

Fusão de bandas MODIS na condição geométrica de *sunlint* para estudos oceanográficos

Lucas Barbedo de Freitas¹
Giovanni de Araujo Boggione^{1,2}
Milton Kampel¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
lucasbf,milton@dsr.inpe.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG
Rua 75, N° 46, Setor Central. 74055-110 – Goiânia - GO, Brasil
giovanni@dpi.inpe.br

Abstract. Observing the sunlint, i.e., the specular reflection between Sun, sea surface, and sensor, which intensity depends on the geometry of acquisition, allows the observation of surface oceanic features in a similar way as when using synthetic aperture radar images. The basis of this approach is that both images are affected by changes in sea surface roughness that can be caused by different oceanographic processes, such as internal waves, fronts, wind friction and the presence of biological or mineral surfactant films. Considering that near-infrared (NIR) wavelengths are normally absorbed already at sea surface skin depths or are reflected when on specular conditions, it is assumed here that they might discriminate more expressively the sea surface roughness than the visible (VIS) wavelengths. In this context, an image fusion technique was adapted to be applied to a MODIS image under sunlint condition. The NIR band with a 250 m spatial resolution simulated a panchromatic band for the sharpening of other concomitant VIS 500 m resolution MODIS bands. The fusion method here used preserved the radiometric characteristics and the sea surface roughness features on the resulted image allowing an improvement of the image interpretation.

Keywords: Gram-Schmidt image pan-sharpening, Sunlint, Sea surface roughness .

1. Introdução

A condição geométrica de *sunlint* ou *Sun Glitter* refere-se imagens em ângulo de reflexão especular entre sol, superfície do mar e visada do sensor remoto. A superfície do mar sofre atrito com o vento e gera ondas capilares de orientação caótica, aumentando a rugosidade da superfície. Um conceito de micro-facetadas para a superfície do mar foi utilizado por Cox e Munk (1954) para quantificar este processo a partir de uma função de densidade de probabilidade em função da velocidade, direção do vento e da geometria de aquisição (sol-superfície-sensor). Sendo assim, de acordo com a velocidade e direção do vento na superfície do mar, a orientação preferencial destas micro-facetadas se altera. Quando a orientação predominante das micro-facetadas se aproxima do ângulo de reflexão especular, o sinal predominante na visada do sensor é o da reflexão especular na superfície do mar.

Na condição de *sunlint*, imagens destinadas a estudos da cor do oceano são geralmente mascaradas, descartadas ou sofisticados métodos de remoção do sinal de *sunlint* fazem-se necessários, como discutido por Kay, Hedley e Lavender (2009). Além da influência do vento, outros processos oceanográficos e também meteorológicos podem modular ou interferir na orientação ou formação das ondas capilares, como por exemplo, ondas internas solitárias (LORENZZETTI; DIAS, 2013), frentes térmicas como vórtices, frentes, meandros (GAGLIARDINI; COLÓN, 2004), manchas de petróleo (KUDRYAVTSEV et al., 2012), exsudações naturais (HU et

al., 2009) e filmes surfactantes produzidos pelo fitoplâncton (BENTZ; LORENZZETTI; KAMPEL, 2004), *rolls* atmosféricos (ALPERS; BRÜMMER, 1994) e instabilidade na camada oceano atmosférica (KHATTAK et al., 1991). Assim, as feições que interferem na rugosidade de superfície podem ser detectadas e estudadas através de imagens na condição geométrica de *sunlint*. A aplicabilidade de imagens ópticas na condição geométrica de *sunlint* em estudos de processos do oceano não é recente. Diversos autores já investigaram o potencial de imagens na condição de *sunlint*, como por exemplo, Khattak et al. (1991) e Soules (1970) para intensificar frentes oceanográficas (interface entre distintas massas d'água) ou Cox e Munk (1954), Levanon (1971), Wylie, Hinton e Millett (1981) em estimativas de velocidade e direção do vento.

