

Análise multitemporal da baía de Vitória (ES) utilizando sensoriamento remoto

Lorena Galletti de Almeida¹
Mára Regina Labuto Fragoso da Silva²
Cláudia Câmara Vale³

¹Departamento de Ecologia e Recursos Naturais
Av. Fernando Ferrari, 514
29075-900, Vitória, ES – Brasil
lorenagalletti@yahoo.com.br

²Departamento de Informática
Av. Fernando Ferrari, 514
29075-910, Vitória, ES – Brasil
mrlfds@uol.com.br

³Departamento de Geografia
Av. Fernando Ferrari, S/N
29075-900, Vitória, Es – Brasil
geovale0907@yahoo.com.br

Abstract – The mangrove environment degradation is an evident fact in the history of Vitória (ES) bay. More recently, concerns on activities due to the petroliferous exploration in the coast, under the risk of accidents, motivates continual mangrove monitoring. For the multitemporal analysis, two sets of images acquired from CBERS 2 satellite were used: March, 11st, 2004 and March, 10th, 2005. The selected spectral bands 2, 3 and 4 of each set were submitted to georeferencing processes that included image-map and image-image registration, and have been cut according to latitude and longitude of the working region. After that, band ratio and principal component analysis as described in Silva *et al.* (2005) were realized. Finally, two color compositions have been made: 2005/2004/zero to RGB channels and pc1_2005/pc1_2004/zero to RGB channels. This work presents a brief discussion about the perceived changes caused by weather and tide episodes and concludes that the better method to emphasize the multitemporal analysis was the color composition 2005/2004/zero to RGB channels.

Palavras-chave: Vitoria bay, mangrove, remote sensing, CBERS, baía de Vitória, manguezal, sensoriamento remoto.

1 Introdução

Os manguezais são reconhecidos como ecossistemas-chave, sendo considerados verdadeiros celeiros biológicos, abrigando espécies típicas desses sistemas ou aquelas que passam, pelo menos, uma parte do ciclo de vida, podendo ainda ser tratados como recurso renovável finito, quando se considera a sua produção natural, ou como um recurso não renovável, quando substituídos por aterros, lixões, empreendimentos imobiliários ou distritos industriais (Maciel, 1991). O ecossistema de manguezal é considerado área de preservação permanente (Lei Federal nº. 4.771, 15/09/65) e reserva biológica, “em toda a sua extensão” (Resolução CONAMA, nº 004, 18/09/85).

A baía de Vitória é uma região de extrema importância sócio-econômica no Estado do Espírito Santo. A forte degradação ambiental dos manguezais é fato marcante na história da baía sendo promovida pela ocupação populacional em seu entorno, aterros, implantação de indústrias e atividades portuárias. Este fato pode ser confirmado por Carmo *et al.* (1995) que constataram que a cidade de Vitória teve sua área física aumentada através de sucessivos aterros de mangues e praias.

Mais recentemente, atividades ligadas à exploração petrolífera colocam trechos do litoral (inclusive os seus manguezais) sob o risco de acidentes envolvendo derrames de petróleo. Áreas de manguezal são consideradas como a área de maior sensibilidade ambiental existente concernente a um episódio de derramamento de óleo, onde em uma classificação mundial utilizada pelos ecologistas (Índice de Sensibilidade Ambiental ou ISA) de 1 a 10 níveis e A a D sub-níveis em ordem crescente de sensibilidade, tem-se o mangue classificado como 10-D.

Ao contrário do passado, hoje, compreende-se a relevância deste ecossistema e a necessidade de protegê-lo, fazendo-se necessário um monitoramento intensivo e manejo apropriado deste recurso; logo, adquirir informação é crucial para o monitoramento do estado de conservação do manguezal, para o desenvolvimento de políticas e, posterior implementação de programas de conservação. Assim, o sensoriamento remoto constitui uma peça-chave, freqüentemente, empregada em estudos de mapeamentos (Gao, 1999 e Green *et al.*, 1998), levantamentos florísticos (Ramsey e Jensen, 1996; Proisy *et al.* 2000; Thevand, 2002 e Thevand *et al.*, 2003) e monitoramento ambiental (Ramirez-Garcia *et al.* 1998 e Ramachandran *et al.* 1998), uma vez que o conjunto de um meio de difícil acesso com a necessidade de atualizar regularmente dados sobre ele num contexto de mudança leva a obrigação de usar uma ferramenta que permite economizar tempo, recursos humanos e materiais. O sensoriamento remoto parece ser uma solução eficiente para esse problema.

