

Mapeamento de Manguezais do Brasil: Subsídio ao Projeto GEF Mangue

Cláudia Ramos Zagaglia¹
Estevão Vieira Tanajura Carvalho¹
Ricardo Nixon de Albuquerque Santos¹

¹ Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama
Centro de Sensoriamento Remoto – CSR
SCEN Trecho 2, Bloco G - 70818-900 - Brasília - DF, Brasil
{claudia.zagaglia, estevao.carvalho}@ibama.gov.br
rnasantos@gmail.com

Abstract. This study presents the method applied by the Remote Sensing Center of the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Resources (CSR-IBAMA) to orthorectified TM and ETM+ images of Brazilian mangroves for the project "Conservation and sustainable use of the mangrove biodiversity in protected areas in Brazil". The mapping aims the quantification of the area covered by this ecosystem, as well as the proportion of mangroves located in legally protected areas. The classification of the classes of interest was accomplished with the Decision Tree tool using values of radiance, reflectance, principal components and mixture model fractions.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, mangrove, sensoriamento remoto, processamento de imagens, manguezais.

1. Contextualização

Em 2006, o Ministério do Meio Ambiente – MMA, em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, lançou o Projeto “Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade de Manguezais em Áreas Protegidas no Brasil”, com recursos brasileiros e do Fundo para o Meio Ambiente – GEF.

O objetivo do Projeto GEF Mangue é o de fortalecer o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC em sua capacidade de promover a efetiva conservação e uso sustentável de ecossistemas manguezais no Brasil. Pretende-se alcançar esse objetivo por meio da implantação de um conjunto de sítios-piloto, resultado de mosaicos de Unidades de Conservação-UC's e Áreas Protegidas-AP's, onde se possa demonstrar e desenvolver a gestão eficiente dessas áreas. Posteriormente, por ações de capacitação multi-setoriais, pretende-se replicar as estratégias de gestão em uma rede planejada de AP's costeiras que abriguem manguezais.

Como parte das atividades da fase de Assistência Preparatória ao Projeto, foi realizado, pelo Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama, o mapeamento de manguezais em alguns mosaicos pré-definidos, baseado em imagens orthoretificadas dos sensores TM e ETM+. Este mapeamento teve como objetivo subsidiar a quantificação das áreas de manguezais, bem como das porções desses ecossistemas protegidos pelos limites de UC's e AP's.

2. Caracterização da Área de Estudo

Foi definida como área piloto para o trabalho a Ilha de Santa Catarina, onde há cinco manguezais: Ratoles, do Rio Tavares, do Saco Grande, do Itacorubi e da Tapera. Eles se localizam na costa oeste da Ilha, em terrenos baixos que sofrem maior influência das marés (IPUF, 2006) (**Figura 1**).

A Ilha de Santa Catarina caracteriza-se por marés fortemente influenciadas pelos ventos, com nível médio de +0,39 metros e amplitude de 0,7 m (DHN, 2005; Simonassi, 2001).

Na área de estudo, o período de menor precipitação está compreendido entre os meses de abril e agosto, quando a nebulosidade também é menor. No entanto, a umidade relativa do ar

neste período apresenta-se elevada em relação aos demais meses do ano (INMET, 2005) (Figura 2).



Figura 1 – Manguezais da Ilha de Santa Catarina. Composição 231 – Spot 5 (junho/2004).

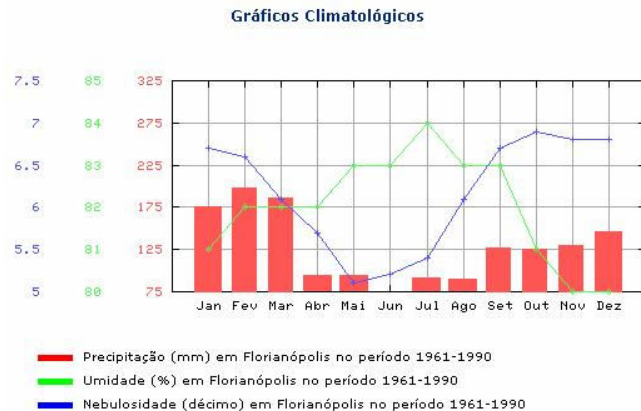


Figura 2 – Climatologia de precipitação, umidade e de nebulosidade de Florianópolis para o período de 1961 a 1990. Fonte: INMET (2005).

