

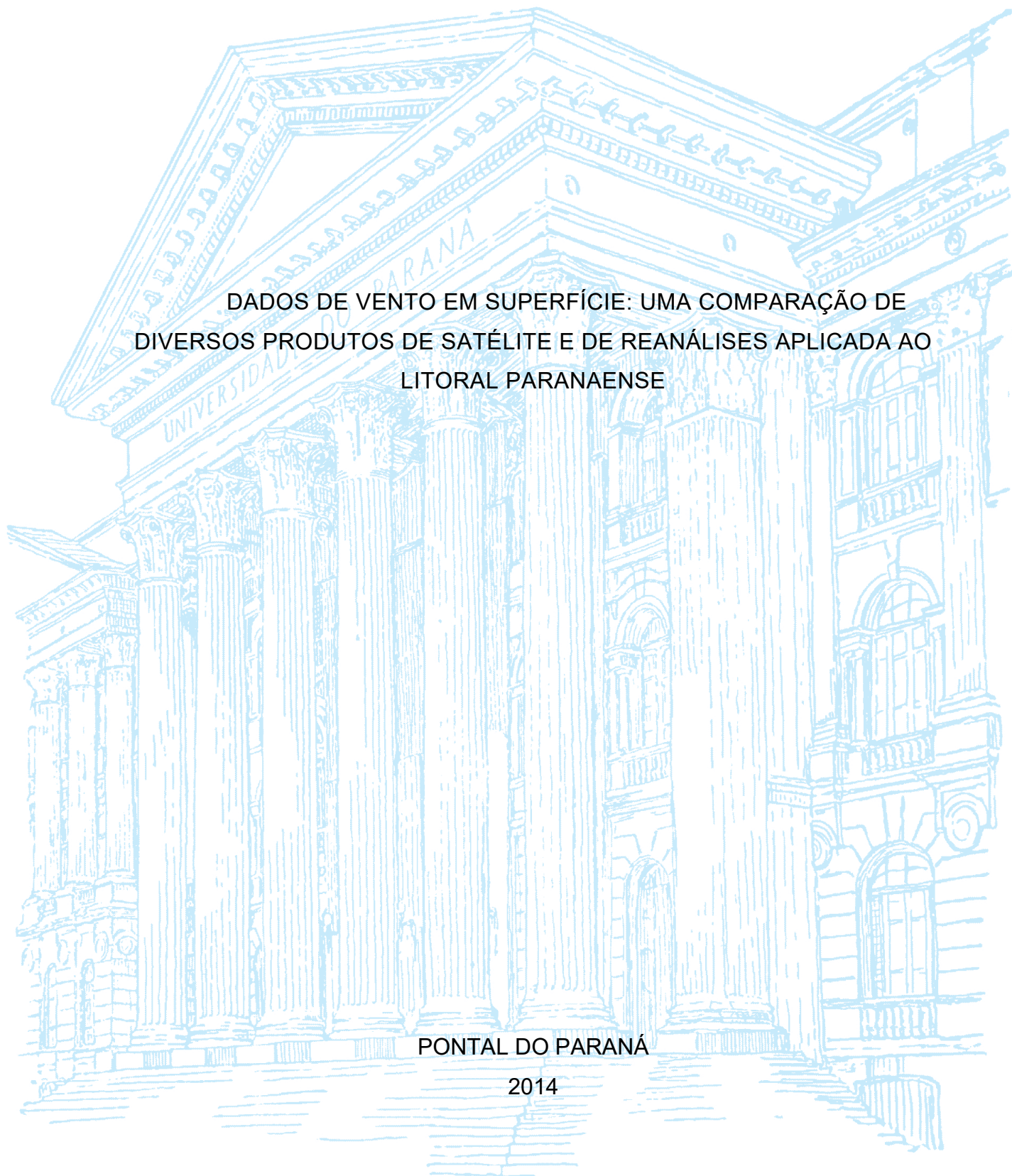
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

HELOISA GABRIELA SAMANIEGO VALDEZ CAZAL

DADOS DE VENTO EM SUPERFÍCIE: UMA COMPARAÇÃO DE
DIVERSOS PRODUTOS DE SATÉLITE E DE REANÁLISES APLICADA AO
LITORAL PARANAENSE

PONTAL DO PARANÁ

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA – CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA
HELOISA GABRIELA SAMANIEGO VALDEZ CAZAL

DADOS DE VENTO EM SUPERFÍCIE: UMA COMPARAÇÃO DE
DIVERSOS PRODUTOS DE SATÉLITE E DE REANÁLISES APLICADA AO
LITORAL PARANAENSE

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia do curso de Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador Prof. Dr. Marcelo Dourado.

PONTAL DO PARANÁ

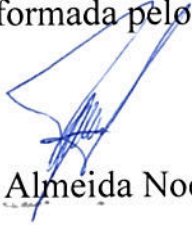
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

Heloisa Gabriela Samaniego Valdez Cazal

“Dados de vento em superfície: Uma comparação de diversos produtos de satélite e de reanálise aplicada ao litoral paranaense”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg-CEM/UFPR

Dr. Leonardo Calvetti-SIMEPAR



Prof. Dr. Marcelo Sandin Dourado
Presidente

Pontal do Paraná, 15 de dezembro de 2014

RESUMO

Os gradientes de pressão espalhados pelo planeta são responsáveis pelos movimentos das massas de ar, entre eles o movimento na horizontal: o vento. Quanto maior o gradiente de pressão maior a intensidade do vento, assim, a fim de conhecer melhor esta componente atmosférica, este trabalho investigou a precisão dos ventos de superfície na região do litoral Paranaense baseados na metodologia de Kara *et al.*, 2008. Aqui foram comparados dados de uma estação de superfície, dados de ventos obtidos pelo *Quick Scatterometer* (QSCAT) e das análises do *National Center Environmental Prediction* (NCEP), buscando possíveis correções destes dados para aplicações futuras, como forçantes para um modelo de ondas e estudo da circulação da região. Os dados de superfície são da estação meteorológica de Pontal do Paraná, localizada no balneário de Pontal do Sul, em 25°34 S de latitude e 48°21W de longitude, numa altitude de 4 metros do nível do mar. Devido a resolução da grade do NCEP e do QuikSCAT, os pontos de análise selecionados como mais próximo às coordenadas da estação, foram de 25 S e 47°30 W e 25°30 S e 48°30 W respectivamente. O período de dados analisados foi de 1999 a 2009 devido ao tempo de atividade do satélite QuikSCAT. Nos resultados para média mensal e anual da velocidade do vento, as três fontes apresentaram comportamento similar, com valores mais intensos entre as observações da Estação. Mas em análise sobre os dados totais o NCEP apresentou as velocidades mais intensas, assim como a tensão do vento maior do que as outras fontes. O comportamento da frequência da direção do vento durante o ano mostrou que para todas as fontes os ventos de Leste, Sudeste e Sul são predominantes, mas as localizações de amostragem da reanálise e do satélite influenciaram nas maiores discordâncias do período sazonal das frequências. O QuikSCAT apresentou melhor semelhança aos dados da estação pela sua proximidade e pela metodologia empregada dentro seu cálculo para os vetores do vento.

Palavras chave: tensão. Direção. Velocidade. Climatologia. Interação. Atmosfera. Paraná. Costeira. Estuário.

ABSTRACT

Pressure gradients spread across the planet are responsible for the movement of air masses, including horizontal movement: the wind. The greater the pressure gradient, the greater the wind intensity, thus, in order to better understand this atmospheric component, this work investigated the precision of surface winds in the region of the coast of Paraná based on the methodology of Kara et al., 2008. Here they were compared data from a surface station, wind data obtained by the Quick Scatterometer (QSCAT) and the analysis of the National Center Environmental Prediction (NCEP), seeking possible corrections of these data for future applications, as forcing for a wave model and study of circulation of region. The surface data are from the meteorological station of Pontal do Paraná, located in the resort of Pontal do Sul, at 25°34 S latitude and 48°21W longitude, at an altitude of 4 meters above sea level. Due to the grid resolution of NCEP and QuikSCAT, the analysis points selected as closest to the station coordinates were 25 S and 47°30 W and 25°30 S and 48°30 W respectively. The period of data analyzed was from 1999 to 2009 due to the uptime of the QuikSCAT satellite. In the results for monthly and annual average of wind speed, the three sources presented similar behavior, with more intense values between the observations of the Station. But in analyzing the total data, the NCEP showed the most intense speeds, as well as higher wind stress than the other sources. The behavior of the frequency of the wind direction during the year showed that for all sources the East, Southeast and South winds are predominant, but the reanalysis and satellite sampling locations influenced the greatest disagreements in the seasonal period of frequencies. QuikSCAT presented better similarity to the station data due to its proximity and the methodology used in its calculation for the wind vectors.

Keywords: stress. Direction. Speed. Climatology. Interaction. Atmosphere. Paraná. Coastal. Estuary.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDO COM A LOCALIZAÇÃO DAS TRÊS ÁREAS DE ANÁLISE. A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EM 25°34 S E 48°21W DE LONGITUDE. AREA DO SATELITE À 25,5°S E 48,5°W. E NCEP À 25° S E DE LONGITUDE 47.5° W.....	17
FIGURA 2. MÉDIA MENSAL DA VELOCIDADE EM M/S PARA TODOS OS ANOS, COM A MÉDIA ANUAL, DE 1999 A 2009. DADOS ESTAÇÃO À 25°34 S E 48°21 W; NCEP À 25° S E DE LONGITUDE 47.5° W.; E QUIKSCAT À 25°30 S E 48°30 W. .	25
FIGURA 3. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO, ESTAÇÃO, NCEP E QUIKSCAT PARA O PERÍODO DO VERÃO. 1999 A 2009.	27
FIGURA 4. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O OUTONO, 1999 A 2009	28
FIGURA 5. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O INVERNO, 1999 A 2009.....	29
FIGURA 6. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O PRIMAVERA, 1999 A 2009.	30
FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA TODO O PERÍODO DE DADOS, 1999 A 2009.....	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA. ESTAÇÃO (EST.), NCEP, QUIKSCAT (QUIK.). DESVIO PADRÃO (σ). VARIANCIA (σ^2).....	34
TABELA 2. RESULTADO TESTE DE CORRELAÇÃO SAZONAL E TOTAL. ESTAÇÃO – NCEP (EXN); ESTAÇÃO – QUIKSCAT (EXQ)	34
TABELA 3. RESULTADO DO STRESS DO VENTO (τ).ESTAÇÃO (EST), NCEP, QUIKSCAT (QUIK). DESVIO PADRÃO (σ).....	38
TABELA 4. ANÁLISE COMPARATIVA DO STRESS DO VENTO. ESTAÇÃO – NCEP (EST X NCEP); ESTAÇÃO – QUIKSCAT (EST X QUIK).....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS GERAIS	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4.1 ÁREA DE ESTUDO	16
4.2 DADOS DE SUPERFÍCIE	18
4.3 DADOS DE SATÉLITE	19
4.4 DADOS DE REANÁLISES	19
4.5 ANÁLISE DOS DADOS	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 ANALISE ESTATÍSTICA	32
5.2 TENSÃO DO VENTO	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera está em constante movimento, fenômeno resultante da soma das suas principais componentes: o movimento do ar em relação à superfície da Terra, o vento, e o movimento conjunto da Terra, a rotação (Ayoade, 1983).

