

Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará.

Milton Kampel¹
Silvana Amaral¹
Mario Luiz Gomes Soares²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
silvana@dpi.inpe.br, milton@dsr.inpe.br

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Rua S. Francisco Xavier, 524, 4º andar - 20550-013 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
mariolgs@uerj.br

Abstract. This paper aims to explore the China-Brazil CBERS sensor as an additional data source to assist the mapping and the monitoring of the mangrove forest in the Northeastern Brazilian coast. A multi-temporal analysis of Landsat and CBERS images was performed for coastal areas at the State of Ceará between 1986 and 2004. Digital processing techniques, including segmentation by region growing, and supervised classification were applied to TM/Landsat5 (1986), ETM+/Landsat7 (1991), and CCD/CBERS2 (2004). The change detection of the mangrove areas were performed based on the map overlay technique of the digital classifications in a GIS environment. The total mangrove area estimated for the periods of 1986, 1991 and 2004 was 80.64, 90.04, and 84.88 km², respectively. The cloud occurrence over the mangrove regions disabled the quantitative area analysis. However, the map containing the mangrove area changes was a useful product to analyze the mangrove dynamic and the methodological procedure. The results confirmed the use of CCD/CBERS imagery as an appropriate source of information to monitor this important ecosystem at reduced costs.

Palavras-chave: remote sensing, multitemporal analyses, mangroves, Brazilian Northeast, CCD/CBERS, TM/Landsat, sensoriamento remoto, análise multitemporal, manguezais, Nordeste brasileiro.

1. Introdução

Manguezal é um ecossistema costeiro que ocorre em regiões tropicais e sub-tropicais do mundo ocupando as áreas entremarés. É um ambiente caracterizado por vegetação lenhosa típica, adaptada às condições limitantes de salinidade, substrato inconsolidado e pouco oxigenado e freqüente submersão pelas marés. Uma fauna típica compõe ainda esse ecossistema, igualmente adaptada às características peculiares do ambiente (Soares, 1997).

No Brasil os manguezais ocorrem desde o extremo norte (Rio Oiapoque - 04° 20' N) até Laguna, em Santa Catarina (28° 30' S) (Schaeffer-Novelli, 1989). Segundo Saenger et al. (1983) a área ocupada por manguezais no Brasil é de 25000 km², no entanto, Herz (1987) estima uma área inferior a 10000 km².

Segundo Schaeffer-Novelli e Cintron (1986), sete são as espécies de mangue que ocorrem no Brasil: *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erecta*. Destas, apenas *R. mangle* e *L. racemosa* são encontradas desde o Amapá até Santa Catarina. *A. schaueriana* distribui-se desde Santa Catarina até o Pará, *A. germinans* do Amapá ao Rio de Janeiro e *R. harrisonii* e *R. racemosa* do Amapá ao Maranhão (Schaeffer-Novelli, 1991).

Soares (1997) destaca as seguintes funções dos manguezais: fonte de detritos (matéria orgânica) para as águas costeiras adjacentes, constituindo a base de cadeias tróficas de espécies de importância econômica e/ou ecológica; área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas e terrestres; pontos de pouso (alimentação e repouso) para diversas espécies de aves migratórias, ao longo de suas

rotas de migração; manutenção da diversidade biológica da região costeira; proteção da linha de costa, evitando erosão da mesma e assoreamento dos corpos d'água adjacentes; controlador de vazão e prevenção de inundações e proteção contra tempestades; absorção e imobilização de produtos químicos (por exemplo metais pesados), filtro de poluentes e sedimentos, além de tratamento de esgotos em seus diferentes níveis; fonte de recreação e lazer, associado a seu alto valor cênico e; fonte de alimento e produtos diversos, associados à subsistência de comunidades tradicionais que vivem em áreas vizinhas aos manguezais.

Segundo RAMSAR (1996) este ecossistema é responsável, junto com os recifes de coral, pela manutenção da alta diversidade biológica encontrada nas regiões costeiras tropicais de todo o mundo. No entanto, historicamente, o fator que mais tem contribuído para o destaque do manguezal como ecossistema é o fato do mesmo ser considerado vital para a manutenção dos estoques pesqueiros das regiões tropicais e subtropicais, tanto por servir de abrigo para espécies de valor econômico, como por constituir importante fonte de matéria orgânica para as águas adjacentes, visto que funciona como um "transformador" de nutrientes em tecido/estrutura vegetal e animal (matéria orgânica), exportados para as águas costeiras. Esse material exportado, enriquecido com fungos e bactérias, constitui-se na base da cadeia alimentar dessas águas (Soares, 1997).

