

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE VENTO ASCAT E MEDIÇÕES AO LONGO DA PORÇÃO OESTE DO OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL-SUL

Vitor Galazzo de Paiva¹, Rosio Camayo², Milton Kampel¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (OBT/DSR). Av. dos Astronautas, 1758 - Sao José dos Campos, SP - 12227-010;

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/DMD), Rod. Presidente Dutra, km 40 - Cachoeira Paulista, SP - 12630-000.

{vitor.paiva, rosio.camayo, milton.kampel}@inpe.br

RESUMO

O conhecimento sobre o comportamento do vento na superfície do mar é essencial para diversos estudos e aplicações. Dados de vento da superfície do oceano estimados pelo *Advanced SCATerometer* (ASCAT) foram comparados estatisticamente com medidas obtidas por anemômetros instalados em boias fundeadas em regiões costeiras e oceânicas da margem continental brasileira. As comparações mostraram um viés de 0,02 m/s e um erro médio quadrático (RMSE) entre 0,97 e 1,48 m/s em relação às boias oceânicas e costeiras, respectivamente. Entre as direções, foi observado um viés de 3,77 e 8,68 graus e RMSE de 43,78 e 97,2 graus para as regiões oceânicas e costeiras, respectivamente. De modo geral, as análises mostraram que as estimativas ASCAT sobrestimam as velocidades médias e subestimam as velocidades mais baixas e mais intensas nas regiões costeiras. Em estudos futuros, seria complementar uma abordagem discriminada entre as boias e a comparação conjunta das componentes zonal e meridional dos ventos.

Palavras-chave – Vento na superfície do oceano, escaterômetro, boias fundeadas, margem continental brasileira.

ABSTRACT

Knowledge about the behavior of the sea surface wind is essential for several studies and applications. Ocean surface wind data estimated by the Advanced SCATerometer (ASCAT) were statistically compared with measurements obtained by anemometers installed in moored buoys in coastal and oceanic regions of the brazilian continental margin. The comparisons showed a bias of 0.02 m/s and a root mean square error (RMSE) between 0.97 and 1.48 m/s in relation to the oceanic and coastal buoys, respectively. Among the directions, a bias of 3.77 and 8.68 degrees and RMSE of 43.78 and 97.2 degrees were observed for the oceanic and coastal regions, respectively. Overall, the analyzes showed that ASCAT overestimate intermediate speeds and underestimate lower and higher speeds in coastal regions. In future studies, it would be complementary a discriminated approach between the buoys and the joint comparison of the zonal and meridional wind components.

Key words – Ocean surface wind, scatterometer, moored buoys, brazilian continental margin.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre o comportamento dos ventos na superfície do mar (VSM) é de alta relevância para estudos de interação entre o oceano e atmosfera uma vez que constituem os principais forçantes dos processos atmosféricos e oceânicos que regem o clima regional [1], funcionando como importantes indicadores de mudanças climáticas [2]. A variabilidade dos campos de vento em superfície está intrinsecamente ligada à de processos oceânicos, como a ressurgência costeira, produtividade primária, formação de águas profundas, transporte advectivo de volume e fluxos de momentum, calor e trocas gasosas entre a interface oceano-atmosfera [2]. Desta forma, ter capacidade para medir a velocidade e a direção dos VSM com boa acurácia torna-se essencial para o estudo destes processos, considerando também, os impactos na previsão do tempo, navegação, obras de engenharia e geração de energia eólica *offshore* [2–5].

A medição do VSM *in situ* é realizada por meio de anemômetros em boias fundeadas, mastros meteorológicos e em navios, ou através de sensores de *Light Detection and Ranging* (Lidar), fornecendo dados precisos e acurados. No entanto, estas técnicas são limitadas a mensurações pontuais que demandam altos custos de instalação e manutenção, além da limitação para representar o comportamento do vento em grandes escalas espaciais [3, 6]. Modelos de previsão numérica são capazes de simular o VSM em escala global, mas dependem do conhecimento existente sobre os processos físicos e da disponibilidade de dados utilizados para estabelecer as condições iniciais das simulações [3, 6]. Por outro lado, a amostragem realizada por sensores a bordo de plataformas orbitais fornece dados dos VSM em escala global, cobrindo regiões remotas normalmente caracterizadas pela disponibilidade de dados *in situ* esparsos, com uma acurácia relativamente boa, alta resolução espacial e temporal [2].

