

## Utilização conjunta de LIDAR fluorosensor e imagens de radar para a detecção de florescimento de algas

Paulo Cesar de Campos Barbosa<sup>1,2</sup>  
Raul Almeida Nunes<sup>1</sup>  
Rodolfo Pinheiro da Rocha Paranhos<sup>3</sup>  
Cristina Maria Bentz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio  
Caixa Postal 38097 – CEP: 22453-900 – Rio de Janeiro- RJ, Brasil  
raul@dcm.puc-rio.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguêz de Melo – Cenpes, Petrobras  
Cidade Universitária, Q. 7, Ilha do Fundão - CEP: 21941-598 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
paulo.barbosa@petrobras.com.br; cris@petrobras.com.br

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Av. Pau-Brasil 211, CCS-BL. A, sala A1-071 - CEP: 21941-590 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
rodopar@biologia.ufrj.br

**Abstract.** In this paper, SAR (Synthetic Aperture Radar) data from RADARSAT-1 satellite and PUC-Rio Fluorescence LIDAR (operating from a tug) were combined to detect algae bloom in marine area. Relative chlorophyll *a* concentration, calculated using LIDAR spectra, pointed out high values in an area identified by the SAR image with low intensity pixels. Chlorophyll concentrations were measured from the samples collected during the trip and confirmed high concentration in that region.

**Palavras-chave:** LIDAR, remote sensing, chlorophyll, algae bloom, sensoriamento remoto, clorofila, florescimento de algas.

## 1. Introdução

Em regiões costeiras e oceânicas, a detecção e monitoramento de florescimentos (proliferação de algas) e variações na biomassa fitoplanctônica de maneira geral são importantes para a compreensão da dinâmica natural desses eventos e conseqüentemente, para a identificação das possíveis influências de atividades antropogênicas. Florescimentos são eventos anômalos, indicadores de maior disponibilidade de nutrientes e conseqüente aumento de produtividade primária em uma dada região.

O sistema de detecção e as ferramentas de processamento de dados hiper-espectrais (ativos e passivos) desenvolvidos no LabMAR da PUC-Rio permitem que sejam obtidas, em tempo real, informações sobre a qualidade do ecossistema marinho, por meio de informações de concentração de clorofila, concentração de matéria orgânica e turbidez da água.

O LIDAR fluorosensor da PUC-Rio (LIDAR-PUC) tem como fonte de radiação o segundo harmônico (532nm) de um laser pulsado de Nd-YAG. A radiação retroespalhada pelo alvo é coletada por um telescópio newtoniano, filtrada para a eliminação dos espalhamentos elásticos, direcionada a um monocromador e seu espectro é lido por uma câmera CCD linear de 1020 elementos. Dois tipos de radiação são coletados: a radiação decorrente do espalhamento Raman da água e a radiação de fluorescência gerada pela interação da fonte com os pigmentos presentes na água. Dentre esses pigmentos se destaca a clorofila *a*.

A fluorescência natural da clorofila *a*, que apresenta um máximo em torno de 685nm, é um parâmetro utilizado para se estimar a quantidade de clorofila *a* presente em uma determinada amostra. Como relatado por Falkowski & Kolber (1995), como o fitoplâncton (incluindo as cianobactérias) é o único material em suspensão nos oceanos que contém clorofila, este pigmento tem sido utilizado como marcador da biomassa fitoplanctônica.

Entre outras variáveis ambientais, a variação horizontal em pequena e larga escala dos coeficientes de atenuação efetiva (e da seção de choque efetiva) da clorofila *a* é um problema básico para a comparação de diferentes medições de fluorescência da clorofila *a* feitas por um sistema LIF-LIDAR. Para contornar estas dificuldades experimentais, foi proposto como solução, por Klisko & Fadeev (1978), a normalização do sinal da fluorescência pela emissão do espalhamento Raman, obtendo-se uma concentração relativa de clorofila *a*.

Na região da Baía de Campos, a análise de imagens de radar integradas a dados de sensores operando na faixa do visível e infravermelho tem possibilitado a detecção de eventos de florescimento de algas (Bentz *et al.*, 2003). Alguns tipos de algas tendem a flutuar na superfície, atenuando localmente a rugosidade superficial. Regiões menos rugosas causam feições escuras, de baixo retroespalhamento nas imagens. No entanto, outros fenômenos, naturais ou devidos à ação antrópica, podem causar feições semelhantes nas imagens de radar. Por isto, a utilização de informações meteo-oceanográficas obtidas por outros sistemas sensores é fundamental para redução das ambigüidades.