Segundo Soares et al. (2003) as características estruturais e funcionais das florestas de mangue são determinadas pela interação de características ambientais, que atuam em escalas global, regional e local. Todavia, em áreas submetidas a forte influência de atividades humanas, a ação de distúrbios deve ser considerada, no que se refere a sua característica (crônico ou agudo), natureza, variabilidade espacial, variabilidade temporal, frequência e capacidade do sistema em se recuperar após um distúrbio.

Pela sua conhecida importância em termos de diversidade funcional, os manguezais brasileiros são protegidos por diversos mecanismos legais, nas esferas federal, estadual e municipal. No entanto, apesar dessa preocupação legal, o que observamos é a crescente destruição das florestas de mangue ao longo de todo o litoral brasileiro. Vários são os agentes de degradação desse ecossistema, porém, atualmente merece destaque a crescente pressão exercida pela carcinocultura, sobretudo nos estados do nordeste, com destaque para Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará, onde essa atividade tem apresentado crescimento desordenado, sem o devido controle por parte dos órgãos ambientais. A carcinocultura em áreas de apicum e florestas de mangue tem provocado sérios prejuízos ambientais, sociais e econômicos, em escala local e regional.

O presente trabalho explora o sistema sensor sino-brasileiro CBERS como uma fonte de dados alternativa para auxiliar o mapeamento e monitoramento de áreas de manguezais na costa nordeste do Brasil. Uma análise multi-temporal de imagens Landsat e CBERS foi realizada para área uma costeira no Estado do Ceará, considerando o período entre 1986 e 2004.

2. Área de estudo

O estado do Ceará possui uma área de 148.016 km², com cerca de 573 km de extensão da linha de costa, sendo encontradas oito bacias hidrográficas: Bacia do Rio Jaguaribe, Bacia do Rio Banabuiu, Bacia do Rio Salgado, Bacia do Rio Acaraú, Bacia do Rio Coreaú, Bacia do Rio Pacoti, Bacia do Rio Choró e Bacia do Rio Pirangi (MMA, 2001). Segundo MMA (2002), os rios presentes na região, não apresentam diferenças marcantes entre si, a não ser pelas particularidades provocadas pelas condições pluviométricas, pela rede hidrográfica e pela vegetação presente. Esses rios se caracterizam pelo regime temporário, onde durante os períodos de chuvas, observa-se um volume de águas considerável.

A região costeira do estado do Ceará está compreendida no segmento IV da divisão do litoral brasileiro proposta por Schaeffer-Novelli et al. (1990). Segundo essa proposta, essa região está sujeita a um regime de mesomarsés (amplitudes de marés entre 2 e 4 metros), possuindo uma costa submetida a alta energia de ondas. Predominam nessa região as praias arenosas e sistemas de dunas associadas.

A região alvo do presente estudo está localizada no município de Camocim e compreende o estuário do rio Coreaú, no litoral oeste do estado do Ceará, próximo à divisa com o estado do Piauí (**Figura 1**). Segundo MMA (2002) a Costa Oeste do Estado do Ceará possui uma extensão de aproximadamente 108 km, sendo caracterizada pelas unidades ambientais: planície litorânea (faixa praial, campos de dunas, planícies flúvio-marinhas), tabuleiros litorâneos e depressão sertaneja.