Os movimentos atmosféricos explicam-se por diferenças entre gradientes de pressão. O ar sempre será empurrado das áreas de alta pressão para as de baixa pressão, e o seu espaço vazio na coluna de ar será preenchido pela massa de ar adjacente (Mendonça e Dani-Oliveira, 2007). Portanto, há movimentos horizontais, o vento, e movimentos verticais chamados correntes ascendentes ou descendentes

Estes gradientes de pressão são produtos do aquecimento diferencial da superfície terrestre. Estas diferenças, como entre a temperatura da superfície do oceano e do continente, levam a formação de alguns ventos sazonais, por exemplo, as monções. No verão, o continente se aquece mais rapidamente que o oceano e a temperatura do ar em contato com a superfície terrestre fica maior do que aquela sobre o oceano implicando em ventos do oceano para o continente. Em escala diurna, este mesmo processo explica a formação da brisa marítima (Mendonça e Dani-Oliveira, 2007).

A força de *Coriolis* somada à ação do vento sobre uma extensa área da camada superficial do mar resulta no fenômeno chamado de Espiral de Ekman. Este evento foi descrito pela primeira vez pelo cientista Fridtjof Nasen, na década de 1890. A partir de Nasen, Ekman (1905) concluiu que a corrente de superfície adquire velocidade e direção igual ao vento gerador, mas ela é desviada gradualmente até 45° da direção do vento, pela força de *Coriolis*. Esta corrente superficial arrasta as camadas abaixo dela de forma que a velocidade diminui exponencialmente enquanto o ângulo de desvio aumenta com a profundidade, resultando em uma espiral (Brown *et al.*, 1989).

O padrão de ventos de uma localidade é caracterizado por sua velocidade e direção. A força de *Coriolis* exerce uma influência sobre a direção do movimento do ar, exercendo máxima ação nos polos e mínima no equador. Esta força atua em ângulos retos a direção do movimento do ar, desviando-o para a direita no

hemisfério Norte e para a esquerda no hemisfério Sul (Barry e Chorley, 1976). Quando a força de *Coriolis* é de mesma intensidade, porém de direção oposta ao gradiente de pressão, o vento gerado é chamado de *geostrófico*.

Para a velocidade do vento, o atrito com a superfície é seu redutor, portanto a velocidade do vento tende a ser maior no oceano do que nos continentes. A força de atrito que atua na superfície do mar é conhecida como *tensão do vento*. O stress do vento, τ , é proporcional ao quadrado do vento (U):

$$\tau = c U^2$$

onde c é uma constante de proporcionalidade que é função das condições de estabilidade da atmosfera. Da equação, observa-se que quanto maior for a velocidade do vento, maior será o stress atuando sobre a superfície do mar e mais forte será a corrente de superfície gerada por ele (Brown *et al.*, 1989).

Além de dirigir as correntes superficiais, o vento também gera turbulência no oceano superior. Esta se propaga para as camadas abaixo da superfície em função da intensidade do vento e da estabilidade do oceano. Quanto maior a velocidade do vento maior a turbulência. Esse efeito se mantém nas camadas mais superficiais, por causa da estratificação da coluna da água (Brown *et al.*, 1989).

Na superfície do oceano o movimento raramente é laminar, mas, ao contrário, turbulento. Assim, são parcelas de água e não moléculas individuais que são trocadas entre as diferentes camadas do fluido. Esses vórtices transmitem a turbulência para camadas mais profundas conforme a estratificação da coluna da água (Brown *et al.*, 1989).

As ondas também são um produto da interação dos ventos com a superfície oceânica. Segundo Philip e Miles (1957) a geração de ondas por ventos inicia-se com o vento induzindo pressão na superfície plana da água, propagando um campo aleatório, que transfere energia de forma aleatória. Isso causa uma sobreposição de muitas ondas harmônicas induzidas pelo vento onde, por esse mecanismo, são formadas ondas capilares que crescem linearmente no tempo com o vento constante.

Por estes fatores o padrão de ventos é um parâmetro fundamental em modelos de circulação oceânica, de previsão de ondas, estudos de interação oceano-atmosfera e climatologia (Monaldo e Beal, 2004). Porém o conhecimento sobre o comportamento dos ventos de superfície próximos às áreas costeiras é limitado pela insuficiente cobertura espacial e temporal (Kara *et al.*, 2008).

Observações de centros de previsão numérica de tempo são usualmente usados para aplicações próximas à linha da costa. Mas, em geral, os valores calculados para direção ou velocidade do vento por estas fontes, podem não representar bem a realidade da atmosfera local.

Modelos oceânicos frequentemente usam climatologias ou saídas de modelos de grande escala. Mas está se tornando comum o uso de ventos de análises regionais para melhorar as correntes modeladas que são geralmente sensíveis às feições dos ventos em pequena escala (He *et al.*, 2004).

Sensores orbitais que determinam campos de vento, são radares escaterômetros como os dos satélites ERS-2 e QuikSCAT, e de abertura sintética (SAR) como os dos satélites ENVISAT e Radarsat. A extração do campo de velocidade do vento a partir de dados de radar é possível porque o retro-espalhamento do sinal emitido pelo radar, depois de calibrado, pode ser relacionado com a magnitude do vento e a orientação do vento em relação à direção de imageamento radar (Claro e Lorenzetti, 2009). Para Lima e Oda (2006) o Satélite QuikSCAT é uma ótima saída de dados.

Entretanto, o princípio de funcionamento dos escaterômetros baseia-se em estimar os ventos a partir da rugosidade do oceano, sendo necessário considerar que as estimativas por satélites também apresentam limitações. Por exemplo: contaminação dos dados em presença de chuva, tendência de subestimativa de ventos fortes e dificuldade em detectar situações de calmaria (JPL, 2001).

O valor da velocidade do vento também pode ser influenciado por ambos os efeitos de terra e água. Em outras palavras, há contaminação dos pontos de grade da terra (mar) sobre o mar (terra) próximo a regiões costeiras, tornando-os inaptos a fornecer valores de ventos corretos sobre terra ou mar. A superestimava ou

subestimativa da velocidade do vento pode também resultar em sérios erros no cálculo da magnitude do stress do vento, (Kara et al., 2008).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste estudo é o de investigar a precisão dos ventos de superfície na região do litoral Paranaense baseados na metodologia de Kara et al., 2008. São utilizados, para isto, dados de uma estação de superfície, ventos do Quick Scatterometer (QSCAT) e das análises do National Center Environmental Prediction (NCEP), buscando possíveis correções entre os dados para aplicações futuras como forçantes para um modelo de ondas e estudo da circulação da região.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o ciclo sazonal, mensal da velocidade e direção do vento para todos os produtos.
 - Correlacionar os produtos por análises estatísticas, buscando correções para erros grosseiros.
 - Analisar e comparar resultados para o Stress do vento.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Na literatura, o problema da comparação entre diversas fontes de dados de vento tem sido abordado mais recentemente em escalas regionais. Meissner *et al.* (2001) fizeram uma análise estatística para produtos de vento sobre a superfície, utilizando 10 anos de dados de produtos do *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I), NCEP/ *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF)/*Tropical Ocean-Global Atmosphere Global Surface Analysis*. Os dados das reanálises do NCEP/NCAR subestimaram a velocidade do vento no Pacífico e Atlântico tropical enquanto os dados do ECMWF subestimaram nas áreas ao sul das ilhas do Pacífico e a NE da Austrália. Nas análises foi possível notar uma tendência regional para o SSM/I, em que a velocidade do vento apareceu alta em regiões extratropicais centrais e a leste do Pacífico. O erro encontrado para a velocidade do vento pouco intensa, nas regiões costeiras e no mar da Arábia, pode estar associado ao efeito de correntes características dessas regiões. O estudo demonstrou que os tamanhos destas tendências são sazonalmente dependentes.

Quilfen *et al.* (2001) buscaram parâmetros para evidenciar tendências regionais e sazonais dos dados do satélite (ERS) da *European Space Agency* (ESA). Para tanto, os autores usaram dados de boia da *National Data Buoy Center* (NDBC) e do ECMWF como referência. Em uma primeira análise de erro para velocidade do vento, o ERS apresentou velocidades fracas. Na análise temporal e sazonal, os dados do ERS apresentaram uma dependência de tempo fortemente correlacionada com o ciclo sazonal. Algumas variações na velocidade do vento de superfície mostraram concordância qualitativa com climatologias já existentes e com dados de boias para a região do Pacífico.

Baptista *et al.* (2002) utilizando dados do escaterômetro ERS, estudaram a variabilidade temporal e espacial do campo de vento para o Oceano Atlântico. O período utilizado foi de dezembro de 1991 a novembro de 1998. A avaliação dos resultados foi comparada com ventos medidos por boias do projeto PIRATA e dados de ventos de reanálises do NCEP. Os resultados dos campos de vento descreveram

as principais feições dos ventos alísios de Sudeste e Nordeste. A ITCZ e o centro de alta pressão semipermanente nos subtropicais são claramente detectados nos campos médios.

Stiles *et al.* (2002) investigaram a melhor maneira para determinar o vetor de vento sem contaminação por chuva. Utilizaram, para isto, dados do SSM/I para a taxa de precipitação, campos de vento do NCEP e ventos sobre o mar medidos pelo QuikSCAT. As principais conclusões foram que as medidas de polarização horizontal são mais sensíveis à chuva do que a polarização vertical. A sensibilidade à chuva varia drasticamente com a velocidade do vento, e o retroespalhamento adicional devido à chuva fica ofuscado.

Dados do ECMWF e do NCEP foram comparados com dados de vento medidos a 10m de altura pelo satélite QuikSCAT por Lima e Oda, 2006. A área de estudo foi entre os paralelos de 50°S a 10°N e pelos meridianos 70°W a 20°W dos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2000. Os autores ponderaram preliminarmente que as três fontes de dados apresentaram razoável concordância.

Claro e Lorenzetti (2007) estimaram o campo de velocidade do vento em alta resolução espacial (~1 km), a partir de valores de sigma-zero calibrados, e avaliaram a sua acurácia comparando os resultados obtidos com medidas de velocidade do vento do escaterômetro QuikSCAT. Foram utilizadas imagens do sensor ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*), a bordo do satélite europeu Envisat sobre a Bacia de Campos. O campo de vento gerado a partir da imagem SAR apresentou razoável concordância com dados de velocidade do vento do escaterômetro QuikSCAT, com coeficiente de correlação de 0.6204.

