

Caracterização da pluma de sedimentos do rio Doce (ES) utilizando dados TM – Landsat 5

Maria Laura Zoffoli ¹
Milton Kampel ¹
Leila Maria Garcia Fonseca ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{lzofofoli, milton}@dsr.inpe.br
leila@dpi.inpe.br

Abstract. Sediments inputs, organic matter and dissolved substances carried by rivers are major ocean fertilizers producing a significant impact on coastal adjacent region. The aim of this work was to perform a qualitative characterization of Doce river plume (Espírito Santo), Brazilian southeast coast, using orbital data TM Landsat 5 sensor. Doce river regime present high level between November/April and low level between May/October (mean river flow 1296 m³/seg and 525 m³/seg, respectively), following basin rainfall. A set of 9 historic images between 1994-2009 were grouped in high and low river flow. Processing of each image consisted of georeferencing, conversion of digital number for surface reflectance and land and cloud masking. Supervised classification of each image was made considering 4 water types classes: River Plume, Mixed Zone, Other Coastal Waters and Clear Ocean. Areas of each water type were estimated and mean reflectance spectrums were plotted in order to recognize optically active substances (OAS). River Plume and Mixed Zone showed bigger mean areas in dry regime and River Plume was smaller compared to Mixed Zone. However, variability between size areas of such classes was higher when comparing images during low rate cal river regime. In both regimes, reflectance spectrums showed the presence of chlorophyll (phytoplankton) and colored, dissolved, organic substances in River Plume, however at a higher concentration in River Plume than in Mixed Zone. Nonetheless, this analysis did not allow OAS quantification in the River Plume.

Palavras-chave: pluma de rio, constituintes opticamente ativos, rio Doce, Landsat, river plume, optically active substances, Doce river.

1. Introdução

Com o reconhecimento de seu papel essencial para a vida humana e marinha, as descargas de rios e estuários e as zonas costeiras têm sido o foco de esforços em manejo e estratégias de restauração destes ecossistemas em grande escala (Lotze et al., 2006). Desta forma, as descargas dos rios possuem um importante papel nos ciclos hidrológicos e na estabilidade termodinâmica do oceano e juntamente com a dinâmica entre a zona costeira e o oceano aberto, tem uma influência significativa nos ciclos biogeoquímicos (Barale; Larkin, 1998; Hu et al., 2004). Os aportes de água doce, sedimentos, matéria orgânica e substâncias dissolvidas trazidos pelos rios estão entre os principais fertilizantes e promotores da produtividade primária no oceano produzindo um impacto significativo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas da região costeira e oceânica adjacente (Piola et al., 2008).

Estes ambientes apresentam grande variabilidade espacial e temporal, em escalas interanual e sazonal. Assim, a utilização de dados de satélites representa uma ferramenta muito útil para a realização de estudos de processos naturais nestes ambientes. A disponibilidade de dados quantitativos e calibrados da cor do oceano a partir de observações orbitais constituem dados únicos que auxiliam a explorar padrões espaciais e temporais da conectividade entre os processos terrestres e as áreas costeiras contíguas (Chérubin et al., 2008). No entanto, a resolução espacial dos sensores que são utilizados para o registro da cor dos oceanos pode resultar inadequada para o estudo de plumas de rios pequenos ou médios. Desta forma, sensores TM - Landsat tornam-se uma alternativa útil, uma vez que também

possuem bandas espectrais nas regiões do visível e infravermelho (IV) do espectro eletromagnético.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar uma caracterização histórica da pluma do rio Doce (ES) na região costeira adjacente à sua foz, utilizando dados orbitais do sensor TM – Landsat 5 entre os anos de 1994 a 2009. Parte-se da premissa que a pluma do rio apresenta uma maior expressão espacial e/ou uma maior concentração de constituintes opticamente ativos (COA's) durante a época de maior vazão do rio.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Doce possui uma área de 83.400 km² e abrange os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Ele desemboca na plataforma continental sudeste brasileira, mais precisamente na região sudoeste do estado do Espírito Santo (Figura 1). O regime do rio é subequatorial, com vazões máximas entre novembro/abril (vazões médias de 1296 m³/seg) e mínimas entre maio/outubro (vazões médias de 525 m³/seg) (ANA, 2010), acompanhando a pluviosidade da bacia.

