

Mapeamento de Manguezais a partir de Imagens Óticas de Alta Resolução aplicando a Classificação Orientada a Objeto, Cabo Norte, Amapá

Anderson Fabrício Lopes de Oliveira ¹

Valdenira Ferreira dos Santos ¹

Salustiano Vilar da Costa Neto ¹

¹ Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA

Centro de Pesquisas Aquáticas - CPAq

Rod. JK, km 10, s/n – 68903-280 – Macapá - AP, Brasil

fabricio200421@yahoo.com.br; valdenirafferreira@gmail.com; salucostaneto@gmail.com

Abstract. The object-based classification applied to high resolution images, by their versatility in the use not only of the spectral parameters, but also the opportunity of using shape parameters and relations of context can be used to characterize the landscape units that have different patterns in satellite images. This paper presents the result of the mapping using the method of object-oriented classification applying in IKONOS II images to detect mangroves units in the region of Cabo Norte, Amapá. Four scenes of IKONOS II images of the same date, were selected by applying the multiresolution segmentation in three hierarchical levels (N1, N2 e N3) using the NDVI and WWI indices. The results allowed to discriminate four units: adult mangrove, young mangrove, eroding mangrove and exposed intertidal zone. Mapping results indicated that the coast shows characteristics acrescionárias by the presence of young mangrove in inconsolidated areas with colonization by mangrove seedlings. The application of the technique should be extended to other areas of the Amapá coast allowing better recognition of units in the coastal region.

Palavras-chave: object-oriented classification, mangrove, classificação orientada a objeto, amazon coast, manguezal, costa amazônica.

1. Introdução

Os produtos por sensoriamento remoto têm auxiliado amplamente no reconhecimento de diferenciados padrões fito-ecológicos pelo mundo e a classificação baseada no método orientado a objeto tem apresentado melhor desempenho no contexto da exploração de cenas com grande variação interna de classes (Ehlers, 2007). De acordo com Prost e Rabelo (1996) os manguezais na costa amapaense tem como característica principal a presença de verdadeiros mosaicos de unidades de paisagem diferenciadas ao longo da costa. Desta forma o processo de classificação acima pode contribuir para melhorar o desempenho de class

Estas condições resultam da sinergia de forçantes naturais que atuam nessa região: atmosférica, oceânica, amazônica como também da posição geográfica em baixa latitude, aliado a fatores de menor escala que contribuem de maneira significativa para a formação de bosques de manguezais com diferentes padrões de cobertura (Costa Neto et al., 2006; Silveira e Santos, 2006; Schaeffer-Novelli e Cintron-Mollero, 1998; Mendes, 2005; ZEE, 2002). Tais variações podem ser detectadas por imagens de satélite e contribuir para a análise das mudanças morfológicas que ocorrem ao longo do litoral amapaense. Por outro lado, deve-se considerar que estes ecossistemas são os primeiros a responderem as variações climáticas globais e regionais em função de sua resposta rápida as variações na descarga na sedimentar, marés, correntes e ventos.

Os manguezais do Amapá correspondem a 2.789,97 Km², 1,94% do território do Estado onde dominam extensas áreas com siriubais (*Avicenia germinans*), apresentando os mais altos manguezais da costa brasileira com árvores em torno de 30 metros de altura, formando bosques maduros e abertos. Os mangais (*Rhizophora sp.*) estão limitados ao interior do litoral e são formados por indivíduos de grande porte (ZEE, 2002).

Na região do Cabo Norte o ecossistema dos manguezais é composto por 38 espécies distribuídas em 33 gêneros e 22 famílias com somente 8 espécies exclusivas dos manguezais: *Rhizophora mangle* L., *R. racemosa* G. Mey, *R. harrisonia* Leechman, *Avicennia germinans* (L.) L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaerth., *Spartina alterniflora* Lois., *Acrosticum aureum* L. e *A. danaeifolium* Langed. Na região do Macarry os manguezais são predominantemente constituídos de *Avicennia germinans*, com bosques com árvores de altura média de 10 m, DAP (diâmetro do peito) de 13,8 cm e densidade de 1.716 indivíduos/ha. Na foz do Igarapé Macarry que deságua no canal Carapaporis esses bosques de manguezais são mais jovens e colonizam as barras lamosas longitudinais (Costa Neto et al., 2006).