3. Materiais e Métodos

Em virtude deste trabalho ter sido executado durante a fase de Assistência Preparatória do Projeto GEF Mangue, não foram previstos recursos para a obtenção de imagens recentes. Desta forma, foi utilizada a imagem do sensor ETM+ orthoretificada, órbita-ponto 220-79, com resolução de 28,5 m, obtida em 07/05/2000 e disponibilizada pelo programa de distribuição de dados de sensoriamento remoto da Universidade de Maryland. O interpolador utilizado no processo de orthoretificação foi o Vizinheiro mais Próximo, preservando o máximo possível a informação espectral original. Detalhes sobre o processo de orthoretificação aplicado à imagem são encontrados em Tucker et al. (2004).

Também foi utilizado o modelo numérico do terreno gerado pela *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (Rodríguez et al., 2005), com resolução de 90 m e erro vertical inferior a 16 m, com o objetivo de otimizar o processo de classificação. Visto que os manguezais têm sua distribuição vertical definida pelos níveis de marés, definiu-se a cota de 5 metros como limite máximo para a distribuição desse ecossistema. Desta forma, foi aplicada uma máscara de 21 metros (erro + altitude máxima de interesse) sobre os dados, visando excluir do processamento digital as áreas não propícias à distribuição de manguezais.

Foram consideradas como classes de interesses as áreas de mangue (bosque) e apicum. O bosque é a cobertura vegetal formada, principalmente, pelas espécies dos gêneros *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*. Os apicuns são terrenos formados por sedimentos arenosos na porção mais externa do manguezal, raramente em pleno interior do bosque, podendo aparecer em variadas dimensões. Dispersos em meio aos apicuns, por vezes são encontrados

remanescentes de vegetação de mangue, com exemplares de porte reduzido e ocupando pequenas áreas (Schaeffer-Novelli, 1989; Ucha et al., 2004).

Em fevereiro de 2006, foi realizado um trabalho de campo nos manguezais do Rio Tavares, do Rio Ratonos e do Saco Grande, bem como no Parque Florestal do Rio Vermelho, este último localizado no lado leste da Ilha. O referido Parque foi visitado em campo porque durante uma análise exploratória da imagem, baseada em classificações não supervisionadas, esta região apresentou confusões com as áreas de manguezais presentes no lado oeste da Ilha.

Assim, objetivando-se confirmar o tipo de cobertura do terreno, foram visitados 37 pontos. A escolha dos pontos foi baseada na análise exploratória da imagem, considerando-se a confusão com as classes de interesse e dúvidas quanto à sua cobertura. As informações sobre o tipo de cobertura do terreno provenientes do trabalho de campo foram reservadas para o processo de validação do resultado da classificação. Este procedimento de validação foi estabelecido em virtude da indisponibilidade de um mapeamento que representasse a verdade terrestre para toda a região de estudo.

A imagem classificada em áreas de mangue e apicum foi obtida com o uso da ferramenta *Árvore de Decisão*. A *Árvore de Decisão* permite que a classificação seja feita em vários estágios, baseada em expressões e decisões binárias que relacionam os pixels às classes. Dados de diferentes fontes e arquivos podem ser utilizados como subsídios para a classificação. A árvore de decisão não assume nenhum modelo estatístico *a priori*, sendo a divisão do espaço de atributos feita de acordo com as informações provenientes da amostragem das classes. Assim, no espaço tridimensional, as classes são separadas por planos que as delimitam (Shiba et al., 2005).

Com o objetivo de caracterizar as classes de interesse, foram gerados os seguintes produtos: radiância, reflectância, componentes principais da reflectância, componentes principais da radiância, índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e frações solo, vegetação e sombra do modelo de mistura para a imagem reflectância.

A imagem radiância (em $W.m^{-2}.sr^{-1}.μm^{-1}$) foi obtida a partir da aplicação dos coeficientes de calibração (ganho e offset), definidos para as imagens do sensor ETM+ (Nasa, 2006), considerando, ainda, que todas as bandas da imagem utilizadas no presente trabalho foram adquiridas no modo de ganho alto.

