

## Classificação das Águas da Baía de Guanabara utilizando o sensor OLI/Landsat 8.

Fernanda Silva Soares<sup>1,3</sup>  
Gustavo Vaz de Mello<sup>1</sup>  
José Antônio Baptista Neto<sup>1</sup>  
Rafael Silva de Barros<sup>2</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense - UFF/PPDOT  
Av. Gen. Milton Tavares de Souza s/nº, Gragoatá - Campus da Praia Vermelha - 24210-346 -  
Niterói - RJ, Brasil  
gustavoocn@yahoo.com.br / jabneto@id.uff.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/PPGG  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - 21941-916 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
rafael.barros@ufrj.br / carlamad@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ  
Av. República do Paraguai, 120, Sarapuí - Duque de Caxias - RJ, Brasil  
fernanda.soares@ifrj.edu.br

**Abstract.** Monitoring coastal water bodies is a critical to water quality managing and for the understanding the dynamics of these environments. In this context, the use of remote sensing allows the obtaining of synoptic information of water properties helping in this understanding. The Guanabara Bay is a complex estuarine environment that has an intense anthropic interference that contributes to an increase of the contribution of several optically active components in the water, being a water situation of Case-2. The aim of this work is to determine different types of water in Guanabara Bay using the technique of classification and data mining. The classification technique, performed using the Ecognition8.9 program, was applied to an image of the OLI/Landsat8 sensor, related to the dry period. Seven types of water were detected that had a well defined and distinct characteristics of reflectance. After some tests, combining several descriptors, some classifications were generated that presented patterns of distribution of similar types of water, where an east-west lateral gradient in the central region, different waters in the bottom to the northeast and northwest, a water class characteristic of the central channel and another in the contact of the estuary with the ocean. The use of the classification technique proved to be effective, even when applied in a coastal water body during a period of low river flow, allowing the visualization and identification of the different types of water related to the hydrodynamic characteristics and the disposal of the various tributaries in their environment.

**Keywords:** Classification, Case-2, Optically active components in water, Estuaries, Reflectance.

### 1. Introdução

Monitorar corpos d'água interiores e costeiros é fundamental para gerir processos como assoreamento, inundação e qualidade da água para consumo humano, recreação e uso industrial. A Baía de Guanabara/RJ (figura 1) é um sistema estuarino localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com superfície de 346 km<sup>2</sup> e fluxo fluvial de, aproximadamente, 100 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (KJERFVE *et al.*, 1997). Há décadas possui qualidade de água degradada, reduzindo seu uso recreativo, de geração de renda e valor estético, sendo assim uma área de grande preocupação ambiental (AGUIAR *et al.*, 2016). A qualidade da água na Baía de Guanabara se altera rapidamente devido à variabilidade de eventos e interferências no aporte de sedimentos e matéria orgânica. Essa variabilidade pode ser observada devido a diversos fatores, tais como, a presença de desembocaduras de rios, variação da maré, total pluviométrico em sua bacia hidrográfica, obras de dragagem do fundo, trajeto de embarcações, ocorrência de ressurgência, velocidade de deslocamento das correntes,

contribuições líquidas e sólidas de indústrias, ventos etc. (MELO *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2016).



Figura 1: Baía de Guanabara / RJ.

As interações energia-matéria impactam diretamente a habilidade de pesquisar o meio aquático através do sensoriamento remoto, fazendo com que seja considerado um dos alvos mais complicados para extrair informações, já que representa a complexa mistura de materiais particulados e dissolvidos com propriedades ópticas características. Esses elementos opticamente ativos interagem com a radiação de forma diferenciada, alterando a cor da água, já que absorvem e/ou espalham a radiação de maneira seletiva. Essa dificuldade é ainda maior nas águas das regiões costeiras, classificadas como Caso-2 segundo MOREL & PRIEUR (1977), como o caso da Baía de Guanabara, em que os constituintes opticamente ativos, além da clorofila-a, são a matéria orgânica dissolvida, as partículas inorgânicas e os detritos (OLIVEIRA *et al.*, 2016; SOUZA, 2008; CARVALHO *et al.*, 2014; JICA, 1994).

