

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

LUCIANA CAVALCANTI MAIA SANTOS

**Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de
Sergipe, Brasil: uso e cobertura da terra e diagnóstico ambiental dos
manguezais**

São Paulo

2010

LUCIANA CAVALCANTI MAIA SANTOS

**Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de
Sergipe, Brasil: uso e cobertura da terra e diagnóstico ambiental dos
manguezais**

Dissertação de mestrado apresenta ao Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Yara Schaeffer-Novelli

Co-orientadora: Dr.^a Marília Cunha-Lignon

São Paulo

2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

Luciana Cavalcanti Maia Santos

Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe,
Brasil: uso e cobertura da terra e diagnóstico ambiental dos manguezais

Dissertação de mestrado apresenta ao Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Aprovada em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof.(a) Dr. (a): Yara Schaeffer-Novelli (Orientadora)

Instituição: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

Assinatura: _____

Prof.(a) Dr. (a): _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof.(a) Dr. (a): _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

À Prof.^a Dr.^a Yara Schaeffer-Novelli, pela orientação desse trabalho, e pelos ensinamentos, apóio e confiança, que foram fundamentais para o desenvolvimento desse estudo.

À Dr.^a Marília Cunha-Lignon, pela co-orientação desse trabalho e por estar sempre presente para corrigir e apontar sugestões para esse estudo, contribuindo de forma fundamental para o desenvolvimento do mesmo e para publicação de trabalhos em congressos internacionais e periódicos científicos.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de mestrado, para o desenvolvimento deste estudo, por meio da qual eu pude participar de três congressos internacionais, nos quais trabalhos derivados do presente estudo foram apresentados e publicados.

Ao ICMBio-Pirambu/SE e Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues/SE, especialmente Augusto César Dias e Jamile, pelo fornecimento de suporte logístico para realização do trabalho de campo.

À *Society for Conservation GIS (SCGIS)* pela concessão da bolsa de estudos para participação de cursos de aperfeiçoamento e congressos na área de SIG, promovidos pelo *Environmental System Research Institute (ESRI)*, na Califórnia, EUA.

Ao programa *Planet Action*, juntamente com a *Society for Conservation GIS* pela concessão da imagem do satélite SPOT-5.

À Prof.^a Dr.^a Sueli Ângelo Furlan, do Depto. de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, pelas preciosas sugestões e referências bibliográficas indicadas na reunião de comitê de orientação e exame de qualificação, que foram fundamentais para a estruturação metodológica e teórica do presente estudo.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Diegues, do Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas em Áreas Úmidas Brasileiras (NUAPUB), pelas sugestões fornecidas na reunião de comitê de orientação e exame de qualificação.

Aos secretários do PROCAM, Luciano e Priscila, pelas informações e documentos fornecidos quando solicitados.

Ao meu avô Enéas e mina avó Rosalina (*in memorian*), pela dedicação e amor e por ter inserido em minha mãe a importância do estudar, mesmo sendo este contexto tão longe de suas realidades.

Ao meu pai Antônio Severino (*in memorian*) por acreditar e apoiar meus estudos.

À minha mãe Maria José, pela dedicação e amor, por sempre me incentivar e acreditar nos meus estudos, me apoiando na realização de meus sonhos.

À minha irmã, Rosana, e meu querido sobrinho Leitão pelos momentos de alegria e felicidades com as Baleais!

Ao meu querido namorado e companheiro, Humberto, por todo carinho, amor e apóio logístico em trabalho de campo, que foram necessários para o desenvolvimento desse trabalho.

À equipe de trabalho de campo: Humberto e Rafael dos Santos pela ajuda, ensinamentos e paciência no desenvolvimento das atividades de campo. Agradeço em especial a Rafael, pelas informações concedidas sobre área de estudo.

E claro aos manguezais, por sua beleza, complexidade, exuberância, e persistência de vida, que sustenta tantas outras diversidades de vidas.

“Eu escolho para ti o domínio sobre ti mesmo, e que a tua mente, agitada por vagos pensamentos, se afirme e se torne convicta, de modo que encontre prazer em si mesma e conheça os bens verdadeiros, aqueles que passam a nos pertencer assim que compreendemos quais são, não sendo necessário aumentar o número de anos. Está acima das necessidades aquele que é completamente emancipado, é livre quem viveu uma vida completa.”

Sêneca.

RESUMO

SANTOS, L.C.M. **Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe, Brasil: uso e cobertura da terra e diagnóstico ambiental dos manguezais**. 2010. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

O sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, litoral norte da zona costeira de Sergipe, é uma região que apresenta vastas áreas de manguezal, apesar da incidência de tensores antrópicos. O presente estudo realizou um diagnóstico ambiental dos manguezais dessa zona costeira, considerando-se os níveis hierárquicos *setting* (paisagem), *stand* (unidade de paisagem) e *site* (parcela ou árvore), adaptado da proposta de Schaeffer-Novelli et al. (2000; 2005). Imagens de satélites e fotografias aéreas coloridas da área de estudo foram processadas em SIG e foi gerado um mapa de uso e cobertura da terra para 2008. Verdade de campo foi realizada e características qualitativas da composição da vegetação e da estrutura de bosques de mangue foram registradas. Atualmente 93% (179 km²) da zona costeira em estudo é ocupada por áreas de vegetação natural: *manguezal* (30 Km², 16%), *apicum* (1,4 Km², 0,7%) e *formações pioneiras de influência marinha* (14 Km², 77%); enquanto que 7% (13,56 km²) é ocupada por áreas antrópicas: *aquicultura* (4,6 Km², 2,4%) e *culturas de coco e arroz* (9 Km², 4,7%). Manguezais vêm a pelo menos 40 anos sendo pressionados por diferentes formas de uso da terra, destacando-se atualmente a carcinocultura e culturas de coco e arroz, que ocupam 25% da área total dessa vegetação, o que pode indicar que ¼ dos manguezais foram alterados ou convertidos para usos antrópicos. Esses resultados indicam que estado de conservação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco encontra-se bastante vulnerável demandando plano de gestão costeira que considere como prioridade a conservação dos mesmos diante da expansão da carcinocultura, o manejo das atividades locais de forma a considerar a capacidade de suporte do ecossistema manguezal e dos corpos d'água e a segurança das populações locais frente às alterações geradas pelos intensos processos erosivos na região da foz.

ABSTRACT

SANTOS, L.C.M. **Estuarine system of the São Francisco River, the coastal zone of Sergipe, Brazil: land use and cover and environmental status of mangroves.** 2010. Dissertation (Masters) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The estuarine system of the São Francisco River, the coastal zone of Sergipe State, Northeast Brazil is a region with large areas of mangrove despite they are strongly pressured by human activities. This study performed an environmental assessment of mangrove areas of the São Francisco River Estuary, considering the hierarchical levels: setting (landscape), stand (landscape unit) and site (plot or tree), adapted from the framework proposed by Schaeffer-Novelli et al. (2000, 2005). Satellite images and digital colour aerial photographs of the study area were processed in GIS and a land use and cover map was produced for 2008. Ground-truth was performed and characteristics of vegetation composition and structure were recorded. Currently 93% (179 km²) of the coastal zone in question is occupied by natural vegetation: *mangrove* (30 km², 16%), *apicum* (1.4 km², 0.7%) and sand coast plain (14 Km², 77%), while 7% (13.56 km²) is occupied by disturbed areas: aquaculture (4.6 km², 2.4%) and coconut and rice plantations (9 km², 4.7%). Mangroves have been pressured by different land uses for at least 40 years. Now the land use for aquaculture (mainly shrimp farms) and coconut and rice plantations occupy 25% of the total area of mangrove, which may indicate that ¼ of mangroves have been changed or converted to man-made uses. These results show that the conservation status of mangroves in the study area is vulnerable, requiring a coastal management plan which considers as priority the preservation of mangroves before the expansion of aquaculture, management of local activities to consider the carrying capacity of the mangrove ecosystem and water bodies and the security of local populations in the face of changes generated by intense erosion in the region of the mouth of the São Francisco River.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Segmentos da zona costeira do estado de Sergipe (Adaptado de Carvalho, 2004).
- Figura 2: Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (Adaptado de ANA, 2008).
- Figura 3: Área de estudo – Zona costeira associada ao estuário do Rio São Francisco, litoral norte de Sergipe, Baixo São Francisco (Adaptado de Carvalho, 2004 e ANA, 2008).
- Figura 4: Composição colorida da imagem ETM+/Landsat-7.
- Figura 5: Imagem SPOT-5, na banda pancromática.
- Figura 6: Composição colorida da imagem CBERS-2B.
- Figura 7: Composição colorida das componentes principais da imagem CBERS-2B.
- Figura 8: Composição colorida das componentes principais das imagens SPOT-5 e CBERS-2B fusionadas.
- Figura 9: Composição colorida das imagens SPOT-5 e CBERS-2B fusionadas, e sua segunda componente principal (PC2).
- Figura 10: Classificações supervisionadas MAXVER realizadas com diferentes dados de entrada. (A) Classificação 1, (B) Classificação 2, (C) Classificação 3.
- Figura 11: Desempenho médio e confusão média obtidos para as classificações realizadas.
- Figura 12: Desempenho médio obtidos para cada classe nas classificações realizadas.
- Figura 13: Mapa temático (2008) do uso e cobertura da terra na zona costeira associada ao estuário do Rio São Francisco, Sergipe.
- Figura 14: Localização das áreas analisadas (fotointerpretadas) e ilustradas no presente estudo, em escalas de maior detalhe.
- Figura 15A: Unidade formações pioneiras de influência marinha representada em fotografia aérea colorida.
- Figura 15B: Unidade formações pioneiras de influência marinha representada em composição colorida de imagens de satélite.
- Figura 16A: Unidade aquicultura representada em fotografia aérea colorida.
- Figura 16B: Unidade aquicultura representada em composição colorida de imagens de satélites.
- Figura 16C: Unidade aquicultura representada no mapa de uso e cobertura da terra.
- Figura 17A: Unidade culturas de coco e arroz representada em fotografia aérea colorida.

- Figura 17B: Unidade culturas de coco e arroz representada em composição colorida de imagens de satélites.
- Figura 17C: Unidade culturas de coco e arroz representada no mapa de uso e cobertura da terra.
- Figura 18A: Unidades manguezal e formações pioneiras de influência marinha (vegetação de restinga) representadas em fotografia aérea colorida.
- Figura 18B: Unidade manguezal e formações pioneiras de influência marinha (vegetação de restinga) representadas em composição colorida de imagem de satélite.
- Figura 18C: Unidades manguezal e formações pioneiras de influência marinha (vegetação de restinga) representadas no mapa de uso e cobertura da terra.
- Figura 19A: Unidades apicum e formações pioneiras de influência marinha (cordão arenoso) representadas em fotografia aérea colorida.
- Figura 19B: Unidades apicum e formações pioneiras de influência marinha (cordão arenoso) representadas em composição colorida de imagem de satélite.
- Figura 19C: Unidades apicum e formações pioneiras de influência marinha (cordão arenoso) representadas no mapa de uso e cobertura da terra.
- Figura 20: Estações de reconhecimento de campo amostradas durante as expedições de campo realizadas em 18/04/2009, 19/04/2009 e 31/05/2009.
- Figura 21: Detalhe da região sudoeste da área de estudo com as estações de reconhecimento de campo amostradas em 18/04/2009 e 31/05/2009.
- Figura 22: Visão oeste da margem continental Canal do Poço, estação de reconhecimento 1.
- Figura 23: Margem continental do Canal do Poço com ocorrência de bosques de mangue.
- Figura 24: Canal do Poço com sua margem insular (ilha barreira) ao fundo.
- Figura 25: Margem insular do Canal do Poço com ocorrência de *Anacardium occidentale* (cajuero, indicado pela seta).
- Figura 26: Aspecto geral da área da Boca do Poço, local onde o Canal do Poço se comunica direto com o oceano, região sudoeste da área de estudo.
- Figura 27: Detalhe da Boca do Poço, local onde o Canal do Poço se comunica direto com o oceano, região sudoeste da área de estudo.
- Figura 28: Aspecto de um mancha de vegetação de mangue na estação de reconhecimento de campo 1.
- Figura 29: Presença de lixo na estação de reconhecimento de campo 1.
- Figura 30: Aspecto da Poça do Luizinho localizada na margem continental do Canal do Poço.
- Figura 31: Aspecto de uma franja de bosque de mangue localizada na estação de reconhecimento de campo 2, Poça do Luizinho.

- Figura 32: Aspecto de uma faixa de cordões arenosos seguida por bosques de mangue de *C. erectus*, estação de reconhecimento de campo 2, Poça do Luizinho.
- Figura 33: Aspecto de bosques de mangues localizados ao longo das margens dos canais naturais da área de estudo, região sudoeste.
- Figura 34: Aspecto de um dique de viveiros de carcinocultura, localizado na Ilha da Jibóia. Ao lado ocorrem bosques de mangue de médio porte.
- Figura 35: Aspecto de um bosque de mangue localizado na estação de reconhecimento de campo 3.
- Figura 36: Aspecto do dique de terra remanescente de uma tanque de piscicultura desativado, estação de reconhecimento de campo 3.
- Figura 37: Aspecto da vegetação de mangue na estação de reconhecimento de campo 3: (A) Indivíduos jovens e adultos, (B) clareira
- Figura 38: Troncos retirados das árvores de mangue na estação de reconhecimento de campo 3.
- Figura 39: Aspecto dos bosques de mangue na ilha da Jibóia.
- Figura 40: Aspecto de um bosque de mangue localizado na estação de reconhecimento de campo 4, Ilha da Jibóia.
- Figura 41: Aspecto de uma área de apicum localizada na estação de reconhecimento de campo 4, Ilha da Jibóia.
- Figura 42: Aspecto dos viveiros de camarão localizados na estação de reconhecimento de campo 5.
- Figura 43: Aspecto do solo alterado (primeiro plano) antecedendo os viveiros de camarão (segundo plano) e delimitado por manguezais (fundo), na estação de reconhecimento de campo 5.
- Figura 44: Aspecto de uma franja de bosque de mangue que antecede um empreendimento de aquicultura. Na área clara central observa-se atrás das árvores o viveiro de camarão.
- Figura 45: Aspecto de um empreendimento de aquicultura localizado diretamente nas margens do Canal do Carapitanga. Ao fundo do lado direito observa-se bosques de mangue.
- Figura 46: Aspecto de um bosque de mangue de elevado porte, localizado no Canal do Carapitanga.
- Figura 47: Porto do Povoado Carapitanga, margem insular do Canal do Carapitanga.
- Figura 48: Margem continental do Canal Carapitanga, nas proximidades do Canal Parapuça, apresentando de ciperáceas, como *Eleocharis sp.* (junco), sendo seguidas de coqueiros e manguezais.
- Figura 49: Carcinocultura na margem insular do Canal do Carapitanga, estação de reconhecimento 6 (visão leste). Observa-se presença de ciperáceas, como *Eleocharis sp.* (junco), entre os viveiros.

- Figura 50: Carcinocultura na margem insular do Canal do Carapitanga, estação de reconhecimento 6 (visão oeste). Observa-se presença de bosque de mangue de elevado porte ao lado do viveiro.
- Figura 51: Aspecto de um bosque de mangue localizado na margem insular do Canal do Carapitanga, estação de reconhecimento 7: (A) Transversal percorrida, (B) Detalhe de um indivíduo de *R. mangle*.
- Figura 52: Aspecto de um bosque de mangue na estação de reconhecimento 7. Observa-se a presença de tronco de árvore morta (direita) e plântulas.
- Figura 53: Aspecto de uma clareira no dossel do bosque de mangue localizado na estação de reconhecimento 7.
- Figura 54: Riacho do Funil: (A) Aspecto de bosques de mangue que colonizam as margens do riacho. (B) Detalhe com um indivíduo de *R. mangle*.
- Figura 55: Aspecto da margem continental do Riacho do Funil próximo à Costinha. Observa-se gramíneas, ciperáceas e indivíduos de *A. aureum*.
- Figura 56: Detalhe da região norte/nordeste da área de estudo com as estações de reconhecimento de campo amostradas em 19/04/2009.
- Figura 57: Costinha. (A) Ao fundo observa-se a linha de costa e no primeiro plano a água no encontro dos canais. (B) Detalhe da área do retângulo.
- Figura 58: Visão leste na estação de reconhecimento 8, Costinha.
- Figura 59: Visão oeste na estação de reconhecimento 8, Costinha.
- Figura 60: Árvores de mangue mortas (destacadas na elipse) devido o efeito da erosão nos limites da Costinha. (A) Visão leste (detalhe figura 58), bosques de mangue da Ilha do Feijão. (B) Visão oeste (detalhe figura 59).
- Figura 61: Detalhe de uma franja de bosque de mangue no Canal Parapuça, com ocorrência de *A. aureum* (indicado pelas setas) entre indivíduos de *R. mangle*.
- Figura 62: Fazenda Mangabeira no Canal Parapuça.
- Figura 63: Margem do Canal do Parapuça com de plantação de coco (ao fundo) e indivíduos de *A. aureum* (primeiro plano).
- Figura 64. Tanques de petróleo e/ou gás da Petrobrás nas proximidades da Fazenda Mangabeira.
- Figura 65: Estação de reconhecimento 9. No primeiro plano observa-se ciperáceas, gramíneas e indivíduos de *A. aureum*. Ao fundo observa-se coqueiros e manguezais.
- Figura 66: *Avicennia germinans*, estação de reconhecimento 10. (A) Arbusto. (B) Detalhe da inflorescência e folhas. Figura 67: Estação de reconhecimento 10, margem insular do Canal Parapuça. Observa-se (“junco”) (primeiro plano) e *A. aureum* (fundo).
- Figura 68: Plantação de coco, estação de reconhecimento 11, margem continental do Canal do Parapuça na sua intersecção com o Riacho do Alípio.

- Figura 69: Aspecto de bosques de mangue no Canal do Parapuca, próximo à foz do Rio São Francisco.
- Figura 70: Aspecto de bosques de mangue no Canal do Parapuca, próximo à foz do Rio São Francisco, com ocorrência de *M. arborecens* (“aninga”) (destacada na elipse).
- Figura 71: Plantação de coco entre a vegetação de mangue no Canal do Parapuca, próximo à foz do Rio São Francisco.
- Figura 72: Encontro do Canal do Parapuca com as águas da Foz do Rio São Francisco.
- Figura 73: Margem sergipana do Rio São Francisco na região da foz e encontro com Canal Parapuca. (A) Visão sul. (B) Visão norte.
- Figura 74: Margem alagoana do Rio São Francisco na região da foz e encontro com Canal Parapuca.
- Figura 75: Trecho alagado da estrada não pavimentada. (A) Estrada alagada. (B) detalhe de parte da área alagada.
- Figura 76: Pequena duna com vegetação de restinga na unidade feições arenosas costeiras.
- Figura 77: Área alagada na unidade formações pioneiras de influência marinha.
- Figura 78: Cordões arenosos na unidade feições arenosas costeiras.
- Figura 79: Casas/sítios localizados paralelamente a estrada não pavimentada, povoado Aracaré.
- Figura 80: Cordões arenosos com vegetação herbácea, restinga e coqueiros ao longo da estrada não pavimentada, estação de reconhecimento 12.
- Figura 81: Detalhe de coqueiros e árvores de restinga na estação de reconhecimento 12.
- Figura 82: Vegetação de restinga com árvores de porte médio, cactáceas e bromeliáceas na estação de reconhecimento 12.
- Figura 83: Vegetação de mangue (ao fundo dos coqueiros), estação de reconhecimento 12.
- Figura 84: Lagoa (direita) e parte da estrada alagada na estação de reconhecimento 13. Ao fundo vegetação herbácea e coqueiros.
- Figura 85: Aspecto de uma casa no vilarejo Aracaré (Figura), estação de reconhecimento 13. Observa-se vegetação de restinga ao fundo.
- Figura 86A: Foz do Rio São Francisco representada na imagem ETM+/Landsat.
- Figura 86B: Foz do Rio São Francisco representada em fotografia aérea colorida.
- Figura 86C: Foz do Rio São Francisco representada representadas em composição colorida de imagem de satélite.
- Figura 86D: Foz do Rio São Francisco representada representadas no mapa de uso e cobertura da terra.

- Figura 87: Foz do Rio São Francisco representada em composição colorida multitemporal (2000-2003).
- Figura 88: Foz do Rio São Francisco representada em composição colorida multitemporal (2000-2008).
- Figura 89: Foz do Rio São Francisco representada em composição colorida multitemporal (2003-2008).
- Figura 90A: Áreas de manguezal em processo de erosão em 2000.
- Figura 90B: Áreas de manguezal em processo de erosão em 2003.
- Figura 90C: Áreas de manguezal em processo de erosão em 2008.
- Figura 90D: Áreas de manguezal em processo de erosão representadas no mapa de uso e cobertura da terra, 2008.
- Figura 91: Canal do Parapuca em 1971 com suas margens ocupadas e alteradas por culturas de coco e arroz entre manchas de manguezal e restinga. (Fotografia aérea, 1971, escala aproximada: 1:13.000).
- Figura 92: Riacho do Mosquito em (A)1971 com salina entre a vegetação de mangue (foto aérea, escala aproximada 1:15.000), (B) 2003 vegetação de mangue e apicum (foto aérea) e (C) 2008 vegetação de mangue e apicum (imagem de satélite).
- Figura 93: Settings propostos por Thom (1986), para desenvolvimento de manguezais. Os cinco settings ocorrem em costas dominadas por deposição terrígena e retrabalho da areia, silte e argila (extraído de Thom, 1986).

LISTA DE TABELAS

- Tabela I: Principais características das imagens de satélites utilizadas no presente estudo.
- Tabela II: Características das bandas espectrais do satélite CBERS-2B/CCD1, utilizadas no presente estudo (adaptado de Passos et al., 2007).
- Tabela III: Dados dos registros das imagens de satélite e fotografias aéreas.
- Tabela IV: Área ocupada pelas unidades de uso e cobertura da terra do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe, ano de 2008.
- Tabela V: Área ocupada pelas unidades de uso da terra que ocorrem entre manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe, e sua percentagem em relação à área total de manguezal, para o ano de 2008.
- Tabela VI: Quadro síntese dos resultados obtidos através de análise visual das unidades de paisagem da zona costeira associada ao Estuário do Rio São Francisco.
- Tabela VII: Localização das estações reconhecimento de campo.
- Tabela VIII: Espécies vegetais típicas de mangue, associadas e de outras espécies vegetais (de outros ambientes) registradas nos bosques de mangue da área de estudo.
- Tabela IX: Informações qualitativas da composição florística e da estrutura da vegetação de manguezal registradas em trabalho de campo (Rh - *R. mangle*, Lg - *L. racemosa*, Avs - *A. schaueriana*, Avg - *A. germinans*, Co - *C. erecta*, Ac - *A. aurem*, Sp - *Spartina sp*, Sc - *Scirpus sp*, El - *Eleocharis sp.*, An - *A. glabra*, Mo - *M. arborecens*; porte da vegetação baixo: altura < 7 m, médio: altura: 7m - 15m, alto: altura >15 m).
- Tabela X: Principais características levantadas em cada estação de reconhecimento de campo (porte da vegetação baixo: altura < 7 m, médio: altura: 7m - 15m, alto: altura >15 m).

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	xii
INTRODUÇÃO	
Zona costeira, estuários e manguezais.....	1
Tensores antrópicos incidentes na zona costeira e nos manguezais.....	4
Ferramentas para o estudo ambiental da zona costeira e dos manguezais: sensoriamento remoto, SIG e mapeamento do uso e cobertura da terra.....	7
Problemas ambientais incidentes no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe.....	12
OBJETIVOS	14
O PROBLEMA DA PESQUISA E HIPÓTESES	15
ÁREA DE ESTUDO	
Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, litoral norte da zona costeira de Sergipe, Brasil.....	16
Características dos municípios onde se insere a área de estudo.....	20
<i>Brejo Grande</i>	21
<i>Pacatuba</i>	22
MATERIAL E MÉTODOS	
Níveis hierárquicos.....	23
Imagens de satélites.....	24
<i>Imagem ETM+ Landsat-7</i>	25
<i>Imagem SPOT-5</i>	25
<i>Imagem CBERS-2B</i>	26
Fotografias aéreas.....	26
Processamento das imagens de sensoriamento remoto em SIG.....	27
<i>Criação de banco de dados, leitura e registro de imagens</i>	28
<i>Recorte, contraste, transformação RGB-IHS, análise por componentes principais (PC) e composições coloridas</i>	29
<i>Classificações supervisionadas</i>	32
<i>Processamento das fotografias aéreas</i>	34
Mapeamento temático do uso e cobertura da terra.....	35
Geração de cartas.....	38
Trabalhos de campo.....	38

RESULTADOS**Sensoriamento remoto**

<i>Registro</i>	41
<i>Composições coloridas, transformações e análise por componentes principais</i>	42
<i>Classificações supervisionadas</i>	46

Unidades de uso e cobertura da terra do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco: identificação, espacialização e quantificação (níveis *setting* e *stand*).....49**Reconhecimento de campo do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (nível *site*)**

<i>Reconhecimento de campo da região sudoeste: Canais do Poço e do Carapitanga</i>	54
<i>Reconhecimento de campo da região norte/nordeste: Costinha e Canal do Parapuca</i>	61
<i>Reconhecimento de campo da região sudoeste: estrada não pavimentada</i>	64

Processos erosivos na Foz do Rio São Francisco: alterações espaço-temporais entre 2000 e 2008.....66**DISCUSSÃO****Sensoriamento Remoto**

<i>Processamento digital de imagens de satélites</i>	68
<i>Mapeamento temático e análise visual de imagens de satélites e fotografias aéreas</i>	72

Uso e Cobertura da terra no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco e diagnóstico dos tensores antrópicos incidentes nos manguezais.....75

<i>Culturas de coco e arroz</i>	78
<i>Aquicultura</i>	80

Considerações iniciais sobre a fragmentação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco: expansão da carcinocultura *versus* conservação dos manguezais.....86**Manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco: análise em escalas**

<i>Nível <i>setting</i> - escala da paisagem</i>	89
<i>Níveis <i>stand</i> e <i>site</i> - escalas da unidade de paisagem e local</i>	92

Alterações espaço-temporais (2000-2008) na Foz do Rio São Francisco.....97**CONCLUSÕES**.....101**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**.....105**FIGURAS**.....114**TABELAS**.....176**ANEXO 1**.....185

INTRODUÇÃO

Zona costeira, estuários e manguezais

A Lei Federal nº 7.661/88, que instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, considera como zona costeira o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, e abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre (BRASIL, 1990).