O estudo de setores de imagens de satélite que comportam manguezais, pode não representar uma atividade muito complicada, dependendo dos objetivos do estudo; se a cobertura vegetal for contínua e principalmente se o ecossistema considerado estiver localizado em áreas preservadas. Contrariamente, o sensoriamento remoto pode ser muito difícil sobre manguezais impactados por atividades antrópicas, como canalizações; construção de estradas; aterros; retificação de rios e canais e qualquer outra obra que venha modificar as condições naturais de circulação das águas de marés, provocando uma desestruturação do ecossistema. O estudo é dificultado mais ainda, quando as áreas individuais a serem analisadas são de pequenas dimensões e alternadas. Além disso, deve-se levar em consideração que o mapeamento acurado da vegetação de mangue é dificultado devido a sua similaridade espectral com pastos, arbustos costeiros e florestas (Gao, 1999).

Assim, com os resultados obtidos a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto poderão ser geradas informações através de mapas temáticos e relatórios da análise temporal evolutiva da baía de Vitória, ES, que servirão de orientação à gestão ambiental deste importante ecossistema concernente à solução de problemas em tempo real e geração de políticas sociais racionais para o manejo dos recursos naturais.

2. Materiais e Métodos

Para a realização da análise multitemporal do manguezal da baía de Vitória foram utilizados dois conjuntos de imagens provenientes do satélite CBERS 2 (resolução espacial de 20 m), de 11 de março de 2004 e 10 de março de 2005, respectivamente, onde foram consideradas: praticamente a mesma data com intervalo de 1(um) ano, boa visibilidade, pouca ocorrência de nuvens e disponibilidade da imagem (material gratuito na internet), além de uma Carta Topográfica de Mapeamento Sistemático do IBGE de Vitória digitalizada, com escala 1:50000. Neste estudo, foram selecionadas apenas as bandas espectrais 2, 3 e 4 de cada conjunto.

O programa para tratamento das imagens utilizado foi o ENVI 4.0, que tem se mostrado eficiente por aliar ferramentas de altíssimo desempenho com uma interface amigável e uma excelente velocidade de processamento (Sulsoft e Iesam, 2004).

A metodologia empregada no projeto de pesquisa é apresentada na forma de fluxograma na **Figura 1**, sendo detalhada a seguir.

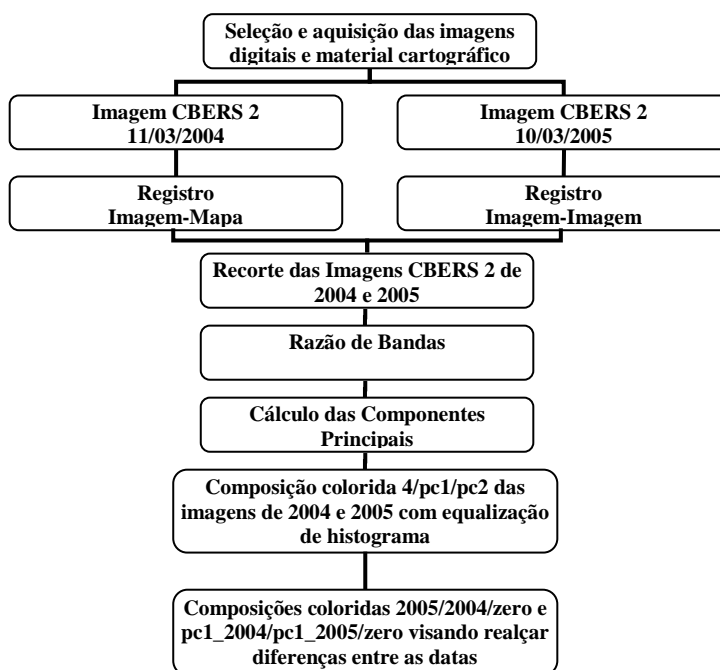


Figura 1 - Fluxograma da metodologia adotada.

