

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA

VALDENIRA FERREIRA DOS SANTOS

AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS:
Avaliação de Modificações por Sensoriamento Remoto

Niterói- RJ

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

VALDENIRA FERREIRA DOS SANTOS

**AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS:
Avaliação de Modificações por Sensoriamento Remoto**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciências.
Área de Concentração: Geologia e Geofísica Marinha

Orientador: Prof. Dr. Alberto Garcia de Figueiredo Jr.

Co-Orientadores: Prof^a. Dr^a. Odete Fátima Machado da Silveira

Dr. Laurent Polidori

Niterói

2006

S237 Santos, Valdenira Ferreira dos

Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto/ Valdenira Ferreira dos Santos. – Niterói :

s.n., 2006.

306 f. : il.

Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Universidade Federal Fluminense, 2006.

1. Sensoriamento remoto. 2. Modificação ambiental.
3. Estuários - Interpretação de dados - Sensoriamento remoto.
4. Costa Amazônica. I. Título.

CDD 526.982098115

VALDENIRA FERREIRA DOS SANTOS

AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS:

Avaliação de Modificações por Sensoriamento Remoto

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciências. Área de Concentração: Geologia e Geofísica Marinha

Aprovada em 10 de agosto de 2006.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alberto Garcia de Figueiredo Jr. (Orientador)
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof^ª. Dr^ª. Odete Fátima Machado da Silveira (co-orientadora)
Universidade Federal do Pará - UFPA

Dr. Laurent Polidori
Institut de Recherche pour le Développement – IRD (co-orientador)

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho
Universidade Federal do Pará - UFPA

Dr. Fernando Pellon de Miranda
Centro de Pesquisas da PETROBRÁS - CENPES

Prof. Dr. Gilberto Tavares de Macedo Dias
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Marcus Polette
Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI

Niterói
2006

À minha família, que na escola da vida em águas amazônicas, ensinou-me a olhar os sinais da terra e suas transformações. Pelos exemplos de fé, coragem, honestidade e persistência na vida. Por mais que eu viva mil anos jamais saberei e conseguirei retribuir a essa torcida incondicional que possuo.

À minha adorável avó, Valdelina Ferreira (in memoriam), saudades eternas.

AGRADECIMENTOS

Nenhum homem trabalha sozinho. Ao longo de cada jornada terminada, muitos caminharam conosco e nos auxiliaram, então agradeço:

Ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá - IEPA, pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa, pelos auxílios financeiros, apoio logístico e infra-estrutura.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq e a Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Amapá – SETEC, pelo financiamento do projeto “Avaliação de Processos Dinâmicos no Estuário do rio Araguari”, convênio 610093/03-7 MCT/CNPq, que permitiu que grande parte desta tese fosse viabilizada.

Ao MMA, através do projeto PROBIO, na pessoa da coordenação do pesquisador Salustiano Costa Neto, pelo apoio logístico e financeiramente do segundo trabalho de campo.

Ao Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro – GERCO-AP, através do coordenador do programa, Luis Takiyama, pela cessão dos dados sobre a área de estudo.

Ao IBAMA, Amapá, pelo apoio logístico nos trabalhos de campo e sobrevôos realizados na área, pela cessão de fotografias.

À Secretaria do Estado de Meio Ambiente do Amapá- SEMA pela cessão de imagens recentes da área.

A Universidade Federal Fluminense – UFF, através de seu Departamento de Geologia e do LAGEMAR que me acolheu de braços abertos.

Ao IRD pelo apoio na nossa formação em sensoriamento remoto, através dos estágios concedidos em Montpellier e Cayenne, que me fez conhecer um pouco mais do mundo de aplicações do sensoriamento remoto. Pelo apoio no processamento das imagens e pelo acesso ao seu acervo de imagens.

À DIREN, equivalente francês da SEMA, através do Sr. Sebastian Linhares, que me propiciou uma visita a Reserva de Kaw, para conhecer sítios de criações de bovinos em áreas inundáveis, ampliando meus conhecimentos sobre a costa amazônica.

À Société Coopérative des Éleveurs des Bovins em Guyane (SCEBORG) que através da amiga Laure Gardel, me deu a oportunidade de visitar as explorações de búfalos na Guiana Francesa, guiada pelo técnico Marcellin Dupuids, que em deu todo apoio logístico, enriquecendo assim a pesquisa.

Ao *Archives Departementale de la Guyane*, pela cessão dos mapas históricos, na pessoa do Sr. Phillipe Guyot, a quem agradeço o interesse em minha tese.

Ao Arquivo Histórico do Exército Brasileiro pelo acesso a carta de 1798 da costa do Amapá.

À Marinha do Brasil, através do seu Centro de Hidrografia, pela disponibilização de seus técnicos que auxiliaram no resgate do acervo de fotografias aéreas, cartas e folhas de restituição, por terem possibilitado a infraestrutura para escanear as cartas A0. Obrigada ainda pela presteza na cessão de dados de marés observados e das previsões solicitadas.

À CPRM, através do DIDOTE Multimeios pelo atendimento, facilitando o acesso e empréstimo de fotografias aéreas, cartas imagens e mapas existentes em seu acervo.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas-IBGE que dirimiram todas as minhas dúvidas a respeito dos dados cartográficos da região. Tanto no Amapá, quanto no Rio de Janeiro.

Ao Projeto PIATAM Mar pelo apoio a tese, cessão de imagens do satélite RADARSAT-1 e apoio no processamento de imagens, através do Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido – LAIT, em Belém.

À PETROBRÁS, que através do projeto PIATAM Mar, apoiou financeiramente com passagens aéreas entre Macapá-Belém-Rio.

Ao INPE pela doação de uma imagem MSS do satélite Landsat 1 e das imagens CBERS.

Um agradecimento especial ao meu orientador Dr. Alberto Figueiredo, por ter me acolhido como mais uma orientanda, pela sua paciência e dedicação de parte do seu escasso tempo nos encaminhamentos do nosso trabalho. Obrigada por nunca ter deixado que as dificuldades da pesquisa fosse impedimento para qualquer avanço e pela paixão que tem por nossa costa amazônica.

Aos meus co-orientadores, Dr. Laurent Polidori e Dra. Odete Silveira, pelos encaminhamentos dados ao projeto de tese, atenção, paciência, ensinamentos e pelo conhecimento partilhado e amizade. Espero que eu tenha correspondido a altura da confiança em mim depositada. Odete, obrigada por ter lutado em todos os momentos para viabilizar a tese e a Laurent por todo seu apoio do lado francês. Obrigada ainda, pela oportunidade de conviver com mais uma cultura entre as diversas espalhadas neste mundo.

Aos meus orientadores de estágio, Drs. Marc Lointier e Laurent Durieux pelas contribuições durante minha estadia na “Maison de Télédéction” em Montpellier (França).

Aos membros da minha banca de qualificação: Profa. Dra. Maria Augusta Martins da Silva, Profs. Drs. Gilberto Dias e Pedro Walfir Martins e Souza Filho, pelas valiosas contribuições.

Aos membros da minha banca examinadora profs. Marcus Polette, Pedro Walfir M. e Souza Fo., Gilberto Dias e Fernando Pellon de Miranda pelas contribuições, críticas e sugestões a nossa pesquisa.

A Dra. Maria Thereza Prost pelo incentivo desde a minha proposta inicial.

Aos professores e alunos do LAGEMAR, com que tive maravilhosas experiências na pesquisa. À professora Maria Augusta Martins da Silva e aos professores Gilberto Dias e Cleverson Guizan da Silva, pelas contribuições no decorrer dos seminários. Ao professor José Antonio Baptista Neto pelo incentivo à minha pesquisa e pelas valiosas discussões. Ao Prof. Jorge Palma e André Ferrari pela presteza em solucionar da melhor maneira possível os problemas de infra-estrutura e informática.

Ao Prof. Gilberto Pessanha pelo auxílio nas minhas dúvidas de cartografia.

As secretárias Eneida Falcão e Jenny Oliveira, por dirimirem minhas dúvidas acadêmicas e auxílio nas minhas eternas idas e vindas atravessando o Brasil. Vocês são ótimas.

Aos amigos de curso, Lucia Artusi, Sérgio Ventura e Cláudia Zetune, obrigada pela força, dicas, ombros e pelas nossas aventuras dentro e fora da cidade maravilhosa. Jamais esquecerei.

Aos colegas do doutorado Priscila Moreira, Lázaro Laut, Frederico Sobrinho e Luis Fontana. Os momentos de pressão foram muitos, mas as descontrações também, permitindo que o fardo fosse mais leve. A alegria de vocês foi contagiante. Agradeço especialmente a Lázaro e Fred pelas ajudas com o nosso Miau e a Vanessa Laut pelo maravilhoso presente. Agradeço também pelos auxílios em minhas constantes mudanças de moradia, facilitando minha vida durante a tese. Vocês foram adoráveis.

Obrigada ainda a Lázaro Laut pela ajuda com figuras e a Paulo Cetto e Victor Murillo pelo auxílio no momento final.

A Mauro Toledo pelo auxílio na tradução do resumo em inglês, pelas valiosas discussões e ajuda com os gráficos e análises estatísticas.

Aos colegas e amigos que me ajudaram em Montpellier e no *Laboratoire Regional de Télédétection* (Guiana Francesa), dirimindo minhas dúvidas e auxiliando nas atividades inerentes a nossa pesquisa. Aos que conheci durante a realização deste doutorado. Aos amigos Loïc, Laure, Antoine, Charron, Proisy e Jean pelo carinho nas acolhidas em Caiena.

A família Reynaud que me acolheu e me adotou em nossa estadia em Montpellier.

Aos pesquisadores do IEPA, Luis Takiyama, Marcos Henrique Martins, Maxley Barbosa e Salustiano Costa Neto, pelo auxílio nos trabalhos de campo e coleta de alguns dados apresentados nesta tese, assim como aos técnicos Denis Marques de Oliveira e Silvana Veloso. Aos bolsistas vinculados ao IEPA, em especial a Laysa Santana e Fátima Alves pela ajuda na fase pré-campo e nos trabalhos de campo. À Alan e Romeu pela ajuda nos momentos necessários.

Aos colegas e técnicos do LAIT, Belém, em especial a Fabrício Gonçalves, Francisco (Tatu), Sheila e Fernando Souza pelo auxílio nos programas de tratamento de imagens, pela cordialidade e auxílio na solução dos problemas durante minha estadia no laboratório.

Às minhas companheiras de apartamento, Valterlene Oliveira (nossa baiana) e Beatriz Serrano (nossa colombiana). Obrigada pela compreensão e descontração. À Camilo Ordoñez pelas preocupações comigo e por facilitar minha vida, pelo auxílio com figuras por ter doado um pouco do seu tempo para nos auxiliar.

Um agradecimento com muito carinho aos moradores da região de trabalho, que nos acolheram com muito amor em seus humildes espaços, durante nossas idas e vindas ao campo. Em especial ao Seu Dinaldo, Seu Branco, que muitas das vezes nos emprestaram seus ajudantes, nos acompanhando nas árduas tarefas de campo. Sinto-me honrada e feliz de ter merecido a confiança de vocês.

Obrigada aos pilotos de voadeira (Abelardo-IBAMA, Gaducho-IBAMA, Zeca-Fazenda Campo Verde, Jonas-IEPA e Miguel-IEPA) que souberam manejar com destreza nosso principal meio de transporte, a voadeira, através do nosso encantado rio *Arawari*, mesmo por debaixo de chuva. Em especial, aos que nos fizeram literalmente surfar na pororoca com segurança, usando suas experiências na profissão e na área de trabalho.

A Zanandrea Figueira por tudo o que fez por mim, minimizando ao máximo minhas preocupações durante nossas estadias no Amapá, pelo incentivo em todas as fases deste trabalho, por me ajudar na pesquisa bibliográfica nas instituições no Amapá, pelas palavras sempre encorajadoras e pelo carinho e amizade.

À Patrícia e Cleiton Júnior pelas preocupações, carinho e amizade me acolhendo sempre no Amapá, e fazendo o melhor que podiam por mim, como se fossem os anfitriões da “nossa” casa, de “nossa” Mama.

Ao meu anfitrião, em Belém, Francisco Berredo e sua família, pelas constantes acolhidas.

À Lídia e Kelly, eternas amigas, pela acolhida em Niterói.

À Fernandinha pelos conselhos e ajuda com sua experiência e tranqüilidade.

Aos amigos da UFPA e do MPEG, em Belém, pelas informações prestadas e pela torcida.

A Débora Thomaz por todos os momentos de descontração e pelo incentivo, não permitindo que a distância lhe impedisse de enviar suas palavras de ânimo.

Enfim, gostaria de agradecer aos meus pais e a minha família pelos ensinamentos de dignidade, honestidade e perseverança. Sem esta última, difícil chegar ao final de qualquer jornada. Por terem me dado a oportunidade que não tiveram. Meu muito obrigada de todo coração.

A lista seria imensa, e o espaço finito para tantos agradecimentos. Termino então agradecendo a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta tese. Aos que acreditaram e me fizeram acreditar. Aos que me apoiaram e mesmo aos que nos puseram obstáculos (poucos, ainda bem!), pois eles permitiram a união de esforços para transpô-los e chegarmos ao final.

Aos que esqueci, perdoem-me, vocês não foram menos importantes, apenas minha fraca memória não foi suficiente para citá-los.