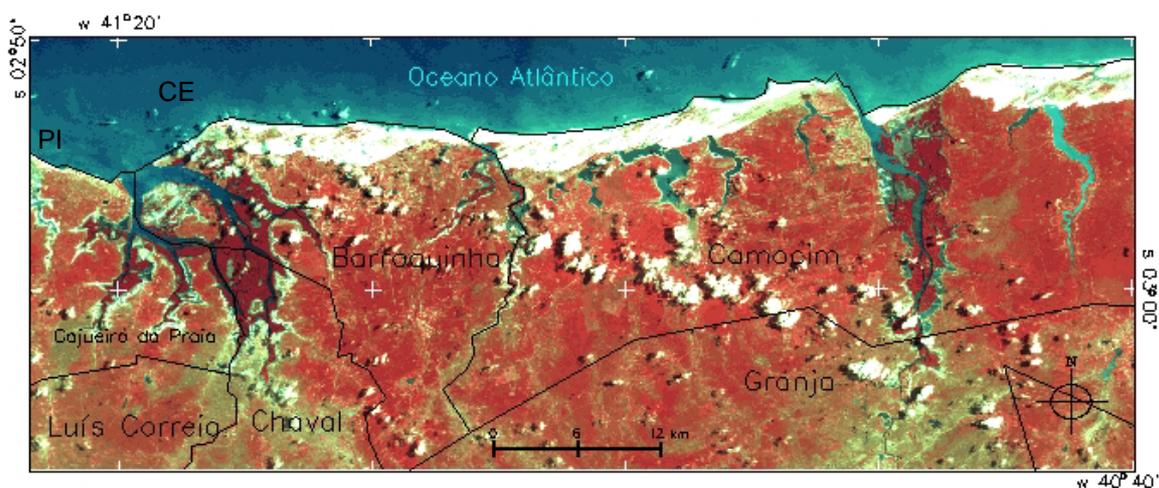


Figura 1 – Localização da área de estudo. Composição colorida 3R4G2B da imagem CCD/CBERS de 20/09/2004.

A planície litorânea possui largura variável, desde a linha de costa até o contato com os tabuleiros litorâneos, sendo constituída por sedimentos Quaternários. Essa planície é mais estreita em determinados trechos onde se formam altos topográficos postos ao alcance da abrasão marinha podendo atingir largura de até 3 a 4 km nos trechos mais desenvolvidos. As feições morfológicas que integram a faixa praial encerram ocorrências de praia em si, da alta praia, das plataformas de abrasão e rochas de praia, além das falésias. A faixa praial tem largura variando entre 0,4 - 1,0 km, alargando-se quando se estende até o campo de dunas e estreitando-se nas áreas com ocorrência de falésias. As dunas são observadas praticamente de forma contínua conforme as orientações apresentadas pela linha de costa. As planícies flúvio-marinhas desenvolvidas ao longo das desembocaduras fluviais constituem os principais tipos de feições que têm sua gênese ligada à deposição mista, sendo o manguezal o principal elemento fluvial da identificação desse ambiente. Sob o aspecto fitoecológico a planície litorânea é coberta pelo chamado complexo vegetacional da zona litorânea que engloba tipologias diferenciadas tais como: o manguezal, a vegetação pioneira psamófila (recobrando a faixa praial e as dunas móveis) e vegetação subperenifólia de dunas (recobrando as dunas fixas e paleodunas). As Planícies Lacustres e Flúvio-Lacustres ocorrem dispersas por todo o litoral em análise e possuem dimensão variada. As maiores ocorrem nas áreas dos tabuleiros pré-litorâneos. Outras, de pequenas dimensões, se verificam até mesmo no campo de dunas e as lagoas que as formam tem origem freática. Estas planícies são mais comuns em posições à retaguarda dos campos de dunas (MMA, 2002).

A análise das normais climatológicas (período de 1961-1990) referentes a estação meteorológica de Parnaíba (PI), próxima à área de estudo, demonstra uma temperatura média

anual de 26,8°C , com baixa variabilidade anual (médias mensais entre 25,0°C e 27,6°C). Essa região apresenta precipitação média anual de 1.473 mm e evapotranspiração potencial de 1.695 mm. Possui um prolongado período de déficit hídrico entre os meses de junho a janeiro, sendo que desses 8 meses, 5 possuem déficit superior a 100 mm. O período de excedente hídrico ocorre nos demais 4 meses, sendo que para março e abril o mesmo é superior a 200 mm/mês. Devido a essa deficiência hídrica as florestas de mangue estão submetidas a forte estresse natural, tornando-as extremamente sensíveis a tensões adicionais. De uma forma geral as florestas de mangue nessa região estão limitadas aos sistemas estuarinos, onde existe menor impacto da alta concentração de sais induzida pelo clima seco, com formação de importantes planícies hipersalinas (apicuns) e onde se encontram áreas abrigadas da alta energia marinha.

SEMACE (2004) estima uma área de 174,2 km² de manguezais no estado do Ceará, dos quais 35,3 km² localizam-se no sistema estuarino do rio Coreaú. Segundo esse estudo, o estuário em questão possui a segunda maior área de manguezal do estado, perdendo em extensão apenas para o estuário do rio Timonha, com 50,1 km².