Os escaterômetros são sensores ativos de micro-ondas, os quais, por meio do registro da intensidade do sinal retroespalhado, devido à rugosidade da superfície do oceano, permitem que a velocidade e a direção do vento sejam estimadas através de Funções de Modelo Geofísico (GMF, do inglês *Geophysical Model Function*). A *National Aeronautics and Space Administration* lançou o primeiro escaterômetro a bordo da missão espacial *Seasat* em 1978, o qual provia dados de VSM com 50 km de resolução espacial com faixas de varredura de 500 km de largura. Desde então, os sensores e as GMF têm evoluído fornecendo dados cada vez mais acurados e de melhor resolução espacial, e cada vez mais próximos da região costeira, minimizando a contaminação dos dados

devido à proximidade com os continentes.

O *Advanced SCATerometer* (ASCAT) é o escaterômetro a bordo das plataformas Meteorological OPERational satellites (MetOP) lançadas em 2006 (MetOP-A) e 2012 (MetOP-B) pela ação conjunta da *European Space Agency* e *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT). Esforços de validação das estimativas do VSM pelo ASCAT já foram realizados utilizando dados de reanálise e de boias fundeadas distribuídas ao longo do oceano global [7–15]. Entretanto, para regiões costeiras, tais validações foram realizadas apenas com boias fundeadas em regiões próximas da América do Norte e Europa. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo comparar os dados de VSM estimados pelo ASCAT com os de anemômetros em boias fixas na porção oeste do Atlântico Tropical-Sul, ao longo da margem continental brasileira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

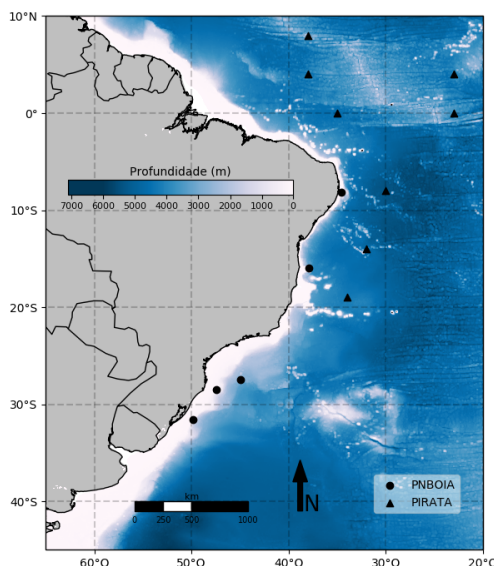


Figura 1: Mapa da área de estudo com localização das boias.

A área considerada neste estudo está compreendida entre as latitudes 10°N-45°S e longitudes 20°W-65°W (Figura 1). Dentro destes limites estão instaladas as boias do Programa Nacional de Boias (PNBOIA, <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-goos-brasil/pnboia>) e do Programa *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* (PIRATA, <https://www.pmel.noaa.gov/gtmba/pirata>). A circulação atmosférica da região é dominada pela Alta Subtropical do Atlântico Sul, contribuindo principalmente com ventos dos quadrantes leste-nordeste sobre a margem continental brasileira. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) contribui com ventos intensos de leste na região equatorial. Nas porções mais ao sul, a chegada de frente frias associadas a passagem de ciclones extratropicais contribuem com ventos dos quadrantes sul-sudeste, intensificados durante o inverno [16, 17].