Nas regiões costeiras os processos dependentes da interação entre terra e mar são mais intensos (CLARK, 1996), e os ecossistemas costeiros são interdependentes e interligados por fluxos de energia e matéria, e participando de forma decisiva na acumulação e estabilização das partículas de sedimento na linha de costa (SCHAEFFER-NOVELLI, et al., 2005).

Assim, a zona costeira é a área de abrangência dos efeitos naturais resultantes das interações terra-mar; leva em conta a paisagem físico-ambiental, em função dos acidentes topográficos situados ao longo do litoral, como ilhas, estuários ou baías; comporta, em sua integridade, os processos e interações características das unidades ecossistêmicas litorâneas; e inclui as atividades sócio-econômicas que aí se estabelecem (BRASIL, 1990).

Estuário é um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite de influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental (PRITCHARD, 1955; DYER, 1997). O termo sistema (ou complexo) estuarino-lagunar se refere a ambientes costeiros amplos

de planície costeira que se compõem de uma rede de canais interligados entre si e com o oceano (MIRANDA et al., 2002).

Sistemas estuarinos integram a zona costeira e são caracterizadas como regiões sujeitas às ações dos elementos costeiros tais como onda e marés, bem como às ações dos elementos continentais, como variação da descarga de sedimentos carregados pelos rios e pela precipitação, constituindo áreas extremamente instáveis (VALE, 2004).

Manguezais ocupam aproximadamente de 60 a 75% das regiões costeiras (sub) tropicais, encontram-se entre os maiores e mais produtivos ecossistemas da biosfera (KJERFVE, 1990) ocorrendo em margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, estuários, lagunas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa (SCHAEFFER-NOVELLI, 2000).

Manguezais são ecossistemas costeiros, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característicos de regiões tropicais e subtropicais e sujeitos ao regime das marés. A cobertura vegetal é constituída de espécies vegetais lenhosas típicas (angiospermas), além de micro e macro algas (criptógamas) adaptadas à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

O ecossistema manguezal é considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica e gerador de bens: produtor de bases da pesca comercial e artesanal, fornecedor da maior parte das proteínas da dieta alimentar das populações ribeirinhas; e serviços: filtro biológico, berçário de recursos

pesqueiros, recreação, turismo, pesquisa e educação ambiental (SCHAEFFER-NOVELLI, 1991). Com essa gama de funções, manguezais são considerados responsáveis pelo equilíbrio físico-químico-biológico de regiões costeiras tropicais (SANT'ANNA; WHATELY, 1981).

O estudo da dinâmica de manguezais em regiões estuarinas é de grande importância, uma vez que o ecossistema responde muito claramente às variações do ambiente ao longo do tempo. Tendo em vista a complexidade do manguezal (CUNHA-LIGNON et al., 2001) e sua ampla distribuição ao longo dos litorais tropicais do planeta, torna-se premente o emprego de estudos em diferentes escalas, tanto temporais como espaciais.

Uma organização hierárquica para o estudo da zona costeira e manguezais foi descrita por Schaeffer-Novelli et al. (2000, 2005) em cinco níveis: *site* (parcela ou árvore), *stand* (bosque ou unidade de paisagem), *setting* (paisagem), *coastal domain* (domínios ou segmentos costeiros) e *large marine ecosystems* (LMEs), de acordo com a escala espacial de análise. Nessa abordagem, cada nível é uma estrutura integrada, contendo mecanismos auto-reguláveis, e opera com um considerável grau de autonomia, sendo caracterizadas por distintos conjuntos de processos, estruturas e “arquiteturas” (VALE, 2004).

De acordo com Schaeffer-Novelli et al. (2000, 2005), a base da organização hierárquica é constituída pelo nível *Site*, correspondente à unidade de cobertura vegetal, representada pelas árvores do bosque de mangue, que ocupe área entre 0,01 a 0,1 ha. O próximo nível, denominado *stand*, é composto pelo conjunto de árvores (unidades do nível anterior), que configuram a unidade de paisagem ou bosque, com áreas de 0,1 a 100 ha. O nível seguinte, *setting*, representa a

paisagem, termo cunhado por Thom (1982; 1984), ocupa áreas de 10 a 100 km da costa, estando sujeito às variações geomorfológicas, apresentando respostas erosivas e deposicionais (CUNHA-LIGNON, 2005). O nível *coastal domain* (domínios ou segmentos costeiros), corresponde a áreas de 500 a 1.000 km da costa, que para a zona costeira brasileira equivale aos oitos segmentos descritos por Schaeffer-Novelli et al. (1990). O topo dessa hierarquia é representado pelo nível *large marine ecosystems*, que equivale às regiões biogeográficas para oceanos e áreas costeiras, conceito proposto por Longhurst (1998).

Essa abordagem hierárquica pode ser utilizada para avaliar como manguezais e recursos costeiros estão sendo alterados nas escalas local, nacional e eco-regional, provendo base para o desenvolvimento de diretrizes para o uso sustentável dessas áreas. Assim, a concepção hierárquica considera uma perspectiva multidimensional, necessária à conservação tanto no nível de ecossistema quanto da zona costeira, auxiliando no gerenciamento integrado das zonas costeiras e oferecendo subsídios aos tomadores de decisão (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2005).

Tensores antrópicos incidentes na zona costeira e nos manguezais

Nas três últimas décadas as regiões costeiras vêm sendo alvo de processo veloz de ocupação, tendo como vetores básicos a urbanização, o turismo e a alocação de projetos industriais associados a atividades portuárias (LIMA, 1996). Essas atividades pressionam constantemente as regiões costeiras, conduzindo à alteração radical da dinâmica natural e da paisagem (AFONSO, 2006).

Embora os manguezais sejam um dos mais importantes e produtivos ambientes costeiros, o ecossistema vem sendo fortemente afetado pelos intensos processos de transformação nas regiões costeiras. Segundo DUKE et al. (2007), as perdas de áreas de manguezais são mais importantes em países em desenvolvimento, onde estão localizados mais de 90% dos manguezais do planeta.

De acordo com relatório da FAO (2007), entre 1980 e 2005, o planeta perdeu cerca de 3,6 milhões de hectares de bosques de mangue, tendo como principais causas o desmatamento, a pressão demográfica e a conversão para criação de peixes e camarões. O aumento da pressão humana em áreas de manguezais devido ao desenvolvimento agrícola, industrial e urbano, incluindo a construção de viveiros para cultivo de camarão e peixe, respondem pela eliminação de 20 a 50% das áreas de manguezal do mundo (PRIMAVERA, 1997).

Embora a conservação dos manguezais brasileiros seja assegurada por várias normas legais, na zona costeira brasileira apresenta diversos fatores antrópicos incidem sobre os manguezais e comprometem sua conservação. Schaeffer-Novelli (1991) aponta uma variedade de fatores induzidos pela ação do homem que atingem os manguezais brasileiros, destacando-se: obras de canalização, represamentos (barragens), sedimentação (aterros), poluição térmica, derramamento de óleos, descarga de efluentes, deposição de lixo, silvicultura, salinas, maricultura e carcinicultura. Vale considerar que os itens

citados pela autora não estão apresentados em ordem de importância ou de pressão sobre o ecossistema manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI, *com.pess.*¹)

No Brasil, a conversão de áreas de manguezal em viveiros de cultivo de camarão é relatada desde o século XVIII, principalmente para a região Nordeste. Entre 1996 e 2000 a área de cultivo de camarão teve um acréscimo de 95%, colocando o Brasil entre os primeiros países produtores do mundo (ASMUS; KITZMANN, 2004).

Atualmente a produção brasileira de camarão marinho cultivado vem passando por uma crise, com a perda de parte da produção pela presença de enfermidades, queda no preço do camarão no mercado externo, baixa do dólar, dificuldade em alcançar índices zootécnicos satisfatórios em função do esgotamento ambiental, além de uma série de conflitos com ambientalistas e comunidades tradicionais (GUIMARÃES, 2005). Entretanto, de acordo com dados do IBAMA (2005), o crescimento da carcinocultura ainda continua vigoroso, ocorrendo sem ordenamento adequado, sem regulamentação, com forte incentivo governamental e geração de impactos ambientais e sociais graves.

Assim constata-se que atividades humanas ao longo das zonas costeiras vêm reduzindo dramaticamente os manguezais do mundo (MARTINUZZI et al., 2009) de forma que pressões diretas e indiretas de tensores antropogênicos são persistentes (MOHAMED et al. 2008). Portanto estudos que avaliam esses

¹ Prof.a Dr.a Yara Schaeffer Novelli, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, orientadora do presente estudo. Comunicação pessoal em fevereiro de 2010.

tensores e seus impactos nas áreas de manguezais são imprescindíveis, de forma a ofertar subsídios para gestão e conservação das zonas costeiras.

Ferramentas para o estudo ambiental da zona costeira e dos manguezais: sensoriamento remoto, SIG e mapeamento do uso e cobertura da terra

O sensoriamento remoto constitui tecnologia e/ou ciência que permite a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico com eles, considerando o estudo do ambiente por meio do registro e análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra (NOVO, 1992).

Os sensores são dispositivos idealizados para captar a energia eletromagnética proveniente de objetos e feições da superfície terrestre como casas, edifícios, rodovias, rios, rochas e matas, e transformá-la em dados, imagens ou outros produtos interpretáveis pelo homem. Esses sensores são colocados a bordo de satélites que exercendo a função de plataformas situadas a determinada distancia da terra, permite-lhe obter os dados. Essa fase do sensoriamento remoto pode ser definida como a etapa de aquisição dos dados (LUCHIARI et al. 2009).

Na etapa seguinte os dados são interpretados, que consiste na extração de informações sobre os objetos e feições naturais representados nos produtos, de forma que o resultado pode ser apresentado de várias maneiras, como na forma de mapas (LUCHIARI et al. 2009). Nessa etapa de interpretação, as imagens de sensoriamento remoto podem ser integralizadas e processadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo a geração de novas informações ou mapas derivados dos dados originais (FLORENZANO, 2002).

O SIG é uma ferramenta do Geoprocessamento, disciplina que utiliza técnicas computacionais para o tratamento da informação geográfica. Dessa forma, o SIG é um sistema computacional que permite integrar informações geográficas de diferentes fontes e escalas, gerando novas informações (FLORENZANO, 2002), envolvendo recursos humanos capacitados em manipular, analisar e apresentar informações georreferenciadas (GIS, 2004). Os SIGs atualmente vêm encontrando utilidade cada vez maior em diversas áreas, como análise e monitoramento ambiental (CAVALCANTI, 2006).

Dados de sensoriamento remoto têm sido historicamente utilizados como fonte de informações fundamentais para mapear e monitorar ecossistemas costeiros, incluindo-se os manguezais (HERZ, 1991). Nesse contexto, destaca-se estudo de Green et al. (1998), que realiza um levantamento bibliográfico e comparação das imagens e técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento de manguezais.

Existe uma grande variedade de imagens de sensoriamento remoto, de acordo com o tipo de sensor utilizado, como fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar. Essas imagens exibem diferentes características, como resolução espectral e espacial. Portanto, segundo Ross (1992), estudos que empregam imagens de sensoriamento remoto devem utilizar o tipo de imagem com resolução espacial adequada em relação à escala de mapeamento e análise.

Dessa forma, fotografias aéreas, imagens de satélite de alta resolução espacial e imagens de sensores multiespectrais aerotransportáveis são materiais adequados para estudos e mapeamentos em escalas grandes (1: 2.500 a 1: 50.000), uma vez que apresentam resolução espacial mais fina. Imagens de

satélite e de radar, que possuem resolução espacial mais grosseira, são materiais adequados para mapeamentos em escalas médias (1:50.000 a 1:100.000) e pequenas (1:100.000 a 1:1.000.000).

Todo aumento de resolução implica também no aumento da quantidade de informações que podem ser obtidas das imagens. No caso da resolução espacial, a quantidade de detalhes visíveis na imagem aumenta, possibilitando visualizar e identificar objetos que, com resolução mais grosseira, seriam invisíveis (ANTUNES; CENTENO, 2007)

Os modernos sensores remotos orbitais com altíssima resolução espacial como o dos satélites Quickbird (0,61 m de resolução), Ikonos (1,0 m) e SPOT-5 (2,5 m), são fontes de informações valiosas para o mapeamento do ambientes costeiros (GONÇALVES, 2005). Atualmente, para certas regiões brasileiras, há disponibilização gratuita, pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) da banda pancromática do satélite CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) (CBERS-2B-HCR), com 2,5 m de resolução espacial, sendo assim adequada para mapeamentos costeiros em escalas grandes.

Também vale destacar a importância de fotografias aéreas como fonte de dados pretéritos e presentes em alta resolução espacial, sendo assim fundamentais para análise de paisagens dinâmicas e pressionadas/impactadas por tensores antrópicos, como as regiões costeiras. Segundo Dahdouh-Guebas et al. (2000), fotografias aéreas constituem importante fonte de dados espaciais em ampla escala temporal, que possibilita comparação e monitoramento de bosques de mangue. Conforme Santos (2007) e Santos et al. (2008a, 2008b) a aplicação de série temporal de fotos aéreas possibilita avaliação em larga-escala de

alterações que se processam em manguezais impactos e em áreas costeiras pressionadas pela expansão urbana.

Os sensores MSS/LANDSAT1, TM/LANDSAT-5 e ETM+/LANDSAT-7, cuja resolução é de 80 m (MSS) e 30 m e 15 m (TM e ETM), respectivamente, são bastante utilizados em mapeamentos costeiros e estudos temporais, em função do baixo custo de aquisição e da boa resolução temporal, disponibilizando cenas históricas (GUIMARÃES, 2007). As imagens do satélite CBERS (sensor CCD CBERS-1 e CBERS-2 e 2B) disponibilizadas gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) constituem importantes ferramentas para análise de paisagens costeiras, pois apresentam ampla escala temporal, desde 1999, média resolução espacial (20 m) e alta resolução radiométrica (5 bandas). Essas imagens apresentam aplicações em mapeamento e análises em escalas médias a pequenas.

Imagens de satélites proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal de extensas áreas (FLORENZANO, 2002), proporcionando um melhor entendimento dos processos atuantes nos ambientes costeiros tropicais, bem como suas inter-relações (SOUZA FILHO; PARADELLA, 2002). A partir do processamento de imagens de satélite torna-se possível a obtenção de informações quantificadas sobre o ambiente e a dinâmica espacial de uma determinada área (BONETTI FILHO, 1996).

Para mapeamentos e estudos em pequenas e médias escalas tem-se utilizado sensores remotos ativos (radares imageadores), que possuem fonte de energia própria e operam na faixa das microondas (RADARSAT-1, JERS-1, ERS-

1, ERS-2). Esses sensores têm a vantagem de não sofrerem interferência da atmosfera (GUIMARÃES, 2007), como da cobertura de nuvens.

Por meio de técnicas de sensoriamento remoto e SIG, apoiadas por outras fontes de informação como mapeamentos anteriores, documentos bibliográficos, censos oficiais, relatórios, planos e projetos de determinada área, são produzidos mapas de uso e cobertura da terra. Esses mapas expressam a distribuição das atividades antrópicas e cobertura vegetal no espaço (SANTOS, 2004), ilustrando assim as relações entre os seres humanos e sua interação com o meio. O uso da terra está ligado às atividades humanas, enquanto que a cobertura da terra é geralmente designada como cobertura vegetal natural ou antropizada, incluindo feições da vegetação e ausência de vegetação (CAMPBELL, 1997).

Uso e cobertura da terra é um tema importante para o estudo ambiental, pois retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais (SANTOS, 2004). O levantamento sobre o uso e a cobertura da terra comporta análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão (IBGE, 2006). Essas características subsidiam medidas mitigadoras para determinada área (DAHDOUH-GUEBAS, 2002), auxiliando no gerenciamento costeiro (CUNHA-LIGNON, 2005).

Santos et al. (2009) apontam que a perda crescente de áreas de manguezal requer estudos integrados com a aplicação de ferramentas custo-efetivas para produção de mapas atuais com informações sobre o estado dos manguezais. Deste modo, a disponibilização gratuita de imagens de satélites, como as do

CBERS e do LANDSAT, e de SIGs de livre acesso, como o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), produto do INPE, representam ferramentas efetivas em termos de custos para o mapeamento, monitoramento e análise dos manguezais e da zona costeira.

Portanto, técnicas de sensoriamento remoto e SIG empregadas em estudos ambientais da zona costeira são potenciais ferramentas, podendo ser aplicadas para mapear o uso e cobertura do solo, diagnosticar, avaliar e monitorar impactos e tensões incidentes nos manguezais, fornecendo assim subsídios para gestão e conservação desse ecossistema e da zona costeira.

Problemas ambientais incidentes no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe

A zona costeira do Estado de Sergipe, com uma diversidade de aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos, apresenta extensas áreas de manguezais associadas aos seis estuários que interrompem a costa (Figura 1).

Seguindo o padrão internacional de elevada densidade e produtividade no litoral, Sergipe apresenta significativa concentração populacional e de atividades produtivas na zona costeira destacando-se na atualidade o cultivo de camarão da espécie exótica *Litopenaeus vanamei* em cativeiro nos estuários (CARVALHO; FONTES, 2006). O camarão cultivado no Estado de Sergipe é destinado para suprir a demanda do mercado internacional, sendo pouco consumido no mercado nacional e local (CARVALHO, 2004).

O sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco integra o extremo litoral norte de Sergipe, divisa entre esse estado e Alagoas (Figura 1). Essa região

encontra-se sob intensas alterações nos últimos anos, destacando-se os problemas ambientais decorrentes das barragens a montante do estuário, bem como impactos decorrentes do desmatamento de áreas de manguezais para a agricultura e carcinocultura, atividade em expansão que vêm suprimindo áreas de manguezal de maior desenvolvimento (SEMENSATTO, 2006).

A atuação de políticas públicas que promovem a implantação de projetos de carcinocultura e a construção de barragens ao longo do Rio São Francisco tem gerado impactos na dinâmica ambiental da região costeira, que afetam o suporte econômico de pescadores e catadores de caranguejo (CUNHA, 2006). Outros problemas ambientais que afetam essa região, segundo Diegues (2002), são os conflitos de uso pelos grandes projetos de rizicultura aos moradores locais e a falta de infra-estrutura, destacando-se grande escassez de rede de esgoto e serviço de coleta de lixo.

Diante no contexto atual de problemas ambientais que atingem o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, tornam-se imprescindíveis estudos que avaliem as áreas de manguezais e os tensores antrópicos incidentes nas mesmas de forma a ofertar informações que auxiliem na gestão e na conservação dos manguezais e da zona costeira de Sergipe.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Diagnosticar as áreas de manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Zona Costeira de Sergipe), considerando-se os níveis hierárquicos *setting* (paisagem), *stand* (bosque ou unidade de paisagem) e *site* (parcela ou árvore), adaptado da proposta de Schaeffer-Novelli *et al.* (2000; 2005).

Objetivos Específicos

- Caracterizar o uso e cobertura da terra no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Zona Costeira de Sergipe).
- Diagnosticar os tipos de tensores antrópicos incidentes nos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Zona Costeira de Sergipe).
- Identificar alterações espaço-temporais decorrentes de processos erosivos na região da foz do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Sergipe) entre os anos de 2000, 2003 e 2008.
- Fornecer subsídios para a gestão costeira em Sergipe, em especial para a região do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco.

O PROBLEMA DA PESQUISA E HIPÓTESES

Problema de pesquisa

Quais usos da terra comprometem a conservação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, Zona Costeira de Sergipe?

Hipóteses

- O cultivo de camarão da espécie exótica *L. vanamei*, a carcinocultura, constitui atual tensor antrópico à conservação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Sergipe).

- O uso da terra para culturas de coco e arroz constitui antigo tensor antrópico que persiste até o presente, e compromete a conservação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Sergipe).

ÁREA DE ESTUDO

Sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, litoral norte da zona costeira de Sergipe, Brasil

A zona costeira do Estado de Sergipe, localizada na região nordeste do Brasil, entre a foz do Rio São Francisco, ao norte ($10^{\circ}30'S / 36^{\circ}25'W$), e a foz do Rio Real, ao sul ($11^{\circ}25'S / 37^{\circ}20'W$) (BARRETO et al., 2009), possui uma linha de costa com extensão de aproximadamente 163 km (CARVALHO, 2004) e área de 1.200 km² (ADEMA, 1984) (Figura 1).

Segundo a classificação proposta por Ab'Saber (2001), a zona costeira de Sergipe está incluída no Litoral Leste brasileiro, no contexto da unidade geotectônica Bacia Sedimentar Sergipe/Alagoas e na feição estrutural rasa denominada Plataforma de Estância. O clima do estado sofre influência das massas de ar Tropical Atlântica (mTa) e Equatorial Atlântica (mEa), dos sistemas frontológicos da Frente Polar Atlântica (FPA) e das Correntes Perturbadas de Leste, determinantes na manutenção do regime pluviométrico de chuvas mais abundantes durante o período de outono/ inverno.

O segmento litorâneo sergipano compreende três setores – interface continental, planície costeira e interface marinha – que correspondem a divisões transversais à linha de costa. A interface continental está constituída, basicamente, pelos depósitos continentais da Formação Barreiras. Apresenta relevo plano a ondulado com declive regional na direção leste, correspondendo ao domínio geomorfológico dos tabuleiros costeiros (CARVALHO; FONTES, 2006).

Os tabuleiros apresentam um nível mais conservado, referente à superfície tabular, que apresenta altitudes cimeiras de 100 a 200 m, onde mais incisivos são

os efeitos da erosão linear pelos rios e riachos que drenam esta unidade geomorfológica. Em decorrência da presença da estrutura calcária exposta ou coroada pela Formação Barreiras e, ainda, das condições climáticas, os tabuleiros localmente estão dissecados em colinas de topos convexos e planos, eventualmente aguçados (CARVALHO, 2004).

Desenvolvendo-se a leste dos tabuleiros costeiros, a planície costeira do estado de Sergipe é caracterizada pelos típicos ambientes estuarinos do Estado – Rios São Francisco, Japaratuba e Sergipe, que integram o Litoral Norte; Vaza-Barris, Piauí e Real, que integram o Litoral Sul (Figura 1). Na interface marinha, a plataforma continental interna, entre os Rios São Francisco e Real, apresenta grandes variações de largura devido à presença dos canyons dos rios São Francisco, Sapucaia, Japaratuba, Vaza Barris e Real (COUTINHO, 1995).

Os domínios ambientais da planície costeira – terraços marinhos, dunas costeiras e estuários – refletem as influências dos processos de origem marinha, eólica e fluviomarinha em decorrência das condições ambientais variáveis durante o Quaternário. A planície costeira ocupa uma faixa descontínua, assimétrica e alongada no sentido NE – SE ao longo do litoral e tem maior expressão areal na dependência do recuo dos tabuleiros costeiros. Ao norte do estado é mais ampla, condicionada pela feição deltáica no estuário do Rio São Francisco (CARVALHO; FONTES, 2006).

A Bacia hidrográfica do Rio São Francisco, considerado o rio da integração nacional, apresenta área de drenagem da ordem de 636.919 km², 8% do território nacional, abrangendo 503 municípios e sete unidades da federação: Bahia (48,2%), Minas Gerais (36,8%), Pernambuco (10,9%), Alagoas (2,3%), Sergipe

(1,1%), Goiás (0,5%), e Distrito Federal (0,2%) (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004). Desde as suas nascentes, na Serra da Canastra, em Minas Gerais, até sua foz, na divisa de Sergipe e Alagoas, ele percorre 2.700 km (BRASIL, 2010).

A Bacia hidrográfica do Rio São Francisco se divide em quatro zonas fisiográficas: o Alto São Francisco, que vai da cabeceira do rio até Pirapora, em Minas Gerais; o Médio, de Pirapora, onde começa o trecho navegável, até Remanso, na Bahia; o Submédio, de Remanso até Paulo Afonso, também na Bahia; e o Baixo, de Paulo Afonso até a foz, na divisa entre Sergipe e Alagoas (BRASIL, 2010) (Figura 2). Ao longo desse percurso, a Bacia Hidrográfica do São Francisco contempla fragmentos de diversos biomas: Floresta Atlântica em suas cabeceiras, passando para Cerrado, Caatinga e Ecossistemas Costeiros (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2004).

A região do estuário do Rio São Francisco, localizada no Baixo São Francisco, na foz do rio, divisa entre Sergipe e Alagoas é caracterizada por apresentar uma planície fluviomarinha constituída por várzeas e terraços fluviais e marinhos formados por depósitos quaternários e morros arredondados esculpido em rochas sedimentares mesozóicos (raros), cercado por tabuleiros costeiros. Como forma de relevo típico ocorrem dunas e nos níveis mais baixos, depósitos quaternários de areia provenientes das dunas alternam-se com áreas alagadas por canais e lagoas. Outras feições cumulativas que aparecem na região são as restingas, as várzeas, terraços fluviais e manguezais (DIEGUES, 2002).