Para a obtenção da reflectância (**Figura 3**), foi realizada a correção atmosférica utilizando-se o algoritmo MODTRAN 4+ (Moderate Resolution Transmittance Code), tendo sido necessário definir os parâmetros que melhor caracterizam a atmosfera estudada. Qualquer correção atmosférica que se baseie em modelagem física requer inicialmente o primeiro estágio de correção radiométrica, ou seja, a determinação da radiância. Os parâmetros de entrada foram: imagem radiância (em $μW.cm^{-2}.sr^{-1}.nm^{-1}$), coordenada do centro da cena, sensor, altitude do sensor, elevação do terreno (0 m), tamanho do pixel (28,5 m), data e hora de aquisição da imagem, modelo atmosférico (Mid-Lat Summer), Modelo de Aerossol (marítimo) e Visibilidade Inicial (40 km, limpo).

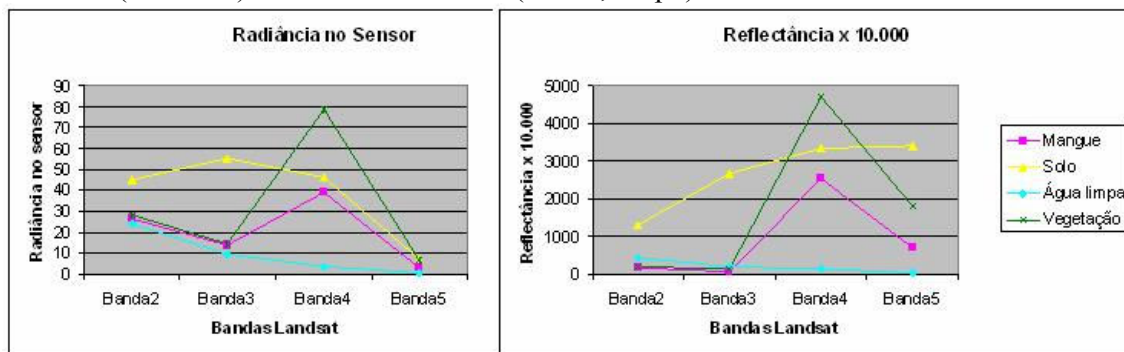
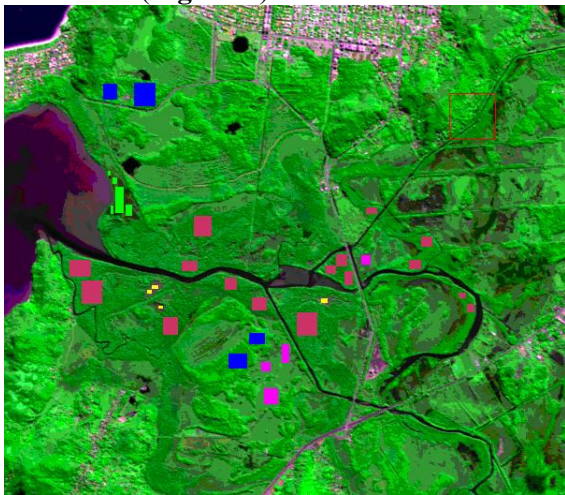


Figura 3 - Amostras do comportamento da radiância e da reflectância após a aplicação dos coeficientes de calibração (radiância) e da correção atmosférica na imagem ETM+ (reflectância).

Os demais produtos utilizados para a caracterização das classes de interesse foram gerados a partir das imagens radiância e reflectância. Gherardi & Carvalho (2005) apresentam a importância da aplicação das técnicas de componentes principais, modelo linear de mistura e razão de bandas, representada pelo SAVI, no estudo da zona costeira com imagens orbitais. Os resultados destes processamentos facilitaram a identificação visual das classes de interesse e possibilitaram o refinamento da divisão do espaço de atributos no processo de classificação.