2.2. Dados

As boias do PNBOIA selecionadas para este estudo estão fundeadas sobre a plataforma continental brasileira, a uma distância da costa entre aproximadamente 35 e 150 km (círculos na Figura 1). Os dados destas boias têm frequência de amostragem horária, com medições desde 2009. As boias do PIRATA selecionadas estão situadas na porção sudoeste do Atlântico subtropical (triângulos na Figura 1). Estes dados apresentam uma frequência de amostragem de 10 minutos com medições desde 1997.

O produto ASCAT nível 2 com 12,5 km de resolução espacial e denominado como *winds data record release 1* do Metop (<http://projects.knmi.nl/scatterometer/ascatcdr/>) é disponibilizado pela *Ocean and Sea Ice Satellite Applications Facility* (OSI-SAF) da EUMETSAT. Foi selecionado para ser utilizado neste estudo por apresentar uma qualidade científica como a qual é requerida para constituir um *Climate Data Record*. Este produto é fruto do reprocessamento do VSM para a altura de 10 m do nível do mar a partir de dados ASCAT/MetOP-A otimizados para regiões costeiras, no período entre 01/2007 – 03/2014, disponibilizados *along-track*. Cada dia contém cerca 14 ciclos orbitais em torno do globo.

2.3. Métodos

Os dados de vento das boias foram extrapolados para a altura de 10 m segundo o método de Liu *et al.* [18]. As séries temporais dos dados de VSM das boias PNBOIA e PIRATA foram comparadas separadamente com as séries de dados ASCAT referentes às suas respectivas localizações, tendo-se assim, dois conjuntos de dados relativos às regiões costeira (PNBOIA x ASCAT, chamado daqui em diante de Conjunto Costeiro - CC) e oceânica (PIRATA x ASCAT, chamado daqui em diante de Conjunto Oceânico - CO). A seleção das medições que compõem as séries pareadas dos dois conjuntos foi realizada de modo que o intervalo de tempo entre os pares das séries fosse o mais próximo possível com uma tolerância máxima de 30 minutos de defasagem. Apesar do controle de qualidade previamente aplicado aos dados de boias pelos seus respectivos distribuidores, decidiu-se aplicar um filtro para remoção de *spikes*, valores repetidos, ou que estivessem fora do intervalo 0-50 m/s [19].

Após a filtragem dos dados, cada conjunto costeiro e oceânico foi comparado estatisticamente com uso das seguintes métricas estatísticas: viés (*bias*), erro médio quadrático (RMSE, do inglês *Root Mean Square Error*), inclinação (*slope*), coeficiente de correlação (R) e de determinação (R²). O ajuste de uma Função de Densidade de Probabilidade (PDF) utilizando a distribuição de Weibull e histogramas polares foram realizados para cada série temporal dos dois conjuntos, com intenção de verificar a diferença entre a frequência de ocorrência das velocidades e das direções dos conjuntos de dados comparados.

3. RESULTADOS

Em ambos os conjuntos de dados comparados, o viés entre as séries foi próximo de zero, ou de aproximadamente 0,02 m/s

