

Contribuição de dados ASTER, CBERS, R99/SIPAM e OrbiSAR-1 para o monitoramento oceânico – Resultados do projeto FITOSAT

Cristina Maria Bentz ¹
João Antonio Lorenzetti ²
Milton Kampel ²
Alexandre Tadeu Politano ¹
Patrícia Genovez ¹
Eduardo Viegas Dalle Lucca ³

¹PETROBRAS/CENPES - Centro de Pesquisas e Exploração & Produção - Serviços
Av. Jequitibá, 950 - Ilha do Fundão - 21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{cris, politano.gorceix, genovez_salvaterra}@petrobras.com.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{loren, milton}@ltid.inpe.br

³Instituto de Estudos Avançados – CTA/IEAv
12228-840 - São José dos Campos - SP, Brasil
lucca@ieav.cta.br

Abstract. This paper presents some results of using a series of satellite and airborne sensors to monitor the environmental conditions of an oceanic area at the SW South Atlantic off Brazil. The following sensors were used: RADARSAT-1, VNIR-SWIR-TIR/ASTER Terra, WFI-CCD/CBERS, OrbiSAR-1 and R99 SAR/SIPAM. The analysis here presented refers to the data collected during the occurrence of a large meso-scale Brazil Current frontal eddy and a concurrent but uncommon sea floor oil seep event. The surface expression of the oil seep was captured by the eddy. The integrated data set analysis showed that the availability of this set of images made it possible to obtain spatial and physical details of these two features, which could not have been achieved using solely one single sensor alone.

Palavras-chave: oil slick, orbital and airborne remote sensing, sensor synergy, ocean monitoring, filmes de óleo, sensoriamento remoto orbital e aerotransportado, sinergia de sensores, monitoramento oceânico.

1. Introdução

Imagens de satélites têm sido utilizadas sistematicamente para o monitoramento ambiental oceânico relativo às atividades de exploração, produção e transporte nas bacias da margem continental do sudeste brasileiro (Bentz et al., 2005). O projeto FITOSAT, desenvolvido pelo centro de pesquisas da PETROBRAS em parceria com o INPE, universidades (UFRJ e PUC/RJ), objetiva avançar cientificamente e tecnicamente nos procedimentos de análise de dados obtidos por sensores remotos, integrados a dados *in situ*, para a detecção e monitoramento de eventos ambientais em áreas costeiras e oceânicas.

Uma das etapas do projeto envolveu a realização de um cruzeiro – FITOSAT I - com a aquisição simultânea de dados *in situ* e de sensores remotos orbitais e aerotransportados, na região da Baía de Campos, localizada na margem continental sudeste brasileira. Dados orbitais RADARSAT-1, Terra/ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), CBERS (*China-Brazil Earth Resource Satellite*), ENVISAT, MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*), NOAA/AVHRR (*Advanced Very-High Resolution Radiometer*) e QuikSCAT e os aerotransportados OrbiSAR-1 e R99/SIPAM compõem o conjunto de dados de sensores remotos. A simultaneidade das aquisições

promoveu a contextualização meteo-oceanográfica das coletas *in situ* e viabilizou a avaliação dos produtos derivados de dados de sensores remotos.

Durante o período do cruzeiro, houve na área de estudo a concomitância de um vórtice ciclônico frontal da Corrente do Brasil (CB) com um evento de exsudação de óleo no assoalho oceânico. A expressão de superfície da exsudação foi detectada em imagens de diferentes sensores, por vezes com poucas horas de diferença, constituindo oportunidade rara de avaliação e comparação da resposta destes sistemas. Neste trabalho são apresentados resultados obtidos nestas análises, com ênfase na contribuição dos dados ASTER, CBERS, R99/SIPAM e OrbiSAR-1, que ainda não haviam sido utilizados no monitoramento oceânico da área de estudo.

2. Área de estudo

A área de estudo localiza-se na plataforma continental e talude, da margem continental do sudeste brasileiro. A principal feição oceanográfica na região é a CB, com fluxo preferencial orientado de NE para SW durante a maior parte do ano. A presença de meandros e vórtices de mesoescala pode induzir grandes variações no fluxo predominante (Stech *et al.*, 1996). Eventos de ressurgência costeira e de plataforma são também observados nessa região, com ocorrência predominante nos meses de primavera e verão.