Apesar da diferenciação estrutural do manguezal na costa amapaense esses têm sido mapeados desde 1997 com sensores de média resolução espacial, estes resultados apresentam restrições para representar o quadro da dinâmica natural da região e suas conexões com os ecossistemas de manguezais (Oliveira, 2010). O mapeamento desse ecossistema a partir de dados de sensores remotos de alta resolução são escassos, em parte devido ao histórico de disponibilidade dos dados, que só correu a partir de 1994, de acordo com Novo e Ponzoni (2001), quando as imagens de alta resolução deixaram de ser utilizadas exclusivamente para fins militares. Com a disponibilidade desses dados no mercado, houve um incremento no detalhamento dos alvos, no entanto, a alta resolução exige novas perspectivas metodológicas de trabalho, uma vez que segundo Blaschke et al. (2007), somente a análise espectral não é suficientemente capaz de fornecer informações refinadas com esses tipos de dados.

A classificação orientada a objeto vem ganhando popularidade no campo do sensoriamento remoto. As unidades básicas para o processamento digital, nesta análise, são os objetos, muito mais do que o pixel individual e suas principais vantagens sobre os classificadores espectrais por pixel é a incorporação de informações de forma, contexto, textura, aliado às informações espectrais. Além disso, é possível de fornecer resultados que podem ser utilizados imediatamente em um sistema de informações geográficas (SIG) por resultar em um arquivo em formato vetorial. Ao utilizar outras relações as unidades classificadas possuem padrões muito similares ao mosaico das paisagens no mundo real, do que aqueles associados unicamente ao domínio apenas do valor espectral do pixel (Benz, 2004; Frohn et al., 2011).

Este trabalho apresenta os primeiros resultados de mapeamento das unidades de manguezais da região do Igarapé Macarry, Cabo Norte, Estado do Amapá, por meio da utilização do método de classificação digital orientada a objeto aplicada em imagens de alta resolução espacial do satélite IKONOS II.

A área de estudo está localizada na porção leste, no Setor Costeiro Atlântico do Estado do Amapá, localizando-se a noroeste da Reserva Biológica (REBIO) do Lago Piratuba e a sudoeste da Estação Ecológica (ESEC) de Maracá-Jipioca (Figura 1).

2. Metodologia

2.1 Dados de Sensores Remotos e Processamento Digital das Imagens

Para a identificação das unidades de manguezais foram selecionadas quatro imagens do satélite Ikonos II adquiridas através do projeto PIATAMar (Potenciais de Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica), Fase II. Para a seleção das imagens, o critério adotado foi de estarem sob as mesmas condições de imageamento, selecionando-se assim todas as imagens adquiridas na data de 26/07/2007 às 13:49h. As imagens foram disponibilizadas no nível Standard Ortho, em projeção UTM, zona 22, hemisfério norte, Datum Horizontal em WGS-84, no formato digital *GeoTiff* com 11 bits de resolução radiométrica e 1 m de resolução espacial (modo PSM), nas bandas do canal vermelho, verde, vermelho e infravermelho próximo.

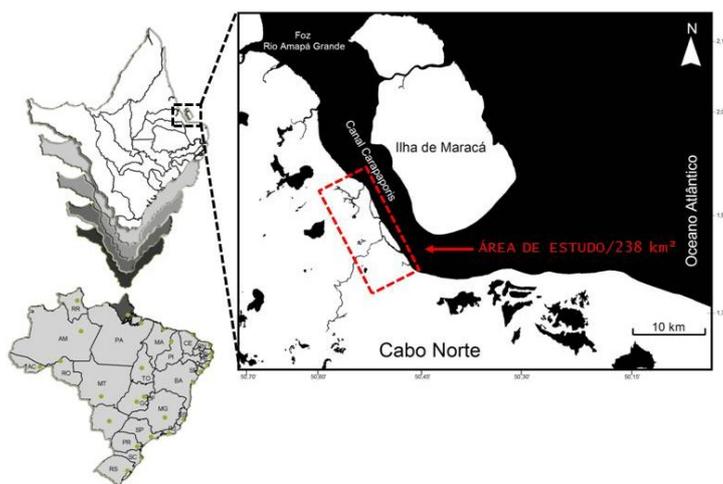


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Oliveira (2010).