As aplicações derivadas de medidas indiretas da rugosidade na superfície do mar, ou seja a partir as modulações das ondas capilares, tem sido em grande parte atribuídas aos sensores de microondas ativos, principalmente o Radar de Abertura Sintética (SAR) devido a capacidade de obter estimativas da superfície do mar em todas as condições atmosféricas, mesmo com a cobertura de nuvens. As diversas aplicações oceanográficas dos sensores SAR podem ser detalhadas no manual *Synthetic aperture radar marine user's manual* organizado por Jackson e Apel (2004). É importante salientar que as estimativas de parâmetros oceanográficos pelo SAR são resultados do espalhamento Bragg, que ocorre devido a presença de ondas capilares de comprimento específico. Sendo assim, o conhecimento e a compreensão das feições observadas no SAR podem ser utilizadas para auxiliar o entendimento de imagens ópticas no *sunlint*, uma vez que ambos estão relacionados ao sinal promovido pelas ondas capilares. Vários sensores remotos ópticos estão disponíveis na internet sem custo para comunidade internacional e trazem uma variedade de imagens de diferentes resoluções espaciais, temporais entre outras características. Como exemplo podemos citar o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS (www.cbears.inpe.br) e o portal *OceanColor* da *National Aeronautics and Space Administration* NASA (oceancolor.gsfc.nasa.gov). Essa abrangência, coloca as imagens em condição de *sunlint* como uma importante ferramenta para o monitoramento dos oceanos e estudos ligados a rugosidade da superfície marinha.

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* MODIS devido sua órbita heliosíncrona e ampla faixa imageada com 2330 km de largura produz frequentemente imagens na condição de *sunlint*. Dentro das várias bandas disponíveis no sensor (BARNES; PAGANO; SALOMONSON, 1998), o MODIS possui bandas centradas em 459 nm na região do azul, 555 nm no verde e 645 nm no vermelho, com resolução espacial de 500 m, além de uma banda em 859 nm no infravermelho próximo (NIR) com resolução espacial de 250 m. O oceano pode ser considerado como um corpo negro para o comprimento de onda 859 nm, pois a energia neste comprimento de onda é praticamente absorvida já na camada de pele (*skin*). De maneira diferente, na condição de *sunlint*, a radiação eletromagnética é predominantemente refletida e não penetra no corpo d'água. Uma vez que a radiação eletromagnética no NIR é absorvido na camada marinha de pele ou refletida. Quando na condição de *sunlint*, a banda NIR traz informação da rugosidade da superfície marinha com menor interferência da coluna d'água. Diferente das bandas do visível, que mesmo na condição geométrica de *sunlint*, há também o sinal dos componentes inerentes da coluna d'água.

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia eficaz para fusão de imagens MODIS em condição de *sunlint*, baseada na técnica de Gram-Schmidt GS (Brower, Bernard V and Laben, 2000), entre as bandas do visível de resolução espacial de 500 m e a banda NIR (250 m) obtidas numa mesma aquisição. O intuito foi realçar feições de superfície que podem ser

associadas a processos oceanográficos e meteorológicos sobre a coluna d'água. Ressaltando feições formadas na rugosidade da superfície marinha e permitindo uma melhor interpretação dos processos contidos na coluna d'água (abaixo superfície do mar), ou seja, rugosidade e propriedades ópticas inerentes.

2. Metodologia de Trabalho

As imagens adquiridas por sensoriamento remoto devido as características de frequência de reamostragem e cobertura espacial fornecem uma consistente ferramenta para observação da Terra. Entretanto inúmeros procedimentos devem ser aplicados a estas imagens para se obter informações acuradas e precisas dos diversos processos. Dentro destes métodos, a técnica de fusão de imagens permite que imagens com maior resolução espacial, melhore a resolução espacial de bandas de resolução menos refinadas (FONSECA; NAMIKAWA; CASTEJON, 2009). Algumas aplicações costeiras e em limnologia também utilizam esquemas de fusão de imagens SAR e ópticas, como por exemplo, no estudo sobre ambientes lacustres da planície Amazônica com SAR e imagens ópticas Thematic Mapper (TM) LANDSAT-5 de Franca, Florenzano e Novo (2007) e para estudos da paisagem de manguezais com ERS-1/SAR e Landsat-5/TM aplicado por Rangel et al. (2001).