Os conjuntos de imagens provenientes do satélite CBERS 2 foram submetidas a processos padronizados de georreferenciamento, que incluíram registro imagem-mapa (imagem de 2004) e imagem-imagem (imagem de 2005). O registro de imagens consiste, basicamente, na determinação dos parâmetros de uma função de mapeamento que relaciona duas imagens (registro imagem-imagem) ou uma imagem e um mapa (registro imagem-mapa) da mesma cena. O objetivo do registro é agregar informação de mapa – latitude e longitude – precisa a cada pixel da imagem, também denominado georreferenciamento.

O conjunto de imagens de 11 de março de 2004 foi registrado, em ajuste grosso, com uma Carta Topográfica de Mapeamento Sistemático do IBGE de Vitória digitalizada, na escala 1:50000 (arquivo de Hidrografia) e, logo após, em ajuste fino, utilizando arquivo gráfico gerado por Rigo (2002). Para este registro imagem-mapa foram selecionados pontos de controle distribuídos por toda imagem, sendo a reamostragem dos pixels na imagem realizada pelo método de ajuste polinomial do vizinho mais próximo, método este que mais preserva o valor dos pixels das imagens a serem registradas.

Para o conjunto de imagens de 10 de março de 2005 foi realizado um registro entre imagens. A imagem de 10 de março de 2005 foi registrada segundo a imagem de 11 de março de 2004 já registrada anteriormente. Este tipo de registro (imagem-imagem) foi adotado a fim de permitir um casamento perfeito entre as imagens dos dois conjuntos para posterior combinação. Assim como no registro imagem-mapa, o registro imagem-imagem foi realizado com a aquisição de pontos de controle e utilizando-se o método de ajuste polinomial do vizinho mais próximo pelo mesmo motivo anteriormente citado.

Após as imagens terem sido registradas, as bandas 2, 3 e 4 de cada conjunto foram recortadas conforme a janela formada pelas seguintes coordenadas: latitude – 20° 6' 58,96" S a 20° 18' 34,27" S; longitude – 40° 29' 8,13" O a 40° 15' 21,2" O, em projeção UTM, Zona

24 Sul, Datum SAD-69/ Brasil, totalizando uma área de 25.652 km² abrangendo o mangue presente nos municípios de Vitória, Serra e Cariacica (região da Grande Vitória).

Em seguida, para ambos os conjuntos de imagens foi realizada uma operação razão de bandas para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, que consiste na divisão do valor digital dos pixels de uma banda pelos seus valores correspondentes em outra banda. Neste caso, dividiu-se a banda 3 pela banda 4 e a banda 4 pela banda 2. Esta técnica enfatiza a separação dos alvos com comportamentos de gradiente diferente nas curvas de reflectância.

Após a criação de imagens formadas pela razão de bandas foi realizada, nos dois conjuntos de imagens, a Análise dos Componentes Principais (PCA), utilizando como entrada as imagens: banda 3, banda 2, banda 4, razão entre bandas 3/4 e razão entre bandas 4/2, para cada conjunto (data), uma vez que imagens multiespectrais apresentam certa redundância entre bandas adjacentes, fato este indesejável, pois, em composições coloridas, diminui a eficiência de exposição das cores. Após serem calculadas as componentes principais das duas imagens, foram selecionadas a componente principal 1 (pc1) e a componente principal 2 (pc2).

Na avaliação de precisão feita por Green *et. al* (1998) o método de análise dos componentes principais e razão de bandas obtiveram 92% de precisão, enquanto os métodos de classificação supervisionada e não-supervisionada produziram cerca de 70% de precisão utilizando dados da imagem Landsat TM.