3. Imagens utilizadas

Foram utilizadas imagens do radar de abertura sintética a bordo do RADARSAT-1, já utilizado amplamente no monitoramento marinho. Imagens dos sensores *Visible and Near Infrared* (VNIR), *Short Wave Infrared* (SWIR) e *Thermal Infrared* (TIR) do ASTER foram programadas através da cooperação entre o INPE e a Agência Espacial Japonesa. As imagens dos sensores WFI (*Wide Field Imager*) e CCD do satélite CBERS-2 foram adquiridas sem programação prévia. A **Tabela 1** apresenta as principais características dos sensores orbitais utilizados.

Tabela 1 - Características dos sensores orbitais utilizados.

Satélite/Sensor	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Largura de Faixa	Faixa Espectral
RADARSAT-1 <i>SNA e B</i>	50 m	variável	300 km	Microondas Banda C - HH
ASTER	15 m (VNIR) 30 m (SWIR) 90 m (TIR)	16 dias	60 km	Vis.-IV próx. (VNIR) IV ondas curtas (SWIR) IV termal (TIR)
CBERS-2	20 m (CCD) 260 m (WFI)	3-26 dias (CCD) 3-5 dias (WFI)	113 km (CCD) 890 km (WFI)	Visível - IV Próximo

IV = infravermelho; SNA e B= ScanSAR Narrow A e B; WS= Wide Swath

A aquisição de dados aerotransportados R99/SIPAM foi viabilizada através de cooperação científica entre o INPE e o IEAv do CTA (Centro Tecnológico da Aeronáutica). Os sobrevôos com o sistema OrbiSAR-1 foram realizados pela empresa ORBISAT, como demonstração do sistema. A **Tabela 2** mostra a configuração do imageamento pelo sensor OrbiSAR-1 e R99/SIPAM. A **Tabela 3** apresenta as imagens analisadas.

Tabela 2 – Configuração do imageamento OrbiSAR-1 e R99/SIPAM.

	OrbiSAR-1	R99/SIPAM
Faixa imageada	50 x 100 km	120 x 120 km
Banda (Polarização)	X (VV)	L(VV)
Resolução espacial	5 m e 25 m (tempo real)	18 m
Altura de sobrevôo	3.048 m	10.668 m

Tabela 3 – Data e horário de aquisição das imagens utilizadas.

Data	Hora de aquisição (GMT)	Imagem
23/11/2004	08:02	RADARSAT-1 SNB-Desc
23/11/2004	13:00	ASTER/ VNIR, SWIR e TIR
23/11/2004	13:30	CBERS/WFI
26/11/2004	08:14	RADARSAT-1 SNA-Desc
26/11/2004	13:30	CBERS/WFI e CCD
28/11/2004	21:19	RADARSAT-1 SNB-Asc
28/11/2004	20:00-2100	OrbiSAR-1
29/11/2004	01:46-3:23	OrbiSAR-1
30/11/2004	14:00-16:00	R99/SIPAM

SNA e B = ScanSAR Narrow mode A e B; Desc = Descendente; Asc = Ascendente.

4. Resultados

A imagem RADARSAT-1 adquirida no dia 23/11/2004 (**Figura 1a**) mostra claramente a feição resultante da exsudação em sub-superfície modelada pela ação conjunta do vórtice ciclônico da CB e da ação dos ventos sobre a superfície marinha. Vê-se claramente que a mancha de óleo desenvolve-se a partir de seu ponto de afloramento em superfície, inicialmente para oeste e em seguida para norte, com comportamento incompatível com o esperado para as condições normais da CB na região (S/SW). Observações *in situ* revelaram que a feição na imagem foi provocada um por filme de óleo de espessura micrométrica, com aspecto prateado a iridescente. A presença de óleo modifica a tensão superficial do oceano, provocando diferentes graus de atenuação das ondas capilares e gravitacionais, geradas pelo vento na superfície. Nas imagens SAR (*Synthetic Aperture Radar*), as áreas afetadas aparecem como manchas escuras devido à menor rugosidade e conseqüente menor retroespalhamento do pulso de microondas incidente, em relação às áreas adjacentes.