Kara et al. (2008) investigaram a precisão de ventos de superfície, medidos a 10m, com dados dos centros *Navy Operational Global Atmospheric Prediction System* (NOGAPS), *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ERA-40) e NCEP. Os autores também utilizaram dados de satélites (SSM/I e QSCAT) em várias regiões costeiras. A partir de aplicações de máscaras terra-mar para a determinação da precisão de ventos costeiros, o objetivo foi de demonstrar qual dos produtos perto dos limites terra-mar, é o melhor. Os resultados foram comparados com ventos provenientes de boias e a metodologia empregada por Kara diminuiu o

erro (de $> 4 \text{ m s}^{-1}$ a $< 1 \text{ m s}^{-1}$) para NOGAPS e ERA-40. Entretanto com relação ao NCEP não foi satisfatório, pois os valores têm baixo contraste entre os pontos de terra e mar, resultando em pouco impacto da contaminação do solo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O litoral paranaense está localizado entre as latitudes 25° S e 26° S e longitudes 49° O e 47°55' O (Figura 1). Sua caracterização é de planície costeira, se estende latitudinalmente do Canal do Varadouro ao Norte, divisa com o estado de São Paulo, até o Rio Saí-Guaçu ao Sul, divisa com o estado de Santa Catarina. A região tem como limites o Oceano Atlântico a leste e a oeste com o Complexo Cristalino montanhoso da Serra do Mar, podendo atingir até 55 km de extensão neste sentido (Bigarella, 2001). Além da sua pequena extensão linear, o litoral paranaense é marcado pela presença de dois estuários bem desenvolvidos – Guaratuba e Paranaguá. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) é composto basicamente por dois eixos de orientação: o primeiro, denominado baía de Paranaguá, com 56 km de extensão no eixo Leste-Oeste; e o segundo, denominado baía das Laranjeiras, com 30 km de extensão no eixo norte sul. Outros segmentos menores interligam-se a esses dois corpos aquosos de maior porte, como as baías de Guaraqueçaba, Antonina, Pinheiros, Itaqui, Benito e rio Medeiros (LAMOUR *et al.*, 2004).

A localização do litoral latitudinal à serra do mar e a proximidade oceânica, faz com que a área sofra uma intensa insolação e evaporação, concentrando núcleos de condensação aliados à ação de frentes frias, contribuem para o acréscimo da precipitação em todo litoral (Nimer, 1988). Segundo Labraga *et al.* (2000), essa é uma região em que a convergência vertical de umidade é significativa, portanto a precipitação dessa região é a mais forte do litoral sul do Brasil.

Vanhoni e Mendonça (2008), demonstraram que a região tem a temperatura do ar sem variações extremas durante o ano. Segundo os autores ele enquadra-se dentro do tipo climático temperado chuvoso e moderadamente quente, úmido em todas as estações e com verão quente. Em algumas partes mais elevadas do litoral, os autores constataram que há uma redução das médias térmicas associadas à

elevação da pluviosidade média anual. A área possui a atuação conjugada de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais, e desataca-se também o papel da maritimidade, do relevo (planície e serras /montanhas) e da vegetação.

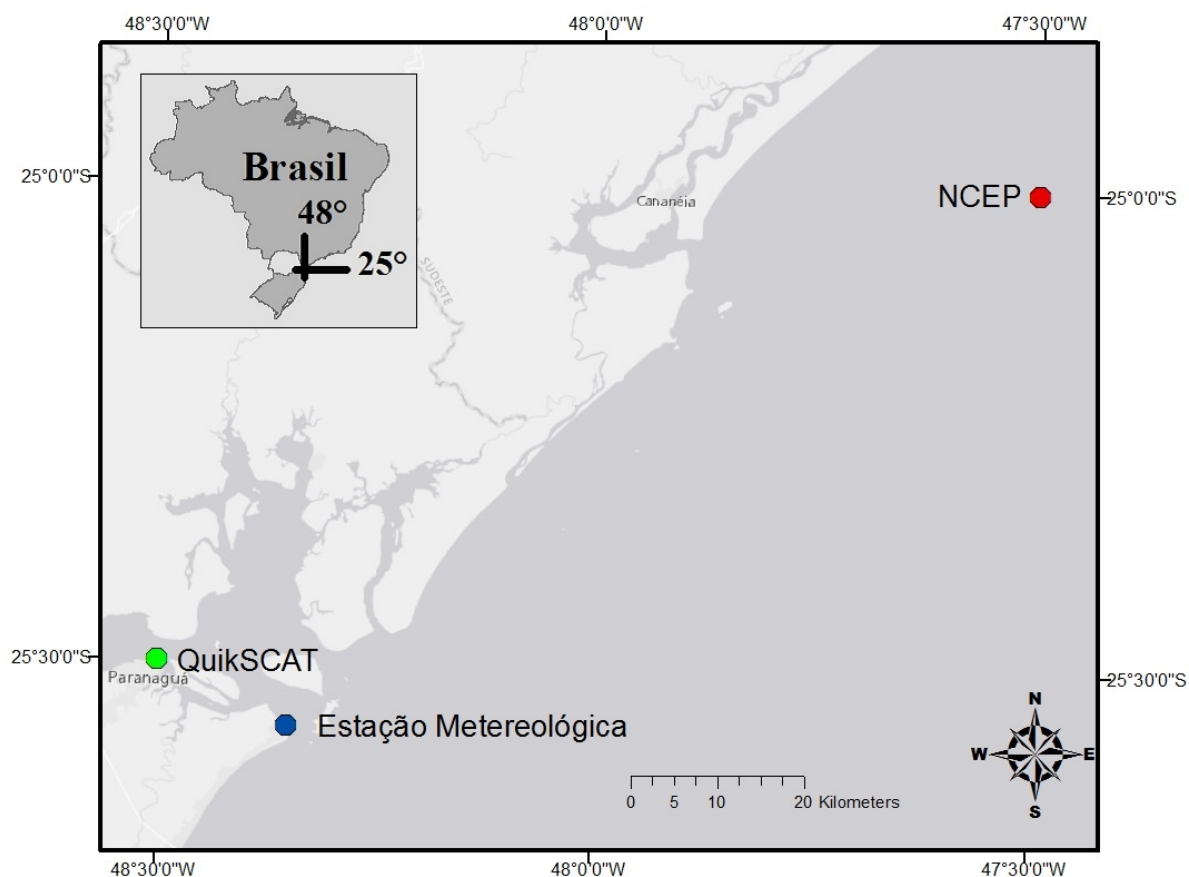


Figura 1. ÁREA DE ESTUDO COM a localização das três áreas de análise. A estação meteorológica em 25°34 S e 48°21W de longitude. area do satellite à 25,5°S e 48,5°W. e ncep à 25° S e de longitude 47.5° W

Em uma análise preliminar para o comportamento do vento de superfície no litoral paranaense por Camargo e Marone (1995) foi constatada uma predominância de ventos de ENE, E, ESE e SE com intensidade média de aproximadamente 4 m/s. Camargo et al. (1996) no estudo de detecção de sinais de brisa no registro de vento de Pontal do Paraná, encontraram predominância de ventos entre as direções E, S com intensidades maiores nos meses de maior

aquecimento, o que tornou claro a influência do contraste de aquecimento no valor do vento sinóptico mensal.

Oliveira e Dourado (2009) analisaram 10 anos de dados da Estação Meteorológica de Pontal do Paraná (a mesma a ser usada neste estudo). Os autores concluíram que as direções de vento ESE-S foram predominantes e nelas se concentram os ventos mais intensos, acima de 7 m/s. Fomin e Dourado (2014) utilizando o mesmo conjunto de dados, mostraram que a maior intensidade da velocidade do vento é encontrada em novembro, 4 m/s, e, em junho, a menor intensidade, 2,6 m/s. A média para todo o período foi de 3,3 m/s. Em ambos trabalhos observou-se que há uma relação entre a intensidade do vento e o ciclo sazonal da radiação solar

4.2 DADOS DE SUPERFÍCIE

A estação meteorológica de Pontal do Paraná está localizada no balneário de Pontal do Sul, em 25°34 S de latitude e 48°21W de longitude, numa altitude de 4 metros do nível do mar (Figura 1).

Ela é uma estação do tipo Telemétrica Automática da Marca CAMPBELL administrada pelo Laboratório de Interação Oceano Atmosfera do Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná.

As séries de dados horários de direção e velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, pressão e precipitação são coletados e pré-processados automaticamente representando as condições meteorológicas que predominam no momento da observação na região de Pontal do Sul.

A Estação ficou inativa no período de 2001 até março de 2002, pois perdeu o funcionamento do datalogger. E em 2005 a Estação foi transferida para a posição atual, a 4 m do nível do mar com um deslocamento de 50m da sua posição anterior.

4.3 DADOS DE SATÉLITE

O QuikSCAT é um radar escaterômetro, foi lançado em 1999 com o objetivo de dar continuidade à aquisição de dados de vento do satélite escaterômetro NSCAT da NASA, que parou de operar em 1997. A última rotação em órbita do QuikSCAT foi em 23 de novembro de 2009.

O satélite utiliza um método indireto para a medição da velocidade e direção do vento sobre o oceano. O escaterômetro emite pulsos de micro-ondas, 13.4 GHz, para o oceano e através do retro espalhamento delas pela superfície marinha, pode calcular a direção e velocidade do vento. Tal estimativa é baseada pela rugosidade do oceano, que interfere no ângulo de incidência e na captação da micro-onda refletida (σ) (PO.DAA, 2013).

O cálculo para a velocidade e direção do vento feito pelo escaterômetro, pode sofrer interferências: a medição de ventos mais intensos que 20 km/s em presença de chuva, geram valores subestimados; em áreas próximas a borda do grid de amostragem, as medições do satélite são fracas; e locais próximos a costa podem apresentar observações descontínuas (PO.DAA, 2013).

Disponíveis na página do Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (<http://podaac.jpl.nasa.gov/datasetlist?ids=Platform&values=QUIKSCAT>), os dados estão organizados em matrizes de dimensão 1440x720x4x2, onde cada eixo representa, respectivamente, longitude (de 0° a 360°), latitude (de 90° a 90°), a variável observada e o seguimento de órbita do satélite, ascendente ou descendente (Claro, 2007).

A resolução da grade do QuikSCAT é de 0,25° × 0,25° e, tomando como referência as coordenadas da localização da estação, o ponto mais próximo de medição do satélite foi de longitude 25,5°S e latitude 48,5°W. O recorte dos dados foi feito com o auxílio do programa GRADS.

4.4 DADOS DE REANÁLISES

Centros de previsão Numérica de tempo são comumente usadas como fontes para obter cobertura global de velocidades do vento. O projeto do NCEP assimila dados desde 1948 até os dias atuais e são dados globais de superfície, de escaterômetros, estudos de climatologia de todos os campos atmosféricos.

Dentro das análises do NCEP, os dados passam por rigoroso processo de controle de qualidade como: interpolação estatística, checagem de tendências de tempo e espaço, melhoramento de erros e grandezas. Apesar dos cuidados, alguns erros podem estar dentro das amostragens, por exemplo, a subestimação dos valores de velocidade de vento na presença de chuva ou o acréscimo na intensidade do vento a partir da assimilação de dados do SSM/I (Kalnay *et al*, 1996):

As reanálises são desenvolvidas e administradas pela *National Oceanic and Atmospheric Administration's* (NOAA), estando disponíveis os dados para acesso em seu sitio (<http://www.esrl.noaa.gov>). Os dados estão disponíveis como médias mensais ou observações a cada 6h, em resolução de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$.

Devido a resolução da grade da reanálise, o ponto de localização selecionado mais próximo às coordenadas da estação, foi retirado com auxílio do programa GrADs para latitude de 25° S e de longitude 47.5° W

4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Este trabalho é baseado no estudo de Kara *et al.*, 2008. Estes autores investigaram a acurácia dos produtos de satélite e modelos numéricos de previsão para diversas regiões do globo, essencialmente no hemisfério norte. O período de dados analisados neste estudo foi 1999 a 2009, intervalo em que todos os produtos estavam disponíveis.