Silva *et al.*(2005) fizeram uma análise visual das imagens resultantes das composições espectrais para identificação do melhor método de combinação e processamento para o mangue da região de Vitória e concluíram que o método da composição 4/pc1/pc2 em RGB com processamento de equalização¹ foi o que obteve maior sucesso na discriminação entre mangue e não mangue, identificação dos canais de maré e distinção entre as diferentes formas de relevo, como a Formação Barreiras e formas do cristalino. Portanto, a metodologia proposta em Silva *et al.*(2005) foi a utilizada nos dois conjuntos de imagens.

Para a análise multitemporal entre os conjuntos de imagens do ano de 2004 e 2005, ou seja, evidenciar as mudanças ocorridas no manguezal da baía de Vitória, foram realizadas duas combinações entre as imagens:

1. Combinação 2005/2004/zero

Após a combinação 4/pc1/pc2 em RGB com processamento de equalização para ambas as datas, estas combinações foram salvas em formato de nível de cinza com 8 bits por pixel (256 níveis de cinza, do branco ao preto). Procedeu-se à operação de diferença entre duas imagens iguais originando-se uma imagem zero (com todos os valores de pixel iguais a zero). Posteriormente, foi feita a composição das duas imagens em níveis de cinza e a imagem zero da forma 2004 em R, 2005 em G e zero em B, originando a imagem colorida 2004/2005/zero.

2. Combinação pc1_2005/pc1_2004/zero

Após o cálculo das Componentes Principais dos dois conjuntos de imagens, escolheu-se a primeira componente principal, por ser a que mais discrimina a classe vegetação em manguezal nas imagens de entrada, e foi feita a composição pc1 de 2005 em R, pc1 de 2004 em G e zero em B, originando a imagem colorida pc1_2005/pc1_2004/zero.

¹ RGB: canhão do monitor nas cores vermelha (R), verde (G) e azul (B); PC: refere-se a componente principal resultante de operação estatística onde a primeira componente representa a maior co-variância do conjunto de entrada; Equalização: operação onde o histograma da imagem é ajustado de modo que todos os níveis de cinza possuam a mesma densidade de probabilidade.

3. Resultados e Discussão

A **Figura 2** mostra as bandas do satélite CBERS 2, as razões de bandas e as duas primeiras componentes principais (pc1 e pc2) da imagem de 10 de março de 2005.

