persistência de ventos E e NE do Anticiclone Tropical.

Durante o verão a predominância de ventos NE paralelos à costa empurram águas superficiais da plataforma em direção ao oceano através do transporte de Ekman permitindo assim a intrusão de Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Este processo de ressurgência pode ser interrompido pelos ventos de sul associados às passagens de frentes frias (CASTRO, 2006).

A maior parte dos processos de baixa frequência (períodos maiores que 40 horas) tem origem na variabilidade atmosférica como os sistemas frontais (período

entre 2 e 15 dias), marés meteorológicas, ondas de plataforma continental e na variabilidade associada à corrente do Brasil como a formação de vórtices e meandros (períodos acima de 15 dias). Enquanto os processos de alta frequência (períodos menores que 40 horas) correspondem basicamente à brisa marinha, na atmosfera, e às correntes de maré (HIRATA, 2008).

4 METODOLOGIA

4.1 DADOS

A estação meteorológica do CEM está localizada na desembocadura da Baía de Paranaguá, no município de Pontal do Paraná no Ponto 1 (Figura 2). O fundeio de um correntômetro acústico (Acoustic Doppler Profiler - ADP) está localizado no ponto 2 próximo a isóbata de 30 m e a aproximadamente 40 km da costa. O ponto 3 marca o ponto da grid do QuikSCAT para correlação com os dados *in situ* a aproximadamente 50 km da costa. Apesar de haver um ponto da grid do QuikSCAT mais próximo à costa, não foi utilizado devido a indisponibilidade da maioria dos dados, por interferências da costa e de chuva.

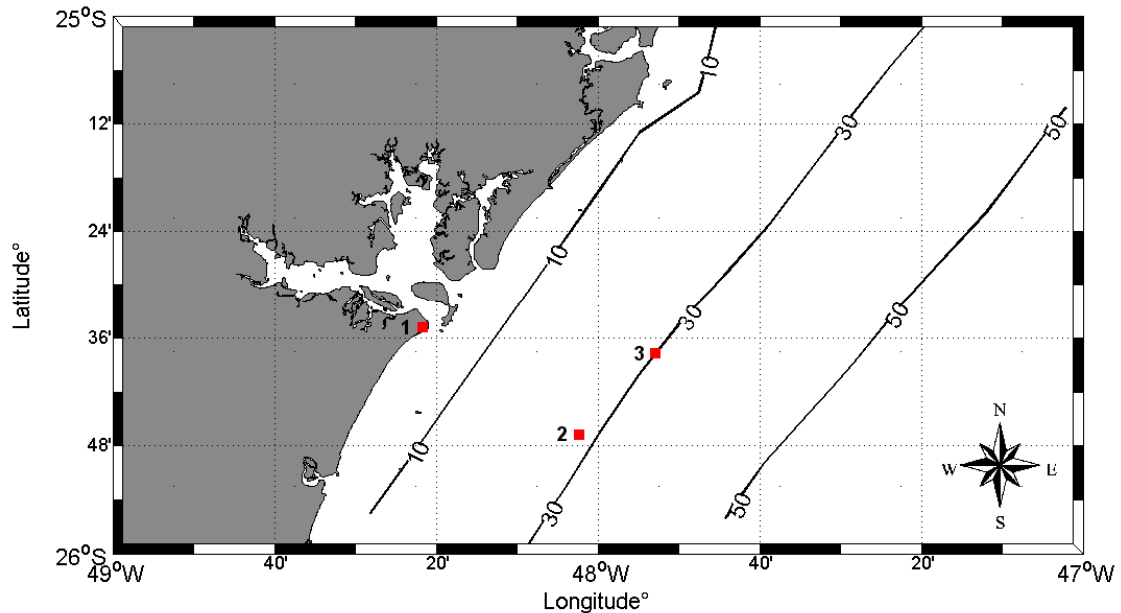


Figura 2 – Ponto 1: Estação Meteorológica. Ponto 2: Fundeio do ADP. Ponto 3: Ponto da grid do QuikSCAT.

4.1.1 QUIKSCAT

O satélite Quick Scatterometer (QuikSCAT) lançado em 1999 pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) dos Estados Unidos captura dados de vento através do mecanismo acoplado SeaWinds, um radar ativo de microondas composto por uma antena parabólica de 1m de diâmetro e dois feixes cônicos que varrem a superfície da Terra em padrão circular, irradiando pulsos eletromagnéticos enquanto se desloca. Os pulsos de radiação (σ_0) têm sua reflexão determinada pela rugosidade do oceano. A leitura dessa radiação permite a inferência da velocidade do vento, já que este é o responsável pela rugosidade superficial da água.

Quatro estações principais recebem os dados do satélite, Poker Flats (Alaska), Svalbard (Noruega), Estação McMurdo (Antártica) e Wallops Flight (Virgínia, EUA). A partir das quais são redirecionados ao Jet Propulsion Laboratory (JPL) e a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Os dados são refinados através da aplicação de algoritmos. As informações brutas (Level0) passam por uma unidade de engenharia de conversão de telemetria obtendo valores de vento (Level1A), os quais são ordenados no tempo e agrupados em células de vetores de vento (WVC) (Level1B). Para obtenção do Level2A os centros das WVC são comparados com mapas das áreas de terra e gelo e as áreas coincidentes são mascaradas até uma distância de 25 km da costa, pois causam interferência na qualidade da leitura. No Level2B obtêm-se os vetores de vento em uma malha de 25 km de resolução. Já para o produto Level3 é aplicado o algoritmo Direction Interval Retrieval with Threshold Nudging (DIRTH), o qual retira ambigüidades existentes na direção dos vetores, e os dados são separados em uma passagem ascendente e uma descendente por dia. A seguir são disponibilizados na internet pelo Physical Oceanography Archive Center (PO.DAAC).

O conjunto de dados Level3, também denominado de produto JPL PO.DAAC 109, é composto pelas seguintes variáveis: valor escalar de velocidade do vento, componentes meridional e zonal da velocidade do vento, velocidade do vento ao quadrado, índice de diferenciação entre valores zeros e nulos (number of counts), tempo dado em frações do dia, probabilidade de chuva e sinal de chuva (rain flag). São obtidos para cada variável dois valores diários, provenientes de uma passagem ascendente e uma descendente. Disponibilizado em Hierarchical Data Format (HDF) na versão 4.1r3, a malha é composta por 720 linhas e 1440 colunas com resolução espacial de $0,25^\circ$ (25 km). Os pontos amostrados são localizados no centro de cada célula, portanto as coordenadas dos limites da malha são definidos em $0,125^\circ$ e $359,875^\circ$ no eixo longitudinal e $89,875^\circ$ e $-89,875^\circ$ no eixo latitudinal. O sensor mede os ventos dentro de uma faixa de velocidade de 3 a 30 m/s com acurácia de 20° na direção e 2m/s na velocidade, a uma altura de referência de 10m.

O satélite realiza 14,25 orbitas durante um dia, varrendo a superfície terrestre duas vezes, uma em trajetória ascendente e outra descendente, as quais cruzam o equador respectivamente as 6 e 18h em horário local, sempre nos mesmos pontos. O

satélite demora 6h para atingir o equador a partir dos pólos e cada órbita tem duração de 101 minutos, o que permite, portanto, inferir que mais provavelmente cruzará as latitudes da área de estudo entre 3 e 5 h, em horário local, na trajetória ascendente e entre 19 e 21h na descendente.

Como a chuva altera a leitura do sensor, refletindo a radiação antes que chegue ao oceano ou mesmo modificando a superfície oceânica, utilizei a variável “rain flag” para identificar os dados sob influência de chuva e filtrá-los. Os valores nulos foram diferenciados dos zeros através da variável “number of counts” e também filtrados. Para ambos os casos os valores filtrados foram substituídos por Not a Number (NaN) pelo software. Os dados estavam armazenados como números inteiros, portanto multipliquei os valores da velocidade do vento e os das componentes meridional e zonal pelo fator de correção de 0,01 fornecido pelo manual (JET PROPULSION LABORATORY, 2001).

4.1.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de direção e intensidade do vento foram obtidos através de uma Estação Telemétrica CAMPBELL pertencente ao Centro de Estudos do Mar (CEM)/Universidade Federal do Paraná (UFPR) e cedidos pela mesma para a realização deste trabalho. A estação localiza-se a 25°34'46S e 48°21'15W, a uma altitude de 4 m. O sensor acoplado Mariner mede os valores de vento a cada hora numa faixa de velocidade entre 0,5 e 60 m/s. No entanto, havia lacunas nos registros durante os seguintes dias: 9 a 12 de julho, 1ª a 3 de agosto e 9 a 11 de setembro.

Apesar dos dados de vento da estação e os do satélite estarem em alturas diferentes, não realizei a correção devido a grande distância e diferença de superfície apresentadas entre os dois pontos. De forma que havia uma imprecisão na escolha do parâmetro “comprimento de rugosidade”, necessário na aplicação da Lei Logarítmica descrita por Loredou_Souza (2006) como a de melhor ajuste próximo a superfície, o que poderia introduzir novos erros.

Obtive as componentes meridional e zonal, associadas respectivamente aos eixos Y e X, através de relações trigonométricas, a seguir as interpolei e filtrei utilizando um filtro passa-baixa do tipo Lanczos-Cosseno para remover as oscilações de alta

freqüência, neste caso a brisa marinha. Utilizei uma freqüência de corte de 40h (1,67 dias), que remove 50% da energia da freqüência de corte e 95% das oscilações com freqüências menores que 25 horas (HIRATA, 2008).

4.1.3 DADOS DE CORRENTES

Os dados de direção e intensidade de correntes foram obtidos através de um correntômetro acústico do tipo ADP SONTEK/YSI com freqüência de 1 MHz fundeado pelo projeto “Características hidrográficas da plataforma rasa paranaense” (CNPq 480428/2007-7). O fundeio estava localizado em 25 47'46”S e 48 06'16”O próximo a isóbata de 30m, registrando a média da velocidade e direção das correntes de um minuto para células verticais de 1,20m a cada 30 minutos. O funcionamento do equipamento se baseia no Efeito Doppler, em que os pulsos de som emitidos se refletem nas partículas suspensas e transportadas na água por advecção. A leitura dos pulsos que retornam ao aparelho permite a inferência das velocidades de correntes.

O ADP mede a direção das correntes em relação ao norte magnético, portanto reduzi a declividade magnética (18,85° para oeste) relacionando as direções ao norte geográfico. A seguir rotacionei as direções no sentido horário, somando 25° e coincidindo o eixo y com a orientação das linhas batimétricas (SO-NE). Ambos os procedimentos foram realizados de acordo com o descrito por Miranda *et al.* (2002). Assim como para os dados da estação decompus os vetores e os filtrei com freqüência de corte de 40h para retirar influência de maré. Utilizei a média entre as células de 1,5; 2,7 e 3,9m.

4.2 EKMAN

Utilizei as equações 1 e 2 adaptadas e publicadas por Álvares *et al.* (2007).

$$Q_x = \frac{\rho_a C_d}{\rho_w f} (W_x^2 + W_y^2)^{1/2} W_y \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Q_y = -\frac{\rho_a C_d}{\rho_w f} (W_x^2 + W_y^2)^{1/2} W_x \quad (\text{Eq. 2})$$

sendo W a velocidade do vento a 10m de altura, $\rho_w=1025 \text{ kg m}^{-3}$ a densidade da água do mar, $C_d=1,4 \times 10^{-3}$ o coeficiente de cisalhamento e f é o parâmetro de Coriolis definido como $f = 2\Omega \sin(\theta)$, com $\Omega=7,29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ representando a velocidade angular da Terra e θ a latitude. Considera-se ainda x a componente zonal do vento, y a meridional e Q o transporte de Ekman. O transporte de Ekman obtido por essas equações consiste na velocidade integrada numa direção vertical, sendo sua unidade m^2/s .

Calculei então as médias entre os valores ascendentes e descendentes para obtenção de um único valor diário e a seguir as médias mensais e sazonais tanto para os valores de ventos como para os valores de transporte de Ekman. Considerei janeiro, fevereiro e março como verão; abril, maio e junho como outono; julho, agosto e setembro como inverno e outubro, novembro e dezembro como primavera. Sendo que tanto verão como primavera não tiveram dados para todo o período. A partir dos valores das médias foram gerados mapas de distribuição espacial da variável calculada.

4.3 ANÁLISES

4.3.1 CORRELAÇÃO

Para a escolha do teste de correlação a ser utilizado realizei o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, não encontrando distribuição normal apliquei o teste de correlação não-paramétrico de Spearman. Tanto para os dados meteorológicos como para os do fundeio subamostrei e fiz as respectivas médias dos valores nos horários mais prováveis em que o satélite cruzaria a área de estudo, entre 3 e 5h para a

passagem ascendente e entre 19 e 21h para a descendente. A seguir correlacionei a série de dados de vento do QuikSCAT com a subamostragem da estação meteorológica e a série de dados do transporte de Ekman obtida pelas equações com a subamostragem do ADP. Por último fiz uma correlação cruzada entre a série total dos dados de vento da estação e os dados de correntes do ADP, obtive assim a defasagem das correntes em relação ao vento.

4.3.2 ESPECTRO

Apliquei uma janela no valor de 12 do tipo Hanning, com o intuito de aumentar a confiabilidade estatística da análise. Apesar da maior confiabilidade das concentrações de energia por banda de frequência perde-se resolução espectral. A seguir foram realizadas as análises espectrais dos ventos, correntes e transporte de Ekman. Estas análises foram baseadas no método de WELCH (1967) *apud* HIRATA (2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PADRÃO DE VENTOS QUIKSCAT E TRANSPORTE DE EKMAN

As médias de ventos foram predominantemente de nordeste com parte da área de plataforma sob ventos de leste em fevereiro (Figura 3) e predominância de leste em março (Figura 4). O transporte de Ekman mostrou uma resposta aos ventos predominantemente para sul e sudeste. Direções estas em concordância com os padrões descritos por Castro *et al.* (2006) para o verão, com padrões de ventos de leste e nordeste e o transporte causado pelos ventos tendendo em direção ao oceano aberto propiciando condições favoráveis à ressurgências. Houve ainda, em menor escala, ventos de sudoeste transversais a linha de costa para ambos os meses, sendo com maior intensidade em março. Estes ventos são mais característicos de outono e inverno.

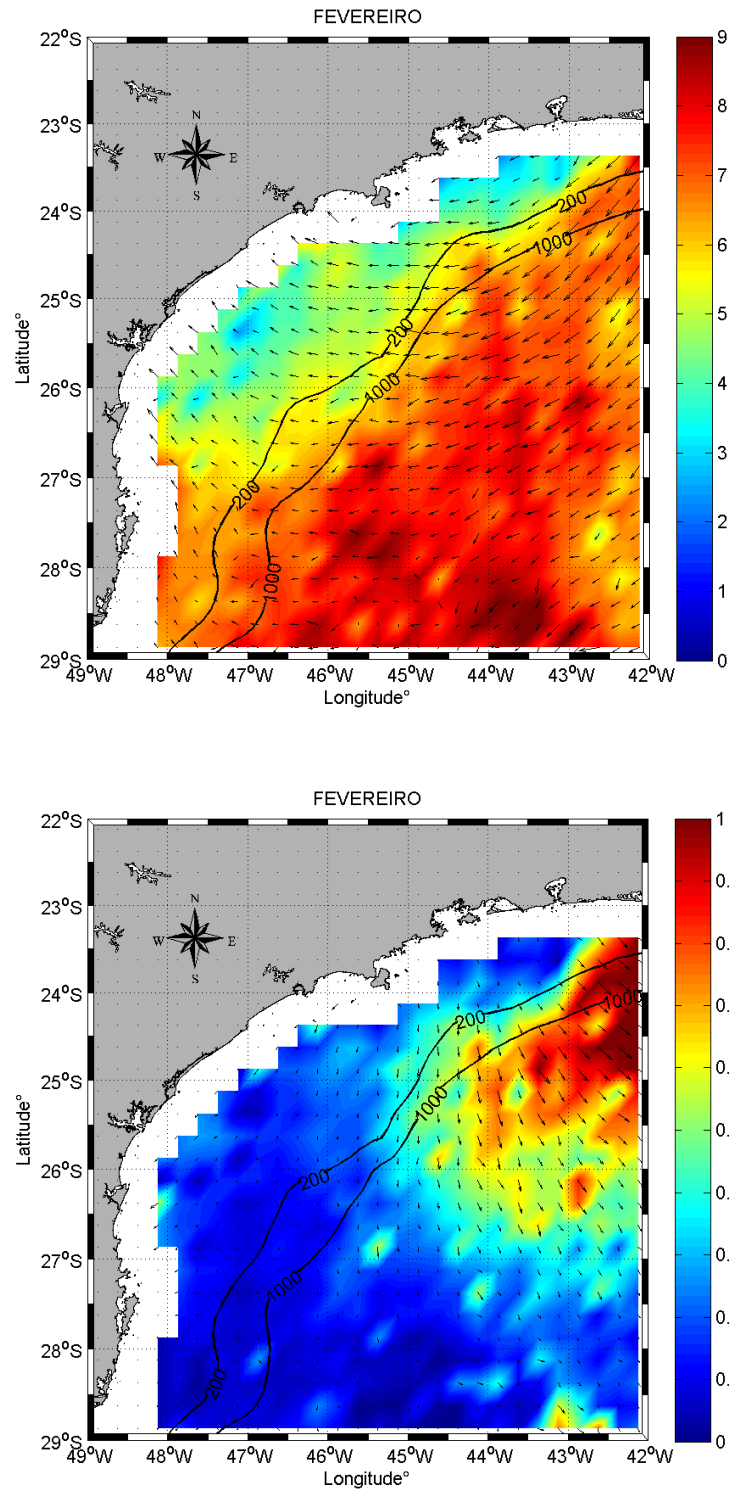


Figura 3 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m²/s) abaixo relativos ao mês de fevereiro.