Segundo MMA (2002), a área do estuário do rio Coreaú foi classificada como de “muito alta importância biológica” para a conservação da diversidade biológica das zonas costeira e marinha. Esse estudo ainda apontou a necessidade de inventários e estudos mais aprofundados para a referida região e considerou a mesma como submetida a uma “média” pressão antrópica.

Em todo o estado do Ceará existem 26 Colônias de pesca, onde estão registrados aproximadamente 56.100 pescadores, dos quais 5.000 estão localizados no município de Camocim, cuja população é de aproximadamente 51.035 habitantes (MMA, 2002).

3. Materiais e métodos.

Foram utilizadas sete imagens dos satélites Landsat 5 e 7 e CBERS 2, conforme as referências de data e órbita-ponto apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Imagens de satélites utilizadas neste trabalho.

| DATA | Sensor/Satélite | Bandas | Órbita-Ponto |
|------------|-----------------|----------|--------------|
| 05/11/1986 | TM/Landsat5 | 3, 4 e 5 | 218 – 62 |
| 10/06/1991 | TM/Landsat5 | 3, 4 e 5 | 218 – 62 |
| 2000* | Landsat | 2, 4 e 7 | s-24-00 |
| 20/09/2004 | CCD/CBERS2 | 2, 3 e 4 | 153 – 103 |

* Mosaico de imagens orto-retificadas referente a 2000 (ver texto).

A metodologia de processamento e classificação digital de imagens aplicada neste trabalho foi realizada baseando-se no procedimento desenvolvido anteriormente para a detecção e mapeamento de áreas de manguezais com uso de imagens CBERS para a região costeira de Icapuí (CE) e nos estuários dos rios Jaguaribe (CE) e Mossoró (RN) (Kampel e Amaral, 2004).

Os efeitos de interferência atmosférica nas imagens Landsat foram minimizados com a aplicação do algoritmo 6S de correção atmosférica (Vermote et al., 1977)., e no caso das imagens CBERS, utilizou-se o algoritmo 5S (Zulu Jr et al., 2004), possibilitando assim recuperar os valores de reflectância real dos alvos na superfície. Após a correção radiométrica, as imagens foram processadas em ambiente SPRING, Sistema de Processamento de Informações Geográficas (Câmara et al., 1996), visando a identificação de áreas de ocorrência de manguezais. Como correção geométrica, efetuou-se o registro de imagens, tomando-se como referência o mosaico de imagens Landsat orto-retificadas de 2000 disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>. Foi aplicado um polinômio do

primeiro grau e os erros de posicionamento inferiores a um pixel foram adotados como padrão no registro de todas as imagens. Foi utilizada a projeção UTM, Datum SAD-69.

Para destacar as feições de vegetação em tons de vermelho nas imagens, aplicou-se um realce linear de contraste sobre cada uma das bandas na composição colorida utilizada (genericamente, banda 3 no canal azul, banda 5 no verde e banda 4 no vermelho para as imagens Landsat e banda 2 no canal azul, banda 3 no verde e banda 4 no vermelho para as imagens CBERS). As bandas realçadas foram então submetidas a segmentação por crescimento de regiões (Bins et al., 1996), onde foram praticados os limiares de similaridade igual a 12 e de área igual a 10 pixels (900 m²), conforme resultados obtidos anteriormente por Kampel e Amaral, 2004.

Diferentemente do encontrado em Icapuí (CE), na região de Camocim(RN) não se observou grandes extensões de áreas de vegetação densa, o que normalmente causaria confusão com a classe manguezal durante a classificação. Assim, optou-se pela classificação supervisionada, indicando os polígonos de manguezal, e aplicando-se o algoritmo Battacharya (Tso e Mather, 2001), com 95% de limiar de aceitação. A vantagem deste procedimento em relação ao ISOSEG (Bins et al, 1993), utilizado anteriormente, foi a facilidade na detecção das áreas de manguezais, reduzindo-se a edição por interpretação visual da imagem classificada.

A partir da classificação da ocorrência de manguezais na imagem TM/Landst5 de 1986, definiu-se uma zona tampão de 2 km a partir dos limites dos manguezais para proceder a classificação das demais imagens, otimizando o tempo de processamento e restringindo a análise à evolução das áreas de manguezais.

As classificações digitais foram comparadas quanto às diferenças de área de mangue identificadas para cada data e ainda, espacialmente localizadas a partir de operações booleanas que localizaram as regiões de maiores alterações no período considerado.