No mesmo dia, uma cena ASTER/VNIR (**Figura 1b**) consegue mostrar a feição com melhor resolução espacial (15 m). Na imagem da banda 1 (0,52 - 0,60 μm) as superfícies cobertas com filmes de óleo aparecem ora mais escuras, ora mais claras que as superfícies marinhas livres de óleo. Observa-se a presença de nuvens no extremo SE da cena. Ainda no dia 23/11/2004, trinta minutos depois da aquisição da imagem ASTER, a área foi imageada pelo sensor WFI do satélite CBERS-2. A mancha é perfeitamente visível, exibindo contraste positivo em relação às áreas oceânicas adjacentes, na composição das bandas 1 (0,63-0,69 μm) e 2 (0,77-0,89 μm) (**Figura 1c**). Assim como na imagem ASTER/VNIR, a feição apresenta reflectâncias distintas. Supõe-se que estas variações na reflectância sejam ocasionadas por diferenças na espessura do filme de óleo. Observações de campo suportam a inferência de que as áreas da feição de interesse, que aparecem mais claras nas imagens ASTER/VNIR (b1) e CBERS-2/WFI (2R1G1B), correspondem a filmes relativamente mais espessos. Conforme Biegert e Berry (1999) a assinatura espectral do óleo no visível e infravermelho próximo depende da geometria de aquisição (iluminação e visada), assim como

do tipo e espessura do filme. Entretanto, para uma mesma geometria de aquisição, filmes mais espessos tendem a apresentar maiores valores de reflectância (Berry, 1997).

Observa-se que a feição detectada na imagem SAR (**Figura 1a**) é mais estreita que a detectada nos produtos do visível e IR (**Figura 1b e c**), correspondendo às áreas com filmes de óleo relativamente mais espessos. Segundo Berry (1997) sensores no visível e IV próximo apresentam maior sensibilidade para a detecção de filmes de óleo muito finos, por vezes invisíveis a olhos nus, ou com pouco contraste nos sensores de microondas, para as mesmas condições de vento.

Na imagem CBERS/WFI o filme de óleo aparece com contraste positivo em relação às áreas adjacentes em toda a sua extensão, enquanto na imagem ASTER/VNIR somente os filmes relativamente mais espessos aparecem mais claros. Estudos demonstraram que nesta faixa do espectro, os filmes de mesma espessura podem apresentar contrastes positivos ou negativos, em relação às vizinhanças, conforme o seu posicionamento em relação ao cone de reflexão especular (Biegert e Berry, 1999). Para a maioria das geometrias de aquisição, os filmes de óleo produzirão manchas escuras, devido à redução local da rugosidade superficial. No entanto, feições localizadas próximas ao centro do cone de reflexão especular da imagem aparecerão com maior reflectância, que as áreas oceânicas adjacentes.

Na imagem ASTER/TIR, banda 13 (10,25-10,95 μm) (**Figura 2c**) observa-se o vórtice ciclônico da CB, com águas relativamente mais frias em seu núcleo, não sendo possível a identificação da feição resultante da exsudação. Os pequenos pontos vermelhos correspondem a altos valores de temperatura, associados às plataformas de petróleo com queimadores em funcionamento. A fusão da banda termal com a banda no visível (**Figura 2d**) ilustra a captura da mancha de óleo pelo vórtice. Conforme Fingas e Brown (2005), no infravermelho termal (8-14 μm), filmes de óleo espessos aparecem quentes, espessuras intermediária aparecem frias e filmes muito finos, iridescentes, não são detectados. A imagem SWIR, banda 7 (2,23-2,28 μm) (**Figura 2b**), infravermelho de ondas curtas, também mostra com clareza a feição resultante da exsudação. As plataformas “quentes” também são realçadas.

A comparação das imagens adquiridas no dia 23/11/2005 evidencia a complementaridade entre os diferentes sensores, em diferentes faixas do espectro eletromagnético. O contraste entre as superfícies oceânicas com e sem óleo, assim como a localização de embarcações e plataformas é inequívoca na imagem SAR. A capacidade de imageamento através das nuvens é outra vantagem destes produtos. A maior resolução espacial do produto ASTER/VNIR e SWIR e o imageamento termal ASTER/TIR oferecem detalhes imperceptíveis nos outros produtos, que por sua vez apresentam como vantagem uma maior largura de faixa de imageamento. Somente com os produtos ASTER/VNIR e SWIR e CBERS-2/WFI foi possível a diferenciação entre espessuras variáveis de filmes de óleo.

Na imagem RADARSAT-1 do dia 26/11/2004 (**Figura 3a**) não são detectados filmes de óleo. No mesmo dia, cinco horas mais tarde, foi possível a aquisição de imagens CBERS-2/WFI (**Figura 3b**) e CCD. Na imagem CBERS-2/WFI a feição resultante da exsudação só é perceptível com o zoom da imagem (**Figura 4a**). A maior resolução espacial do produto CCD (**Figura 4b**) permitiu a observação detalhada da feição de interesse.