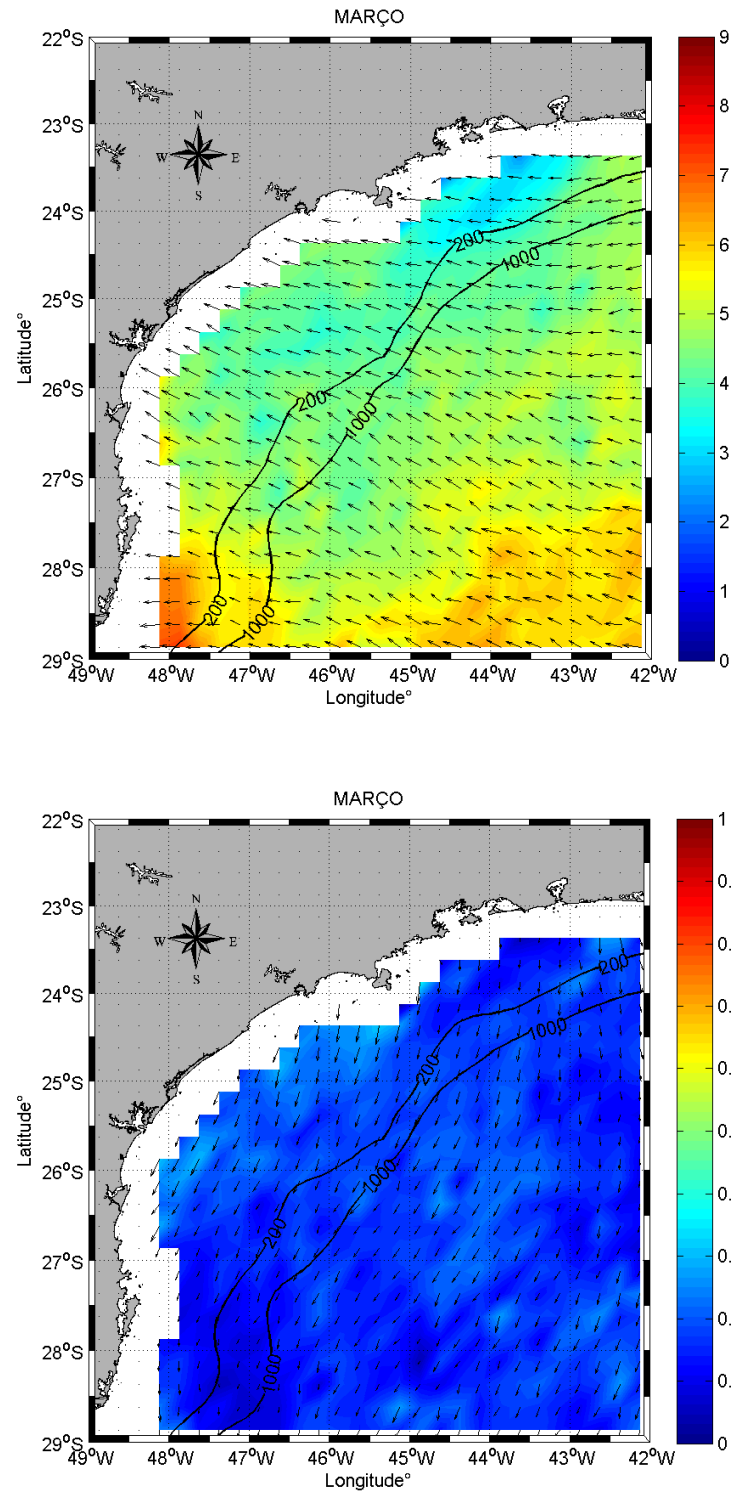
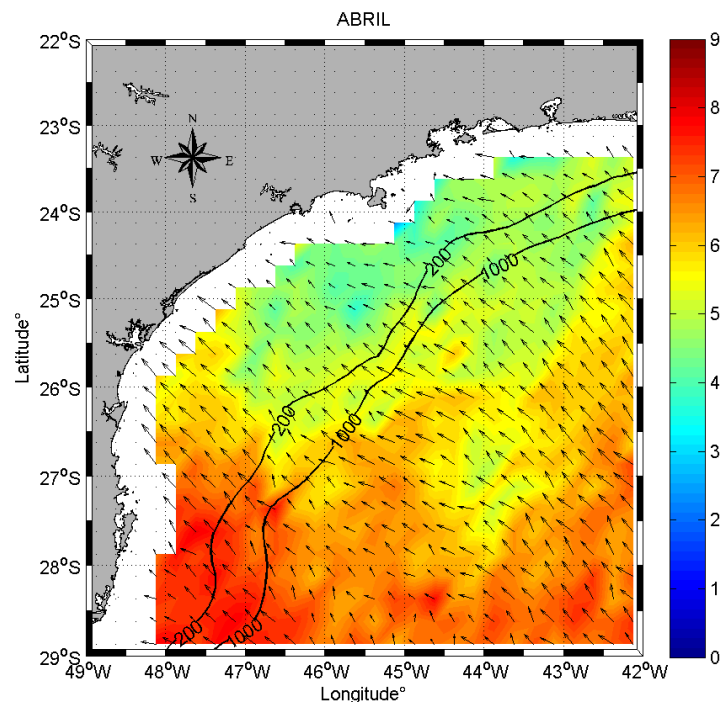


Figura 4 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m²/s) abaixo relativos ao mês de março.

Os meses de abril, maio e junho representam o outono. Em abril (Figura 5) ocorre uma inversão na direção preferencial dos ventos, predominando os de sudeste. No mês de maio (Figura 6) há um retorno à predominância dos ventos de leste. E em junho (figura 7) duas direções preferenciais, ventos de leste e de sudoeste, convergem-se e direcionam-se para a costa assumindo direção sudoeste sobre a plataforma. Devido à proximidade com o inverno, padrões típicos dessa estação podem estar sendo antecipados, aumentando a ocorrência de frentes frias. Em decorrência dessa variabilidade do vento o transporte de Ekman tende a ser paralelo a costa em abril, ter um fluxo para sul em maio e em junho uma circulação dividida em duas direções principais, em que a parte sul do embaiamento tende a empilhar água na costa e a parte norte tende a um fluxo para sul.



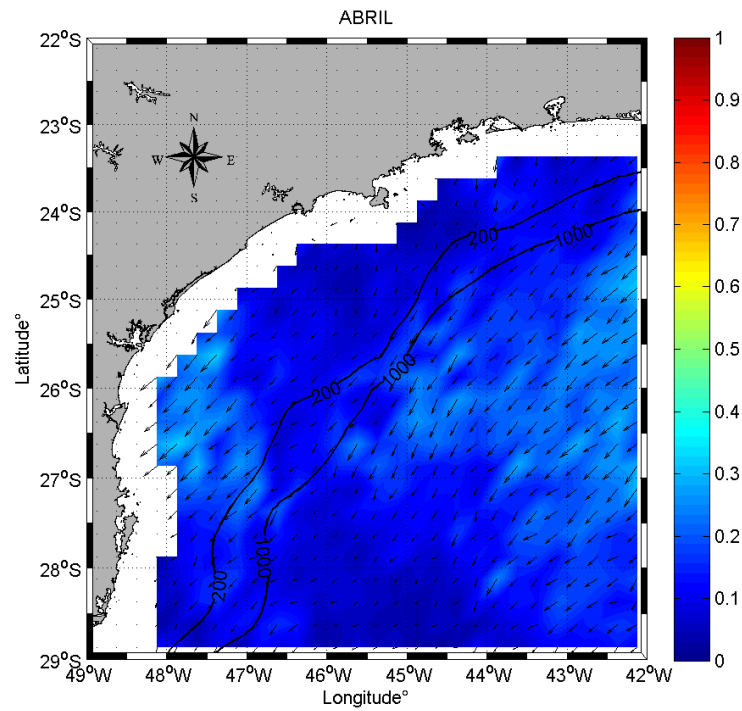
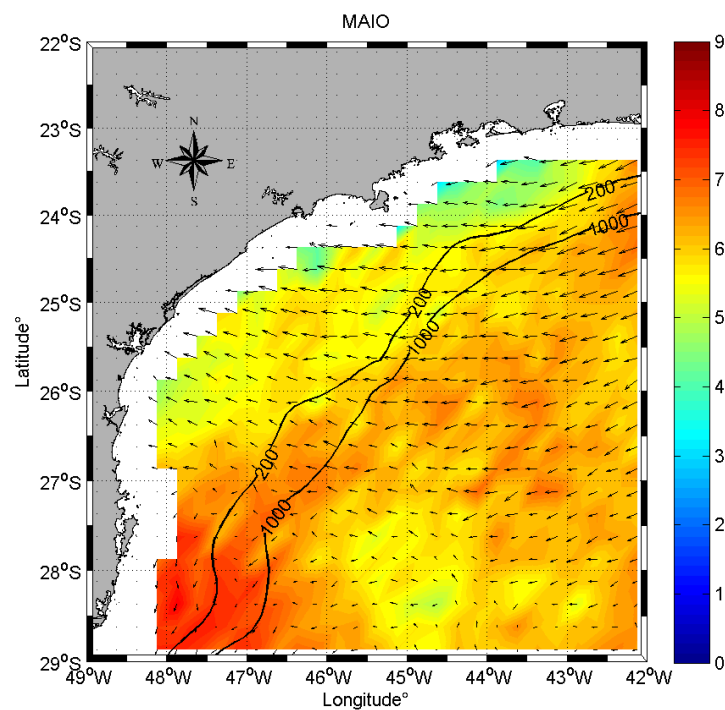


Figura 5 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de abril.



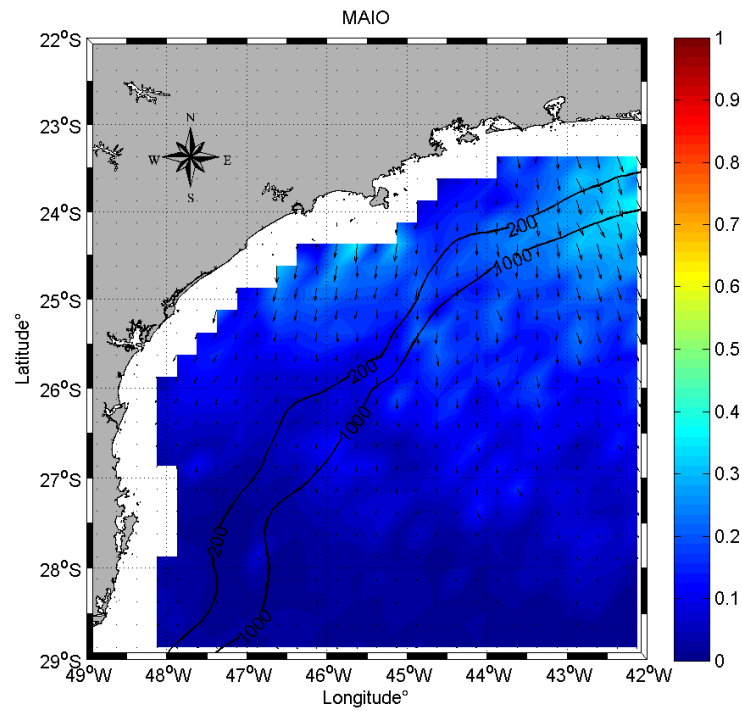
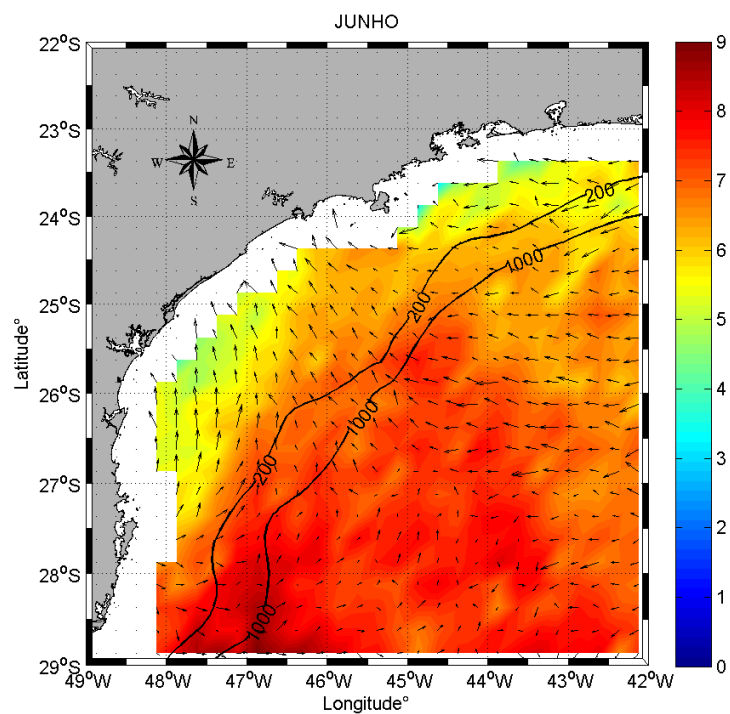


Figura 6 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de maio.



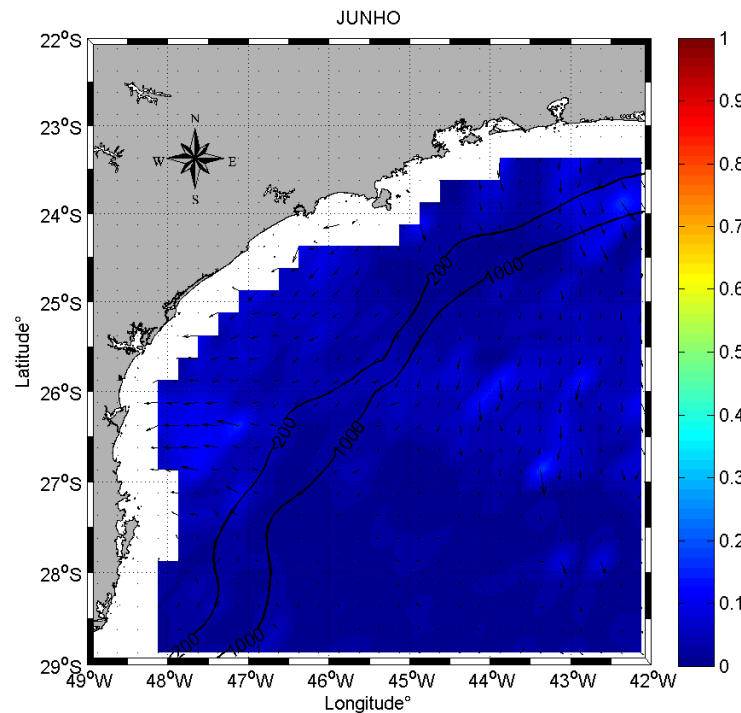


Figura 7 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de junho.

Nos meses de inverno em julho (Figura 8) e setembro (Figura 10) a média mensal de ventos reproduz a maior frequência de ocorrência de frentes frias, a predominância de dois campos de ventos vindos de nordeste e de sudoeste. Esse padrão está de acordo com o descrito por Castro *et al.* (2006), de que no inverno os ventos de leste e nordeste ficam confinados entre as latitudes de 20 e 25 e ao sul dominam os ventos oeste e sudoeste. Em setembro (Figura 9) a intensidade do vento é menor em relação ao mês de julho e os vetores dos ventos tem suas direções mais variadas sinalizando o final da estação e o enfraquecimento do padrão. Em agosto ao contrário do esperado os ventos predominantes são de nordeste e com valores bastante elevados. O transporte de Ekman responde a essas forçantes nos meses de julho e setembro com o padrão descrito para o mês de junho exceto que o fluxo na parte norte do embaixamento tende a ser para sudeste ao invés de sul, e em agosto é predominantemente para sudeste levando água em direção ao oceano.

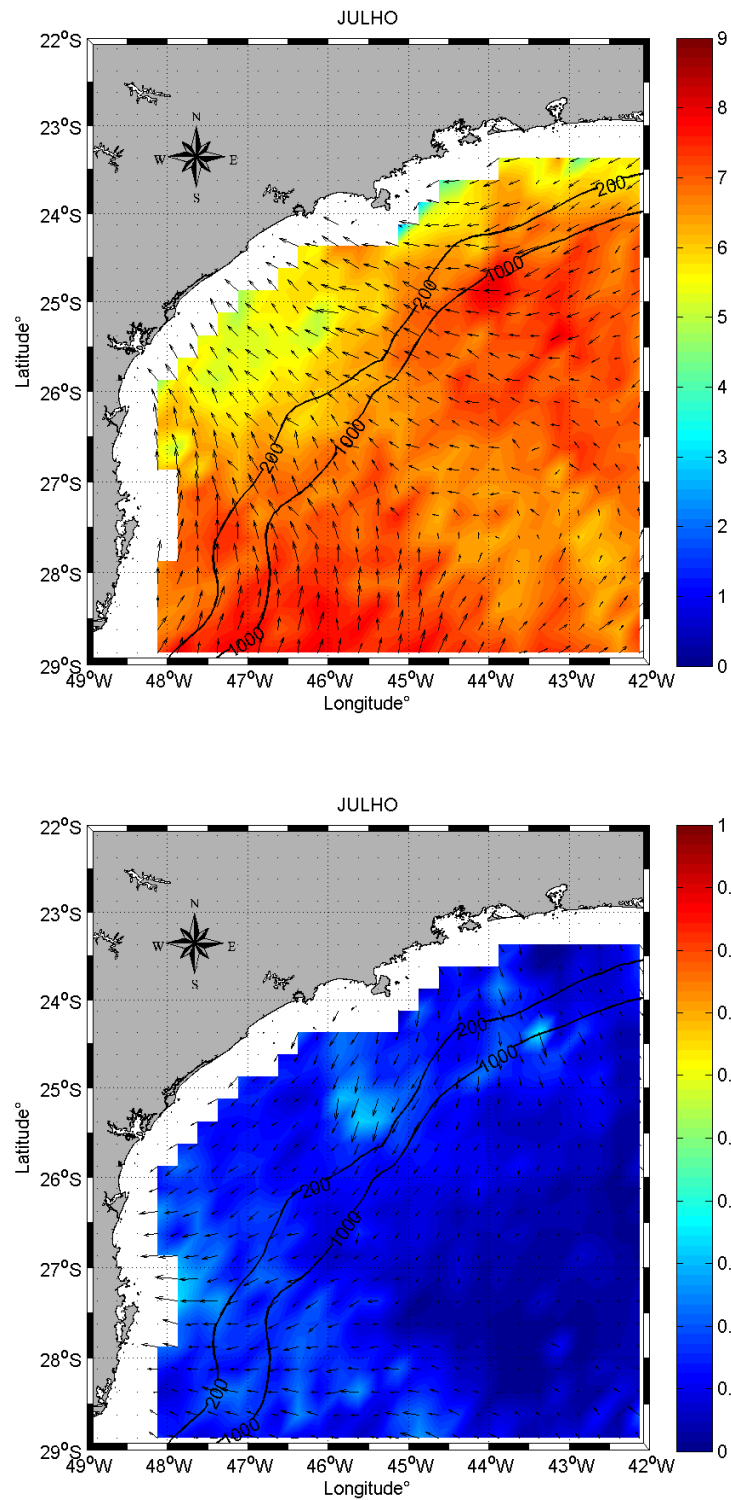


Figura 8 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de julho.