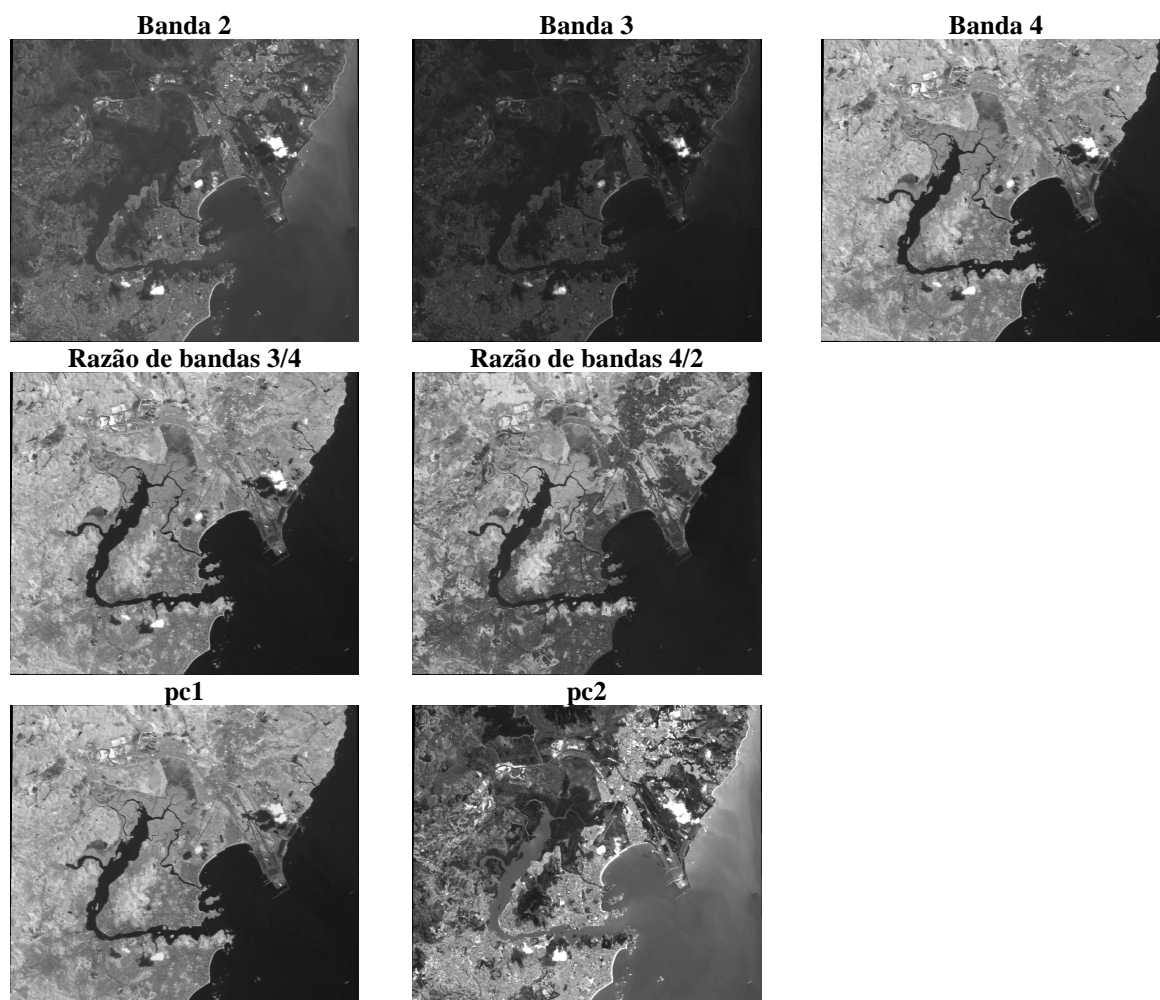


Figura 2 - Bandas do satélite CBERS 2, razões de bandas (3/4 e 4/2) e as duas primeiras componentes principais (pc1 e pc2) da imagem de 10 de março de 2005.

As **Figuras 3 e 4** mostram, respectivamente, a imagem composta por 4/pc1/pc2 do ano de 2004 e 2005, com realce de equalização de histograma, evidenciando as principais alterações e/ou diferenças entre estes anos.

Na **Figura 3**, datada para 11 de março de 2004 às 12h51min, a maré estava subindo, sendo que a máxima esteve em 1,4m às 05h19min e a mínima em 0,3m às 11h41min. Durante o mês de março de 2004, três sistemas frontais chegaram à região Sudeste, alcançando o Espírito Santo e provocando precipitações acima da média histórica. A ocorrência de sistemas frontais, geralmente, “aprisiona” a água e dificulta a descida da maré, por isso observa-se o apicim ao norte (seta vermelha 1) quase todo submerso, assim como o apicim do rio Bubu (seta vermelha 2) e apicim da Estação Ecológica Marinha da Ilha do Lameirão (EEMIL) (seta vermelha 3).

Dois aspectos da imagem podem ser ainda observados. O primeiro refere-se à pluma de sedimentos da maior abertura da baía de Vitória (seta verde claro); conforme foi dito anteriormente, em função do sistema frontal, há dificuldade para a descida da maré. O

segundo refere-se aos sedimentos de deriva norte (seta verde escuro), que pode ser explicado, também, em função do sistema frontal, uma vez que nessas ocasiões, as frentes de ondas de sudeste, embora menos freqüentes, são mais efetivas no transporte de sedimentos.

Na **Figura 4**, datada de 10 de março de 2005, estávamos sob o predomínio da Lua Nova, com maré de sizígia exatamente no dia 10. Sabe-se que durante uma maré de sizígia as amplitudes correspondem aos valores mais altos em relação ao nível médio do mar local (Lua Nova e Lua Cheia). Às 12h49min, horário da aquisição dessa imagem, a maré estava mais próxima da maré cheia, que ocorreu às 15h com altura de 1,6m. Em comparação com a imagem de 2004, no que se refere ao apicum do norte (seta rosa 1), percebe-se que este se encontra “encharcado”, assim como o apicum do rio Bubu (seta rosa 2) e da EEMIL (seta rosa 3). Entretanto, o primeiro não extrapola sua área de circunscrição, como acontece na imagem de 2004.