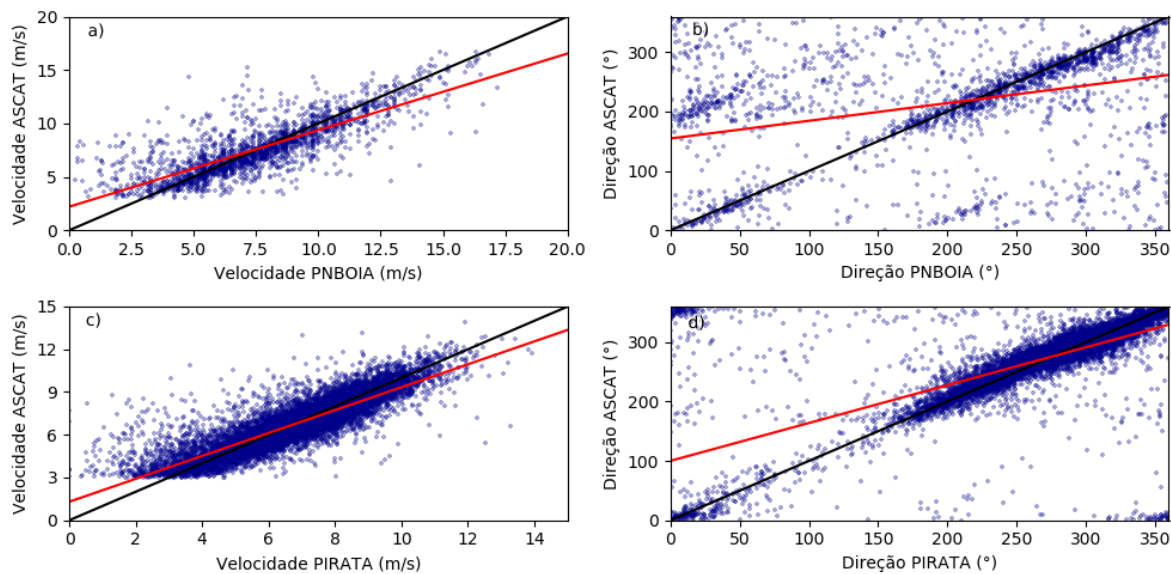


Figura 2: Gráficos de dispersão entre as velocidades (a) e direções (b) do CC e entre as velocidades (c) e direções (d) do CO. A linha vermelha e a linha preta representam o ajuste da reta da regressão e a comparação perfeita das séries, respectivamente.

(Tabela 1). Os valores de RMSE obtidos para as velocidades do vento variaram entre 0,97 e 1,48 m/s para o CC e CO, respectivamente. Em geral, as outras métricas estatísticas utilizadas na comparação das velocidades não divergiram muito entre os dois conjuntos de comparações (Tabela 1), sendo que os melhores resultados foram para o conjunto CO (RMSE mais próximos de 0 e R, R² e *slope* mais próximos de 1). Tal comportamento é evidenciado também nos gráficos de dispersão das Figuras 2a e 2c.

As métricas estatísticas aplicadas na comparação entre as direções do vento dos dois conjuntos de dados apresentam um viés de -3,77 e -8,68 graus e RMSE de 43,78 e 97,2 graus, respectivamente, para o CO e CC (Tabela 1). Nas Figuras 2b e 2d é possível observar uma maior dispersão das direções pareadas para o CC em relação ao CO. Nos histogramas polares das séries comparadas observa-se uma frequência das direções bastante similar para as séries do CO (Figuras 3e e 3f), enquanto que para o CC, nota-se uma superestimação das frequências de direções do ASCAT entre os quadrantes NNE e ESE em detrimento das outras direções (Figuras 3b e 3c).

Ao analisar as PDF do CO (Figura 3d), observa-se que a distribuição das frequências de ocorrência das velocidades do PIRATA e do ASCAT são bem pareadas, sendo que o ASCAT sobrestima (subestima) minimamente as frequências de ocorrência das velocidades menores (maiores) que 7,8 m/s. Em relação às PDF do CC (Figura 3a), nota-se que dentro do intervalo de velocidades entre 5,6 e 11,5 m/s, o ASCAT sobrestima as frequências observadas pelo PNBOIA. Fora deste intervalo as frequências das velocidades são subestimadas.

4. DISCUSSÃO

Estudos anteriores apresentaram validações positivas dos dados ASCAT. Por exemplo, Bentamy *et al.* [7] obteve correlações maiores que 0,88, viés menor que 0,5 m/s e RMSE menor que 1,8 m/s ao comparar estimativas do VSM

Tabela 1: Resultados das análises estatísticas entre os dois conjuntos de dados

Conj. de dados	Parâmetro	N Amostral	bias	RMSE	R	R ²	slope
CC	Vel. (m/s)	2058	0,02	1,48	0,79	0,62	0,88
	Dir (°)	2058	-8,68	97,22	0,31	0,1	0,36
CO	Vel. (m/s)	11505	0,02	0,97	0,86	0,74	0,94
	Dir (°)	11505	-3,77	43,78	0,64	0,41	0,70

com dados ASCAT e dados de boias fundeadas. Mais recentemente Verhoef *et al.* [15] também compararam os produtos operacionais do ASCAT encontrando um viés de 0,04 m/s entre estimativas de velocidades do produto ASCAT otimizado para regiões costeiras e medições obtidas com boias fundeadas.