O processamento digital foi realizada em cada imagem separadamente visando abreviar o tempo de análise. Os arquivos foram renomeados para melhor organização do processamento (Figura 2).

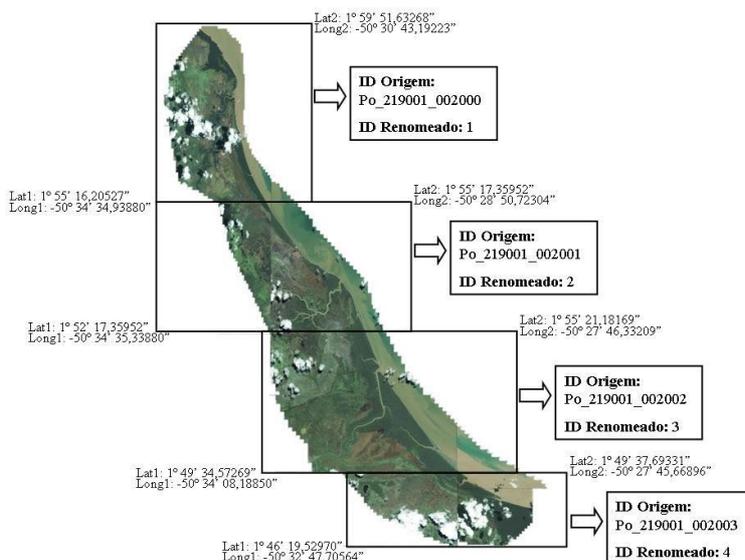


Figura 2: Imagens utilizadas no processamento digital com suas respectivas coordenadas de canto compondo o mosaico da área de estudo. Imagens IKONOS II do acervo do Projeto PIATAMar II.

A classificação digital de cada imagem pelo método Orientada a Objetos foi realizada no *Software Definiens Developer*, seguindo-se preliminarmente as proposições de processamento apresentadas por Estevam (2006): determinação das unidades de paisagens e/ou classes identificadas nas imagens; segmentação por multiresolução baseada na interpretação visual das imagens; estruturação da rede hierárquica das unidades de paisagens e/ou classes já previamente identificadas, e por conseguinte, a Classificação Orientada a Objetos semi-automática pela lógica *Fuzzy*.

A partir do uso dos elementos interpretativos de textura, cor, forma e padrão (Blaschke, 2000) foram definidas preliminarmente as seguintes unidades: nuvem, sombra de nuvem, água, vegetação, manguezal adulto, manguezal jovem, manguezal em erosão e vasa e/ou

planície exposta pela maré. A definição dessas unidades baseou-se também na experiência de aplicação do mesmo método de classificação sobre imagens SPOT realizadas no âmbito do Projeto PROCLAM (Faure et al., 2012).

Foi adotada a segmentação por multiresolução a partir da determinação dos três parâmetros utilizados na classificação para a divisão da imagem em objetos: a escala, a forma e a suavidade (Blaschke, 2000).

Os valores dos parâmetros foram testados empiricamente até encontrar uma segmentação de referência (Tabela 1) que pudesse classificar as imagens em objetos representando de forma mais fiel possível as unidades existentes na região de estudo. A hierarquização das unidades foi realizada em 3 níveis de segmentação. Para o processo de classificação foi adotada a lógica *Fuzzy* por permitir associações de contexto para a classificação dos objetos segmentados na imagem.

Tabela 1: Parâmetros utilizados na segmentação e classificação das imagens.

NÍVEL	ESCALA	FORMA	SUAVIDADE	BANDAS
N1	500	0,7	0,9	Blue, Green, Red, PIR
N2	300	0,5	0,7	PIR
N3	100	0,4	0,5	PIR

De acordo com Jensen (1996) existe uma infinidade de índices para a detecção de vegetação, porém muitos são funcionalmente equivalentes no que diz respeito aos conteúdos de informações geradas, por isso dentre os índices de sensoriamento remoto disponíveis para auxiliar na classificação digital das imagens optou-se pela customização apenas do NDVI (Rouse et. al., 1974) e do WWI (Polidorio et. al., 2006).