Neste trabalho, os dados sobre concentração relativa de clorofila *a* obtidos na superfície do oceano com o LIDAR-PUC foram comparados a dados de concentração absoluta de clorofila *a*, determinados em amostras coletadas *in situ* e a dados de uma imagem do radar imageador RADARSAT-1, obtida na mesma época da campanha. O RADARSAT-1 é um sensor que opera na faixa de micro-ondas - Banda-C ( $\lambda=5,6$  cm), com polarização horizontal (HH) e ângulos de incidência, larguras de faixa e resoluções espaciais variáveis conforme o modo de aquisição programado.

## 2. Experimento e processamento de dados

Foram obtidos noventa e seis espectros entre 14:40 hs e 24:00 hs do dia 7 de setembro de 2002, com o LIDAR-PUC instalado no barco Astro-Garoupa, a serviço da PETROBRAS, na região da Baía de Campos. A distância total percorrida foi de 110 km, cobrindo uma seção de aproximadamente 70 km. As concentrações relativas de clorofila *a* foram calculadas de acordo com o método desenvolvido por Barbosa (2003) para o equipamento.

A coleta de amostras para análises em laboratório foi realizada simultaneamente a aquisição dos espectros. A concentração absoluta de clorofila *a* das amostras foi determinada pelo método 445.0 da *U. S. Environmental Protection Agency*, Arar & Collins (1997). Foi utilizado um fluorímetro Turner Designs® TD-700, equipado com lâmpada de mercúrio (F4T5), fotomultiplicadora sensível à radiação no vermelho (10-AU-600), filtro de excitação (CS-5-60) e filtro de emissão (CS-2-64).

Com o intuito de construir um mapa sinóptico a partir de medidas pontuais efetuadas com o LIDAR-PUC foram gerados gráficos de interpolação por krigagem, utilizando-se as rotinas disponibilizadas no pacote The GLOBEC Kriging Software Package - EasyKrig2.1, May 1, 2000, conforme Chu & Hole (2000). Neste caso, o modelo de semivariograma utilizado foi escolhido minimizando-se os erros residuais e foi utilizado o método de kriging ordinário (considera-se para cálculo apenas os pontos a um determinado raio de cada ponto a ser estimado).

## 3. Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta espectros típicos desta campanha comparados com um espectro típico de águas oligotróficas e outro típico de águas costeiras. Fica patente a ocorrência de um alto valor da banda de clorofila *a* em alto mar nesta campanha.

Comparando a média da concentração relativa de clorofila *a* dos 52 espectros desta área (0,7037) com os valores (25 medidas) obtidos nas regiões mais próximas à costa (0,2056; similar ao obtido em outras campanhas próximas à costa), verifica-se a excepcionalidade das medidas de alto mar. O aumento da concentração relativa de clorofila *a* com o distanciamento da costa está em desacordo com o esperado, já que as águas de alto mar são geralmente oligotróficas.

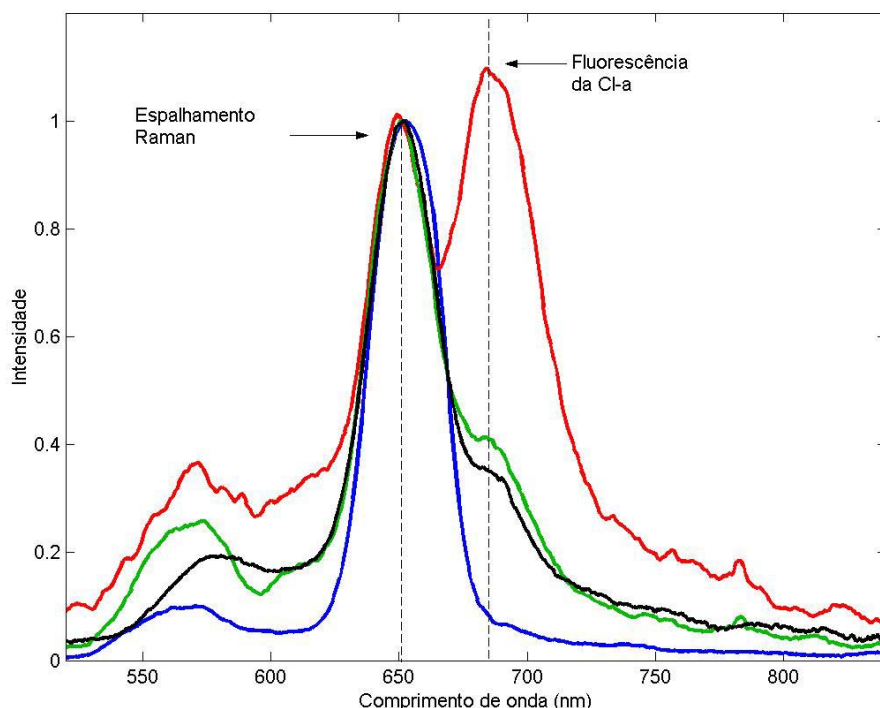


Figura 1 – Comparação de espectros. O espectro em vermelho foi obtido na região de maior fluorescência de clorofila (n. 12). O espectro em verde foi obtido nesta campanha em região mais próxima à costa. O espectro em preto é característico de áreas costeiras. O espectro em azul é característico de alto mar (águas oligotróficas).