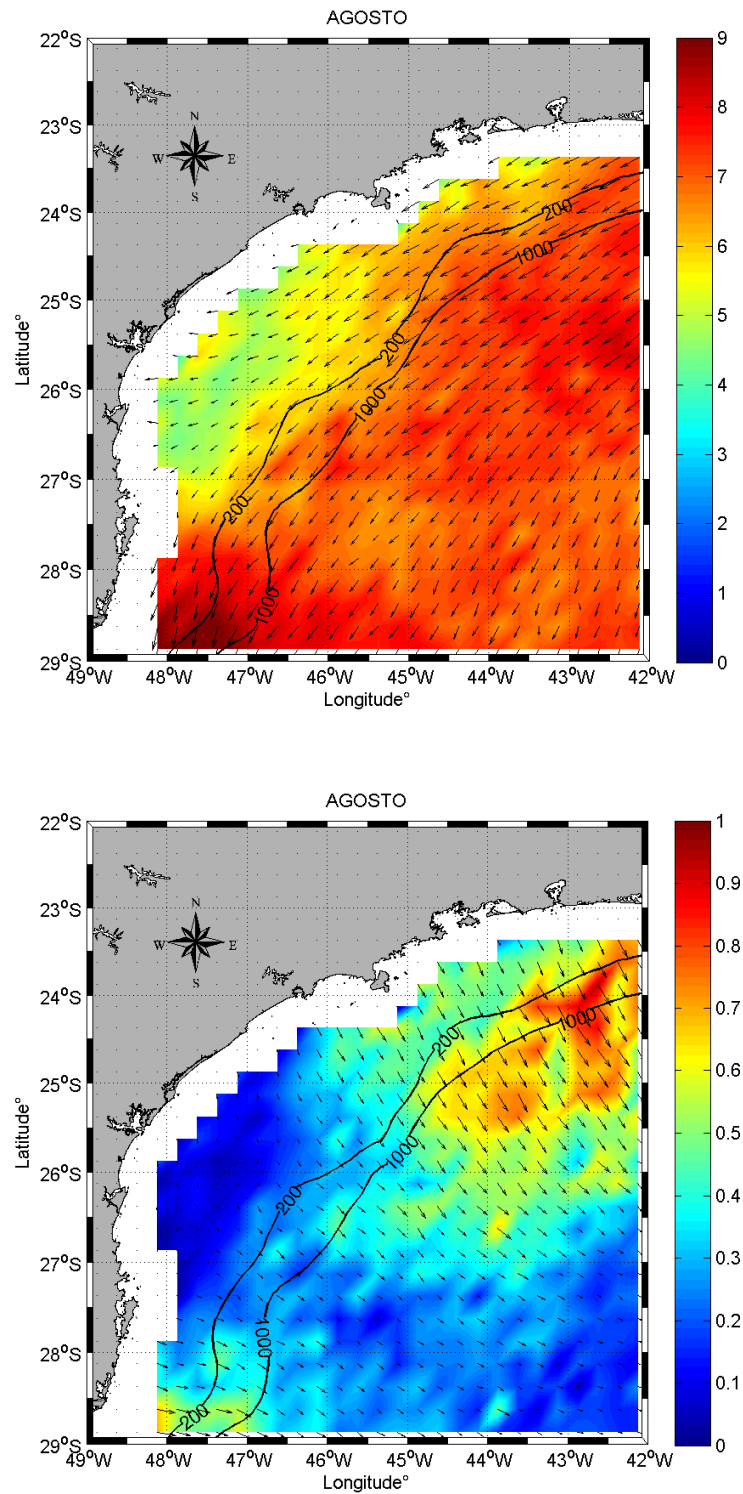


Figura 9 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m²/s) abaixo relativos ao mês de agosto.

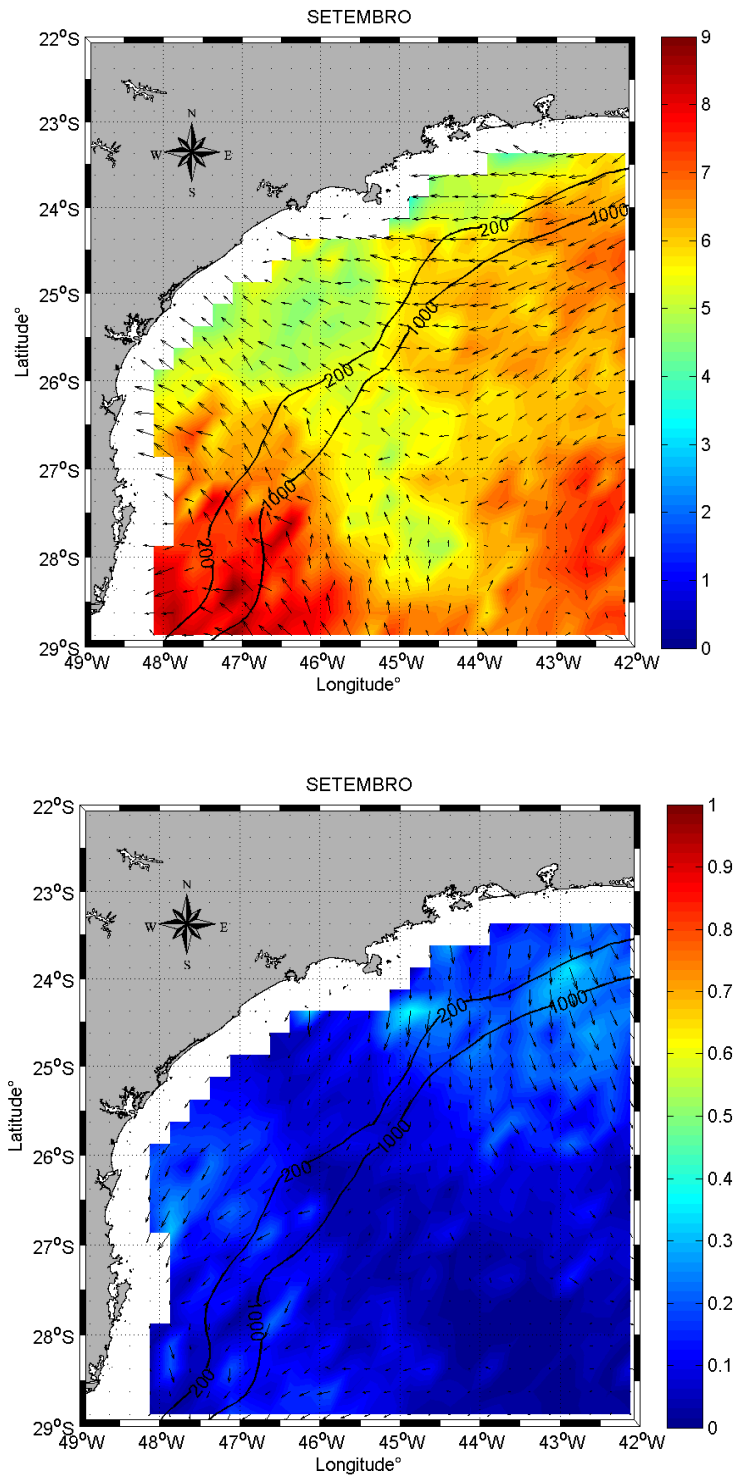
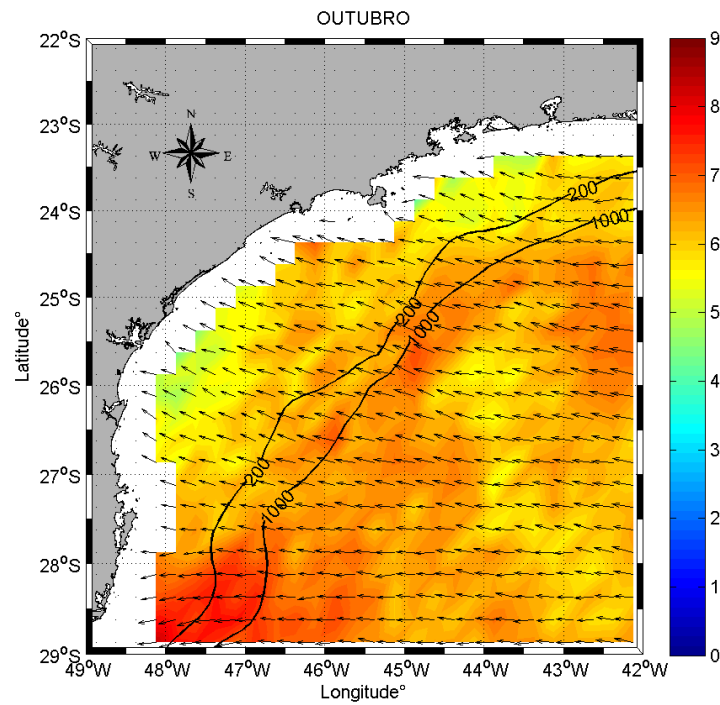


Figura 10 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de setembro.

Os meses de outubro e novembro (Respectivamente Figuras 11 e 12) apresentam um padrão consistente de ventos de leste. Sugerindo um padrão transicional entre o regime de ventos de inverno para o de verão. O transporte de Ekman apresenta fluxo predominantemente para sul.



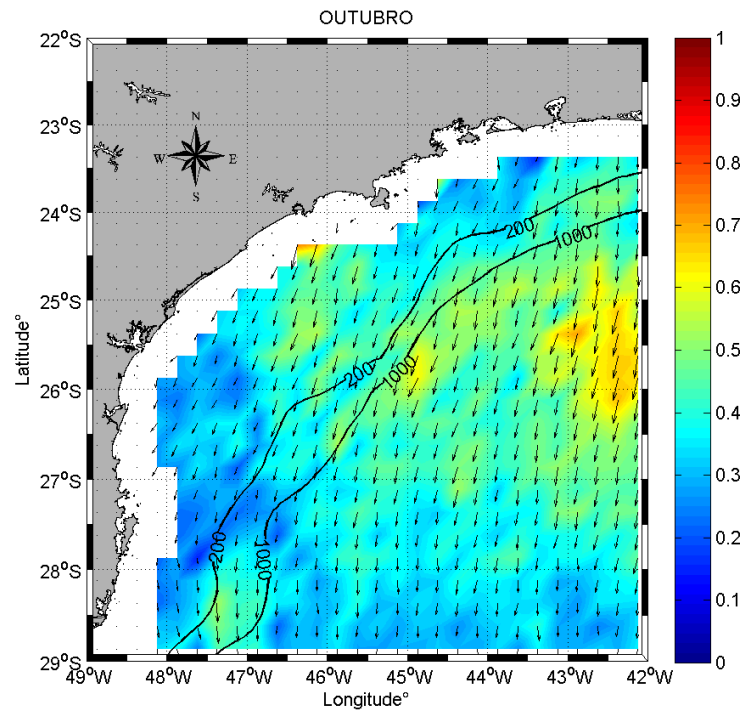
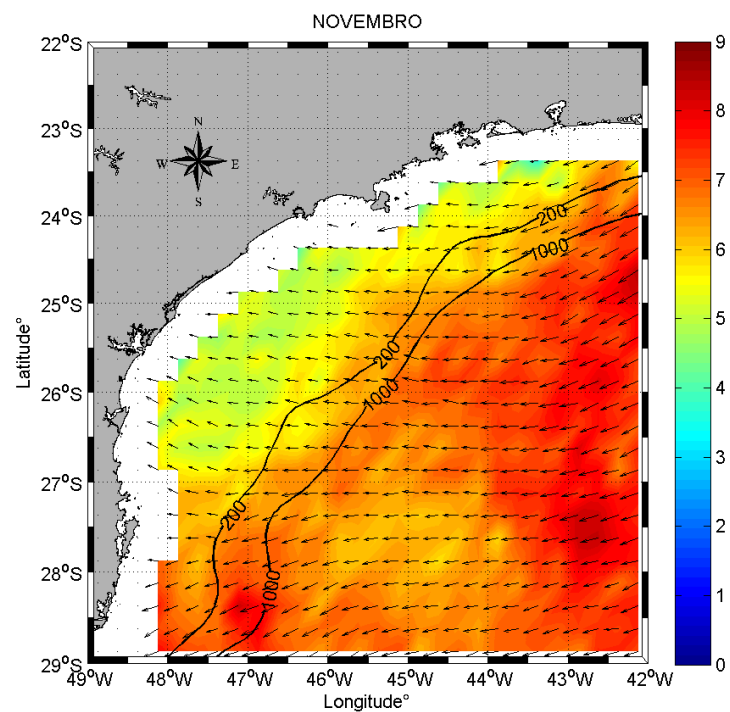


Figura 11 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de outubro.



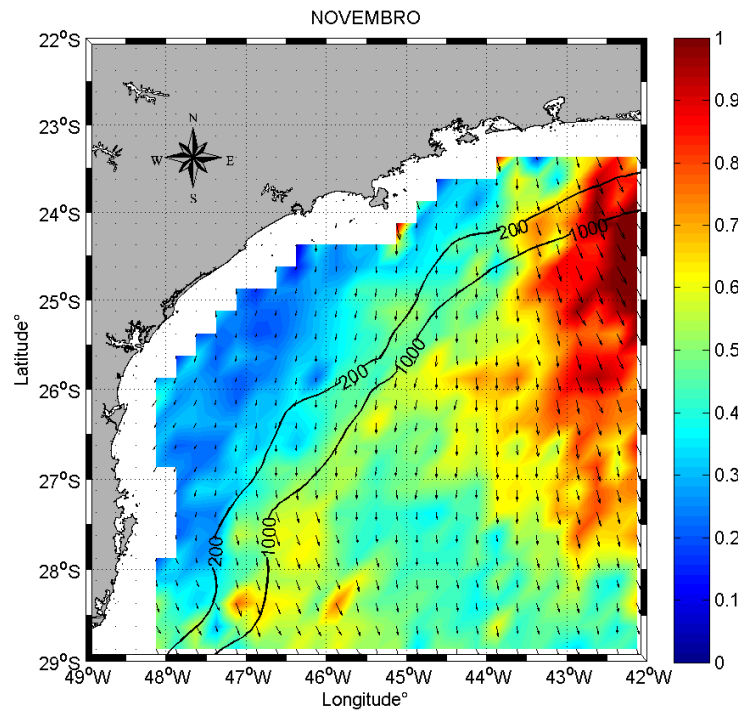


Figura 12 – Mapas dos vetores velocidade do vento (m/s) acima e do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo relativos ao mês de novembro.

5.2 ANÁLISE ENTRE OS DADOS DO QUIKSCAT E DADOS *IN SITU*

As tabelas de 1 a 4 mostram os principais parâmetros para os dados de ventos da estação meteorológica e QuikSCAT assim como para os dados de correntes do ADP e o transporte de Ekman. Foram obtidos para cada estação valores máximos, médios, direções preferenciais dadas pela maior frequência de ocorrência e médias para as componentes meridional e zonal. O termo direção secundária utilizado no texto a seguir se refere à segunda direção mais freqüente.

As maiores médias de vento da estação meteorológica (Tabela 1) foram encontradas para o verão e primavera e a menor para o inverno em concordância com as médias de 10 anos da mesma estação meteorológica realizada por Oliveira (2010). No entanto, nas médias de 10 anos a de verão é maior que a de primavera, ao contrário do encontrado neste trabalho. A direção preferencial do vento para o verão foi de SE e para as demais estações de SO. Oliveira (2010) descreve direção preferencial no verão

de SE e um aumento dos ventos SO a partir do outono persistindo até a primavera, no entanto não observa ventos SO como preferenciais em nenhuma estação. Em ambos os trabalhos observa-se uma transição da direção predominante dos ventos entre verão, de SE-NE, e inverno, de SE-SO. Padrão este em concordância com a circulação geral descrita para inverno-verão por Castro (2006) para a PCSE. As médias da componente meridional mostram que os ventos do quadrante sul além de serem mais freqüentes são mais intensos.

Tabela 1 – Principais parâmetros dos dados de vento da estação meteorológica.