*“...tudo o que se vê não é igual
ao que a gente viu há um segundo
tudo muda o tempo todo no mundo...”*

Como uma onda
Nelson Motta

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPIÍGRAFE	vi
SUMÁRIO	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xii
LISTA DE QUADROS E TABELAS	xvi
SIGLAS E ABREVIATURAS	xvii
RESUMO	1
ABSTRACT	3
RESUMÉ	5
PARTE I – AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS: ESTADO DA ARTE E ESTRATÉGIA METODOLÓGICA DE INVESTIGAÇÃO	7
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO E CIENTÍFICO	8
1.2 PRESSUPOSTOS	10
1.3 HIPÓTESES	10
1.4 OBJETIVOS	12
1.5 ÁREA DE TRABALHO	12
1.6 SINOPSE	14
CAPÍTULO 2 – COSTA AMAZÔNICA	15
2.1 PLANÍCIE COSTEIRA AMAZÔNICA	16
2.1.1 Aspectos Fisiográficos, Geológicos e Oceanográficos.....	16
2.1.2 Principais Pressões Antrópicas.....	20
2.2 PLANÍCIE COSTEIRA DO AMAPÁ-ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E EVOLUTIVOS	22
2.2.1 Segmentos Progradacionais.....	24
2.2.2 Segmentos Retrogradacionais.....	27
2.3 O ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI.....	30
2.3.1. O Rio Araguari	30
2.3.2 O Estuário	34
2.3.2 Uso, Ocupação e Pressões Antrópicas.....	36
CAPÍTULO 3 – ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS	39
3.1 MATERIAIS, MÉTODOS E ESTRATÉGIAS.....	41
3.1.1 Caracterização dos Ambientes Sedimentares Recentes.....	41
3.1.2 Análise da Dinâmica Natural.....	43
3.1.3 Análise da Dinâmica Antrópica.....	48
3.2 ANÁLISE DOS DADOS DE SENSORES REMOTOS.....	50
3.3 INTEGRAÇÃO DOS DADOS	50
	vii

PARTE II – MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS EM REGIÕES COSTEIRAS E NA COSTA AMAZÔNICA	52
CAPÍTULO 4 – MODIFICAÇÕES EM ÁREAS COSTEIRAS: AGENTES, ESCALAS E RESPOSTAS	53
4.1. AS ESCALAS NO ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES	53
4.2. MECANISMOS DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS NATURAIS DE CURTO PERÍODO EM ÁREAS COSTEIRAS TROPICAIS.....	56
4.2.1 Climáticos Globais	56
4.2.2 Oceanográficos Globais e Regionais.....	61
4.3. RESULTADOS DAS FORÇANTES NATURAIS EM AMBIENTES COSTEIROS TROPICAIS.....	67
4.3.1 Forçantes Climáticas	67
4.3.2 Marés como Mecanismo Controlador de Modificações	70
4.3.3 Efeitos da Pororoca nos Ambientes Costeiros.....	72
4.3.4 Efeitos das ondas	74
4.4. MODIFICAÇÕES DE ORIGEM ANTRÓPICA	74
4.4.1 A Pecuária como Fator de Modificação em Áreas Costeiras	76
4.4.2 Efeitos da Pecuária sobre o Ambiente.....	77
4.5. CONCLUSÕES	79
CAPÍTULO 5 – MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS: FORÇANTES E SUAS INFLUÊNCIAS NA COSTA AMAZÔNICA	81
5.1. AS FORÇANTES NATURAIS	81
5.1.1 ZCIT e ENSO e sua Variabilidade na Costa Amazônica	82
5.1.2 Descarga Fluvial.....	86
5.1.3 Forçantes Oceanográficas.....	90
5.2. O PAPEL DAS FORÇANTES NATURAIS NA DINÂMICA DA PAISAGEM E AMBIENTES DA COSTA AMAZÔNICA.....	103
5.2.1 Inundação e as Forçantes Climáticas e Oceanográficas	103
5.2.2 A Sazonalidade da Cobertura Vegetal.....	109
5.2.3 Variações no Aporte de Sedimentos.....	110
5.2.4 Influência das Marés e Pororoca nos Processos Sedimentares e Morfologia....	112
5.3. FORÇANTES ANTRÓPICAS – A PECUÁRIA NA COSTA AMAZÔNICA	119
5.3.1 A bubalinocultura na costa amazônica	119
5.3.2 O sistema de criação no estuário do rio Araguari.....	121
5.4. A PECUÁRIA COMO AGENTE MODIFICADOR DA PAISAGEM	125
5.4.1 Efeitos Induzidos pelo Rebanho	126
5.4.2 Efeitos Associados a Interferência Humana.....	135
5.5. CONCLUSÕES	136
PARTE III – SENSORIAMENTO REMOTO EM REGIÕES COSTEIRAS TROPICAIS: FERRAMENTA E SUAS APLICAÇÕES	140
CAPÍTULO 6 – O SENSORIAMENTO REMOTO E AS REGIÕES COSTEIRAS TROPICAIS	141
6.1. O SENSORIAMENTO REMOTO.....	141
6.1.1. O Sistema de Aquisição de Dados.....	141
6.1.2 O Sistema de Análise dos Dados.....	149
6.1.3 Premissas Básicas para Aplicação do Sensoriamento Remoto em Ambientes Costeiros Tropicais	154

6.2 EXEMPLO DE APLICAÇÕES EM COSTAS TROPICAIS	156
6.2.1 Mapeamento de Ambientes	156
6.2.2 Detecção de Modificações.....	157
6.2.3 Monitoramento de Áreas Úmidas.....	158
6.2.4 Monitoramento das Águas Costeiras.....	159
6.2.5 Monitoramento de Derrames de Óleo	161
6.2.6 Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura do Solo	161
6.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	162
CAPÍTULO 7 – SENSORIAMENTO REMOTO NA COSTA AMAZÔNICA.....	164
7.1. AS FERRAMENTAS E CONTEXTO TECNOLÓGICO DO DESENVOLVIMENTO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA COSTA AMAZÔNICA.....	164
7.2 APLICAÇÕES NA COSTA AMAZÔNICA	167
7.2.1 Mapeamento e reconhecimento dos ambientes	167
7.2.2 Detecção de Mudanças	169
7.2.3 Estudos multidisciplinares para a gestão ambiental	171
7.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	171
 PARTE IV – APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO RECONHECIMENTO DOS AMBIENTES E ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI	 173
CAPÍTULO 8 – APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA RECONHECIMENTO DOS AMBIENTES E SUA DINÂMICA NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI	174
8.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS: AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO ..	174
8.1.1 Fotografias Aéreas.....	174
8.1.2 Imagens de Radar Aerotransportado (RADAR GEMS 1000) – RADAM.....	175
8.1.3 Imagens de Satélite.....	176
8.1.4 Dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).....	184
8.1.5 Integração dos Dados de Sensores Remotos.....	185
8.2 RECONHECIMENTO DOS PADRÕES E FEIÇÕES MORFOLÓGICAS.....	185
8.2.1 Uso e Cobertura do Solo.....	185
8.2.2 Feições Morfológicas Lineares Associadas aos Padrões de Uso e Cobertura Vegetal.....	198
8.2.3 A Instabilidade dos Padrões e Feições no Contexto das Modificações Ambientais.....	201
8.2.4 Reconhecimento dos Ambientes	202
8.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	207
 CAPÍTULO 9 – OS INDICADORES DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS NA PLANÍCIE COSTEIRA AMAPAENSE	 209
9.1 INDICADORES NATURAIS.....	210
9.1.1 Rede de Drenagem.....	210
9.1.2 Cobertura Vegetal como Marcador dos Processos de Modificação.....	215
9.1.3 Variações na Taxas de Sedimentação e Erosão.....	217
9.2 INDICADORES ASSOCIADOS A DINÂMICA ANTRÓPICA.....	217
9.2.1 Trilhas.....	217
9.2.2 Rampas, Ravinamentos e Canais (Valas).....	218
9.2.3 Cercas	218

9.3.4 Turbidez dos Corpos Aquáticos	218
9.3 TOPONÍMIA.....	218
9.4 IDENTIFICAÇÃO E ESCALA DOS INDICADORES	220
9.4.1 Dados dos Sensores Remotos	220
9.4.2 Cartas e Mapas	221
9.4.3 Trabalhos de Campo.....	223
9.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	224
CAPÍTULO 10 – RECONSTITUIÇÃO DAS MODIFICAÇÕES NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI	232
10.1 APLICAÇÃO DE MAPAS HISTÓRICOS E IMAGENS DE SENSORES REMOTOS EM ESTUDOS DE MODIFICAÇÕES COSTEIRAS.....	232
10.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	234
10.2.1 Mapas Históricos	234
10.2.2 Imagens de Sensores Remotos	236
10.2.3 Dados Auxiliares	236
10.2.4 Métodos de Detecção das Mudanças.....	236
10.3 MUDANÇAS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO INFLUENCIADA POR MARÉS	237
10.3.1 Permanência do "Cabo Norte" e desaparecimento da ilha Carpori	237
10.3.2. Desaparecimento do Furo do Araguari na Porção a Sul do Estuário	239
10.3.3. Evolução de Canais Secundários.....	242
10.3.4. Detecção das Mudanças no Lago Central do Meandro de Desembocadura.....	246
10.4 MUDANÇAS NA PLANÍCIE ESTUARINA NA DESEMBOCADURA DO RIO ARAGUARI	246
10.4.1 Desenvolvimento da Morfologia Atual do Meandro de Desembocadura.....	245
10.4.2 Modificações na Planície Estuarina.....	247
10.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	250
PARTE V – AVALIAÇÃO DOS SENSORES REMOTOS E TÉCNICAS APLICADAS PARA O ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES NA COSTA AMAPAENSE	254
CAPÍTULO 11 – AVALIAÇÃO DOS SENSORES E TÉCNICAS PARA O ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES	255
11.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DAS IMAGENS UTILIZADAS.....	255
11.1.1 Imagens de Radar	255
11.1.2 Dados SRTM.....	259
11.1.3 Imagens dos Sensores Óticos	259
11.2. POTENCIALIDADE E LIMITAÇÕES DAS TÉCNICAS E PROCESSAMENTOS	260
11.2.1 Correção Geométrica.....	260
11.2.2 Análise de Componente Principal por Subgrupo	262
11.2.3 Classificação Não Supervisionada	264
11.2.4 Análise Multitemporal.....	268
11.2.5 Fusão de Imagens Multisensor	269
11.3 POTENCIALIDADE DOS MAPAS E IMAGENS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS	271
11.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	272

PARTE VI – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	275
CAPÍTULO 12 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	276
12.1 CONCLUSÕES	276
12.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	277
12.3 RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS	279
CAPÍTULO 13 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	281
ANEXOS	299
I FORMULÁRIO DE ENTREVISTA DE CAMPO	300
II MAPA DE AMBIENTES	305

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1.1: Pressuposto para desenvolvimento desta tese	10
Figura 1.2: Questionamentos, estratégias, abordagem e aplicação de resultados	11
Figura 1.3: Localização da área de estudo.....	13

CAPÍTULO 2

Figura 2.1: Clima terrestre, zonas vegetacionais e zonas climáticas oceânicas	15
Figura 2.2: Contexto geológico-estrutural da costa amazônica.....	17
Figura 2.3: Sistema de dispersão do rio Amazonas	18
Figura 2.4: Contexto geológico regional da planície costeira amapaense.....	23
Figura 2.5: A região dos lagos	24
Figura 2.6: Segmentos prográdacionais e retrogradacionais na planície norte	25
Figura 2.7: Segmentos prográdacionais e retrogradacionais na planície a sul	26
Figura 2.8: Principais unidades de paisagem da planície costeira amapaense	28
Figura 2.9: Ambientes praias na costa do Amapá.	30
Figura 2.10: Bacia hidrográfica do rio Araguari	31
Figura 2.11: Vazão do rio Araguari com outros estuários da costa amapaense	31
Figura 2.12: Aspectos morfológicos da planície costeira no rio Araguari	33
Figura 2.13: Classificações de estuários	35
Figura 2.14: Antiga baía do rio Macarry	36
Figura 2.15: REBIO do Lago Piratuba	37

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Estratégia de abordagem metodológica da tese	39
Figura 3.2: Estratégia metodológica para reconhecimento dos ambientes sedimentares... ..	41
Figura 3.3: Localização da coleta realizada com trados	42
Figura 3.4: Localização de perfis topográficos e aspectos das observações	43
Figura 3.5: Localização dos pontos de coleta dos dados de marés	44
Figura 3.6: Localização e alocação de experimentos	45
Figura 3.7: Localização dos pontos de coleta de água no estuário do rio Araguari	45
Figura 3.8: Localização das estações pluviométricas e fluviométricas	46
Figura 3.9: Coleta de dados topográficos na planície de inundação do rio Araguari	47
Figura 3.10: Localização das entrevistas ao longo do estuário do rio Araguari	49
Figura 3.11: Diagrama conceitual da utilização dos dados de sensores remotos	51

CAPÍTULO 4

Figura 4.1: Técnicas e métodos para o estudo das mudanças geomórficas	55
Figura 4.2: ZCIT gerada pelo sistema de circulação atmosférica	58
Figura 4.3: Padrão de deslocamento da ZCIT sobre a região equatorial	59
Figura 4.4: ZCIT com sua área de alta nebulosidade sobre a região equatorial	59
Figura 4.5: Relação dos episódios de El-Niño e La Niña com o clima global	60
Figura 4.6: Forma e amplitude de marés no mundo	62
Figura 4.7: Mapa dos fatores que afetam o nível do mar no espaço e no tempo	63
Figura 4.8: Mecanismo de formação da onda de pororoca nos estuários	65
Figura 4.9: Distribuição da pororoca no mundo (retângulo vermelho)	66
Figura 4.10: Classificação dos sistemas costeiros de acordo com Boyd <i>et al.</i> (1992)	68

Figura 4.11: Influência da intensificação da reflexão da pororoca	73
Figura 4.12: Distribuição do rebanho efetivo nos estados brasileiros em 2004.....	77

CAPÍTULO 5

Figura 5.1: Desenho esquemático das forçantes naturais que atuam na costa amazônica..	82
Figura 5.2: Distribuição da precipitação no norte do Brasil	83
Figura 5.3: Distribuição das chuvas e nebulosidade na costa amazônica brasileira	83
Figura 5.4: Diagrama esquemático da nebulosidade associada às linhas de instabilidade.	84
Figura 5.5: Efeitos globais dos fenômenos El-Niño/La-Niña sobre a costa amazônica	85
Figura 5.6: Descarga do rio Amazonas em Manacapuru de 1903 a 1985	86
Figura 5.7: Vazão desazonalizada para a estação de Óbidos e Porto Platon	87
Figura 5.8: Variação sazonal dos fatores que influenciam nos processos	88
Figura 5.9: Pluma de sedimentos do Amazonas em 2004 através de imagens CBERS	89
Figura 5.10: Variações das vazões dos rios que drenam a costa amapaense	90
Figura 5.11: Direção das elipses de marés M2 na plataforma do Amazonas	91
Figura 5.12: Altura e amplitudes de marés máximas na costa amapaense	93
Figura 5.13: Amplitudes máximas de marés para o estuário do rio Araguari	94
Figura 5.14: Curvas de maré medidas no estuário do rio Araguari, igarapé Novo	95
Figura 5.15: Curvas de maré medidas no estuário do rio Araguari, igarapé Santana.....	95
Figura 5.16: Locais de ocorrência da pororoca na costa do Amapá	97
Figura 5.17: Vistas do fenômeno da pororoca no estuário do rio Araguari	98
Figura 5.18: Registro do trajeto da pororoca no estuário do Araguari	100
Figura 5.19: Seqüência da entrada da pororoca no estuário do rio Araguari	101
Figura 5.20: Chegada de ondas na costa do Amapá nas proximidades do Cabo Norte	103
Figura 5.21: As condições de precipitação mensal no período de atividades de campo ..	104
Figura 5.22: Situação de inundação em março de 2003 e março de 2004	105
Figura 5.23: Área afetada pelas cheias de 1984	106
Figura 5.24: Mapa de eventos extremos de inundação desde 1985	106
Figura 5.25: Comparação do comportamento do regime hidrodinâmico	108
Figura 5.26: Variação na cobertura vegetal	109
Figura 5.27: Canais de maré em padrão retilíneos mostrando mudança de sedimentação.	111
Figura 5.28: Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em sigízia de equinócio	113
Figura 5.29: Deposição e erosão vertical de sedimentos durante a pororoca	114
Figura 5.30: Mudança na foz do igarapé Novo	115
Figura 5.31: Agradação na planície de inundação do rio Araguari	115
Figura 5.32: Terraços erosionais sob a influência da pororoca	116
Figura 5.33: Correlação entre zonas de distribuição de microfauna e pororoca	118
Figura 5.34: Distribuição rebanho bubalino no Amapá	120
Figura 5.35: Concentração de rebanho bubalino por fazenda	121
Figura 5.36: Tempo mínimo de existência da bubalinocultura na planície de inundação .	122
Figura 5.37: Fazendas na planície de inundação	123
Figura 5.38: Búfalos na planície de inundação	123
Figura 5.39: Maromba em construção no campo	124
Figura 5.40: Áreas de malhada	124
Figura 5.41: Cercas	125
Figura 5.42: Pegadas de búfalos em terreno	126
Figura 5.43: Trilhas em áreas de fazendas	127
Figura 5.44: Aspectos das ravinas desenvolvidos pela subida e descida de gado	128
Figura 5.45: Canais artificiais na planície de inundação do rio Araguari.....	129
Figura 5.46: Poças na planície de inundação	130