A reanálise e o satélite disponibilizam as componentes zonal e meridional do vento, u e v respectivamente. Assim, seus respectivos valores médios, V_e e V_n , são determinados através de média aritmética simples. Por sua vez, a intensidade da velocidade do vento é calculada como a resultante dada por,

$$\bar{U} = (V_e^2 + V_n^2)^{1/2} \quad (1)$$

O cálculo das médias das componentes zonal e meridional da velocidade do vento para os dados da estação (já corrigidos em função da mudança de altura da estação no período de acordo com o trabalho de Fomin e Dourado (2013), foram determinadas da seguinte maneira:

$$V_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \sin(\theta_i) \quad (2)$$

$$V_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \cos(\theta_i) \quad (3)$$

em que N é o número de observações θ_i (direção do vento na hora i) e u_i (velocidade do vento na hora i).

Assim a média da direção do vento ($\bar{\theta}$) será dada por:

$$\bar{\theta} = \text{ArcTan}(V_e/V_n) + \text{FLOW} \quad (4)$$

em que

$$= +180; \text{para } \text{ArcTan}(V_e/V_n) < 180$$

FLOW

$$= -180; \text{para } \text{ArcTan}(V_e/V_n) > 180$$

Para a análise da frequência da direção e velocidade, foram definidas as estações do ano como verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e Primavera (setembro, outubro e novembro).

Entre as análises estatísticas foram calculados o desvio padrão e variância, também sobre o conjunto total dos dados e sazonalmente. Para medir a correlação entre as três fontes, foi aplicado o teste para o coeficiente de correlação de Pearson entre NCEP-estação e QuikSCAT-estação.

O cálculo do desvio padrão da direção do vento (σ_θ) foi feito a partir do método de Mardia (1972), o qual é mais eficiente para apontar diferenças entre valores sucessivos da direção do vento inferiores a 180 graus:

$$\sigma_\theta = \left[-2 \ln \left(\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sin(\theta_i) \right)^2 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos(\theta_i) \right)^2 \right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Afim de avaliar as diferenças, e possíveis erros, ao utilizar as diferentes fontes de dados no cálculo do stress do vento, foi utilizada a equação proposta por Large e Pond (1981):

$$\tau = \rho_\alpha C_{DN} U|U| \quad (6)$$

onde

$$C_{DN} = \begin{cases} 1,15 \times 10^{-3} & \text{se } U < 10 \\ 4,9 \times 10^{-4} + 6,5 \times 10^{-5} U & \text{se } U \geq 10 \end{cases}$$

e C_{DN} é o coeficiente de arrasto do vento para condições de estabilidade neutra, ρ_α é a densidade do ar assumida igual à $1,23 \text{ kg cm}^{-3}$; U é a velocidade do vento.

Para avaliar as diferenças entre a variabilidade dos dados entre as três fontes, foi calculado o *root-mean-square* (RMS). Esta análise foi feita sobre a velocidade, direção e stress do vento, para todo o período de dados e por estação do ano. Um método bastante útil para estimar a variabilidade de um mesmo tipo de dado proveniente de diferentes fontes (Baptista et al., 2002),

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2}{(n-1)}} \quad (7)$$

onde x_i é um dado valor para as observações da estação, y_i é um dado valor para as observações das outras fontes e n é o número de observações a serem comparadas.

Na seção 5.1, uma análise estatística é feita e para isto as séries de dados foram padronizadas. Para isto foram utilizados somente os dados da estação de 0, 6, 12 e 18 horas TMG e foram excluídos dados do NCEP e Satélite nos períodos em que havia falhas na estação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados deste estudo e a discussão sobre os mesmos. Serão apresentados os dados da estação meteorológica (daqui para frente referida como Estação), dados de re-análise do NCEP e do satélite QuikSCAT.

A Figura 2 apresenta a média mensal e anual da velocidade do vento para as três fontes de dados. Pode-se notar que todas apresentam um comportamento similar.

A Estação possui as médias mais intensas. A velocidade média máxima encontrada foi de 3,66 m/s em novembro e a mínima, 1,94 m/s, em junho. A média anual é de 2,73 m/s. Na média os dados do NCEP são 1,4 m/s mais fracos que os da Estação. Como no caso da Estação, a menor média dos dados da reanálise, 0,66 m/s, ocorre em junho, mas a velocidade máxima, 2,82 m/s, ocorre em outubro.

A maior diferença entre as médias da Estação e do NCEP ocorreu no mês de junho, cerca de 1,41 m/s, e a menor diferença foi em outubro, 0,48 m/s. A média anual do NCEP é de 1,68 m/s. A velocidade média anual medida pelo QuikSCAT foi de 1,35 m/s. Os dados de satélite são menos intensos que os dados da Estação e do NCEP. Entretanto a maior média do período, 2,34 m/s no mês de novembro, coincide com o máximo da Estação. A menor média ocorreu no mês de maio, 0,92. A menor diferença entre as médias da intensidade do vento medida pelo QuikSCAT e pela Estação ocorre em maio, 1,4 m/s, e a menor em março, 0,88 m/s. A velocidade do vento está fortemente relacionada ao aquecimento diferencial da superfície. Durante os meses de verão mais radiação está disponível para aquecimento e maiores tendem a ser os gradientes de pressão criados por este aquecimento diferencial e, portanto, mais intensos tendem a ser os ventos. Isto foi visível para as três fontes.

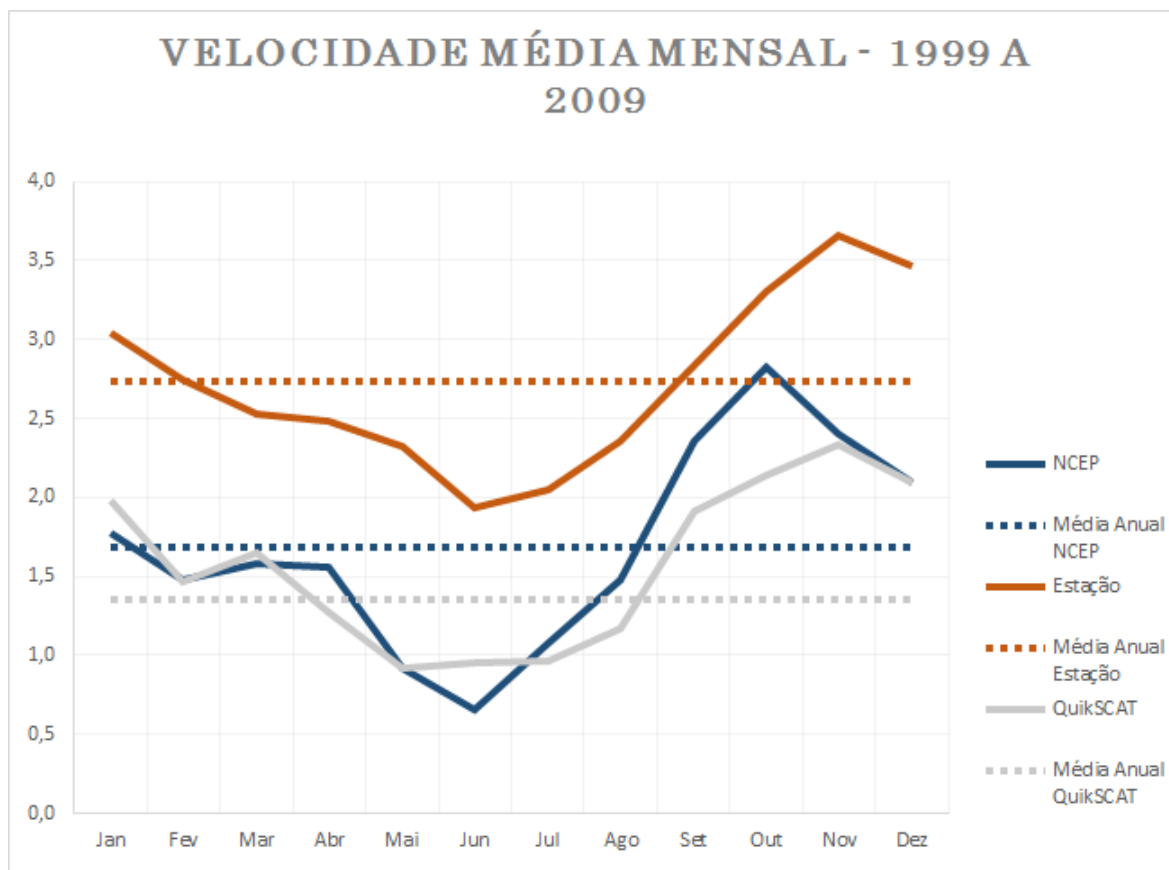


Figura 2. MÉDIA MENSAL DA VELOCIDADE EM M/S PARA TODOS OS ANOS, COM A MÉDIA ANUAL, DE 1999 A 2009. DADOS ESTAÇÃO À 25°34 S e 48°21 W; NCEP À 25° S E DE LONGITUDE 47.5° W.; E QUIKSCAT À 25°30 S E 48°30 W.

Mesmo com algumas diferenças, nos meses em que a velocidade do vento se torna mais ou menos intensa, as três fontes mantêm as intensidades mais altas no verão e as baixas no inverno. As diferenças nos valores encontrados entre as fontes na velocidade do vento estão intimamente relacionadas às interações dentro do grid de análise e da localização de cada ponto sobre região costeira.

O atrito do vento com a superfície não parece refletir nos resultados ou são mascarados por outros erros. Considerando que o atrito é mais importante em superfícies rígidas que sobre o oceano, esperava-se que, na média, os ventos do NCEP fossem mais intensos. Eles são apenas em relação aos valores do QuikSCAT.

A FIGURA 3 mostra a distribuição da frequência da direção e velocidade no verão para as três fontes. Para os dados da Estação, prevaleceram as componentes

Leste e Sudeste com maiores frequências, 21% cada. A componente de vento Sul, representa cerca de 15% de frequência total e é a única direção que apresenta ventos acima de 8,8 m/s.

A direção do vento medida pela reanálise, apresentou as maiores frequências nos mesmos quadrantes que a Estação, com a direção Sudeste representando 28%, Leste, 21%, e Sul, 14%. Entretanto não observa-se os ventos acima de 8,8 m/s na direção sul.

Quando observamos os dados QuikSCAT, o mesmo período mostrou a componente Leste com aproximadamente 25% das observações, seguida das componentes Nordeste, com 21%, e Sudeste com 19%. Esta componente nordeste não aparece nas outras duas fontes com tão grande frequência. Os ventos acima de 5,7 m/s representam uma frequência menor quando comparado aos dados da Estação e do NCEP.

Dos três, a Estação foi a que apresentou o maior percentual de calmaria no período, 4,56% do total, contra 1,1% no caso do NCEP e 1,64% para o satélite.

No outono (FIGURA 4), as direções do vento mais frequentes para a Estação se dividiram em SE, 17%, e S com 16%. As direções Leste, Sudoeste e Oeste ficaram com menos de 14%. A velocidade do vento entre as orientações com menor regularidade, não apresentaram valores significativos para intensidades maiores que 3,5 m/s. Entre as direções predominantes a intensidade do vento se apresentou acima de 5,7 m/s, com os mais intensos, acima de 8,8 m/s, na direção sul.