2.2 Validação das Unidades Classificadas

A validação das unidades de paisagem classificadas foi realizada de forma qualitativa a partir dos principais elementos de interpretação como tonalidade, cor, textura, tamanho, forma e padrão adotando o que preconiza Florenzano (2007). Também foram utilizados dados de campo provenientes de um sobrevôo realizado em setembro de 2007 com apoio do ICMBio da Reserva do Lago Piratuba e informações *in situ* provenientes de uma expedição de campo realizada no período de 14 a 19 de fevereiro de 2008, no âmbito do Projeto AMASTRAT (Rede 05-PETROMAR).

No sobrevôo foram tomadas fotografias aéreas oblíquas a partir do uso de uma câmera fotográfica digital sincronizada a um GPS (Sistema de Posicionamento Global). O vôo foi planejado de forma a sobrevoar as principais unidades de paisagem e a rota foi traçada com o GPS de navegação modelo Garmin 76CSx. Em campo, apenas a porção leste da área contígua ao litoral foi acessada. Durante esta atividade foram descritas as características geológicas e geomorfológicas das unidades de paisagem.

2.3 Integração dos Resultados

O resultados foram integrados em um Sistema de Informações Geográficas (na época ArcView) e elaborado um banco de dados no modelo dual com todas as informações coletadas no sobrevôo e em campo (rotas do GPS e pontos de controle de descrição das unidades de paisagem associadas com as fotografias que foram tomadas em campo) e o mapa final gerado na classificação.

Estas informações foram utilizadas (Figura 3) para a análise qualitativa da classificação a partir da interpretação visual permitindo avaliar, mesmo que de maneira subjetiva, o resultado da classificação aplicada.

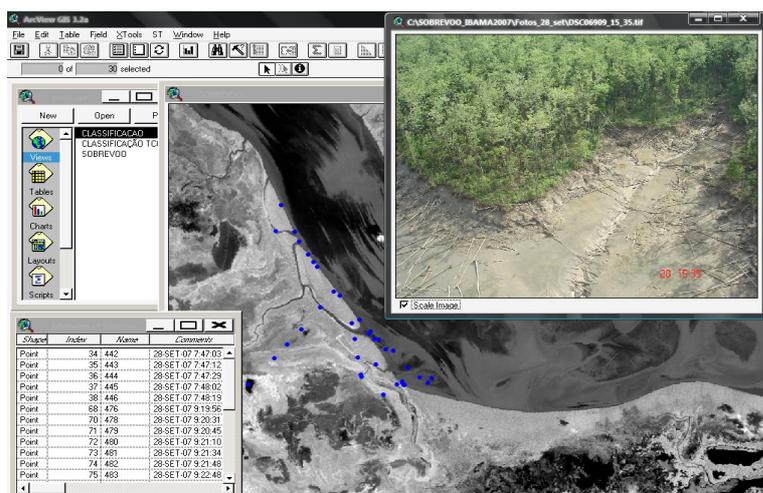


Figura 3: Integração dos pontos de GPS com imagens aéreas e in situ sobre as imagens IKONOS II para avaliação qualitativa da classificação. Fotografias: Anderson Oliveira, acervo IEPA-ICMBio.

3. Resultados e Discussão

O resultado do mapeamento das unidades de paisagens na segmentação por multiresolução foram direcionados em uma relação hierárquica para baixo definida em três níveis hierárquicos; N1, N2 e N3.

Na segmentação do nível 1 (N1) foram separadas as duas unidades grandes ambientais regionais: ÁGUA (N1) e TERRA (N1) a partir das quais foi realizado o processamento individualizado nos níveis seguintes. Classes de não interesse relacionadas a nuvens e sombra de nuvens também foram extraídas nesse nível a fim de não prejudicar a classificação final, adotando a mesma metodologia do Projeto PROCLAM (Faure et al., 2012). Na segmentação em nível 2 (N2) foi extraída a unidade de paisagem de MANGUEZAL ADULTO do conjunto da classe TERRA. Na segmentação de nível 3 (N3), baseando-se no princípio de conservação das heranças utilizado nesta classificação, foram discriminadas as unidades de MANGUEZAL ADULTO, MANGUEZAL JOVEM, MANGUEZAL ERODIDO e ZONA DE INTERMARÉ EXPOSTA (VASA) (Figura 4).