Figura 5.47: Pluma de sedimentos em suspensão disponibilizados por pisoteio de gado.	131
Figura 5.48: Concentração de sedimentos em suspensão para o igarapé Novo	132
Figura 5.49: Concentração de sedimentos em suspensão para igarapé Santana	133
Figura 5.50: Cercas impedindo o fluxo livre de águas e delimitando fazendas	136
Figura 5.51: Diagrama esquemático da interação entre processos naturais e antrópicos ..	139

CAPÍTULO 6

Figura 6.1: Diagrama esquemático dos sistemas de aquisição e análise dos dados	142
Figura 6.2: Relação entre rugosidade e comprimento de onda	144
Figura 6.3: Imagem ERS no estuário do rio Oiapoque.....	145
Figura 6.4: Imagem de novembro de 2002, NOAA	147
Figura 6.5: Imagem do sensor Landsat 7 ETM+. Estuário do rio Hoogly	148
Figura 6.6: Imagem de sensor de alta resolução (SPOT 5-HRG) em área tropical	149
Figura 6.7: Exemplo de utilização da cor da água como traçador da hidrodinâmica	160

CAPÍTULO 7

Figura 7.1: Aplicação do sensoriamento remoto na costa amazônica	165
Figura 7.2: Exemplo de mapeamento de ambientes costeiros amazônicos	168
Figura 7.3: Imagens AIRSAR com multipolarização de floresta de mangue	168
Figura 7.4: Análise de mudanças da linha de costa	170

CAPÍTULO 8

Figura 8.1: Fluxograma de pré-processamento das fotografias aéreas.....	176
Figura 8.2: Imagens JERS-1 de outubro de 1995 e maio de 1996	178
Figura 8.3: Mosaicos das 8 imagens de RADARSAT-1, utilizadas no trabalho	180
Figura 8.4: Imagens do satélite Landsat utilizadas na pesquisa	182
Figura 8.5: Principais padrões de uso e cobertura reconhecidos	189
Figura 8.6: Imagens de radar do período chuvoso mostrando os padrões	191
Figura 8.7: Campo antrópico associado a desmatamento de floresta de várzea	193
Figura 8.8: Detecção de padrões antrópicos	194
Figura 8.9: Planície de intermaré na desembocadura do rio Araguari	195
Figura 8.10: Onda da pororoca perpendicular ao canal do estuário do rio Araguari	197
Figura 8.11: DEM do SRTM	197
Figura 8.12: Feições morfológicas lineares associadas a padrões de acreção	199
Figura 8.13: A) Relação entre paleodrenagem e cercas na planície a sul do estuário.....	200
Figura 8.14: Paleodrenagem meandrante em imagem JERS-1.....	201
Figura 8.15: Composição coloridas das imagens JERS-1	204
Figura 8.16: Vista panorâmica de uma bacia de inundação, igarapé Novo	205

CAPÍTULO 9

Figura 9.1: Padrão de drenagem dendrítico	210
Figura 9.2: Paleodrenagens	211
Figura 9.3: Aspectos topográficos e batimétricos dos segmentos meandrantés	213
Figura 9.4: Aspectos topográficos e batimétricos dos segmentos retilíneos	214
Figura 9.5: Zoneamento de vegetação e alternância de padrões	216
Figura 9.6: Desmatamento em áreas de floresta de várzea	216
Figura 9.7: Rio Tapado indicado em mapa histórico de Saint-Quantin	219
Figura 9.8: Águas turvas em lagos nas regiões de criação de búfalos	222
Figura 9.9: Cerca atravessando áreas de floresta densa e campestres	224
Figura 9.10: Estrutura de fundos de casa e de antiga cerca	227

Figura 9.11: Drenagens homônimas	230
---	-----

CAPÍTULO 10

Figura 10.1: Mapa de 1793 e mapa do final do século XIX	235
Figura 10.2: Mapas mostrando a evolução da cartografia das terras da Ilha Carpori	237
Figura 10.3: Mapas do século XIX mostrando a região da planície de inundação	238
Figura 10.4: Carta do século XIX indicando a toponímia do rio Tapado.....	239
Figura 10.5: Presença do furo do Araguari em diversos mapas a partir do século XVII..	240
Figura 10.6: Mapa de 1798, com anotação e paleodrenagem do furo do Araguari	241
Figura 10.7: Mapa planialtimétrico do Estado do Amapá	242
Figura 10.8: Drenagem do igarapé Novo em fotografias aérea de 1952 e 1970	243
Figura 10.9: Desenvolvimento da bacia de drenagem do igarapé Novo entre 1986- 2000	244
Figura 10.10: Desenvolvimento da drenagem do igarapé Santana entre 1971 e 2000	245
Figura 10.11: Evolução da desembocadura do rio Araguari	247
Figura 10.12: Variação na margem da planície estuarina	249
Figura 10.13: Exemplos de mapas do século XIX que ainda preservam a ilha Carpori ...	253

CAPÍTULO 11

Figura 11.1: Faixa de recobrimentos com radares em banda L na costa amazônica.....	256
Figura 11.2: Variação da precipitação acumulada para a quinzena	257
Figura 11.3: Condições de maré previstas para a Ponta do Guará	257
Figura 11.4: Mapas das estações planimétricas e altimétricas do Amapá	261
Figura 11.5: Imagem e produto de classificação na PC1 do subgrupo I	265
Figura 11.6: Imagem e produto de classificação na PC1 do subgrupo III.....	266
Figura 11.7: Imagem e produto da classificação na composição colorida	267
Figura 11.8: Composição colorida de imagens multidas do sensor RADARSAT-1	269
Figura 11.9: Produto híbrido proveniente da fusão de imagens RADARSAT e ETM+ ...	270

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 4.1: Fatores de mudanças do nível do mar, de curto período, na zona costeira.....	57
Tabela 4.2: Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña desde o século XIX.....	61
Tabela 4.3: Exemplos de mudanças do nível do mar em função das marés	63
Tabela 4.4: Denominação da pororoca no mundo.....	64
Tabela 4.5: Localização e altura da onda da pororoca no mundo	65
Tabela 5.1: As mudanças do nível de inundação	137
Tabela 6.1: Radares orbitais imageadores com suas respectivas características.....	143
Tabela 8.1: Fotografias aéreas processadas.....	174
Tabela 8.2: Imagens de satélite e dados de sensores remotos tilizados.....	177
Quadro 8.1: Principais padrões de uso e cobertura do solo	186
Quadro 8.2: Interpretação das informações para o mapeamento costeiro.....	203
Quadro 9.1: Indicadores, métodos e escalas de observação	231
Tabela 11.1: Matriz de correlação para as seis bandas do sensor ETM+ utilizadas.....	263
Tabela 11.2: Potencial dos mapas históricos e imagens de sensores remotos	271

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A.P.	Antes do Presente
ABCB	Associação Brasileira dos Criadores de Búfalos
AIRSAR	<i>AIRborne Synthetic Aperture Radar</i>
ALOS/PALSAR	<i>Advanced Land Observing Satellite/Phased Array L-band SAR</i>
ALS	<i>Airbone Laser Scanning</i>
ALTM	<i>Airborne Laser Terrain Mapper</i>
AMASSEDS	<i>A Multidisciplinary Amazon Shelf SEDiment Study</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ASAR	<i>Advanced Synthetic Aperture Radar</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
AVRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> (sensor do NOAA)
CASI	<i>Compact Airbone Spectrographic Imager</i>
CBERS	<i>China Brazil Earth Resources Satellite</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Devices</i> (CBERS)
CCRS	<i>Canada Centre for Remote Sensing</i>
CEOS	<i>Committee on Earth Observation Satellites</i>
CNB	Corrente Norte do Brasil
CNES	<i>Centre National d'Etudes Spatiales</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSS	Concentração de Sedimentos em Suspensão
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DIDOTE	Divisão de Documentação Técnica (divisão da CPRM)
DIREN	<i>Direction Regionale de l'Environnement</i>
DN	<i>Digital Number</i> – nível digital.
ECOLAB	Laboratório de Ecossistemas Costeiros Amazônicos
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation</i>
ENVISAT	<i>Environmental Satellite</i>

ERS/AMI	<i>European Remote Sensing Satellite/Active Microwave Instrument</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> (sensor do Landsat)
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEMS	<i>Goodyear Mapping System</i>
GERCO	Programa de Gerenciamento Costeiro
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GLCF	<i>Global Land Cover Facility</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRFM	<i>Global Rain Forest Mapping</i>
HIBAM	Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEPA	Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRD	<i>Institut de Recherche pour le Développement</i>
IRS	<i>Indian Remote Sensing Satellite</i>
IUGS	<i>International Union of Geological Sciences</i>
JERS	<i>Japanese Earth Resources Satellite</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
LAGEMAR	Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha
LAGEO	Laboratório de Geoprocessamento
LAIT	Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LISS	<i>Linear Imaging Self Scanning Sensor</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MeRIS	<i>MEdium Resolution Imaging Spectrometer</i>
METEOSAT	<i>Meteorological Satellite</i>
MITI	<i>Ministry of International Trade and Industry</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>

MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
MSS	<i>Multispectral Scanner (sensor do Landsat)</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NASDA	<i>National Space Development Agency of Japan</i>
NOAA	<i>National Oceanic Atmospheric Administration</i>
PC1	Primeira componente principal
PC2	Segunda componente principal
PDVSA	Petróleos de Venezuela S.A.
Petrobrás	Petróleo Brasileiro S.A.
PIATAM	Potenciais Impactos e Riscos Ambientais da Indústria do Petróleo e Gás no Amazonas
PNEC	<i>Programme National sur l'environnement Côtier</i>
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
PROVAM	Programa de Estudos e pesquisas nos vales amazônicos
RADAM	<i>Radar Amazon</i>
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging Instrument</i>
REBIO	Reserva Biológica
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SCEBORG	<i>Société Coopérative des Eleveurs des Bovins en Guyane</i>
SEAS	<i>Surveillance de l'Environnement Amazonien par Satellite</i>
SeaWIFS	<i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i>
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Amapá)
SERG	<i>Société d'Etudes et de Représentation Graphique</i>
SETEC	Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia (Amapá)
SGF	<i>SAR Georeferenced Fine Resolution Product</i>
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIR	<i>Spaceborne Imaging Radar</i>
SO	<i>Southern Oscillation</i>
SP	Segmento Progradacional
SPOT-HRG	<i>Satellite pour l'Observation de la Terre-High Resolution Geometric</i>
SPOT-HRV	<i>Satellite pour l'Observation de la Terre -High Resolution Visible</i>
SR	Segmento Retrogradacional

SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TOPEX/POSEIDON	<i>TOPography Experiment/Poseidon instrument</i>
UAS	Unidade de Análise Espaciais
UFF	Universidade Federal Fluminense
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
UFPA	Universidade Federal do Pará
WFI	<i>Wide Field Imager (Sensor do CBERS-1)</i>
ZCA	Zona de Convergência de Ventos Alíseos
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico

RESUMO

A planície costeira do Estado do Amapá, localizada no extremo norte do Brasil, abriga uma diversidade de ambientes representados principalmente por manguezais, lagos, florestas de várzea e campos inundáveis, associados às planícies de inundação dos sistemas fluviais que drenam a região costeira e estuários. Nesta pesquisa são avaliadas as modificações registradas nessa planície, com foco na região do estuário do rio Araguari e, apresentados os processos responsáveis por essas mudanças.

Os processos naturais que influenciam as modificações nesta planície estão relacionados com os eventos ENSO, presença da ZCIT, influência do rio Amazonas e das marés (pororoca). Os processos antrópicos estão associados principalmente com a bubalinocultura. Estas forçantes são apresentadas e discutidas na forma de processos e produtos. As informações ambientais são oriundas de dados pré-existentes e de coletas em campo. Foram utilizados como informação de base fotografias aéreas, imagens de radar - RADAR GEMS 1000 do Projeto RADAM, JERS-1 e RADARSAT-1; imagens de sensores óticos - MSS, TM e ETM+ dos satélites Landsat e dados de modelo numérico de terreno - DEM SRTM, processados digitalmente, em abordagem multisensor, multi-escala e multi-data. Cartas históricas desde o século XVI também foram avaliadas.

As análises permitiram identificar espacialmente os padrões de uso e cobertura do solo e as feições naturais e antrópicas. Os padrões e feições identificados foram agrupados em dois principais ambientes: fluvial influenciado por marés (planície de inundação) e estuarino (manguezais, zonas de intermaré e canal estuarino). Foi possível ainda estabelecer indicadores para caracterizar as modificações ambientais na região, a partir das análises multitemporais dos dados de sensores remotos e cartas históricas. O fenômeno da pororoca também foi evidenciado dentro do estuário estudado.

A correlação dos dados de sensores remotos com cartas históricas indica que a desembocadura do rio Araguari possuía dois distributários até o século XVIII, um a oeste e outro a sul da chamada terra de Carpori. A configuração atual da planície de inundação a norte e sul do estuário e, do seu meandro final se deve a transformações cujos eventos ocorreram entre o final do século XVIII e meados do século XIX, existindo indícios de influência antrópica em alguns desses eventos.

O resultado das análises multitemporais dos dados de sensores remotos, a partir da década de 1950, e informações correlatas, evidenciaram modificações na planície de inundação e na planície estuarina. Na planície de inundação referem-se ao desenvolvimento de redes de drenagens, algumas das quais influenciadas pelo desenvolvimento da pecuária, a exemplo do igarapé Santana. Outras drenagens tiveram suas aberturas influenciadas por grandes eventos de inundações que foram correlacionados a fenômeno de El-Niño/La Niña, como o igarapé Novo que deságua no rio Gurijuba. Na planície estuarina as modificações são associadas com a formação de barras de canal, barras de desembocadura, modificação de canais de marés e processos erosionais na margem do estuário. Estas modificações são mais evidentes na desembocadura do rio Araguari e são decorrentes principalmente da ação das

marés (pororoca), que possui alto poder de remobilização de sedimentos. Foi possível ainda analisar como o fenômeno da pororoca se comporta ao longo do estuário e estudar os seus registros, a partir de observações efetuadas antes, durante e após a sua passagem. As forçantes associadas às modificações detectadas podem alterar a forma de atuação dos processos erosionais e deposicionais dentro de ambientes estuarinos em sistemas fluviais de rios meandrantos.

Os resultados da avaliação dos dados de sensores remotos e técnicas aplicadas nesta pesquisa demonstraram a potencialidade da ferramenta de sensoriamento remoto e cartas históricas no estudo de modificações em costas tropicais (de difícil acesso), sujeitas a rápidas mudanças. Todavia, estas ferramentas podem também apresentar dificuldades de aplicação na costa amazônica, submetida a processos naturais e antrópicos muito dinâmicos, que se superpõem em uma escala temporal muito pequena, em comparação ao tempo geológico que caracteriza a evolução em outros ambientes costeiros.