Entre os dados de reanálise o sentido do vento para SE obteve 27% do total das observações, seguida da componente S e L, com cerca de 21% e 17% respectivamente. A velocidade do vento, em todas direções, alcançou até 8,8 m/s no período, mas não observa-se velocidades acima deste valor.

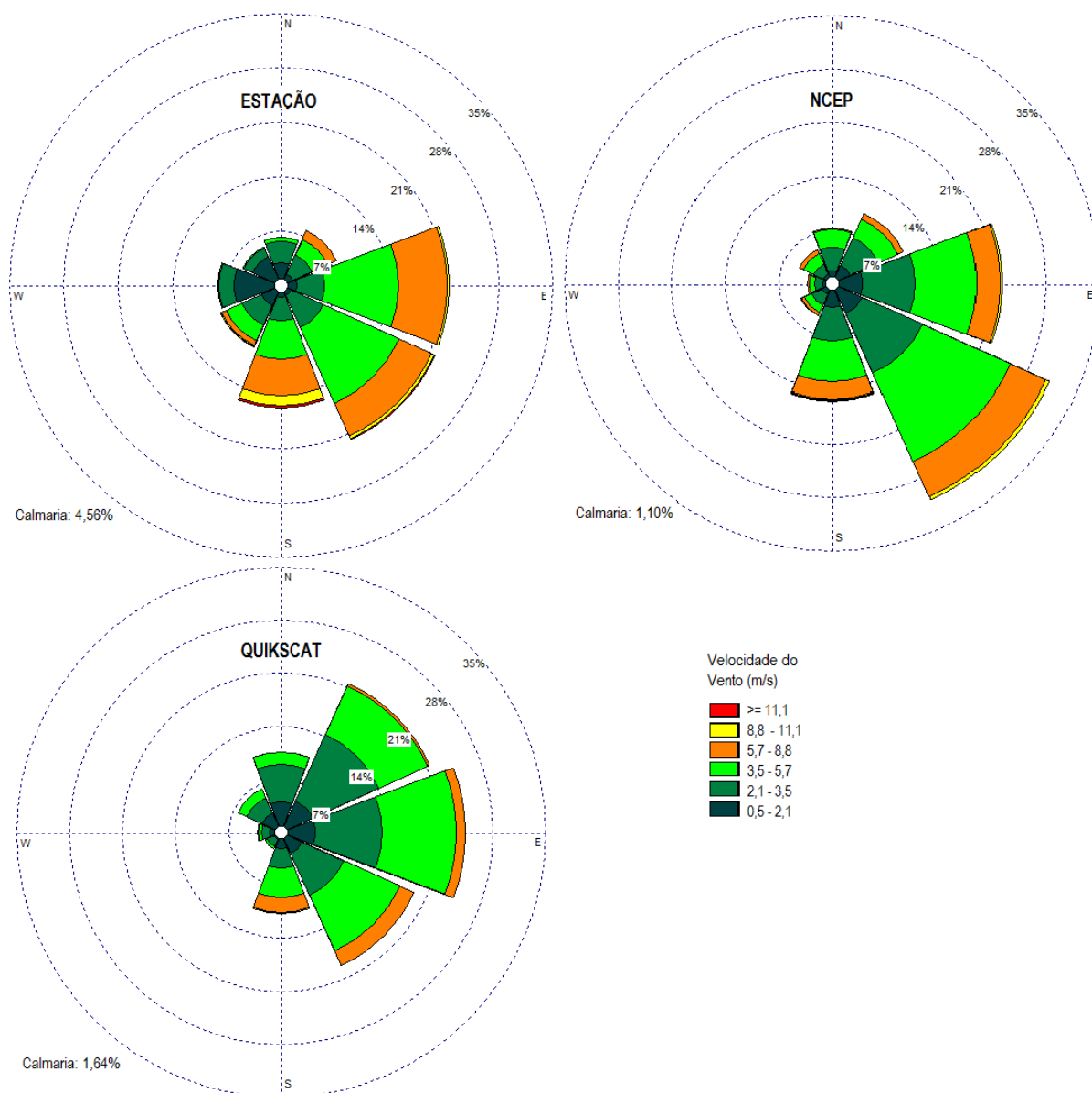


Figura 3. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO, ESTAÇÃO, NCEP E QUIKSCAT PARA O PERÍODO DO VERÃO. 1999 A 2009.

Os dados do QuikSCAT apresentaram as direções Nordeste, Leste e Sudeste como as mais frequentes, representando cerca de 20%, 18% e 16% do total das observações respectivamente. A caracterização da velocidade do vento apresentou o domínio de ventos de até 5,7 m/s de intensidade em todas as direções. Acima desta velocidade o percentual de frequência foi baixo, presente apenas nas direções de SE a O. O estado de calmaria foi mais frequente entre as observações da Estação para o período, representando 6,08% de frequência. No caso do NCEP e QuikSCAT estes valores representam 1,61% e 1,38% respectivamente.

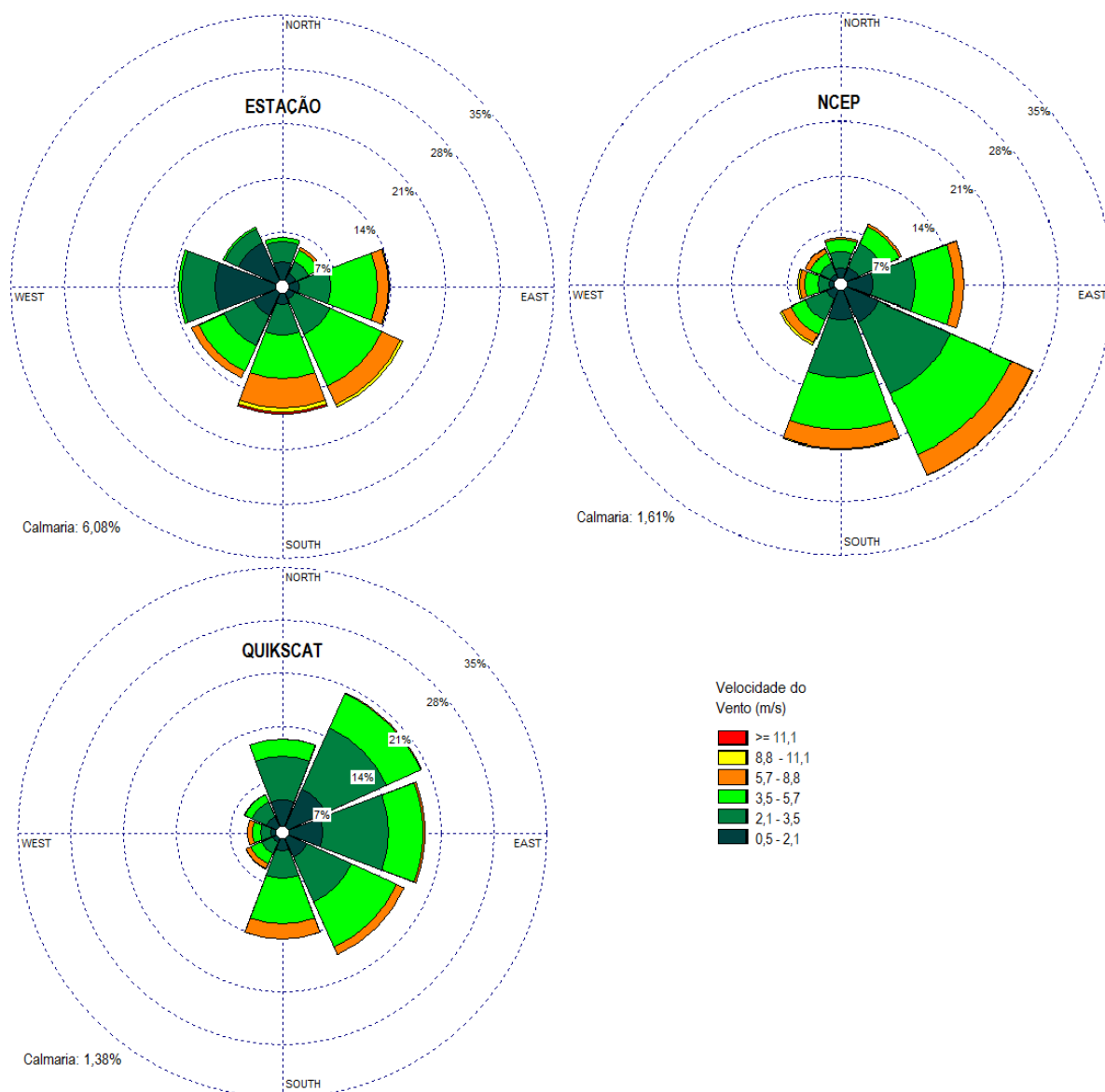


Figura 4. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O OUTONO, 1999 A 2009

A Estação durante a análise do Inverno (FIGURA 5), apresentou 18% de frequência na componente Sul, 14% para Sudoeste e Sudeste e 7% para Leste e Oeste. Os ventos mais intensos, acima de 8,8 m/s, se encontram principalmente na componente sul, embora possam ser observados também nas componente SE e SW.

Os dados do NCEP apresentaram as direções do vento mais frequentes nas direções Sudeste, 21%, Leste, 19% e Sul com 18%. Os dados do QuikSCAT, por

sua vez, apresentaram maiores frequências nas direções Nordeste, 21%, e Norte com 20%. Os ventos de Sul, embora não tão frequentes, cerca de 16%, são mais intensos. O período de inverno mostrou o maior percentual de calmaria das análises, 8,28%, para os dados da Estação.