Após a geração de todos os produtos, foram amostrados valores de cada um deles em áreas relacionadas às classes de interesse e também nas áreas com cobertura que se confundiu o mangue e/ou apicum durante a análise exploratória da imagem (áreas de transição, áreas úmidas, etc.) (**Figura 4**). Os limites inferior e superior do intervalo de valores de cada produto foram representados pela média da amostra ± 2 desvios padrões. Considerando-se uma distribuição normal dos valores, esta estratégia garante o aproveitamento de cerca de 95% dos dados amostrados e a exclusão de observações extremas (*outliers*). Também foram identificados visualmente, com base na distribuição de frequência para todas as classes, os produtos nos quais os intervalos de valores apresentaram menor sobreposição entre as classes amostradas (**Figura 5**).



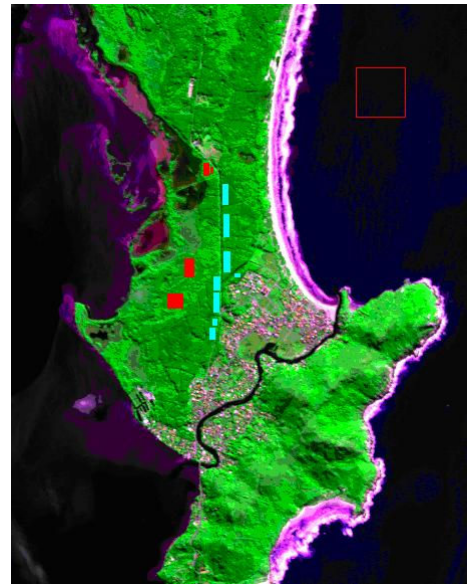
Rio Ratones



Saco Grande

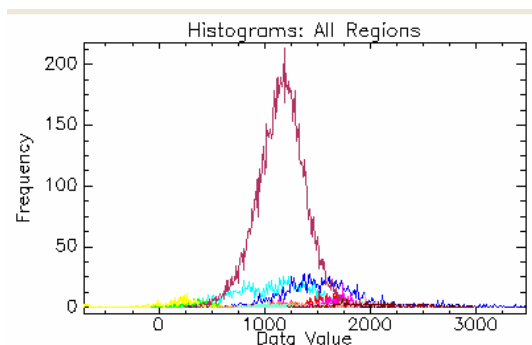


Rio Tavares

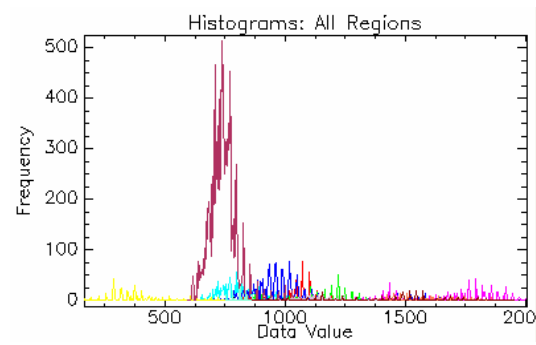


Parque Florestal do Rio Vermelho

Figura 4 - Localização das amostras das classes de interesse (■ Mangue e ■ Apicum) e de outras que na análise exploratória apresentaram confusão com as classes de interesse.



A - 1ª Componente principal da reflectância.



B – Reflectância da banda 5.

Figura 5 - Distribuição de frequência utilizada para a identificação visual dos produtos nos quais os intervalos de valores apresentaram menor sobreposição entre as classes amostradas. (A) Produto não selecionado e (B) Um dos produtos selecionados.

Na Árvore de Decisão, os limites inferior e superior dos valores dos produtos que caracterizam as classes mangue e apicum foram inseridos em cada nó (estágio), na forma de expressões e decisões binárias. O primeiro nó somente conteve a expressão $b1 = 0$, onde a variável $b1$ representa a máscara de altitude (altitudes maiores que 21 metros são representadas pelo valor 0). Quando a expressão é verdadeira, os pixels são associados à classe. Por vezes, a classe apresenta grande variabilidade, gerando a necessidade de se caracterizar cada subclasses e, na pós-classificação, agrupá-los em uma única classe de interesse (ex. mangue). Os pixels não encaixados nas regras (expressões) das classes de interesse foram associados à classe “outros”.