Os valores obtidos para a concentração absoluta da clorofila  $a$  estão listados na **Tabela 1** abaixo e a localização desses pontos de coleta está apresentada na **Figura 2**, bem como as intensidades relatadas. A base desta figura é o gráfico interpolado por kriging das medidas de concentração relativa de clorofila  $a$ . Como se vê, os valores obtidos para a concentração da clorofila  $a$  da região de alto-mar apresentaram valores extremamente elevados e o aumento da concentração de clorofila  $a$ , está em acordo com os valores obtidos para a concentração relativa de clorofila  $a$ .

Estação	[Cl-a abs] ( $\mu\text{g/l}$ )	Estação	[Cl-a abs] ( $\mu\text{g/l}$ )
P1	1,365	P3 A	1,986
P2	1,320	P3 B	1,245
P2 A	1,278	P4	3,623
P2 B	1,106	P4 A	3,911
P3	1,619	P4 B	4,067

Tabela 1 – Concentração de clorofila  $a$  para as amostras de água analisadas em laboratório.

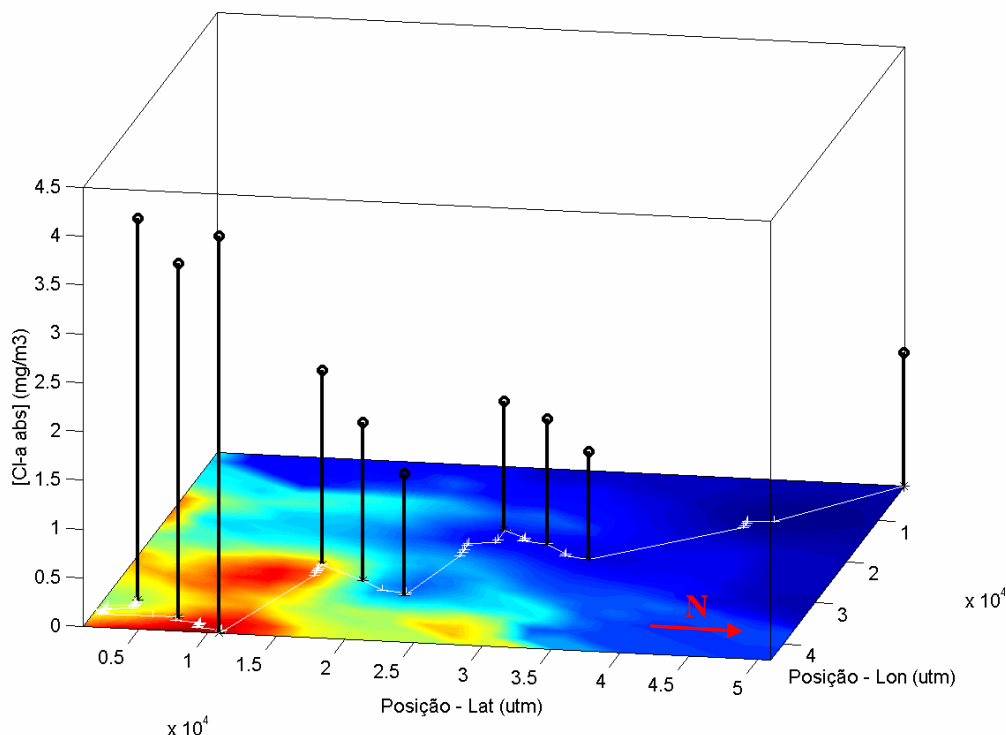


Figura 2 – Localização dos pontos de amostragem tendo como fundo o mapa da concentração relativa da clorofila a. A altura das hastes representa a intensidade da concentração de clorofila a.

A **Figura 3** apresenta a imagem RADARSAT-1 adquirida no modo *ScanSAR Narrow A*, órbita descendente, no dia 9 de setembro de 2002, às 06:10 hs (local). As imagens adquiridas no modo *ScanSAR Narrow A* têm largura de faixa de 300 km, resolução nominal de 50 m e ângulos de incidência variando entre 20° e 40°.