4. Resultados

As respostas espectrais do mangue, do apicum e da água, observados nas bandas da imagem CBERS (**Figura 2**), sugerem as bandas CCD3 e CCD4 como as de maior distinção entre estas classes, o que era esperado, uma vez que nas áreas de apicum a vegetação é esparsa, e tem-se maior contribuição do solo, aumentando a reflectância na banda CCD3 (faixa do vermelho) e reduzindo a reflectância na banda CCD4 (infravermelho próximo).

Da classificação da imagem de 1986, foi calculado 80,64 km² de área de manguezal. Para a imagem de 1991, obteve-se 90,04 km² de manguezal, e para a imagem de 2004, foram calculados 84,88 km² de manguezal. Na realidade não houve uma expansão da área dos manguezais. A estimativa de área de manguezal de 1991 é a mais próxima da realidade, uma vez que é a imagem com menor cobertura de nuvens sobre as áreas de manguezais.

Ao se observar as diferenças no mapeamento de manguezais entre as datas, nos planos de informações resultantes da diferença entre as classificações de duas imagens de datas consecutivas, foi possível identificar as alterações nos manguezais. A ocorrência de nuvens na imagem de 1986 fez com que as áreas de manguezais fossem subestimadas, uma vez que nuvem e sombra de nuvem impediram a classificação de áreas de mangue (**Figura 3**). O mesmo se deu para a imagem CBERS de 2004. Este resultado aponta para a necessidade de se classificar nuvens e suas sombras e se definir uma estratégia para cálculos de área em imagens com cobertura de nuvens, situação freqüente na região costeira, principalmente no Nordeste brasileiro.

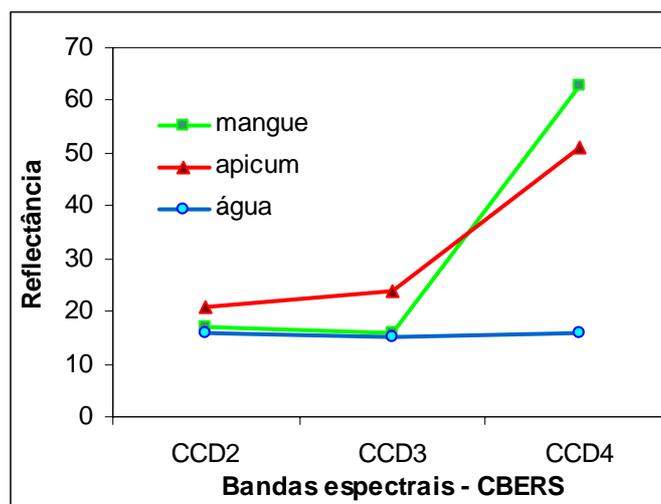
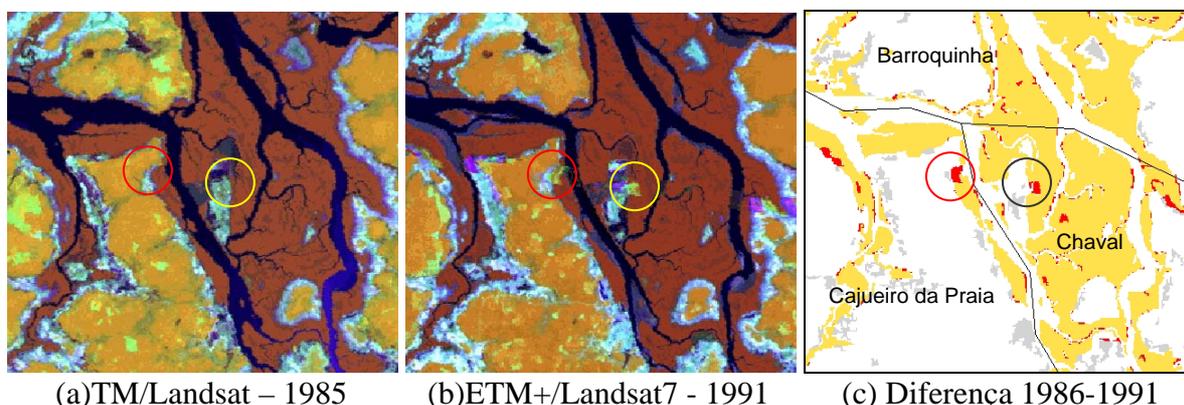