Segundo a descrição dos autores, no método de GS (Brower, Bernard V and Laben, 2000), a capacidade de detalhamento da imagem é melhorada, fundindo a imagem pancromática de alta resolução com as bandas multiespectrais de baixa resolução espacial. Já no trabalho aqui apresentado, aplicamos um esquema de fusão de imagens MODIS em condição de *sun glint*, similar ao aplicado por Hu et al. (2009). A novidade do método proposto é aplicar a banda do NIR como "falsa" imagem pancromática, para assim evidenciar os aspectos da rugosidade da superfície do mar. Os passos da metodologia aplicada para a fusão são mostradas na Figura 1 e enumeradas abaixo:

- (i) Seleção de imagen MODIS nível 1A em condição geométrica de *sun glint* no site oceancolor.gsfc.nasa.gov.
- (ii) Em ambiente computacional SEADAS 7.01, a imagens MODIS foi processadas do nível 1A para o nível L1B, com radiâncias calibradas, geolocalizadas e georreferenciadas no sistema projeção cilíndrica lat/lon, Datum WGS-84. As bandas de resolução 250 m e 500 m foram salvas em GeoTIFF.
- (iii) Através do programa ENVI foi aplicada a fusão de imagens Gram-Schmidt utilizando a banda 859 nm de 250 como a imagem de alta resolução e as bandas R: 645 nm, G: 555 nm e B: 469 nm (500 m) como de baixa resolução. Para tal, o esquema de fusão Gram-Schmidt seguiu as seguintes etapas:
 - (a) Uma imagem PAN de pior resolução é simulada com as bandas de resolução espacial inferior.
 - (b) A transformação de Gram-Schmidt é efetuada na imagem PAN simulada com resolução espacial inferior e nas imagens multi-espectrais de pior resolução. A imagem PAN simulada de resolução espacial inferior é utilizada como a primeira banda na transformação.
 - (c) As estatísticas da imagem PAN, de resolução espacial superior, é ajustada para coincidir com as estatísticas da primeira banda resultante da transformação de

Gram-Schmidt e com isso produzir uma imagem PAN com alta resolução espacial modificada.

- (d) A imagem PAN de alta resolução espacial modificada é substituída pela primeira banda resultante da transformação de Gram-Schmidt para produzir um novo conjunto de bandas transformadas.
 - (e) A transformação inversa de Gram-Schmidt é executada no novo conjunto para produzir a imagem multiespectral com resolução espacial melhorada.
- (iv) A imagen fusionada era equalizada para um melhor detalhamento das feições em composições coloridas (R: 645 nm, G: 555 nm e B: 459 nm), similar ao aplicado por Hu et al. (2009).

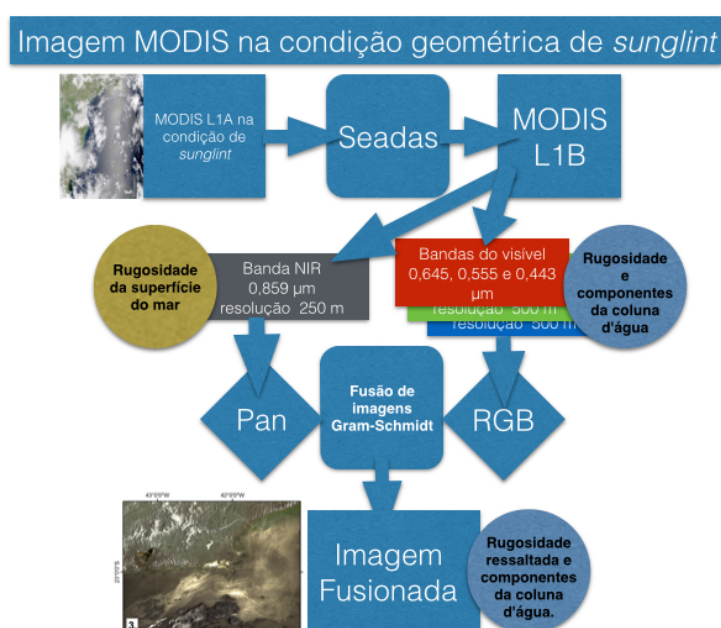


Figura 1: Fluxograma descritivo do método para fusão de imagens entre bandas do sensor MODIS em uma mesma cena, usando a banda NIR (859 nm) de resolução espacial de 250 m como "falsa"pancromática para fusão com as imagens das bandas MODIS RGB do MODIS (R: 645 nm, G: 555 nm e B: 459 nm) com resolução espacial 500 m.