Palavras-chave: modificações ambientais, sensoriamento remoto, costa amazônica.

ABSTRACT

The coastal plain of the State of Amapá, located on the northernmost region of Brazil, on the Amazonian coast, comprises an environmental diversity represented mainly by mangroves, lakes, swamps forests and flooded basins, related to flood plains influenced by tides and estuaries. In this study, the modifications recorded in this plain are evaluated, focusing in the region of the Araguari estuary, and the processes responsible for these changes are presented.

The natural processes that influence the modifications in this plain are related to ENSO events (El Niño Southern Oscillation), position of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), influence of the Amazon River and tides influenced by tidal bore. The anthropogenic processes are associated with water buffalo ranching. All these factors are presented and discussed in the form of processes and products. The environmental information is from previous data and also collected in the field. The base information came from remote sensing data (aerial photographs, radar imagery - RADAR GEMS 1000 from RADAM Project, JERS-1 and RADARSAT-1, images from optical sensors - MSS, TM and ETM+ from Landsat satellites, digital elevation model data - DEM SRTM), digitally processed for multi-sensor, multi-scale and multi-date approach. Historical maps since 16th century had also been utilized.

The analyses allowed the identification of patterns of land use and cover as well as the natural and anthropogenic geomorphic features. The identified patterns and features were grouped into two main types of environments: fluvial influenced by tides (flood plain) and estuarine plain (mangrove, intertidal zone and estuarine channel). It was also possible to establish indicators to characterize the environmental modifications in the region, from multitemporal analyses of remote sensing and historical data. The tidal bore phenomenon can also be identified in the estuary by RADARSAT-1 images.

The correlation between the remote sensing and historical data indicates that the Araguari River mouth had two channels until the 18th century, one to the west and the other to the south of the so-called Land of Carpori. The current configuration of the floodplain at the north and south of the estuary, and of its last meander is recent. The events related to these transformations occurred between the end of the 18th century and middle of 19th century, with indications of anthropogenic influences in some of these events.

The results of multitemporal analysis of remote sensing data from the 1950s and related information had evidenced modifications in the floodplain and the estuarine plain. In the floodplain, they are related to the development of drainage networks, some of which influenced by the development of cattle ranching (e.g. the Igarapé Santana). Others had their opening influenced by great flooding events that had been correlated to ENSO phenomenon (e.g. Igarapé Novo in the Gurijuba River). In the estuarine plain, the modifications are associated with the formation of channel bars, mouth bars, changes in the tidal channels and erosional processes in the margins of the estuary. These modifications are more evident in the mouth of the Araguari River and are mainly a result of tide action and the tidal bore

phenomenon, which is a powerful sediment transport agent. It was also possible to analyze the phenomenon's behavior and its records throughout the estuary from observations done prior, during and after its passage. The agents associated to these modifications can influence erosional and depositional processes that act within estuarine environments of fluvial meandering systems.

The results from the evaluation of remote sensing data and the techniques applied in this study had demonstrated the potential of the remote sensing tool and historical maps in the study of modifications in highly dynamic tropical coasts (of difficult access). However, these tools may present some difficulties in application to the Amazon coast, which is a region under very dynamic natural and anthropogenic processes that overlap in a short timescale, when comparing with other coastal regions.

Keywords: Environmental changes, remote sensing, Amazonian coast.

RÉSUMÉ

La plaine côtière de l'état brésilien d'Amapá, située dans l'extrême nord du Brésil, présente une diversité d'environnements représentés principalement par les mangroves, les lacs, les forêts inondées (*várzeas*) et les savanes inondables, associés aux plaines d'inondation influencés par les marées et aux estuaires. Dans ce travail nous avons évalué les modifications affectant cette plaine, notamment dans la région de l'estuaire du fleuve Araguari, et présenté les processus responsables de ces modifications.

Les processus naturels qui influencent les modifications de cette plaine sont liés aux épisodes El Niño et La Niña, à la présence de la Zone Intertropicale de Convergence, à l'influence du fleuve Amazone, des marées qui provoquent le mascaret (la *pororoca*). Les processus anthropiques sont associés à l'élevage de buffles. Ces forçages sont présentés et discutés dans la thèse et leur action ainsi que leurs résultats sont évalués à partir de diverses informations environnementales pré-existantes et d'autres recueillies sur le terrain. Nous avons utilisé comme information de base des données de télédétection (photographies aériennes, images radar - radar GEMS 1000 du projet RADAM, JERS-1 et RADARSAT-1, images de capteurs optiques - MSS, TM et ETM+ des satellites Landsat, modèles numériques de terrain - MNT SRTM), traitées numériquement selon une approche multi-capteur, multi-échelle, et multi-date. Des cartes historiques remontant au XVIème siècle ont également été prises en compte.

A partir des techniques et méthodes utilisées nous avons pu mettre en évidence les modes d'utilisation et de couverture du sol et des motifs spatiaux tant naturels qu'anthropiques. Les motifs identifiés ont permis de distinguer deux types d'environnements : fluvial influencé par les marées (plaine d'inondation) et estuarien (mangroves, zones d'estran et canal estuarien). Des indicateurs ont également pu être établis pour caractériser les modifications de la région à partir d'une analyse multi-temporelle de données de télédétection et de cartes historiques. Le phénomène de mascaret a aussi pu être mis en évidence dans l'estuaire étudié.

La confrontation des données de télédétection et des cartes historiques montrent que l'embouchure du fleuve Araguari possédait deux bras, l'un à l'ouest et l'autre au sud d'une terre appelée Carpori. La configuration actuelle de la plaine d'inondation au nord et au sud de l'estuaire et de son méandre final, est récente, car les événements en cause se sont produits entre la fin du XVIIIème et le milieu du XIXème siècle, sachant qu'il existe aussi des indices d'influence anthropique au cours de certains de ces événements.

Le résultat des analyses multitemporelles de données de télédétection à partir de la décennie de 1950, et des informations connexes, montre des modifications survenues dans la plaine d'inondation, et dans la plaine estuarienne. Dans la plaine d'inondation, il s'agit des réseaux de drainage dont certains ont été influencés par le développement de l'élevage, comme l'igarapé Santana. D'autres se sont ouverts sous l'influence de grands événements d'inondation liés au phénomène El Niño / La Niña, comme l'igarapé Novo qui se jette dans le fleuve Gurijuba. Dans la plaine estuarienne, les modifications sont liées à la formation de

barres de chenal et de barres d'embouchure, aux modifications de chenaux de marées et au processus d'érosion des berges de l'estuaire. Ces modifications sont plus évidentes à l'embouchure du fleuve Araguari et découlent principalement de l'action des marées et du phénomène de mascaret qui possède une forte capacité de remobilisation de sédiments. Nous avons pu en outre analyser comment ce phénomène se comporte le long de l'estuaire par des observations effectuées pendant son passage. Les forçages liés à ces modifications peuvent altérer l'impact des phénomènes d'érosion et de sédimentation dans les environnements estuariens de systèmes fluviaux à méandres.

Les résultats de l'évaluation des données de télédétection et les techniques appliquées dans ce recherche démontrent le potentiel de l'outil de télédétection et des cartes historiques dans l'étude des modifications sur des côtes tropicales (difficiles d'accès et) soumises à des changements rapides. Toutefois ces outils présentent aussi des difficultés de mise en oeuvre sur la côte amazonienne, soumise à des processus naturels et anthropiques si dynamiques, qu'ils se superposent à une échelle temporelle très courte par comparaison a l'évolution d'autres environnements côtiers.

Mots clés: modifications côtiers, télédétection, côte amazonienne.

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO E CIENTÍFICO	8
1.2 PRESSUPOSTOS	10
1.3 HIPÓTESES	10
1.4 OBJETIVOS	12
1.5 ÁREA DE TRABALHO	12
1.6 SINOPSE	14

PARTE I

AMBIENTES COSTEIROS AMAZÔNICOS: ESTADO DA ARTE E ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são altamente dinâmicos por serem palco da atuação de complexos processos que ocorrem na transição entre o oceano e o continente. Quando atuam sobre estes forçantes regionais sua complexidade aumenta e, reconhecer esses ambientes e sua dinâmica, é um desafio científico a ser vencido. Junte-se a isso a componente antrópica capaz de modificar os ambientes e potencializar a atuação das forçantes naturais.

1.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO E CIENTÍFICO

Os ambientes costeiros amazônicos estão submetidos a uma dinâmica espacial e temporal ímpar no mundo. Situados na borda da maior floresta do planeta, apresentam, à semelhança desta, paisagens extensas e de difícil acesso, segmentadas por sistemas estuarinos, sendo o maior deles o do Amazonas.

O contexto geográfico e hidrológico particular onde esses ambientes se encontram coloca-os em um regime climático regido pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual influencia na precipitação e conseqüentemente no regime de inundação das áreas costeiras. Some-se a isso a presença dos constantes ventos alíseos e a influência direta do sistema de dispersão de sedimentos do rio Amazonas, o que torna esses ambientes potenciais para o estudo de mudanças globais e regionais.

Na costa amapaense, suas características geomorfológicas e a presença de macromarés potencializam o fenômeno da pororoca produzindo fortes correntes com grande poder de remobilização e erosão de sedimentos. Os processos resultantes da interação dessas forçantes podem ser amplificados com a fragilização dos ambientes pela criação extensiva de búfalos. Esses processos, de ampla distribuição espacial e temporal, podem determinar a dinâmica de uso e ocupação do solo e interagir promovendo modificações. No entanto, essas modificações, como na maioria das costas tropicais, são pouco estudadas do ponto de vista de

sua dinâmica e, seus reflexos na estruturação dos ambientes costeiros. Os estudos dessas modificações são praticamente inexistentes, embora tais modificações sejam reportadas pelas comunidades costeiras. Esses estudos, porém, enfrentam limitações de ordem logística, operacional e metodológica.

Em um ambiente com essa complexidade e com necessidade ainda de caracterização para o entendimento dos seus processos, as facilidades que os produtos de sensores remotos trazem são inegáveis. Os mesmos apresentam possibilidade de se observar os ambientes de diferentes pontos de vista através de sensores diversos, permitindo um maior entendimento dos ambientes e dos processos que neles operam. Esta utilização também passa pela sensibilidade de cada sensor de perceber a resposta dos elementos que compõem a paisagem, o que resulta em potencialidades e limitações, tanto de ordem técnica como inerentes aos ambientes, o que tem sido alvo de poucos estudos.

A importância desse estudo para a gestão ambiental se alicerça na premissa de que o conhecimento da dinâmica dos ecossistemas permitirá desenvolver uma base para o monitoramento a partir de indicadores adequados para a região, seja para processos naturais e/ou antrópicos. Assim, áreas em diferentes estágios de modificação poderiam ser comparadas. Além disso, apesar da gama de sensores remotos disponíveis, muitos deles ainda necessitam de validação e definição de protocolos para o tratamento das imagens, apropriados para a realidade da região costeira amazônica.

A temática abordada insere-se dentro dos temas de interesse atualmente discutidos no Brasil. O direcionamento de investigações e pesquisas para identificação de dinâmicas e complexidades dos impactos naturais e antrópicos nas zonas costeiras se destacou na temática de Sustentabilidade dos Sistemas Marinhos e Costeiros Brasileiros como uma das preocupações do Ministério de Ciência e Tecnologia, conforme apontado no documento básico para estabelecer a Política Nacional de Ciência e Tecnologia do Mar (Castro Fo. *et al.* 2001). Além disso, a atenção ao uso sustentável dos ecossistemas costeiros está explícita pelo Governo Brasileiro com a implantação do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro em 1988. As investigações nos ambientes costeiros como subsídio para a correta gestão desse espaço também é uma preocupação internacional, como atestam os diversos grupos de trabalhos, formados recentemente, nas mais diversas áreas temáticas de pesquisa, com a finalidade de estabelecer diretrizes para a compreensão da dinâmica desses ambientes, e melhorar o nível de conhecimento através da aplicação de ferramentas compatíveis com o estudo dos mesmos. Isto é reflexo do pensamento de que manter a saúde dos ecossistemas

costeiros é fundamental para a manutenção de seus recursos naturais dos quais a humanidade depende e onde a ciência desempenha um papel importante nesse desafio.

1.2 PRESSUPOSTOS

Este trabalho parte do pressuposto de que as modificações que ocorrem nos ambientes costeiros podem ser identificadas e estudadas através de dados de sensores remotos, assim como suas forçantes, por possuírem respostas espacial, espectral e temporal nas imagens (Fig. 1.1).

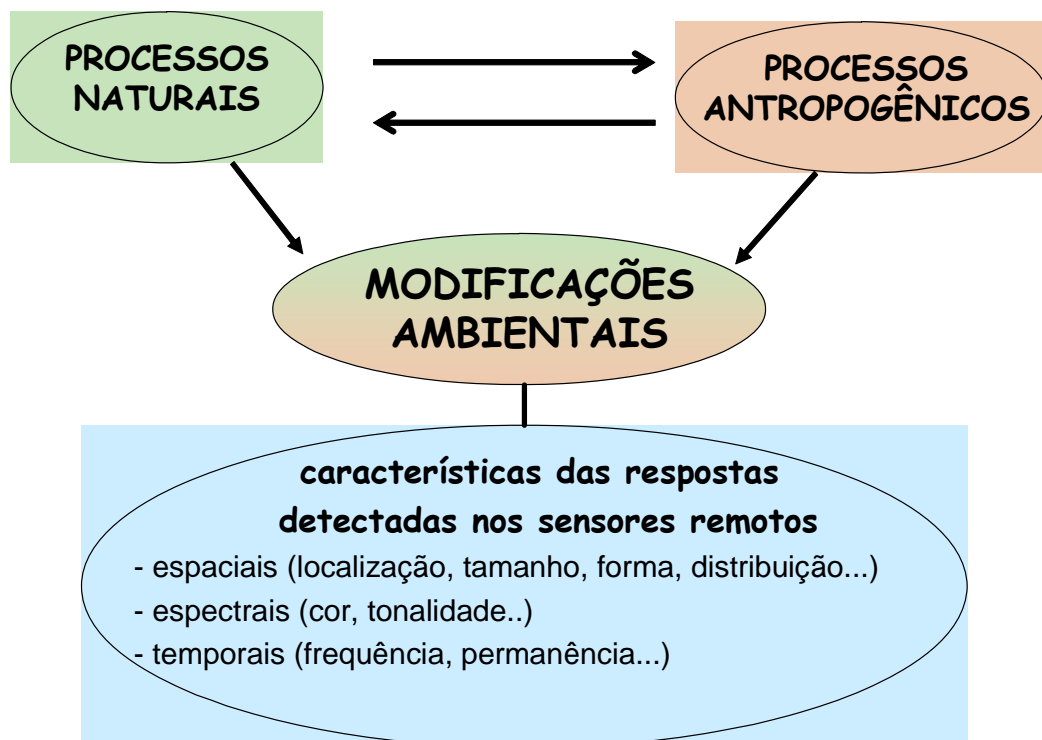


Figura 1.1: Pressupostos para desenvolvimento desta tese.