A região delimitada como área de estudo corresponde ao sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, localizado no extremo litoral norte da zona costeira de Sergipe, na divisa entre esse estado e Alagoas, e compreendido

entre as coordenadas: X1: 762042.0, Y1: 8829124.9, X2: 787292.1, Y2: 8842871.9 (Figura 3). Apesar dessas coordenadas incluírem uma pequena porção da margem alagoana do Rio São Francisco, esta não foi considerada como parte integrante da área de estudo, pois pertence à zona costeira do Estado de Alagoas. Assim, a região de estudo delimitada apresenta aproximadamente 192,35 km² de área continental, abrigando parte dos municípios de Brejo Grande e Pacatuba, Estado de Sergipe.

O sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe, constitui ambiente de planície costeira com presença de redes de canais interligados entre si e com o oceano, recebendo descarga fluvial (CARVALHO; FONTES, 2006). Ocupando a faixa litorânea com largura de 5 km e extensão de 25 km entre a desembocadura do Rio São Francisco e a localidade de Ponta dos Mangues (Município de Pacatuba), parte da planície costeira é constituída por uma sucessão de ilhas destacadas do continente por canais de maré (FONTES, 1990). Manguezais ocorrem ao longo desses canais e ilhas apresentando as espécies vegetais lenhosas típicas: *Rhizophora mangle* (L.), *Avicennia schaueriana* Stapf e Leechman ex Moldenke 1939, *Avicennia germinans* (L.) Stearn 1958, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f., e a espécie associada *Conocarpus erectus* (L.). O sudoeste do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco abarca uma pequena parte da área de entorno da Reserva Biológica de Santa Isabel (SEMENSATTO, 2006), local de desova de tartarugas marinhas.

O clima da região é do tipo tropical semi-úmido, caracterizando-se por temperatura média de 25°C, com amplitude inferior a 4°C entre as médias, regime de ventos predominantemente vindos de NE e ESE, e pluviosidade com duas

estações marcadas: uma mais chuvosa, entre os meses de abril e agosto, e outra seca, entre setembro a março (MEDEIROS, 2003). A área é sujeita a um regime de mesomarés, com marés semi-diurnas (duas baixamares e duas preamares) (SEMENSATTO, 2006).

A área de estudo está inserida na a Área de Proteção Ambiental Estatal denominada "APA - Litoral Norte", criada pelo decreto n.º 22.995 de 09 de novembro de 2004, que declara como Área de Proteção Ambiental (APA) a região situada nos Municípios de Pirambu, Japoatã, Pacatuba, Ilha das Flores e Brejo Grande, e dá outras providências correlatas. De acordo com esse documento o objetivo geral da APA - Litoral Norte constitui-se na promoção do desenvolvimento econômico-social da área, voltado às atividades que protejam e conservem os ecossistemas ou processos essenciais à biodiversidade, à manutenção de atributos ecológicos, e à melhoria da qualidade de vida da população. Todavia, conforme informações cedidas por Santana (informação pessoal)², a APA Litoral Norte ainda está em fase inicial de implantação, não possuindo plano de manejo e zoneamento.

Características dos municípios onde se insere a área de estudo

O sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, zona costeira de Sergipe, é ocupado esparsamente por pequenos povoados, que fazem parte dos municípios de Pacatuba e Brejo Grande, litoral norte do estado. Segundo

² Valdineide Barbosa de Santana, Superintendente de Áreas Protegidas, Biodiversidade e Florestas, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Sergipe, SEMARH. Informação concedida via e-mail em março de 2009.

Semensatto (2006) na área de estudo destacam-se as atividades econômicas relacionadas à pesca próxima à costa e no estuário, aquicultura (peixes e camarão) e agricultura, como o cultivo de coco. A seguir são descritas as principais características dos municípios onde está inserida a área de estudo.

Brejo Grande

O Município de Brejo Grande se localiza no extremo nordeste do Estado de Sergipe, na foz do rio São Francisco, distante 137 Km da capital Aracaju, com uma área de 149,96 Km² (SEPLAN, 2010). O município apresenta uma população absoluta de 7.102 habitantes, sendo que 55% compõem a população urbana. Apesar da maior parte da população encontrar-se na zona urbana, verifica-se uma intensa relação de seus habitantes com o espaço rural. As principais atividades econômicas são agricultura, piscicultura e extração de petróleo (IBGE, 2004).

Devido à proximidade com a bacia do São Francisco, o Município possui um grande potencial para agricultura. Historicamente, o Município foi grande produtor de cana-de-açúcar e algodão, porém, com o aumento da produção na Região Sudeste o município sofreu uma forte concorrência, perdendo assim grande fatia do mercado, passando a não apresentar mais produção nessas culturas (SEPLAN, 2010).

Atualmente o município desponta como um dos grandes produtores de arroz no estado, em grande parte devido às terras inundáveis da região que favorecem a disseminação da cultura. A cultura do coco também é bastante disseminada no Baixo São Francisco, sendo uma significativa fonte de renda para a região. Além do arroz, o município produz outras atividades agrícolas, sendo que

boa parte é destinada à subsistência (SEPLAN, 2010). A atividade pesqueira no estuário também tem destaque na região, entretanto nos últimos anos a produção do pescado vem reduzindo bastante. Conforme CEPENE (2007) Brejo Grande apresentou redução de 92% em seus desembarques entre os anos de 2005 e 2004.

Pacatuba

O município de Pacatuba se localiza no extremo nordeste do Estado de Sergipe, distante 116 Km da capital Aracaju, com uma área total de 407,3 Km². A população total em 2000 era de 11.484 habitantes, sendo 22% na zona urbana e 78% na zona (BOMFIM, 2002).

As principais atividades econômicas do município são relacionadas à agricultura, pecuária e avicultura. Os principais produtos agrícolas são a cana de açúcar, coco, arroz, mandioca, batata doce e milho. Destaca-se ainda o setor petrolífero com a produção de petróleo e gás rural (BOMFIM, 2002). A atividade de carcinocultura também desponta em Pacatuba, sendo o município com maior número de empreendimentos de carcinocultura em Sergipe (CARVALHO, 2004).

MATERIAL E MÉTODOS

As escalas de análise e diferentes técnicas e ferramentas de pesquisa que foram empregadas no presente trabalho e são descritas a seguir. Após a obtenção dos resultados por meio dessas técnicas e ferramentas, correlacionou-se os mesmos entre si e com a literatura existente e pertinente para cada abordagem, de forma a realizar o diagnóstico ambiental dos manguezais. Para o esquema de apresentação da dissertação, as figuras e as tabelas foram dispostas no final do documento, devido muitas vezes o texto fazer referência a várias imagens para compor um raciocínio.

Níveis hierárquicos

A escala de análise representa a unidade de tamanho na qual um fenômeno é analisado, podendo ser, por exemplo, local, regional, ou global (QUEIROZ, 2009). No presente estudo três diferentes escalas de análise foram consideradas no diagnóstico ambiental dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, baseadas na hierarquização dos manguezais proposta por Schaeffer-Novelli et al. (2000; 2005). Assim os manguezais foram analisados nos níveis *setting*, *stand* e *site*, descritos a seguir.

O nível *setting* representa a escala da paisagem, termo cunhado por Thom (1982; 1984). Esse nível corresponde às áreas de 10 a 100 km da costa, com escala cartográfica de trabalho de 1:50.000 a 1:250.000 (Schaeffer-Novelli et al., 2000; 2005). No presente estudo o nível *setting* foi considerado como um nível acima ao do ecossistema, correspondendo ao conjunto de unidades de uso e cobertura da terra do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, com escala

cartográfica de 1:95.000. Como ferramentas para análise dos manguezais nesse nível foram empregadas imagens de satélites em SIG.

O nível *stand* representa a escala da unidade de paisagem ou bosque, é constituído pelo conjunto de árvores e ocupa áreas de 0,1 a 100 ha da costa, com escala cartográfica de 1:2.500 a 1:50.000 (Schaeffer-Novelli et al., 2000; 2005). Esse nível foi considerado como as manchas das diferentes unidades de uso e cobertura da terra do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, com escala cartográfica variando entre de 1:9.000 a 1:20.000. Como ferramentas para análise dos manguezais nesse nível foram empregadas fotografias aéreas digitais e imagens de satélites de alta resolução em SIG.

O nível *site* correspondente à unidade de cobertura vegetal, representada pelas árvores do bosque de mangue, que ocupe área entre 0,01 a 0,1 ha, com escala cartográfica de 1:1 a 1: 2.500 (Schaeffer-Novelli et al., 2000; 2005). No presente estudo este nível foi considerado como a área do terreno ocupada pelas espécies vegetais dos bosques de mangue. Nesse nível a ferramenta utilizada foi o registro de dados qualitativos da composição florística e da estrutura (porte da vegetação), de bosques de mangue, em escala local (1:1), por meio do trabalho de campo.

Imagens de satélites

Imagens orbitais da área de estudo geradas por meio de diferentes satélites (Tabela I), cujas características são descritas a seguir, foram aplicadas no presente estudo.

Imagem ETM+ Landsat-7

Foi empregado um mosaico georreferenciado gerado a partir de imagens ETM+ ortorretificadas (*Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper-plus Compressed Mosaic*) do satélite Landsat-7, elaborado pela NASA. Para aquisição do mosaico foi seguida a metodologia descrita em Mello et al. (2005). O mosaico S.24-10 do ano de 2000, o qual abrange a área de estudo, foi selecionado e adquirido gratuitamente no site: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Nesse mosaico a imagem de satélite apresenta resolução espacial de 14.25m, projeção cartográfica em UTM (Universal Transverse Mercator), datum WGS84 (World Geodetic System 1984) e está disposta na seguinte composição colorida (R7G4B2), composta pelas bandas 2, 4 e 7, combinadas com a pancromática:

- Banda 7: região do infravermelho médio (2,1-2,35 μm) em vermelho (R7)
- Banda 4: região do infravermelho próximo (0,75-0,9 μm) em verde (G4)
- Banda 2: região da luz visível (0,53-0,61 μm) em azul (B2)

Imagem SPOT-5

Foi utilizada uma imagem do satélite SPOT-5, sensor HRG2, canal pancromático (0,49 – 0,69 μm), com resolução espacial de 2,5 m, de 14 de maio de 2008. A imagem encontra-se em formato “geotiff” com projeção cartográfica em UTM/WGS84. A imagem foi selecionada com base nos critérios de sua alta resolução, data mais recente e menor cobertura de nuvens.

Esta imagem foi concedida pelo programa *Planet Action*, como parte integrante da bolsa de estudos (*Global Scholarship Program 2008*) concedida pela *Society for Conservation GIS*.

Imagem CBERS-2B

Foi utilizada uma imagem do satélite CBERS-2B, sensor CCD1, nas bandas espectrais 2, 4 e 3, com resolução espacial de 20 m, de 14 de maio de 2008 (Tabela I), adquirida gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): www.inpe.br. A imagem encontra-se em formato “geotiff” com projeção cartográfica em UTM/ WGS84 e foi selecionada com base no critério da data mais recente e menor cobertura de nuvens. A seleção das bandas espectrais 2, 3 e 4, obedeceu aos critérios de aplicação das bandas que melhor evidenciam os alvos de interesse, com base na tabela II, adaptada de Passos et al. (2007).

Fotografias aéreas

Um total de 13 fotografias aéreas, coloridas e digitais de dezembro de 2003, com resolução espacial de 1 m e em escala 1:25.000 (BASE, 2003) foram necessárias para recobrir a área de estudo. O material utilizado corresponde ao sobrevôo da Base Aerofotogrametria e Projetos S/A³ e não se encontra georreferenciado. As fotografias foram georreferenciadas e processadas em SIG .

Também vale destacar que foi realizada a consulta de fotografias aéreas (CRUZEIRO DO SUL, 1971) preto e branco, do ano de 1971, em escala de 1:70.000, que corresponde ao sobrevôo do Cruzeiro do Sul Serviços

³ Base Aerofotogrametria e Projetos S/A. Municípios litorâneos (SEPLANTEC/PRODETUR/SE). As fotografias aéreas aplicadas no presente estudo foram cedidas pelo Prof. Dr. Antônio Pacheco, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Sergipe.

Aerofotogramétricos⁴. As fotografias foram digitalizadas, em formato tif, por meio de escanização em scanner AO, com resolução de 400dpi (dots per inch – pontos por polegada), que apresentaram resolução espacial no terreno de 4.45 m. A resolução espacial foi obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{Resolução (m)} = \frac{0,0254 \text{ (m)} \times \text{escala da fotografia}}{\text{dpi}}$$

Esse material não foi processado em SIG, mas foi utilizado para auxiliar na interpretação dos resultados do presente estudo.

Processamento das imagens de sensoriamento remoto em SIG

Para o processamento das imagens de satélites e fotografias aéreas foi utilizado o programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 5.0.2 para Windows, SIG gratuito desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para manipulação do programa foram utilizados os seguintes *hardware*: note book HP Pavilion dv7, memória RAM de 4 Mb, disco rígido de 300 Gb (Windows Vista).

O produto SPRING é um banco de dados geográfico de segunda geração, para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

⁴ Sobrevôo Cruzeiro do Sul Serviços Aerofotogramétricos, 1971. As fotografias foram cedidas pela CODISE - Companhia de Desenvolvimento Industrial e dos Recursos Minerais de Sergipe.

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto em um SIG;
- Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, ou seja, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variam desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho (INPE, 2008).

Criação de banco de dados, leitura e registro de imagens

O SPRING é um programa composto por três módulos: IMPIMA, SPRING propriamente dito; e SCARTA. No IMPIMA faz-se a leitura de imagens digitais (de satélite, fotos digitalizadas pelo Scanner etc.) para converter para o formato “spg” (INPE, 2008). O SPRING é o módulo principal de entrada, manipulação e transformação dos dados geográficos. Enquanto que no SCARTA faz-se a edição de carta e geram-se arquivos para impressão.

No módulo SPRING, o mosaico ETM+/Landsat-7 foi importado diretamente para o banco de dados criado, denominado “Paisagem São Francisco” no projeto “São Francisco”, em projeção UTM e datum WGS84, de acordo com os dados originais da imagem.

As imagens SPOT-5, CBERS 2B e fotografias aéreas sofreram leitura no módulo IMPIMA, sendo convertidas para o formato “spg”. No módulo SPRING a imagem SPOT-5, do ano de 2008, foi registrada via tela com base no mosaico ETM+/Landsat-7, de 2001.

Em função da melhor resolução apresentada pela imagem SPOT-5, após seu registro, esta foi utilizada como base no registro via tela das demais imagens de satélite e fotos aéreas. Em todos os registros utilizou-se a equação de mapeamento de 1º grau, para efetuar a reamostragem dos *pixels* (*picture elements*). Foi utilizada a interpolação de alocação pelo vizinho mais próximo (*nearest neighbor*). Após o registro, as imagens foram importadas para o projeto e banco de dados no módulo SPRING.

Recorte, contraste, transformação RGB-IHS, análise por componentes principais (PC) e composições coloridas

Uma vez que as imagens de satélite importadas abrangem regiões além dos limites da área de estudo, foram executados recortes, delimitando-se a região selecionada como área de estudo.

Nas imagens recortadas aplicou-se um realce por meio da função de contraste linear, com manipulação de histograma, visando destacar e distinguir os principais alvos que caracterizam as fisionomias da paisagem. Para o mosaico ETM+/Landsat-7 foi produzida uma composição colorida com base na original; e posteriormente aplicou-se o contraste nas três bandas. Para a imagem CBERS-2B foram testadas várias composições coloridas e selecionada a seguinte composição: banda 4 no canal vermelho, banda 3 no canal verde e banda 2 no

canal azul. Na imagem SPOT-5, por ser composta apenas pela banda pancromática, foi aplicado um contraste linear no canal monocromático.

Foram aplicadas diferentes técnicas de processamento de imagens, baseadas no estudo de Green et al. (1998), que realizaram um levantamento e comparação de várias técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento de áreas de manguezal; e nas técnicas aplicadas por Passos et al. (2007) para detecção de manguezais em imagens CBERS.

Primeiramente procedeu-se a técnica de transformação IHS: Intensidade (Intensity-I), Matiz (Hue-H) e Saturação (Saturation-S) por meio de um processo de múltiplas etapas (CRÓSTA, 1992). Na transformação RGB para IHS, escolhem-se três bandas de uma imagem e associa-se cada banda a um dos componentes RGB. O resultado é um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e outra de saturação. Estas imagens podem ser realçadas, expandindo o intervalo de intensidade e saturação através de contraste, e, quando convertidas de IHS para RGB, permitem melhor separação das cores e das feições que se deseja observar. Ademais, essa técnica pode ser utilizada para combinar (fusionar) imagens de diferentes sensores com distintas resoluções espacial e espectral (INPE, 2008).

Dessa forma, visando fusionar imagens dos sensores: CCD1/ CBERS-2B e HRV2/SPOT-5 e assim obter uma composição colorida com resolução espacial da imagem SPOT, 2,5 m, resolução espectral das três bandas CBERS-2B e reduzida correlação interbandas, as seguintes etapas foram executadas:

- Cálculo dos componentes IHS a partir das bandas 2, 3 e 4 do CBERS-2B;

- Aplicação de aumento de contraste linear nos componentes H e S, e na banda pancromática SPOT-5;
- Substituição do componente I pela na banda pancromática SPOT-5;
- Aplicação da transformação inversa IHS para RGB;

Após a transformação IHS, procedeu-se a técnica de Análise por Componentes Principais (APC), também chamada de Transformação por Principais Componentes ou Transformada de Karhunen-Loeve (CRÓSTA, 1992).

A Análise por Componentes Principais (APC) é utilizada para remover ou reduzir a redundância dos dados multiespectrais (ROSA, 2003), uma vez que bandas individuais de uma imagem multiespectral são altamente correlacionadas, ou seja, as bandas são similares visual e numericamente. Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos alvos. Assim a APC gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas (INPE, 2008). Essas novas imagens são conhecidas como componentes que estão descorrelacionadas umas com as outras e que são ordenadas em termos da variância do conjunto de bandas original (ROSA, 2003).

No presente estudo, procedeu-se a análise de Componentes Principais para as 3 bandas originais da imagem CBERS e para as 3 bandas originadas da fusão das imagens CBERS e SPOT. Para a produção das composições coloridas finais foram testadas várias combinações de bandas e componentes, com base no critério da composição com melhor discriminação visual. Para a imagem CBERS a composição selecionada foi: PC1 no canal vermelho, PC2 no

canal verde e PC3 no canal azul. Para as imagens fusionadas CBERS e SPOT, seleccionaram-se duas composições, a primeira formada pelas componentes principais: PC1 no canal vermelho, PC2 no canal verde e PC3 no canal azul; e a segunda composição formada pelas imagens: PC2 no canal vermelho, banda G no canal verde e banda R no canal azul.

Foram executadas composições coloridas multitemporais, ou seja, com imagens de diferentes datas, com o objetivo de se detectar alterações espaço-temporais ocorridas na linha de costa da região da Foz do Rio São Francisco. Para essas composições foram empregadas as seguintes combinações:

- 2000 e 2003: Landsat-7 banda 7 no canal vermelho e fotografia aérea no canal azul
- 2000 e 2008: Landsat-7 banda 7 no canal vermelho e CBERS-2B banda pancromática no canal azul
- 2003 e 2008: fotografia aérea no canal vermelho e CBERS-2B banda pancromática no canal azul.

Classificações supervisionadas

Neste estudo procedeu-se a classificação supervisionada MAXVER (Máxima Verossimilhança), método de classificação, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (INPE, 2007). Selecionou-se este tipo de classificador, uma vez que este é indicado nos trabalhos de Green et al. (1998) e Passos et al. (2007) para detecção de áreas de manguezal. Ademais neste tipo de classificação o operador

possui maior controle sobre a definição das classes durante o treinamento, trabalhando de forma interativa com o classificador.

Três classificações supervisionadas foram executadas empregando-se diferentes imagens de entrada. Na classificação 1 foram utilizadas as bandas originais da imagem CBERS como dados de entrada, na classificação 2 foram utilizadas os dados da composição colorida das imagens fusionadas CBERS e SPOT e na classificação 3 foram utilizadas as componentes 1 e 2 da imagem CBERS e sua banda 4 original.

Para as classificações efetuadas foram definidas um total de 6 classes, que receberam a seguinte nomenclatura final e definição, utilizando como base o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006) e informações de verdade de campo:

- *Manguezal*: áreas de vegetação natural, com formações arbóreas de bosques de mangue, incluindo a feição “lavado” (bancos de lama colonizado por gramíneas).
- *Apicum*: áreas de vegetação natural não-árborea, localizadas na transição ou região interna do manguezal, desprovida de cobertura vegetal ou abrigando uma vegetação herbácea, com sedimentos mais arenosos.
- *Formações pioneiras de influência marinha*: áreas de vegetação natural, arbóreas e não-árboreas, com formações de restingas (fitofisionomias existentes sobre depósitos arenosos costeiros, segundo Souza et al., 2008) e áreas abertas ou com pouca vegetação, como dunas e campos de areia, praias, ilha-barreira e zonas alagadas.

- *Aquicultura*: tanques ou viveiros de carcinocultura e piscicultura para o cultivo comercial de camarões e peixes, respectivamente, bem como áreas adjacentes desflorestadas.
- *Culturas de coco e arroz*: áreas antrópicas agrícolas, na forma de lavouras de coco e arroz.
- *Corpos d'água costeiros*: corpos de água salgada e salobras que recobrem os locais junto à costa, englobando a faixa costeira de praias e as águas abrigadas, como estuários, lagunas e canais.

Amostras de treinamento foram adquiridas para cada classificação efetuada. Posteriormente, procedeu-se a análise dessas amostras e aquelas com baixa confusão foram selecionadas para as classificações. Executou-se a pós-classificação com peso 2 e limiar 5.

Na etapa final, para cada classificação procedeu-se o mapeamento para modelo temático, ou seja, transformação da imagem classificada (modelo Imagem) para um mapa temático raster (modelo Temático). O desempenho médio e a confusão média para cada classificação foram determinados e plotados em gráfico. Matriz de classificação e o desempenho médio de cada classe, em cada classificação, também foram gerados e plotados em gráfico.

Processamento das fotografias aéreas

Após georreferenciamento (registro) das 13 fotografias aéreas, foi realizado mosaico das mesmas em um único plano de informação com o objetivo de se gerar uma única imagem com visão sinótica da área de estudo. Posteriormente

procede-se recortes nesse mosaico, selecionando-se áreas de interesse para análise visual (fotointerpretação) em maior escala.

Mapeamento do uso e cobertura da terra

Os dados de imagens de sensoriamento remoto são importantes fontes básicas para o mapeamento do tema uso da terra, embora por si mesmos sejam insuficientes para dar conta da realidade, requerendo a agregação de dados exógenos de naturezas diversas durante a interpretação dos padrões homogêneos de uso da terra (IBGE, 2006).

Dessa forma como dados exógenos para o apoio no mapeamento e nomenclatura das unidades de uso e cobertura da terra na área de estudo, foram utilizados, além da verdade de campo, diferentes materiais bibliográficos da região estudada (eg. MONTEIRO, 1962; ADEMA, 1984; MMA,1995; SANTOS, 1997, DIEGUES, 2002; CARVALHO, 2004; CUNHA, 2006; SEMENSATTO, 2006; ALVES et al., 2007; SEPLAN 2010), cartas geológicas da bacia Sergipe/Alagoas, em escala de 1:50.000 do ano de 1975 (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS, 1975) e uma carta topográfica de parte da área de estudo, em escala de 1:50.000 do ano de 1986 (IBGE, 1986). Esses dados exógenos juntamente com a consulta de fotografias aéreas do ano de 1971 (escala 1: 70.000) foram as ferramentas bases para descrição do processo histórico de uso da terra na área de estudo.

Para definição das categorias e unidades de uso e cobertura da terra, foi empregado como base o Manual Técnico de Uso da Terra, elaborado pelo IBGE (2006). Assim, com base nesse manual e das características da área de estudo foram definidas em quatro categorias de uso e cobertura da terra:

- **Categoria I - Áreas de vegetação natural:** corresponde as unidades de cobertura vegetal de manguezal, apicum e formações pioneiras de influência marinha.
- **Categoria II - Áreas antrópicas:** corresponde às unidades de uso do solo para aquicultura, culturas de coco e arroz. Também inclui os principais povoados da área de estudo.
- **Categoria III – Água:** corresponde a unidade de cobertura dos corpos d'água costeiros
- **Categoria IV- Vias de circulação:** Rodovia SE-202 e estradas sem pavimentação.

As seis unidades de uso e cobertura da terra: *manguezal, apicum, formações pioneiras de influência marinha, aquicultura, culturas de coco e arroz e corpos d'água costeiros* apresentam a mesma definição descrita para as classes das classificações supervisionadas.

Procedeu-se a edição vetorial (geração de polígonos) das unidades de uso e cobertura com base no melhor resultado de classificação (classificação 3), e na interpretação visual da composição colorida das imagens fusionadas CBERS-2B e SPOT-5 de 2008 e da imagem pancromática SPOT-5, em função da alta resolução desses materiais. Para fotointerpretação, seguiram-se os seguintes estágios, propostos por Anderson (1982): detecção, reconhecimento e identificação, análise, dedução e classificação visual. Os elementos de reconhecimento analisados na interpretação foram: tom/cor, textura, forma e localização (e.g. AVERY; BERLIN, 1992; FLORENZANO, 2002; DAHDUHGUEBAS et al., 2006). Em áreas com presença de nuvens, ou alvos que não

puderam ser identificados nas imagens citadas acima, a interpretação visual teve como base as fotografias aéreas de 2003. Também foi efetuada a edição vetorial das estradas (geração de linhas) e a criação de pontos indicando a localização dos principais povoados da área de estudo.