Comparativamente, pode-se afirmar que os resultados obtidos neste trabalho para as comparações das velocidades do vento ASCAT com os dados in situ das boias, para ambos os conjuntos CO e CC foram satisfatórios. O viés encontrado para ambos os conjuntos de dados comparados foi menor que 0,5 m/s, o qual é um requerimento da qualidade do produto estabelecido pela OSI-SAF [20]. No entanto, as comparações entre as estimativas de direção para o CC não foram consideradas satisfatórias. Talvez, a janela temporal de até 30 minutos ou a proximidade da costa podem ter contribuído com este resultado. Diferentemente da comparação entre as PDF do CO, a comparação entre as PDF do CC apresentaram uma sobrestimação das frequências das velocidades intermediárias (entre 5,6 e 11,5 m/s) e uma subestimação das frequências das velocidades baixas (< 5,6 m/s) e altas (> 11,5 m/s) do vento.

5. CONCLUSÕES

Em relação as velocidades do vento comparadas para as regiões costeira e oceânica da margem continental

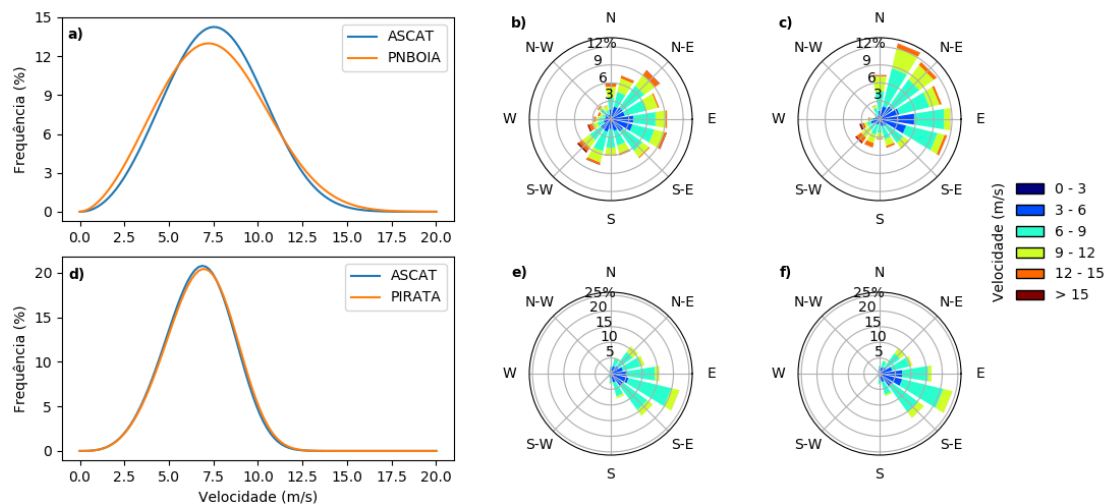


Figura 3: Análises de distribuição das frequências de ocorrência das velocidades e direções. PDF de Weibull para o CC (a) e os histogramas polares das séries temporais do PNBOIA (b) e do ASCAT (c). PDF de Weibull para o CO (d) e os histogramas polares das séries temporais do PNBOIA (e) e do ASCAT (f).

brasileira, as métricas estatísticas apresentaram resultados considerados satisfatórios. No entanto, as estimativas de direção do VSM com dados ASCAT para a região costeira divergiram consideravelmente das medições *in situ*. As velocidades estimadas pelo ASCAT em regiões costeiras são sobrestimadas no intervalo 5,6-11,5 m/s e subestimadas fora deste intervalo. Este padrão deve ser levado em consideração em estudos futuros. Sugere-se também, que sejam realizadas comparações separadas para cada boia costeira, analisando-se ainda, as componentes zonal e meridional dos vetores do vento.