3. Resultados e Discussão

Uma imagem do satélite Terra, adquirida pelo sensor MODIS na condição geométrica de *sunglint* do dia 5 de janeiro de 2013 15:00 GMT foi utilizada para avaliar o método de fusão de imagens de Gram-Schmidt utilizando a banda NIR como PAN. Esta imagem sobre a área da Baía de Campos próximo ao Cabo Frio-RJ, foi processada segundo a metodologia apresentada neste trabalho (Figura 2). Nesta imagem, filmes surfactantes produzidos pelo metabolismo do fitoplâncton e organizados na superfície do mar acompanham a dinâmica da Corrente do Brasil. Os filmes biogênicos tem a capacidade de suprimir a formação de ondas capilares, o que permite diferenci-los em imagens na condição de *sunglint* mesmo que transparentes e em camadas moleculares.

Podemos observar que tanto as ondas internas que é uma feição exposta pela modulação nas ondas capilares, quanto áreas costeiras de alta biomassa permanecem bem discriminadas

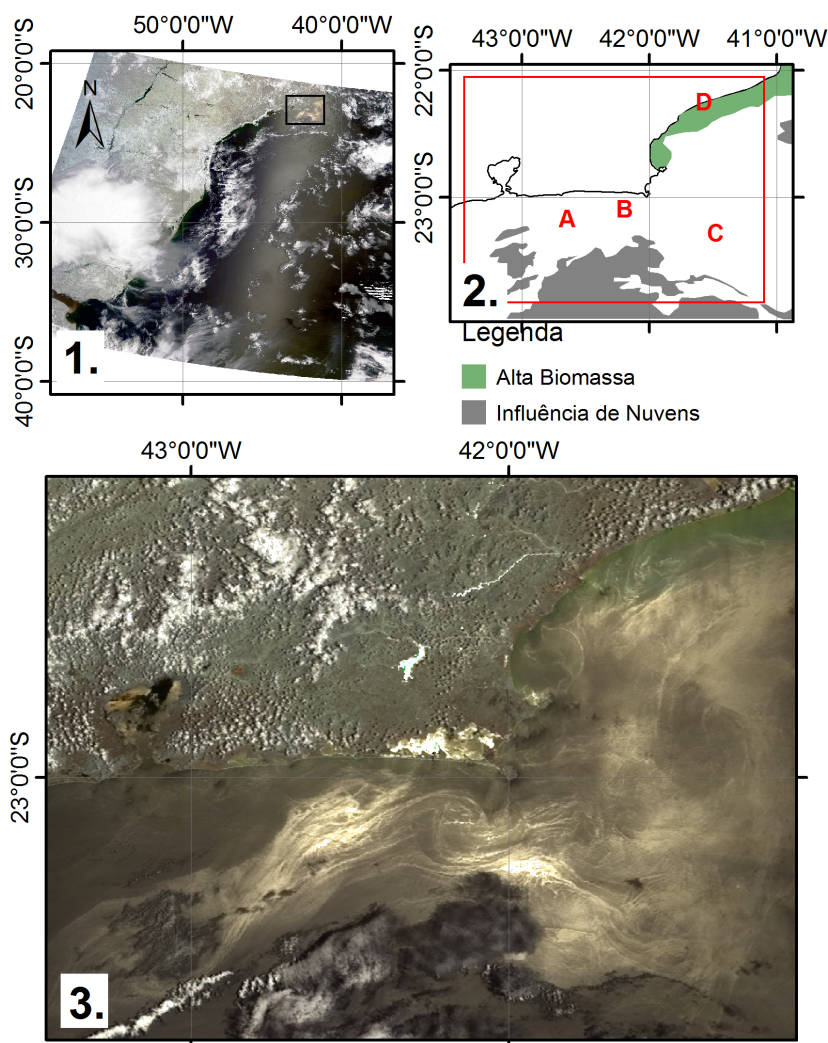


Figura 2: Imagem MODIS-Terra de 5/1/2013 na condição geométrica de *sun glint* fusionadas pelo método de Gram-Schmidt. A composição colorida (R: 645 nm, G: 555 nm e B: 469 nm). Feições formadas por filmes biogênicos acompanham a dinâmica local: **A** filmes advectados pela Corrente do Brasil, **B** advectados pelo vórtice de Cabo Frio-RJ e **C** filmes sobre ondas internas.

na imagem fusionada. Há um ganho na diferenciação dos alvos e também na informação textural da imagem, pois a banda do infravermelho próximo responde apenas orientação das microfacetas ad superfície. O uso da fusão permite entender quais feições no *sun glint* devem-se diretamente a alta biomassa, a pluma de rio Paraíba do Sul e processos dinâmicos do oceano.