Após a edição vetorial do mapa gerou-se uma imagem temática por meio da qual se determinou a área das unidades de uso e cobertura da terra. Para apresentação final das áreas (em quilômetros quadrados e hectares) e cálculo da porcentagem das unidades de cobertura e uso da terra em relação à área total de estudo, exclui-se a margem alagoana do Rio São Francisco, uma vez que esta não integra a zona costeira de Sergipe.

Os mapas temáticos podem ser construídos levando em conta vários métodos, cada um mais apropriado às características e forma de manifestação (em pontos, em linhas, em áreas) dos fenômenos considerados em cada tema. As representações qualitativas em mapas são empregadas para mostrar a presença, localização e a extensão das ocorrências mapeadas (MARTINELLI, 2003), representando diferentes tipos de características ou categorias mapeadas, que não são ordenadas (BREWER, 2005).

No presente estudo foram aplicadas representações qualitativas para o mapeamento do uso e cobertura da terra. As categorias que contém as unidades de uso e cobertura da terra (manifestação zonal) foram representadas por diferentes cores: áreas de vegetação natural na cor verde, áreas antrópicas na cor vermelho e água na cor azul. Essas cores foram selecionadas com base nos esquemas de cores para mapas temáticos com representações qualitativas, descrito em Brewer (2005). Para a representação das unidades de uso e cobertura

da terra foi aplicado variações na saturação e brilho das cores de cada categoria, conforme apontado por Brewer (2005). Para representação das vias de circulação (manifestação linear) utilizou-se diferentes formas de linhas e para representação dos povoados (manifestação pontual) utilizou-se pontos.

Geração de cartas

No módulo SCARTA, com base nos diferentes layers gerados pelo processamento das imagens, fotos aéreas e edição vetorial, foram geradas cartas das composições coloridas e do mapa temático do uso e cobertura da terra, em escalas de 1: 95.000, 1: 20.000, 1: 14.500, 1: 14.000, 1: 10.000 e 1: 9.000. Para o mapa temático o arquivo gerado no SCARTA foi exportado no formato “eps” e posteriormente utilizou-se o software *CorelDraw* para edição final do mesmo.

Trabalhos de campo

No presente estudo os trabalhos de campo tiveram os seguintes objetivos: 1) reconhecer a área de estudo na escala local (*site*), 2) comprovar em escala local a veracidade do mapeamento realizado por meio do reconhecimento de campo (verdade de campo) de cada unidade de uso e cobertura da terra (*manguezal, apicum, formações pioneiras de influência marinha, aquicultura e culturas de coco e arroz*), 3) registrar características qualitativas da composição florística e da estrutura da vegetação de manguezal, 4) registrar características das áreas antrópicas ou alteradas e 5) obter registros fotográficos e coordenadas geográficas da área de estudo.

Estações de reconhecimento de campo foram previamente estabelecidas com base em fotos aéreas, imagens de satélite e mapa, as quais foram amostradas no trabalho de campo. A chegada às estações de campo previamente definidas foi executada tanto por meio aquático (estações localizadas nas proximidades dos canais naturais) como terrestre (estações localizadas próximas à estrada sem pavimentação).

Para a amostragem das estações, empregou-se como base métodos de amostragem que visam coletar dados qualitativos de forma expedita, como o levantamento rápido (SAYRE et al. 2000) e o método de “caminhamento” (FILGUEIRAS *et al.*, 1994). Dessa forma foi percorrida uma transversal de 50 m em cada estação, ao longo da qual os dados foram registrados numa tabela previamente elaborada (Anexo 1).

Nas estações localizadas ao longo dos canais naturais percorreu-se uma transversal de 50 m de comprimento perpendicular ao curso de água. Já nas estações localizadas próximas à estrada não pavimentada, a transversal foi percorrida paralelamente à estrada. Em região com vegetação fechada a transversal foi demarcada com auxílio de uma trena, em locais abertos seguiu-se os 50 m com base no mapa do GPS (Global Positioning System), marca Garmin, modelo eTrex Venture HC, o qual possui alta sensibilidade em áreas cobertas por árvores.

Ao longo dos 50 m de transversal foram registrados dados da composição e estrutura da vegetação de bosques de mangue, como: espécies vegetais típicas e associadas, porte da vegetação: porte baixo (altura das árvores até 7 m), porte médio (altura entre 7 e 15 m) e porte alto (altura acima de 15 m), presença de

indivíduos jovens e/ou adultos; e verificação de presença de clareiras, plântulas e impacto ou alteração antrópica. Para as demais unidades de uso e cobertura foram registradas características gerais como: unidades presentes, hábito da vegetação (herbácea, arbustiva, arbórea), alteração/tipo de atividade humana e coloração/tipo de sedimento.

Coordenadas geográficas ao longo da transversal percorrida em cada estação e foram registradas por meio do aparelho de GPS. Depois de realizados os trabalhos de campo os dados registrados no GPS foram transferidos para o programa *MapSource* e depois importados no SPRING, sendo possível a visualização dos trajetos percorridos. As informações registradas em campo foram tabuladas e analisadas juntamente com os resultados de fotointerpretação e mapeamento temático.

RESULTADOS

Sensoriamento remoto

Registro

Os dados dos registros (via tela), bem como o erro em *pixel* e o erro equivalente no terreno, para as imagens de satélite e fotografias aéreas encontram-se resumidos na tabela III.

Os erros obtidos no registro das imagens de satélite (Tabela III) foram bastante satisfatórios, uma vez que todos os valores encontram-se abaixo de três *pixels*, gerando erros no terreno que são considerados insignificantes. De acordo com INPE (2007), em áreas de floresta, pode-se aceitar um erro de até três *pixels*, para uma resolução de 30 m, pela dificuldade de se conseguir bons pontos de controle. Para as imagens de satélites foi possível obter bons pontos de controle, bem distribuídos na imagem, por meio da seleção de pontos de cruzamento entre estradas e áreas com tanque de aquicultura.

Já o registro das fotografias aéreas foi extremamente difícil, dado que as fotos abrangem regiões bem menores que as imagens de satélite, com escassez de bons pontos de controle, como as feições geradas pelo uso humano e áreas urbanizadas. Assim durante o registro, apesar de se aplicar um bom número de pontos de controle, estes não foram bem distribuídos na imagem. Devido a essas dificuldades, o resultado final para o mosaico das 13 fotografias aéreas não foi satisfatório, pois apresentou algumas regiões com descontinuidades entre as fotos, apesar do baixo erro observado no registro (Tabela III). Dessa forma procedeu-se o recorte de áreas de interesse no mosaico que não apresentaram descontinuidades e quando necessário

realizou-se novamente a importação de uma única foto que contém a região de interesse.

Composições coloridas, transformações e análise por componentes principais

As figuras 4 a 9 ilustram as diferentes imagens processadas e composições coloridas geradas no presente estudo. A figura 4 corresponde à composição colorida R(B7)G(B4)B(B2) da imagem ETM+/Landsat-7, relativa ao ano de 2000. Essa imagem possui resolução espacial de 15 m, o que permite razoável interpretação visual em escalas maiores. Nessa composição, observa-se que áreas destacadas em verde correspondem às feições da cobertura da terra com presença de vegetação, ou uso do solo com plantios, pois esse alvo exibe maior reflectância na banda do infravermelho próximo (B4), a qual está disposta na cor verde. Manguezais são identificados nessa imagem por sua cor verde escura e distribuição (localização) ao longo dos canais fluviais e de maré, e linha de costa próxima à foz.

Áreas destacadas em magenta correspondem a regiões com presença de solo arenoso, como cordões arenosos e dunas, ou áreas com alteração ou solo exposto, em função da alta reflectância desses alvos na banda do infravermelho médio (B7), que está disposta em vermelho. A linha de costa destaca-se em branco.

Áreas com presença de água: mar, estuário, canais e tanques de aquicultura em atividade, destacam-se em matizes variando de azul a preto. Observa-se presença de nuvens, destacadas em branco, na porção oeste da imagem, o que dificulta a interpretação nessa região.

A figura 5 corresponde à imagem HRG2/SPOT-5, na banda pancromática e com resolução espacial de 2,5 m, o que permite excelente interpretação visual em escalas maiores. Entretanto a banda pancromática permite apenas a interpretação em tons de cinza, semelhante à fotointerpretação de fotografias preto e branco. Foi aplicado um aumento de contraste nessa imagem o que resultou em melhoramento da sua qualidade visual, entretanto ao se gerar a carta no módulo Scarta do programa SPRING, essa imagem não apresentava o contraste aplicado.

Na imagem HRG2/SPOT-5 (Figura 5), observa-se que áreas com tonalidade em cinza médio a escuro correspondem às feições da vegetação. Manguezais destacam-se em tons mais escuros ao longo dos canais fluviais de maré. Áreas destacadas em tons de cinza claro e em branco correspondem a regiões com presença de solo arenoso, como cordões arenosos e dunas, ou áreas com alteração ou solo exposto, uma vez que esses alvos refletem muita energia. Água destaca-se em tons de cinza claro. Tanques de aquicultura se destacam em tons de cinza claro entre a vegetação de manguezal, apresentando forma de polígonos regulares, característica de alterações de origem antrópica. A presença de nuvens na porção nordeste da imagem, na altura do Canal Parapuça dificultou a análise visual dessa região.

A figura 6 corresponde à composição colorida R(B4)G(B3)B(B2) da imagem CCD1/ CBERS-2B, do ano de 2008. Essa imagem possui resolução espacial de 20 m, o que possibilita razoável interpretação visual em escalas maiores. Nessa composição, observa-se que áreas destacadas em matizes de vermelho correspondem às unidades da cobertura da terra com presença de vegetação, seja natural ou uso agrícola, uma vez que esse alvo exibe maior

reflectância na banda do infravermelho (B4), disposta em vermelho. Manguezais são identificados nessa imagem por sua cor vermelho escura e distribuição ao longo dos canais fluviais e de maré, destacados em preto e junto à linha de costa próxima à foz.

Áreas destacadas em branco correspondem a regiões com presença de solo arenoso, como cordões arenosos, dunas e linha de costa. Áreas com presença de água: mar, estuário, e canais destacam-se em matizes variando de preto a cinza escuro. Tanques de aquicultura estão destacados em cinza escuro, devido à presença da água nesse alvo, possuindo forma regular de polígonos, entre a vegetação de manguezal, em vermelho escuro (Figura 6).

A figura 7 corresponde à composição colorida R(PC1)G(PC2)B(PC3), originada pela análise por componentes principais da imagem CCD1/ CBERS-2B, do ano de 2008. Nessa composição, observa-se que áreas destacadas em matizes de lilás correspondem às unidades da cobertura da terra com presença de vegetação, seja natural ou cultivado. Manguezais são identificados nessa imagem apresentando cor lilás médio a escuro e distribuição ao longo dos canais fluviais e de maré, destacados em matizes de verde claro, e junto à linha de costa próxima à foz.

Áreas destacadas em branco e amarelo correspondem a regiões com presença de solo arenoso, como cordões arenosos, dunas e linha de costa. Áreas com presença de água, como mar e estuário destacam-se em matizes de azul claro, já os canais de maré e lagunar e tanques de aquicultura destacam-se em matizes de verde claro entre a vegetação de mangue, em lilás escuro (Figura 7).

A figura 8 corresponde à composição colorida R(PC1)G(PC2)B(PC3), originada pela análise por componentes principais das imagens fusionadas CCD1/ CBERS-2B e HRG2/SPOT-5, do ano de 2008. Nessa composição, observa-se que áreas destacadas em matizes de verde correspondem às unidades da cobertura da terra com presença de vegetação, seja natural ou uso agrícola. Manguezais são identificados nessa imagem apresentando cor verde escuro e distribuição ao longo dos canais fluviais e de maré, destacados em matizes lilás e junto à linha de costa próxima à foz.

Áreas destacadas em amarelo correspondem a regiões com presença de solo arenoso, como cordões arenosos, dunas e linha de costa. Áreas com presença de água, como mar, estuário, canais de maré e lagunar e tanques de aquicultura destacam-se em matizes de lilás a magenta (Figura 8).

A figura 9 corresponde à composição colorida R(PC2)G(IHS-G)B(IHS-R) originada da transformação IHS-RGB e fusão das imagens CCD1/ CBERS-2B e HRG2/SPOT-5 e a análise por componentes principais das imagens fusionadas. As duas imagens (CBERS-2B e SPOT-5) possuem a mesma data de aquisição (Tabela I), auxiliando na obtenção de um melhor resultado por meio dessas técnicas, pois não há interferência de alterações temporais. Dessa forma foi gerada uma nova imagem com alta resolução espacial, 2,5 m e alto contraste, aumentando o poder de extração de informações por meio da análise visual.

Nessa composição (Figura 9), observa-se que áreas destacadas em matizes de marrom-avermelhado correspondem às unidades da cobertura da terra com presença de vegetação, seja natural ou cultivos. Manguezais são identificados nessa imagem por sua cor marrom-avermelhado escuro e

distribuição ao longo dos canais fluviais e de maré, destacados azul, e junto à linha de costa próxima à foz.

Áreas destacadas em branco correspondem a regiões com presença de solo arenoso, como cordões arenosos, dunas e linha de costa. Áreas com presença de água: mar, estuário, e canais aparecem em matizes de azul. Tanques de aquicultura estão destacados também em azul, devido à presença da água nesse alvo, possuindo forma regular de polígonos, entre a vegetação de manguezal, em marrom-avermelhado escuro. A presença de nuvens na porção nordeste da imagem, na altura do Canal Parapuca dificultou a análise visual dessa região (Figura 9).

Classificações supervisionadas

A figura 10 ilustra as imagens classificadas obtidas em cada classificação realizada. As figuras 11 e 12 representam os gráficos com o desempenho médio e confusão média obtidos em cada classificação (Figura 11) e para cada classe (Figura 12). O desempenho médio de uma classificação ou classe representa a porcentagem de *pixels* classificados corretamente, enquanto que a confusão média representa a porcentagem de *pixels* classificados erroneamente em outra classe, os quais são calculados pelo software com base nas amostras selecionadas para a classificação.

Por meio da análise da figura 11, observa-se que o pior resultado corresponde à classificação 1, a qual exibiu menor desempenho médio (83,57%) e maior confusão média (16,43%). A comparação entre os resultados da classificação 1, com as classificações 2 e 3, permite concluir que a utilização de imagens derivadas da transformação IHS e análise de PC, como

dados de entrada para a classificação, aumentou o desempenho médio de 83,57% (classificação 1) para 91,77% (classificação 2) e 96,59% (classificação 3), bem como reduziu a confusão média de 16,43% (classificação 1) para 8,13% (classificação 2) e 3,41% (classificação 3). O melhor resultado foi obtido para classificação 3, a qual exibiu maior desempenho médio (96,59%) e menor confusão média (3,41%).

A figura 12 representa o gráfico com o desempenho médio obtido para cada classe em cada classificação. A classe *manguezal*, representada em verde (Figura 10), exibiu elevado desempenho médio (>90%, Figura 12), sendo assim bem detectada em todas as classificações (Figura 10).

A classe *aquicultura* destaca-se em vermelho, com forma regular, entre a classe *manguezal* (Figura 10). Embora essa classe tenha apresentado elevado desempenho médio em todas as classificações (>87%) (Figura 12), observa-se que áreas de canais fluviais e de maré e outras regiões da imagem, com presença de água, como lagoas entre cordões arenosos e dunas (classe *formações pioneiras de influência marinha*) foram erroneamente classificadas como *aquicultura* (Figura 10). Esse tipo de confusão entre esses alvos indica semelhança entre a assinatura espectral dos mesmos, devido à presença de água sem circulação, com sedimentos em suspensão.

A classe *formações pioneiras de influência marinha*, representada em bege (Figura 10), apresentou elevado desempenho médio nas classificações 2 (94%) e 3 (88%) e menor valor para a classificação 1 (70%) (Figura 12). Observa-se nos mapas categóricos (Figura 10) que o melhor resultado obtido para o mapeamento dessa classe foi para classificação 3.

A classe *apicum*, representada em lilás (Figura 10), apresentou grande variação de desempenho médio entre as classificações (92% a 55%, Figura 12). Apesar do alto valor de desempenho médio para essa classe na classificação 1, observou-se que várias áreas foram classificadas erroneamente como *apicum*. A variabilidade observada pela classe *apicum*, bem como o erro nas classificações pode estar associado ao fato da baixa aquisição de amostras para essa classe uma vez que esta ocupa pequena área, bem como pela semelhança espectral entre o solo de natureza arenosa presente nas formações pioneiras de influência marinha e da presença de sedimento mais arenoso no *apicum*.

A classe *corpos d'água costeiros*, destacada em azul, (Figura 10) apresentou elevado desempenho médio em todas as classificações (>95%), o que deve está associado ao comportamento espectral homogêneo apresentado pela água do mar.

A classe *culturas de coco e arroz*, representada em marrom (Figuras 10), apresentou grande variação de desempenho médio entre as classificações (32% a 77%, Figura 12), bem como o menor de desempenho médio (32%). Essa variabilidade e reduzidos valores de desempenho médio pode estar relacionada à semelhança espectral entre o solo alterado e/ou exposto das culturas de coco e arroz com o sedimento exposto do *apicum*, sedimento das formações pioneiras de influência marinha e solo alterado na aquicultura.

Unidades de uso e cobertura da terra do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco: identificação, espacialização e quantificação (níveis *setting* e *stand*)

A figura 13 representa o mapa temático do uso e cobertura da terra gerado para zona costeira do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, Litoral Norte de Sergipe, ano de 2008. Por meio desse mapa (Figura 13) e da tabela IV, observa-se que cerca de 93% (178,79 km²) da zona costeira em estudo é ocupada por áreas de vegetação natural, como as unidades de cobertura *manguezal*, *apicum* e *formações pioneiras de influência marinha*; enquanto que cerca de 7% (13,56 km²) dessa zona costeira é ocupada por áreas antrópicas, como as unidades de uso da terra para *aquicultura* e *culturas de coco e arroz*.

Neste mapa (nível *Setting*, escala da paisagem), (Figura 13), áreas ocupadas pela unidade *manguezal* ocorrem ao longo de uma laguna e canais naturais que partem da foz do Rio São Francisco e distribuem-se e paralelamente à linha de costa em direção sudoeste. Esta unidade de cobertura vegetal apresentou área total de aproximadamente 30 km², cerca de 16% da zona costeira analisada (Tabela IV). Uma estreita linha de costa, incluída na unidade *formações pioneiras de influência marinha*, protege as áreas de manguezal do embate direto das ondas. Integrando a linha de costa ocorre uma ilha-barreira que forma a margem insular do Canal do Poço e o separa do oceano. A comunicação do Canal do Poço com o oceano ocorre através de uma barra (*inlet*), denominada Boca do Poço, localizada no extremo sudoeste da região de estudo (Figura 13).

Pequenas e esparsas manchas da unidade de cobertura vegetal *apicum*, com área total de 1,39 Km², 0,72% da área de estudo (Tabela IV), ocorrem entre áreas de manguezais e de formações pioneiras de influência marinha (Figura 13). Na região mais interna (noroeste) da área de estudo, observa-se a dominância da unidade de cobertura vegetal *formações pioneiras de influência marinha* (Figura 13), com área total de aproximadamente 175 km², que corresponde a cerca de 77% da zona costeira do sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco (Tabela IV).

As áreas antrópicas na área de estudo ocorrem entre as áreas de vegetação natural e corpos d'água costeiros, na forma de aquicultura e culturas de coco e arroz, bem como estradas e pequenos povoados. A unidade de uso antrópico *aquicultura*, ocorre na região sudoeste, entre áreas de manguezal do Canal do Poço e do Carapitanga, com área total de aproximadamente 4,6 km², cerca de 2,4% da área de estudo (Tabela IV). A unidade *culturas de coco e arroz* ocorre na região norte/nordeste, entre áreas de manguezal do Canal do Parapuça e foz do Rio São Francisco, e entre áreas de formações pioneiras de influência marinha ao longo do Rio Paraúna, ocupando área total de 9 km², cerca de 4,7% da área de estudo (Tabela IV). Pequenos povoados ocorrem próximos às estradas sem pavimentação, em áreas de formações pioneiras de influência marinha mais abertas, como cordões arenosos e restinga herbácea e arbustiva (Figura 13).

A interpretação visual de imagens de sensoriamento remoto em grande escala permitiu a caracterização no nível *stand* (escala da unidade de paisagem) de cada unidade que configura o uso e cobertura da terra no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco. Dessa forma, procedeu-se

interpretação visual de determinadas áreas do mapa (Figura 14), fazendo uso da composição colorida das imagens fusionadas CBERS-2B e SPOT-5 e fotografias aéreas de 2003, em função da alta resolução espacial exibida pelas mesmas.

A unidade *formações pioneiras de influência marinha* é composta por diferentes feições distribuídas por toda a área de estudo. As formações pioneiras de influência marinha localizadas ao norte das áreas de manguezal (Figura 13) constituem um mosaico das feições de dunas, cordões arenosos, zonas alagadas e vegetação de restinga. Na região ao sul dos manguezais, a unidade *formações pioneiras de influência marinha* ocorre na forma de ilha-barreira, praia-barreira (formando a linha de costa) e restinga na região da foz. As figuras 15A e 15B representam áreas dessa unidade, em maior escala.

As formações pioneiras de influência marinha com presença de solo arenoso exposto, como dunas e cordões arenosos, apresentam cor bege clara na fotografia aérea (Figura 15A), cor branca na composição colorida (Figura 15B) e textura fina em ambas as imagens. As feições com presença de vegetação de restingas destacam-se por apresentar textura geralmente mais grosseira em relação às feições sem vegetação; e por apresentar cor entre cinza e verde (Figura 15A) e marrom-avermelhado (Figura 15B).

Áreas com presença de vegetação de restinga arbórea apresentam textura grosseira, enquanto que a vegetação de restinga herbácea apresenta textura fina. Áreas com zonas alagadas e lagoas são visualizadas de forma mais eficaz na composição colorida (Figura 15B), apresentando forma variando de elíptica à oval e cor azul escuro, localizadas na parte superior da imagem.

A unidade *manguezal* ocorre em forma de extensas manchas ao longo da intrincada rede de canais fluviais e de maré paralelos à linha da costa (Figura 13), bem como em manchas menores entre áreas antrópicas destinadas para aquicultura (Figuras 16A, 16B, 16C) e culturas de coco e arroz (Figuras 17A, 17B e 17C). Esses tipos de uso da terra correspondem a aproximadamente 26% da área do total de manguezal da zona costeira do sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco (Tabela V).

Manguezais foram distinguidos das demais unidades de áreas vegetais por estarem dispostos em matizes de cores mais escuras, bem como por apresentarem padrão de textura médio a grosseiro, dado ao arranjo espacial uniforme das copas das árvores, geralmente sem espaçamentos. Dessa forma, distinguiu-se a vegetação de manguezal da vegetação de restinga, pois esta última apresenta solo arenoso exposto, gerando cores mais claras. Ademais a vegetação de restinga arbórea apresenta textura grosseira, dado ao arranjo espaçado das copas das árvores (Figuras 18A, 18B e 18C).

A unidade *apicum* ocorre na forma de pequenas manchas entre a vegetação de manguezal (Figura 13) e diferencia-se por apresentar sedimento exposto (Figuras 19A, 19B e 19C), com cor marrom claro (Figura 19A) e marrom-avermelhado claro (Figura 19B) geralmente com presença de cordões arenosos nas adjacências.

A unidade de uso antrópico *aquicultura* encontra-se distribuída na forma de manchas de polígonos regulares entre manchas de manguezal, concentrando-se na longitude do povoado Garatuba (Figura 13). Apesar da unidade *aquicultura* representar cerca de 2,4% (Tabela IV) da área de estudo, salienta-se que esse uso antrópico ocupa cerca de 15% da área total de

manguezal (Tabela V). Por meio da análise das figuras 16A, 16B, 16C, constata-se que esse tipo de uso da terra implica na introdução de tanques de cultivo sobre e entre áreas de manguezal, geralmente em contato com os canais de maré. Tanques de aquicultura além de serem identificados por sua forma uniforme, também apresentam cor marrom (Figuras 16A), e azul (Figuras 16B), semelhante à cor da água dos canais naturais.

Áreas antrópicas da unidade *culturas de coco e arroz* ocorrem na forma de manchas de polígonos regulares, localizando-se ao longo Rio Paraúna, com o uso do solo para rizicultura, e na região do Canal Parapuça e proximidades da foz do Rio São Francisco, com o uso do solo para plantios de coco e arroz, entremeados à vegetação de manguezal (Figura 13). Dos 9 Km² de área total ocupada por culturas de coco e arroz (Tabela IV), aproximadamente 3,16 Km² ocorrem entre manguezais, correspondendo a cerca de 10% da área total de manguezal (Tabela V).

Por meio da análise das figuras 17A, 17B e 17C, constata-se que esse tipo de uso da terra implica na introdução dos plantios sobre e entre áreas de manguezal. Manchas de *culturas de coco e arroz*, além de serem identificados por sua aparência uniforme, também apresentam áreas com solo alterado e/ou expostos nas adjacências. A tabela VI sintetiza os resultados obtidos por meio de análise visual das unidades de uso e cobertura da terra da zona costeira do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco.

Reconhecimento de campo do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (nível *site*)

Um total de treze estações de reconhecimento de campo (Figura 20, Tabela VII) foi amostrado em trabalhos de campo realizados nos dias 18/04/2009, 19/04/2009 e 31/05/2009. Os dados registrados em cada estação são apresentados a seguir para cada região da área de estudo. Primeiramente são apresentados os dados registrados nas estações localizadas ao longo dos cursos d'água da região sudoeste e norte/nordeste (estações E1 a E11, Figura 20, Tabela VII). Depois são apresentadas as informações coletadas nas estações localizadas ao longo de parte da estrada não pavimentada, localizada na região sudoeste da área de estudo (estações E12 e E13, Figura 20, Tabela VII).