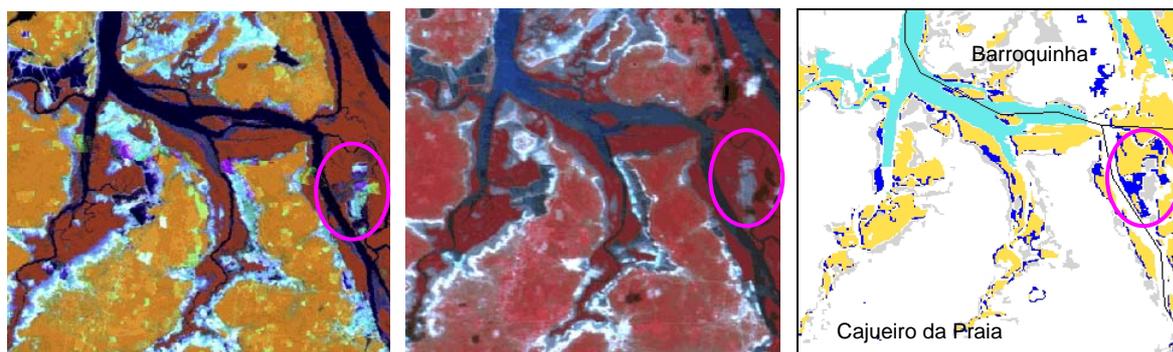
Figura 2 – Respostas espectrais do mangue, do apicum e da água obtidos nas bandas CCD2, 3 e 4 da imagem CBERS de 20/10/2004.



(a)TM/Landsat – 1985 (b)ETM+/Landsat7 - 1991 (c) Diferença 1986-1991
 Figura 3 – Detalhe de manguezal na composição colorida da imagem de 1985(a), 1991(b) e o plano de informação resultante da diferença entre as classificações das imagens, com a redução (vermelho) da classe manguezal (amarelo).

Áreas de alterações de manguezal, a partir de 0,05 km², como apresentado na **Figura 4**, foram discriminadas através do procedimento proposto. Diferenças de área menores que 0,05 km² podem ser registradas em função de problemas de registro ou até mesmo de alteração nos níveis de maré, modificando os limites das áreas inundadas.

Considerando o período entre 1991 e 2004 realmente houve algum incremento e regeneração de limites dos manguezais, conforme apresentado na **Figura 4**. Porém houve a inclusão errônea de algumas áreas de manguezais que pode ser atribuído pela diferença de bandas espectrais utilizadas entre os sistemas Landsat (3, 4 e 5) e CBERS (2, 3 e 4), e ainda pela sazonalidade. A imagem de 2004 refere-se a outubro, onde há vigor na vegetação circundante, representado tons avermelhados, aproximando-se do que se observa para os manguezais, o que não foi verificado nas imagens de 1986 e 1991, referentes a maio e junho respectivamente.



(a) ETM+/Landsat – 1991 (b) CCD/CBERS1 - 2004 (c) Diferença 1991-2004

Figura 4 – Detalhe de manguezal na composição colorida da imagem de 1991 (a), 2004 (b) e o plano de informação resultante da diferença entre as classificações das imagens, com o acréscimo (azul) da classe manguezal (amarelo).

Da diferença entre as imagens classificadas ficou evidente a ocorrência de problemas de registro entre imagens, o que provoca pequenas diferenças de traçados entre as imagens, e conseqüentemente, falsos diagnósticos de alterações em áreas diminutas. Procedimentos de registro semi-automático podem contribuir para minimizar este problema, bem como procedimentos que padronizem a resolução espacial, como por exemplo, a restauração de bandas.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou os resultados iniciais de uma análise multi-temporal sobre as áreas de manguezais na costa do Ceará, para o período de 1986 e 2004. A análise quantitativa através do cálculo de áreas classificadas não pôde ser considerada isoladamente como parâmetro de avaliação de atividade antrópica sobre este ambiente, devido à presença de nuvens. Ao sobrepor as classificações das imagens foi possível caracterizar as principais alterações do período.