Um dos objetivos do Sensoriamento Remoto é extrair informações contidas na imagem e codificá-las em formatos de fácil compreensão. O uso da técnica de classificação em imagens de satélite ajuda a compartimentar, distinguir e identificar alvos na superfície da Terra, sendo necessário que haja conhecimento sobre a área e o tema trabalhado para aprimorar sua qualidade. Diversas técnicas podem ser utilizadas para classificar uma imagem, variando quanto à complexidade e à autonomia do intérprete, mas todas almejam identificar padrões homogêneos caracterizadores de um determinado objeto ou classe temática, definidos pelo comportamento espectral dos alvos da superfície. Atualmente, busca-se aumentar o nível de automatização, através da classificação baseada em objetos (GEOBIA), que utiliza descritores diversos para a caracterização das classes (BLASCHKE *et al.*, 2010).

A classificação em imagens de satélite é amplamente utilizada por diversas áreas do conhecimento, sendo comumente aplicada para criação de mapas de uso e cobertura da terra (BURNETT & BLASCHKE, 2003). Destaca-se a importância da classificação para diferenciar os tipos de água, principalmente em ambientes do Caso-2. Diversos trabalhos utilizam a classificação para distinguir diferentes tipos de água, feições oceanográficas e mesmo para identificar os constituintes opticamente ativos presentes nela (BARROS, 2002; SOUZA, 2008; BUKATA, 2005; SLONECKER *et al.*, 2016; DOXARAN *et al.*, 2002; BREZONIK *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2016). O uso da classificação em ambientes costeiros já foi verificado em alguns trabalhos (BREUNIG *et al.*, 2007; CONCHA & SCHOTT, 2016; MOLLERI *et al.*, 2010; REIS & SAAVEDRA, 2015) que mostraram sua eficácia e necessidade de aprimorar os métodos de classificar corpos d'água costeiros.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é gerar uma classificação dos tipos de água na Baía de Guanabara, através de dados de reflectância das imagens de satélite do sensor

OLI/Landsat 8, em uma situação de período seco. Com isso, busca-se o reconhecimento de um padrão espacial dos tipos de água. É muito importante diferenciar os tipos de água em ambientes costeiros, pois assim consegue-se indentificar a dinâmica de circulação das águas, a interferência do aporte de água doce, a exportação de materiais para o oceano e analisar a qualidade da água.

## 2. Metodologia de Trabalho

Nesse trabalho foi utilizada uma imagem do sensor *Operacional Imager Terra* (OLI), a bordo de Landsat-8, obtida através da USGS (2015), de 05 de junho de 2015, referente à região da Baía de Guanabara/RJ, órbita 217, ponto 76, com projeção UTM 23S, WGS84, em maré vazante, de sizígia, no início do período seco. Pode-se observar na Figura 2 o procedimento adotado.

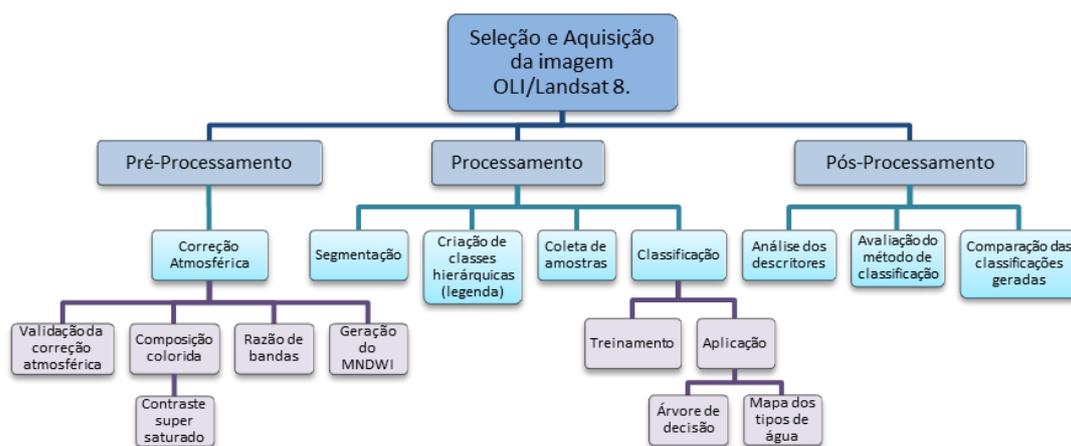


Figura 2: Descrição do método de trabalho adotado.