6. REFERÊNCIAS

- [1] RICCIARDULLI, L.; MEISSNER, T.; WENTZ, F. Towards a climate data record of satellite ocean vector winds. In: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International*. [S.l.], 2012. p. 2067–2069.
- [2] BOURASSA, M. et al. Remotely sensed winds and wind stresses for marine forecasting and ocean modeling. *Proceedings of OceanObs*, v. 9, 2010.
- [3] YOUNG, I. Seasonal variability of the global ocean wind and wave climate. *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library, v. 19, n. 9, p. 931–950, 1999.
- [4] ATLAS, R. et al. The effects of marine winds from scatterometer data on weather analysis and forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, American Meteorological Society, v. 82, n. 9, p. 1965–1990, 2001.
- [5] LIU, W. T.; TANG, W.; XIE, X. Wind power distribution over the ocean. *Geophysical Research Letters*, Wiley Online Library, v. 35, n. 13, 2008.
- [6] LIU, W. T. Progress in scatterometer application. *Journal of Oceanography*, Springer, v. 58, n. 1, p. 121–136, 2002.
- [7] BENTAMY, A.; CROIZE-FILLON, D.; PERIGAUD, C. Characterization of ascats measurements based on buoy and quikscat wind vector observations. *Ocean Science*, Copernicus Publications, v. 4, n. 4, p. 265–274, 2008.
- [8] VERSPEEK, J. et al. Validation and calibration of ascats using cmod5. n. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, v. 48, n. 1, p. 386–395, 2010.
- [9] STOFFELEN, A.; VOGELZANG, J.; VERHOEF, A. Verification of scatterometer winds. In: *10th international winds workshop*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 20, n. 2, p. 2010–26.
- [10] CHOU, K.-H.; WU, C.-C.; LIN, S.-Z. Assessment of the ascats wind error characteristics by global dropwindsonde observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Wiley Online Library, v. 118, n. 16, p. 9011–9021, 2013.
- [11] VERHOEF, A.; STOFFELEN, A. Ascats coastal winds validation report. *Ocean and Sea Ice SAF Technical Note SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/RP/176 on Product OSI-104, Version 1. 5*, KNMI, 2013.
- [12] LIN, W. et al. Ascats wind quality control near rain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, v. 53, n. 8, p. 4165–4177, 2015.
- [13] VERHOEF, A.; VOGELZANG, J.; STOFFELEN, A. Ascats 12 winds data record validation report. *Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility, De Bilt, Netherlands, Tech. Rep. SAF/OSI/CDOP2/KNMI/TEC/RP/239*, 2016.
- [14] STOFFELEN, A. et al. The cmod7 geophysical model function for ascats and ers wind retrievals. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, v. 10, n. 5, p. 2123–2134, 2017.
- [15] VERHOEF, A.; STOFFELEN, A. Ascats winds validation report. *Ocean and Sea Ice SAF Technical Note SAF/OSI/CDOP3/KNMI/TEC/RP/326, Version 1*, KNMI, 2018.
- [16] PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the south atlantic ocean. *Progress in oceanography*, Elsevier, v. 26, n. 1, p. 1–73, 1991.
- [17] BROWN, J. *Ocean circulation: prepared by an Open University course team*. [S.l.]: Elsevier, 2016.
- [18] LIU, W. T.; KATSAROS, K. B.; BUSINGER, J. A. Bulk parameterization of air-sea exchanges of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 36, n. 9, p. 1722–1735, 1979.
- [19] NDBC. Handbook of automated data quality control checks and procedures. *NDBC Technical Document 09-02*, 2009.
- [20] OSI-SAF. *Ocean and Sea Ice SAF Product Requirement Document*. [S.l.].