Na área tracejada em círculo rosa observa-se maior acúmulo de água nos interflúvios do que na imagem de 2004 (área tracejada em círculo vermelho), que pode ser decorrente de um mês de março mais chuvoso. No centro desta área está a planície de inundação do rio Santa Maria da Vitória. Quanto à descarga da pluma de sedimentos (setas amarelas), observa-se que na maior abertura da baía de Vitória está mais acentuada que na imagem de 2004, fato que corrobora com uma maior precipitação na bacia do rio Santa Maria nessa data. Entretanto, os sedimentos à deriva norte estão menos expressivos. Aqui, parece que os sedimentos são dirigidos de nordeste para sul, direção mais freqüente das frentes de ondas.

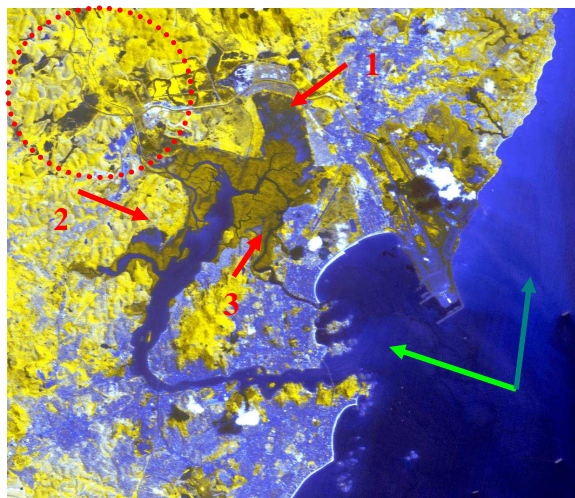


Figura 3 - Imagem final composta por 4/pc1/pc2 em RGB com realce de equalização de histograma do ano de 2004, evidenciando as principais alterações e/ou diferenças com relação à imagem de 2005.

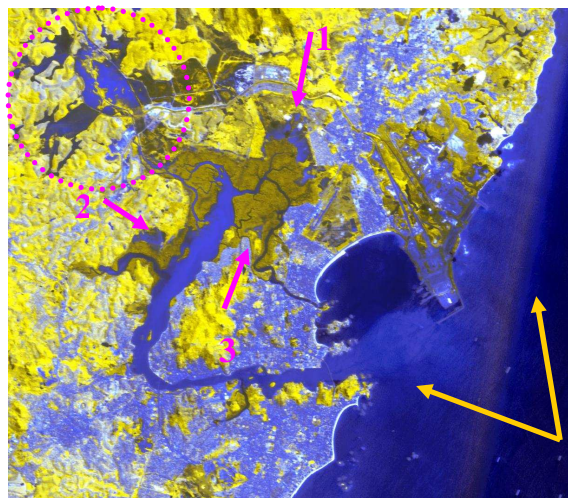


Figura 4 - Imagem final composta por 4/pc1/pc2 em RGB com realce de equalização de histograma do ano de 2005, evidenciando as principais alterações e/ou diferenças com relação à imagem de 2004.

Na **Figura 5**, na composição 2004/2005/zero em RGB, as feições existentes na data de 2004 e não presentes na data de 2005 apresentam-se em tonalidades de vermelho, as feições não presentes na data de 2004 e existentes na data de 2005 apresentam-se em tonalidades de verde, e as feições presentes em todas as duas datas apresentam-se em tonalidades do amarelo ao marrom. A área do retângulo enfatiza a região presente em 2004, porém alagada em 2005 (portanto, tons de vermelho). As áreas apontadas pelas setas azuis mostram que esta imagem

não apresenta diferença marcante nos dois apicums, sobretudo no apicum dos manguezais de Vitória (seta azul maior) nas duas imagens isoladas (portanto, tons de marrom). A área do apicum do norte (seta vermelha maior) aponta a extrapolação do alagamento da área em função da frente fria de 2004 (portanto, tons de verde). A seta vermelha menor aponta o apicum do interior da EEMIL com uma coloração levemente laranja, mostrando que nas duas imagens anteriores ela estava “encharcada”.