### 2.1 Pré-processamento da imagem

A correção atmosférica da imagem foi realizada pelo modelo de transferência radiativa 6S (VERMOTE *et al.*, 1997), através do programa ATMCOR4 OLI (ANTUNES *et al.*, 2012). Realizou-se a validação da correção atmosférica com base nas curvas de comportamento espectral de alvos conhecidos na literatura (ANTUNES *et al.*, 2012; JENSEN, 2011; BREUNIG *et al.*, 2007; PONZONI *et al.*, 2010; dentre outros).

### 2.2 Processamento de imagem e classificação

Todo o processo de segmentação e classificação da imagem foi realizado no programa *Ecognition Developer 8.9*.

O primeiro passo é a segmentação da imagem, que foi realizada utilizando o algoritmo *Multiresolution Segmentation*, por crescimento de regiões, que utiliza atributos, tanto espectrais, quanto morfológicos (BAATZ *et al.*, 2000). A determinação do valor do parâmetro de escala para segmentação baseou-se em abordagem heurística, tendo como referência inicial algumas informações apresentadas na literatura (BAATZ *et al.*, 2000). Foi utilizado como parâmetro de escala, o valor 50, conseguindo delimitar bem os objetos na água.

Para realizar a classificação dos tipos de água, foi utilizado o algoritmo *Classifier*, que permite a aplicação de funções de aprendizado de máquina para realização da análise e isso ocorre em duas etapas. Primeiro, o classificador é treinado através de objetos classificados na imagem como amostras de treinamento e é armazenado como uma cadeia na variável de configuração. Num segundo momento, o classificador treinado é aplicado ao domínio, sendo assim, classifica os objetos de imagem de acordo com o que aprenderam na primeira etapa.

Com base em dados obtidos em campo, classificações teste, árvores de decisão e na literatura (AGUIAR *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2015; NETO *et al.*, 2006), verificou-se um padrão de distribuição dos tipos de água na Baía de Guanabara, possibilitando a escolha de descritores mais adequados à classificação. Esses descritores foram criados para refinar o processo de classificação, baseada em mineração de dados. O projeto foi realizado utilizando as bandas 1 a 8 do sensor OLI/Landsat8, o NDVI e o MNDWI, que são, respectivamente, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e o Índice de Água por Diferença Normalizada Modificado. A maior parte dos descritores utilizados foram usados para descrever os objetos com base em suas propriedades espectrais. Os descritores usados foram: quantil, moda, média, desvio padrão, brilho, máxima diferença, assimetria, número de pixels e área.

### 3. Resultados e Discussão

Os gradientes espaciais de classes de água na Baía de Guanabara podem ser explicados pela vazão dos rios (influenciada diretamente pela precipitação), regime de ventos, disponibilidade de luz, variação da maré, morfologia do estuário, estratificação da coluna d'água e aporte de resíduos industriais, esgoto doméstico e fertilizantes agrícolas. Como a baía é muito dinâmica, qualquer intervenção, seja ela negativa ou positiva, gera uma resposta muito rápida, impactando diretamente na qualidade da água. Com o aumento da interferência antrópica na bacia da Baía de Guanabara, mais complexos tornam-se os padrões espaciais de distribuição dos tipos de água. As regiões marginais da baía apresentam maior concentração de MPS em relação a áreas mais centrais, principalmente, próximo à desembocadura de rios, canais e emissários. Porém, dependendo do regime hidrodinâmico, essas concentrações mais elevadas podem ser transportadas para as áreas mais centrais.