No dia 28/11/2004 foram realizadas aquisições de dados com o radar aerotransportado OrbiSAR-1. O sistema OrbiSAR-1 é um SAR interferométrico, que pode operar nas bandas P e X simultaneamente. Para a detecção de manchas de óleo na superfície do mar utilizou-se somente a banda X, com polarização VV. Os dados OrbiSAR-1 com resolução espacial de 5 metros (**Figura 5a e b**), proporcionaram a melhoria na detecção da feição, também visível na imagem RADARSAT-1 adquirida no mesmo dia (**Figura 5c**).

No dia 30/11/2004, entre 09:00 e 11:00 GMT foram realizados sobrevôos com o radar R99. A **Figura 6** mostra a imagem resultante de aquisição com a banda L, polarização VV,

realizada com a linha de vôo orientada de NW para SE, e resolução espacial de 18 m. Observam-se duas feições alongadas, com origens no mesmo ponto, provavelmente originadas em momentos com diferentes condições de ventos e correntes. A qualidade da imagem é prejudicada nas porções do alcance distante do sensor, por corresponder nessas condições, a ângulos de visada extremamente altos, onde ondas de gravidade passam a dominar as reflexões.

5. Conclusões

A melhor resolução espacial das imagens ASTER/VNIR e SWIR e CBERS-2/CCD permitiu a visualização de detalhes espaciais, imperceptíveis nos outros produtos. No entanto, alguns fatores limitam o uso operacional destes sensores, entre eles: a estreita faixa de imageamento, a baixa repetitividade, assim como as limitações impostas pela eventual presença de nuvens.

Os resultados demonstraram que os sensores no visível, infravermelho próximo e de ondas curtas apresentam maior sensibilidade para a detecção de filmes de óleo pouco espessos, assim como para a diferenciação de variações de espessuras, não perceptíveis na imagem RADARSAT-1 do mesmo dia.

Entre os sensores que operam no visível e IV o CBERS-2/WFI demonstrou o maior potencial para uso operacional, devido à ampla largura de faixa imageada e à alta resolução temporal. A resolução espacial de 260 m foi efetiva na visualização da feição de interesse, apresentando resultados comparáveis àqueles obtidos com a imagem ASTER. Com a implementação de entrega em tempo próximo do real, os produtos CBERS/WFI serão de grande utilidade para o monitoramento de ocorrências ambientais oceânicas.

Os mosaicos resultantes dos sobrevôos com o sistema OrbisAR-1, banda X, polarização VV, apresentaram melhores condições de mapeamento da mancha de óleo, quando comparadas com as da imagem RADARSAT-1 do mesmo dia. Ficou demonstrada a viabilidade técnica deste sistema para o mapeamento de filmes de óleo na superfície do oceano com processamento e entrega dos dados em tempo próximo do real.

As imagens obtidas com o sistema R99/SIPAM, operando na banda L com polarização VV, apresentaram bons resultados para a detecção dos filmes de óleo. Os resultados obtidos indicam entretanto, que a detecção do óleo seja prejudicada caso o mesmo ocorra nas regiões de médio para grande alcance em *range*. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso da aeronave do SIPAM em situações de emergência ambientais em áreas costeiras e oceânicas. No entanto, para tal uso ser efetivo é necessária a implementação de procedimentos eficientes de processamento em tempo próximo do real dos dados R99.

Referências

- Bentz, C.M.; Politano, A.T.; Genovez, P.C. Monitoramento ambiental de áreas costeiras e oceânicas com múltiplos sensores orbitais. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 2863-2869. CD-ROM, On-line. Disponível em: <marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.30.22.10/doc/2863.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2006.
- Berry, J.L. **Detecting and evaluating oil slicks on the sea surface**. Houston, Texas: Pecten International Company – Internal Report, 1997.
- Biegert, E.K.; Berry, J.L. Mapping sea surface slicks from space. **Backscatter Magazine**, August, 1999.
- Stech, J.L.; Lorenzetti, J.A.; de Souza, J.M.C.; Araújo, C.E.S. A mesoscale Brazil Current eddy observed through AVHRR images and current meter moorings. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol. XXXI, Part B7. Vienna, p. 650-653, 1996.