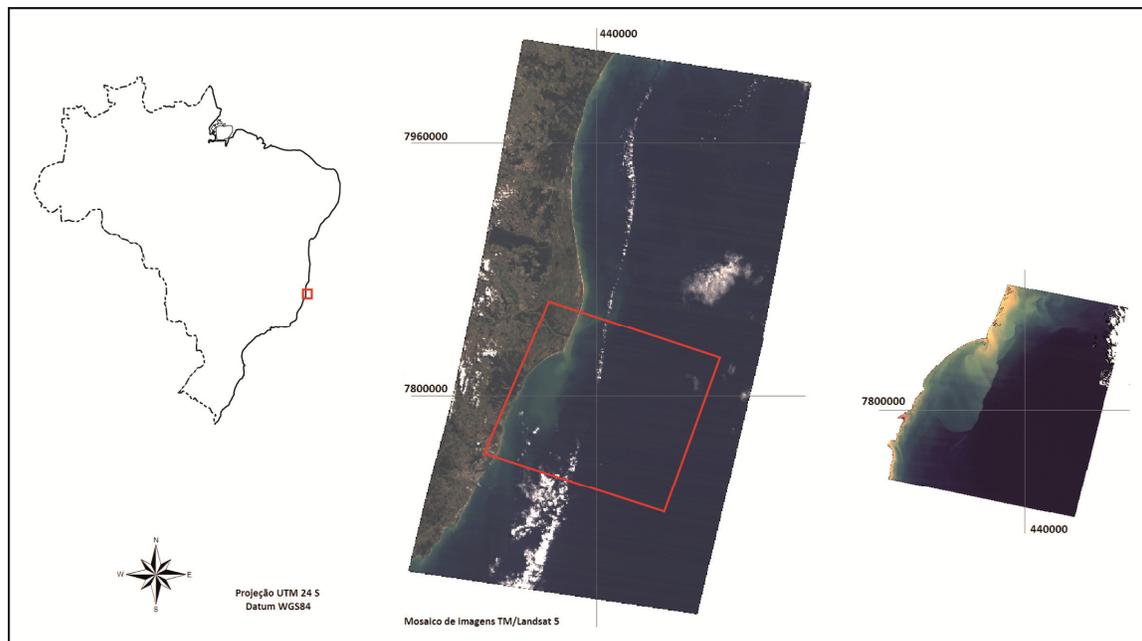


Figura 1. Desembocadura do rio Doce (ES), no oceano Atlântico (dir.) e sua localização no Brasil (esq.).

2.2. Processamento das imagens e análise dos dados

Neste trabalho foram utilizadas nove imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat 5, com 30 metros de resolução espacial, abrangendo o período de 1994 a 2009. Foram selecionadas imagens com baixa cobertura de nuvens, separadas por épocas: maior vazão ou estação chuvosa (3 imagens: 29/4/2001, 11/4/2006, 19/4/2009) e menor vazão ou seca (6 imagens: 31/7/1994, 16/8/1994, 5/8/1996, 7/7/1997, 16/8/2000, 1/10/2005). As imagens foram obtidas em nível “2” de processamento através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Apenas as bandas correspondentes às regiões do visível e infravermelho próximo (450-2350 nm) foram utilizadas, sendo excluída a banda do infravermelho termal.

As imagens foram registradas utilizando uma imagem TM – Landsat 5 de referência, obtida do conjunto de dados GeoCover, do United States Geological Survey (USGS).

Posteriormente foi isolada a área de interesse, que foi definida entre as latitudes $19^{\circ} 23' / 20^{\circ} 19' S$ e longitudes $39^{\circ} 17' / 40^{\circ} 11' O$.

De forma a se trabalhar com as imagens em valores físicos de reflectância de superfície, executou-se uma rotina de correção atmosférica utilizando o modelo de transferência radiativa 6S (Vermote et al., 1997), implementado em linguagem de programação no software SPRING. Neste modelo, a visibilidade foi calculada usando pontos de referência localizados no oceano aberto de forma que a reflectância na banda correspondente ao azul (485 nm) não superasse 10%. O continente foi mascarado em todas as imagens, de modo a se isolar o tema “água” para as análises seguintes. Cada imagem teve de ser mascarada individualmente, uma vez que a linha de costa passou por modificações geomorfológicas ao longo do período de 15 anos considerado neste trabalho.