A classificação ótica de massas de água facilita a compreensão de processos físicos e biogeoquímicos e permite otimizar algoritmos de cor do oceano (CARVALHO *et al.*, 2014). O OLI foi escolhido para a realização desse trabalho, por ser um novo sensor, promissor para monitorar regiões costeiras e fechadas. Neste estudo, identificamos 7 classes óticas de águas na Baía de Guanabara e na plataforma continental interna adjacente à Baía (Brasil), com base na reflectância. Foram realizados diversos testes de classificação, com mais e menos tipos de água, para determinar o número de amostras que seria mais fiel à diversidade de sedimentos e à circulação da Baía, na data da imagem selecionada.

Tabela 1: Localização e características das amostras de água.

Amostra	Localização	Características
Água 1	Oceano próximo ao litoral a oeste da Baía.	Água oceânica sem tanto sedimento.
Água 2	Desembocadura de rios da área da APA de Guapimirim.	Água com muito sedimento em suspensão e materiais provenientes do manguezal.
Água 3	Leste da ilha de Paquetá, margem leste da Baía, desembocadura do rio Imboaçú.	Área com grande descarga de sedimentos e matéria orgânica, proveniente de rios altamente poluídos
Água 4	Noroeste da ilha do Governador, canal do Galeão e Ilha do Fundão.	Área com grande descarga de sedimentos e matéria orgânica - rios altamente poluídos: Pavuna e Irajá.
Água 5	Foz dos Rios Sarapuí e Iguaçú.	Grande descarga de água doce altamente poluída.
Água 6	Contato do oceano com a Baía.	Mistura de água estuarina e oceânica.
Água 7	Leste da Ilha do Fundão.	Mistura de águas no canal central da Baía.

A figura 3 mostra que todos os polígonos selecionados para uma determinada amostra são semelhantes entre si e distintos com relação a outras amostras, justificando a escolha das amostras que representam uma mesma classe.