A unidade de **mangue adulto** foi identificada com o mesmo valor de intervalo espectral do NDVI (0,2-0,9) em todas as imagens, o que vem ao encontro com o princípio de identidade comentado por Estevam (2006). Esta unidade ocorre em contato com a unidade de mangue jovem e adentra a planície costeira acompanhando o trajeto do igarapé Macarry, predominando a espécie *Avicennia germinans*. Possui uma área de 24,38 km², perfazendo aproximadamente 51% do total da área associadas aos manguezais (Tabela 2).

A classe de **mangue jovem** somente foi discriminada automaticamente na imagem ID 3 a partir da banca do Infravermelho próximo, sendo discriminado na faixa de valores entre 142-173. Ocorre principalmente a sudeste e noroeste da Barra do Macarry (Figura 4) e distribui-se por 11,12 km². Os mangues apresentam-se colonizando a barra, ainda em estágio juvenil e estão associados com canais de maré de largura aproximada de 2 m e declive para leste, indicando um ambiente de deposição em consolidação. Estes canais, segundo Mendes (2005) servem como alimentadores de águas salobras para o interior dos manguezais, que juntamente com outras condições sedimentares e climatológicas proporcionam o desenvolvimento das extensas áreas de manguezal na região.

Para a classificação da classe de mangue erodido inúmeros valores de escala, forma e suavidade foram testados, no entanto, esta classe foi editada manualmente por se tratar de pequenas faixas ao longo da linha de costa. Isto demonstra que a versatilidade da classificação orientada ao objeto para diferenciar classes também baseadas em critérios de interpretação visual. Esta adaptação, segundo Blaschke *et al* (2000) e Baatz & Schäpe (2000) foram

negligenciados por outros tipos de classificadores automáticos até o início do século XXI. A unidade apresenta uma área de 5,64 km² e encontra-se sob a influência direta da ação do fenômeno da pororoca que atua na região (Santos et al., 2005), desenvolvendo-se em uma estreita faixa bordejando a unidade de manguezal adulto.

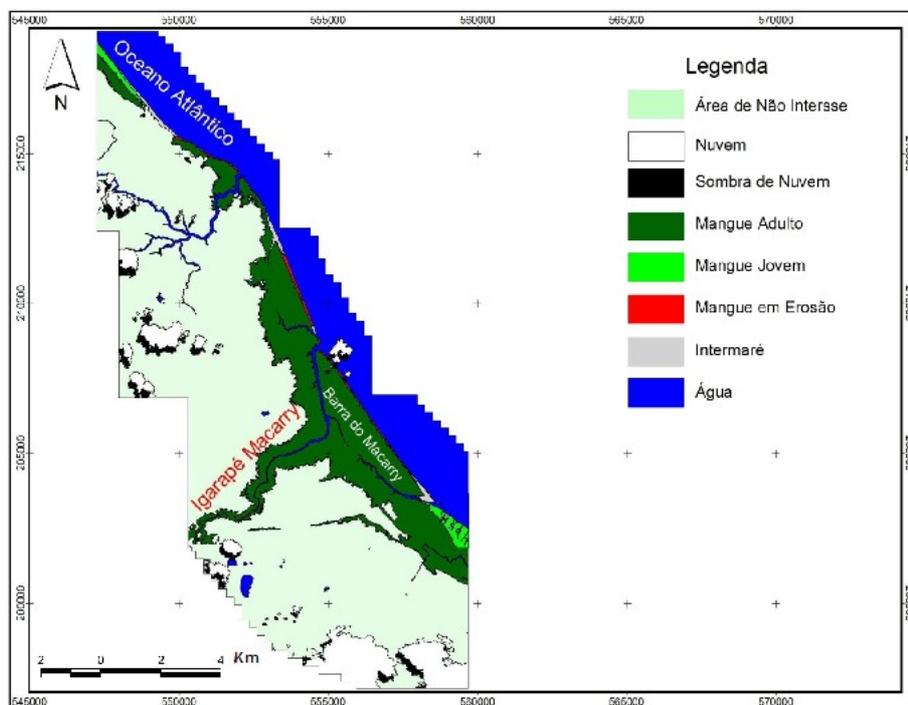


Figura 4. Mapa resultante da classificação orientada a objeto aplicada nas quatro cenas das imagens do satélite IKONOS II.