Na composição *pc1_2004/pc1_2005/zero* em RGB (**Figura 6**), as feições mais discriminadas pela primeira componente principal (*pc1* de 2004) resultante do processamento de realce aplicado nas imagens de 2004 e não presentes na data de 2005 apresentam-se em tonalidades de vermelho, as feições mais discriminadas pela primeira componente principal (*pc1* de 2005) resultante do processamento de realce aplicado nas imagens de 2005 e não presentes na data de 2004 apresentam-se em tonalidades de verde e, as feições presentes em todas as duas datas apresentam-se em tonalidades do amarelo ao marrom.

Esta imagem, assim como a anterior, enaltece a área continental alagada. Esta área é naturalmente pouco drenada, com lençol freático aflorando mesmo com a ocorrência de pouca precipitação. As duas setas azuis mostram apenas um *pouco* de água no apicum dos manguezais de Vitória. As setas vermelhas mostram apicums do rio Bubu (1), do delta do rio Santa Maria (2) e da Ilha do Lameirão (3); todos eles aparecem muito bem definidos nas duas primeiras imagens analisadas, fato que não acontece nesta imagem, onde os mesmos aparecem como que com pouca umidade no substrato, ou melhor, não mostram toda a umidade que este substrato apresenta nas situações de 2004 e 2005.

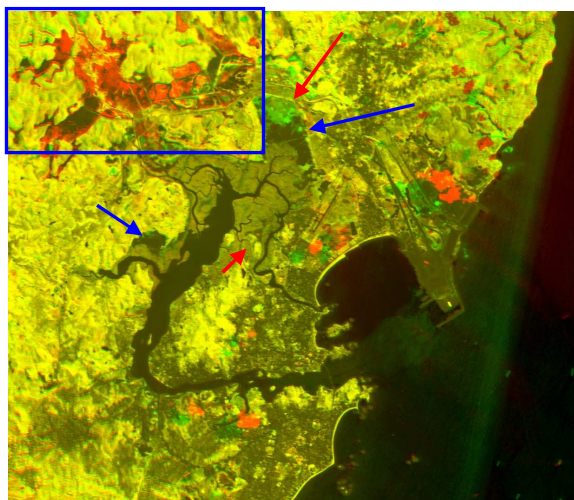


Figura 5 – Composição 2004/2005/zero em RGB

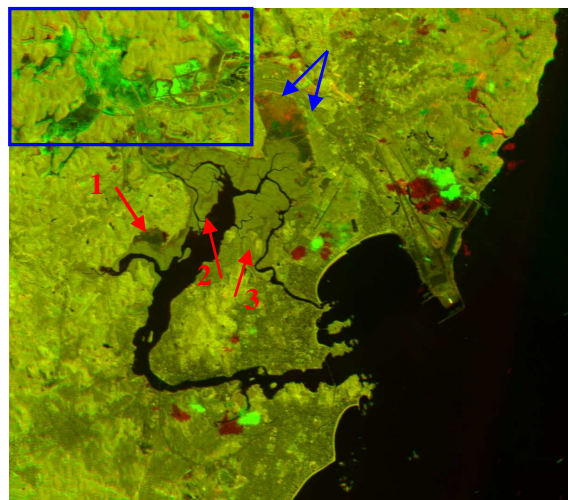


Figura 6 - Composição *pc1_2005/pc1_2004/zero* em RGB

4. Conclusão

A imagem de satélite é uma habilidosa ferramenta para uso no gerenciamento ambiental de regiões extensas e de difícil acesso. Faz-se, porém, necessária a análise e interpretação visual de um profissional que tenha conhecimento prévio da região e de seus processos físicos, químicos e geológicos, para fornecer informações importantes de modo que a imagem resultante da melhor composição seja levada em conta ao se realizar uma classificação temática, seja ela automatizada ou não.