1.3 HIPÓTESES

As hipóteses de trabalho foram abordadas na forma de questionamentos e são apresentados na Fig. 1.2.

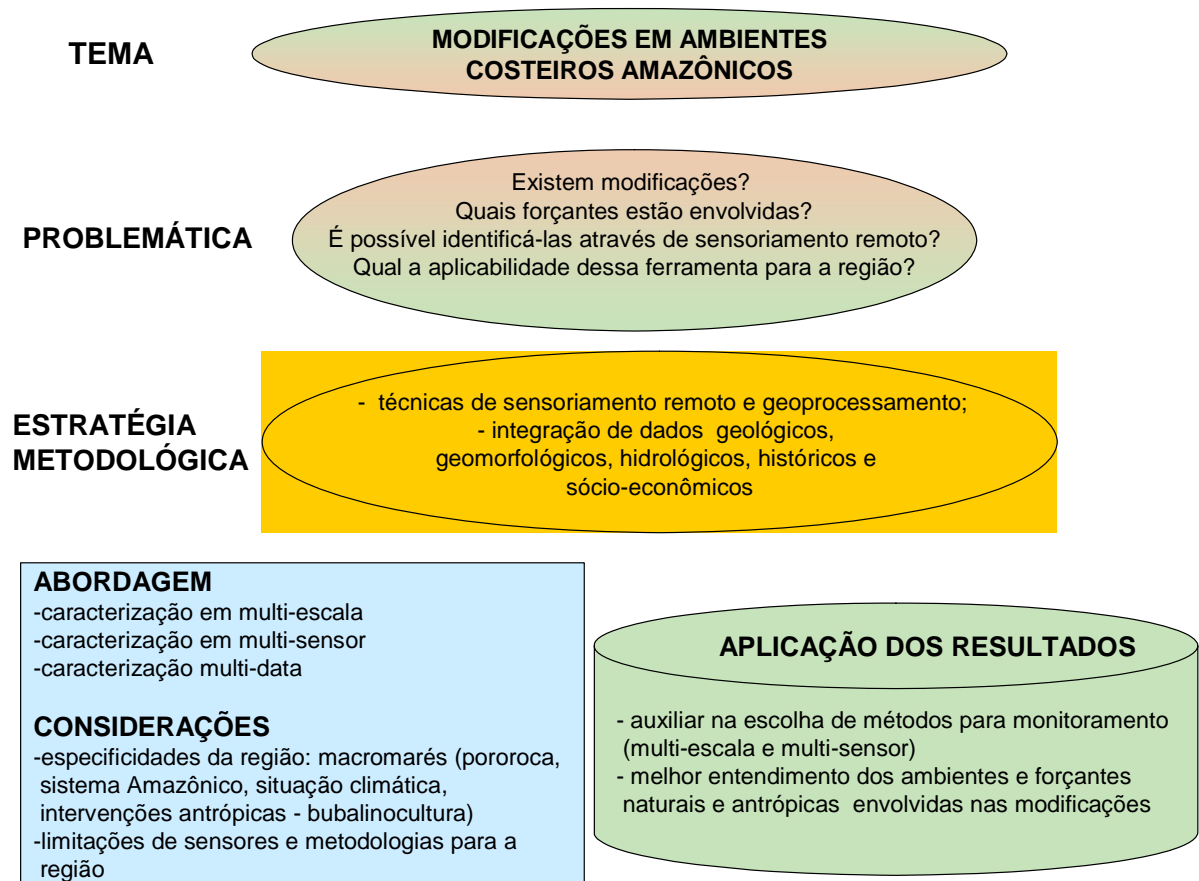


Figura 1.2: Resumo dos questionamentos, estratégias, abordagem e aplicação de resultados.

Quatro hipóteses são testadas nesta tese:

PRIMEIRA HIPÓTESE:

Ø H1 - Existem modificações ambientais na planície costeira amapaense.

No caso de resposta afirmativa, será testada a **SEGUNDA** hipótese:

Ø H2 - Essas modificações são decorrentes tanto de processos naturais quanto antrópicos.

Se as hipóteses acima forem confirmadas, a **TERCEIRA** e **QUARTA** hipóteses serão testadas:

Ø H3 - Os dados de sensores remotos (óticos e radar) disponíveis podem identificar os produtos dessas modificações;

Ø H4 - Os dados de sensores remotos podem identificar as forçantes responsáveis pelas modificações.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo geral:

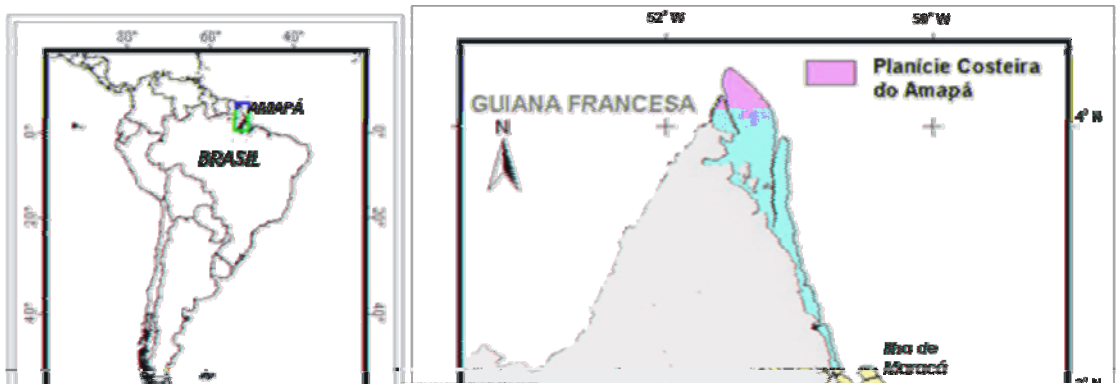
Ao final desta tese, pretende-se ter um claro discernimento das potencialidades e limitações dos sensores remotos, quando aplicados na planície costeira do Amapá, para estudo das modificações de curto período, sejam elas de origem natural e/ou antrópica e, de forma complementar, entender a dinâmica ambiental imposta pelos processos responsáveis por essas transformações.

Objetivos específicos:

- Ø Identificar e analisar as modificações impostas sobre os ecossistemas costeiros na planície do Amapá, principalmente ao longo do estuário do rio Araguari, procurando caracterizar as forçantes e produtos, bem como em que escalas (temporal e espacial) elas podem ser detectadas;
- Ø Identificar e avaliar os padrões de uso e ocupação resultantes da atividade de bubalinocultura, no estuário do rio Araguari, procurando caracterizar nas imagens de sensores remotos a dinâmica antrópica responsáveis por esses padrões;
- Ø Estabelecer indicadores de modificações, com o propósito futuro de indicar áreas mais susceptíveis às modificações ambientais e aquelas alteradas pela atividade de bubalinocultura;
- Ø Analisar a evolução das transformações que ocorreram no rio Araguari, a partir da avaliação de produtos de sensores remotos (último 50 anos), e da correlação com mapas históricos (últimos 300 anos);
- Ø Aplicar a ferramenta de sensoriamento remoto na planície costeira amapaense, com vistas a entender suas potencialidades e limitações para o estudo dos ambientes costeiros e sua dinâmica na costa amazônica.

1.5 ÁREA DE TRABALHO

A área foco do trabalho é a planície costeira do Amapá, mais especificamente o estuário do rio Araguari (Fig. 1.3).



1.6 SINOPSE

Os resultados da tese são apresentados em cinco partes. Cada parte é composta por capítulos e, à exceção da parte I, todos apresentam discussões e conclusões do assunto tratado. Ao final as conclusões são apresentadas a partir das hipóteses e objetivos traçados.

A primeira parte apresenta a planície costeira amazônica, em escala regional (costa amazônica) e sub-regional (planície costeira do Amapá), à luz dos estudos pré-existentes (Capítulo 2) e apresenta a estratégia metodológica do trabalho (Capítulo 3).

A segunda parte trata das modificações ambientais nas áreas costeiras e das forçantes naturais e antrópicas envolvidas nessas mudanças. As forçantes naturais globais e regionais que atuam nas costas tropicais são apresentadas, com destaque para os seus mecanismos, escala e produtos. Nas forçantes antrópicas é discutida a influência da pecuária nas modificações dos ambientes (Capítulo 4). À luz desses conhecimentos e dos estudos realizados nesta tese, apresentam-se, no capítulo 5, as principais forçantes que atuam na costa amazônica, com destaque para a planície costeira do Amapá e o estuário do rio Araguari.

Na terceira parte são apresentadas as ferramentas, técnicas e a aplicação do sensoriamento em áreas costeiras tropicais (Capítulo 6), destacando-se o avanço dessas ferramentas, técnicas e suas aplicações na costa amazônica (Capítulo 7), algumas das quais foram aplicadas no estuário do rio Araguari nesta pesquisa (parte IV).

Na quarta parte, após a análise dos resultados das dinâmicas antrópica e natural na costa amapaense, faz-se a aplicação do sensoriamento remoto no estuário do rio Araguari e sua planície de inundação, reconhecendo-se os padrões naturais e antrópicos e suas dinâmicas (Capítulo 8). A partir desses resultados e do entendimento das interações entre as forçantes naturais e antrópicas abordadas na parte II, identificam-se e analisam-se os elementos que podem ser utilizados como indicadores de modificações (Capítulo 9). No capítulo 10, retrocede-se na avaliação das modificações no estuário até ao século XVII, a partir de mapas antigos correlacionados com dados de sensores remotos. Estes últimos permitiram uma avaliação mais contínua das modificações desde os anos de 1950.

Na quinta parte são avaliadas as potencialidades e limitações dos dados e técnicas aplicadas para o estudo das modificações na área de pesquisa (Capítulo 11).

A sexta parte apresenta as principais conclusões do trabalho e abre perspectivas para que os estudos possam prosseguir com a finalidade de entender a complexa dinâmica dessa região e seus resultados na construção dos ambientes costeiros amazônicos (Capítulo 12).

2 COSTA AMAZÔNICA	15
2.1 PLANÍCIE COSTEIRA AMAZÔNICA	16
2.1.1 Aspectos Fisiográficos, Geológicos e Oceanográficos	16
2.1.2 Principais Pressões Antrópicas	20
2.2 PLANÍCIE COSTEIRA DO AMAPÁ-ASPECTOS FISIOGRAFICOS E EVOLUTIVOS	22
2.2.1 Segmentos Progradacionais	24
2.2.2 Segmentos Retrogradacionais	27
2.3 O ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI	30
2.3.1. O Rio Araguari	30
2.3.2 O Estuário	34
2.3.2 Uso, Ocupação e Pressões Antrópicas	36

Capítulo 2

COSTA AMAZÔNICA

A costa amazônica, denominada por Silveira (1972) de litoral amazônico, é uma feição fisiográfica que se estende por aproximadamente 2.700 km, desde a Baía de São Marcos, no Maranhão, até ao Delta do Orenoco, na Venezuela. Está localizada dentro da zona tropical caracterizada por áreas de alta pluviosidade, normalmente superior a 2.000 mm/ano, associada à ocorrência dos ventos alíseos, responsáveis por trazer a umidade dos oceanos (Fig. 2.1).

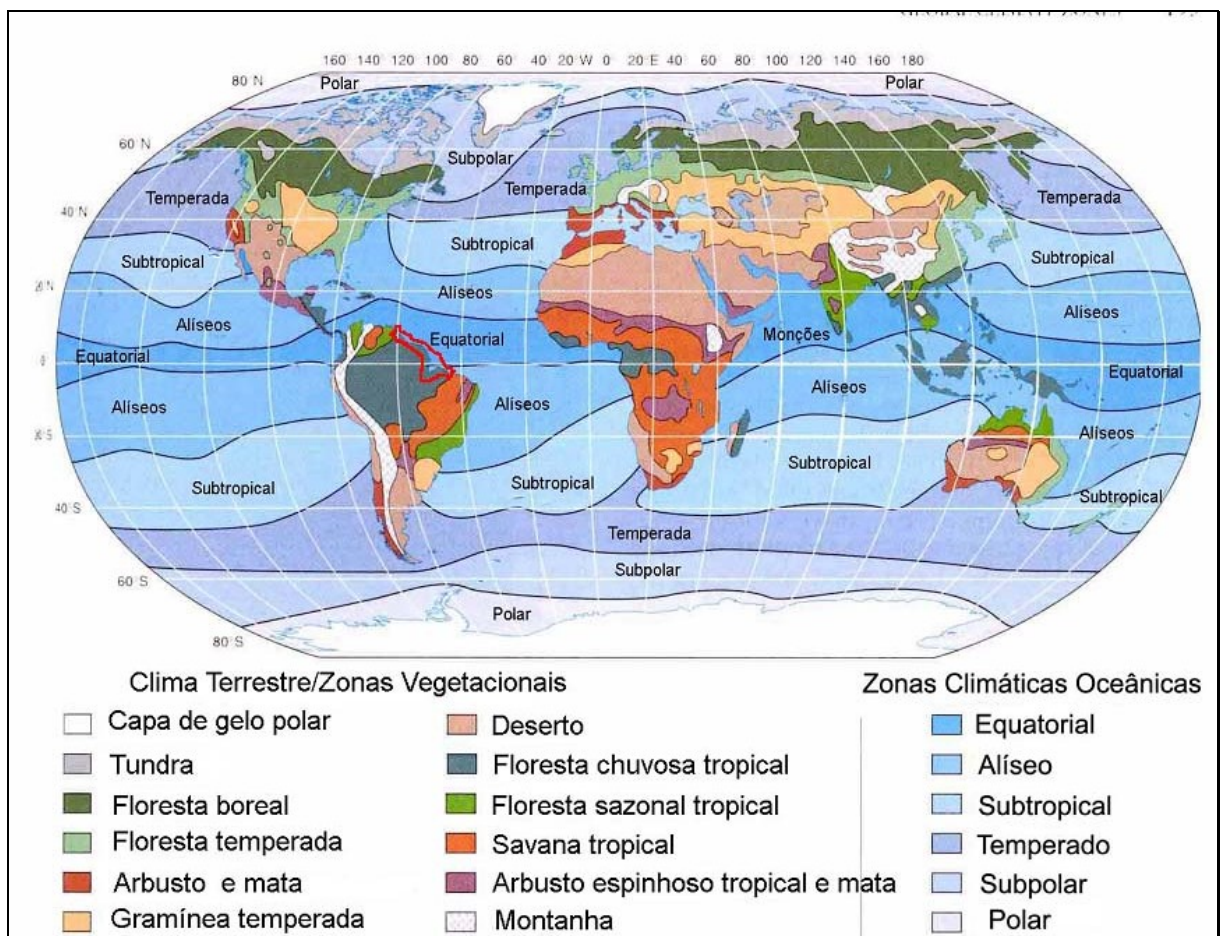


Figura 2.1: Clima terrestre, zonas vegetacionais e zonas climáticas oceânicas. Notar a presença das áreas tropicais associadas às zonas climáticas dos ventos alíseos. Linha em vermelho destacando costa amazônica (Segar, 1998).