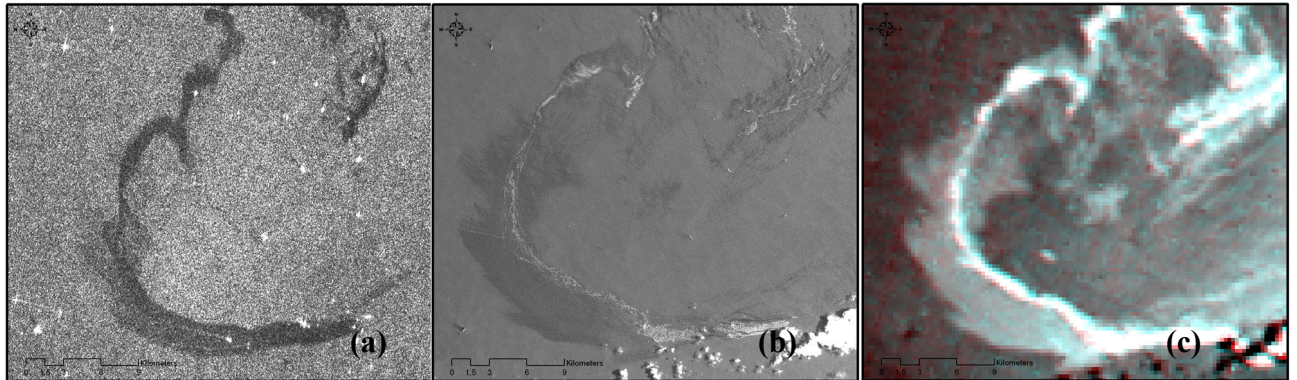


Figura 1: Detalhe das imagens RADARSAT-1 (a); ASTER/VNIR, banda 1 (b), e CBERS-2/WFI – 2R1G1B (c); adquiridas em 23/11/2004 às 08:02, 13:00 e 13:30 GMT, respectivamente.