Também foram aplicadas máscaras nas nuvens e respectivas sombras. No caso das nuvens, foram construídas máscaras considerando valores de reflectância elevados na banda 5 (IV: 1676 nm). Para as sombras foram primeiramente delimitadas as áreas com nuvens e posteriormente consideradas sombras aqueles pixels com valores baixos de reflectância em relação com a vizinhança, na banda do azul.

O processamento das imagens consistiu na aplicação de uma metodologia de classificação digital supervisionada em cada uma das imagens. As classes foram definidas segundo Thomas e Weatherbee (2006), Lihan et al. (2008) e inspeção visual das cenas. Estas foram: Águas da Pluma do Rio (na própria desembocadura do rio), Águas de Mistura (nas proximidades da pluma), Outras Águas Costeiras (próximas da costa, porém, afastadas da desembocadura do rio Doce) e Águas Oceânicas (afastadas da costa). O algoritmo escolhido para a classificação foi o de Máxima Verossimilhança Gaussiana (MAXVER). Em cada imagem foram extraídas amostras de pixels de cada classe e estimadas as áreas da Pluma e Águas de Mistura. Finalmente, foram calculadas as médias das áreas da Pluma e Águas de Mistura, para cada época, e estimada a reflectância média das amostras para cada banda do sensor de forma de se obter o espectro médio de reflectância para cada tipo de água considerada, em ambas as épocas.

3. Resultados e discussões

As Figuras 2 e 3 mostram o resultado da classificação supervisionada para uma imagem TM – Landsat 5, de cada época. A imagem de 11/04/2006 é representativa da época de maior vazão do rio, em termos do tamanho médio de áreas, enquanto que a de 05/08/1996 ilustra a época de menor vazão. Os tamanhos aproximados de área média são mostrados na Tabela 1. Apesar das áreas da Pluma e Águas de Mistura estarem reduzidas durante a época seca em relação a época úmida, estas áreas ainda se mostraram bem definidas, sendo que foi possível identificá-las nas imagens Landsat. Da mesma forma, as Águas de Mistura também possuem uma maior expressão espacial durante a época de cheia. Isto pode ser relacionado com a maior quantidade de material transportado pelo rio, resultado da maior taxa de pluviosidade na bacia de captação do rio. Comparando os distintos tipos de água, a Pluma do Rio representou uma área menor que as Águas de Mistura. Neste sentido, durante a estação chuvosa a Pluma do Rio teve uma expressão espacial de 35,45% respeito das Águas de Mistura, similar à porcentagem observada durante a época de seca (29,33%).

Os baixos desvios padrões da área da Pluma nesta época (5% da média) poderiam sugerir que na maior vazão a maior concentração de sedimentos transportados pelo rio é determinante da maior dispersão da pluma. Ao contrário, a variabilidade da área da Pluma na época seca foi maior (desvio padrão em torno de 35%). Isto sugere que as condições das águas receptoras (ventos, correntes, marés, tormentas) durante a menor vazão seriam as determinantes da

escala espacial de distribuição da pluma. Esta hipótese deveria ser confirmada utilizando dados de vento, correntes, chuvas e concentração de material dissolvido no rio, além de séries temporais de dados mais representativas de cada época. Devido à limitação de nuvens em áreas oceânicas, poderia ser testada a potencialidade de sensores de resolução espacial menor, como MODIS ou MERIS, na identificação da pluma deste rio.