Frentes oceanográficas são a interface entre duas massas d'água diferentes, para a costa do Brasil a borda oeste da corrente do Brasil é uma das frentes térmicas mais expressivas. A diferença de brilho na imagem em *sun glint* entre áreas de água costeira relativamente mais fria que áreas de água tropical, sobre regime da relativamente quente Corrente do Brasil, devem-se a variação na estabilidade na camada limite oceano-atmosfera. Em áreas de superfície mais quente há instabilidade que remete a superfície marinha mais rugosa e *vice-versa*. Esta técnica também auxilia a identificar quais variação de brilho se devem à estabilidade da camada limite e conseqüente variação nos padrões de ondas capilares e não a processos interiores a coluna

d'água.

Alguns processos de curta resolução temporal, como por exemplo o enriquecimento da coluna d'água promovido pela ressuspensão de nutrientes por ondas internas (LORENZZETTI; DIAS, 2013) que obedece às componentes das marés, podem se beneficiar deste esquema de fusão de imagens. Uma vez que é possível observar com mais clareza o que ocorre no mesmo instante da formação das ondas capilares. Ao utilizar dados SAR para fusão com imagens ópticas, a diferença no tempo de aquisição entre diferentes sensores, pode fazer com que parte do processo seja perdido devido a dinâmica marinha local. A técnica pode também auxiliar no monitoramento de vazamentos de óleo, reduzindo falsos alarmes e ambiguidades geradas por áreas de alta produção biológica (LEIFER et al., 2012). Por que permite diferenciar bem áreas de alta biomassa fitoplânctônica ao mesmo tempo que evidencia a presença de surfactantes. Da mesma maneira, um melhor detalhamento das feições de filmes biogênicos em áreas de alta biomassa pode esclarecer a influência destes nas estimativas da velocidade do vento por escaterômetros, problema discutido por Lin I. I., Alpers e Liu (2003).

4. Conclusões

O método aqui apresentado para a fusão de imagens ópticas em condição de *sunlint* demonstra ser eficiente em realçar feições oceânicas. Preservando as feições formadas pela rugosidade da superfície marinha e as características radiométricas da imagem. As imagens na condição de *sunlint* sobre o oceano ou águas continentais são muitas vezes descartadas ou mascaradas, pois trazem interferência negativa quando o objetivo é investigar e quantificar características inerentes da coluna d'água. Porém, o melhor entendimento dos processos que modulam o *sunlint* pode acrescentar informações importantes sobre processos e dinâmicas locais. Neste contexto, uso da técnica de fusão aqui documentada, permite uma melhora expressiva na utilização de imagens MODIS na condição de *sunlint* para estudos dos oceanos e também para águas continentais.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer as seguintes instituições pelo apoio nesta pesquisa: Petrobras, Funcate, University of Miami e Office Naval Research-USA. Fonte financiadora: Termo de Cooperação 0050.0066309.11.9 INPE/FUNCATE/PETROBRAS.

Referências

ALPERS, W.; BRÜMMER, B. Atmospheric boundary layer rolls observed by the synthetic aperture radar aboard the ERS-1 satellite. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, n. C6, p. 12613, 1994. ISSN 0148-0227. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/94JC00421>>.

BARNES, W.; PAGANO, T.; SALOMONSON, V. Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, v. 36, n. 4, p. 1088–1100, jul. 1998. ISSN 01962892. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=700993>>.

BENTZ, C. M.; LORENZZETTI, J. A.; KAMPEL, M. Multi-sensor synergistic analysis of mesoscale oceanic features: Campos Basin, south-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, Taylor & Francis, v. 25, n. 21, p. 4835–4841, nov. 2004. ISSN 0143-1161. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01431160410001705105>>.

BOYCE, D. G.; LEWIS, M. R.; WORM, B. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 466, n. 7306, p. 591–6, jul. 2010. ISSN 1476-4687. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v466/n7306/full/nature09268.html#close>>.

Brower, Bernard V and Laben, C. A. *Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening*. jan. 2000. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US6011875>>.