O presente trabalho se propôs a analisar a variação multitemporal do manguezal da baía de Vitória. Não foi possível observar alterações nos manguezais quanto ao crescimento ou à perda natural de áreas, pois para este tipo de análise torna-se necessária a utilização de um

intervalo de tempo maior ou igual a uma década, incluindo uma imagem anterior a 1980, uma vez que poucas alterações deste tipo ocorreram na Baía de Vitória após esta data. Entretanto, algumas observações podem ser feitas, quando baseadas em dados climáticos e de maré. Quanto às inferências possíveis em um curto período de tempo, observou-se que a melhor composição foi a imagem 2004/2005/zero, que empregou a metodologia desenvolvida em Silva *et al.*(2005) para enfatizar o mangue de Vitória, corroborando mais uma vez que este seria um método eficiente para o estudo do manguezal da baía de Vitória.

Futuros trabalhos envolvendo imagens anteriores a 1980, que neste caso somente poderiam ser obtidas com o satélite Landsat, seriam interessantes para o estudo mais completo das alterações no manguezal. Outra possibilidade vem a ser um monitoramento a partir de 2005 em diante para acompanhar o processo continuamente, inclusive após a implantação do corredor de transporte petrolífero, para identificação de alterações futuras.

5. Referências

- Carmo, M. S.; Brito-Abaurre, M. G.; Senna-Melo, R. M.; Zanotti-Xavier, S.; Costa, M. B. & Horta, M. M. M. 1995. Os manguezais da Baía Norte de Vitória, Espírito Santo: um ecossistema ameaçado. *Revista Brasileira de Biologia*, 55 (4): 801-808.
- Gao, J. 1999. A comparative study on spatial and spectral resolutions of satellite data in mapping mangrove forests. *International Journal of Remote Sensing*. v. 20. pp. 2823-2833.
- Green, P.; Clark, C. D.; Mumby, P. J.; Edwards, A. J. & Ellis, A. C. 1998. Remote Sensing Techniques for Mangrove Mapping. *International Journal of Remote Sensing*. v. 19. pp. 935-956.
- Maciel, N. C. 1991. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do nordeste. *Séries publicações técnicas*. n. 003: 9-37.
- Proisy, C.; Mougin, E.; Fromard, F. & Karam, M. A. 2000. Interpretation of polarimetric radar signatures of mangrove forests. *Remote Sensing of Environment*. 71: 56-66.
- Ramachandran, S.; Sundaramoorthy, S.; Krishnamoorthy, R.; Devasenapathy, J. & Thanikachalam, M. 1998. Application of remote sensing and CIS to a coastal wetland ecology of Tamil Nadu and Andaman and Nicobar group of islands with special reference to mangroves. *Current Science*. 75: 236-244.
- Ramirez-Garcia, P.; Lopez-Branco, J. & Ocana, D. 1998. Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mounth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery. *Forest Ecology and Management*. 105: 217-229.
- Ramsey, E. W. & Jensen, J. R. 1996. Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site specific data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62(8): 939-948.
- Rigo, D. *Levantamento Topo-Batimétrico dos Manguezais e Canais da Baía de Vitória – Relatório Final*, FACITEC – PMV, Vitória, Brasil, 2002.
- Silva, M. R. L. F., Passos, L. G. ,Vale, C. C. Análise da melhor composição espectral das bandas do satélite CBERS para análise visual do manguezal da região da Grande Vitória (ES). In: *II CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA*, 2005, Vitória, ES. CBO'2005. Vitória, ES: Associação Brasileira de Oceanografia, 2005. v. 1. p. 1-3.
- Sulsoft & Iesam, 2004. Apostila Quick Start ENVI. 10 p.
- Thevand, A. 2002. *Structure et dynamique des mangroves de la region de Kaw (Guyane Française): Etude par télédétection et analyse in situ*. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade de Toulouse, Toulouse (França). 31 p.
- Thevand, A.; Fromard, F.; Proisy, C. & Couteron, P. 2003. Structural features and dynamics of mangrove forests in Amazonian coastal region. A case study in the Kaw River estuary, French Guiana, using field measurements and high resolution remote sensing techniques. In: *Mangrove 2003 Conference*, Salvador, Bahia (Brasil).