Estação	Máximo(m/s)	Média(m/s)	Direções preferenciais	Média u(m/s)	Média v(m/s)
Verão	13,52	3,35	SE/NE	0,69	-1,16
Outono	12,07	3,08	SO/NE	-0,15	-1,01
Inverno	11,12	2,73	SO/SE	-0,10	-1,05
Primavera	14,88	3,72	SO/SE	0,60	-1,60

Os valores máximos de vento do QuikSCAT no ponto 3 da Figura 2 (Tabela 2) encontram-se numa faixa de variação (10,91 a 15,36 m/s) próxima aos dos valores observados na estação meteorológica (11,12 a 14,88 m/s), no entanto, os valores médios são todos superiores. Isso pode acontecer devido à grande distância entre os dois pontos, aproximadamente 50 km, e conseqüentemente às maiores intensidades sobre o oceano. As direções preferenciais correspondem, em termos gerais, ao descrito por Castro *et al.* (2006), com ventos de NE e SE todo o ano, mas os padrões sazonais não são verificados. As direções preferenciais concordam com os dados da estação apenas para o verão. No outono e inverno ao contrário do esperado há uma intensificação dos ventos de NE. A análise das médias da componente meridional concorda com os dados da estação meteorológica, sendo todos os valores de SO, mostrando que apesar dos ventos dos quadrantes de S não serem mais freqüentes em todas as estações eles são mais intensos.

Tabela 2 – Principais parâmetros dos dados de vento do QuikSCAT.

Estação	Máximo(m/s)	Média(m/s)	Direções preferenciais	Média u(m/s)	Média v(m/s)
Verão	13,26	4,25	SE/NE	2,27	-1,24
Outono	15,36	5,61	NE/SE	1,41	-0,88
Inverno	12,68	5,42	NE/SE	1,25	-1,12
Primavera	10,91	3,85	SE/NE	1,94	-1,59

As médias das componentes meridional e zonal para as correntes (Tabela 3) foram baixas em comparação aos valores encontrados por Alberti (2010) para o litoral do Paraná. A componente meridional variou entre 0,011m/s (1,1 cm/s) e 0,035m/s (3,5 cm/s) enquanto em Alberti (2010) essa componente variou entre 2,4 e 13,7 cm/s. As máximas intensidades para o vetor resultante (40 a 49 cm/s) foram próximas às velocidades encontradas por Alberti (2010) para apenas a componente meridional (40 cm). A direção preferencial foi para NE durante todo o ano, no entanto a análise das médias da componente meridional mostra que no verão o sentido para sul foi mais intenso, ou seja, apesar de nesta estação a ocorrência de correntes para NE serem mais frequentes as correntes para os quadrantes S foram mais fortes. A maior intensidade das correntes para o quadrante sul pode ser consequência da maior intensidade dos ventos de nordeste durante o verão. A segunda direção mais frequente foi para SE no verão, a qual se inverteu nas estações subsequentes para SO. A média da componente meridional, que era para sul no verão se inverteu para norte no restante das estações. Portanto, a direção preferencial secundária assim como a média da componente meridional demonstraram a intensificação da ocorrência de frentes frias invertendo o sentido da circulação como descrito por Castro *et al.*(2006). As médias para a componente zonal foram todas para L, enquanto todas as médias para os ventos do QuikSCAT e as médias da estação para outono e inverno mostraram que os ventos eram contrários, vindo de L com maior intensidade. Provavelmente esse padrão de correntes teve contribuições da dinâmica de Ekman, de forma que os ventos N e NE ou mesmo NO estariam retirando água da costa gerando fluxos para o quadrante L.

Tabela 3 – Principais parâmetros dos dados de corrente do fundeio de ADP

Estação	Máximo(m/s)	Média(m/s)	Direções preferenciais	Média u(m/s)	Média v(m/s)
Verão	0,49	0,11	NE/SE	0,004	-0,011
Outono	0,44	0,11	NE/SO	0,036	0,031
Inverno	0,48	0,10	NE/SO	0,00	0,029
Primavera	0,40	0,13	NE/SO	0,004	0,035

Os parâmetros encontrados através das equações do transporte de Ekman representam respostas matemáticas aos ventos do QuikSCAT. As direções preferenciais foram para SE e SO, o que resultaria da persistência dos ventos de NE e SE respectivamente, como descrito para os ventos do QUIKSCAT. E assim como para os ventos do QuikSCAT os padrões sazonais não foram como o esperado. As médias das componentes mostraram as maiores intensidades para SO para todas as estações, com a componente zonal para O e a componente meridional para S. Apesar das direções preferenciais de correntes para o ADP serem todas para NE as direções secundárias para o mesmo mostraram direções para SE no verão e para SO no restante das estações, sendo estas as direções predominantes para todo o ano para o transporte de Ekman. A dinâmica de Ekman pode estar influenciando a circulação de forma secundária e predominantemente em direção ao oceano. Hirata (2008) encontrou indícios da existência de ondas de plataforma se propagando em direção NE longitudinalmente a costa, o que poderia explicar as direções preferenciais juntamente com a propagação de frentes frias ou mesmo mais próximo a costa a circulação baroclínica descrita por Castro *et al.*(2006)

Tabela 4 – Principais parâmetros dos dados de Transporte de Ekman

Estação	Máximo(m ² /s)	Média(m ² /s)	Direções preferenciais	Média u(m ² /s)	Média v(m ² /s)
Verão	4,64	0,76	SO/SE	-0,32	-0,44
Outono	6,23	0,87	SE/SO	-0,27	-0,20
Inverno	4,24	0,74	SE/SO	-0,32	-0,15

Primavera	3,14	0,60	SO/SE	-0,32	-0,25
-----------	------	------	-------	-------	-------

Os coeficientes de correlação (C) e os respectivos p-valores (P) para as correlações entre os ventos da estação meteorológica e os do QuikSCAT e entre as correntes e o transporte de Ekman são mostrados na Tabela 5. Tanto para os ventos quanto para as correntes foram feitas correlações entre as componentes zonais e entre as meridionais. Sendo duas correlações para cada componente, uma com os dados equivalentes ao horário da passagem ascendente do QuikSCAT e outra ao horário descendente.

Apesar das discrepâncias descritas anteriormente entre os dados de vento as correlações mostraram valores significativos. A componente meridional, a qual representa os ventos predominantes, apresentou os coeficientes mais significativos (0,71 e 0,55). A componente zonal teve valores mais baixos, mas mesmo assim correlacionados. Todos os p-valores foram significativos. Entre as correntes e o transporte de Ekman os coeficientes foram mais baixos que entre os ventos, o que já era esperado, pois as correntes obtidas pelo ADP estão sob influência de outras forçantes de circulação além do vento. Ao contrário dos ventos a correlação para a componente zonal foi mais significativa que para a meridional. Os p-valores foram significativos para a componente zonal, mas para a componente meridional estiveram no limiar (0,04) ou ligeiramente acima (0,06).

Tabela 5 – Coeficientes de correlação (C) e p-valores para ventos e correntes.

	VENTOS		EKMAN	
	U	V	U	V
C	0,30 – 0,25	0,71 – 0,55	0,54 – 0,37	0,16 – 0,14
P*	0 - 0	0 - 0	0 - 0	0,04 – 0,06

*Nível de significância abaixo de 0,05.

As correlações cruzadas entre os ventos da estação meteorológica e as correntes são mostradas na Figura 4. A linha azul representa a correlação entre as

componentes meridionais e a linha vermelha entre a componente meridional dos ventos e a zonal das correntes. A correlação entre as componentes meridional dos ventos teve uma defasagem de apenas uma hora, sendo o coeficiente de correlação para esse horário de 0,6. Para a correlação entre as componentes meridional (ventos) e zonal (correntes) não houve defasagem e o coeficiente de correlação foi de 0,43.

Houve uma boa correlação entre as componentes meridionais dos ventos e das correntes, mostrando a influência dos ventos longitudinais à costa na circulação. A correlação entre os ventos meridionais e as correntes zonais também obteve um valor significativo que demonstra a influência da dinâmica de Ekman na circulação, principalmente na circulação transversal a linha de costa.

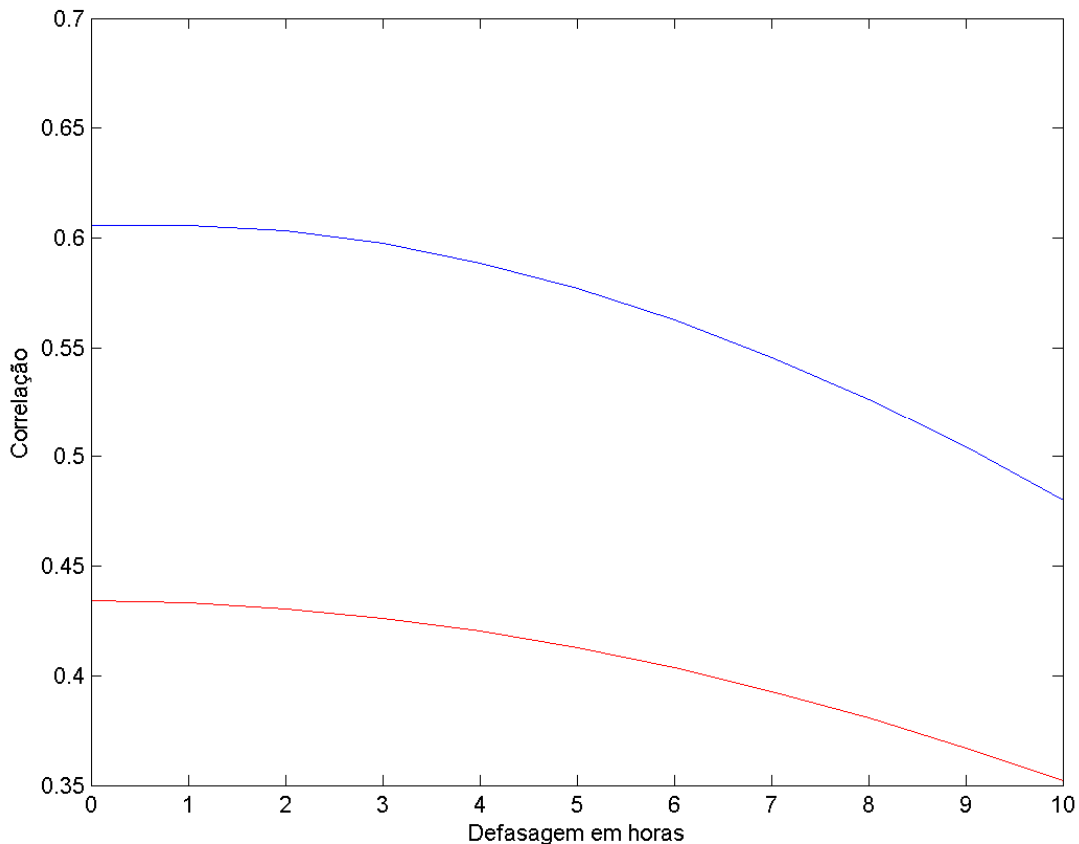


Figura 13 – Correlação entre as componentes meridionais dos ventos (Estação meteorológica) e das correntes (ADP) representado na linha azul e correlação entre a componente meridional dos ventos e a zonal das correntes representado pela linha vermelha.

5.3 ANÁLISE ESPECTRAL

Os gráficos de Estimativa de Densidade Espectral por ciclos por dia (c.p.d.) serão mostrados nas Figuras 14 a 21. Obtive as densidades espectrais para as séries de correntes e ventos da estação meteorológica assim como para a série de ventos do QuikSCAT referente ao ponto 3 (Figura 2) e a respectiva série dos dados de transporte de Ekman. Para cada série de dados gerei dois espectros, um para componente meridional e outro para a zonal. Os gráficos mostram apenas as densidades no intervalo de período entre 2 a 20 dias.

A componente meridional dos ventos teve os maiores picos de densidade em 11,2 e 13 dias, outros 3 picos se encontram na faixa entre 14 e 18 dias além de mais três picos menores entre 5 e 10 dias. Alberti (2010) encontrou para a mesma região através de um fundeio a 10m de profundidade em relação à componente meridional o maior pico de energia em 12 dias, em concordância com o encontrado no presente estudo. Nos demais fundeios, de mesma localização e profundidade do primeiro, Alberti (2010) obteve picos de maior energia em períodos acima de 20 dias e abaixo de 2 dias, para os períodos entre 2 e 20 dias encontrou maior energia em períodos de 5 e 6 dias e ainda um pico próximo de 4 dias. Dentro dessa faixa analisada encontrei os menores picos e mais próximos de 10 dias, diferindo dos dados de Alberti (2010).

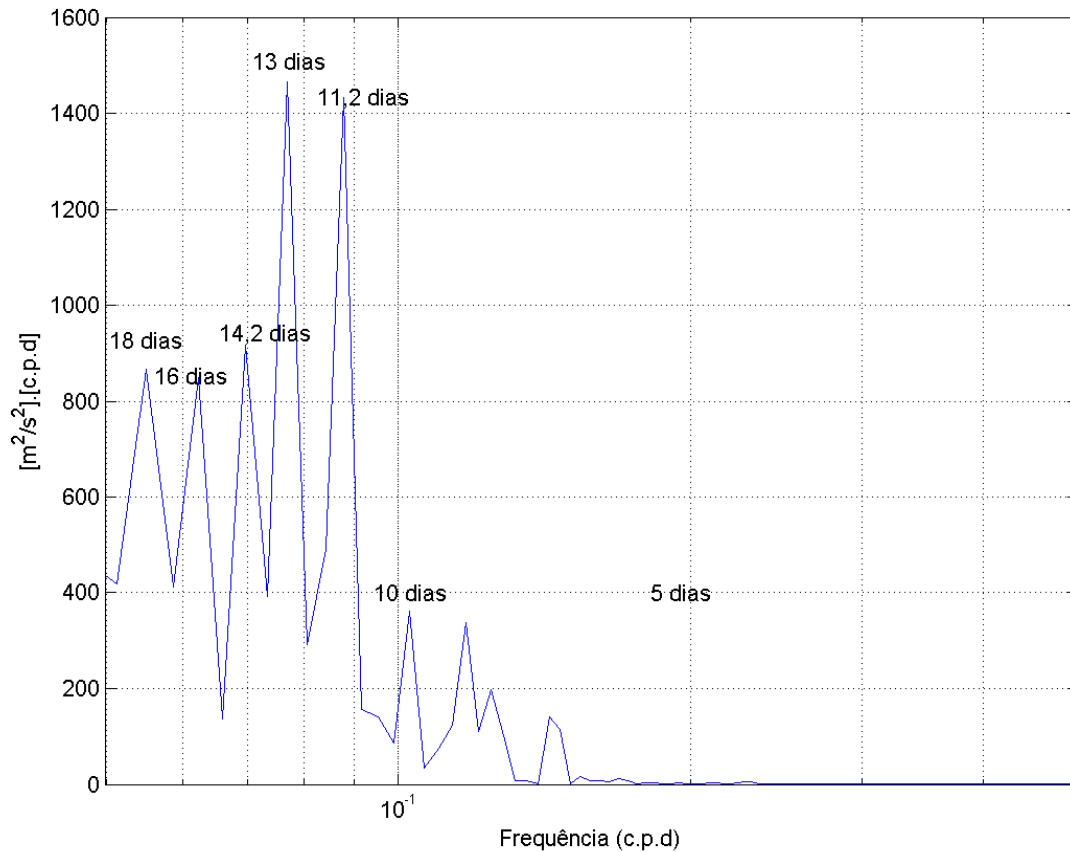


Figura 14 – Estimativa da densidade espectral para a componente meridional dos ventos da estação meteorológica.

Para a componente u dos ventos (Figura 15) os maiores picos são em 14,2 e 18 dias, outros 3 picos com menores concentrações de energia estão na faixa entre 10 e 13 dias e as menores concentrações de energia estão entre 5 e 10 dias. Alberti (2010) ao contrário encontrou os maiores picos de energia para todos os fundeio nos períodos entre 5 e 10 dias.

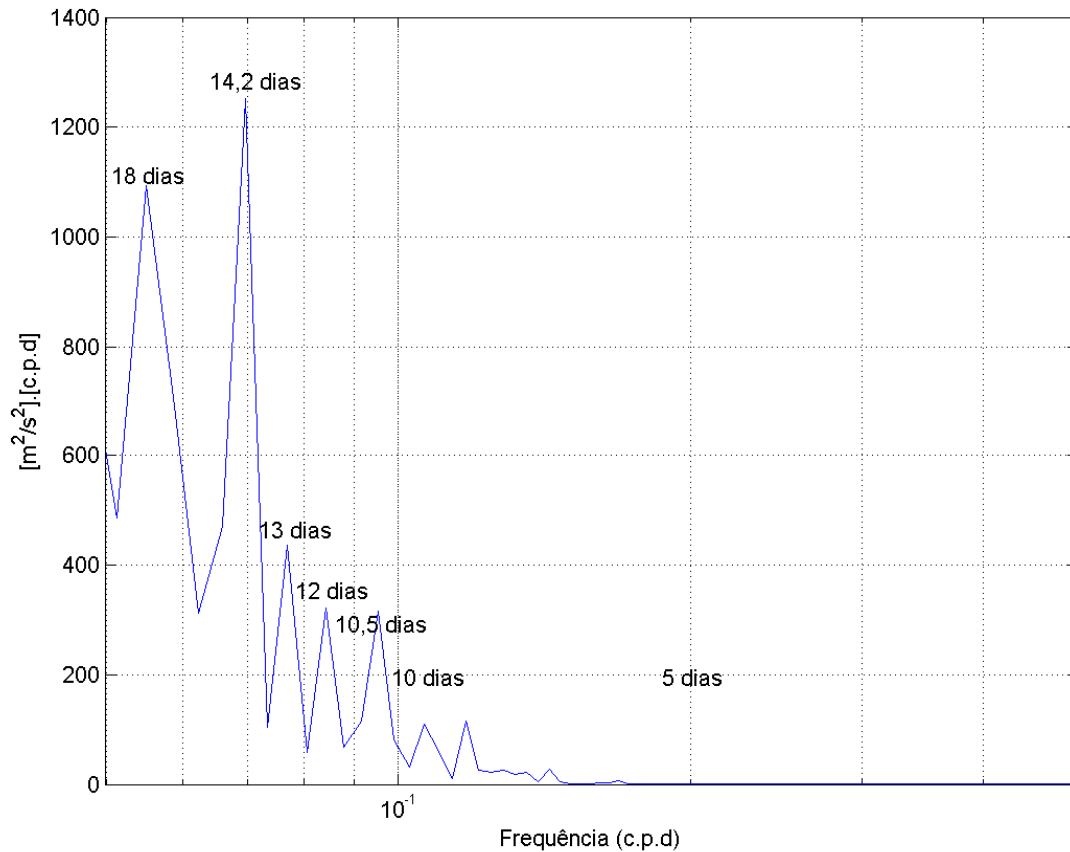


Figura 15 - Estimativa da densidade espectral para a componente zonal dos ventos da estação meteorológica.