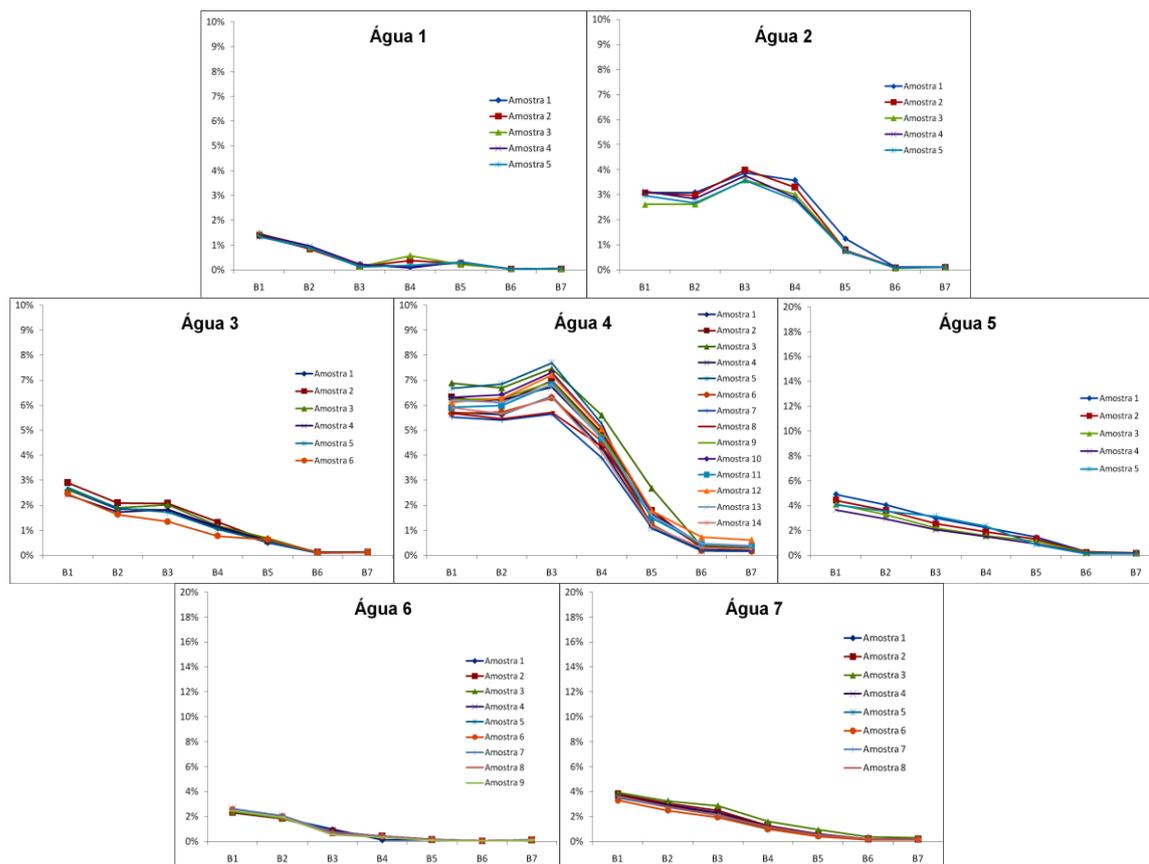


Figura 3: Valores de reflectância de cada amostra por classe de água.

Foram testadas diversas classificações, com variados métodos, descritores, bandas e índices. Observou-se que alguns padrões se repetem em todas as classificações, independente do método utilizado, do conjunto de dados escolhidos e dos índices aplicados. Sendo assim, buscou-se destacar as características observadas sistematicamente, selecionando-se para isso a classificação apresentada na figura 4. Nessa classificação foram usadas as bandas de 1 a 7 e o MNDWI e foram utilizados os descritores: média, brilho, máxima diferença, desvio padrão e número de pixels. Verificou-se que a correção atmosférica interfere diretamente na qualidade da classificação.

A distribuição sinótica elementos opticamente ativos na Baía de Guanabara, observada através da imagem, evidenciou tipos de água diferenciados. A água que sai da baía para o oceano foi identificada e apresentou deslocamento maior para a parte do oceano a leste da baía. Diversas desembocaduras de rios encontram-se na área do fundo da baía influenciando a característica das águas nessa área. A nordeste destaca-se um tipo de água influenciada pelos rios que passam pelo manguezal de Guapimirim. Já a área do fundo, a noroeste, recebe as águas de rios como o Iguaçú, Sarapuí e Pavuna, que passam pela Baixada Fluminense e pela cidade do Rio de Janeiro, recebendo esgoto sem tratamento, resíduos industriais, insumos agrícolas e muito material particulado. A pluma do rio Iguaçú, situado na mesma região, embora sendo um dos principais tributários, apresentou um tipo de água diferente, provavelmente pela alta concentração de matéria orgânica, oriunda do despejo de esgoto doméstico in natura, que ocasiona uma menor reflectância. Percebe-se também classes de águas distintas nas margens leste e oeste e no canal central, fato que também ocorre pelos rios e canais contribuintes. Pode-se observar um gradiente lateral significativo a partir do alinhamento Gragoatá – Aeroporto Santos Dumont. O eixo central da baía é marcado por uma classe 7 de água, destacando-se por ser uma área de muita mistura de água estuarina e

oceânica, com menor concentração de material particulado em suspensão (MPS). Diversos trabalhos corroboram essa observação (KJERFVE *et al.*, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