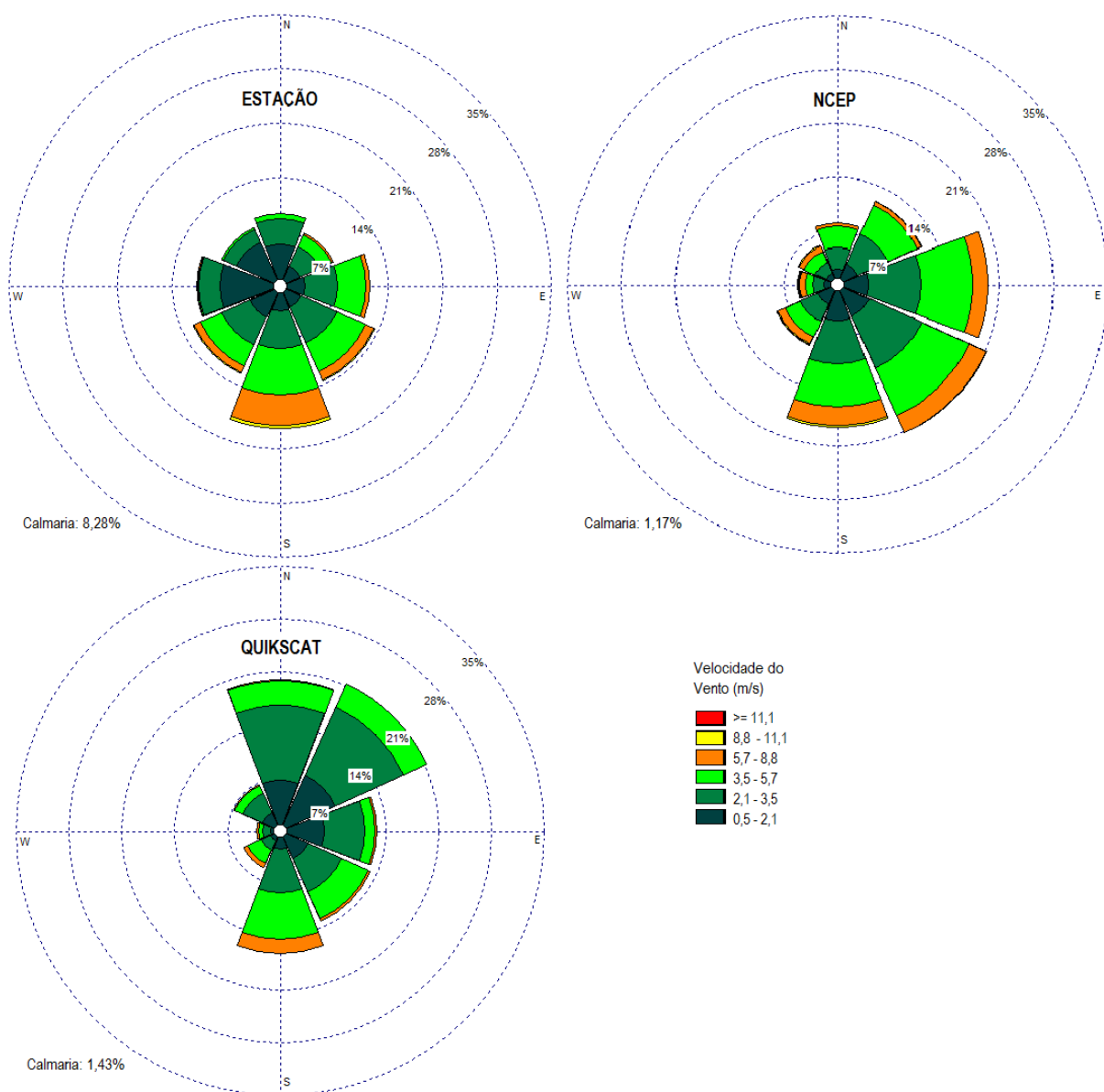


Figura 5. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O INVERNO, 1999 A 2009.

Na Figura 6 é apresentada a análise do vento na primavera. Os dados da Estação apresentaram ventos com intensidades até 5,7 m/s nas direções menos

frequentes N, NO e O, todas com menos de 7% presença. Nas direções mais regulares S, SE e L, com 22%, 20% e 18% respectivamente, apenas para S houve mais observações para a velocidade do vento a 8,8 m/s.

Assim como as outras estações do ano, os dados do NCEP revelaram a direção SE com a maior frequência, 35%, seguida da direção L com 26%. Estas componentes apresentaram ventos até 8,8 m/s com poucas observações para intensidades até 11,1 m/s.

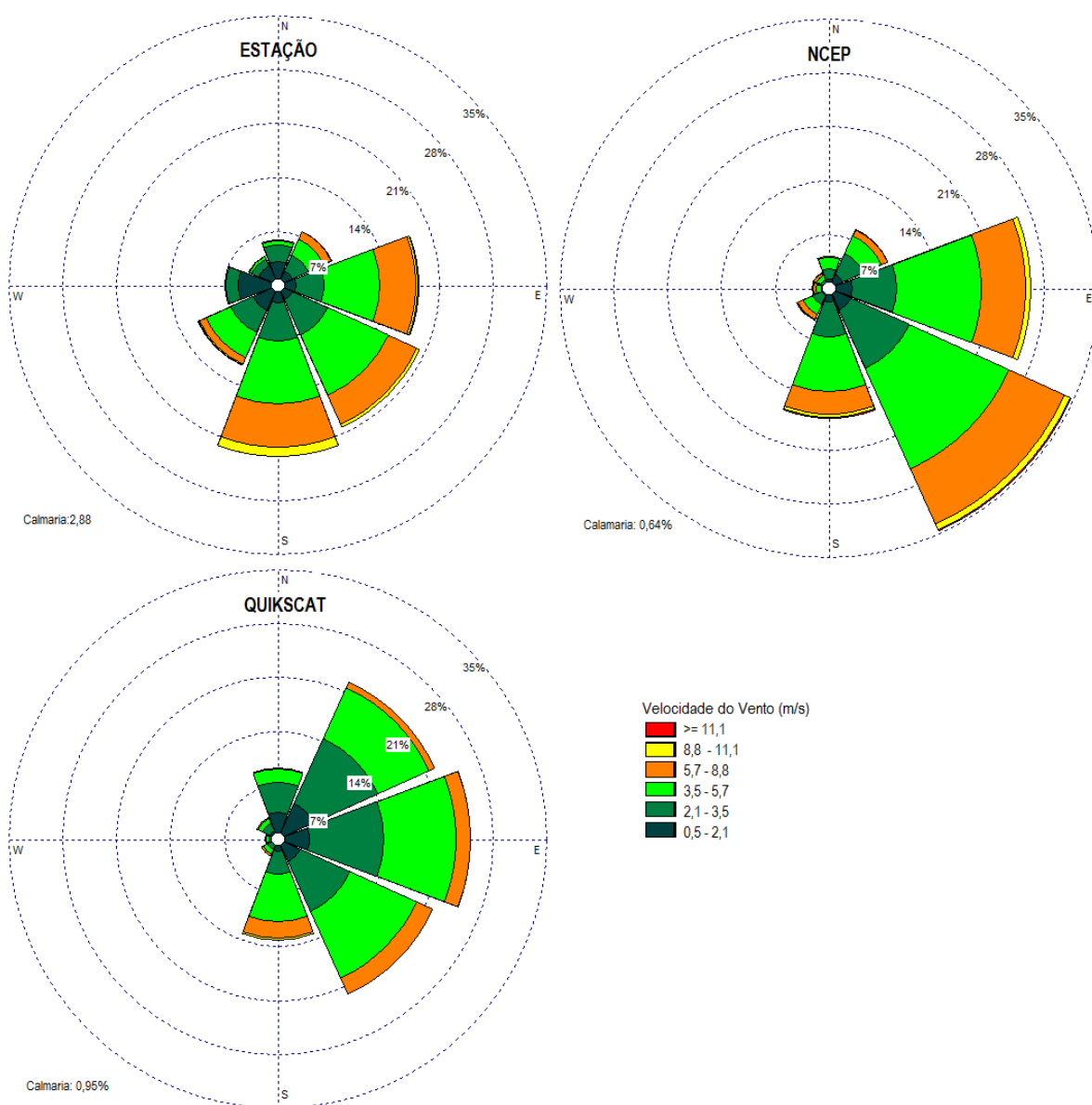


Figura 6. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA O PRIMAVERA, 1999 A 2009.

Entre as medições do QuikSCAT, a primavera tem ventos mais frequentes nas componentes Nordeste e Sudeste, com cerca de 22%, e Leste com 25% do total.

As direções entre Sudoeste e Norte foram as menos presentes entre os dados, menos de 7% e a velocidade nelas não ultrapassou 5,7 m/s. Somente na direção sul existem ventos acima de 8,8 m/s.

O comportamento do vento durante o ano mostra que para todas as fontes os ventos de Leste, Sudeste e Sul são predominantes. Isto se reflete na frequência para todo o período de dados (FIGURA 7). Nos dados do NCEP, a presença de vento de SE são mais significativos e representam 28% do total, mas chegou a 35% na primavera. Estas direções de maior frequência se explicam pela atividade do anticiclone do atlântico sul e da brisa marinha (Fomin e Dourado, 2013). No caso das observações da reanálise, a localização do ponto de análise deixou suas observações mais sujeitas a atuação do anticiclone, isso somado ao fato da área costeira estar próxima. Assim o domínio da componente SE também se dá pelo fato de ser o vento soprando frontalmente à área costeira, agindo do oceano para o continente. Os ventos de Sul, são mais frequentes somente no verão e primavera, mas os ventos mais intensos, normalmente estão nesta componente em todas as três fontes. Os ventos na componente Sul estão associados à entrada de sistemas frontais. Os resultados indicam que a entrada destes sistemas é mais importante no inverno e na primavera. Ventos intensos (acima de 8,8 m/s) podem também ocorrer nas direções NE e E, especialmente nos dados do NCEP na primavera. Os dados do QuikSCAT raramente ultrapassam o valor de 8,8 m/s e, de uma maneira geral, os ventos em todas as fontes tem maior frequência entre 3,5 m/s e 5,7 m/s.

Ao contrário das outras duas fontes, os dados do QuikSCAT mostram uma componente importante de NE e N. A componente de Nordeste aparece em todas as estações do ano e representa 21% do total (FIGURA 7). A componente de Norte, por sua vez, é importante no período de inverno.