2.1 PLANÍCIE COSTEIRA AMAZÔNICA

2.1.1 Aspectos Fisiográficos, Geológicos e Oceanográficos

A planície costeira amazônica encontra-se em contato com três principais conjuntos litológicos: a) rochas do embasamento que constituem o Escudo das Guianas, aflorando a norte do rio Amazonas e estendendo-se até a Venezuela; b) sedimentos terciários e quaternários da Formação Barreiras e do Pós-Barreiras, dispostos em uma estreita faixa entre o embasamento cristalino e a planície costeira, que ocorrem desde a Baía de São Marcos até o Oiapoque; c) depósitos das bacias sedimentares da Foz do Amazonas, que margeia a planície costeira ao longo do rio Amazonas, em direção a sua foz e, da Bacia do Parnaíba, na região de São Luis (Fig. 2.2)

A história dessa planície costeira remonta à Orogenia Andina, iniciada no Oligoceno Superior (aproximadamente 30 milhões de anos) e com pico no Plioceno (5,3 milhões de anos), que influenciou notadamente o desenvolvimento dos sistemas dos rios Amazonas e Orenoco (Hoorn, 1993; Hoorn *et al.* 1995; Diaz de Gamero, 1996, Potter, 1997). Seus depósitos foram construídos a partir do Pleistoceno, melhor registrados na planície costeira do Suriname e da República da Guiana (Palvadeau, 1999) e, cujos vestígios na costa amazônica brasileira ainda são desconhecidos.

O reflexo de sua história geológica, e da marcante contribuição do sistema amazônico, reflete-se em um relevo plano, onde um pequeno aumento no nível de água pode resultar na imersão da costa, em função das cheias dos rios (ver Capítulo 5), associados à ação da maré astronômica, ou mesmo da meteorológica.

A sedimentação dessa planície é controlada por cinco fatores principais: a história de variação do nível do mar; a tectônica, o suprimento sedimentar, as condições oceanográficas e o clima. Estes fatores aliados às características geológicas permitiram que Silveira (1972) distinguisse três compartimentos: litoral guianense e litoral oriental, seccionados pelo Golfão Amazônico. Nesta pesquisa o termo guianense, está sendo substituído por ocidental (Fig. 2.2).

As variações do nível marinho foram responsáveis pela construção dos estuários durante a última transgressão (Reinson, 1992), sendo influenciada também pela tectônica regional. Esta, por sua vez, controla a fisiografia da costa, influenciando também na direção dos rios e conseqüentemente dos estuários (Fig. 2.2), tendo reflexos na sedimentação (Mendes, 1994; Silveira, 1998; Souza Filho e El-Robrini, 2000).

O Sistema de Dispersão Amazônico desempenha um papel determinante no provimento dos sedimentos lamosos (ver Capítulo 5), alimentando grande parte da costa (Fig. 2.3).

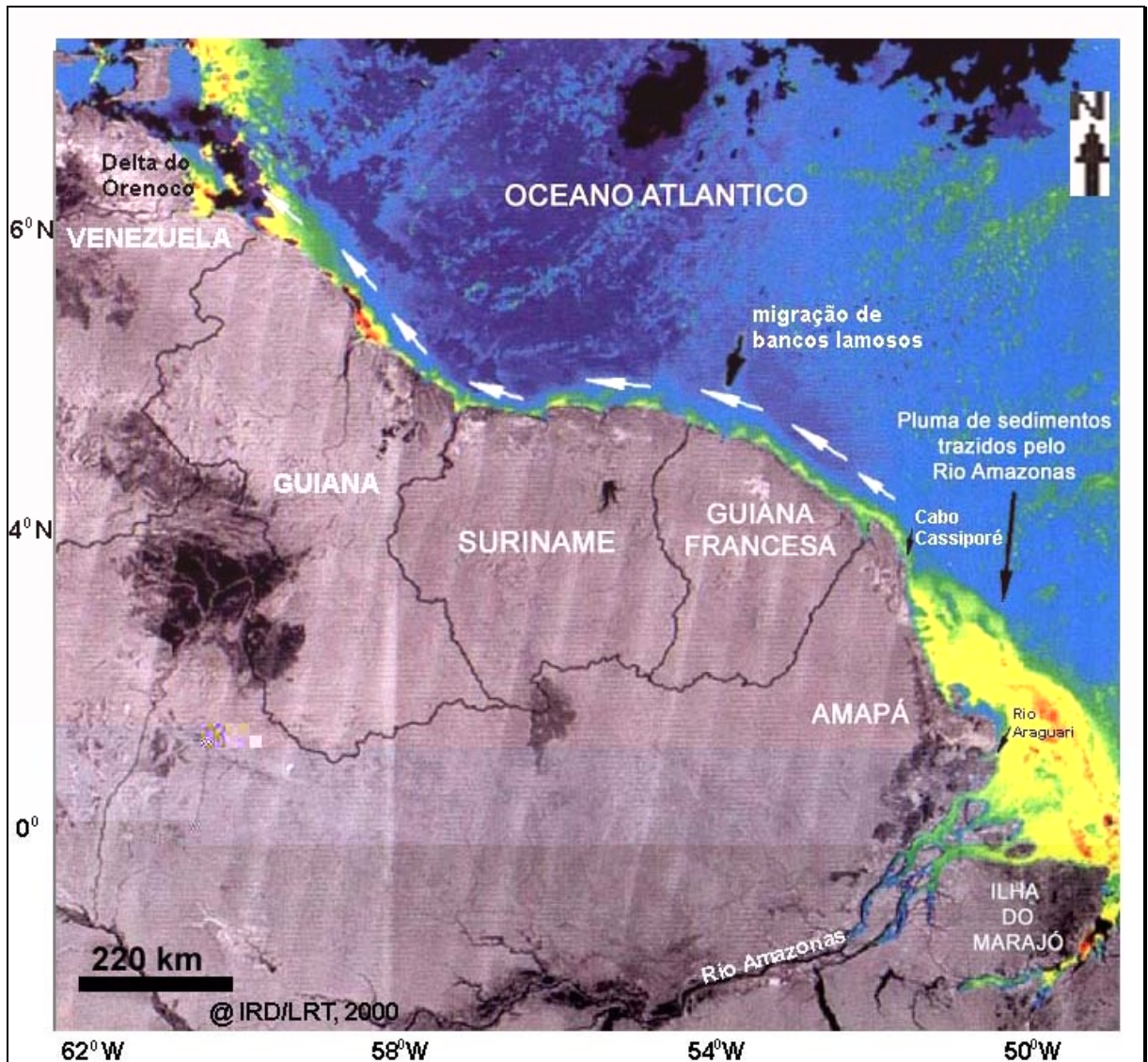


Figura 2.3: Sistema de dispersão do rio Amazonas e a influência de sua pluma até o Delta do Orenoco na Venezuela. Mosaico de imagens de radar do satélite JERS-1 (1995) e do NOAA (nov/1999).

As condições oceanográficas são determinadas por regimes de macromarés, com amplitudes variáveis, que decrescem em direção à costa das guianas, submetida ao regime de meso e micromarés. As ondas são mais atuantes no litoral oriental, retrabalhando os sedimentos arenosos. Na plataforma, a presença da Corrente Norte Brasileira (CNB) interfere

no direcionamento da pluma de sedimentos do rio Amazonas, impedindo a dispersão desses sedimentos para regiões mais profundas do mar, e permitindo a sua deposição ao longo da costa ocidental e da plataforma.

O clima tropical, controlado pela ZCIT, influencia na descarga líquida e sólida dos rios (ver Capítulo 5), como também nos processos intempéricos regionais.

Outra característica marcante da costa amazônica é a presença de florestas de mangue, desenvolvidas ao longo dos estuários, sistema dominante nesta costa, que possui como o seu maior representante o próprio rio Amazonas. Estas florestas, com aproximadamente 17.500 km² (Herz, 1991; Spalding *et al.*, 1997), representam a maior feição geobotânica da costa amazônica brasileira. No litoral oriental constituem, segundo Souza Filho (2005), o cinturão de manguezais de macromaré mais extenso e contínuo do mundo com aproximadamente 7.600 km², ultrapassando os da costa da Ásia continental identificados por Blasco (2001).

Associados aos sistemas estuarinos, encontram-se depósitos de praias, dunas, deltas de maré, *cheniers*, planícies de maré, planícies de cristas praias e, pântanos salinos. Destaca-se ainda, um singular sistema de lagos costeiros (ver item 2.3), vinculados ao Cabo Norte, na Planície Costeira do Amapá (Mendes, 1994; Santos, 1996; Santos *et al.*, 2001; Silva, 1996; Silveira, 1998; Souza Filho e El-Robrini, 2000).

Os sedimentos siliciclásticos finos (lama), são dominantes na Costa Ocidental e Golfão Amazônico, em virtude da influência do rio Amazonas (Fig. 2.2) e suprem as planícies de inundação e de marés. A característica marcante dessa dominância é a formação de uma extensa zona de deposição pelítica, associada à planícies de marés estuarinas, encontrada a partir do Cabo Cassiporé até a Venezuela (Fig. 2.3), considerada a maior do planeta, com aproximadamente 1.600 km (Allison e Lee, 2004). Ao longo da costa amapaense e em direção a costa das guianas, os sedimentos arenosos são encontrados apenas nas desembocaduras dos estuários (ver item 2.3.1) e nos *cheniers* (Augustinus *et al.*, 1989; Prost, 1989a; Silveira, 1998). Em regiões mais restritas existem sedimentos biodetríticos, como no litoral do Suriname.

Na Costa Oriental, os sedimentos arenosos dominam as planícies de submaré, constituindo os bancos arenosos de maré (*sand tidal shoal*), ondas de areia (*sand waves*) e cristas arenosas (*sand ridges*), expostos durante a baixamar. Na linha de costa se destacam os pontais arenosos (*spits*) e deltas de marés e, mais para o interior da planície, os depósitos de

dunas e planícies de cristas de praias. Os sedimentos finos estão associados às planícies lamosas colonizadas pelos manguezais (Souza Filho, 1995; Santos, 1996; Silva, 1996).

Em função da variedade e complexidade das forças envolvidas na formação e manutenção (ver Capítulo 5) dos ambientes costeiros amazônicos, eles são difíceis de serem enquadrados em modelos deposicionais clássicos, necessitando ainda de maiores estudos para sua caracterização.

O estágio de desenvolvimento da costa amazônica e as suas características levam o homem a ter uma dependência estreita das condições ambientais, para executar suas atividades econômicas e viver ao longo do litoral.

O grande aporte fluvial e o retrabalhamento dos sedimentos pelos processos costeiros propiciam o assoreamento de canais, provocando impacto na navegabilidade dos estuários, cujos canais são mantidos por dragagens periódicas, nos locais onde os portos estão instalados. Os processos erosionais e deposicionais provocam a transferência de vilas e casas. Ao mesmo tempo trazem problemas jurisdicionais, por modificarem as áreas dos terrenos e dificultarem a localização de terrenos estáveis para implantação de obras infraestruturais. As condições de inundações, desencadeadas pelos processos climáticos e oceanográficos, também influenciam no desenvolvimento das atividades econômicas ao longo das planícies de inundação e dos estuários (ver Capítulo 5).

2.1.2 Principais Pressões Antrópicas

Enquanto no aspecto natural os estudos da costa amazônica têm permitido pelo menos entender suas características globais, não se pode dizer o mesmo em relação aos fatores antrópicos e suas implicações sobre as modificações dos ambientes. Isto se deve em parte à baixa densidade demográfica da região, porém quase toda concentrada ao longo da costa e estuários. As pressões antrópicas mais evidentes são pontuais, concentrando-se nas áreas urbanas, que possuem em torno de 90% da população costeira. Nas áreas rurais, as pressões antrópicas estão vinculadas ao desenvolvimento das atividades de agricultura e pecuária e à exploração de recursos naturais.

As principais pressões estão associadas a:

- exploração de óleo realizadas na Costa da Venezuela, pela PDVSA e no Suriname pela companhia N.V.Staatsolie (State Oil) (Bouwer, com. verbal, 2005);

- implantação de infraestrutura: estradas, ramais, redes de abastecimento de energia, etc... localizados principalmente sobre depósitos mais antigos da planície costeira;
- agricultura relacionada a plantações de coco sobre depósitos de cheniers (Guiana), plantações de arroz (Suriname e Guiana Francesa) e agricultura itinerante praticada na costa amazônica brasileira por pequenos agricultores às margens do rio Amazonas e dos outros rios que drenam a região;
- implantação de estrutura para defensas marinhas contra a erosão, na costa da República da Guiana (Daniel, 1989);
- assentamentos humanos relacionados à implantação de povoados, vilas, cidades e empreendimentos industriais ao longo dos estuários.

Para a costa amazônica brasileira as pressões são diferenciadas de acordo com as características fisiográficas da região.

Para a costa oriental:

- seccionamento dos manguezais pela construção de estradas de acesso à praia impedindo os processos de trocas de águas, nutrientes e sedimentos a exemplo do que ocorre na planície costeira Bragantina e Ilha de Atalaia relatadas por Souza Filho (2000) e Mendes *et al.* (2001);
- ocupação desordenada de praias (Mendes *et al.*, 2001; Souza Filho, 2001), impedindo o fluxo natural de sedimentos nesses ambientes;
- retirada de arenito ferruginoso e de areias de praias e dunas para construção civil, são registradas nas ilhas de Algodal e Atalaia (Mendes *et al.*, 2001), diminuindo a proteção natural da linha de costa;
- disposição de resíduos sólidos em praias e mangues (Souza Filho, 2001);
- corte de árvores de manguezais, despejos de óleo, depósitos de lixo, além outros tensores na Ilha de São Luís, costa maranhense (Mochel *et al.*, 2001);
- criação de búfalos na Baixada Maranhense (Ibañez *et al.*, 2000).

Na região do Golfão Amazônico e na costa amapaense:

- agricultura itinerante nas margens dos rios e estuários;

- assentamentos humanos na borda do Planalto Costeiro, estendendo-se para a planície, com construção de cidades e trazendo problemas relacionados à disposição de resíduos sólidos e líquidos;
- implantação da BR-156 sobre o Planalto Costeiro e parte setentrional do embasamento cristalino, na costa do Amapá;
- criação de búfalos de forma extensiva nas planícies de inundação (Ilha de Marajó, no Pará) e Amapá (ver Capítulo 5).

Considerando-se o exposto acima e apoiando o que advoga Warne *et al.* (2002) para a costa da Venezuela, as mudanças induzidas pela ocupação humana na costa amazônica ainda são possíveis de serem distinguidas, tornando possível estudar os efeitos das alterações antrópicas, na estabilidade e integridade natural de seus ecossistemas.

2.2 PLANÍCIE COSTEIRA DO AMAPÁ-ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E EVOLUTIVOS

De um modo geral a planície costeira do Amapá é constituída por uma zona de terra alagável que ocupa uma área de aproximadamente 18.800 km² (cálculos a partir da base de dados de Bizzi *et al.*, 2001). Encontra-se bordejada por sedimentos da bacia Foz do Amazonas e pelos sedimentos da Formação Barreiras e Alter do Chão que constituem o Planalto Costeiro (Fig. 2.4), em uma estreita faixa que diminui em direção ao norte, até deixar a planície em contato direto com o embasamento cristalino. Os sistemas de lagos, no Cabo Norte, encontram-se em uma das áreas mais largas da planície costeira amazônica (aproximadamente 100 km) e foi separada por Silveira (1998), de acordo com a sua evolução geológica-geomorfológica, em três cinturões: Oriental, Meridional e Ocidental (Fig. 2.5), onde são reconhecidas feições de sistemas deltáicos com mega cicatrizes perceptíveis em qualquer imagem de satélite.