A água pura em estado líquido apresenta um espectro de reflectância caracterizado por uma baixa reflectância (< 10%), sendo que o coeficiente de espalhamento na água é maior na região de comprimentos de onda mais curtos (B1 no caso de Landsat) (Kampel; Novo, 2009). Neste trabalho, as Águas Oceânicas, com baixas concentrações de substâncias dissolvidas, apresentaram essa curva característica da água pura com máximos de reflectância na B1 (Figura 4). Conforme diminui a distância da costa a concentração de substâncias em suspensão aumenta, de forma que aumentou o espalhamento da radiação, fator que explica o aumento da reflectância na classe Outras Águas Costeiras. Já nas Águas de Mistura o comportamento da curva de reflectância mudou, mostrando o pico na região correspondente ao verde (B2) e evidenciando a presença de fitoplâncton devido ao fato de que águas ricas em pigmentos vegetais, como clorofila, apresentam o máximo de reflectância na região do verde (Rundquist, et al. 1996; Gitelson, 1992). No entanto, a curva correspondente à Pluma mostrou um aumento do valor de reflectância na região do vermelho (B3) em relação às outras classes, evidenciando uma maior concentração de sedimentos inorgânicos em suspensão (Mantovani, 1993; Lodhi, et al., 1997).

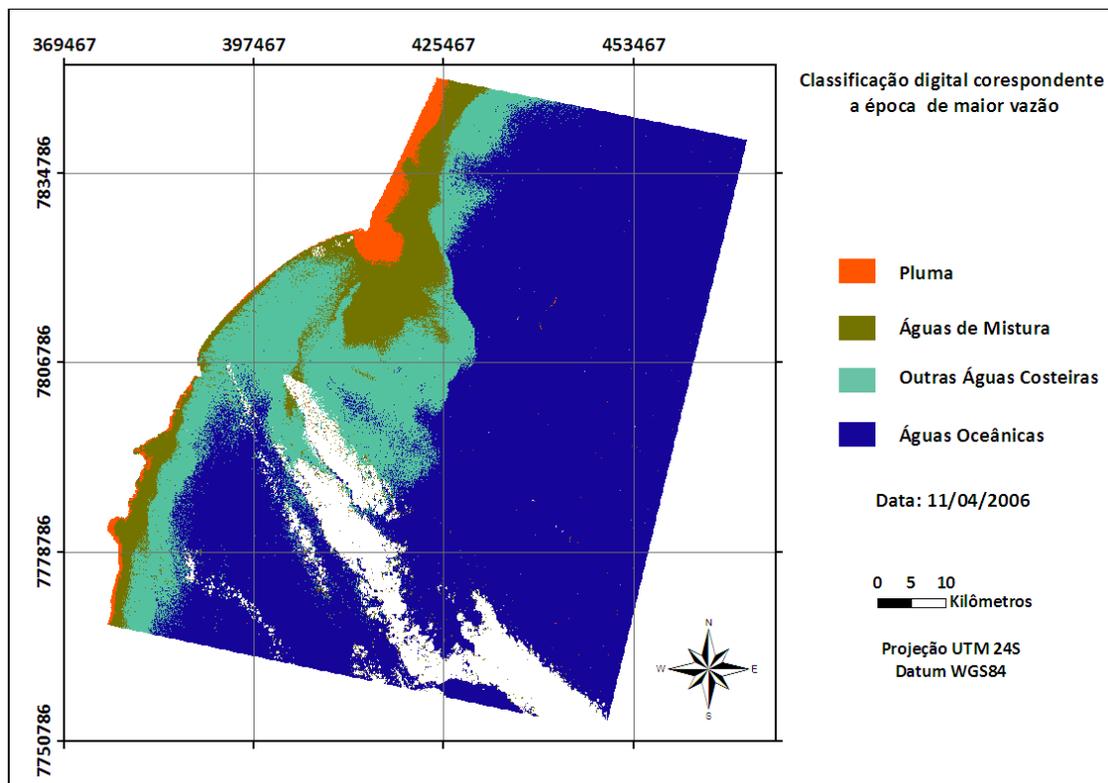


Figura 2. Resultado da classificação supervisionada para a imagem de 11/4/2006, correspondente ao período de menor vazão do rio Doce.