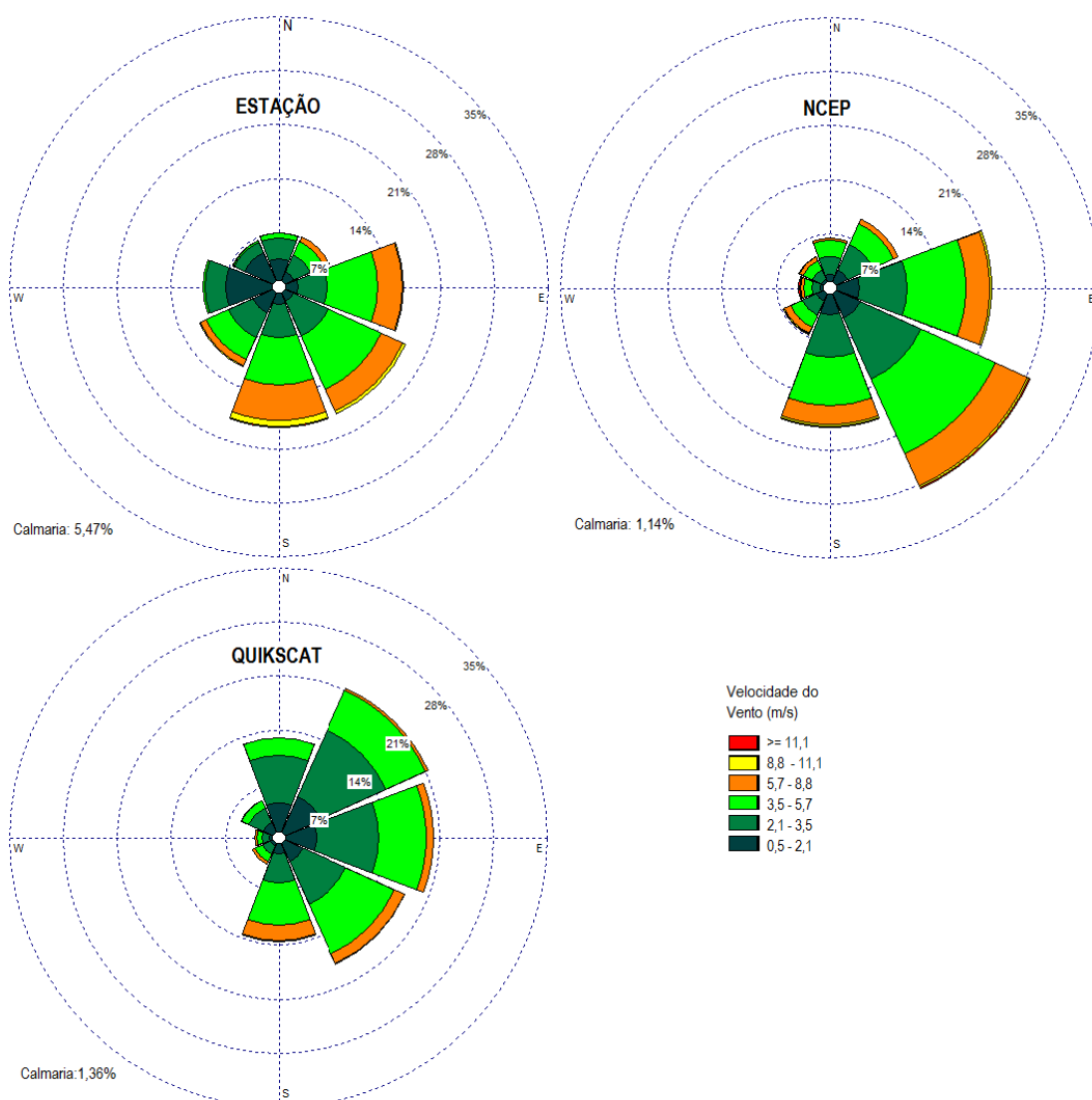


Figura 7. DISTRIBUIÇÃO DA FREQUÊNCIA DA VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO PARA TODO O PERÍODO DE DADOS, 1999 A 2009.

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A seguir (Tabela 1), é apresentado o resultado das análises estatísticas para os dados padronizados. Quando considera-se esta série de dados, as médias da velocidade encontrada foram de 3,45 m/s, 3,41 m/s e 3,06 m/s para o NCEP, estação e QuikSCAT, respectivamente. Estes valores são significativamente maiores que os discutidos na seção 4 utilizando todos os dados, que foram, 1,68 m/s, 2,44 m/s e 1,57 m/s para o NCEP, estação e QuikSCAT, respectivamente. Neste caso os

dados do NCEP, são os mais intensos, o que espera-se encontrar normalmente devido ao atrito. Em todos os casos o vento é predominante do segundo quadrante.

Observando a análise sazonal o verão e toda sua instabilidade é melhor representado pelas suas observações de superfície da Estação. Ela apresentou os valores mais altos dos seus resultados nesta estação. A maior média da intensidade do vento foi 3,91 m/s e a velocidade máxima chegou a 14,1 m/s. O maior desvio padrão observado chegou a 2,39 m/s. Na análise de variância apresentou 5,74 m/s de índice.

Houve uma defasagem temporal nos mesmos resultados citados anteriormente, mas para o NCEP e o QuikSCAT. Entre estas fontes os maiores resultados ocorreram na primavera, estação de transição que segundo Fomin e Dourado (2013) a temperatura média é mais amena ficando em torno de 20 °C, ficando sob a atuação de massas tropicais. A maior média da intensidade do vento encontrada para o NCEP foi de 4,2 m/s, e para o QuikSCAT foi de 3,35. A velocidade máxima do vento ocorreu 11,34, m/s do QuikSCAT. Os desvios padrão e variância para a reanálise e para o satélite foram respectivamente: 2,26 m/s, 1,98, 4,68 e 3,93. Houve apenas um evento de anomalia para a maior velocidade do vento do NCEP, ocorreu no outono, 15,25 m/s.

No inverno se concentraram os menores resultados da análise estatística. As menores médias foram: 2,75 m/s para a Estação, 3,06 m/s para o NCEP e 2,74 m/s para o QuikSCAT. Todas as fontes apresentaram observações para a velocidade nula do vento em todas as estações do ano e as menores intensidades máximas foram 11,63 e 8,13 m/s. Para os valores observados pela reanálise, a menor velocidade máxima ocorreu no verão com 11,21 m/s. Nos dados de reanálise o menor desvio padrão foi de 1,8 m/s, para o QuikSCAT foi de 1,36 m/s e 1,9 m/s foi para a estação. Os menores valores de variância foram: 1,85 m/s, 3,26 m/s e 3,64 m/s para o satélite, reanálise e para a estação respectivamente.

A concentração dos valores mínimos para média, máximo, desvio padrão e variância para a velocidade do vento das observações das três fontes no inverno, relembra o determinante papel da temperatura sobre a velocidade do vento. No

Tabela 1. RESULTADO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA. ESTAÇÃO (EST.), NCEP, QUIKSCAT (QUIK.). DESVIO PADRÃO (σ). VARIANCIA (σ^2)

Verão			Outono			Inverno			Primavera			TOTAL		
Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik
3,91	3,59	3,15	3,16	3,28	2,98	2,75	3,06	2,74	3,85	4,2	3,35	3,41	3,45	3,06
14,1	11,21	9,71	13,28	15,25	10,26	11,63	13,14	8,13	13,52	12,76	11,34	14,1	15,25	11,34
0	0,1	0	0	0,1	0,07	0	0,1	0,02	0	0,22	0,08	0	0	0
2,39	1,83	1,51	2,12	2,03	1,46	1,9	1,8	1,36	2,28	2,16	1,98	2,23	1,9	1,49
5,74	3,37	2,29	4,52	4,14	2,13	3,64	3,26	1,85	5,23	4,68	3,93	5,01	3,61	2,24
118,6	119,8	71,7	113,9	140	70,5	202,5	162,5	22,1	170,1	142,5	69,9	162,85	146,35	129,87
53,56	49,31	51,60	38,48	39,91	40,25	31,59	33,02	36,75	28,83	30,43	39,03	42,45	46,64	52,51

Tabela 2. RESULTADO TESTE DE CORRELAÇÃO SAZONAL E TOTAL. ESTAÇÃO – NCEP (EXN); ESTAÇÃO – QUIKSCAT (EXQ)

Verão		Outono		Inverno		Primavera		Total	
Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik
0,34	0,56	0,26	0,45	0,29	0,46	0,38	0,59	0,34	0,53
0,17	0,23	0,09	0,2	0,12	0,17	0,18	0,25	0,15	0,22

inverno, o centro de alta pressão do anticiclone, fica mais próximo sobre os pontos de análise, caracterizando um tempo estável e esta influência foi bem expressada pelos baixos valores de variâncias dos dados.

Para a direção o período total revelou as médias em torno das direções Leste, Sul e Sudoeste dentro dos dados de superfície. O desvio padrão se demonstrou maior na direção do vento na estação mais quente do ano e menor na primavera, $53,56^\circ$ e $28,83^\circ$ respectivamente. A média da direção do vento para a reanálise, ocorreram para Leste-Sudeste e Sul. O desvio padrão desta se apresentou maior para a direção do vento no verão e menor na primavera, $49,3^\circ$ e $30,4^\circ$ respectivamente. Dentro da análise dos dados de satélite as médias ficaram entre as componentes Norte-Nordeste e Leste-Nordeste. Assim como para as demais fontes, nos dados de verão, foi constatado o maior desvio padrão para a orientação do vento e o menor valor apareceu no inverno, $51,60^\circ$ e $36,75^\circ$ respectivamente.

Os resultados para o desvio padrão ressaltam o papel das massas que chegam sobre a região no verão, pois são mais intensas gerando alta instabilidade para a direção do vento. Fato já citado na seção anterior pela análise de frequência da direção do vento.

Na TABELA 2, são apresentados os valores encontrados na comparação entre os dados sazonais da Estação – NCEP (Est x NCEP) e Estação – QuikSCAT (Est x Quik). A análise de correlação para os dados de superfície e reanálise, demonstrou fraca linearidade entre os valores para velocidade do vento, a menor foi para o outono 0,26, e a maior no verão com 0,34. Para os dados de direção do vento a análise de correlação Estação – NCEP mostrou-se mais fraca, constando o maior valor na primavera, 0,18, e menor no outono, 0,09.

A comparação Estação e QuikSCAT, o melhor resultado da correlação entre os dados de velocidade do vento se revelou na primavera, 0,59, e o menor ocorreu no outono 0,45. No teste de correlação os dados para a direção do vento entre Estação – QuikSCAT apresentaram melhor linearidade na primavera, 0,25, e pior no inverno 0,17.

Observando o teste de correlação sobre o período total, os dados de satélite e da Estação, apresentaram melhor linearidade tanto para a direção como para a velocidade, 0,22 e 0,53 respectivamente. Na comparação Estação e NCEP os valores de correlação da intensidade vento foram de 0,34. Para direção do vento a correlação foi de 0,15 (superfície e re-análise).

O verão e toda sua instabilidade é melhor representado pelas observações de superfície, esta concentra os seus maiores resultados de variância e desvio padrão. Esperava-se que os mesmos resultados se repetissem para o NCEP e QuikSCAT. Entretanto foi o outono que apresentou a menor correspondência dos dados de velocidade, tanto na comparação Estação-NCEP com para Estação-QuikSCAT.

5.2 TENSÃO DO VENTO

Os resultados para do cálculo do Stress do vento são apresentados nesta seção. Na Tabela 5, pode-se observar os valores de τ sobre o total de dados da Estação, NCEP e QuikSCAT . Nota-se que a média do stress total para a Estação e NCEP foram equivalentes, $0,024 \text{ N m}^{-2}$, enquanto para os dados de satélite a média foi de $0,0167 \text{ N m}^{-2}$, revelando-se a menor entre as fontes. O maior valor máximo para o stress do vento foi obtido entre os dados de reanalise, $0,43 \text{ N m}^{-2}$. O menor máximo ocorreu entre os dados do QuikSCAT. Stress nulo foi observado para as três fontes.

Calculando o desvio padrão para os valores do stress, a Estação apresentou o maior índice e o QuikSCAT o menor, $0,029 \text{ N m}^{-2}$ e $0,016 \text{ N m}^{-2}$ respectivamente. Na análise de variância, valores encontrados acima do stress entre as observações das três fontes, não apresentaram grandes estimativas ou diferenças. Os valores foram de $0,0009 \text{ N m}^{-2}$ para a Estação, $0,0006 \text{ N m}^{-2}$ para o NCEP N m^{-2} e $0,0003 \text{ N m}^{-2}$ para QuikSCAT.

Em análise sazonal os maiores valores para a média do stress do vento foram encontrados na primavera para o NCEP e QuikSCAT, $0,0314 \text{ N m}^{-2}$ e $0,0198 \text{ N m}^{-2}$

respectivamente. Para as observações da Estação, o maior valor para a média do stress é encontrado no verão $0,0304 \text{ N m}^{-2}$. As menores médias foram presentes no inverno para a Estação e QuikSCAT, $0,0159 \text{ N m}^{-2}$ e $0,0135 \text{ N m}^{-2}$ respectivamente. Entre os valores da reanálise a menor média ocorreu no Outono, $0,0204 \text{ N m}^{-2}$.