A evolução dessa região ainda não foi devidamente esclarecida e alguns desses lagos apresentam feições que lembram *ox-bow*, cuja disposição parece estar associada a fatores tectônicos locais (Silveira, 1998) e à evolução do rio Araguari (ver Capítulo 10).

O Cabo Norte é um divisor de processos geológicos e oceanográficos diferenciados, ao longo da costa amapaense, já observados por Magnanini (1952).

Esses processos diferenciados, aliados à história geológica, influenciam para que a linha de costa atual apresente, ao mesmo tempo, segmentos acrescionários e erosionais, que se

intercalam e dividem a linha de costa atual em quatro porções (Silveira e Santos, 2003). Estes segmentos podem ser correlacionados aos sistemas evolucionários progradacionais e transgressivos de Boyd *et al.* (1992). Prefere-se nesta pesquisa, assinalar esses segmentos como progradacionais e retrogradacionais, por falta de estudos concretos sobre variações do nível do mar nessa costa.

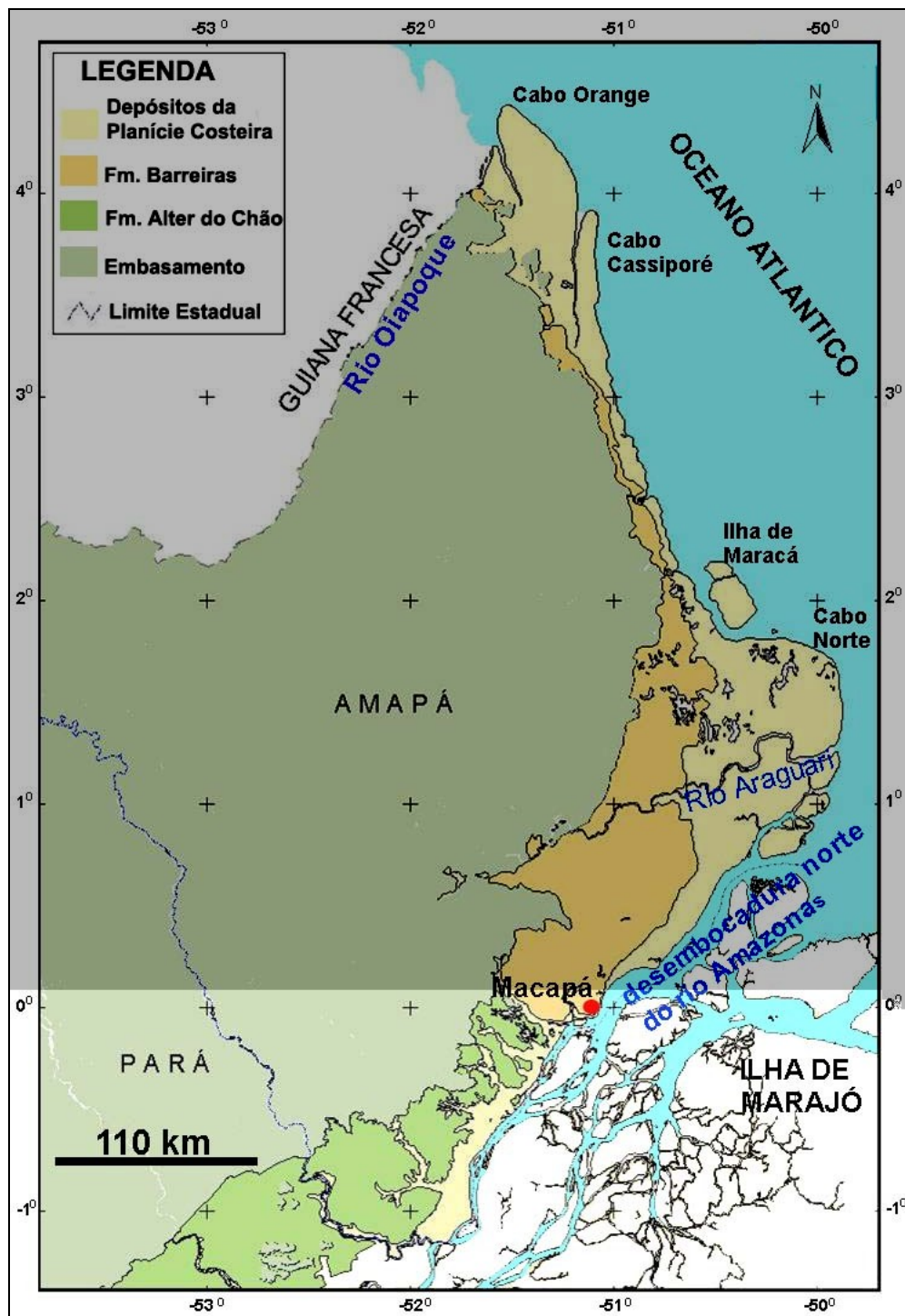


Figura 2.4: Contexto geológico regional da planície costeira amapaense. Adaptado de Bizzi *et al.* (2001).



Figura 2.5: A região dos lagos na planície de inundação a norte do rio Araguari (ao sul), na planície costeira amapaense. 1) Cinturão Lacustre Oriental; 2) Cinturão Lacustre Meridional, 3) Cinturão Lacustre Ocidental. Fonte: Carta imagem de radar do Projeto RADAM com a localização dos cinturões lacustres apontados por Silveira (1998).

2.2.1 Segmentos Progradacionais

Os segmentos progradacionais correspondem às áreas de acreção, localizados no extremo norte do Amapá (Segmento Progradacional I - SP I) e na foz do rio Amazonas (Segmento Progradacional II - SP II) (Figs. 2.6 e 2.7).

Tanto no SP I (Fig. 2.6), quanto no SP II, a progradação ocorre às expensas dos sedimentos oriundos do rio Amazonas. No SP I, formam-se os cabos lamosos na desembocadura dos estuários dos rios Cassiporé e Oiapoque e desenvolve-se onde a pluma de sedimentos do Amazonas torna-se mais estreita e bem próxima da costa (Fig. 2.3). O SP II (Fig. 2.7) caracteriza zonas acrescionárias na desembocadura do estuário do rio Araguari e a formação e modificação de ilhas, na foz do rio Amazonas (Silveira *et al.*, 2002), sendo controlada pela hidrodinâmica dos rios Araguari e Amazonas.

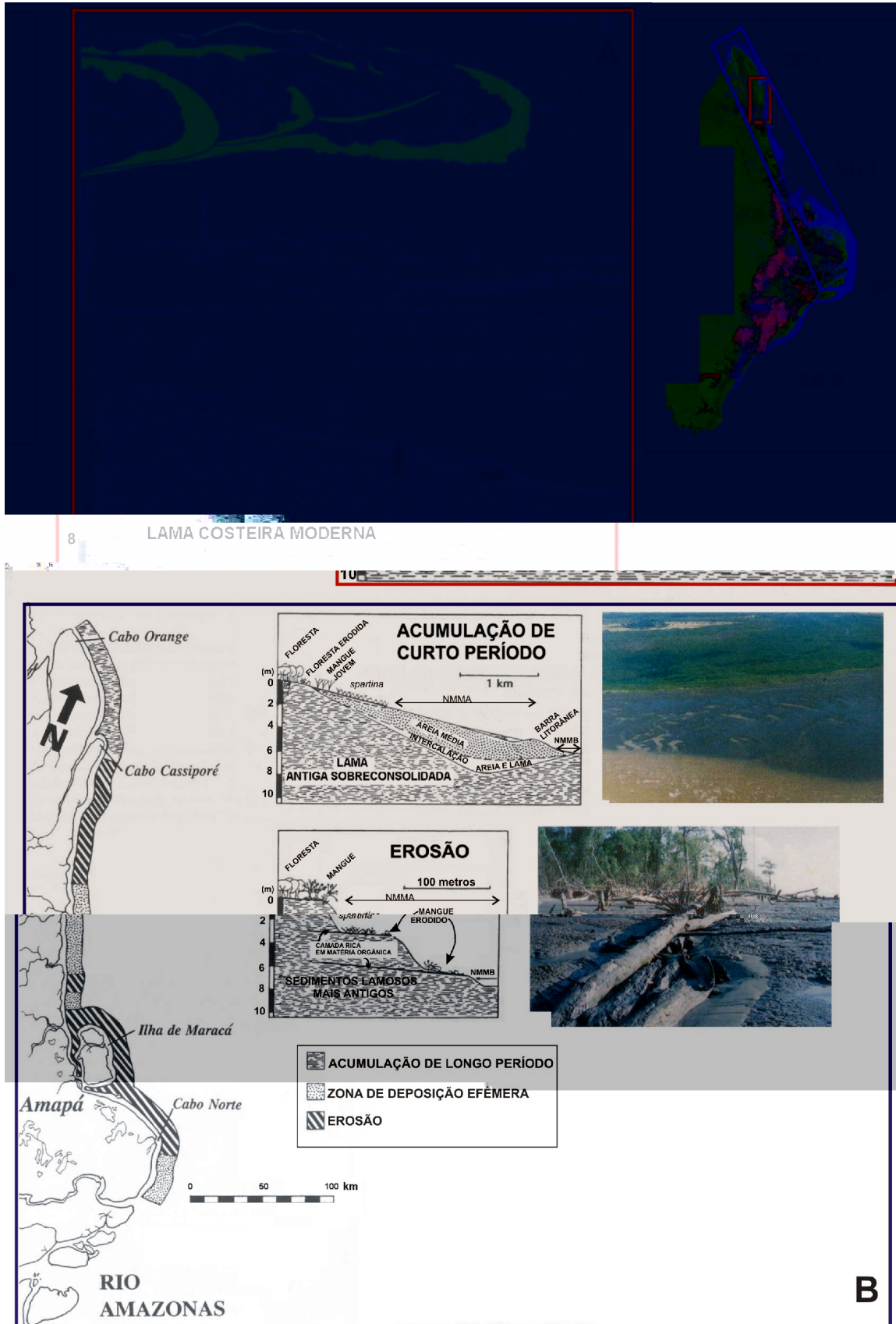


Figura 2.6: A) SP I com detalhe para a acresção no cabo Cassiporé e desenho mostrando os mecanismos de acresção; B) SR I mostrando as zonas de acumulação de curto período (zona de acumulação efêmera). Detalhe das fotos mostrando acresção, com vegetação de spartina na

linha de costa e foto abaixo mostrando a erosão da floresta de mangue. Fonte: Modificado de Nittrouer *et al.* (1991); Allison *et al.* (1995), Nittrouer *et al.* (1996) e Silveira (1998).

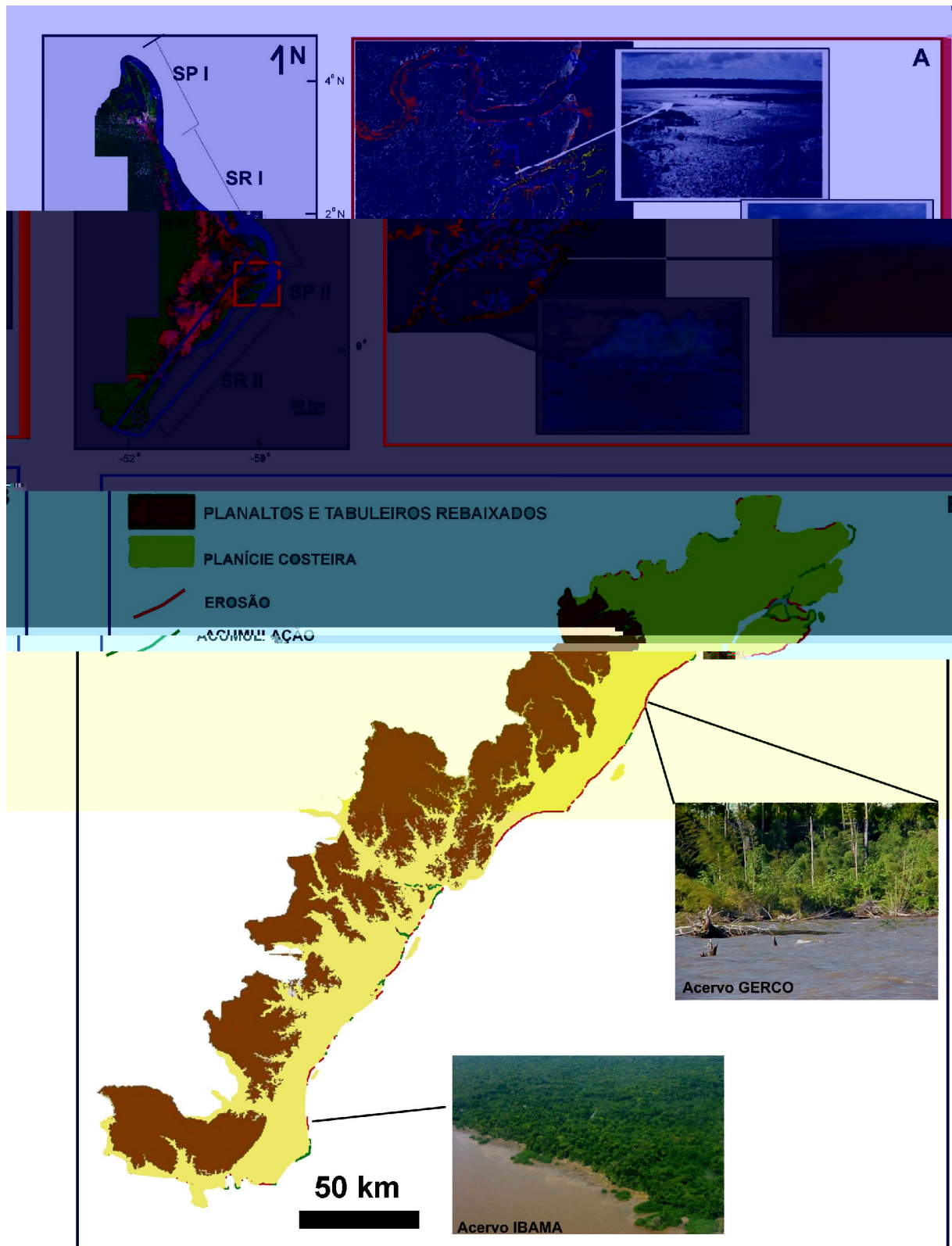


Figura 2.7: A) SP II na foz do rio Amazonas (Silveira *et al.*, 2002); B) planície costeira a sul do rio Araguari. Observar o predomínio de erosão nas áreas de florestas de várzea (fotos), constituindo o SR II (modificado de Santos *et al.*, 2003).

A progradação do Segmento I teria se iniciado antes de 4.450 anos A.P, intercalada por eventos de não deposição ou de erosão (Silveira, 1998). A taxa de acumulação registrada para o Cabo Cassiporé é superior a 2,5 cm/ano na porção norte e, maior que 1 mm/ano, no flanco leste (Allison *et al.*, 1995).