As densidades de energia para os ventos do QuikSCAT foram maiores que as da estação devido aos valores de ventos do satélite serem mais intensos. Para a componente meridional (Figura 16) tiveram um pico no período de 14 dias superior aos demais, outros 3 picos próximos de 10, 11 e 16 dias além de pequenas concentrações de energia entre 5 e 10 dias. Os valores das estimativas de densidade para o QuikSCAT foram elevados em relação aos valores encontrados para os ventos da estação pois são mais intensos. As densidades dos ventos da estação mostram um pico em 14,2 dias, mas a energia encontrada no QuikSCAT em 14 dias pode estar mais relacionada ao pico de 13 dias, o qual é o de maior valor, da estação. Este mesmo pico de 14 dias do QuikSCAT pode também estar relacionado ao maior pico encontrado por Alberti para um dos fundeios no período de 12 dias. Os picos em 10 e 11,2 dias podem

estar relacionados ao pico de 11,2 dias dos ventos da estação. Em ambos há um pico exatamente no período de 16 dias.

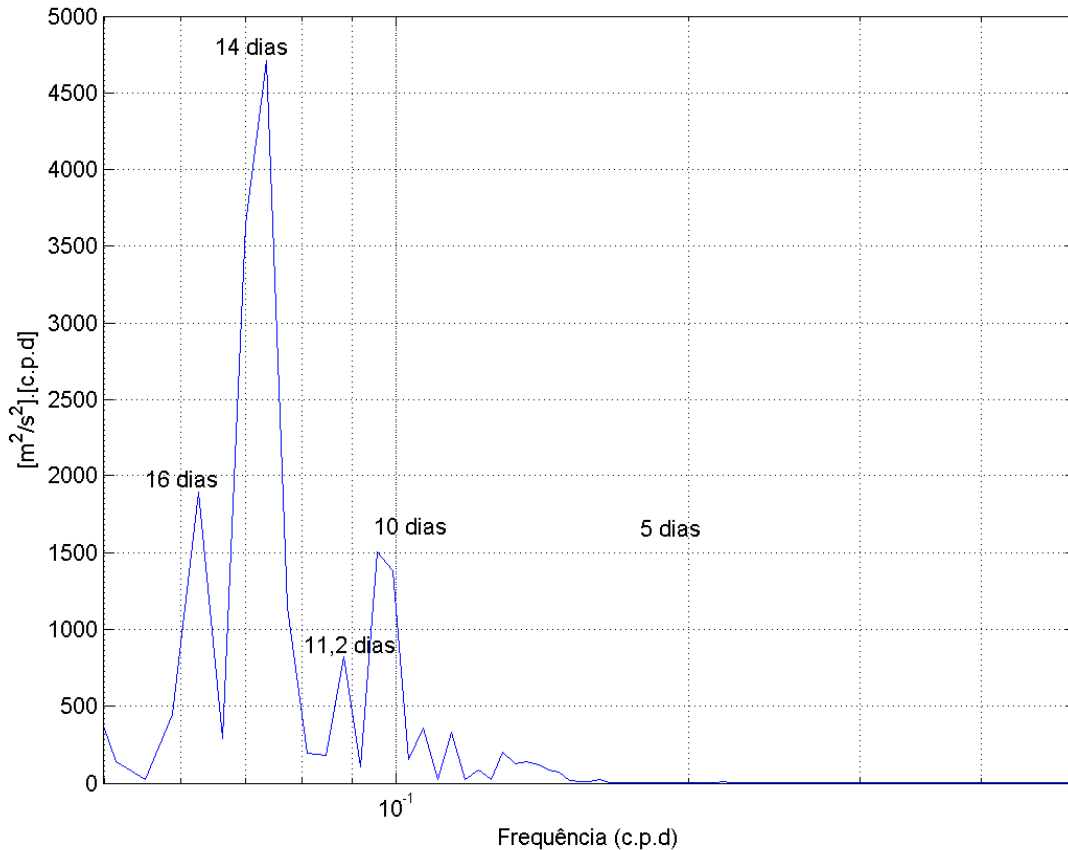


Figura 16 - Estimativa da densidade espectral para a componente meridional dos ventos do QuikSCAT.

Para a componente zonal dos ventos do QuikSCAT (Figura 17) os maiores picos foram nos períodos próximos de 15 e 18 dias assim como para as densidades dos ventos da estação, no entanto ao contrário da estação o pico próximo de 18 dias foi maior que o de 15. Os demais picos foram próximos de 12, 11 e 8 dias decrescendo respectivamente em energia. Provavelmente estes últimos equivalem aos picos próximos de 13, 12 e 10 dias da estação.

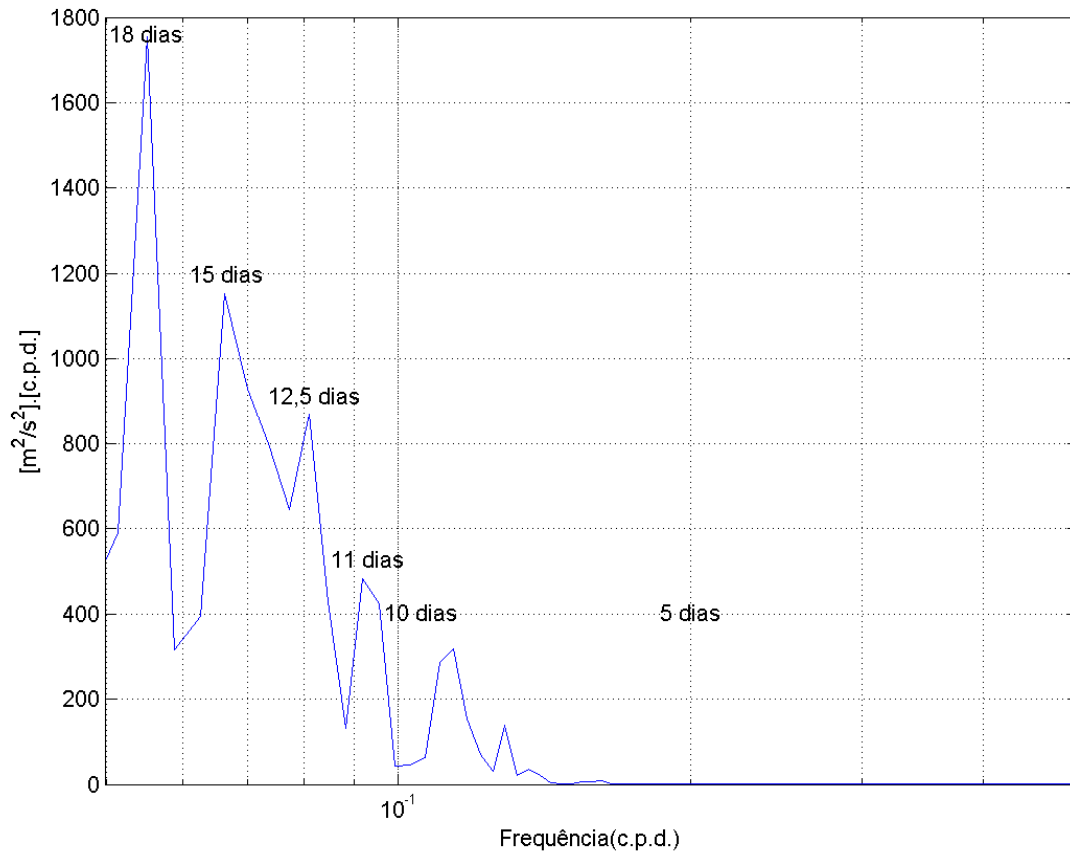


Figura 17 - Estimativa da densidade espectral para a componente zonal dos ventos do QuikSCAT.

A componente meridional das correntes (Figura 18) apresentou os maiores picos nos períodos de 14 e 18 dias, dois picos menores em 11,2 e 13 dias e pequenas concentrações de energia entre 5 e 10 dias. Dentro da faixa de períodos entre 2 e 20 dias Alberti (2010) encontrou para a mesma componente das correntes os maiores picos próximos a 14 e 18 dias, para 3 fundeios de um total de 4, em concordância ao encontrado neste trabalho. O fundeio restante apresentou apenas o maior pico próximo do período de 14 dias. Não é possível dizer com precisão os períodos das flutuações dentro da faixa entre 5 e 10 dias, no entanto podemos associar aos picos encontrados por Hirata (2008) para o litoral de Santa Catarina (SC). Hirata (2008) encontrou 3 picos nessa faixa de períodos próximos de 5, 7 e 8 dias, que podem estar relacionados a 3 concentrações de energia que no presente estudo se localizaram mais próximas dos 10

dias. Encontrei ainda mais duas concentrações de energia de menor escala que poderiam estar associadas a períodos menores que 5 dias no trabalho de Hirata (2008). É possível estabelecer relações entre os picos encontrados para os ventos da estação e os das correntes, sugerindo a influência dos ventos na origem destas. Para os 4 picos na faixa de 10 a 20 dias existem correspondentes bem próximos dos ventos (18, 14, 13, 12 dias), além de um pico da densidade dos ventos em 16 dias. Na faixa entre 5 e 10 dias há 3 picos de maior evidência nos ventos que podem corresponder aos 3 maiores picos das correntes nessa faixa. Em relação aos ventos do QuikSCAT também há correspondência, ambos possuem picos próximos de 14 dias de período, o pico de 16 dias do QuikSCAT pode corresponder ao de 18 dias nas correntes, e os picos próximos de 13 e 11 dias provavelmente correspondem aos de 11 e 10 do QuikSCAT.

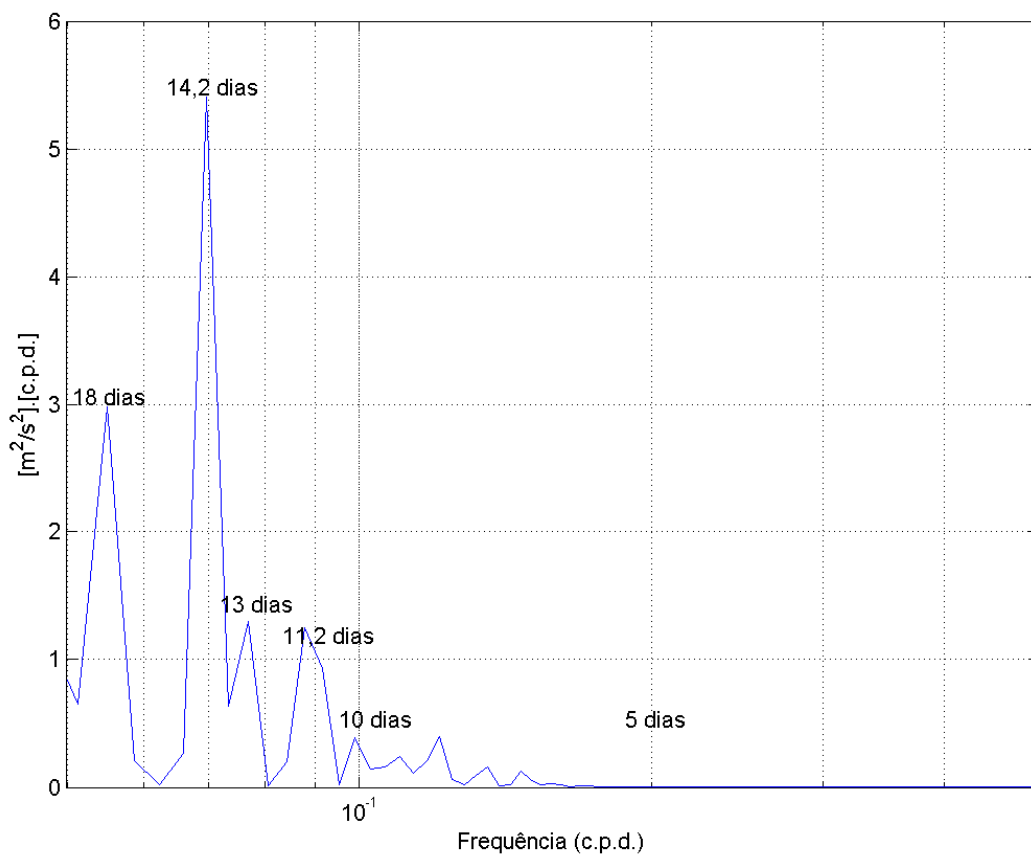


Figura 18 - Estimativa da densidade espectral para a componente meridional das correntes.

A componente zonal das correntes (Figura 19) teve, assim como a componente meridional, os maiores picos próximos dos períodos de 14 e 18 dias. Outros 3 picos menores estavam próximos de 10, 11 e 12 dias e pequenas concentrações de energia se encontraram entre os períodos de 5 a 10 dias. Alberti (2010) encontrou os maiores picos em períodos próximos a 18 e 14 dias em todos os fundeios. O pico de 10 dias e duas elevações entre os períodos de 5 a 10 dias podem ser relacionadas aos picos encontrados por Hirata (2008) próximos dos períodos de 5, 7 e 8 dias. Os picos encontrados na faixa entre os períodos de 10 e 20 dias das correntes provavelmente correspondem respectivamente aos picos próximos de 18, 14, 13, 12 e 10 dias dos ventos da estação meteorológica. Na faixa entre 5 e 10 dias é possível identificar dois picos correspondentes próximos aos 10 dias. Em relação aos ventos do QuikSCAT ocorre correspondência entre os 4 maiores picos, próximos de 18, 15, 12 e 11 dias no satélite. Há ainda 2 picos entre a faixa de 5 a 10 dias do QuikSCAT que poderia corresponder aos dois picos encontrados nessa faixa para as correntes, ou ainda poderia corresponder ao pico de 10 dias.

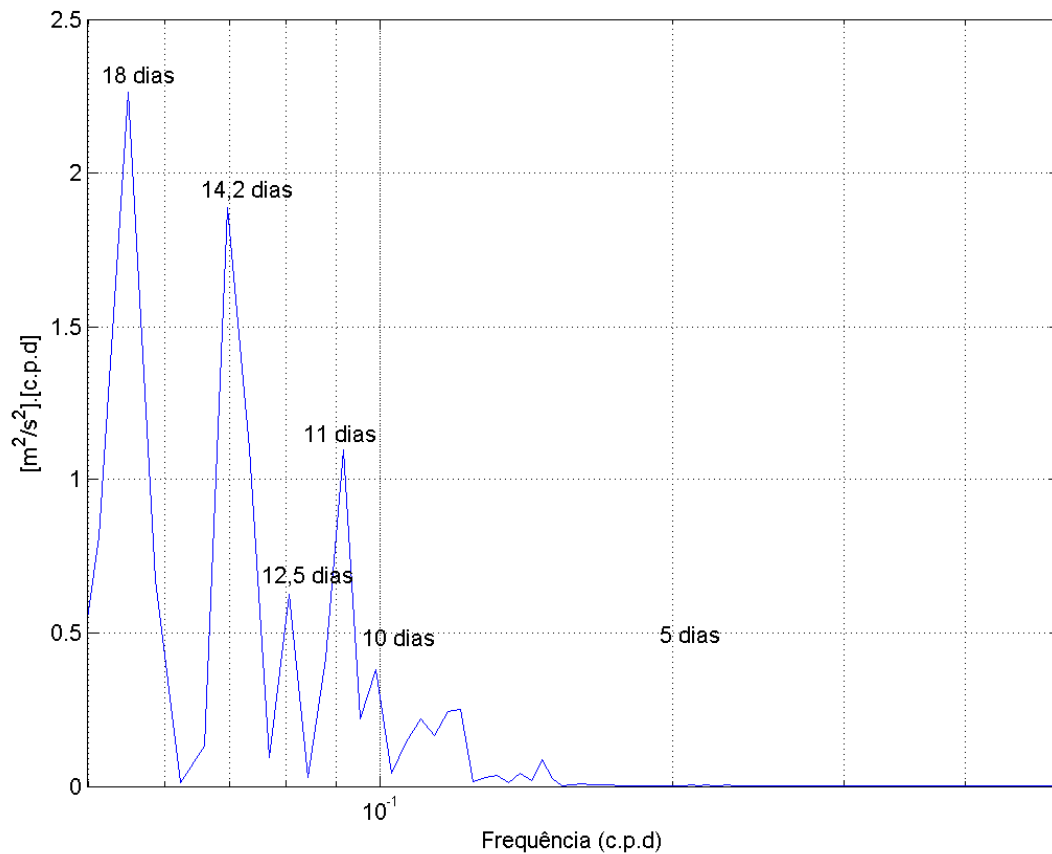


Figura 19 - Estimativa da densidade espectral para a componente zonal das correntes.

Para o transporte de Ekman as maiores densidades foram para a componente zonal ao contrário das correntes, mostrando que apesar de as correntes serem preponderantes na componente meridional o transporte de Ekman em resposta aos ventos tem maior influencia na componente zonal. Para a componente meridional (Figura 20) os maiores picos de energia foram nos períodos de 18 e 12,5 dias. Dois picos menores estão próximos dos períodos de 11 e 8 dias, além de pequenas concentrações de energia entre os períodos de 5 a 10 dias. Os maiores picos do transporte de Ekman provavelmente correspondem aos maiores picos encontrados para as correntes em 18 e 14,2 dias, assim como os dois picos de menor energia equivalem aos picos de 13 e 11 dias das correntes. Assim como para as correntes os resultados de Alberti (2010) confirmam a presença de picos de energia em períodos próximos de 18 e 14 dias. Apesar dos ventos da estação apresentar mais picos é possível supor

algumas correspondências. Ambos possuem picos próximos de 18 e 11 dias, os próximos de 12 e 13 dias nos ventos podem se relacionar ao de 12,5 e o próximo de 8 dias pode se relacionar ao de 10 dias dos ventos. Há ainda duas pequenas concentrações entre 5 e 10 dias que podem estar relacionadas. Em relação aos ventos do QuikSCAT a correspondência é observada entre as componentes meridional do transporte e a zonal dos ventos. Os picos correspondem respectivamente com os próximos de 18, 12 e 11 do satélite, sendo que o pico do transporte relativo ao dos ventos próximos a 15 dias provavelmente se mesclou ao dos 12 dias do transporte.