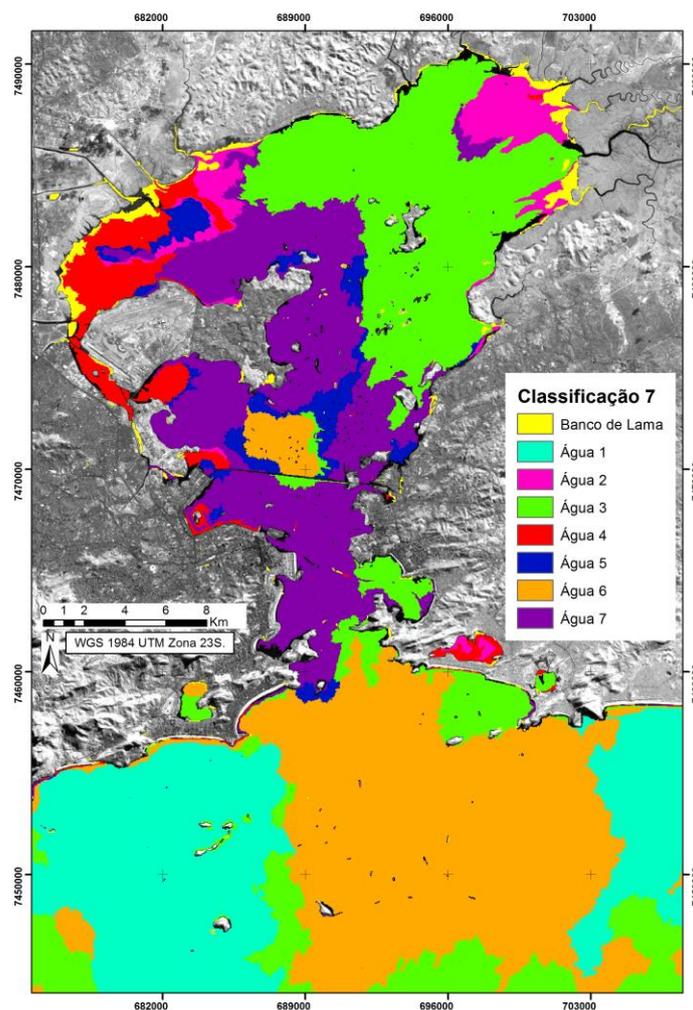


Figura 4: Classificação na imagem do sensor OLI do dia 05/06/2015.

O conhecimento da diferenciação das águas dentro da Baía de Guanabara, é muito importante para avaliarmos a possibilidade deste ambiente atuar como exportador de poluentes.

#### 4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se constatar que em uma situação de inverno, com baixa vazão fluvial, a baía apresenta grande diversidade de tipos de água, percebendo-se o impacto dos seus tributários e o contraste com a água oceânica. Além disso, verificou-se a grande eficácia de se utilizar técnicas do sensoriamento remoto para a compreensão do padrão de distribuição espacial das águas da Baía de Guanabara.

Atualmente, existe uma lacuna no conhecimento sobre as propriedades ópticas e componentes ópticamente ativos na baía, dificultando o desenvolvimento de algoritmos, elaboração de classificações e validação da correção atmosférica. Espera-se dar continuidade a esse estudo aplicando técnicas de correção atmosférica específicas para ambientes aquáticos estuarinos, desenvolvendo o conhecimento acerca das propriedades ópticas da Baía de Guanabara, aprimorando as técnicas de classificação nesse ambiente produzindo informações confiáveis para outras datas.

## Agradecimentos

Pelo apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), do Programa de Pós Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (UFF/PPDOT) e do Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ/PPGG).