Reconhecimento de campo da região sudoeste: Canais do Poço e do Carapitanga

Para o reconhecimento de campo das unidades de uso e cobertura da terra localizadas ao longo dos canais do Poço e do Carapitanga, região sudoeste da área de estudo (Figuras 20, 21), foram amostradas sete estações de reconhecimento ao longo desses canais e de seus riachos tributários (estações E1 a E7, Figura 21, Tabela VII).

O Canal do Poço localiza-se no extremo sudoeste da área de estudo e trata-se de um ambiente lagunar (Figuras 21, 22). A margem continental (voltada para o continente) desse canal é colonizada por bosques de mangue (Figura 23) com ocorrência de manchas de cordões arenosos. A margem insular (voltada para o oceano) do Canal do Poço forma uma ilha barreira

(Figura 24), a qual separa o continente do oceano, com ocorrência de vegetação de restinga herbácea, com alguns arbustos espaçados de *Pterogyne nitens* Tul. (amendoim-bravo) e poucos indivíduos de *Anacardium occidentale* L. (cajuero) (Figura 25) e de *Cocos nucifera* L. (coqueiro). Na região da Boca do Poço (Figuras 21, 26), área que se trata de uma barra (*inlet*), onde parte da ilha barreira (margem insular do Canal do Poço) é interrompida e se comunica direto com o oceano, ocorrem cordões arenosos e manchas de bosques de mangue (Figuras 26, 27). Nas proximidades da Boca do Poço ocorre forte influência das águas do oceano, com entrada de pequenas ondas no canal (Figura 27).

A estação de reconhecimento 1 (E1) localiza-se na margem continental do Canal do Poço (Figuras 21), no Porto de Ponta dos Mangues (Figura 22). A transversal percorrida nessa estação inicia-se com faixa de areia na margem do Canal do Poço, seguida por cordões arenosos apresentando vegetação de restinga herbácea, *C. nucifera* e cabanas de pescadores. Finalizando ocorrem pequenas manchas de vegetação com indivíduos de mangue (Figura 28) da espécie típica *Laguncularia racemosa* e associada *Conocarpus erectus*, apresentando baixo porte, com altura em torno de 2 m e sinais de herbivoria. O solo é predominantemente arenoso. Presença de lixo foi constatada em vários pontos da transversal (Figura 29).

A Poça do Luizinho, local de amostragem da estação de reconhecimento 2 (E2), está localizada na margem continental do Canal do Poço (Figuras 21, 30). A transversal percorrida na estação de reconhecimento 2, inicia-se com uma franja de mangue, com aproximadamente 10 m de comprimento. Esta franja apresenta vegetação porte baixo, altura em torno de 2 m (Figura 31) com

ocorrência das espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* e *L. racemosa*. Seguindo, ocorre uma faixa de cordões arenosos, com aproximadamente 50 m, apresentando indivíduos de *C. nucifera* espaçados entre vegetação herbácea de restinga. Após a faixa de cordões arenosos, ocorre um bosque de mangue de *C. erectus* (Figura 32). Segundo Santos (informação pessoal)⁵ este bosque é seguido por bosques com ocorrência de *R. mangle*, *A. schaueriana* e *L. racemosa*, com maior porte (altura < 7 m), os quais se desenvolvem até o Riacho do Mosquito (Figura 21). O solo é lamoso e escuro na faixa ocupada pela franja de mangue e predominantemente arenoso nos cordões arenosos e no bosque de *C. erectus*.

A estação de reconhecimento 3 (E3) (Figura 21) localiza-se no Riacho do Mosquito, tributário do Canal do Poço, situado em sua margem continental. As regiões mais internas da margem continental do Canal do Poço, onde se localizam seus riachos tributários, apresentam extensos bosques de mangue (Figura 33), bem como amplos empreendimentos de aquicultura, como os que ocorrem na Ilha da Jibóia (Figuras 21, 34).

Segundo informações fornecidas por Santos (informação pessoal)⁶ a área amostrada na E3 já foi ocupada por tanque de piscicultura, porém este foi desativado a cerca de 15 anos, em 1994. Dessa forma, a vegetação de mangue recolonizou esta área originando atualmente, em 2009, bosques de

⁵ Rafael dos Santos. Morador e agente local do Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues, Pacatuba, Sergipe. Guia e barqueiro do trabalho de campo. Informação fornecida em 18/04/2009.

⁶ Rafael dos Santos. Morador e agente local do Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues, Pacatuba, Sergipe. Guia e barqueiro do trabalho de campo. Informação fornecida em 18/04/2009.

mangue (Figura 35) de baixo porte (altura < 7 m). Como prova que a área já foi ocupada por tanque de piscicultura, ocorre um dique de terra construído para represar a água do viveiro, atualmente colonizado por gramíneas e que contorna a vegetação de mangue (Figura 36).

Na transversal percorrida na E3 ocorrem bosques de mangue de baixo porte (altura < 7 m) com presença de indivíduos adultos, jovens (Figura 37 A) das espécies *R. mangle*, *A. schaueriana* e clareira entre indivíduos adultos (Figura 37 B) apresentando plântulas, jovens e sedimento exposto. O solo é predominantemente lamoso e escuro. Constatou-se a presença de troncos retirados das árvores de mangue (Figura 38), que segundo Rafael dos Santos⁵ é utilizado pelos pescadores locais para construção de barco, porém não foi constatada presença de área desmatada.

A estação de reconhecimento 4 (E4) localiza-se em um bosque de mangue situado entre as carcinoculturas da Ilha da Jibóia (Figura 21), margem continental do Canal do Poço. Na Ilha da Jibóia a vegetação de mangue exibe médio porte (altura de 7 m a 15 m) (Figura 39), bem como ocorre entre vários viveiros de carcinocultura (Figura 34). Na transversal percorrida ocorrem bosques de mangue nos primeiros 40 m (Figura 40), e uma pequena mancha de apicum ocupando os restantes 10 m da transversal (Figura 41). Os bosques apresentam médio porte (altura de 7 m a 15 m) e indivíduos adultos de *R. mangle* (Figura 40), *A. schaueriana* e *L. racemosa*, ocorrendo em solo lamoso. O apicum apresenta solo arenoso coberto pela gramínea *Spartina sp.* (praturá), e com presença de arbustos de *C. erectus* e jovens de *L. racemosa* e *R. mangle*.

A região que compreende desde a Ilha da Jibóia até o final do Canal Carapitanga (Figuras 20, 21) corresponde ao local com maior concentração de empreendimentos de carcinocultura da zona costeira estudada, onde a vegetação de mangue exibe médio porte (altura de 7 m a 15 m). Os viveiros geralmente localizam-se após uma franja de mangue, sendo que em algumas áreas é possível visualizar os diques junto às margens do curso de água (Figura 34).

O Canal do Carapitanga está localizado na região sudoeste da área de estudo, conectando-se ao Canal do Parapuca, este último localizado na região norte/nordeste (Figura 20).

A estação de reconhecimento 5 (E5), localiza-se na margem continental do Canal do Carapitanga, onde está situado um dos maiores empreendimentos de carcinocultura da região (Figura 21). Segundo Santos (informação pessoal)⁷, este empreendimento é denominado “viveiro do Lobato”, o qual era anteriormente destinado ao cultivo de peixes como tainha, carimã e robalo, mas foi substituído pelo cultivo do camarão exótico *L. vanamei*, uma tendência que vem ocorrendo nas atividades de aquicultura desenvolvidas na área de estudo. Este empreendimento é limitado nas laterais por extensos bosques de mangue de médio porte (altura de 7 m a 15 m) e ao fundo por manchas de cordões arenosos com *C. nucifera* e bosques de mangue (Figura 42).

A transversal da E5 inicia-se com uma pequena franja de mangue formada por indivíduos de baixo porte (altura < 7 m) de *R. mangle*, além das

⁷ Rafael dos Santos. Morador e agente local do Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues, Pacatuba, Sergipe. Guia e barqueiro do trabalho de campo. Informação fornecida em 18/04/2009.

espécies associadas *C. erectus* e da gramínea *Spartina sp.* (praturá). Seguindo, ocorrem áreas com solo alterado antecedendo os diques de terra que formam os tanques de cultivo. O solo alterado apresenta cor clara de textura arenosa nas proximidades da margem do canal, sendo colonizado por gramíneas como *Spartina sp.* (praturá), ciperáceas como o *Scirpus sp.* (tiririca) (Figura 43) e alguns indivíduos de *C. nucifera*. Nas áreas mais internas o solo alterado apresenta cor escura e textura lamosa, com presença de gramíneas, ciperáceas e algumas plântulas de mangue.

Ao longo do Canal do Carapitanga, cerca de 7 km, ocorrem viveiros de camarão em ambas as margens (Figura 21), dispersos espaçadamente entre manchas maiores de manguezais de elevado porte (altura > 15 m) (Figura 44) e diretamente nas margens do canal (Figura 45). No canal do Carapitanga ocorrem os bosques de maior porte e desenvolvimento estrutural observados na área de estudo, com árvores de *R. mangle* apresentando altura acima de 15 m (Figura 46). Nas margens do Canal do Carapitanga também ocorrem, entre bosques de mangue, áreas de cordões arenosos com presença de *C. nucifera*, onde se localiza o pequeno porto do Povoado Carapitanga (Figura 47).

As margens do Canal do Carapitanga, em locais mais próximos de seu encontro com o Canal do Parapuca (Figura 20), apresentam áreas com presença de ciperáceas, como *Eleocharis sp.* (junco) (Figura 48). Áreas com viveiros de aquicultura localizados nessa região também apresentam *Eleocharis sp.* (junco) em seu entorno.

A estação de reconhecimento 6 (E6) localiza-se em um empreendimento de carcinocultura na margem insular do Canal Carapitanga (Figura 21). A área apresenta gramíneas e ciperáceas, como *Eleocharis sp.* (junco) e *Scirpus sp.*

(tiririca) (Figura 49). Um extenso bosque de mangue com indivíduos de *R. mangle* e elevado porte (altura > 15 m) limita a oeste a carcinocultura (Figura 50). Conforme Santos (informação pessoal)⁸, este empreendimento anteriormente desenvolvia atividades de piscicultura, atualmente substituída pela carcinocultura.

A estação de reconhecimento 7 (E7) localiza-se em um bosque de mangue na margem insular do Canal do Carapitanga (Figura 21). A área apresenta extensos bosques de mangue de alto porte (altura > 15 m). Esta estação apresenta, dentre as áreas amostradas, os bosques de mangue de maior desenvolvimento estrutural e porte, com indivíduos de *R. mangle* que apresentam aproximadamente entre 20 a 25 m de altura (Figuras 51, 52).

Ao longo de toda transversal na E7 ocorrem muitos indivíduos adultos de *R. mangle*, e plântulas da mesma espécie colonizando o sedimento entre as raízes das árvores adultas. Presença árvores mortas (Figura 52) e clareiras entre as copas das árvores (Figura 53), também foram constatadas. O sedimento é predominantemente escuro e lamoso.

Integrando o setor sudoeste da área de estudo também ocorre o Riacho do Funil, curso d'água localizado paralelamente entre o Canal Carapitanga e a linha a costa (Figuras 20, 21) e que liga o canal do Poço ao Canal do Parapuça. O Riacho do Funil apresenta poucos viveiros de camarão, algumas áreas de cordões arenosos com coqueiros, sendo suas margens predominantemente colonizadas por bosques de mangue bosques de mangue

⁸ Rafael do Santos. Morador e agente local do Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues, Pacatuba, Sergipe. Guia e barqueiro do trabalho de campo. Informação fornecida em 18/04/2009.

de médio (altura de 7m a 15 m) a alto porte (altura > 15 m) (Figura 54), que se desenvolvem desde a margem insular do Canal Carapitanga até as proximidades da linha de costa. Na região mais próxima do Canal do Parapuca, as margens do Riacho do Funil apresentam gramíneas, ciperáceas e indivíduos de *Acrostichum aureum* L. (samambaia do mangue) (Figura 55).

Reconhecimento de campo da região norte/nordeste: Costinha e Canal do Parapuca

Para o reconhecimento das unidades da região *norte/nordeste* da área de estudo (Figuras 20, 56) quatro estações de reconhecimento localizadas desde a Costinha até o encontro do Canal Parapuca e o Rio São Francisco foram amostradas (E8 a E11, Figura 56, Tabela VII).

A estação de reconhecimento 8 (E8) localiza-se em uma praia barreira denominada Costinha (Figura 56). A área amostrada faz parte da linha de costa (Figura 57) e apresenta faixa de areia, com aproximadamente 90 m de largura, a qual barra diretamente a entrada das águas do oceano no encontro dos canais (Figura 58). A faixa de areia é formada por cordões arenosos com pouca e esparsa vegetação herbácea (Figura 57B), e limitada a leste e oeste por manguezais (Figuras 58, 59). Os manguezais que limitam a área exibem sinais de erosão nos bosques localizados na região de contato com a linha de costa, apresentando árvores de mangue secas e mortas (Figura 60). Segundo Santos (informação pessoal)⁹, as marés mais elevadas, em torno de 2,2 m a

⁹ Rafael do Santos. Morador e agente local do Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues, Pacatuba, Sergipe. Guia e barqueiro do trabalho de campo. Informação fornecida em 19/04/2009.

2,4 m, inundam parte desta área, estabelecendo contato direto entre o mar e o canal. Conforme o mesmo, a Boca do Poço teve origem nesta área da Costinha, porém ao longo dos anos vem migrando na direção sudoeste, estando atualmente (2009) localizada no extremo sudoeste da área de estudo (Figura 20).

O Canal do Parapuça está localizado no extremo nordeste da área de estudo, conectando-se com a região da Foz do Rio São Francisco (Figura 56). As margens do Canal do Parapuça apresentam bosques de mangue com alta ocorrência de *A. aurem* (samambaia do mangue) entre indivíduos de *R. mangle* (Figura 61). Cabanas de pescadores ocorrem nas margens do Canal do Parapuça, bem como algumas fazendas de plantação de coco (Figura 62), onde também ocorrem indivíduos de *A. aurem* (Figura 63). Nas proximidades de uma destas fazendas, Fazenda Mangabeira, foram constatados tanques de petróleo e/ou gás da Petrobrás (Figura 64).

A estação de reconhecimento 9 (E9) localiza-se na margem continental do Canal Parapuça, entre o riacho da Maria Rosa e o riacho do Alípio (Figura 56). A área amostrada apresenta esparsos indivíduos de mangue da espécie *L. racemosa*, apresentando baixo porte, seguida por gramíneas e ciperáceas, principalmente *Eleocharis sp.* (junco) e *Scirpus sp.* (tiririca) entre vários indivíduos de *A. aurem* e *C. nucifera* (coqueiro). Limitando a área ao fundo ocorrem manguezais (Figura 65). Também foi constatada a ocorrência de indivíduos de *Annona glabra* L. 1753 (araticum, araticum-do-brejo) e *Montrichardia arborecens* L. 1753 (aninga) os quais são predominantemente encontrados em água doce. O sedimento na área amostrada é lamoso e escuro.

A estação de reconhecimento 10 (E10) localiza-se na margem insular do Canal Parapuça, em frente à E9. Os primeiros 40 m da transversal apresenta vegetação de mangue de baixo porte com ocorrência das espécies *Av. germinans* (Figura 66) e *L. racemosa* e entre muitos indivíduos de *Eleocharis sp.* (junco) e de *A. aurem* (Figura 67). A partir de 40m ocorrem bosques de mangue de maior porte. O sedimento na área amostrada é lamoso e escuro.

A estação de reconhecimento 11 (E11) localiza-se na margem continental do Canal do Parapuça na sua intersecção com o Riacho do Alípio (Figura 56). A área apresenta extensa plantação de coco protegida por dique com água (Figura 68), sem ocorrência da vegetação de mangue. Algumas ciperáceas e poucos indivíduos de *M. arborecens* (aninga) ocorrem nas margens dos diques.

Nas proximidades do encontro do Canal do Parapuça com o Rio São Francisco, as margens do canal apresentam bosques de mangue de baixo porte (Figura 69), com ocorrência de gramíneas e ciperáceas entre vários indivíduos de *A. aurem*, e alguns indivíduos de *M. arborecens* (aninga) (Figura 70). Também ocorrem fazendas de plantação de coco entre a vegetação de mangue (Figura 71).

No encontro do Canal do Parapuça com as águas da Foz do Rio São Francisco (Figura 72), a margem sergipana do Rio São Francisco é colonizada por pequena mancha inicial de gramíneas e ciperáceas, seguida de bosques de mangue (Figuras 73). A margem Alagoana do Rio São Francisco, localizada ao lado oposto da margem sergipana, apresenta cordões arenosos e dunas (Figura 74).

A tabela VIII indica as espécies vegetais registradas nos bosques de mangue da área de estudo. Já a tabela IX resume as informações qualitativas da composição florística e da estrutura da vegetação de bosques de mangue registradas nas estações de reconhecimento de campo.

Reconhecimento de campo da região sudoeste: estrada não pavimentada

Na área de estudo a principal estrada não pavimentada apresenta cerca de 25 km, e liga os povoados de Ponta dos Mangues a Saramém, extremo sudoeste e nordeste da região, respectivamente. Essa estrada localiza-se paralelamente a linha de costa, após as áreas de manguezais, na unidade de cobertura vegetal formações pioneiras de influência marinha (Figura 20).

Parte dessa estrada, cerca de 7 km, localizada na região sudoeste de estudo, foi percorrida onde foram amostrando as estações de reconhecimento 12 (E12) e 13 (E13) (Figuras 20, 21). O trajeto restante da estrada não foi realizado, pois a estrada encontrava-se alagada (Figura 75) devido às fortes chuvas que incidiram na região, impossibilitando assim a continuidade do percurso até o povoado de Saramém.

A unidade *formações pioneiras de influência marinha* domina a porção mais interna da zona costeira da área de estudo, ocorrendo na forma de pequenas dunas, vegetação de restinga (Figura 76), zonas alagadas e lagoas (Figura 77) e cordões arenosos (Figura 78). Esta unidade apresenta pouca interferência antropogênica, uma vez que esparsos e pequenos povoados ocorrem geralmente paralelos a estrada sem pavimentação (Figura 79). Em direção a linha de costa (sentido sul) observa-se que a unidade de cobertura

vegetal *formações pioneiras de influência marinha* é substituída pela unidade *manguezal*.

Na transversal percorrida na E12 (Figura 20) ocorrem cordões arenosos com vegetação herbácea e coqueiros (*C. nucifera*) (Figuras 80, 81), bem como vegetação de restinga com árvores de porte médio apresentando bromeliáceas e cactáceas (Figura 82). À aproximadamente 60 m perpendicular á uma das margens da estrada não pavimentada (em direção à linha de costa, sentido sul) ocorre vegetação de mangue (Figura 83), a qual corresponde à porção final (transição) de bosques que se desenvolvem a partir do Riacho do Mosquito (Figura 20).

A E13 situa-se no local de parada devido ao alagamento da estrada, a partir do qual não foi mais possível prosseguir (Figuras 20, 75). Nessa área lagoas localizadas próximas às margens da estrada transbordaram, devido às intensas chuvas, ocasionando o alagamento e interrupção de parte da estrada. Segundo moradores locais o único meio de passagem pelo trajeto alagado é via cavalo ou alguns caminhões de maior porte conseguem passar por esse trajeto.

Na E13 ocorrem lagoas, áreas alagadas, cordões arenosos com vegetação herbácea e coqueiros (*C. nucifera*) (Figura 84). Esparsas casas e sítios que integram o vilarejo denominado Aracaré (Figura 85), também ocorrem nessa área, os quais apresentam coqueiros e vegetação de restinga geralmente herbácea ao seu entorno.

A tabela X resume as principais características registradas nas 13 estações de reconhecimento amostradas nos trabalhos de campo (Figuras 20, 21 e 56).

Processos erosivos na Foz do Rio São Francisco: alterações espaço-temporais entre 2000 e 2008

A análise de série temporal de imagens de sensoriamento remoto permitiu a identificação de alterações espaço-temporais que se processaram entre os anos de 2000 e 2008 na região da foz e desembocadura do Rio São Francisco.

Ao longo de oito anos, pode-se constatar que a foz sofreu intensas alterações em curto tempo (Figuras 86A, 86B, 86C, 86D), observando-se mudança na configuração da desembocadura do Rio São Francisco, redução da linha de costa, ocorrendo processos erosivos em áreas de manguezais e cordões de restingas situados próximo a linha de costa dessa região. As composições coloridas multitemporais (Figuras 87, 88, 89) revelam claramente essas alterações ocorridas, observando-se um incremento nos processos erosivos, com perda de habitat (manguezais e restingas) ao longo dos anos (2000-2008).

Observa-se forte processo de erosão em áreas de manguezal junto à linha de costa e em pequenas ilhas (Ilhas do Feijão e das Cacimbas) situadas à cerca de 6 km da desembocadura do Rio São Francisco (Figura 56). A série temporal de imagens de sensoriamento remoto dessa área (Figuras 90A, 90B, 90C) revela as áreas de manguezal erodidas, ou seja, com presença de bancos de areia sobre as áreas de manguezal, destacados em bege (Figura 90B) e em branco (Figura 90C). No mapa de uso e cobertura (Figura 90D) pode-se observar que as áreas erodidas, pertencem à classe feições arenosas costeiras, uma vez que a unidade manguezal está sendo substituída por

bancos de areia. A figura 60A ilustra, em escala local, uma área de manguezal erodida, localizada na Ilha do Feijão, com árvores mortas, recebendo ação direta das ondas.

DISCUSSÃO

Sensoriamento Remoto

Processamento digital de imagens de satélites

Diferentes técnicas de processamento foram aplicadas nas imagens, com objetivo de aprimorar a diferenciação entre os alvos e, por conseguinte, extrair o máximo de informações possíveis. As figuras 4 a 9 ilustram os diferentes resultados obtidos por essas técnicas. A análise dessas imagens permite identificar que tanto técnicas mais simples como manipulação do contraste e composições coloridas, quanto técnicas, mais complexas, como transformação IHS-RGB, fusão de imagens e análise por componentes principais, resultaram em imagens com maior poder de discriminação visual. A aplicação de técnicas mais complexas em combinação com o aumento de contraste em composições coloridas apresentou os melhores resultados (Figuras 7, 8 e 9).

A manipulação do contraste de uma imagem tem como objetivo melhorar sua qualidade visual sob critérios subjetivos ao olho humano. Esse processo não aumenta a quantidade de informação contida na imagem, mas torna mais fácil sua percepção (INPE, 2007). Essa técnica foi aplicada em todas as imagens desse estudo, obtendo-se resultados satisfatórios.

Composições coloridas são instrumentos simples e de grande eficiência na visualização das distribuições espaciais de uma imagem. Tais representações são obtidas a partir da associação, no sistema de processamento digital, entre as três bandas espectrais e as três cores primárias: vermelho, verde e azul (BONETTI-FILHO, 1996). A aplicação de realce de contraste em composições coloridas também é importante ferramenta

para se destacar o alvo de interesse. Reconhecendo-se a banda na qual o alvo apresenta maior reflectância, ou a componente que concentra a informação espectral do alvo de interesse, pode-se acentuar o contraste nessa banda, ressaltando o alvo de interesse na cor associada a essa banda. Segundo Crósta (1992), o aumento de contraste é uma importante técnica de processamento e provavelmente é uma das mais usadas para extração de informação de imagens.

No presente estudo as composições coloridas geradas apresentam melhor diferenciação entre os alvos (Figuras 4, 6, 7, 8 e 9) do que a imagem na banda pancromática (Figura 5). Entretanto, deve-se considerar que imagens visualizadas diretamente no monitor do sistema apresentam capacidade de discriminação muito superior à das impressões (BONETTI-FILHO, 1996). Deste modo, a imagem HRG2/SPOT-5 apesar de apresentar baixo contraste (Figura 5) durante sua manipulação no programa SPRING, foi possível constatar elevado grau de discriminação entre os alvos, principalmente em maiores escalas.

Nas composições coloridas formadas pelas três principais componentes (Figuras 7 e 8) observa-se que os alvos se apresentaram em diferentes cores, gerando uma melhor discriminação visual. Não obstante, observou-se perda de resolução espacial nessas composições, dificultando a análise visual em escalas grandes. Essa perda de resolução é decorrente da última componente (PC3), a qual concentra pouca informação espectral, contendo o ruído da imagem. Por isso, geralmente descarta-se a última componente (CRÓSTA, 1992)

Uma composição colorida de imagem de componentes principais tende a apresentar apenas cores espectrais puras e intensamente saturadas, não apresentando tons de cinza, indicativo de correlação (INPE, 2008). Apesar de haver perda das características espectrais originais, esta técnica é importante na redução da dimensionalidade dos dados e, em alguns casos as imagens resultantes podem apresentar um melhor poder de discriminação visual (PASSOS, 2007), como foi observado nos resultados gerados. APC (análise por principais componentes) é considerada uma das funções de processamento de imagens mais importantes na manipulação de dados multiespectrais (CRÓSTA, 1992).

A composição colorida das imagens SPOT-5 e CBERS-2B fusionadas pela técnica de transformação IHS-RGB com a principal componente 2 (PC2) (Figura 9), apresentou o melhor resultado, com contraste elevado entre os alvos e alta resolução espacial. Devido a essas características, essa composição colorida apresentou-se como a melhor para o procedimento de análise visual em escalas maiores.

Os resultados obtidos para as classificações supervisionadas realizadas (Figuras 10, 11, 12) no presente estudo, foram bastante satisfatórios para detecção de áreas de manguezal, classe que apresentou elevado desempenho médio em todas as classificações (> 91%) (Figura 12). Comparando-se essas classificações (Figura 10) com o mapa de uso e cobertura da terra (Figura 13), observa-se que a área correspondente à classe manguezal foi bem detectada pelo classificador. Assim, constata-se que a aplicação de técnicas de transformação IHS-RGB e APC, seguida de classificação supervisionada MAXVER, são importantes ferramentas para detecção de áreas de manguezal

em imagens multiespectrais de satélite, como já apontado por Green et al. (1998).