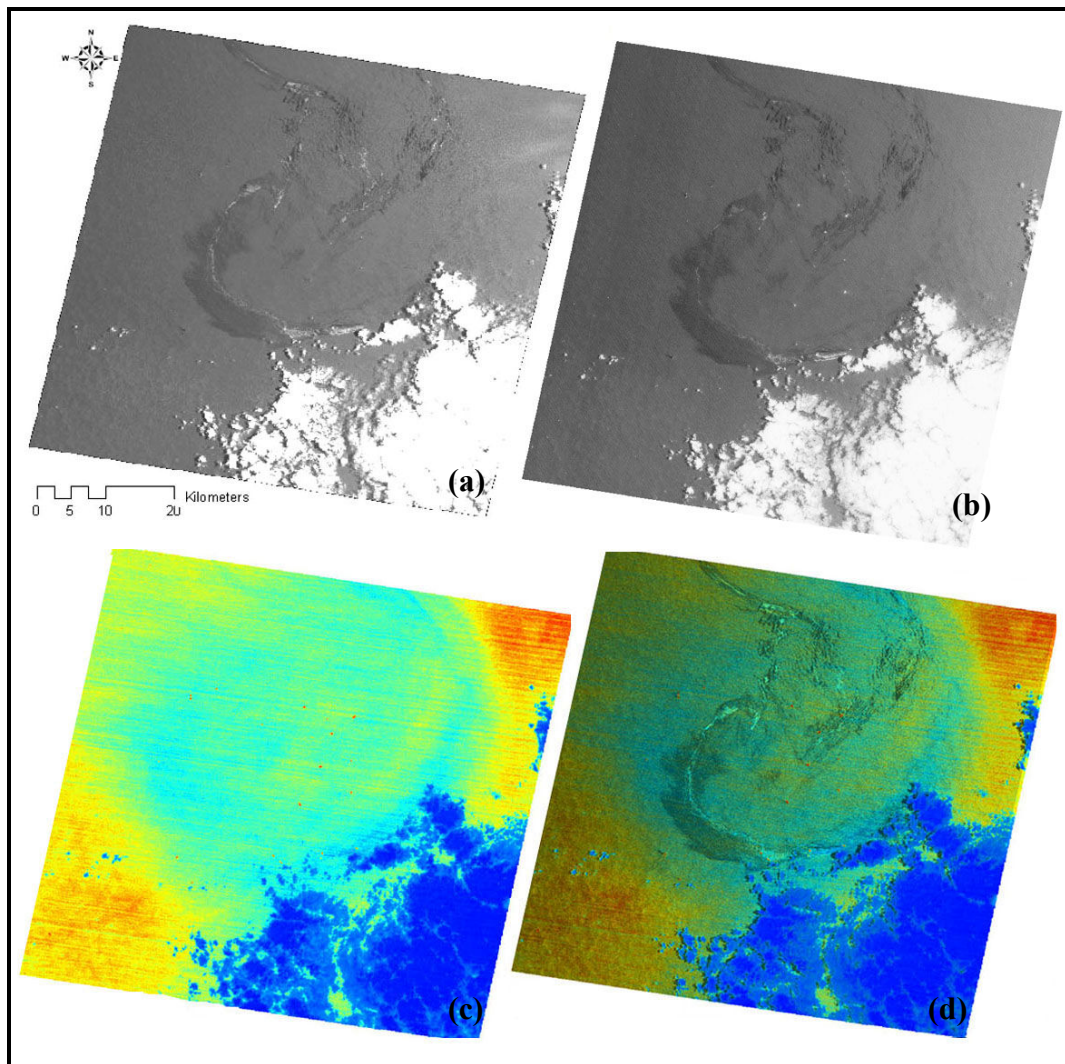


Figura 2: Imagem ASTER de 23/11/2004 banda 1 (a); banda 7 (b) e banda 13 com fatiamento a pseudo-cores (c). As cores azuis correspondem a temperaturas mais frias. Composição RGBI - banda 13 com fatiamento a pseudo-cores (RGB) e banda 1 (I) (d).

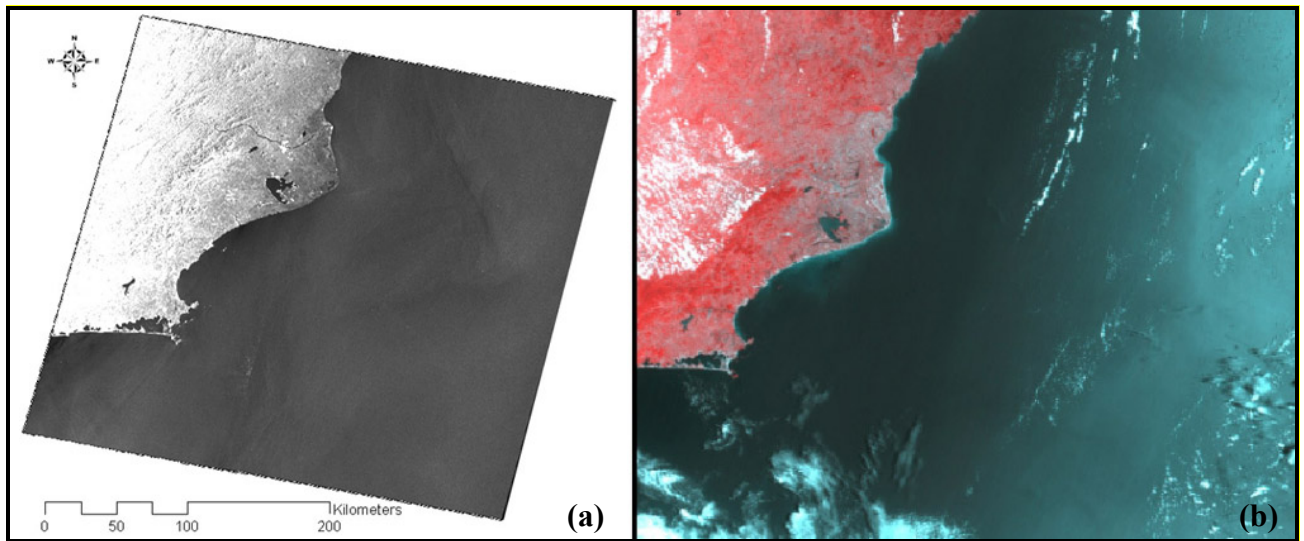


Figura 3: Imagem RADARSAT-1 SNA descendente (a) e composição colorida da imagem CBERS-2/WFI R(2)G(1)B(1) (b), adquiridas em 26/11/2004 às 08:14 e 13:30 GMT, respectivamente.