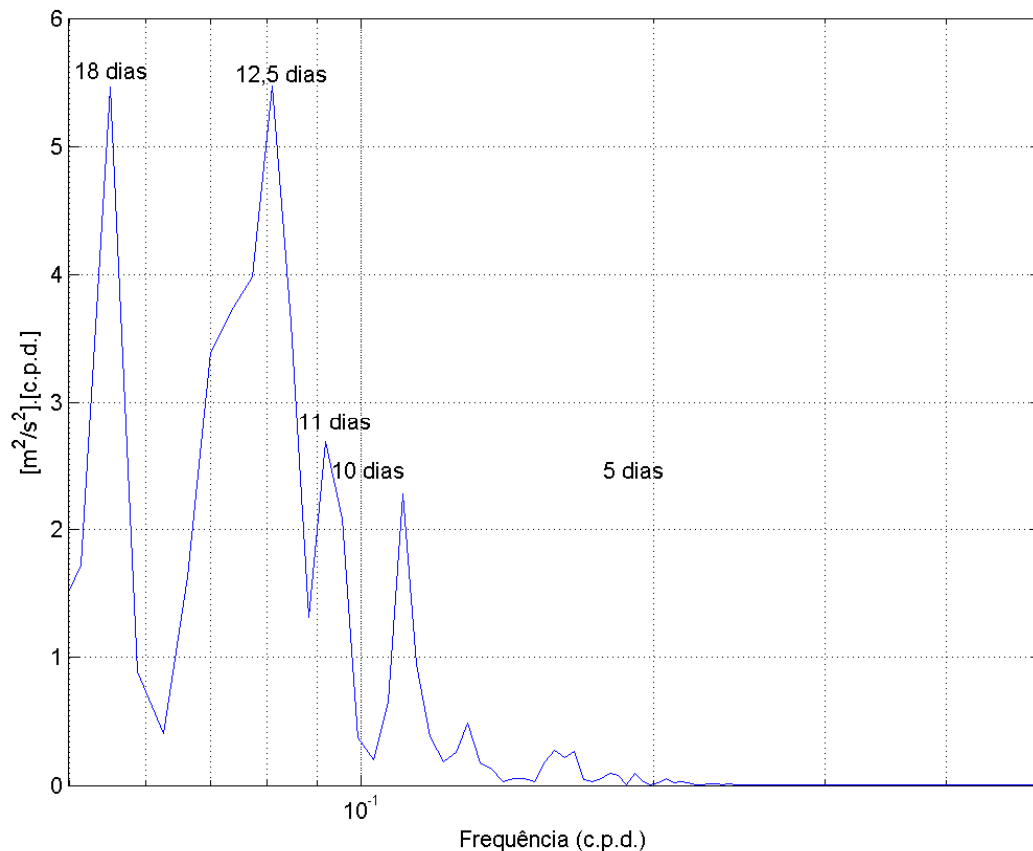


Figura 20 - Estimativa da densidade espectral para a componente meridional do transporte de Ekman.

Os maiores picos para a componente zonal do transporte de Ekman (Figura 21) foram próximos dos períodos de 15, 14, 11 e 10 dias. Entre 5 e 10 dias de período houve dois picos maiores além de vários outros menores. Em comparação com as correntes o transporte de Ekman não apresenta todos os picos, provavelmente porque nos dados de correntes estão presentes outros processos além do transporte de Ekman. Os picos próximos dos períodos de 15 e 14 dias podem corresponder ao pico de 14,2 das correntes e ambos possuem picos próximos de 11 e 10 dias. Dentro da faixa de períodos entre 5 e 10 dias tanto para as correntes como para o transporte há dois picos mais intensos próximos aos 10 dias além de outras concentrações menores, as quais são mais evidentes para o transporte de Ekman. Em relação aos resultados encontrados por Alberti (2010) também não se encontra correspondência para todos os picos. Ele encontra picos próximos de 17 a 20 dias que não são vistos para o transporte de Ekman. Alberti (2010) encontrou em dois fundeios picos próximos de 15 e 16 dias que podem corresponder ao de 15,5, dois próximos de 13 e 14 que podem corresponder ao de 14 dias e dois próximos de 12 e 10 que podem corresponder respectivamente aos próximos de 11 e 10 deste trabalho. Dentro da faixa de 5 a 10 dias Alberti (2010) encontrou dois picos maiores em 6 e 8 dias que podem corresponder aos dois maiores próximos de 10 dias. Dentro da faixa de 10 a 20 dias Hirata (2008) encontrou picos em 18 e 12 dias, este último possivelmente corresponde ao de 11,2. Para a faixa de 5 a 10 dias encontrou picos próximos de 7 e 8 dias que podem corresponder aos dois picos maiores próximos dos 10 dias e ainda um pico em 5 dias que pode corresponder a uma maior concentração de energia entre as oscilações menores, no entanto assim como em todos os espectros essas concentrações sempre se mostram mais próximos dos 10 dias do que dos 5. É possível que os picos do transporte de Ekman estejam correspondendo respectivamente aos picos próximos de 14, 13, 12 e 10 dias dos ventos da estação meteorológica além de dois picos na faixa entre 5 e 10 dias em ambos os espectros. Em relação aos ventos do QuikSCAT a correspondência é vista entre a componente meridional dos ventos e a zonal do transporte. Os picos do transporte correspondendo respectivamente aos próximos de 16, 14, 11 e 10 dias dos ventos além de duas pequenas concentrações na faixa entre 5 e 10 dias.

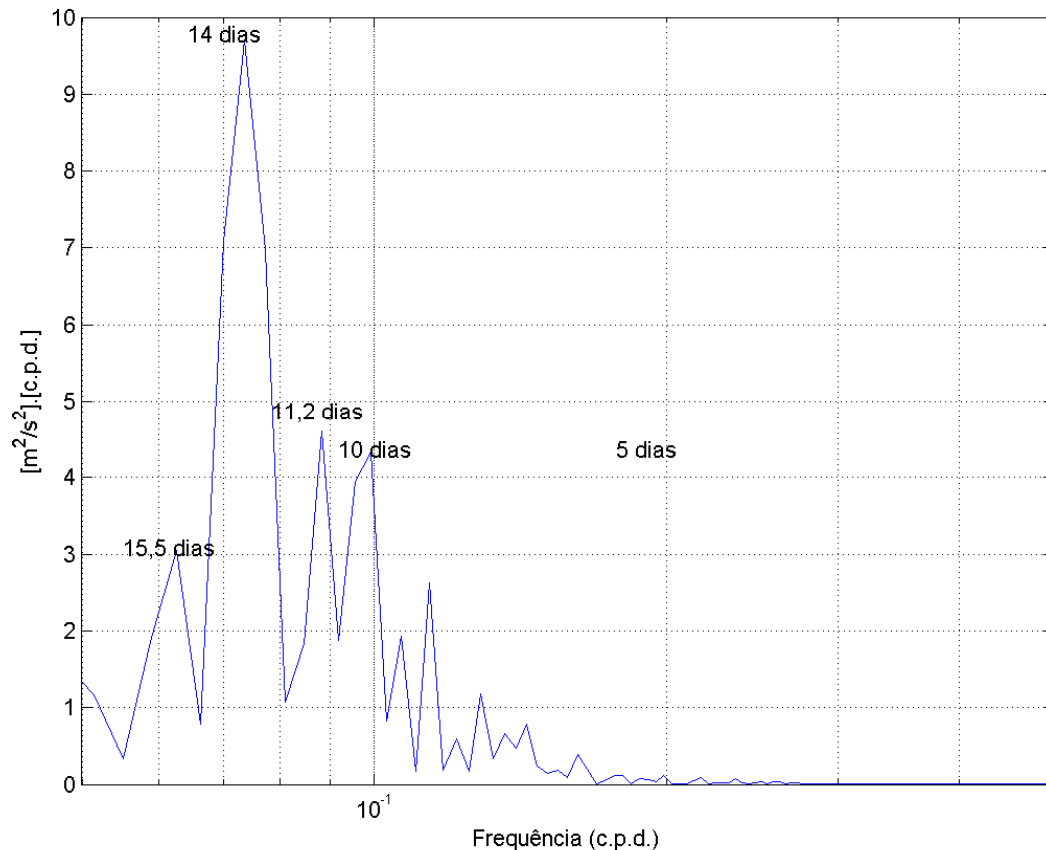


Figura 21 - Estimativa da densidade espectral para a componente zonal do transporte de Ekman.

Hirata (2008) afirma que a variabilidade atmosférica nos extratropicos está associada à passagem de sistemas frontais predominantes em períodos entre 2 a 15 dias. Os espectros de vento do presente estudo se limitaram a mostrar a variabilidade entre os períodos de 2 a 20 dias, que compreende a variabilidade atmosférica descrita por Hirata (2008). Apesar de haver um pico próximo do período de 18 dias e alguns superiores a 20 dias não mostrados a maior parte da variabilidade se encontra entre 2 e 15 dias. As correntes mostraram boa correspondência aos picos dos ventos, mas o transporte de Ekman apresentou menos picos e uma menor correspondência. Principalmente em relação à componente zonal do transporte que teve o maior pico na faixa analisada próximo de 15 dias, sugerindo que como resposta aos ventos predominantes (meridionais) a dinâmica de Ekman é influenciada principalmente na

faixa de 2 a 15 dias. As discrepâncias entre o transporte de Ekman e as correntes, já que estas tem boa correspondência com os ventos, podem ser explicadas por influências indiretas da variabilidade atmosférica na circulação oceânica. Segundo Hirata (2008) a passagem de sistemas frontais podem causar ondas de plataforma continental, que poderiam estar gerando picos nos espectros de correntes não encontrados nos de transporte de Ekman. E acima do período de 15 dias a influência das correntes de contorno podem se tornar mais atuantes sobrepondo à influência atmosférica através da ação de vórtices e meandros (Hirata, 2008). As diferenças apresentadas entre os resultados deste trabalho e os encontrados tanto por Hirata (2008) e Alberti (2010) possivelmente devem-se as diferenças de localização e profundidade dos fundeios. Alberti (2010) obteve valores de correntes apenas para a camada de fundo (10m) e o fundeio realizado por Hirata (2008) utilizado para comparação obteve valores de correntes para a profundidade de 30m.

5.4 ANÁLISE DO TRANSPORTE DE EKMAN DURANTE A PASSAGEM DE UMA FRENTE FRIA

Entre os dias 23 e 26 de fevereiro foi identificada a passagem de uma frente fria através da observação de cartas sinóticas (Figuras 22 e 23). Sendo este um fenômeno de alta energia e curta escala de tempo (4 dias) foi possível observar diariamente o comportamento do transporte de Ekman através dos mapas de vetores de vento do QuikSCAT e do transporte de Ekman (Figuras 25 a 31), além de comparar com os dados de ventos da estação meteorológica e correntes para o mesmo período (Figura 24).

A carta sinótica obtida para o dia 23 às 12h (Figura 22) mostra uma frente fria, representada pela linha azul intercalada com triângulos de mesma cor, próxima ao limite sul do Embaiamento Sul Brasileiro, representado pela letra C, à esquerda da Anticiclone do Atlântico Sul descrito por Castro *et al.* (2006) como sendo o responsável pelos ventos predominantes de NE, principalmente no verão. No dia 25 às 12h (Figura 23) a frente fria encontra-se próxima ao limite norte do embaiamento saindo da região de estudo após percorrer um trajeto longitudinal à costa.

Os ventos registrados pela estação (Figura 24 A) mostram os vetores horários de direção do vento, com valores positivos para N e valores negativos para S para o período de passagem da frente fria. Nas primeiras 20h as direção dos ventos foram para S com velocidade máxima em torno de 2 m/s, no entanto diminuíram gradativamente até a inversão de sentido. Aproximadamente 20h após a inversão os ventos tiveram sua máxima intensidade (quase 8m/s) e começaram a decrescer até inverter a direção novamente para S no dia 26.

As correntes (Figura 24 B) também mostram vetores horários com valores positivos para N e negativos para S. Em concordância com os ventos a inversão das correntes ocorre aproximadamente 20h após o início do período selecionado. A rápida resposta das correntes está de acordo com o encontrado para a correlação cruzada (Figura 13) que teve uma defasagem de apenas 1h. Aproximadamente 70h após o início do período analisado os ventos possuem uma queda abrupta, a qual as correntes respondem com uma rápida inversão para S. Neste momento os ventos dos quadrantes N se intensificaram e apesar de ainda não terem invertido o sentido dos ventos na estação, na região do fundeio eles podem ter sido intensos o suficiente para inverter o sentido do fluxo. A partir de 100h os ventos, apesar de serem para S, possuem valores próximos de zero e as correntes se dirigem para N, possivelmente pela diferença entre os campos de ventos da estação e do local do fundeio, ou ainda devido a outras forçantes além do vento.

Na passagem ascendente (Figura 25) os ventos das direções N e NE predominam, no entanto na passagem descendente (Figura 26) essas direções enfraquecem e ventos SO bastante intensos aparecem na região inferior esquerda anunciando a entrada da frente fria vista nas cartas sinóticas. O transporte de Ekman para a passagem ascendente teve como direção predominante L, assim como o descrito por Castro *et al.* (2006) os vento NE pela dinâmica de Ekman retira água da costa em direção ao oceano. Na passagem descendente o transporte enfraquece e não é possível observar uma direção bem definida, mas há uma intensificação na região esquerda inferior em resposta aos ventos do QuikSCAT.

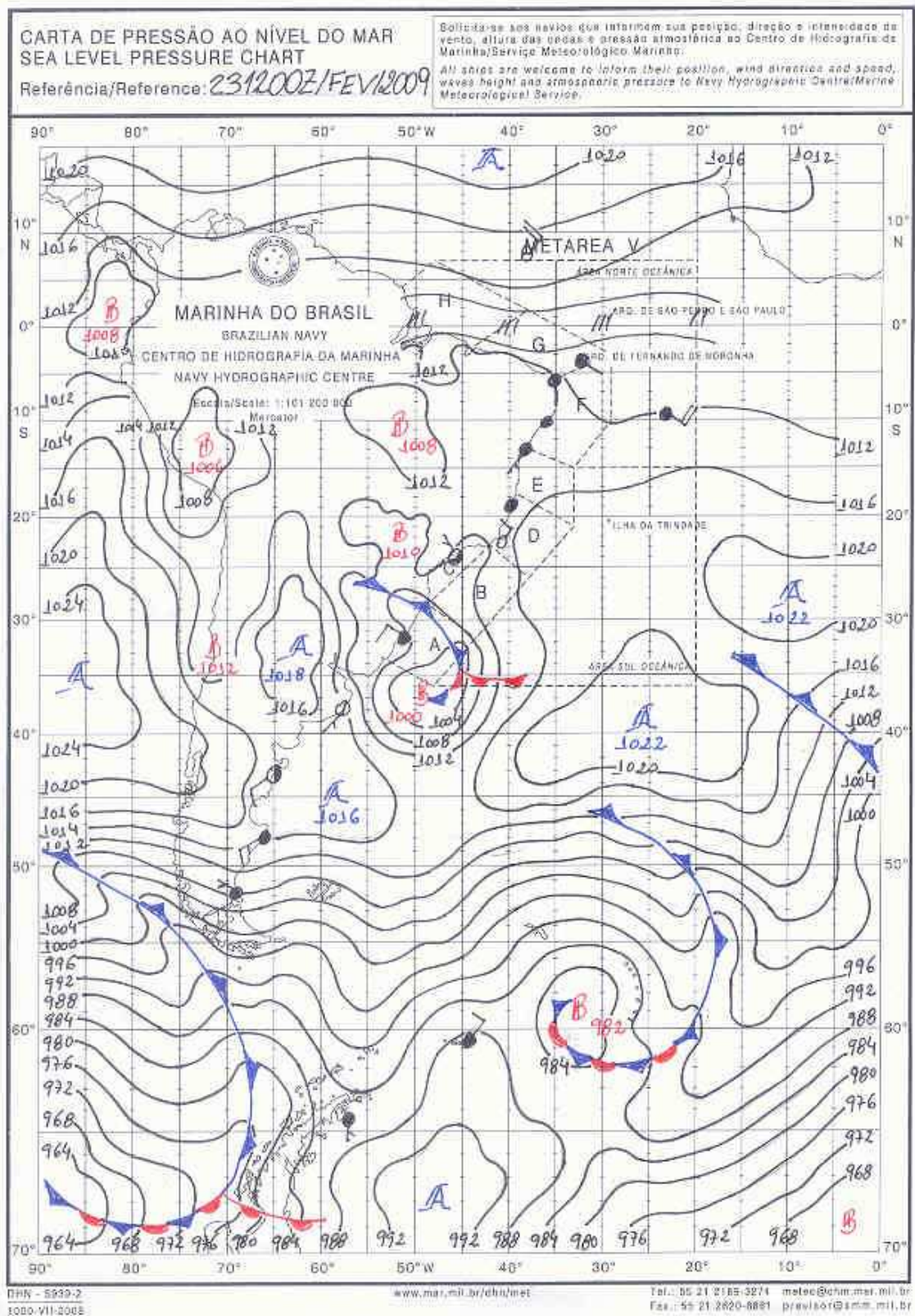


Figura 22 – Carta sinótica para o dia 23 de fevereiro às 12h.