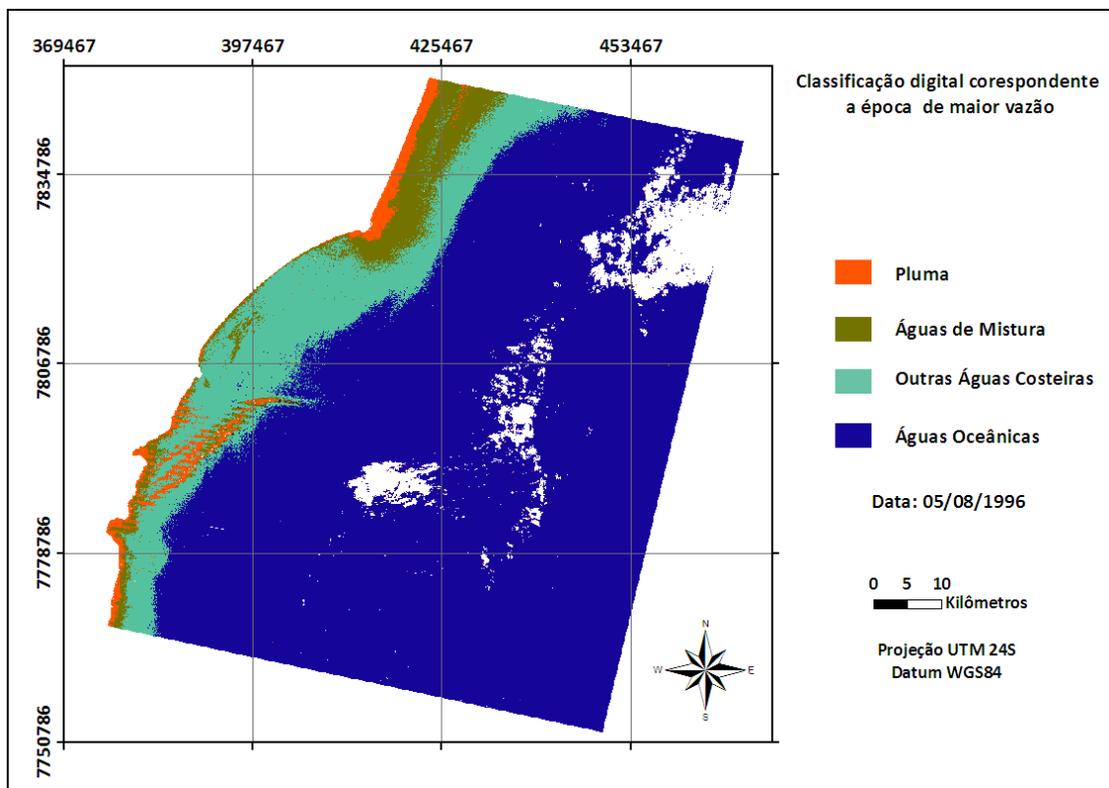


Figura 3. Resultado da classificação supervisionada para a imagem de 5/8/1996, correspondente ao período de maior vazão do rio Doce.

Tabela 1. Área média da Pluma do rio Doce (km²) e as Águas de Mistura adjacentes para as épocas de maior (novembro-abril) e menor vazão (maio-outubro).

	Maior vazão		Menor vazão	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Área Pluma (km ²)	81716,3	4733,97	47584,5	17069,49
Área Águas de Mistura (km ²)	230480	69861,86	162228	95730,93

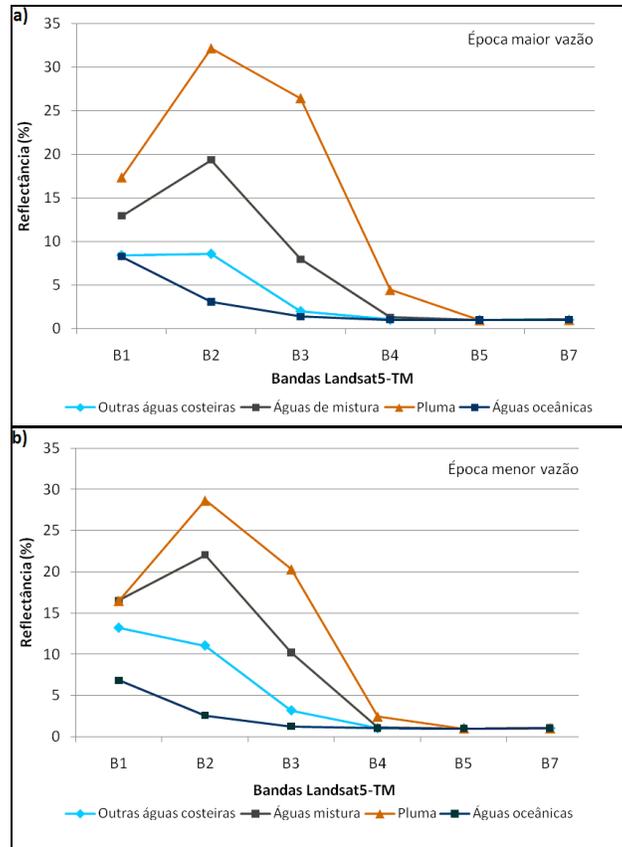


Figura 4. Reflectância média para cada classe considerada na classificação digital, para a época de maior vazão (a) e para a época de seca (b).