A principal contribuição deste trabalho reside em apontar as limitações e vantagens dos materiais e métodos propostos, ressaltando-se as seguintes observações:

- as bandas 2, 3 e 4 CCD/CBERS foram eficientes para a distinção da classe manguezal, utilizando o procedimento metodológico adotado, incluindo-se a classe apicum, que deverá ser mapeada no próximo trabalho;
- áreas de alteração da classe manguezais a partir de 0,05 km² são detectadas eficientemente, áreas menores podem ser decorrentes de variação de maré, ou de imperfeições de limites (registro entre imagens);
- a presença de nuvens, a otimização do registro entre as imagens, e uma editoração sistemática das classificações, considerando a análise muti-temporal para interpretação visual das imagens, devem ser incluídos na metodologia de modo a possibilitar a comparação direta de área classificada;

A abordagem de sobreposição espacial, para identificar as áreas de incremento e diminuição dos manguezais, pode ser considerada como o principal produto deste trabalho. Apesar de não se ter uma comparação quantitativa definitiva, em termos de área, obteve-se um mapeamento das áreas que sofreram alteração durante o período considerado. A partir destes resultados e análise preliminares pretende-se desenvolver um procedimento metodológico adequado para se mapear as áreas remanescentes de manguezais, utilizando-se imagens CCD/CBERS.

Referências

- Bins, L.S., Erthal, G.J., Fonseca, L.M.G. Um método de classificação não supervisionada por regiões. In: Simpósio Brasileiro de computação Gráfica e Processamento de Imagem, 6., 1993. Recife: **Anais**. Recife, SBPC, 1993. p.65-68.
- Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G.J.; Ii, F.M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 8., 1996. Salvador. **Anais**. Salvador: INPE, 1996. p.221-223.
- Câmara, G.; Souza, R.M.C.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented modelling. **Journal of Computers & Graphics**. v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- Gomes, N.S. Fernandes, S.M. Contribuição à petrologia e diagênese dos hialoclastitos da formação Macau, Bacia Potiguar, RN, Brasil. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v.9, p. 223-236, 1995.
- Herz, R. A regional program on coastal monitoring and management of mangrove in Brazil. In: Symposium on Coastal and Ocean Management, 5. 1987. Seattle. **Proceedings**. New York: American Society of Civil Engineers. 1987. v. 2, p. 2262-2268.
- Kampel, M.; Amaral, S. Imagens CCD/CBERS como alternativa para o monitoramento de ecossistemas costeiros: manguezais no Nordeste do Brasil. In: Simpósio Latino-Americano de Percepção Remota. 2004. Chile.
- MMA. **Diagnóstico da Gestão Ambiental nas Unidades da Federação** – Relatório Final do Estado do Ceará. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF., 2001, 130 p.
- MMA. **Avaliação e Ações Prioritárias Para a Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF., 2002. CD-Rom.
- RAMSAR. Convention on Wetlands, Resolutions & Recommendations. In: Meeting of the Conference of the Contracting Parties, 6., 1996. Brisbane. **Proceedings**. Brisbane. v. 4., 70 p.
- SEMACE. Áreas de Mangue Crescem 32% no Estado. **Jornal da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará**, Ano I (3), p. 4-5, 2004..
- Saenger, P.; Heagerl, E.J.; Davie, J.D.S. Global status of mangrove ecosystems. **Environmentalist**, v.3 (Supl.3): p. 1-88, 1983..
- Schaeffer-Novelli, Y. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. **Publicação Especial - Instituto Oceanográfico**, São Paulo, n.7, p.1-16, 1989.
- Schaeffer-Novelli, Y. **Manguezais brasileiros**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 1991,42 p.
- Schaeffer-Novelli, Y; Cintron, G. **Guia para estudo de áreas de manguezal - estrutura, função e flora**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986, 150 p.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintron-Molero, G.; Adaime, R.R.; Camargo, T.M. de. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v.13 (2), p. 204-218, 1990.
- Soares, M.L.G. 1997. **Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil - análise de modelos**. Tese de Doutorado - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.
- Soares, M.L.G.; Chaves, F.O.; Corrêa, F.M.; Silva-Junior, C.M.G.. Diversidade estrutural de bosques de mangue e sua relação com distúrbios de origem antrópica: o caso da baía de Guanabara (Rio de Janeiro). **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, v. 26, p.101-116, 2003.
- Tso, B.; Mather, P.M. **Classification methods for remotely sensed data**. London:Taylor & Francis, 2001, 332 p.
- Vermote, E.F.; Tanre, D.; Euze, J.L.; Herman, M.; Moncrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing**. v.35, p.675-686, 1977.
- Zullu Jr.,J; Ponzoni, F.J.; Lamparelli, R.A.C. Algoritmo 5S – Sistema Scoradis – Comunicação pessoal. 2004.