Para a classificação automática, o melhor resultado foi obtido usando-se como dados de entrada as duas principais componentes da imagem CBERS original e a banda 4 do CBERS (Classificação 3). Esse melhor resultado deve ser decorrente do uso de imagens originais (sem fusão), e das duas principais componentes que são bandas descorrelacionadas.

Entretanto, algumas classes como a feição *apicum* e *uso agrícola*, apresentaram grande variação de desempenho médio entre as classificações realizadas (Figura 12), o que pode ser decorrente da heterogeneidade espectral dos diferentes alvos presente em uma classe, à semelhança espectral entre determinados alvos de classes diferentes, e aos diferentes dados de entrada. Segundo Novo (1992) um dos problemas na classificação é que alvos distintos podem apresentar comportamento espectral semelhante, gerando assim confusão entre as classes.

O resultado da classificação digital é apresentado por meio de classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes), uma vez que um alvo dificilmente é caracterizado por uma única assinatura. Assim o resultado de uma classificação é geralmente uma simplificação, pois esse processo transforma um grande número de níveis de cinza de cada banda espectral em um pequeno número de classes em uma única imagem espectral (INPE, 2008). Entretanto, essas técnicas são bastante úteis para identificação dos padrões de cobertura e uso do solo, auxiliando na identificação e no mapeamento das diferentes unidades de uso e cobertura da terra de uma determinada área, como constatado no presente trabalho.

Mapeamento temático e análise visual de imagens de satélites e fotografia aéreas

Dados básicos para o planejamento ambiental, ou seja, informações sobre as condições atuais precisam estar atualizadas e disponíveis na medida do possível, com boa resolução (BLASCHKE et al., 2007). Nessa perspectiva, um mapa de uso e cobertura da terra de um determinado território é um dos mais importantes para diversos estudos e aplicações porque faz a ligação entre os elementos físicos e os sociais (NOGUEIRA, 2008),

Para elaboração do mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo, as imagens que apresentam alta resolução espacial foram importantes ferramentas, pois a análise visual das mesmas (fotointerpretação) permitiu extração de grande quantidade de informações. Dessa forma, a composição colorida das imagens SPOT-5 e CBERS-2B fusionadas (Figura 9), e fotografias aéreas foram excelentes materiais para o procedimento de interpretação visual, em escalas de maior detalhe.

Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986) apontam fotografias em grandes escalas como ferramentas ideais para classificação de bosques de mangue, uma vez que fornecem alto grau de detalhe. Nessa perspectiva, atualmente na era dos imageadores de alta resolução, também vale destacar a importância de imagens de satélite com alta resolução na geração de dados multitemporais e multiespectrais para análise detalhada não só do ecossistema manguezal, bem como da zona costeira. Entretanto, o alto custo envolvido na aquisição de imagens de satélites de alta resolução, coloca as fotografias aéreas como ferramentas economicamente mais viáveis para análise em escala de detalhe de áreas costeiras.

Fotografias aéreas continuam se apresentando como ferramentas importantes para monitoramento da ocupação humana na zona costeira, visto o baixo custo, escalas grandes e a possibilidade de apresentarem informações espaço-temporais anteriores aos levantamentos de dados em campo (CUNHA-LIGNON et al., 2009).

Os resultados obtidos por interpretação visual mostraram-se bastante satisfatórios para identificação das diferentes unidades de uso e cobertura da área de estudo (Tabela VI), uma vez que cada unidade apresentou diferenças entre o padrão dos elementos de reconhecimento. Segundo Loch (2008), a principal diferença da interpretação visual para digital é a quantidade de correlações que o interprete pode adotar para análise de cada elemento em particular, ao passo que na interpretação digital o pacote está pronto e não há condições de se considerar casos particulares.

Dessa forma, com imagens de alta resolução, a técnica de análise visual não é ultrapassada, e pode revelar-se mais apropriada para pesquisas ecológicas que necessitam de informações em grande escala e para propósitos de gestão (READ et al. 2003, CLARK et al. 2004, DAHDOUH-GUEBAS et al., 2005).

Grande parte das manchas de manguezal foi reconhecida tanto nas imagens de satélite quanto nas fotos aéreas, por apresentar cor mais escura e textura média a grosseira, com dossel uniforme sem ou com pouco espaçamento, o que pode indicar bosques de mangue de médio a elevado desenvolvimento estrutural. Por meio do trabalho de campo constatou-se que parte das áreas de manguezal do sistema estuarino lagunar do Rio São

Francisco apresentam bosques de médio (altura de 7 m a 15 m) a elevado porte (altura >15 m).

Segundo Moreira (2005), na fotointerpretação a cor ou tonalidade são elementos utilizados como parâmetros para discernir tipos de vegetação ou estágio de desenvolvimento da mesma. De acordo com aquele autor, tonalidades e cores mais claras, podem indicar uma vegetação menos densa e/ou jovem, já que a energia refletida pelo alvo está relacionada com a idade da planta, número de plantas por área e quantidade de folhas.

A cor ou tom mais escuro dos manguezais em imagens de sensoriamento remoto parece ser característica distintiva desse tipo de vegetação. Manguezais têm sido estudados por meio de sensoriamento remoto, e várias técnicas de processamento vêm sendo implementadas no intuito de destacar as áreas de mangue em imagens de satélite (PASSOS et al., 2007). Um exemplo é a aplicação de interpretação visual, sendo assim identificados por sua forma irregular, localização junto ao litoral e cor mais escura que a dos demais tipos de vegetação, devido à influência da água existente nesses ambientes (FLORENZANO, 2002; PASSOS et al., 2007).

Dessa forma, a vegetação das formações pioneiras de origem marinha, como restinga e vegetação de duna foram diferenciados da vegetação de manguezal, devido à presença de solo arenoso exposto, gerando tons e cores mais claros. As demais formações pioneiras de origem marinha foram identificadas por apresentar predominantemente cores claras e textura fina (Tabela VI), em função da presença do solo arenoso. Parece que o solo arenoso tem forte influência na resposta espectral das feições litorâneas, que deve ser em função de sua alta reflectância.

Segundo Florenzano (2002), quanto mais luz o objeto refletir, mais a sua representação na imagem vai tender a branco e, quanto menos energia refletir (absorver mais energia), mais a sua representação na imagem vai tender a tons ou cores escuras. Novo (1992) indica que as características de reflectância dos objetos adjacentes ao alvo de interesse também interferem na sua reflectância.

As unidades de uso antropogênico, como aquicultura e culturas de coco e arroz, foram identificadas por apresentarem forma regular de polígonos entre a vegetação de mangue. Ademais a vegetação de uso agrícola, como plantação de coco, apresenta copas de árvores dispostas uniformemente e com cor mais clara. Segundo Loch (2008), obras feitas pelo homem normalmente tem aparência uniforme com traçados em linhas retas ou seguem a forma de um polígono conhecido, ao passo que a ação do homem na vegetação plantada é caracterizada por aparência regular, altura e tonalidade uniformes, ou mais uniformes do que as áreas florestadas nativas permitindo, dessa forma, fácil reconhecimento por análise visual.

Uso e cobertura da terra no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco e diagnóstico dos tensores antrópicos incidentes nos manguezais

A análise integrada dos resultados de identificação (tipos de uso e cobertura), espacialização (mapa de uso e cobertura) e quantificação (percentual de área ocupada) dos tipos de uso e cobertura da terra, com os resultados de trabalhos de campo e análise de dados exógenos juntamente com a consulta de fotografias aéreas do ano de 1971, permitiu caracterizar o

estado atual das áreas de vegetação natural e como essas áreas são pressionadas por atividades antrópicas, bem como descrever o histórico dos usos antrópicos que ocorrem no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco.

Embora as áreas de vegetação natural ocupem aproximadamente 93% da zona costeira estudada, (Tabela IV), os diferentes tipos de vegetação encontram-se em distintos estados de conservação em relação à incidência de usos antrópicos, o que reflete o processo histórico diferenciado na ocupação das terras do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco.

Assim as formações pioneiras de influência marinha, unidade que ocupa maior área, cerca de 179 Km², 77% da zona costeira estudada (Tabela IV), são as áreas de vegetação natural menos afetadas pelos tipos de uso do solo que ocorrem no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco. A região interior da área de estudo é dominada por esse tipo de cobertura vegetal (Figura 13), onde ocorrem restingas herbácea, arbustiva e arborea (Figuras 76, 78) e zonas alagadas (Figura 77) que coexistem entre coqueirais (Figuras 80, 84), bem como pequenos povoados, na forma de casas e sítios distribuídos espaçadamente, ao longo de estradas sem pavimentação (Figuras 80, 85).

O principal tipo de uso antrópico incidente nas áreas de formações pioneiras de influência marinha ocorre ao longo Rio Paraúna, que tem suas margens ocupadas por cerca de 5,85 Km² de rizicultura, incluída na unidade *culturas de coco e arroz*, onde atualmente restingas e zonas alagadas adjacentes apresentam-se pressionadas por esse uso (Figura 13). De acordo com Diegues (2002), nas planícies e terraços marinhos da região de estudo, o

cultivo de culturas cíclicas, como a rizicultura, se entremeia entre a vegetação de restinga.

Atividade de rizicultura ao longo do Rio Paraúna é um tipo de uso antigo, o qual foi identificado para o ano de 1971 (em fotos aéreas, Figura 91). Segundo MMA (1995) projetos de rizicultura irrigada no Município de Brejo Grande, do qual a área de estudo faz parte, estão em funcionamento desde a década de 80, a cargo da CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco), envolvendo infra-estrutura de irrigação em lotes comunitários. De acordo Moreira (1965) a cultura de arroz que se desenvolve nas feições litorâneas do sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco representa um tipo de ocupação do solo importante para fins de exploração econômica.

Áreas de vegetação natural ocupadas por manguezais também expressam significativa extensão, 30 Km², cerca de 16% da zona costeira do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Tabela IV). Todavia, os manguezais encontram-se fortemente pressionados por usos antrópicos como aquicultura e cultivos de coco e arroz (Figura 13), que ocupam 7,7 Km², cerca de 26% da área total de manguezais (Tabela V).

As atividades de uso antrópico que ocorrem entre áreas de manguezais estão especializadas de forma diferenciada, na qual cultivos de coco e arroz ocorrem na região norte/nordeste da área de estudo, entre os manguezais da foz do Rio São Francisco e no Canal do Parapuca, enquanto que o uso para aquicultura ocorre na região sudoeste, entre os manguezais do Canal Carapitanga e do Poço (Figura 20). Essa espacialização diferenciada deve estar relacionada com as condições ambientais mais propícias para o

desenvolvimento de cada atividade, bem como com o histórico de ocupação de cada atividade. A seguir são discutidos separadamente esses tipos de uso antrópico que ocorrem entre os manguezais da área de estudo.

Culturas de coco e arroz

Culturas de coco e arroz ocorrem entremeados às áreas de manguezais situadas ao longo do Canal do Parapuça e seus afluentes (Riachos do Alípio e da Maria Rosa), e proximidades da foz do Rio São Francisco (região norte/nordeste da área de estudo) (Figuras 20, 56), ocupando aproximadamente 3,2 Km², cerca de 10% da área total ocupada por manguezais. A disposição espacial desse tipo de uso entre manchas de vegetação de manguezal pode indicar que áreas contínuas antes ocupadas por bosques de mangue foram desflorestadas, fragmentadas e convertidas nesse tipo de uso. Plantios e fazendas de cultivo de coco entre áreas de manguezal do Canal do Parapuça foram constatados em trabalho de campo (Figuras 62, 63, 71).

A localização majoritária das atividades de culturas de coco e arroz longo da região norte/nordeste da área de estudo (Figura 20) pode ser devido às menores salinidades presentes nessa região, uma vez que esta está localizada junto à foz do Rio São Francisco, recebendo assim maior aporte de água fluvial.

A utilização das margens do Canal Parapuça e afluentes para culturas de coco e arroz é um uso bastante antigo, que foi identificado para o ano de 1971 (foto aérea, Figura 91) e 1986 (carta topográfica da região), nos quais grande parte das áreas de manguezal situada nas margens desses corpos

d'água estava convertida para esse tipo de uso, restando apenas bosques remanescentes entre os cultivos. O relato mais antigo encontrado na literatura para esse tipo de uso é descrito para o ano de 1962 no trabalho de Moreira (1965), que descreva a cultura do “arroz da praia” e a extensão do cultivo de coco nas margens dos canais onde se desenvolviam a vegetação de manguezal, próximo a foz do Rio São Francisco

De acordo com Moreira (1965), no cultivo de coco desenvolvido nas áreas de manguezal os coqueiros são plantados sobre pequenos troncos de cone de argila, chamados “mundurús”, que os mantêm, enquanto pequenos, a salvo das inundações. Nesse contexto, vale ressaltar que o mesmo tipo de técnica de plantio de coco relatado por esse autor para o ano de 1962, também foi observado em trabalho de campo para o ano de 2008, onde os coqueiros se desenvolvem sobre diques de argila, que represam a água e impede que eles sejam atingidos pelo fluxo das marés (Figura 68).

Com relação à cultura do arroz, na região da foz do Rio São Francisco em 1962, Moreira (1965) também destaca a construção de diques de argila entre a vegetação de mangue, permitindo assim o cultivo do “arroz da praia”, como o que ocorrem ao longo do Canal do Parapuca. Nesse tipo de cultivo os diques de argila são construídos a partir da beira do curso d'água, paralelos e perpendiculares a esses, criando condições especiais para retenção de água. O aspecto mais interessante desse tipo de cultivo é o aproveitamento do fluxo das marés, que promove a entrada e saída de água nos arrozais, impedindo o ressecamento e rachadura da argila e o conseqüente trincamento das raízes do arroz (MOREIRA, 1965).

Para ao ano de 2008, a presença de diques nas plantações de arroz e coco entre os manguezais, bem como áreas adjacentes abertas, onde a colheita do arroz já foi efetuada, foram constatadas nas margens do Canal do Parapuça e afluentes, como pode ser observada nas figuras 17A e 17B ao longo do curso d'água, denominado riacho da Maria Rosa (Figuras 20, 56). Com relação à produção de arroz, segundo CUENCA et al. (2002), dos municípios compreendidos no Baixo São Francisco/SE, Brejo Grande possui o maior percentual participativo.

A cultura do arroz no estuário do Rio São Francisco já foi uma atividade importante para complementar a renda de pescadores e em alguns casos era a sua principal fonte de renda. Entretanto, mais recentemente a esse tipo de uso do solo tem sido objeto de um processo de modernização (CUNHA; HOLANDA, 2006) a partir da mecanização da lavoura e de uso de insumos industriais para elevar a produtividade da cultura do arroz (CUNHA, 2006). Segundo Diegues (2002), o cultivo de arroz desenvolvido pela CODEVASF nessa região despeja pesticidas nos recursos hídricos, o que pode comprometer a qualidade da água do estuário, bem como a integridade da comunidade biótica e conseqüentemente causar danos às populações locais.

Dessa forma, diagnostica-se que o uso da terra na forma culturas de coco e arroz vem atuando, desde a década de 60, como tensor antrópico para áreas de manguezais do sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco, persistindo até o presente. Esse tipo de atividade além de ocupar e pressionar áreas de manguezal, também implica, no caso da rizicultura, no comprometimento dos corpos d'água, que recebe insumos agrícolas e pesticidas.

Aquicultura

O uso da terra para atividades de aquicultura no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco ocorre entre áreas de manguezais situadas ao longo do Canal do Poço, do Carapitanga e seus afluentes, na região sudoeste da área de estudo (Figuras 20, 21, 16, 24), ocupando aproximadamente 4,55 Km², cerca de 15% da área total ocupada por manguezais (Tabela V). A aquicultura, predominantemente a carcinocultura (cultivo de camarão), é atualmente o principal tensor que incide nos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, que vem promovendo o desmatamento e fragmentação de áreas de manguezal de elevado desenvolvimento estrutural (Figuras 34, 44, 45, 50).

Em Sergipe a carcinocultura teve início em meados de 1998, empregando o cultivo da espécie exótica de *L. vannamei*. Entretanto, a produção em escala comercial é recente, a partir de 2000, na qual não ocorre o beneficiamento do camarão após despesca, o qual é rapidamente escoado para os centros revendedores que, na maioria das vezes, localiza-se fora do estado (CARVALHO, 2004).

Segundo CODISE (2004), existem 17 estabelecimentos de produção de camarão cultivado no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco, dos quais 14 localizam-se no Município de Pacatuba, sendo de pequeno, médio e grande portes e três em Brejo Grande de pequeno porte. Estes empreendimentos perfazem uma área de produção total (lâmina d'água) de 262,07 ha, que corresponde à maior área produtiva do Estado de Sergipe, totalizando 41,20% da área em produção (CODISE, 2004; CARVALHO, 2004).

Não obstante, no presente estudo foi quantificada uma área de aproximadamente 455 ha (Tabela IV), ocupada por atividades de aquicultura no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco. Essa diferença deve estar associada ao fato de que no estudo da CODISE (2004) foi considerada apenas a lâmina d'água dos viveiros em produção, e não a área real do empreendimento, que também inclui tanques berçários e um local apropriado para armazenar a ração, insumos e demais equipamentos utilizados, os quais se estabelecem sobre áreas de mangue, como foi considerada no presente estudo.

A aquicultura destinada ao cultivo de camarão (carcinocultura) é atividade recente no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco, que teve início no final da década de 90. Entretanto a aquicultura destinada ao cultivo de peixes (piscicultura) é uso antigo, que ocorre na área de estudo desde a década de 80, sendo relatada para a região nos trabalhos de ADEMA (1984) e Santos (1997). De acordo com Santos (1997), os viveiros localizados na área de estudo são antigos, produtivos e de particulares, e contribuem para garantir a produção de pescado em épocas de maior demanda. Assim constata-se que no final da década de 90, áreas destinadas para piscicultura foram convertidas para carcinocultura. Conforme informações fornecidas por Santos (informação pessoal)¹⁰, áreas de viveiros antes destinadas para o cultivo de peixes (piscicultura), como tainha, carimã e robalo foram atualmente convertidos para cultivo de camarão da espécie exótica *L. vanamei*. Segundo Carvalho (2004), a

¹⁰ Rafael do Santos. Morador e agente local do Projeto TAMAR de Ponta dos Mangues, Pacatuba, Sergipe. Guia e barqueiro do trabalho de campo. Informação fornecida em 18/04/2009.

conversão destas atividades para a carcinocultura ocorreu em função da maior lucratividade apresentada pelo cultivo do camarão.

A consulta de fotografias aéreas de 1971 permitiu identificar que áreas ocupadas por atividade de aquicultura em 2008, eram destinadas para extração de sal em salinas que ocorriam entre a vegetação de manguezal em 1971 (Figura 92A). Entretanto constatou-se que as áreas de salinas quando convertidas para aquicultura implicaram num aumento de área, que envolve a supressão do ecossistema manguezal adjacente, como vegetação arbórea de mangue e vegetação rasteira de apicuns.

Também vale ressaltar que salinas desativadas podem ter sido recolonizadas naturalmente por bosques de mangue, uma vez esse tipo de vegetação é altamente resiliente, tendo capacidade de recuperação frente a distúrbios. Esse fato foi constatado para os bosques de mangue do Riacho do Mosquito (Figura 21), que em 1971 (Figura 92A) abrigava uma salina, sendo depois convertido para viveiro de peixe que foi desativado em 1994, e cerca de nove anos depois, em 2003 (Figura 92B), essa área já se apresentava colonizada por bosques de mangue e apicum, que em 2008 (Figura 92C) e 2009 apresentavam baixo porte (Figuras 35, 36, 37). Dessa forma, em salinas desativadas onde ocorreu a recomposição natural da vegetação de mangue, a conversão desse uso para aquicultura implicou na supressão da vegetação de mangue.

A extração de sal nessa área também foi relatada por Moreira (1965) para o ano de 1962. Segundo SEPLAN (2010), na década de 50, o município de Brejo Grande também tinha uma grande produção de sal marinho, indicando que essa atividade se desenvolvia a pelo menos desde a década de 50.

Portanto, traçando um histórico, observa-se que na década de 50, as áreas de manguezais do Canal do Poço e Canal do Carapitanga, região sudoeste da área de estudo (Figura 20), eram pressionadas pelo uso do solo para extração de sal (salinas). A partir da década de 80, essas salinas desativadas foram convertidas em tanques de piscicultura. Somente no final da década de 90, o cultivo de peixe foi convertido para o cultivo do camarão exótico, atual uso que implica em sérios impactos sócio-ambientais para a zona costeira em estudo.

Os principais impactos ambientais relacionados com a carcinocultura referem-se à supressão do ecossistema manguezal; mudanças no padrão de circulação hídrica do estuário, em função da estruturação dos viveiros e dos canais de abastecimento; e eutrofização do estuário, com as descargas dos efluentes dos viveiros sem tratamento prévio (WAINBERG; CÂMARA, 1998).

Atividades de carcinocultura são apontadas na literatura como o principal tensor antropogênico incidente no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco, que promoveu o desmatamento de extensas áreas de manguezais (e.g. CARVALHO, 2004; SEMENSATTO, 2006; CUNHA, 2006; CUNHA; HOLANDA, 2006). Ademais, os empreendimentos de carcinocultura localizados nessa região não possuem bacia de sedimentação, portanto, os efluentes dessa atividade são liberados diretamente no estuário (CARVALHO, 2004). Segundo estudo realizado por Cunha (2006) nessa região, os pescadores denunciam que as atividades de carcinocultura despejam produtos que são prejudiciais ao desenvolvimento da fauna aquática, colocando em risco a oferta de pescado.

De acordo com CODISE (2003, *apud* CUNHA, 2006), no Programa de Revitalização da Aquicultura no Baixo São Francisco de Sergipe, o Governo do

Estado estabeleceu ações para o desenvolvimento com enfoque para a cadeia produtiva da tilápia (*Oreochromis niloticus*) e a e do camarão exótico (*L. vannamei*), as quais necessariamente envolvem a implantação de viveiros de camarão em áreas de manguezal. Para o programa, a carcinocultura seria importante não apenas para a geração de empregos, mas também pela possibilidade de inserção de uma atividade que está em expansão no Nordeste brasileiro e que traria o desenvolvimento para a região (CUNHA, 2006).

Entretanto, as implicações reais da carcinocultura no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco são bem distintas do proposto por esse plano. Conforme Carvalho (2004), os empreendimentos de carcinocultura em Sergipe têm gerado poucas oportunidades de emprego, fato que contribui para a marginalização das comunidades locais. Nesse contexto, pode-se destacar o trabalho de Cunha e Holanda (2006), o qual indica que proprietários de fazendas de camarão situadas no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco, estabelecem restrições quanto ao acesso de pescadores e catadores de caranguejo aos portos, caracterizando a apropriação de um espaço que anteriormente era de uso coletivo, e assim dificultando a vida da comunidade local.

Dessa forma, diagnostica-se que as atividades de aquicultura no sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco se desenvolvem sem adequado planejamento, causando sérios impactos sócio-ambientais na zona costeira analisa, pois além de eliminar (perda de habitat) e fragmentar áreas de manguezais e comprometer a qualidade ambiental dos corpos d'água, também geram conflitos entre a população local que utiliza os recursos naturais do manguezal e os proprietários das fazendas de camarão.

Considerações iniciais sobre a fragmentação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco: expansão da carcinocultura *versus* conservação dos manguezais

Segundo Semensatto (2006), até o ano de 1996 o sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco era considerado uma região relativamente pouco impactada, entretanto, nos últimos 14 anos novos impactos surgiram ou se intensificaram. Atualmente, os usos da terra para aquicultura e plantios de coco e arroz (Figura 13) constituem os principais tensores antropogênicos que incidem na área de estudo e que provocam como efeito comum a perda e fragmentação de habitats de manguezal. A configuração de manchas de vegetação de mangue remanescente entre os usos da terra para aquicultura e plantios de coco e arroz pode indicar que uma mancha maior e contínua de manguezal foi desflorestada e convertida nesses tipos de usos (Figuras 13, 16, 17).

Grande parte das atividades humanas têm resultado na degradação, perda e fragmentação dos habitats, de forma que esses processos são apontados como as maiores causas do declínio da biodiversidade (EHRLICH, 1988). De acordo com Fahrig (2003) fragmentação de habitat é definido como processo que opera na escala da paisagem e envolve tanto perda de habitat como rompimento de parte do habitat. Um fragmento trata-se de uma mancha originada por fragmentação, por exemplo, uma subdivisão, promovida pelo homem, de uma unidade que inicialmente apresentava-se sob forma contínua (METZGER, 2001).

Dessa forma, a fragmentação é um processo no qual um amplo habitat é transformado em manchas menores, com área total menor, e isoladas uma das

outras por uma matriz de habitats diferentes do original (WILCOVE et al.; 1986, FAHRIG, 2003). A redução do tamanho original das áreas com cobertura vegetal nativa e o aumento do isolamento dos fragmentos causados pela fragmentação dos habitats (ANDRÉN, 1994) constituem ameaça significativa à conservação da biodiversidade (COSTA; SCARIOT, 2003). Para o ecossistema manguezal a fragmentação e a perda de habitat também constituem ameaças para conservação da biodiversidade desse ecossistema e de toda a paisagem na qual está inserido. De acordo com Duke et al., (2007), à medida que áreas de manguezal vão se tornando menores ou fragmentadas, funções e serviços essenciais do ecossistema podem ser perdidos, comprometendo sua manutenção em longo prazo.

Estudos apontam que em locais onde manguezais são desflorestados para aquicultura e urbanização, ou são alterados devido a efeitos indiretos da poluição e do uso da terra (ALONGI, 2002), é previsto que a riqueza de suas espécies decline rapidamente, pois o número de espécies de plantas de mangue está diretamente correlacionado com o tamanho da floresta (DUKE et al, 1998).