Tabela 2. Resultado em área obtido a partir da classificação aplicada sobre as cenas das imagens IKONOS II. Quantificação das unidades realizada em SIG, a partir de arquivos vetoriais gerados no processamento digital realizado no programa Definiens.

	Área (km ²)	%
Mangue Adulto	24,38	50,92
Mangue Jovem	11,12	23,22
Mangue Erodido	5,64	11,78
Zona Intermaré Exposta	6,74	14,08
Total	47,88	100

A delimitação da **zona de intermaré exposta** foi realizada a partir do uso do índice WWI. Essas áreas apresentam sedimentação lamosa e constituem depósitos sedimentares em zonas acrescionárias que posteriormente se transformam no substrato para o estabelecimento de manguezais observados na região.

4. Conclusões

Os resultados permitiram discriminar quatro unidades associadas aos manguezais: mangue adulto com predominância da espécie *Avicenia sp.* No litoral, foram discriminadas as

unidades associadas ao mangue jovem e em contato com as águas oceânicas as unidades de mangue erodido e zona de intermaré exposta.

Em termos gerais, a partir do conhecimento existente sobre a área de estudo, considera-se que houve um resultado satisfatório na classificação aplicada. Durante a classificação percebeu-se que quando existe menor quantidade de nuvem nas imagens a exploração classificatória melhora no ponto de vista espectral, tendo em vista que a o aumento de brilho nas imagens devido a presença desses alvos dificultam o isolamento de unidades de paisagens com características espectrais semelhantes.

Os resultados apresentados indicam que o método de classificação orientada a objeto pode ser importante para o mapeamento de imagens de alta resolução na região abreviando consideravelmente o tempo de processamento digital para geração de produtos temáticos, onde as técnicas de classificação convencional tem se mostrado pouco eficientes, como no caso da classificação de unidades na zona costeira amapaense que apresenta uma variedade de padrões espectrais e espaciais, resultantes dos processos evolutivos e de rápidas modificações que ocorreram e ocorrem na região costeira amapaense.

Agradecimentos

A Rede Cooperativa de “Monitoramento Ambiental de Áreas sob a Influência da Indústria Petrolífera”-REDE 05-N/NE-PETROMAR (CTPETRO–FINEP/PETROBRAS/CNPq)/ subprojeto AMASIS. Ao Projeto PIATAMar (Petrobrás) e ao Programa PROCLAM (FEDER) pelo apoio na cessão de dados, informações e treinamento que permitiu o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso que originou este artigo. Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais Aplicado a Ecossistemas Aquáticos - LASA/Centro de Pesquisas Aquáticas/IEPA. Nossos agradecimentos ao ICMBio (Rebio do Lago Piratuba e ESEC Maracá-Jipioca) pelo apoio em campo e realização do sobrevôo.

Referências

- Baatz, M. & Schäpe, A. **Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**. In: Strobl, J. et al. (eds.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. Wichmann, Heidelberg, p. 12-23. On-line <http://www.ecognition.com/sites/default/files/405_baatz_fp_12.pdf>.
- Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. and Heynen, M., 2004, Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 58. p. 239–258.
- Blaschke, T.; Lang, S.; Lorup, E.; Strolb, J.; Zeil, P. **Object-Oriented Image Processing in an Integrated GIS/Remote Sensing Environment And Perspectives For Environmental Applications**, 2000. On-line. Disponível em: <<http://www.iai.kit.edu/ictensure/site:jsessionid=C40152B26832122C570031EE92BEA9BC?mod=litdb&subject=art&pid=LE3AF8736&action=detail>>.
- Blaschke, T.; Glasser, C. Lang, S. **Processamento de Imagens num Ambiente Integrado SIG/ Sensoriamento Remoto- Tendências e Conseqüências**. In: **Blaschke, T.; Kux. H (org.) Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores: Métodos Inovadores**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p.1-8.
- Costa Neto, S.V.; Senna, C. S. F.; Coutinho, R. S. **Vegetação das Áreas do Sucuriçu e Região dos Lagos**. In: **Costa Neto, S. V. (org.). Inventário Biológico das Áreas do Sucuriçu e Região dos Lagos no Estado do Amapá. I Workshop PROBIO**, Macapá, IEPA. p.41-79, 2006.
- Ehlers, M. **Sensoriamento Remoto Para Usuários de SIG- Sistemas Sensores e Métodos: Entre as Exigências do Usuário e a Realidade**. In: **Blaschke, T.; Kux. H (org.) Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores: Métodos Inovadores**. 2ª Ed. São Paulo. Oficina de Textos, p.9-29, 2007.