Na superfície dos oceanos, ondas capilares e gravitacionais curtas geradas pelo vento são responsáveis pelo retroespalhamento do pulso de radar e conseqüente tonalidade cinza claro das áreas oceânicas. Normalmente, são necessários ventos entre 3 a 8 m/s para tornar a superfície do oceano rugosa em imagens RADARSAT-1. A ocorrência de fenômenos que atenuem localmente as ondas capilares promovem o aparecimento de áreas mais escuras nas imagens, texturalmente mais lisas do que as áreas oceânicas adjacentes, normalmente mais rugosas.

Os valores medidos para a velocidade dos ventos na plataforma P-19 e corrigidos para a superfície do mar (5m/s) no momento da aquisição da cena (Figura 3) foram suficientes para gerar um retroespalhamento médio em quase toda a área imageada. Assim, a grande mancha escura na imagem, próxima ao Cabo de São Tomé, representa uma área onde a rugosidade superficial do oceano foi alterada.

A região do Cabo de São Tomé apresenta de maneira recorrente o fenômeno da ressurgência. (citar referência). Ressurgências ocorrem quando um fluxo divergente, normalmente induzido pela ação do vento, é compensado com a intrusão de águas de plataforma ricas em nutrientes. Conforme Clemente-Colón & Yan (2000), a presença de águas mais frias na superfície pode resultar na atenuação do sinal retroespalhado devido a diferentes processos, tais como: variações na estabilidade da camada limite marinha, aumento da viscosidade na camada superficial e elevação da produtividade biológica.

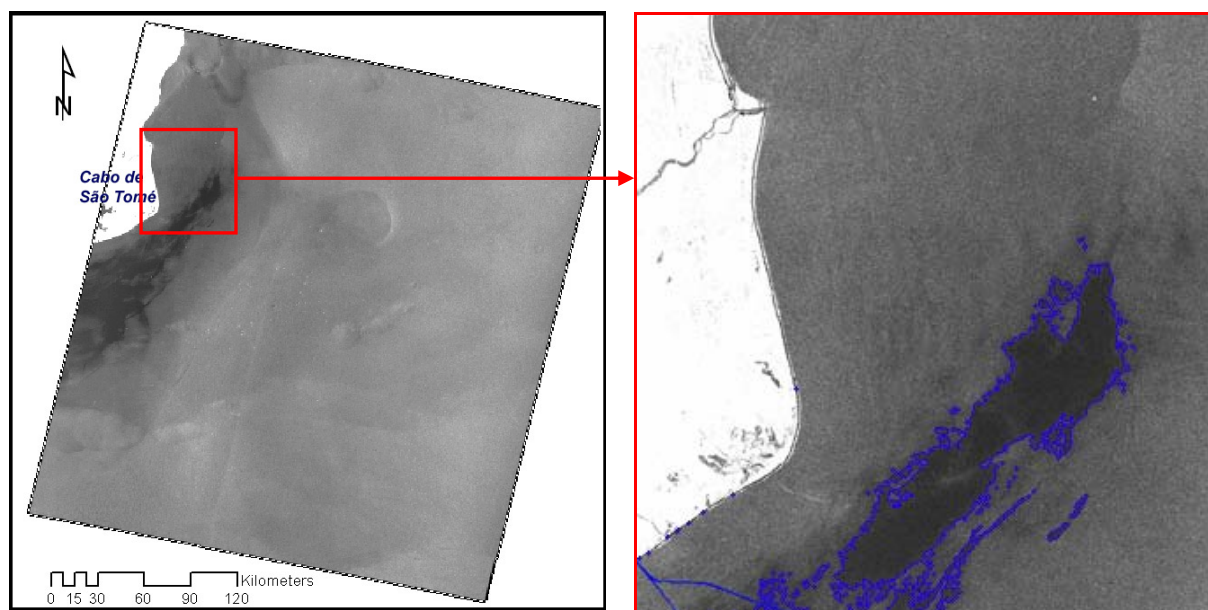


Figura 3 – a) Imagem RADARSAT *ScanSAR Narrow A* - da região de estudo; b) detalhe da região, ressaltando a área escura na imagem.