Fonte: MARINHA DO BRASIL, 2010.

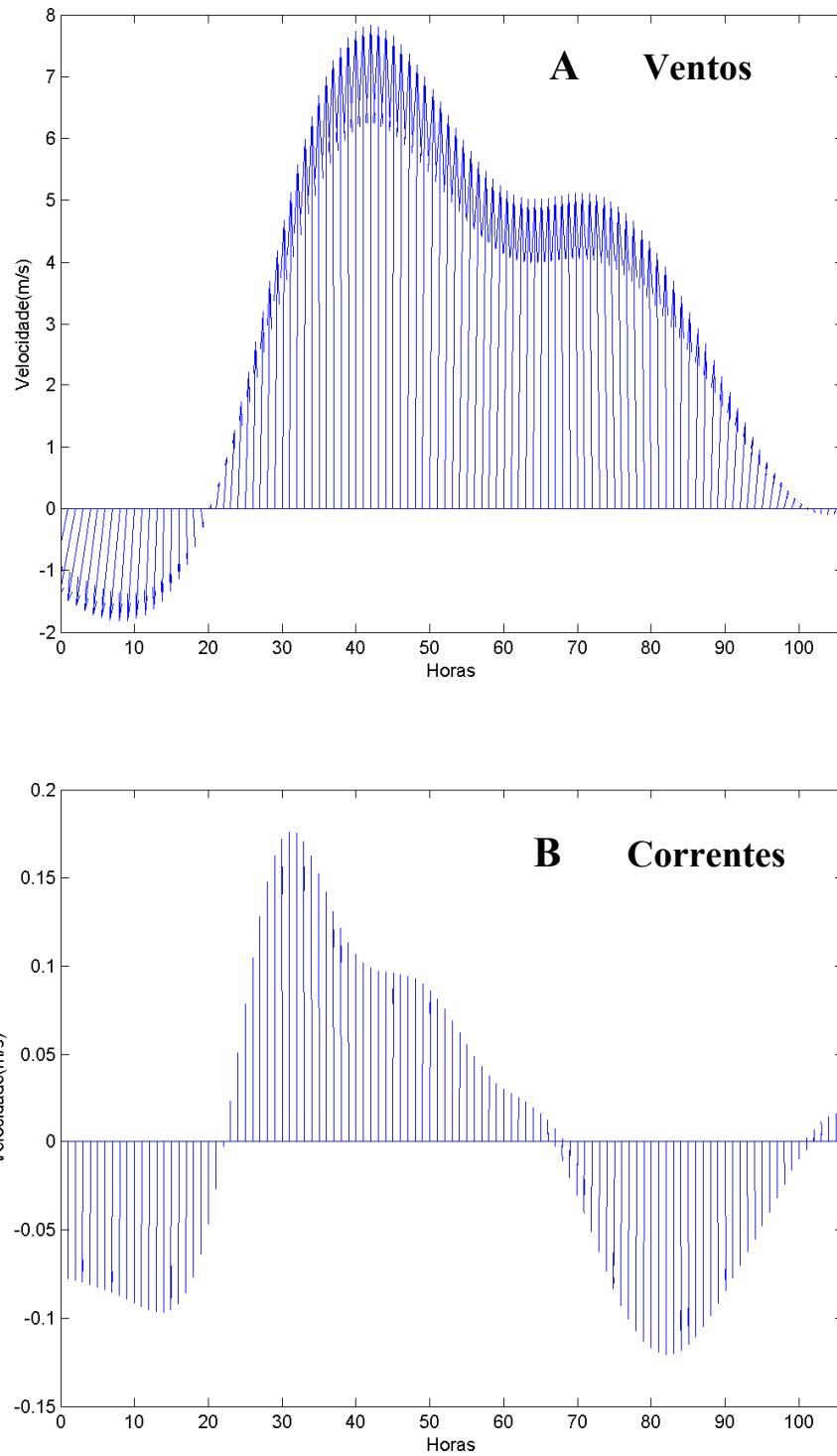


Figura 24 – A: vetores de vento horários durante a passagem de um sistema frontal.

B: vetores de correntes horários durante a passagem de um sistema frontal

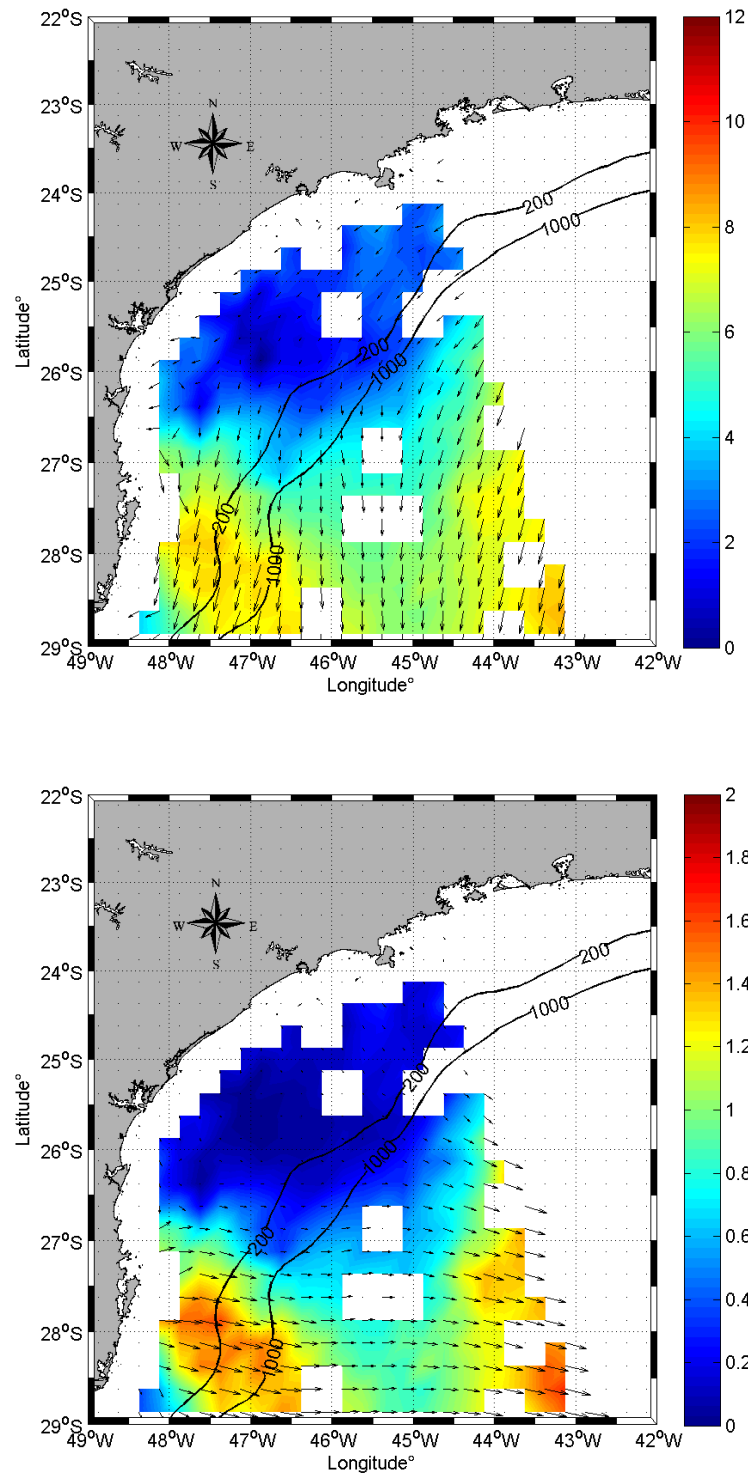


Figura 25 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m²/s) abaixo para o dia 23 de fevereiro, passagem ascendente.

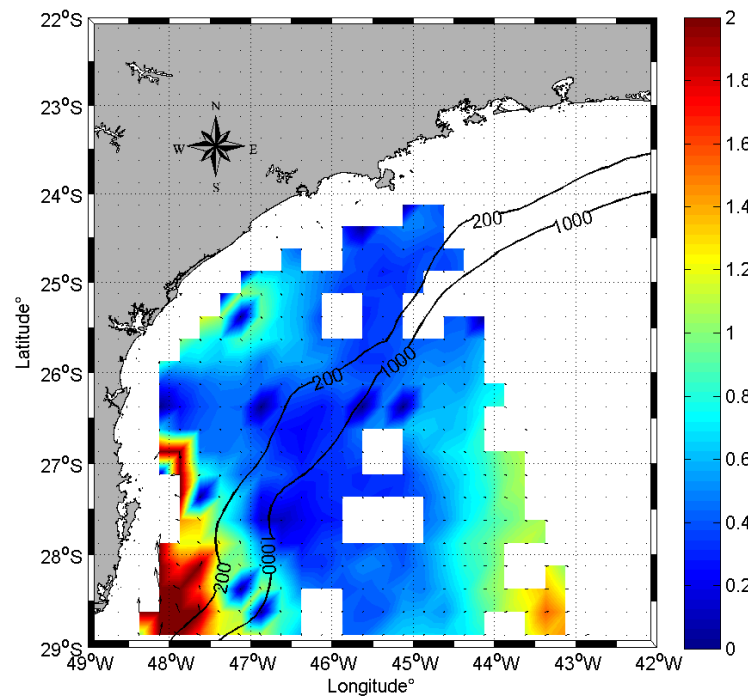
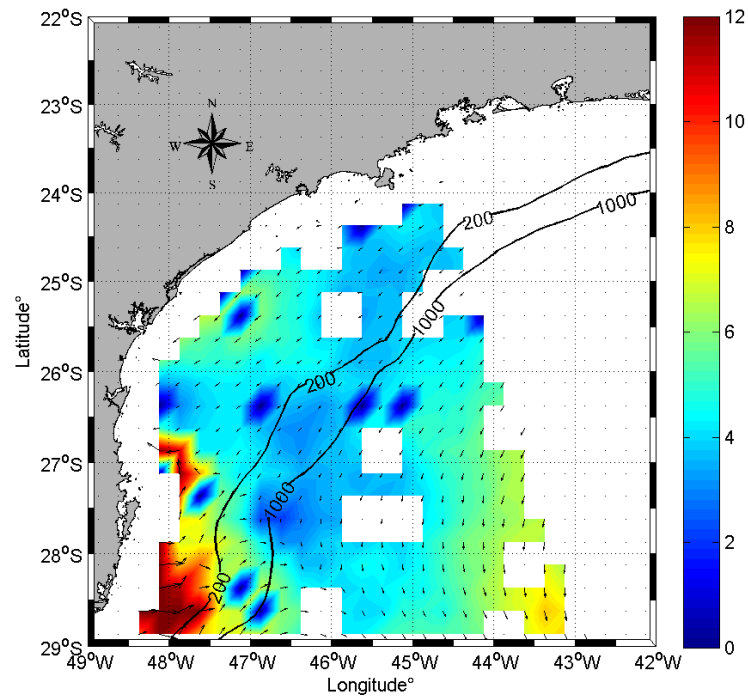


Figura 26 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo para o dia 23 de fevereiro, passagem descendente.

Nos ventos ascendentes para o dia 24 (Figura 27) há dois campos predominantes de ventos, a região do mapa mais a S, principalmente próximo a costa, tem predomínio de ventos de S enquanto na parte N possui predominância dos ventos NE. Na passagem descendente (Figura 28) os ventos SE se tornam predominantes, não sendo observados mais ventos dos quadrantes N. Em resposta aos ventos o transporte de Ekman se mostra dividido na passagem ascendente, a parte superior do mapa tem as direções tendendo para o oceano e a parte inferior tende para O, empilhando água em direção a costa. No mapa descendente o transporte de Ekman é predominantemente para SO, devido à convexidade da costa esse fluxo se encontra com a costa mais ao S do embaiamento.

O mapa dos ventos para a passagem ascendente do dia 25 (Figura 29) mostra a persistência dos ventos de SE. Na passagem descendente (Figura 30) apesar de manter o padrão da direção de SE toda a região mais próxima a costa apresenta valores muito baixos para que se possa definir uma direção preferencial e na extremidade NE do mapa é possível ver os ventos de NE voltando a influenciar a região. Como resultado dos ventos o transporte de Ekman é predominantemente para SO, mas com a região esquerda próxima a costa apresentando valores próximos a zero e na extremidade NE o transporte começa a tender em direção ao oceano novamente.

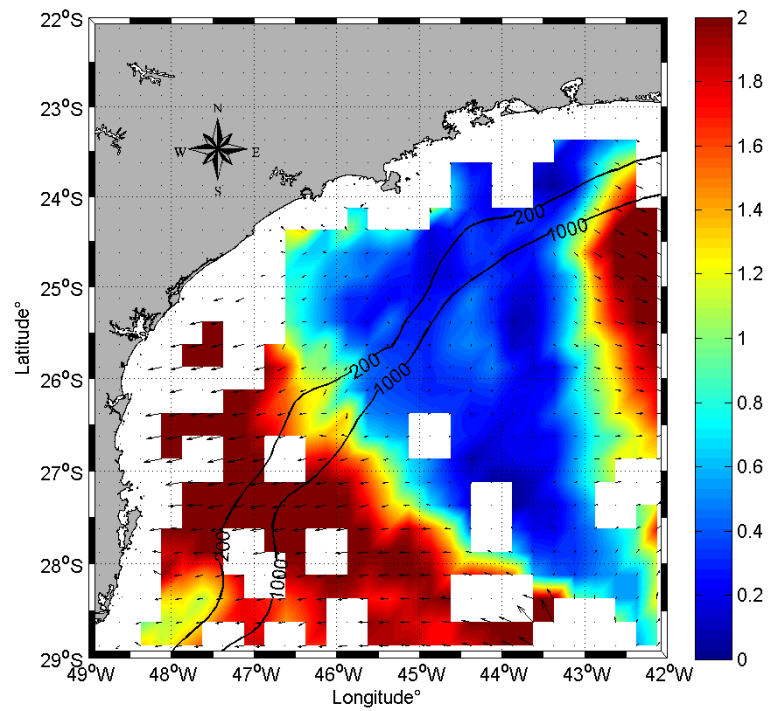
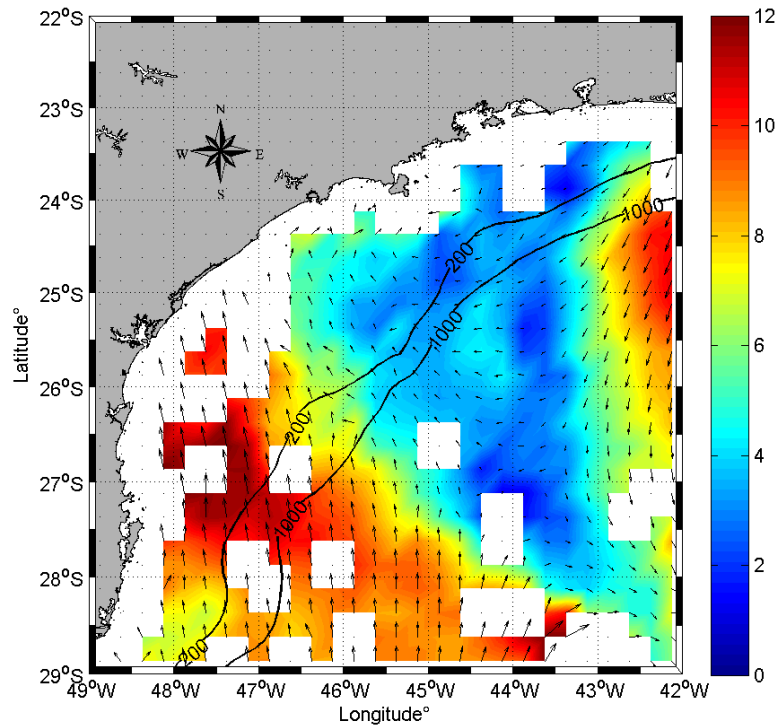


Figura 27 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo para o dia 24 de fevereiro, passagem ascendente.

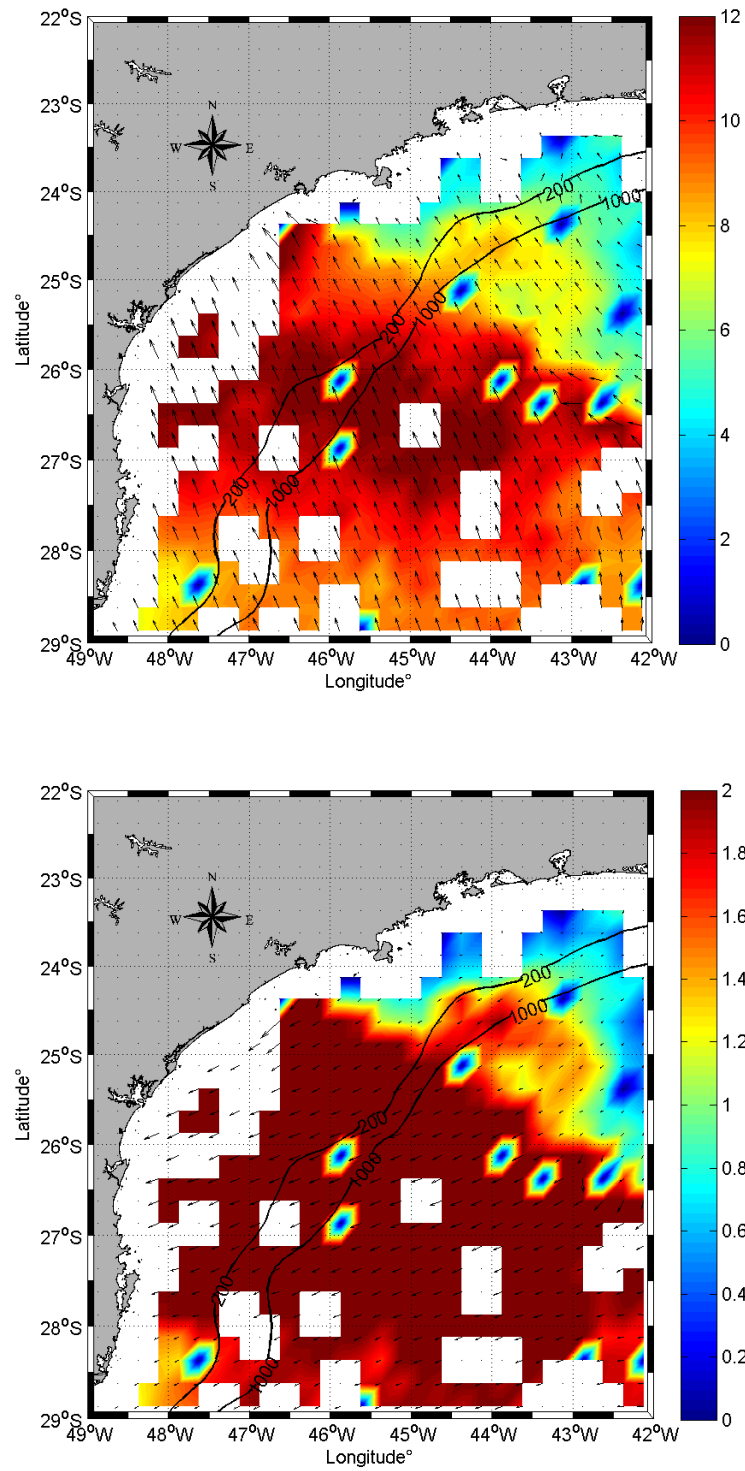


Figura 28 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m²/s) abaixo para o dia 24 de fevereiro, passagem descendente.