Ehlers, M. Remote Sensing For GIS Applications: New Sensors and Analysis Methods. **In: Proceedings of Conference on Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications and Geology III**, 5239. Article. Bellingham: SPIE, 2004. Article, pp.1-13.

Estevam, E. A. **Classificação de Áreas de Favelas a Partir de Imagens IKONOS: Viabilidade de Uso de Uma Abordagem Orientada a Objetos**. 2006. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2006.

Frohn, R. C. ; Autrey, B. C. ; Lane, C. R. ; Reif, M. Segmentation and object-oriented classification of wetlands in a karst Florida landscape using multi-season Landsat-7 ETM+ imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 5, p. 1471-1489, 2011.

Faure, J-F; Santos, V.F.; Prost, M.T; Mendes, A.; Goeury, R.; Girres, J-F. Regional monitoring of Amazonia's coastal ecosystems: landcover dynamics analysis using extensive high resolution optical data sets. In: **First International Workshop on Temporal Analysis of Satellite Images, 1., 2012, Mykonos Island. Abstract Book**. Mykonos Island: EARSeL, 2012. Abstract, p. 123. On-line. Disponível em: <<http://www.earsel.org/SIG/timeseries/workshops.php>>. Acesso em: 10 set. 2012.

Florenzano, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

Jensen, J. R. **Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective**. Geographic Information Science. Prentice-Hall, 1996.

Mendes, A. C. Geomorfologia e Sedimentologia. In: Fernandes, M. E. B (Org.). **Os Manguezais da Costa Norte Brasileira**. Belém: MPEG, 2007. p.13-31.

Novo, E. M. L. M.; Ponzoni, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.

Oliveira, A.F. L. 2010. **Mapeamento de Manguezais por Classificação Orientada a Objetivos e Análise das Modificações no Cabo Norte, Amapá**. 2010. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia) – Universidade Federal do Amapá, Macapá. 2010.

Polidorio, A. M.; Imai, N. N.; Tommaselli, A. M. G.; Flore, F. C. Detecção e Discriminação de Sombras de Nuvens e Corpos Aquáticos D'Água em Imagens de Sensores Remotos. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 58(03), p. 223-232.

Prost, M. T.; Rabelo, B. V. Variabilidade Fito-Espacial de Manguezais Litorâneos e Dinâmica Costeira: Exemplos de da Guiana Francesa, Amapá e Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. vol.8, 1996, p.101-121.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D.R.; Harlan, J. C. **Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation**. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974. 371P.

Santos, V. F.; Figueiredo Jr., A. G.; Silveira, O. F. M. ; Polidori, L.; Oliveira, D.M.; Dias, M. B.; . Santan, L.O. 2005), Processos Sedimentares em Áreas de Macro-marés Influenciados pela Pororoca - Estuário do Rio Araguari-Amapá-Brasil. In: **Congresso ABEQUA**, 10., 2005, Guarapari. Resumos Expandidos. Guarapari: ABEQUA, 2005. Resumos Expandidos. Cd-Rom.

Schaeffer-Novelli, Y. & Cintron-Molero, G. **Expedição Nacional aos manguezais do Amapá, Ilha de Maracá**. Brasília: CNPq, 1988. 99p.

Silveira, O.F.; Santos, V.F. Aspectos Geológicos-Geomorfológicos Região Costeira Entre o Rio Amapá Grande e a Região dos Lagos Amapá. **In: Costa Neto, S. V. (org.). Inventário Biológico das Áreas do Sucuriju e Região dos Lagos no Estado do Amapá**. I Workshop PROBIO, Macapá, IEPA, p.17-40, 2006.

ZEE. **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: Primeira Aproximação do ZEE**. Macapá: IEPA, 2002. 140p.