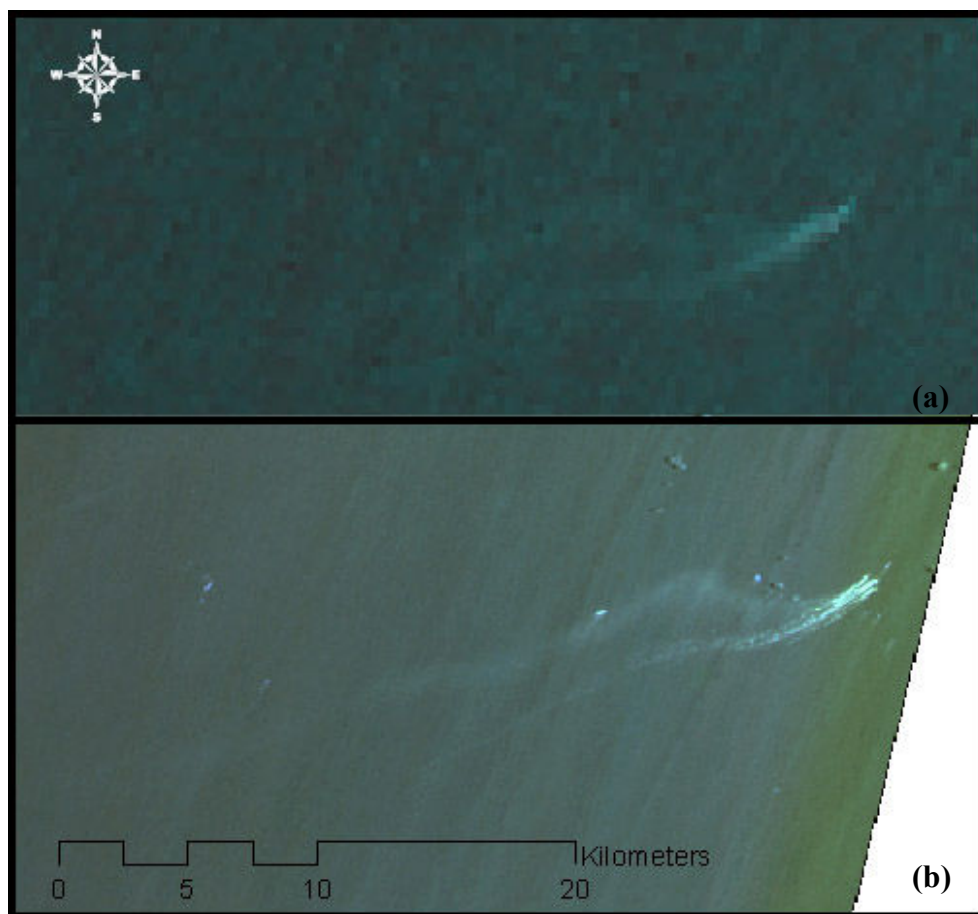


Figura 4: Detalhes das imagens CBERS-2/WFI (a) e composição colorida CBERS-2/CCD R(2)G(1)B(1) (b) adquiridas em 26/11/2004 às 13:30 GMT.