Após a obtenção da imagem classificada, foram calculados o coeficiente Kappa e a exatidão global. Os dados que representaram a verdade terrestre nos dois cálculos foram extraídos de áreas de cerca de 3 x 3 pixels em torno dos pontos visitados em campo, considerando-se as classes “outros”, “mangue” e “apicum”. Foram utilizados 311 pixels nestes cálculos.

4. Resultados e Discussão

Com o uso da metodologia anteriormente exposta, foi obtida uma imagem classificada, representando a cobertura do terreno da área de estudo em termos de mangue, apicum e outros (Figura 6).

Na Tabela 1 é apresentada a matriz de erro do mapeamento realizado, baseada nos 37 pontos visitados em campo (311 pixels).

O índice de exatidão global e o Coeficiente Kappa obtidos nesse mapeamento da cobertura do terreno foram de 84,88% e 0,70, respectivamente. No entanto, considera-se que o ideal é a utilização de dados de referência (verdade terrestre) contendo a distribuição espacial das classes de interesse em toda a área de estudo.

Com base na matriz de erro e na imagem classificada, observa-se que as maiores confusões ocorreram entre as classes “Outros” e “Mangue”, tendo sido alguns pixels classificados como mangue. A cobertura do terreno observada nas áreas de confusão, durante o trabalho de campo, tanto na área do Parque Florestal do Rio Vermelho, como ao redor do manguezal do Rio Rationes, foi representada por uma vegetação de porte médio, úmida, denominada localmente de restinga. Algumas áreas de sombra causadas pela elevada declividade ou nuvens, não ocultadas pelo processo de mascaramento das altitudes superiores a 21 metros, também causaram confusão.

Com base na Figura 2, observa-se que as climatologias de precipitação e umidade de Florianópolis apresentam comportamento opostos, indicando que na época de estiagem a região continua úmida. Este comportamento, segundo o INMET (2005), é observado na climatologia da maioria das capitais brasileiras ao sul do Estado da Bahia. Em virtude da presença outras vegetações úmidas, observou-se maior confusão dessas vegetações com as áreas de manguezal quando se compara a mapeamentos realizados na região Nordeste. Nessa região, o período de estiagem está associado ao período de pouca umidade. Assim, a diferença espectral entre o mangue e outras vegetações, mais secas nesse período, torna-se mais evidente.