COX, C.; MUNK, W. Measurement of the Roughness of the Sea Surface from Photographs of the Sun's Glitter. *Journal of the Optical Society of America*, v. 44, n. 11, p. 838, nov. 1954. ISSN 00303941. Disponível em: <<http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=josa-44-11-838>>.

FONSECA, L. M. G.; NAMIKAWA, L. M.; CASTEJON, E. F. Digital Image Processing in Remote Sensing. In: *2009 Tutorials of the XXII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*. IEEE, 2009. p. 59–71. ISBN 978-1-4244-4979-8. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=5395150>>.

FRANCA, A. M. d. S.; FLORENZANO, T. G.; NOVO, E. M. L. a. d. M. Avaliação de fusão de imagens ópticas e de microondas no mapeamento de morfologias lacustres. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 59, n. 2, 2007. Disponível em: <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/04.02.23.50/doc/Andreia-RBC-2008-59_02_9.pdf?metadataarepository=&mirror=lcp.inpe.br/ignes/2004/02.12.18.39.49>.

GAGLIARDINI, D. A.; COLÓN, P. C. Ocean feature Detection using microwave backscatter and Sun Glint observations. *Gayana (Concepción)*, Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas., v. 68, n. 2, p. 180–185, 2004. ISSN 0717-6538. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382004000200033&lng=es&nrm=iso&tlng=en>.

HU, C. et al. Detection of natural oil slicks in the NW Gulf of Mexico using MODIS imagery. *Geophysical Research Letters*, v. 36, p. Citation No. L01604, 2009.

JACKSON, C. R.; APEL, J. R. *Synthetic aperture radar marine user's manual*. US Department of Commerce, 2004. Disponível em: <<http://www.sarusersmanual.com/>>.

KAY, S.; HEDLEY, J. D.; LAVENDER, S. Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution Images of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and Near-Infrared Wavelengths. *Remote Sensing*, Molecular Diversity Preservation International, v. 1, n. 4, p. 697–730, out. 2009. ISSN 20724292. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/1/4/697>>.

KHATTAK, S. et al. Sun glint and its observation in AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, n. 2, p. 101–116, 1991. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579190022X>>.

KUDRYAVTSEV, V. et al. Joint sun-glitter and radar imagery of surface slicks. *Remote Sensing of Environment*, v. 120, n. null, p. 123–132, maio 2012. ISSN 00344257. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000831> <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.029>>.

LEIFER, I. et al. State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill. *Remote Sensing of Environment*, v. 124, n. null, p. 185–209, set. 2012. ISSN 00344257. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.024> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712001563>>.

LEVANON, N. Determination of the sea surface slope distribution and wind velocity using sun glitter view from a synchronous satellite. *Journal of Physical Oceanography*, v. 1, p. 214–220, 1971.

Lin I. I.; ALPERS, W.; LIU, W. T. First evidence for the detection of natural surface films by the QuikSCAT scatterometer. *Geophysical Research Letters*, v. 30, p. 2–5, 2003. ISSN 00948276.

LORENZZETTI, J. a. a.; DIAS, F. G. Internal Solitary Waves in the Brazilian SE Continental Shelf: Observations by Synthetic Aperture Radar. *International Journal of Oceanography*, v. 2013, p. 1–11, 2013. ISSN 1687-9406. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/ijog/2013/403259/>>.

RANGEL, M. E. S. et al. Sensoriamento Remoto e GIS na Análise de Modificações da Paisagem em Manguezais. In: INPE (Ed.). *Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1712–1733. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.31/doc/1721.1733.031.pdf>>.

SOULES, S. D. Sun glitter viewd from space. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, v. 17, n. 1, p. 191–195, 1970. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0011747170900987>>.

STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. a. A. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*, v. 97, n. C6, p. 9507, 1992. ISSN 0148-0227. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/92JC00486>>.

WYLIE, D. P.; HINTON, B. B.; MILLETT, K. M. A Comparison of Three Satellite-Based Methods for Estimating Surface Winds over Oceans. *Journal of Applied Meteorology*, v. 20, n. 4, p. 439–449, abr. 1981. ISSN 0021-8952. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450\(1981\)020<0439:ACOTSB>2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450(1981)020<0439:ACOTSB>2.0.CO;2)>.