A fragmentação e perda de habitat geram alteração na configuração espacial e funcional de um determinado habitat, que após intervenções geralmente antropogênicas, como desmatamento, tenderá a apresentar formato, área e funcionamento diferentes da sua condição original (LOMOLINO; PERAULT, 2001). Os efeitos da fragmentação de habitats trazem consequências negativas para os elementos da paisagem como um todo (SILVA, 2008).

Dessa forma, o atual estado de conservação dos manguezais estuarino-lagunar do Rio São Francisco é bastante vulnerável, uma vez que tensores antrópicos incidentes nesse ecossistema geram fragmentação e perda de habitat, processos atualmente apontados como as principais ameaças à conservação da biodiversidade. A porcentagem ocupada por usos antrópicos em relação à área total de manguezal (Tabela V), provavelmente refletem a perda em área de habitats dessa cobertura vegetal, o que significa dizer que aproximadamente $\frac{1}{4}$ dos manguezais do sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco foram alterados ou convertidos para o uso do solo na forma aquicultura e plantios de coco e arroz (Tabela V).

Apesar do quadro atual de vulnerabilidade dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, o estudo realizado pela CODISE (2004), intitulado: “Áreas potenciais para cultivo de camarão marinho em Sergipe”, aponta a bacia do Rio São Francisco como potencial área para implantação de mais 825 ha para atividade da carcinocultura, sendo que esta área de expansão será localizada na sua totalidade no Município de Brejo Grande, nas proximidades da foz do Rio São Francisco.

Diante do contexto atual no qual a carcinocultura é desenvolvida sem adequado planejamento no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, considera-se que a expansão dessa atividade proposta pela CODISE (2004) irá ocasionar na perda de mais áreas de manguezal, acarretando em maior fragmentação dessa cobertura vegetal, além dos demais impactos sócio-ambientais ocasionado por esse tipo de uso, já apontados no presente estudo. Conforme Salvador (2005) a perspectiva de implantação de 825 ha de viveiros no Município de Brejo Grande é preocupante, principalmente quando se

considera o agravante de ser uma área no entorno da Reserva Biológica de Santa Isabel. Portanto, a gestão costeira no Estado de Sergipe deve considerar urgentemente essas questões, de modo a implementar programas e planos para a zona costeira do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco que visem a conservação a longo prazo dos manguezais e das populações locais que deste dependem, diante da expansão das atividades de carcinocultura.

Manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco: análise em escalas

Nível setting - escala da paisagem

Na escala da paisagem (nível *setting*), Thom (1982, 1984) propõe cinco *settings* ambientais para ambientes costeiros terrígenos onde se desenvolvem manguezais (Figura 93). Esta classificação é baseada no processo geomórfico dominante e na forma/tipo da terra (relevo), ou seja, nos componentes geofísicos e geomórficos que se incidem na paisagem.

Na escala da paisagem os três componentes essenciais são definidos por Thom (1982) como: (1) geofísico, (2) geomórfico e (3) biológico. O primeiro componente inclui vários fatores como o nível relativo do mar, condições climáticas e propriedades da maré de uma dada região. O componente geomórfico é dividido em três escalas espaciais, a escala mais geral que reflete as características da sedimentação, a segunda que reflete a dominância de um particular processo (p. ex. onda, maré ou rio) e a terceira escala reflete a microtopografia ou expressão e composição topográfica de determinada forma/tipo da terra. O último componente de um *setting* é o biológico, o qual

expressa os fatores ecológicos incidentes no conjunto de espécies que ocorrem numa região particular (THOM , 1984).

Nesse contexto, Jiménez (1999) classificou os manguezais em dois grupos, de acordo com a geomorfologia da Costa Pacífica da América Central: (1) ambientes com fortes ondas e barreira arenosa; e (2) ambientes com baixa energia de ondas e grande amplitude de marés. Em áreas submetidas à forte energia das ondas e correntes de deriva litorânea o material é distribuído em cordões arenosos. Essas formações mantêm comunicação com as águas costeiras oceânicas por uma ou mais desembocaduras, permitindo o desenvolvimento de manguezais protegidos do embate de ondas. Nesses ambientes, o elemento geomorfológico principal é o cordão arenoso (JIMÉNEZ 1999, CUNHA-LIGNON, 2005).

De acordo com ADEMA (1984), a análise geomorfológica do estuário do Rio São Francisco, indica que a planície litorânea é formada pela deposição de cordões de sedimentação fluviomarinhas, paralelos a linha de costa, que, como adentram até 20 km², impediram a formação de um estuário perpendicular. Assim a rede de canais estuarinos e lagunares apresentam-se distribuídos paralelamente a linha de costa.

Os manguezais da área de estudo ocorrem paralelamente à linha de costa, entre a desembocadura do Rio São Francisco e o Povoado de Ponta dos Mangues, ao longo de canais naturais e de uma laguna (Canal do Poço), ocupando aproximadamente 30 km² (Figura 13, Tabela IV). Ilha barreira e praia (cordões arenosos) formam a estreita linha de costa que protegem os manguezais do embate direto de ondas, que, entretanto, em algumas áreas já se encontram erodidos, recebendo a ação direta das ondas (Figuras 58, 60,

90). Formações pioneiras de influência marinha como cordões arenosos com vegetação de restingas e áreas alagadas, predominam em direção ao continente e ocupam área total de aproximadamente 147 km² (Figura 13, Tabela IV).

O *setting* 4, da proposta de Thom (1984) (Figura 93), representa um ambiente com combinação de alta energia de ondas e descarga fluvial, onde a areia advinda do rio é rapidamente redistribuída pelas ondas ao longo da linha de costa formando depósitos arenosos. O resultado é uma planície costeira dominada por cristas praias, estreitas e descontínuas lagunas com uma planície aluvial em direção ao continente. A distribuição dos manguezais concentra-se ao longo de afluentes abandonados, e em área próximas à boca dos rios e em lagunas adjacentes (THOM, 1984).

Portanto as características geomorfológicas apontadas por ADEMA (1984), juntamente com as informações acessadas por meio da espacialização do uso e da cobertura da terra no sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (Figura 13), permitiram identificar que o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco corresponde ao *setting* 4 (paisagem dominada por rios e ondas), proposto por Thom (1984, Figura 93), bem como corresponde ao ambiente com fortes ondas e barreira arenosa da classificação de Jiménez (1999).

Conforme Vale (2004), os *settings* propostos por Thom (1984), representam exemplos conhecidos que demonstram claramente como os processos físicos, por meio das respostas geomorfológicas, interagem para produzir distintas condições de habitat. Esses *settings* contêm diversos tipos de

formas de relevo que provêm adequado substrato e abrigo contra forças erosivas para o estabelecimento de manguezais (VALE, 2004).

Deste modo, a análise no nível *setting*, demonstra que o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco é um ambiente extremamente dinâmico, onde os processos físicos (combinação das energias de onda e da descarga fluvial), por meio das respostas geomorfológicas (formação de depósitos arenosos que funcionam como abrigo contra as forças erosivas) interagem para formação de áreas protegidas para o estabelecimento dos manguezais.

Níveis stand e site - escalas da unidade de paisagem e local

Para se entender a função de qualquer nível de organização é necessário estudar o nível superior, o que provê o contexto, bem como o nível inferior, onde os mecanismos são achados (SCHAEFFER-NOVELLI et al. 2005).

Na escala da unidade da paisagem (nível *stand*), a mancha ou fragmento de manguezal corresponde a uma faceta do *setting* ambiental (SCHAEFFER-NOVELLI et al. 2005). *Stand* é a unidade de paisagem e se refere ao grupo de árvores (bosque) e elementos funcionais que ocupam um espaço influenciado por uma força estrutural particular ou um regime de distúrbio (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). O *site* é a unidade do terreno, que corresponde à menor área sobre a influência de árvores maduras. O *site* é uniforme em termos de estrutura vegetal, substrato e forma de relevo (VALE, 2004).

No presente estudo, as características qualitativas da composição da vegetação e da estrutura dos bosques de mangue (*site*, escala local), permitiram identificar três segmentos (*stand*, escala da unidade de paisagem) para o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, onde ocorrem bosques de mangue com diferentes características florísticas e estruturais. Assim partindo da foz do Rio São Francisco até a barra (Boca do Poço), identifica-se os três segmentos, que receberam essa denominação em função do principal corpo d'água presente: Segmento do Canal do Parapuça, Segmento do Canal do Carapitanga e Segmento do Canal do Poço (Figura 94).

O segmento do Canal do Parapuça (Figura 94) encontra-se localizado junto à foz do Rio São Francisco e compreende a área do Canal do Parapuça e afluentes. Esse corpo d'água constitui típico canal natural com maior influência fluvial, pois recebe diretamente o aporte de água doce advindo da foz Rio São Francisco. Segundo Semensatto (2004), este canal é o ambiente mais influenciado pelas águas do Rio São Francisco, possuindo águas oligohalinas (salinidade entre 0,5 e 5), onde a cunha salina adentra na preamar, já bem diluída, e avança no estuário em direção ao Canal do Carapitanga e do Riacho do Funil (Figura 20).

Bosques de mangue no segmento do Canal do Parapuça ocorrem em ambas as margens do canal e afluentes e exibem baixo (altura < 7m) a médio porte (altura de 7m a 15m) com ocorrência das espécies típicas *R. mangle*, *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *A. germinans*. Como espécies associadas ocorrem *C. erectus*, *Spartina sp.* e *A. aureum*. Outras espécies vegetais como ciperáceas: *Eleocharis sp.* (junco) e *Scirpus sp.* (tiririca) colonizam as margens antecedendo as áreas de mangue. A ocorrência de espécies típicas de

ambientes de água doce como *A. glabra* (araticum, araticum-do-brejo) e *M. arborecens* (aninga) nesse segmento são indicativas da redução da salinidade devido à forte influência do aporte de água fluvial até a foz do Rio São Francisco.

A presença dominante de *A. aureum* e espécies “oportunistas” como *Scirpus sp.* (tiririca) no segmento do Canal do Parapuca podem ser indicativas de áreas de manguezais que já sofreram alterações antropogênicas. Conforme consultado em fotografia aérea de 1971 (Figura 91) e carta topográfica de 1986 (IBGE, 1986), as margens do Canal do Parapuca eram intensamente ocupadas por culturas de coco e arroz, com ocorrência de manchas menores de manguezal. Nessas áreas com plantios em 1971 e 1986, constatou-se em 2009 (estações de reconhecimento amostrados em trabalho de campo) a presença das espécies *A. aureum*, *Eleocharis sp.* (junco) e *Scirpus sp.* (tiririca).

A. aureum, frequentemente associada com as comunidades estuarinas influenciadas pelas marés (GLEASON; COOK 1926; LAMBERTI, 1969, MEDINA, 1990), é espécie facultativa na flora do manguezal e ocorre na transição entre essa vegetação e os sistemas de terra firme ou em manguezais alterados (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). A espécie *A. aureum* é conhecida por penetrar no manguezal, e formar extensos bosques que podem afetar a composição original das espécies de mangue (SRIVASTAVA et al., 1987), o que pode diminuir a biodiversidade ou a funcionalidade da vegetação original. Dessa forma, em muitos países, essa espécie é considerada como uma praga e sua remoção é necessária antes do início de projetos de reabilitação da vegetação de manguezal alterada (FIELD, 1998; ELLISON, 2000, DAHDOUH-GUEBAS et al., 2005).

O segmento do Canal do Carapitanga localiza-se na região central, entre o segmento do Canal do Parapuca e do Poço (Figura 92), e compreende a área do canal do Carapitanga e do Riacho do Funil (Figura 20). O Canal do Carapitanga é um típico canal natural, que devido sua localização, recebe aporte de água com menor salinidade advinda do Canal Parapuca e água com maior salinidade, advinda do Canal do Poço. Com base no estudo de SEMENSATTO (2006), o segmento do Canal do Carapitanga apresenta águas oligohalinas (salinidade entre 0,5 e 5) e mesohalinas (salinidade entre 5 e 18), recebendo assim maior influência das águas salobras que adentram pelo Canal do Parapuca, embora a cunha salina vinda do Canal do Poço já esteja bastante diluída.

No segmento do Canal do Carapitanga ocorrem bosques de mangue em ambas as margens desse canal e do Riacho do Funil, e exibem de médio (altura de 7m a 15 m) a elevado porte (altura > 15m) com alta ocorrência da espécie *R. mangle*. Nesse segmento foi observado o maior desenvolvimento estrutural (Figura 46) em relação aos demais bosques da área de estudo, com árvores de *R. mangle*, que atingem até 20 m de altura (Figura 51, 54). Nas proximidades com o Canal do Parapuca, as margens do Canal do Carapitanga e do Riacho do Funil são colonizadas por *Eleocharis sp.* (junco) que antecede as áreas de manguezal (Figura 48).

O segmento do Canal do Poço está localizado na porção sudoeste da área de estudo, e compreende a área desse canal e afluentes como o Riacho do Mosquito, incluindo também a Ilha da Jibóia (Figuras 92, 21). O Canal do Poço é um ambiente lagunar, que se comunica com o oceano por uma barra, a Boca do Poço, e assim recebe aporte direto de água com maiores salinidades,

que penetra por essa barra (Figura 13). Segundo SEMENSATTO (2006), o Canal do Poço é ambiente mais influenciado pela cunha salina, principalmente no setor sudoeste, onde só há alguma diluição na baixamar. Assim no segmento do Canal do Poço, as águas são mesohalinas (salinidade entre 5 e 18), polihalinas (salinidade entre 18 a 30) e euhalinas (salinidade entre 30 a 40) (SEMENSATTO, 2006).

Os manguezais do segmento do Canal do Poço ocorrem na margem desse continental, pois a margem insular é uma ilha barreira, bem como em ambas as margens de seus afluentes, como o Riacho do Funil e na ilha da Jibóia (Figura 20). Nesse segmento, os bosques de mangue apresentam baixo (altura < 7m) a médio porte (altura de 7m a 15m), com ocorrência das espécies vegetais típicas de mangue: *R. mangle*, *A. schaueriana*, *L. racemosa*, e das espécies associadas: *C. erecta* e *Spartina sp.*

Conforme Semensatto (2006), os canais naturais do sistema estuarino lagunar do Rio São Francisco são diferentemente influenciados por águas marinhas e fluviais, o que origina uma distribuição variável das espécies florísticas de mangue, ocorrendo determinadas áreas com melhores condições para o desenvolvimento de bosques de mangue.

Portanto, conclui-se que quanto às diferenças na estrutura da vegetação entre os segmentos da área de estudo (Figura 92), os bosques de mangue com maior porte (altura > 15 m) ocorrem no segmento do Canal do Carapitanga, enquanto bosques de baixo (altura < 7 m) a médio porte (altura de 7 a 15 m) ocorrem nos segmentos do Canal do Poço e do Parapuça. Já com relação à composição florística, a presença espécie típica de mangue *A. germinans*, a alta ocorrência da espécie associada *A. aureum*, e a presença de espécies de

ambientes de água doce como *A. glabra* (araticum, araticum-do-brejo) e *M. arborecens* (aninga) são características únicas do segmento do Canal do Parapuca.

Alterações espaço-temporais (2000-2008) na Foz do Rio São Francisco

Na foz do Rio São Francisco observou-se intensas alterações ao longo de oito anos (2000-2008). A linha de costa junto à foz vem reduzindo (Figuras 87, 88, 89), ocorrendo erosão de áreas ocupadas por manguezal (Figuras 90) e restinga.

Diversos estudos relatam a erosão acentuada nessa região da foz (e.g. FONTES, 2003; BITTENCOURT et al. 2007; SEMENSATTO, 2006, FORMOSO, 2008) e identificam a desembocadura do Rio São Francisco como um dos casos mais severos de erosão encontrados na zona costeira de Sergipe. A intensidade dos processos erosivos nessa área resultou na destruição do povoado de Cabeço no ano de 1998, e conseqüentemente, a população local teve que ser removida para outra área (FONTES, 2003).

Vários autores afirmam que o acelerado processo de erosão na foz do Rio São Francisco é decorrente das intervenções humanas relacionadas à construção de grandes barragens a montante do rio (e.g. SANTOS, 1997, FONTES, 2003; BITTENCOURT et al. 2007, CUNHA 2006; CUNHA; HOLANDA, 2006) uma vez que os efeitos das barragens são sentidos, não apenas na foz, mas sim em toda a região do Baixo São Francisco.

Nos últimos anos, uma série de impactos ambientais tem sido relatada para a região do Baixo São Francisco como resultante das construções e operação das barragens que tiveram início na década de 70 (ALMEIDA;

GOMES, 2006), com a construção da Barragem de Sobradinho, no médio-baixo Rio São Francisco (MEDEIROS, 2003), que em fins de maio de 1978 apresentava seu reservatório em cota máxima (SUASSUNA, 1999).

A represa de Sobradinho foi construída para regularizar a vazão do Rio São Francisco, e com isso liberar no mínimo $2.060\text{m}^3/\text{s}$ para alimentar as usinas existentes à jusante: Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I, II, III e IV e Xingó (SUASSUNA, 1999). Com a operação dessa série de barragens, uma grande parte dos sedimentos que anteriormente chegava à zona estuarina e costeira, é retida nesses reservatórios. Além do mais, como essas barragens se localizam em ambiente climático semi-árido, ocorre apreciável perda de água dos reservatórios por evaporação. A reposição de água e materiais por tributários ao longo deste trecho até a foz é muita baixa (MEDEIROS, 2003).

Conforme Formoso (2008) para se analisar a influência das barragens sobre o regime hídrico e sedimentológico na região da Foz do Rio São Francisco podem ser adotados 3 períodos. O primeiro, de 1978 a 1987, que corresponde à fase em que se iniciou a influência de Sobradinho; um segundo período, de 1988 a 1993, que corresponde à fase em que são somadas as intervenções de Sobradinho e Itaparica, além de Paulo Afonso IV e Moxotó, ampliando o controle sobre as vazões e a retenção de sedimentos no trecho abaixo de Sobradinho. E um terceiro período, a partir de 1994, que corresponde à fase sob influência direta da Usina de Xingó.

No período de 1980 a 2000, a vazão do Rio São Francisco foi reduzida em 30%. Com a construção da última barragem de Xingó em 1995, localizada a 180 km da Foz, a vazão foi regularizada, eliminando a variabilidade sazonal da descarga fluvial. Nos últimos 20 anos, as concentrações, cargas e as

descargas específicas de matéria em suspensão foram reduzidas de 70 a 5 mg/l, de 7 a 0.3 x 106t/ano e de 4.2 a 0.2 t/km²/ano, respectivamente, em função da retenção dos materiais pelas barragens (MEDEIROS, 2003). Segundo Knoppers et al., (2006) a perda de vazão e descarga de sedimentos após a construção de barragens resulta em decaimento da produtividade primária, perda de recursos pesqueiros, intrusão de água marinha nos seus deltas e desestabilização/erosão da costa.

Nesse contexto, vale destacar que na escala da paisagem (nível *setting*), conforme a proposta de Thom (1984), o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco é um ambiente costeiro extremamente dinâmico, onde a combinação das energias de onda e da descarga fluvial promove a formação de depósitos arenosos que funcionam como barreiras contra forças erosivas. Portanto alterações na descarga fluvial, como os que ocorrem com a construção de barragens, podem desestabilizar o balanço entre erosão e deposição nesse tipo de ambiente, conduzindo a alterações em áreas de manguezal.

Segundo a abordagem fisiográfica proposta por Thom (1984), três “estados fisiográficos” constituem a estrutura na qual a direção das alterações em áreas de manguezal pode se discernida. O primeiro estado é formado por dominância do aporte e acréscimo de sedimentos conduzindo a acumulação lateral e/ou vertical. No outro extremo, o segundo estado é caracterizado por condições erosivas que podem conduzir a destruição do hábitat pela remoção de superfícies de terra. O terceiro estado representa um quase equilíbrio onde há um balanço entre erosão e deposição em uma dada área (THOM, 1984).

De acordo com Vale (1999) não restam dúvidas sobre a capacidade dos manguezais responderem a eventos erosivos e/ou deposicionais da linha de

costa, pois onde quer que ocorram são um reflexo da interação entre os ambientes continentais e marinhos. Entretanto, segundo aquela autora, as dúvidas pairam sobre a natureza dos eventos que provocam as alterações na linha de costa. Assim as seguintes questões são levantadas por Vale (1999):

“Serão essas mudanças oriundas das mudanças climáticas globais? Tais alterações poderiam ser atribuídas às atividades humanas ao longo de uma bacia de drenagem? Qual a causa predominante nesses processos de erosão e sedimentação da linha de costa, fluvial ou marinha?”

No presente estudo alterações espaço-temporais decorrentes de processos erosivos na linha de costa e em manguezais foram detectadas. Segundo a abordagem fisiográfica proposta por Thom (1984), essas alterações na área de estudo caracterizam um estado fisiográfico de condições erosivas. Entretanto o(s) agente(s) causador(es) dessas alterações não foram investigados no presente estudo. Todavia estudos (e.g. MEDEIROS, 2003, KNOPPERS et al., 2007, MEDEIROS, 2007, FORMOSO, 2008) indicam que a introdução de uma série barragens ao longo do Rio São Francisco vem reduzindo drasticamente a vazão e aporte de sedimentos que chegam até a foz do Rio São Francisco. Dessa forma, considera-se que a introdução de barragens ao longo da bacia do Rio São Francisco, pode ser o fator preponderante para a aceleração dos processos erosivos que ocorrem na região e nos manguezais da foz do Rio São Francisco, uma vez que a introdução das barragens acarretou na redução de descarga fluvial e de aporte de sedimentos, que seriam retrabalhados na formação de barreiras arenosas contra forças erosivas.

CONCLUSÕES

- Atualmente, cerca de 93% (179 km²) da zona costeira do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco é ocupada por áreas de vegetação natural, como as unidades de cobertura: *manguezal* (30 Km², 16%), *apicum* (1,4 Km², 0,7%) e *formações pioneiras de influência marinha* (147 Km², 77%); enquanto que cerca de 7% (13,56 km²) dessa zona costeira é ocupada por áreas antrópicas, na forma do uso da terra para *aquicultura* (4,6 Km², 2,4%) e *culturas de coco e arroz* (9 Km², 4,7%).

- Os manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco vêm a pelo menos 40 anos sendo pressionados por diferentes formas de uso da terra. Até o final da década de 70 o uso da terra para extração de sal (salinas) e plantios de coco e arroz ocorria entre e sob a vegetação de mangue. Na década de 80 plantios de coco e arroz continuam pressionando áreas de manguezais, enquanto que salinas desativadas foram convertidas em viveiros de peixe. No final da década de 90 esse cenário foi mudado pelo início da atividade de carcinocultura, que implicou na perda de mais áreas de manguezal e a substituição da criação de peixes locais pelo criação do camarão exótico *L. vanamei*.

- Atualmente o estado de conservação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco encontra-se bastante vulnerável devido à incidência de tensores antrópicos como aquicultura (predominantemente carcinocultura) e plantios de coco e arroz. A área total ocupada por esses usos da terra (13,6 Km²) em relação à área total de manguezal (30,1 Km²) é de cerca de 25%, o que pode indicar que aproximadamente ¼ dos manguezais do

sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco foram alterados ou convertidos para usos antrópicos.

- A aquicultura ocupa atualmente 4,5 Km², cerca de 15% da área total de manguezal. Esse uso na forma de carcinocultura é atual e o principal tensor antrópico para conservação ambiental do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, uma vez que essa atividade desenvolve-se sem adequado planejamento, implicando em supressão e fragmentação de manguezais, comprometimento da qualidade ambiental dos corpos d'águas e da vida de populações locais que são dependentes dos recursos naturais do manguezal. Diante desse cenário, uma prevista expansão da carcinocultura para mais 825 ha, como apontada pela CODISE (2004), deve ser reavaliada, uma vez que implicará na acentuação dos problemas já existentes, como no caso da fragmentação, o que poderá acarretar em perdas na biodiversidade da zona costeira.

- Embora pressionada por pelo menos 40 anos, a vegetação dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, demonstrou ser bastante resiliente, regenerando-se após sofrer alterações antrópicas. Foi observada a recomposição natural da vegetação de mangue em áreas antes destinadas para salinas, aquicultura e culturas de coco e arroz. Entretanto a composição e a estrutura de vegetação secundária de mangue podem ser diferentes da original, o que pode trazer consequências para funções desempenhadas pelo ecossistema.

- Na escala da paisagem (nível *setting*), o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco é um ambiente extremamente dinâmico, onde a combinação das energias de onda e da descarga fluvial promove a formação de depósitos

arenosos que funcionam como barreiras contra forças erosivas, formando áreas mais abrigadas para o estabelecimento dos manguezais. Nesses ambientes, qualquer alteração nessas energias pode desestabilizar o balanço entre erosão e deposição. Portanto, alterações antrópicas em nível da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, como introdução de barragens, pode ser o fator preponderante para a aceleração dos processos erosivos que ocorrem nos manguezais e na foz do Rio São Francisco, uma vez que acarretam na redução de sedimento que seriam retrabalhados para compensar a dinâmica costeira.

- Na escala da unidade de paisagem (nível *stand*), o sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco apresenta três segmentos, que são diferentemente influenciados por águas marinhas e fluviais, e apresentam na escala local (nível *site*), bosques de mangue com diferentes composições florísticas e porte da vegetação.

- O emprego de imagens de satélites, fotografias aéreas e SIG revelaram ser importantes ferramentas para o diagnóstico ambiental dos manguezais do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco, permitindo a caracterização do uso e da cobertura da terra, a identificação dos tensores antropogênicos incidentes nos manguezais e a detecção de alterações espaço-temporais decorrentes de processos erosivos.