## Referências Bibliográficas

- AGUIAR, V. M. de C.; LIMA, M. N. de; ABUCHACRA, R. C.; ABUCHACRA, P. F. F.; NETO, J. A. B.; BORGES, H. V. & OLIVEIRA, V. C. de. Ecological risks of trace metals in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil: An index analysis approach. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 133 (2016) 306–315.
- ANTUNES, M. A. H.; GLERIANI, J. M. & DEBIASI, P. Atmospheric effects on vegetation indices of TM and ETM+ images from a tropical region using the ATMCOR4OLI model. In: **Proceedings of the IEEE IGARSS2012**, Munich, 2012, pp. 6549-6552.
- BAATZ, M. & SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: **XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung**, Wichmann-Verlag, Heidelberg, 2000.
- BARROS, R. S. de. **Estimativa de Parâmetros Físico-Químicos da Água com o Suporte do Sensoriamento Remoto – estudo de caso: Baía de Guanabara**. 2002. 152 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 65 (2-16), 2010.
- BREUNIG, F. M.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA, F. W. & RUDORFF, C. M. Análise das Propriedades Ópticas da Água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva – Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 88-102, 2007.
- BREZONIK, P. L.; OLMANSON, L. G.; FINLAY, J. C. & BAUER, M. E. Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. **Remote Sensing of Environment**, 157 (2015) 199–215.
- BUKATA, R. P. **Satellite monitoring of inland and coastal water quality**: retrospection, intropection, future direction. Taylor & Francis Group, LLC, 2005, 281 p.
- BURNETT, C. & BLASCHKE, T. A multi-scale segmentation-object relationship modelling methodology for landscape analysis. **Ecological Modelling** 168 (3) 233-249. 2003.
- CARVALHO, M.; CIOTTI, A. M.; GIANESELLA, S. M. F.; CORRÊA, F. M. P. S. & PERINOTTO, R. R. C. Bio-Optical Properties of the Inner Continental Shelf off Santos Estuarine System, Southeastern Brazil, and Their Implications for Ocean Color Algorithm Performance. **Brazilian Journal of Oceanography**, 62(2):71-87, 2014.
- CONCHA, J. A. & SCHOTT, J. R. Retrieval of color producing agents in Case 2 waters using Landsat 8. **Remote Sensing of Environment** 185 (2016) 95–107.
- DOXARAN, D.; FROIDEFOND, J.; LAVENDER, S. & CASTAING, P. Spectral signature of highly turbid waters Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. **Remote Sensing of Environment** 81 (2002) 149– 161.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N. *et al.* São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011, 598p.
- JICA Report. **The study on recuperation of the Guanabara Bay ecosystem**. Tokyo: Japan International Cooperation Agency: Kokusai Kogyo Co., Ltd., 1994.
- KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H. A.; DIAS, G.T.M., FILIPPO, A. M. & QUARESMA, V.S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, 17 (13), 1609-1643, 1997.
- MELO, G. V. de; NETO, J. A. B.; MALM, O.; FERNANDEZ, M. A. dos S. & PATCHINEELAM, S. M. Composition and behaviour of heavy metals in suspended sediments in a tropical estuarine system. **Environ Earth Sci** (2015) 73:1331–1344.
- MOLLERI, G. S. F.; KAMPEL, M. & NOVO, E. M. L. de M. Spectral classification of water masses under the influence of the Amazon River plume. **Acta Oceanol. Sin.**, 2010, Vol. 29, No. 3, P. 1-8.
- MOREL, A. & PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnol. Oceanogr.** 22, 709–722 (1977).
- NETO, J. A. B.; GINGELE, F. X.; LEIPE, T. & BREHME, I. Spatial distribution of heavy metals in surficial sediments from Guanabara Bay: Rio de Janeiro, **Brazil. Environ Geol** (2006) 49: 1051–1063.
- OLIVEIRA, E. N.; FERNANDES, A. M.; KAMPEL, M.; CORDEIRO, R. C.; BRANDINI, N.; VINZON, S. B.; GRASSI, R. M.; PINTO, F. N.; FILLIPO, A. M. & PARANHOS, R. Assessment of remotely sensed chlorophyll-a concentration in Guanabara Bay, Brazil. **J. Appl. Remote Sens.** 10(2), 026003 (2016).

- PONZONI, F. J. & SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2010, 136p.
- REIS, J. B. C. dos & SAAVEDRA, O. F. C. Comparação de métodos de classificação para reconhecimento de corpos d'água em imagens do sensor OLI do Landsat 8. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- SLONECKER, E. T.; JONES, D. K.; PELLERIN, B. A. The new Landsat 8 potential for remote sensing of colored dissolved organic matter (CDOM). **Marine Pollution Bulletin** 107 (2016) 518–527.
- SOUZA, R. B. de (org.). **Oceanografia por Satélites**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 382 p.
- USGS. **Earth Explorer**. Department of the Interior - U.S. Geological Survey – NASA. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 01 set. 2015.
- VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M. & MORCRETTE, J. J. *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, ATMCOR4OLI: an overview*. **IEEE Trans. Geosc. and Remote Sens.** 35<3>: 675-686, 1997.