Ainda que os dados não estejam perfeitamente sincronizados (existe uma defasagem de mais de 24h entre a última aquisição do LIDAR-PUC e a imagem de satélite), a associação do mapa de concentração relativa de clorofila *a* (**Figura 2**) com a imagem de radar sugere a ocorrência de ressurgência na ocasião. Sobrepondo-se o mapa de concentração relativa de clorofila *a* à imagem de radar (**Figura 4**) observa-se a concordância entre a região associada a valores excepcionalmente altos de concentração de clorofila *a* com a mancha escura da imagem de radar (**Figura 3b**). É relevante salientar que não foi observada a presença de algas ou mesmo, filmes biogênicos sobre a água durante a campanha. Os espectros do LIDAR-PUC também não apresentaram a interferência típica da ocorrência de filme de óleo mineral, que é a atenuação do sinal do Raman na água.

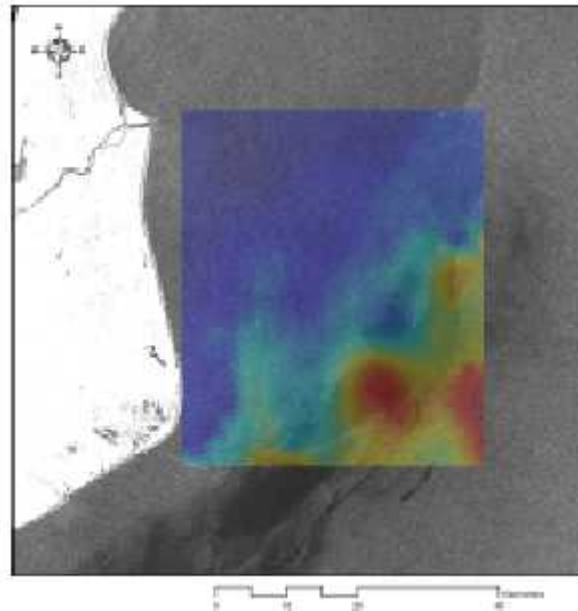


Figura 4 – Mapa de concentração relativa de clorofila  $a$ , sobreposto à imagem de radar. A razão de aspecto do mapa foi transformada para a apresentação de pixel quadrado, conforme a imagem de satélite.

#### 4. Conclusões

O aumento da concentração relativa de clorofila  $a$  com o distanciamento da costa está em desacordo com o esperado, pois as águas de alto mar são geralmente oligotróficas. Corroborando esta conclusão, os valores obtidos para a concentração absoluta da clorofila  $a$  da região de alto-mar apresentou valores extremamente elevados.

A geração de mapas para visualização da distribuição de clorofila  $a$  obtida com o LIDAR-PUC abre novos horizontes para a análise ambiental em mesoescala. A combinação de análise em diferentes escalas mostrou-se promissora, como revelou a comparação entre o mapa gerado de concentração relativa de clorofila  $a$  e a imagem do satélite RADARSAT-1.

#### 5. Referências

##### Artigos

Arar, E. J. & Collins, G. B. **In vitro determination of chlorophyll  $a$  and pheophytin  $a$  in marine and freshwater algae by fluorescence**, 1997, National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, Method 445.0, Revision 1.2. , 1997

Bentz, C.M.; Lorenzetti J. and Kampel, M., **Multi-Sensor Synergetic Analysis of Mesoscale Oceanic Features: Campos Basin, Southeastern Brazil. .** Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'20031), Toulouse, IEEE, Piscataway, USA, 2003.

BioRio. BDT - Base de Dados Tropical; Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha; Workshop, 25 a 29 de Outubro de 1999. <http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/plancton/intro>.

Clemente-Colón P. and Yan X., 2000, Low-Backscatter Ocean Features in Synthetic Aperture Radar Imagery, Johns Hopkins Apl. Technical Digest, 21, pp. 116-121, 2000.

Chu, D. & Hole, W.; **The GLOBEC Kriging Software Package - EasyKrig2.1**, May 1, 2000. Copyright (c) 1998, property of Dezhang Chu and Woods Hole Oceanographic Institution. All Rights Reserved. [http://globec.whoi.edu/software/kriging/easy\\_krig/easy\\_krig.html](http://globec.whoi.edu/software/kriging/easy_krig/easy_krig.html)

Falkowski, P. G. & Kolber, Z.; **Variations in Chlorophyll Fluorescence Yields in Phytoplankton in the World Oceans**; Australian Journal of Plant Physiology, 1995, **22**, 341-355.

Klyshko, D.N. & Fadeev, V. V.; **Remote determination of concentration of impurities in water by the laser spectroscopy method with calibration by Raman scattering**; Sov. Phys. Dokl., 23(1), jan-1978.

#### **Tese**

Barbosa, P. C. C. **Aplicações de Fluorescência Induzida por Laser em Monitoramento Ambiental**. 2003. 139p. (PUC-Rio, N° 9916186/CA). Tese (Doutorado em Física) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.