- A conservação da diversidade paisagística, biológica e sócio-cultural do sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco depende de um plano de gestão costeira que considere: (1) a conservação dos manguezais como prioridade diante da expansão da carcinocultura, (2) a recuperação da vegetação de manguezal em áreas onde o uso antrópico já foi desativado, (3) o

manejo das atividades antropogênicas já existentes de forma a considerar a capacidade de suporte do ecossistema manguezal e dos corpos d'água, e (4) a manutenção das populações locais diante dos conflitos gerados pela carcinocultura e sua segurança frente às alterações geradas pelos intensos processos erosivos na região da foz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. **Litoral do Brasil**. São Paulo: Metavídeo SP Produção e Comunicação, LTDA, 2001.
- ADMINISTRAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (ADEMA). **Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangue do Estado de Sergipe**. Sergipe: 1984. 208p.
- AFONSO, Cíntia Maria. **A paisagem da Baixada Santista: urbanização, transformação e conservação**. São Paulo: Edusp/ Fapesp, 2006. 309p.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUA (ANA/GEF/PNUMA/OEA). **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Subprojeto 4.5C-Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco -PBHSF (2004-2013), 2004, 133p.
- ALMEIDA, J. A. P.; GOMES, L. J. Dinâmica da paisagem na foz do Rio São Francisco a partir de imagens LANDSAT e CBERS. III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju, 2006. **Anais do III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, 5p., 2006
- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environ. Conserv.** v. 29, n. 331, 2002.
- ALVES, N.M.S.; FONTES, L.A.; SILVA, D.B.; ALMEIDA, J.A.P. Dinâmica geoambiental, processos morfodinâmicos e uso das terras em Brejo Grande, Baixo São Francisco – Sergipe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.2, p.11-21, 2007
- ANDERSON, P. **Fundamentos para Fotointerpretação**. Brasília: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 118p.
- ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on bird and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. **Oikos**, v. 71, p. 355-366, 1994.
- ANTUNES, A.F.B.; CENTENO, J.A.S. Aplicação de dados de sensores remotos de alta resolução em zonas urbanas. In: BLASCHKE, T. KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. São Paulo: Oficina de textos, 2ª edição, 2007, p.189-197.
- ASMUS, M.; KITZMANN, D. **Gestão costeira no Brasil: estado atual e perspectivas**. Versão preliminar, publicação Ecoplata: Programa de Apoyo a la Gestión Integrada en la Zona Costera Uruguay, 2004.
- AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation**. 5ª ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992. 472p.
- BARRETO, R.; PIERROBON, J.L.; RAMOS, A.L.A. Uso de imagens CBERS para avaliação da evolução da atividade de carcinicultura em Sergipe entre 2005 e 2008. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: INPE, p. 1951-1958, 2009.
- BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S/A. Municípios litorâneos (SEPLANTEC/PRODETUR/SE): foto aérea. São Paulo, 2003. Escala 1:25.000.
- BLASCHKE, T.; GLÄSSER, C.; LANG, S. Processamento de Imagens num ambiente Integrado SIG/Sensoriamento Remoto- tendências e

- conseqüências. In: BLASCHKE, T. KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. São Paulo: Oficina de textos, 2ª edição, 2007, p. 11-18p.
- BRASIL. Resolução nº 01/MM, de 21/11/90. Aprova o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). DOU 27/11/90 p. 22.634/39, 1990.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. São Francisco, 2010. (<http://www.integracao.gov.br/saofrancisco/>, consultado em 11/02/2010)
- BITTENCOURT A.; OLIVEIRA, M.B.; DOMINGUEZ, J.M.L. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**: Sergipe. CPGG, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2007.
- BONETTI FILHO, J. **Sensoriamento remoto aplicado à análise de ambientes costeiros impactados**: avaliação metodológica – Baixada Santista. São Paulo. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, 1996, 260p.
- BOMFIM, L.F.C. Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: Estado de Sergipe. Diagnóstico do Município de Pacatuba. Aracaju: CPRM, 2002.
- BREWER, C. A. **Designing better maps**: a guide for GIS users. Redlands: ESRI Press, 2005. 199p.
- CENTRO DE PESQUISA E GESTÃO DE RECURSOS PESQUEIROS DO LITORAL NORDESTE (CEPENE). Boletim estatístico da pesca marítima e estuarina do Nordeste do Brasil - 2005. Tamandaré: CEPENE, 2007.
- CARVALHO, Márcia. Eliane. **A carcinicultura na zona costeira do estado de Sergipe**. Dissertação de mestrado em Geografia, Núcleo de pós-graduação em Geografia, UFS. São Cristóvão: 2004. 178p.
- CARVALHO, M. E. FONTES, A. L. Estudo ambiental da zona costeira sergipana como subsídio ao ordenamento territorial. In: **Anais do Geonordeste Ano XV**, nº 2, 2006, pp.10-19.
- CAVALCANTI, A. P. B. **Métodos e técnicas da pesquisa ambiental**. Teresina: UFPI/CCHL/DGA, 2006. 111p.
- CLARK, John. **Coastal Zone Management Handbook**. New York: Ed. Lewis Publish, 1996. 694p.
- CLARK, D.B., CASTRO, C.S., ALVARADO, L.D.A. and READ, J.M., 2. Quantifying mortality of tropical rain forest trees using high spatial resolution satellite data. **Ecology Letters**, v. 7, n. 1, p. 52–59, 2004.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E DOS RECURSOS MINERAIS DE SERGIPE (CODISE). Secretaria de Estado da Indústria Comércio e Turismo (SEIC), Secretaria de estado da Agricultura, do Abastecimento e da Irrigação (SAGRI). Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO). **Programa de Revitalização da Aquicultura no Baixo São Francisco de Sergipe**. Aracaju: CODISE, Governo do Estado de Sergipe. 2003. 20p.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E DOS RECURSOS MINERAIS DE SERGIPE (CODISE). Governo do Estado de Sergipe. Secretaria de Estado da Indústria Comércio e Turismo. SEIC. Secretaria de estado da Agricultura, do Abastecimento e da Irrigação. SAGRI. Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe. EMDAGRO. **Estudo de áreas potenciais para o Cultivo de Camarão Marinho em Sergipe**. Aracaju: CODISE, 2004. 15p.

- COSTA, R.B.; SCARIOT, R.B.C. A fragmentação florestal e os recursos genéticos, p.53-74, 2003. In: COSTA, R.B., A fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região centro-oeste, Campo Grande: UCDB, 2003.
- COUTINHO, P. N. (coord.). Programa REVIZEE. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil. Oceanografia Geológica da região Nordeste. MMA/SMA, 1995.
- CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Gráfica UNICAMP, Campinas: 1992, 170p.
- CRUZEIRO DO SUL SERVIÇOS AEROFOTOGRAFÉTRICOS. Fotografias aéreas preto e branco, 21 de dezembro 1971. Fotos nº: PC-E7-05-III3 e PC-E7-05-II39. Escala 1: 70.000.
- CUENCA, M.A.G.; NAZÁRIO, C.C. A rizicultura no Baixo São Francisco – Aspectos conjunturais e sua evolução na década de 90. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Documentos, 43, 21p, 2002. (<http://www.cpatc.embrapa.br>, consultado em 12/12/2009).
- CUNHA, C. J. **Sustentabilidade de agroecossistemas**: um estudo de caso no estuário do Rio São Francisco. 2006, 139f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2006.
- CUNHA, C. J. HOLANDA, F. S. R. Relação Homem-Natureza: A Pertinência da Ética Ambiental em Agroecossistemas no Estuário do Baixo São Francisco, **Revista da Fapese**, v.2, n. 1, p. 113-124, 2006.
- CUNHA-LIGNON, M. **Dinâmica do manguezal no Sistema de Cananéia-Iguapé, Estado de São Paulo-Brasil**. 2001. 72f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- CUNHA-LIGNON, M. **Ecologia de manguezais**: Desenvolvimento espaço-temporal no sistema costeiro Cananéia-Iguapé, São Paulo, Brasil. 2005. 178f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- CUNHA-LIGNON, M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; COELHO-Jr. C. “Utilização de ferramentas de diferentes escalas espaço-temporais como subsídio para análise do estudo dos níveis hierárquicos do manguezal”. In: **IX Congresso Latino Americano de Ciências do Mar**, 2001. **Anais...** CD-ROM/Resumos Aplicados/Biodiversidade/Número031, 3p.
- CUNHA-LIGNON, M.; MENGHINI, R. P.; SANTOS, L.C.M.; NIEMEYER-DINÓLA, C.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Análises espaço-temporais dos manguezais do estado de São Paulo (Brasil): subsídios à gestão costeira. **Revista Gestão Costeira Integrada para Países de língua portuguesa**. v. 9, n. 1, 79-91, 2009. <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/RGCI-125Cunha-Lignon.pdf>
- DAHDOUH-GUEBAS, F. The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. **Environment, Development and Sustainability**, v. 4, p. 93-112, 2002.
- DAHDOUH-GUEBAS, F.; VERHEYDEN A., DE GENST; HETTIARACHCHI, S.; KOEDAM, N. “Four decade vegetation dynamics in Sri Lanka mangroves as detected from sequential aerial photography: a case study in Galle”. **Bulletin of Marine Science**, v. 6, n. 2, p. 741-759, 2000.
- DAHDOUH-GUEBAS, F., HIEL, E.V., CHAN, J.C.W., JAYATISSA, L.P., and KOEDAM, N. Qualitative distinction of congeneric and introgressive

- mangrove species in mixed patchy forest assemblages using high spatial resolution remotely sensed imagery (IKONOS). **Systematics and Biodiversity**, v. 2, n. 2, p. 113-119, 2005.
- DAHDOUH-GUEBAS F, VERHEYDEN A, KAIRO JG, JAYATISSA LP, KOEDAM N. Capacity building in tropical coastal resource monitoring in developing countries: a re-appreciation of the oldest remote sensing method. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology** v.13, p. 62-76, 2006.
- DYER, K. R. **Estuaries: a physical introduction**, 2. ed., Chichester: Wiley, 1997, 195p.
- DIEGUES, A. C. Estuário do Rio São Francisco e várzeas. In: DIEGUES, A. C. **Povos e águas: inventário de áreas úmidas**. 2002, p. 250-259.
- DUKE, N.C.; BALL, M.C., ELLISON, J.C., **Glob. Ecol. Biogeogr. Lett.** v. 27, n. 7, 1998.
- DUKE, N.C.; MEYNECKE, J.-O.; DITTMANN, A.M.; ELLISON, A.M.; ANGER, K.; BERGER, U.; CANNICCI, S.; DIELE, K.; EWEL, K.C.; FIELD, C.D.; KOEDAM, N.; LEE, S.Y.; MARCHAND, C.; NORDHAUS, I.; DAUDOUH-GUEBAS, F. A world without mangroves? **Science**, v. 317, p. 41-42, 2007.
- EHRlich, P.R. The loss of diversity: causes and consequences. In: WILSON, E.O., **Natl. Acad. Press. Biodiversity**, Washington, DC, USA, p.29-35, 1988.
- ELLISON, A.M.. Mangrove restoration: do we know enough? **Restoration Ecology**, v. 8, n. 3, p. 219-229, 2000.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on Biodiversity. **Ann. Ver. Ecol. Syst.**, v. 34, p. 487-515, 2003.
- FIELD, C.D. Rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview. **Marine Pollution Bulletin**, v. 37, n. 8-2, p. 383-392, 1998.
- FILGUEIRAS, T.S.; NOGUEIRA, P.E.; BROCHADO A.L.; GUALA II, G.F. Caminhamento: um método expedito para levantamentos florísticos qualitativos. **Cadernos de Geociências**, n. 12, p. 39-43, 1994.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The world's mangrove 1980-2005**. FAO Forestry Paper, nº 153, 2007. 89p.
- FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.
- FONTES, A.L. Aspectos da geomorfologia costeira no norte do estado de Sergipe. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, II, Águas de Lindóia, 1990. **Anais...** Águas de Lindóia, 1990.
- FONTES, L. C. (coord.) **Estudo do processo erosivo das margens do Baixo São Francisco e seus efeitos na dinâmica de sedimentação do rio**. Resumo executivo do relatório final do Projeto de Gerenciamento Integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do Rio São Francisco, ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003, 81p.
- FORMOSO, L.C. **Erosão e sedimentação no delta do São Francisco: considerações sobre a interferência dos barramentos no sistema costeiro**. 2008, 47f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2008.

- GIS. Geographic Information System. (<http://www.gis.com/whatisgis.pdf>, 30/04/2004).
- GLEASON, H. A.; M. T. COOK. 1926. Plant ecology of Puerto Rico. Scientific survey of Puerto Rico and the Virgin Islands, vol. 7(1). New York Academy of Sciences, New York. 96 PP., plates.
- GONÇALVES, F.D. **Utilização de dados de Sensores Remotos para o Mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo na Baía de Guajará, Belém- PA.** Dissertação de Mestrado em Ciências, Universidade Federal do Pará, 2005, 162p.
- GREEN, E.P.; CLARK, C.D.; MUMBY, P.J.; EDWARDS, A.J.; ELLIS, A. C. Remote Sensing techniques for mangrove mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 5, p. 935-956, 1998.
- GUIMARÃES, A. S. **Carcinicultura Marinha Brasileira: Sustentabilidade, Reflexões, Históricas e Situação Atual.** Monografia de Especialização (Gestão de Ambientes Costeiros Tropicais) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco-Brasil. 2005, 86p.
- GUIMARÃES, A. S. **Análise multitemporal da superfície de manguezal do Litoral norte de Pernambuco: a participação da aqüicultura na conversão de áreas de mangue em viveiro.** Dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em Recursos Pesqueiros e aqüicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007, 94p.
- HERZ, R. **Os manguezais do Brasil.** São Paulo, IOUSP-CIRM, 1991, 233p.
- HOBBS, R.J.. Landscape ecology and conservation: moving from description to application. **Pacific Conservation Biology** v. 1, p. 170-176, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Carta topográfica: Piaçabuçu, Região Nordeste do Brasil. Folha SC.24-Z-B-III-3, MI-1668-3, Escala: 1:50.000, 1986.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Resultados da Amostra do Censo Demográfico 2000 - Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico do uso da terra.** Manuais técnicos em geociências, n. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS (IBAMA). **Diagnóstico da Carcinicultura no Estado do Ceará,** s/l, 2005. (http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0B19D3B1/DIAGDACAR_CINICULTURACEARA.pdf, em 20/07/2007).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Processamento digital de imagens no SPRING**, apostila prática. 2005.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Introdução ao SPRING**, apostila teórica. 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Manuais: tutorial de Geoprocessamento**, <http://www.dpi.inpe.br/spring>, 2008. (consultado em 09/2008).
- JIMÉNEZ, J.A. Ambiente, distribución y características estruvturales de los manglares del Pacífico de Centro America: contratos climáticos. In: YÁÑEZ-ARANCIBIA; LARA-DOMINGUEZ, A.L., Eds. **Ecosistemas de Manglar em America Tropical**, Instituto de Ecología, A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS, Silver Springs MD USA, p. 51-70, 1999.

- KJERFVE, B. **Manual for investigation of hydrological process in mangrove ecosystems.** Columbia: UNESCO/UNDP, Regional Project, 1990. 79p.
- KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P.; SOUZA, W.F.L.; JENNERJAHN, T. The São Francisco Estuary, Brazil. In: **Handbook of Environmental Chemistry**, Vol.5-H, p. 51-70, 2006.
- KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P.; SOUZA, W.F.L.; OLIVEIRA, E.N.; LORENZZETTI, J.A.; SANTOS JÚNIOR, R. C. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, Florianópolis, 2007 In: **Anais do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar.** Florianópolis: AOCEANO, 2007
- LAMBERTI, A. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do Manguezal de Intanhaem. Faculdade Filosofia, Ciências e Letras, Universidades São Paulo. No. 317, Botânica no. 23. 217p., 1969.
- LIMA, R. N. **Análise ambiental de uma unidade de conservação. Estudo de caso:** Parque Estadual Paulo César Vinha, Setiba, Guarapari, ES, 2006. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos: 1996.
- LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2008. 103p.
- LOMOLINO, M. V. PERAULT, D. R. Island biogeography and landscape ecology of mammals inhabiting fragmented, temperate rainforests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, p. 113-132, 2001
- LONGHURST, A. **Ecological geography of the sea.** California: Academic Press, 1998. 398p.
- LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G. Aplicações do Sensoriamento remoto na geografia. In: VENTURI, L.A.B. **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental.** São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 33-54.
- MARTINELLI, M. Caderno de mapas. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003, 160p.
- MARTINUZZI, S.; GOULD, W.A.; LUGO, A. E; MEDINA, E. 2009. Conversion and recovery of Puerto Rican mangroves: 200 years of change. *Forest Ecology Management* **257** (1), 75-84.
- MEDEIROS, P. R. P. **Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco**, após a construção da Usina Hidrelétrica do Xingo (AL/SE) Tese de Doutorado em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, 2003, 182p.
- MEDEIROS, P. R. P; KNOPPERS, B. A.; SANTOS JÚNIOR, R. C.; SOUZA, W.F.L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 212 - 231, 2007.
- MEDINA, E.; CUEVAS, E.; POPP, M.; LUGO, A.E. Soil salinity, sun exposure, and growth of *Acrostichum aureum*, the mangrove fern. **Bot. Gaz.**, v. 151, n. 1, p. 41-49, 1990.
- MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C. FLORENZANO, T. J.; SOUZA, I. M. O uso de imagens CBERS no monitoramento do desflorestamento da Amazônia Brasileira. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005, p. 1313-1320.

- METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1/2, n. 1, p. 1-9, 2001. (<http://www.biotropica.org.br>, em 10/02/2006).
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS. Carta geológica da Bacia Sergipe Alagoas. Folhas: Penedo (SC 24-Z-B-III-4), Piaçabuçu (SC 24-Z-B-III-3), Ponta dos Mangues (SC 24-Z-B-V-2), São Francisco do Norte (SC 24-Z-B-IV-1). Escala: 1: 50.000, 1975.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (MMA). **Perfil dos estados litorâneos do Brasil**: subsídios à implantação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro. Brasília: Programa Nacional do Meio Ambiente, 1995, 211p.
- MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002. 411p.
- MOHAMED, M.O.S.; NEUKERMANS, G.; KAIRO, J.G.; DAHDUH-GUEBAS, F.; KOEDAM, N. 2009. Mangrove forests in a peri-urban setting: the case of Mombasa (Kenya). *Wetlands Ecol Management* **17**, 243-255.
- MONTEIRO, C.A.F. **Aspectos geográficos do Baixo São Francisco**. Associação de geógrafos brasileiros, avulso n° 5, 1962, 94p.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed., Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.
- NOGUEIRA, R. E. **Cartografia**: representação, comunicação e visualização de dados espaciais. Florianópolis: Editora da UFSC, 2008. 314p.
- NOVO, E. M.L.M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 2ª edição, 4ª impressão. 1992. 308p.
- PASSOS, L.G.; SILVA, M.R.L.F.; VALE, C.C. Uso do satélite CBERS para detecção do manguezal da Baía de Vitória-ES. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 1009-1016.
- PRITCHARD, D. W. Estuarine circulation patters. **Proc. Am. Soc. Civ. Eng.**, v.81, n. 717, p.1-11, 1955.
- PRIMAVERA, J. H. Socio-economic impacts of shrimp culture. **Aquaculture Research**, v. 28, p. 815-827, 1997.
- QUEIROZ FILHO, A.P. A escala nos trabalhos de campo e laboratório. In: VENTURI, L.A.B. **Praticando Geografia**: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 55-67.
- READ, J.M., CLARK, D.B., VENTICINQUE, E.M., and MOREIRA, M.P. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 40, n. 3, p. 592-600, 2003.
- ROSA R.; **Introdução ao sensoriamento remoto**. Ed. Edufu, 5ª edição; 2003, 228p.
- ROSS, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, v. 6, p. 17-29, 1992.
- SALVADOR, V. Carcinicultura nordestina: um exemplo clássico de ineficiência de produção. **Jornal da Cidade**, Aracaju, 03 de julho de 2005.
- SANT'ANNA, E. M.; WHATELY, M. M. Distribuição dos manguezais do Brasil. **Revista Brasileira Geográfica**, Rio de Janeiro, v.43, n.1, p.47-63, 1981.

- SANTOS, L.C.M. **Análise da variação espaço-temporal de bosques de mangue do Rio Iriri (Baixada Santista, São Paulo, Brasil)**, antes e após o derrame de petróleo ocorrido em 1983. 2007, 115f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Rio Claro, 2007.
- SANTOS, L.C.M.; CUNHA-LIGNON, M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ocupação antrópica na zona costeira de São Paulo: alteração da paisagem em torno do Canal da Bertioga (Baixada Santista, Brasil). In: Braga, E.S. (org.) **Oceanografia e Mudanças Globais**. IOUSP, São Paulo, v. IV, p. 599-605, 2008a (http://www.io.usp.br/arquivos/proceedings/599_605.pdf, consultado em 5/11/2009)
- SANTOS, L.C.M.; CUNHA-LIGNON, M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO. Aerial photographs and GIS used to assess oil spill impacts in a mangrove area (Baixada Santista, São Paulo, Brazil): multitemporal analysis as a tool to support coastal management and conservation issues. In: 28th ESRI International User Conference, San Diego, CA, EUA. **Abstracts of the 28th ESRI International User Conference**, 1p., 2008b.
- SANTOS, L.C.M.; CUNHA-LIGNON, M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Satellite images (CBERS-2B and SPOT-5) processing used to map mangrove forests and the coastal landscape in the São Francisco River Estuary, Northeast Brazil. In: Remote Sensing and Photogrammetry Society Annual Conference, 2009, Leicester, UK. **Proceedings of RSPSoc 2009 Annual Conference**, Leicester: RSPSoc, 2009, p.68-76.
- SANTOS, M.M. **Ponta dos mangues**: relação sociedade-natureza. Dissertação de Mestrado, UFS, Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, São Cristóvão: 1997. 95p.
- SANTOS, R.F. Planejamento ambiental: teoria e prática, São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.
- SAYRE, R.; ROCA, E.; SEDAGHATKSH, G.; YOUNG, B.; KEEL, S.; ROCA, R.L.; SHEPPARD. Nature in focus: rapid ecological assessment. Washington, D.C.: Island Press, The Nature Conservancy, 2000. 182p.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. **Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986, 150p. + 3 apêndices.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G., ADAIME, R. R. CAMARGO, T.M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian Coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204-219, 1990.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. Manguezais Brasileiros. Livre-docência, IOUSP, São Paulo: 1991, 42p.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. São Paulo, 2000.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SOARES, M. L. G. DE-ROSA, T. "Brazilian mangroves." **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, p. 561-570, 2000.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; MOLERO, G. C.; LIGNON, M. C. and COELHO-Jr. C. "A conceptual hierarchical framework for marine coastal Management and conservation: a *Janus-Like* Approach." **Journal of Coastal Research**, v. 42, p. 191-197, 2005, special issue.

- SECRETARIA DE ESTADO DE PLANENAMENTO DE SERGIPE (SEPLAN). Diagnóstico sócio-econômico do Município de Brejo Grande. (<http://www.seplan.se.gov.br/supes/modules/tinyd0/index.php?id=13>, consultado em 5/02/2010).
- SEMENSATTO JÚNIOR, D. L. **O sistema estuarino-lagunar do Rio São Francisco (SE)**: análise ambiental com base no estudo de foraminíferos e tecamebas. Tese de Doutorado, UNESP, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Rio Claro: 2006, 223p.
- SILVA, N. M. **Dinâmica de uso das terras nos municípios de Bonito, Jardim e Bodoquena (MS)** e o estado de conservação dos recursos biológicos do Parque Nacional da Serra da Bodoquena e de sua zona de amortecimento. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia. 2008, 235p.
- SOUZA FILHO, P. W. M. PARADELLA, W. R. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. **Wetlands Ecology and Management**, v. 10, p. 123-132, 2002.
- SOUZA, C.R.G.; HIRUMA, S.T.; SALLUN, A.E.M.; RIBEIRO, R.R.; SOBRINHO, J.M.A. **“Restinga”**: conceitos e empregos do termo no Brasil e implicações na legislação ambiental. São Paulo: Instituto Geológico, 2008.
- SRIVASTAVA, P.B.L., KEONG, G.B. MUKTAR, A.. Role of *Acrostichum* species in natural regeneration of *Rhizophora* species in Malaysia. **Tropical Ecology**, v. 28, n. 2, p. 274-288, 1987.
- SUSSUANA, J. Rio São Francisco: conflitos nos usos de suas águas. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, 08 de junho de 1999.
- THOM, B. G. Mangrove ecology: a geomorfology perspective. In: CLOUGH, B. F. (org.). **Mangrove Ecosystems in Australia**. Canberra: Australian National University Press, 1982, pp. 3-16.
- THOM, B. G. Coastal landforms and geomorphic process. In: SNEDAKER, S. C. SNEDAKER, J. G., (eds.) **The Mangrove Ecosystem: research methods**. UNESCO, 1984, p. 3-17.
- VALE, C. C. **Contribuição ao estudo dos manguezais como indicadores biológicos das alterações geomórficas do Estuário do Rio Mateus (ES)**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 1999, 171p.
- VALE, C. C. **Séries geomórficas costeira do Estado do Espírito Santos e os habitats para o desenvolvimento dos manguezais**: uma visão sistêmica. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 2004. 386p.
- WAINBERG, A. A.; CAMARA, M. R. Carcinicultura no litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: interações ambientais e alternativas mitigadoras. In: AQUACULTURA BRASIL'98, 1998, Recife. **Anais do AQUACULTURA BRASIL'98**, p. 527-544, 1998.
- WILCOVE, D.S.; MCLELLAN, C.H.; DOBSON A.P. Habitat fragmentation in the temperate zone, 1986, p.237-56. In: SOULÉ, M.E. **Conservation Biology**, Sunderland, MA, Sinauer, 1986.