4. Conclusões

A análise das reflectâncias nas diferentes bandas permitiu realizar uma descrição qualitativa da distribuição espacial de alguns constituintes opticamente ativos. Analisando os espectros de reflectância, em ambas as épocas, pode-se concluir que os constituintes dominantes da pluma de sedimentos foram o fitoplâncton e substâncias dissolvidas, devido aos picos observados nas regiões do verde e do vermelho, respectivamente.

No entanto, embora os maiores valores de reflectância observados na época de cheia respeito à seca não permitem concluir que as concentrações de fitoplâncton e sedimentos sejam maiores durante a maior vazão, já que os valores de irradiância medidos pelo sensor dependem também da geometria de aquisição que não foi constante entre diferentes cenas. Estimativas destes parâmetros poderiam ser realizadas aplicando algoritmos como ser o Algoritmo Quase Analítico (*Quasi Analytical Algorithm - QAA -*) (Lee et al, 2002)

Referências bibliográficas

Barale, V.; Larkin, D. Optical remote sensing of coastal plumes and run-off in the Mediterranean region. **Journal of Coastal Conservation**, v. 4, p. 51-58, 1998.

Chérubin, L.; Kuchinke, M.; Paris, C. P. C. B. Ocean circulation and terrestrial runoff dynamics in the Mesoamerican region from spectral optimization of SeaWiFS data and a high resolution simulation. **Coral Reefs**, v. 27, p. 503–519, 2008.

Gitelson, A. A.; The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 17, p. 3367-3373, 1992.

Hu, C.; Montgomery, E.T.; Schmitt, R.W.; Muller-Karger, F.E. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: observation from space and S-PALACE floats. **Deep-Sea Research II**, v. 51, p. 1151-1171, 2004.

Kampel, M.; Novo, E.M.L.M. O sensoriamento remoto da cor da água. Em: Souza, R. B. (Ed.) **Oceanografia por satélites**. 2da edição atualizada e ampliada, p. 199-218, 2009.

Lee, Z. P.; Carder, K. L.; Arnone, R. Deriving inherent optical properties from water color: A multi-band quasi-analytical algorithm for optically deep waters, **Appl. Opt.**, 41, 5755-5772, 2002.

Lihan, T., Saitoh, S., Iida, T., Hirawake, T., Iida, K. Satellite-measured temporal and spatial variability of the Tokachi River plume. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 78, p. 237-249, 2008.

Lodhi, M. A.; Rundquist, D. C.; Han, L.; Kuzila, M. S. The potential for Remote Sensing of loess soils suspended in surface waters. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, n.1 p. 111-117, 1997.

Lotze, H. K.; Lenihan, H. S.; Bourque, B. J.; Bradbury, R. H.; Cooke, R. G.; Kay, M. C.; Kidwell, S. M.; Kirby, M. X; Peterson, C. H.; Jackson, J. B. C. Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. **Science** v. 312, p. 1806-1809; DOI: 10.1126/science.1128035. 2006.

Mantovani, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e de matéria inorgânica particulada**. 1993. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 119 p. 1993.

Piola, A. R.; Romero, S. I.; Zajaczkovski, U. Space- time variability of the Plata plume inferred from ocean color. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1556- 1567, 2008.

Rundquist, D. C.; Luoheng, H.; Schalles, J. F.; Peake, J. Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for first derivative near 690 nm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n.2, p. 195-200, 1996.

Thomas, A. C.; Weatherbee, R. A. Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 167-178, 2006.

Vermote, E.F., Tanre, D., Deuzé, J. L., Herman, M., and Morcrette, J. J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 675-686, 1997.