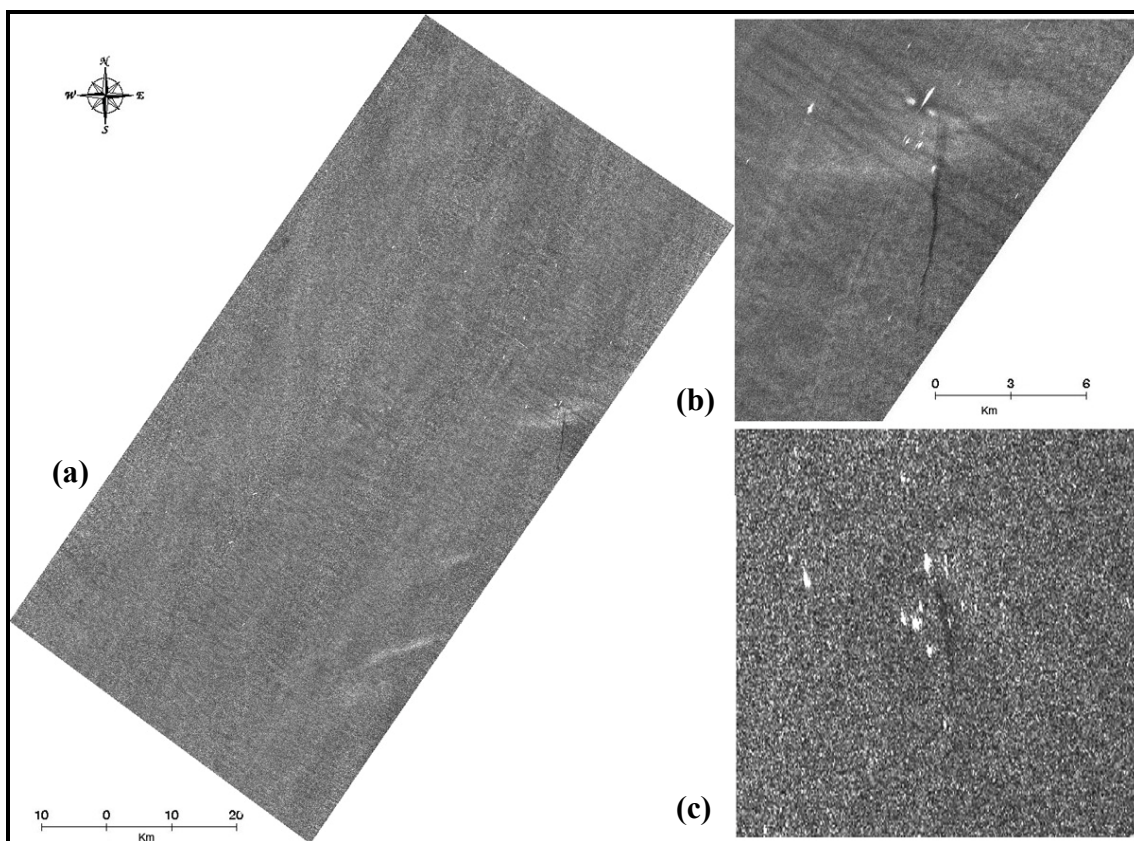


Figura 5: Mosaico com dados OrbiSAR-1 (a), com detalhe do mosaico (b) e da imagem RADARSAT-1 SNB ascendente (c), adquiridos no dia 28/11/2004.

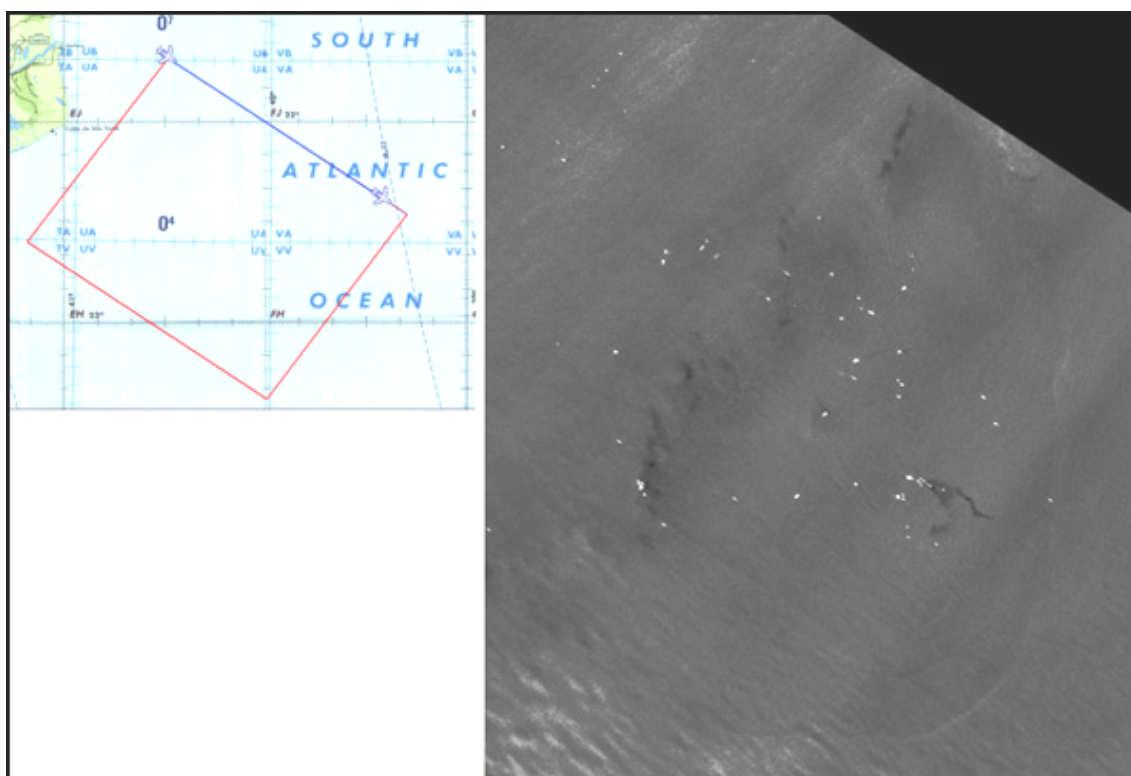


Figura 6: Imagem R99/SIPAM, banda L, polarização VV adquirida em 30/11/2004 entre 09:00 e 11:00 GMT (direita). O mapa (esquerda) mostra a direção do vôo realizado de NW para SE. Dados processados por Ricardo de Queiroz Veiga do CTA/IEAv.