O stress máximo de $0,4306 \text{ N m}^{-2}$ no verão, ocorreu entre os dados do NCEP no outono. Próximo a este valor máximo, $0,3495 \text{ N m}^{-2}$, foi constatado na estação de verão para as observações de superfície, na primavera ocorreu o menor valor máximo entre as fontes, $0,1972 \text{ N m}^{-2}$ entre os dados de satélite.

O desvio padrão calculado sobre o stress do vento sazonalmente, atingiu maior índice no verão, entre os dados da Estação, $0,0337 \text{ N m}^{-2}$, e na primavera para as observações do NCEP e QuikSCAT, $0,0297 \text{ N m}^{-2}$ e $0,0182 \text{ N m}^{-2}$ respectivamente. Os menores desvios ocorreram no inverno para as três fontes: $0,0215 \text{ N m}^{-2}$, para os dados Estação; $0,0226 \text{ N m}^{-2}$ para o NCEP; e $0,0133 \text{ N m}^{-2}$ para o QuikSCAT.

Na análise comparativa entre os valores de stress do vento, sazonalmente e total TABELA 4. No teste de correlação, os dados da Estação e QuikSCAT apresentaram melhores linearidades em toda análise sazonal, tendo o máximo na primavera, 0,62, e total equivalente a 0,57. Na comparação Estação – NCEP, a correlação total foi de 0,32, o melhor resultado foi encontrado entre os dados de primavera, 0,34.

Assim como a correlação encontrada sobre os dados de velocidade nas comparações das fontes, o resultado sobre stress se revelou com índices melhores sobre os dados da primavera. Como o esperado as maiores intensidades do vento na primavera resultam nos maiores resultados para o stress. Ambas comparações mantiveram boa linearidade entre os dados da estação.

Também são apresentados os resultados para o erro médio em cima dos valores de stress do vento. Entre os dados de superfície e reanálise foi constatado maior erro médio sobre todos os dados, 0,032. Sazonalmente, os maiores índices ocorreram na primavera para Estação-NCEP, 0,035, e no verão para Estação-

Tabela 3. RESULTADO DO STRESS DO VENTO (τ).ESTAÇÃO (EST), NCEP, QUIKSCAT (QUIK). DESVIO PADRÃO (σ).

Verão			Outono			Inverno			Primavera		
Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik	Est	NCEP	Quik
0,0304	0,0234	0,0176	0,0211	0,0204	0,0158	0,0159	0,0207	0,0135	0,029	0,0314	0,0198
0,34	0,19	0,13	0,29	0,43	0,15	0,21	0,29	0,09	0,31	0,26	0,19
0,0337	0,0234	0,0161	0,0284	0,0235	0,0152	0,0215	0,0226	0,0133	0,0324	0,0297	0,0182

Total			
	Est	NCEP	Quik
$\bar{\tau}$	0,024	0,024	0,0167
τ_r	0,34	0,43	0,19
σ_r	0,0299	0,0254	0,016

Tabela 4. análise comparativa do stress do vento. Estação – NCEP (EST x NCEP); Estação – QuikSCAT (EST x QUIK)

Verão		Outono		Inverno		Primavera		Total	
Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik	Est x NCEP	Est x Quik
0,3389	0,6089	0,2446	0,504	0,3079	0,5068	0,3492	0,6217	0,3246	0,5791
0,0347	0,03	0,0322	0,0251	0,0264	0,0188	0,0356	0,027	0,0323	0,0255

QuikSCAT, 0,03. Os menores resultados de RMS, se revelaram no inverno para as duas comparações: Estação – NCEP com o valor de 0,026; Estação – QuikSCAT com 0,018.

O maior stress do vento se apresentou para as observações de superfície e reanálise, o que era esperado pois estas também apresentaram as maiores intensidades do vento. O resultado do desvio padrão ressalta a variabilidade dos dados da Estação.

Segundo Fomin e Dourado (2013), apesar do inverno ser a estação com maior frequência de dias consecutivos de chuvas, elas são de pouca intensidade sobre a região. Por isso as chuvas deste período não alteraram a rugosidade do oceano, não interferindo nos valores encontrados para o stress do vento. A densidade das nuvens presentes nesta estação, tão pouco interferiram nas medições do NCEP e QuikSCAT, por isso menores resultados de RMS também são observados no inverno.

Os piores resultados de RMS foram constatados em diferentes estações do ano para o stress do vento nas duas comparações. O maior resultado de erro para a Estação-NCEP ocorreu para a primavera, quando os resultados de correlação para o stress, velocidade e direção do vento constavam melhores. Sobre a região a primavera é caracterizada sobre a influência de massas de ar tropicais, estas quentes e úmidas. Essa feição conduz a alta umidade relativa no ar, acarretando na formação de nuvens de chuva que podem acabar interferindo nas medições do NCEP.

Na comparação Estação-QuikSCAT o RMS maior no verão pode estar associado ao erro de cálculo do satélite em presença das nuvens mais densas que acompanham esta estação. Esta característica atmosférica pode atenuar o sinal emitido pelo escaterômetro resultando em valores menos intensos da velocidade e por seguinte de stress.

6 CONCLUSÃO

A intensidade do vento medida pela Estação mensalmente, assim como a variância dos seus dados totais, foi mais alta do que as das outras fontes. Características que refletem a acurácia que medições in situ possuem e por se tratar de uma medição pontual, demonstrando melhor as forças que atuam na região. Os resultados do stress do vento estiveram de acordo com os resultados para velocidade das fontes. Os valores encontrados para velocidade e stress do QuikSCAT se assemelharam melhor com a Estação do que do que para o NCEP.

Grande parte das incoerências nas observações do NCEP e da Estação se revelou acima da sua localização e pela extensão dos seus grids de análise. Pois quando em análise total o NCEP refletiu bem a sua localização, possuindo valores mais intensos de intensidade do vento e conseqüentemente de stress, pois este está sobre uma área de abrangência mais oceânica do que costeira.

Para as comparações acima da direção do vento, o coeficiente de correlação revelou discordância entre os dados das três fontes. A localização das análises continuou a ser o principal fator de interação sobre a direção. Para o QuikSCAT a localização está dentro estuário, assim a topografia apresentaria obstáculos para o vento vindo do oceano (SE) resultando em mais frequências para norte nordeste. Estas direções diferenciam para a Estação e o NCEP. Estes mantêm o padrão do vento a SE sendo influenciadas pelos sistemas atmosféricos. Talvez um estudo sobre a circulação de pequena escala para o ponto de localização do QuikSCAT, a exemplo de Biteincurt e Acevedo (2005), possa encontrar as forças que agem sobre o escoamento ou possível canalização do vento no estuário.

Para Baptista (1998) análises de interpolação para pontos de localização exatos, são melhores métodos para comparação na acurácia de dados de vento do NCEP e dados de satélite. O resultado do RMS encontrado no trabalho destes autores refletiu a alta variação atmosférica da região, normalmente encontrada em dados de superfície, devido a atuação dos ventos alísios.

O índice de RMS para o stress do vento encontrado referiu-se a acurácia dos produtos quanto à proximidade da estação. No caso o QuikSCAT os menores erros corresponderam aos melhores índices de correlação. O modo de divisão do

grid de análise para cálculo dos vetores do vento do QuikSCAT apresentado em sua terceira versão (PO.DAAC, 2013), resulta em uma melhor metodologia, pois refina a área amostrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYOADE, J. O 1983 **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil Ltda., 2004. Tradução: Maria Juraci Zanni dos Santos.

BAPTISTA, M. C.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. 2002 **Estudo do campo de vento de superfície sobre o Atlântico sul usando dados do escaterômetro do ERS**. Pesquisa Naval, Nº15, Cap. XIV.

BIGARELLA, J.J. 2001**Contribuição ao estudo da Planície Litorânea do estado do Paraná**. Brazilian Archives of Biology and Technology, Jubilee Volume (1946-2001): 65-110p.Brasil. Rio de Janeiro.

BROWN, J.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. 1989 **Ocean Circulation**, The Open University England.

CLARO, M. S.; LORENZZETTI, J. A. 2009 **Avaliação do campo de vento marinho obtido a partir de imagens ENVISAT/ASAR para a Baía de Campos**, RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal abril, INPE, p. 6423-6429.

DU, Y.; VACHON, P. W.; WOLFE, J. 2002 **Wind direction estimation from SAR images of the ocean using wavelet analysis**. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 03, p. 498-509.

HE R.; LIU Y. and WEISBERG R. H. 2004 **Coastal ocean wind fields gauged against the performance of an ocean circulation model**. Geophysics. Res. Lett., 31:L14303, doi:10.1029/2003GL019261.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., et al., 1996 **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 77, pp. 437-471,.

KARA A. B., WALLCRAFT J., BARRON C.N, HURLBURT, H.E. and BOURASSA M.A. 2008 **Accuracy of 10m winds from satellites and NWP products near land-sea boundaries**. J. Geophys. Res.,113:C10020, doi:10.1029/2007JC0045516,.

PO.DAA. QuikSCAT Level 2B Version 3. **Guide Document**. NASA JPL Physical Oceanography DAAC, Pasadena, CA. 2013.

LARGE, W. G. E POND, 1981 **Open ocean momentum flux measurements in moderate to Strong winds**. J. Phys. Oceanogr., 11, 324-336.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R.; CARRILHO, J.C. 2004. **Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR**. Boletim Paranaense de Geociências, 55: 77-82p.

MARTIN, S. **An introduction to ocean remote sensing**. Second ed. Cambridge University Press, 2014.

MONALDO, F. M.; BEAL, R. 2004 **Wind speed and direction**. In: Jackson, C. R.; Apel, J. R. Synthetic Aperture Radar marine user's manual. Washington, DC. cap. 13, p. 305-320.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA I. M. 2007 **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto.

MEISSNER, T.; SMITH, D. and WENTZ, F. J. 2001 **A 10-year intercomparison between collocated SSM/I oceanic surface wind speed retrievals and global analyses**, J. Geophys. Res., 106(C6), 11,731– 11,742.

MILES, J. W., 1957 **On the generation of surface waves by shear flows**. J. Fluid Mech., v. 22. p. 185-204.

NELSON, C. S. **Wind stress and wind stress curl**, 1976. Yale University. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10945/17996>>. Out 2014.

NIMER, E. 1957 Clima. In: **Geografia do Brasil – Região Sul**. V. 2. Rio de Janeiro: IBGE, 1988.

OSUNA, P.; MONBALIU, J. **Wave–current interaction in the Southern North Sea**. **Journal of Marine Systems**, v. 52, n. 1-4, p. 65–87, 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924796304001630>>. Acesso em: 7/11/2013.

PHILLIPS, O. M. **On the generation of wave by turbulence wind**. J. Fluid Mech., v. 2, p. 417-445.

QUILFEN, Y.; CHAPRON B. and VANDEMARK D. 2001 **The ERS scatterometer wind measurement accuracy: Evidence of seasonal and regional biases**, Oceanic Technol. J. Atmos., v.18, 1684– 1697.

RAMOS, A.M.; L.A.R. SANTOS & L.T.G. FORTES. 2009. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasilia, Instituto Nacional de Meteorologia, 465p

STILES, B. W. and YUEH S. H. 2002 **Impact of Rain on Spaceborne Ku-Band Wind Scatterometer Data**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, VOL. 40, NO. 9.