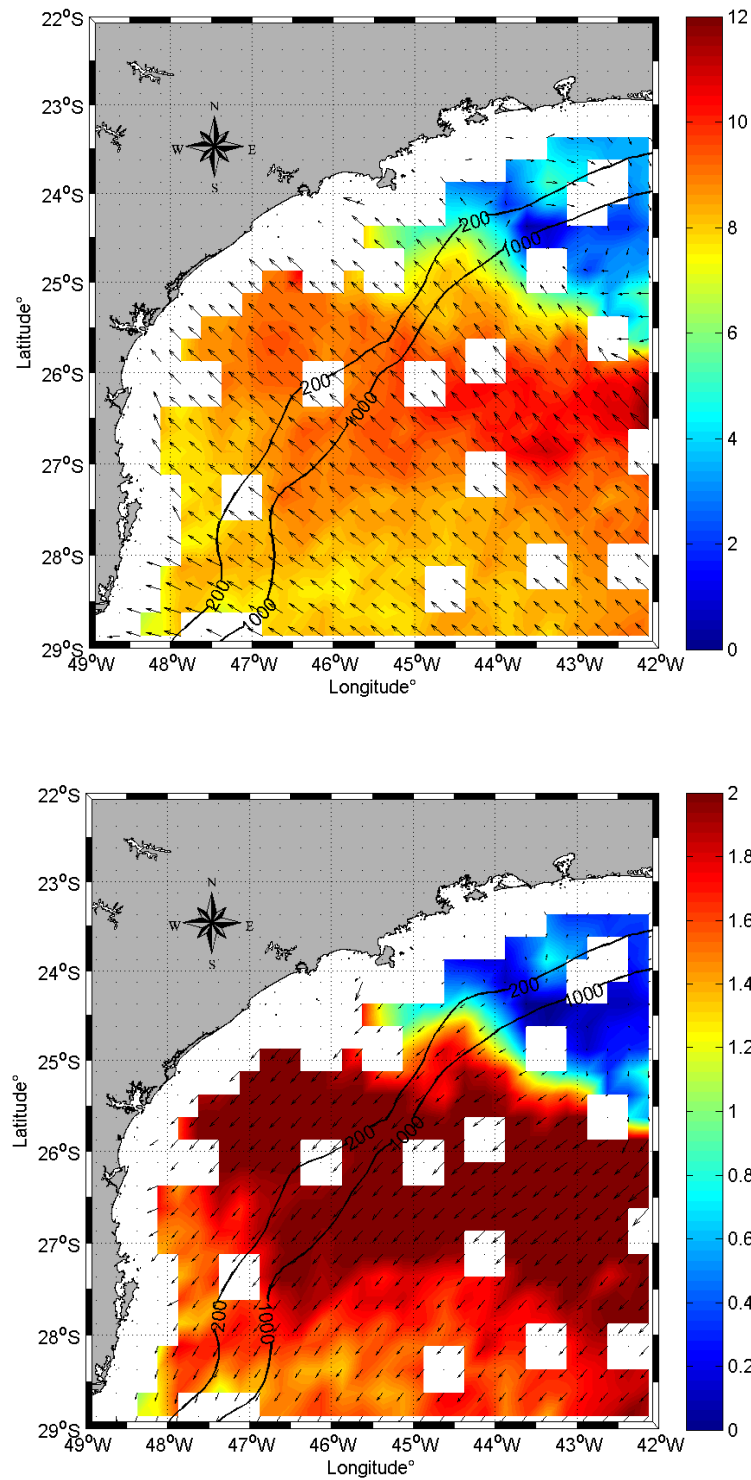


Figura 29 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo para o dia 25 de fevereiro, passagem ascendente.

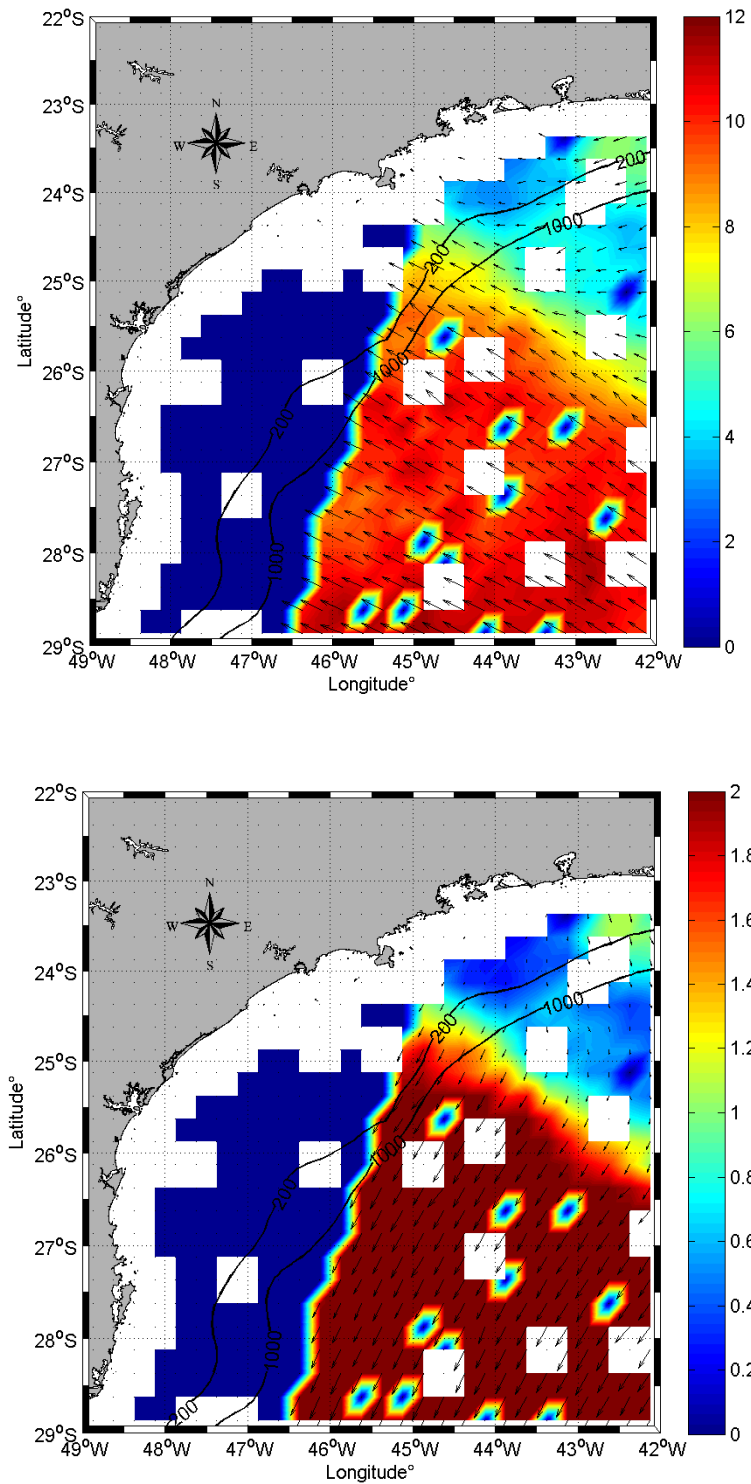
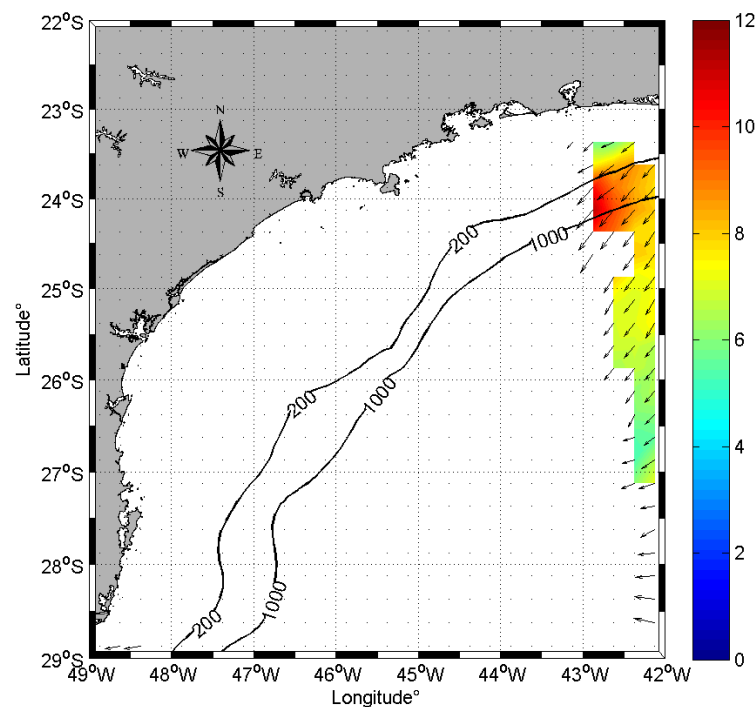


Figura 30 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m²/s) abaixo para o dia 25 de fevereiro, passagem descendente.

O mapa dos vetores de vento para a passagem ascendente (Figura 31) apesar de ter poucos dados para visualização, devido a condições meteorológicas e problemas de leitura do satélite, mostrou o retorno do predomínio dos ventos de NE e o mapa do transporte de Ekman mostrou novamente um fluxo em direção ao oceano.

Entre os dias 23 e 26 foi, portanto, possível observar a dinâmica descrita por Castro *et al.* (2006) em que, apesar de no verão os ventos de NE serem predominantes, a persistência de ventos dos quadrantes S durante frentes frias podem inverter o sentido dos ventos assim como das correntes. Pela dinâmica de Ekman os ventos predominantes de verão propiciam condições favoráveis a ressurgências, retirando água da costa, mas a inversão dos ventos pelas frentes frias tende a empilhar água em direção ao continente.



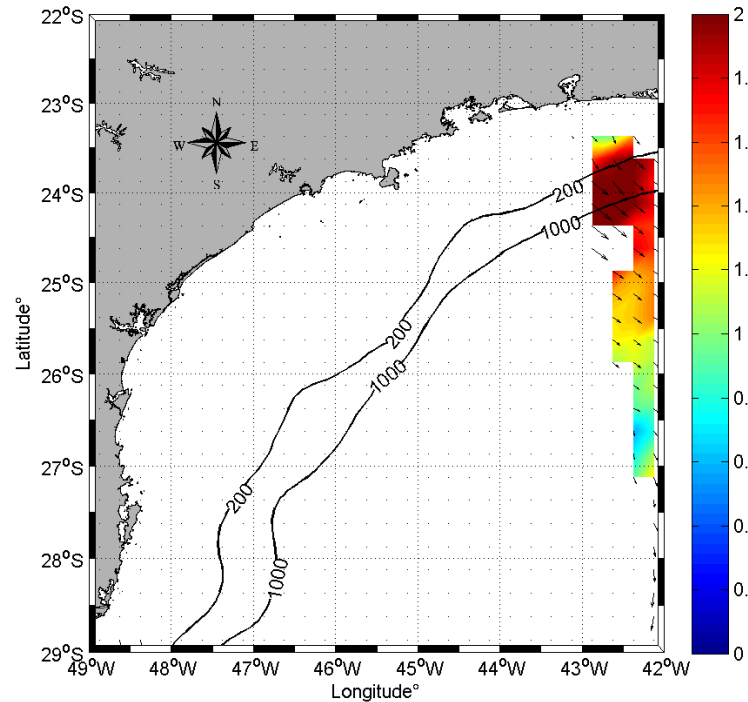


Figura 31 – Mapas dos vetores velocidade de vento (m/s) acima e velocidade do transporte de Ekman (m^2/s) abaixo para o dia 26 de fevereiro, passagem ascendente.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados de vento do QuikSCAT se mostraram úteis para fornecer descrições gerais do transporte de Ekman local apesar de haver discordâncias entre os dados do satélite e os dados *in situ*, possivelmente pela grande distância. Os resultados deste trabalho estiveram em geral concordantes com o descrito pela literatura para a região de estudo. No Embaiamento Sul Brasileiro a dinâmica de Ekman é regida pelo regime de ventos NE/SE, determinado em grande parte pela frequência e intensidade dos sistemas frontais, o qual é responsável pela retirada ou empilhamento de água na costa. Sazonalmente as variações dos ventos do QuikSCAT tiveram algumas discrepâncias com os padrões descritos na literatura ou encontrados para a estação meteorológica, de forma que o transporte de Ekman pode se mostrar equivocado para

esses padrões intra-anuais. A dinâmica de Ekman ocorre principalmente entre as periodicidades de 5 a 15 dias, mas existem outros processos ocorrendo simultaneamente em períodos próximos como ondas de plataforma. Portanto sugiro que estudos futuros busquem quantificar a importância desses processos na circulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, I. *et al.* (2008). Ekman transport along the Galician Coast (NW, Spain) calculated from QuikSCAT winds. **Journal of marine Systems**. Ourense.

CASTRO, B. M. *et al.* (2006). Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L.S.P. (Eds.). **O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: EDUSP, Cap. 1, p.11-120.

EKMAN, V. W. (1905). **On the influence of the earth's rotation on ocean-currents**. Arkiv för matematik, astronomi och fysik. v. 2, p. 1-52.

HIRATA, F. E. (2008). **Variabilidade de nível de correntes de baixa frequência na plataforma externa de Santa Catarina**. Rio do Grande Sul. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

JENKINS, A. D.; BYE, J. A. T. (2006). Some aspects of the work of V. W. Ekman. **Polar Record**, v. 42(220), p. 15-22.

JET PROPULSION LABORATORY. (2001). **SeaWinds on QuikScat Level 3, Daily, Gridded Ocean Wind Vectors (JPL SeaWinds Project)**.

KRAUS, E. B.; LEVITUS, S. (1986). Annual heat flux variations across the tropic circles. **J. Phys. Oceanogr**, v. 16, p. 1479-1486.

MARINHA DO BRASIL,(2010). Acesso em: 10 de Novembro de 2010.
Disponível em:<<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>>

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. (2002). Redução e Análise de Dados Experimentais: Fluxo e Transporte de Propriedades. In: **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**, Edusp, São Paulo, Cap. 5, p. 153-191.

Morinta, I.; S. Sugioka ; T. Kojima, (1997): Real-Time Forecasting Model of Oil Spill Spreading. **Proc. 1997 International Oil Spill Conference**. p. 559-566.

OHHASHI, Y. (2004) **Assimilation of QuikSCAT/SeaWinds Ocean Surface Wind Data into the JMA Global Data Assimilation System**. RSMC Tokyo Typhoon Center Technical Review, No. 7, Japan Meteorological Agency, pp 22-27. Disponível em <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/techrev.htm>

OLIVEIRA, E. A.; DOURADO, M. S. (2010). Caracterização sazonal do vento na Baía de Paranaguá-PR. **Congresso Brasileiro de Oceanografia: Resumo expandido**, Rio Grande.

POND, S.; PICKARD, G. L. (1983). Currents with friction: wind driven circulation. In: **Introductory dynamical oceanography**. 2. Ed. Oxford: Elsevier, Cap 9, p. 100-162.

PRICE, J. F.; WELLER, R. A.; PINKEL, R. (1986). Diurnal cycling: Observations and models of the upper ocean response to heating, cooling, and wind mixing. **Journal Geophysical Research**, v. 91, p. 8411–8427.

Quilfen, Y.; Chapron, B.; Vandemark, D. (2001). The ERS scatterometer wind measurement accuracy: Evidence of seasonal and regional biases. **J. Atmos. Oceanic Technol.**, v. 18, p. 1684–1697.

QUADROS, C. J. L. (2002). **Morfodinâmica praias associada a passagens de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense**. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná.

SOARES, I. D. (2003). **The Southern Brazilian Shelf buoyancy-driven currents**. Ph.D. Dissertation – University of Miami, Miami, p. 318.

SOUZA, R. B. (2005). (Org.). **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos.

SOUZA, J. M. de (1999). Mar territorial, zona econômica exclusiva ou plataforma continental? **Revista Brasileira de Geofísica**. vol. 17, n. 1, p. 79-82.

SVENSSON, U. (1979). The structure of the turbulent Ekman layer. **Tellus**, v. 31, p. 340-350.

THE OPEN UNIVERSITY (1998). Ocean currents. In: **Ocean circulation**. 2 ed. Oxford, Cap. 3, p. 33-69.