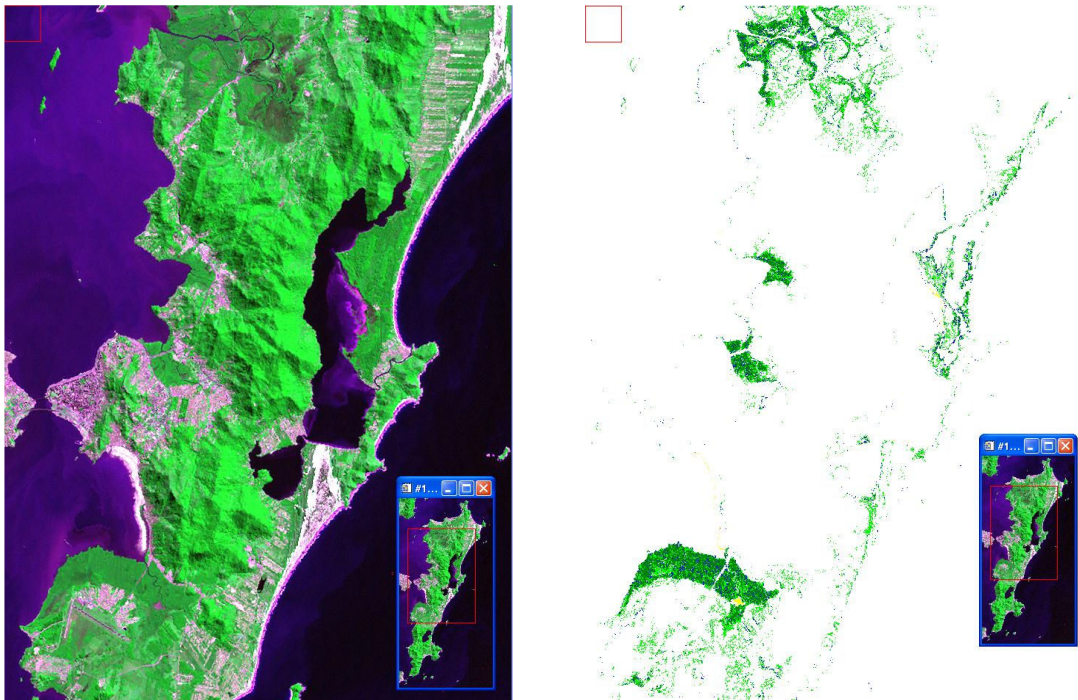


Figura 6 – Resultado final da classificação da imagem em mangue (verde) e apicum (amarelo).

Tabela 1 – Matriz de erro, em número absoluto e em percentual.

Campo Classif.	Outros	Apicum	Mangue	Total
Outros	181	6	2	189
Apicum	0	17	0	17
Mangue	35	0	70	105
Total	216	23	72	311

Campo Classif.	Outros	Apicum	Mangue	Total
Outros	83,79	26,09	2,78	60,78
Apicum	0	73,91	0	5,47
Mangue	16,20	0	97,22	33,76
Total	100	100	100	100

5. Conclusão

A metodologia aplicada pelo Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama a imagens orthoretificadas TM e ETM+ visando o mapeamento de manguezais no Brasil foi considerada satisfatória, na medida em que possibilitou a indicação das áreas de manguezais baseada nas informações espectrais dos componentes desse ecossistema.

O mapeamento dos manguezais torna-se fundamental na medida em que subsidia a definição de áreas prioritárias para a conservação, bem como a avaliação da regularidade das atividades de cultivo de pescado e de salinas, identificadas por imagens de satélite e trabalhos de campo do Ibama.

Assim, sugere-se, como diretrizes para a melhoria do processo de mapeamento de manguezais por meio de imagens de satélite, a aquisição de imagens mais recentes, com a aplicação de técnicas de orthorretificação, e melhoria do processo de correção atmosférica das imagens, tendo como base informações meteorológicas coletadas em momento mais próximo possível da data de aquisição da imagem.

6. Referências Bibliográficas

Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, DHN. **Aviso aos Navegantes de 30 de abril** da NAVAREA V. Folheto n.º 8, ISSN 0104-3102, 2005.

Gherard, D. F. M; Carvalho, M. **A Utilização de Imagens Orbitais para a Conservação e Gestão Ambiental da Zona Costeira**. In: Oceanografia por Satélite. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 336 p.

Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, IPUF. **Ilhas, Manguezais e Climatologia**. <http://www.ipuf.sc.gov.br/instituto/informacoes/manguezais.htm>, 2006.

Instituto Nacional de Meteorologia, INMET. **Gráficos Climatológicos**. <http://www.inmet.gov.br>, 2005.

National Aeronautics and Space Administration, Nasa. **Landsat 7 Science Data Users Handbook**. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>. 2006.

Rodriguez, E.; Morris, C. S.; Belz, J. E.; Chapin, E. C.; Martin, J. M.; Daffer, W.; Hensley, S. **An assessment of the SRTM topographic products**. Pasadena, California: Technical Report JPL (D-31639), 2005. 143 p.

Schaeffer-Novelli, Y. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o sistema manguezal. **Publicação Especial do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 7, p. 1-16, 1989.

Shiba, M. H.; Santos, R. L.; Quintanilha, J. A.; Kim, H. Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2005. p. 4319-4326. Disponível na biblioteca digital UOLib: <http://marTE.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.23.11.44/doc/4319.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2006.

Simonassi, J. C. **Caracterização da Lagoa do Peri, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.

Tucker, C. J.; Grant, D. M.; Dykstra, J. D. NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n. 3, p. 313-322, 2004.

Uchoa, J. M.; Santana, P. S.; Gomes, A. S. R.; Barreto, E. N.; Boas, G. S. V.; Ribeiro, L. P. Apicum: Gênese dos campos arenosos e degradação dos manguezais em dois municípios baianos. **Revista E.T.C. - Educação, Tecnologia e Cultura**, n. 2, p. 13-15, 2004.