No SP II, a taxa de progradação é de aproximadamente 230 m/ano, estimadas por Faria (2005), a partir da análise multitemporal de imagens de satélite, entre os anos de 1972-2002, para a parte noroeste da Ilha de Caviana, próximo a foz do Amazonas.

A cobertura vegetal possui um papel importante nesta progradação, auxiliando na fixação dos sedimentos depositados e marcando eventos progradacionais (ver capítulos 5 e 9).

2.2.2 Segmentos Retrogradacionais

Os segmentos retrogradacionais dominam a maior parte da costa amapaense. Ocorrem tanto em sua porção voltada para o oceano Atlântico (Segmento Retrogradacional I - SR I), como naquela voltada para o rio Amazonas (Segmento Retrogradacional II - SR II) (Figs. 2.6 e 2.7).

O SR I se localiza entre o sul do Cabo Cassiporé e a porção setentrional do estuário do rio Araguari, onde se inicia o SP II. É caracterizado por forte erosão de florestas de mangue, estabelecidas sobre depósitos argilosos sobreconsolidados, resultando na formação de terraços erosionais (Fig. 2.6). A erosão é descontinuada apenas por depósitos arenosos temporários associados a desembocadura dos sistemas estuarinos (Amapá Grande, Calçoene, Cuñani e Araguari) denominados de Zonas de Acumulação Efêmera (Mendes, 1994; Allison *et al.* 1995). As fontes de sedimentos desses depósitos efêmeros são tipicamente fluviais (Mendes, 1994), entretanto, sedimentos biodetríticos de origem marinha foram encontrados na foz do rio Araguari (Santos, 1994). Mendes (1994) advoga que a natureza estuarina dos rios que drenam esse setor é confirmada pela presença de águas salobras e de maré dinâmica em áreas situadas alguns quilômetros à montante da desembocadura desses rios (ver Capítulo 5).

O SR II caracteriza-se pela presença de extensos terraços erosionais com cerca de 1 a 2 metros de altura, localizados nas margens do rio Amazonas, marcados por erosão da floresta de várzea. O segmento é seccionado ocasionalmente pela formação de áreas acrescionárias restritas, associadas à formação e progradação de ilhas na foz de alguns rios (Fig. 2.7) que

drenam esse setor costeiro. Essas drenagens recebem a influência da maré dinâmica através do rio Amazonas, podendo caracterizá-

adentrando nos sistemas estuarinos (Fig. 2.8B). São constituídas por siriúbas (*Avicenia* sp.), mangue-vermelho (*Ryzophora* sp.) e mangue-branco (*Lagunculária* sp.) (Leite *et al.*, 1974).

Os campos inundáveis (Fig. 2.8C) fazem parte da planície de inundação dos rios e estuários que drenam a região. Encontram-se entre as unidades de florestas de várzea e/ou manguezais e o limite da planície costeira com os terrenos terciários ou cristalinos. São submetidos ao regime de inundações, porém recebem a influência das marés através das drenagens que recortam essa unidade.

A cobertura vegetal nas áreas periodicamente inundadas é composta por Poaceae, Cyperaceae, Nymphaeaceae, Alismataceae, Araceae, Maranthaceae. Nos campos herbáceos e nos campos arbustivos destacam-se as espécies como taxi (*Triplaris surinamensis* Cham.), mamorana (*Pachira aquatica* Aubl.), munguba (*Bombax munguba* Mart. et Zucc.); arbustos esparsos como *Solanum* sp., *Mimosa pigra* L. e as palmeiras buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) e caraná (*Mauritiella aculeata* (Kunth) Burnet.). Nas regiões mais rebaixadas e mais alagadas a vegetação é composta por aninga (*Montrichardia arborescens* Shortt), tiriricão (*Scleria* sp.), buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.), piri (*Cyperus giganteus* Vahl.). Nas depressões onde se formam lagos permanentes, com acúmulo de matéria orgânica proveniente da decomposição das macrófitas aquáticas, destaca-se o aguapé (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms e *E. azurea* (Sw.) Kunth.), mururé (*Nymphaea* sp.), cabomba (*Cabomba aquatica* DC.) e outras aquáticas (Leite *et al.*, 1974; Costa Neto, *et al.*, 2003).

Para o interior da costa onde se localiza o SR I, estes campos estão associados aos sistemas de lagos e são desenvolvidos sobre sedimentos siltosos e arenosos, encontrando-se ainda sobre camadas de turfa (Silveira, com. verbal). Na região do SR II estão associados a planícies fluviais em processo de colmatação, denominados localmente de “ressacas”. Apresentam sedimentos siltosos e com maior percentual de areia quando se associam a paleocanais (Costa *et al.*, 1999; Santos *et al.* 2001). Estas planícies tiveram franca influência do rio Amazonas até aproximadamente 5000 anos A.P. (cal), conforme atestado pelos resultados de análise de polens realizadas por Toledo (2004).

Embora reduzidos, se comparados com a costa paraense, ambientes praias são encontrados em lugares restritos na costa amapaense e são marcados pela presença de sedimentos arenosos e siltosos, destacando-se a praia da Ilha do Parazinho (Fig 2.9A), na foz do rio Amazonas; a praia de Ilha Vitória, na foz do rio Araguari (Fig. 2.9B) e; a praia de Goiabal, associada ao estuário do rio Calçoene.

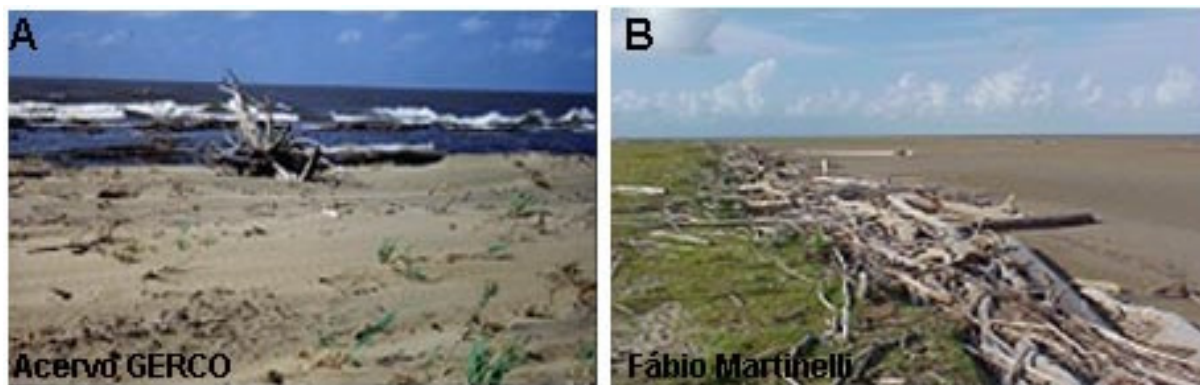


Figura 2.9: Ambientes praias na costa do Amapá. (A) praia na ilha de Parazinho, foz do rio Amazonas; (B) praia na ilha Vitória, foz do rio Araguari.

2.3 O ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI

2.3.1. O Rio Araguari

O rio Araguari constitui o sistema de drenagem mais expressivo da costa amapaense, excetuando o próprio rio Amazonas. Possui aproximadamente 500 km de extensão e inicia-se sobre rochas do embasamento cristalino, no lado sul da serra da Lombarda, a cerca de 200 m de altitude. Sua bacia de drenagem possui uma área de aproximadamente 37.600 km² (Fig. 2.10) das quais 7.000 km² localizam-se na planície costeira (PROVAM, 1990).

A vazão média do rio Araguari é cerca de 22,8 x 10⁹ m³/ano, e sua descarga sólida de 7 x 10⁵ ton/ano (Allison *et al.*, 1995). As descargas líquidas e sólidas desse rio são as maiores entre os estuários que deságuam na costa amapaense (Fig. 2.11), após o rio Amazonas.

Em seu aspecto morfológico o rio Araguari apresenta duas unidades bem distintas: planície aluvial e planície de inundação.

A planície aluvial está associada ao alto e médio curso do rio Araguari definidos em PROVAM (1990). Está instalada em rochas do embasamento cristalino onde se encontram as nascentes do rio Araguari e onde as drenagens são fortemente encaixadas. Nesta área são encontradas as maiores declividades da planície, que entre Porto Grande e Ferreira Gomes é da ordem de 0,30 m/km. Costa (1996) estende a planície aluvial até a localidade de Cutias, porém ao mesmo tempo descreve a presença de planícies de inundações restritas.

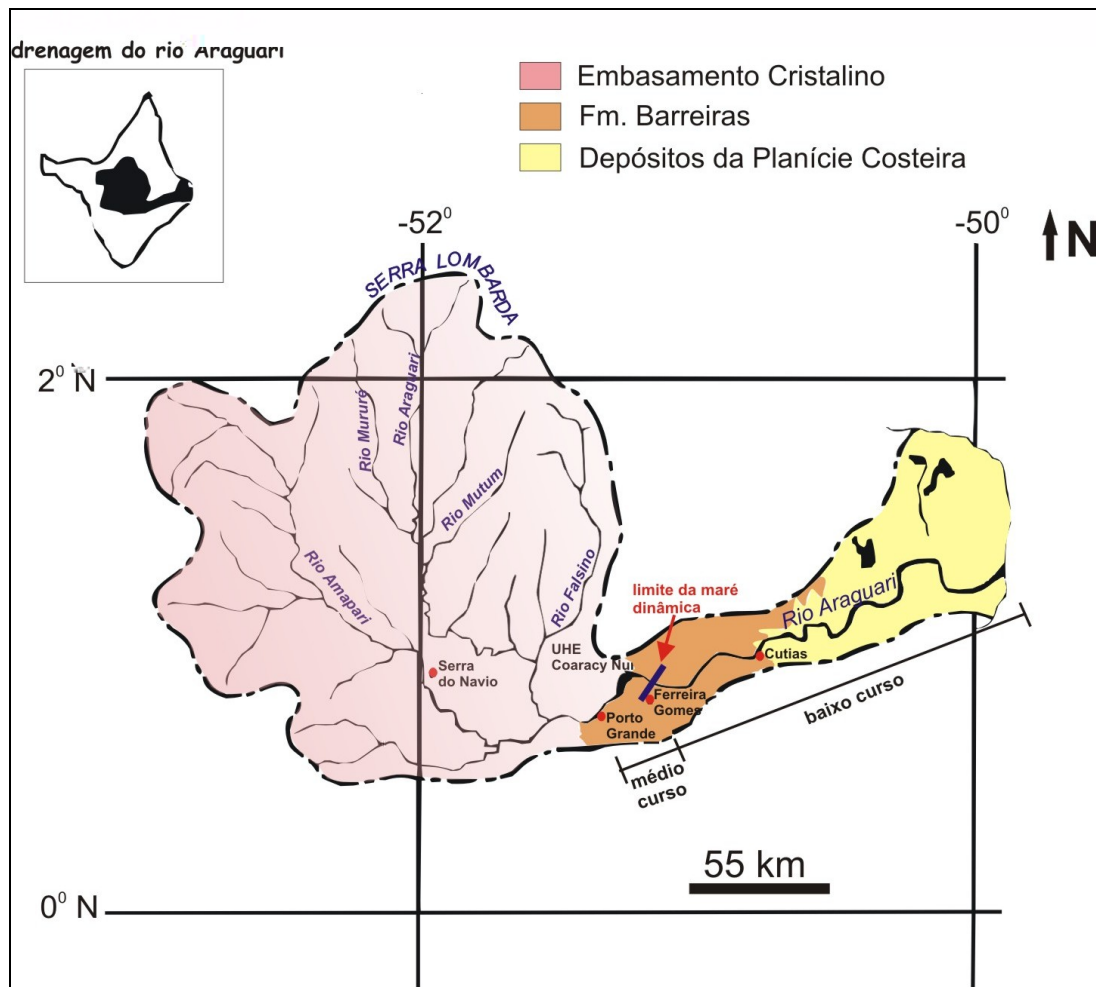


Figura 2.10: Bacia hidrográfica do rio Araguari. Observar o limite da maré dinâmica em Ferreira Gomes. Adaptado de PROVAM (1990) e Bizzi *et al.* (2001).

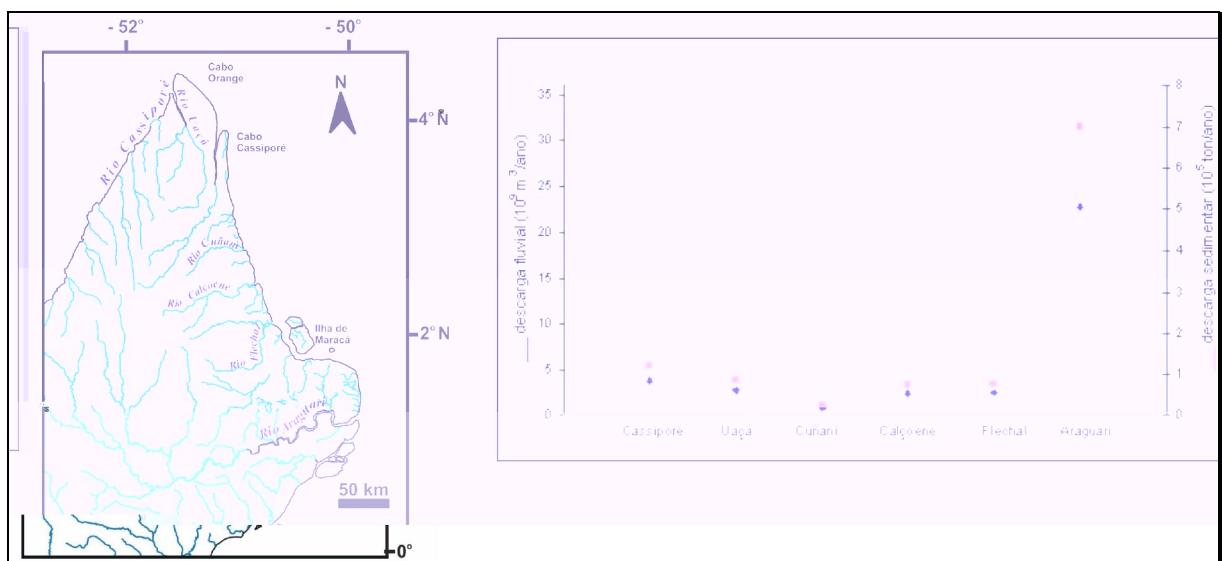


Figura 2.11: Comparação da vazão do rio Araguari com outros estuários da costa amapaense. Dados estimados por Allison *et al.* (1995).

A planície de inundação se estabelece na planície quaternária, no baixo curso do rio Araguari (Fig. 2.10). É marcada por limites abruptos entre os sedimentos terciários da Formação Barreiras e os sedimentos mais recentes. Integra-se a sul com a planície do rio Amazonas, tornando a margem direita do rio Araguari o limite hidrográfico da bacia amazônica. A norte, a planície de inundação integra-se com a região de lagos intercomunicáveis e com outros rios e canais que drenam a porção leste da costa amapaense.

Entre a localidade de Ferreira Gomes e a foz do rio Araguari, o gradiente é muito baixo, com desnível de apenas 1 metro (gradiente de 0,004m/km). Nesta porção, o rio possui baixas velocidades e reduzidas capacidades de escoamento, que são mais rápidas quando as cheias do Araguari atingem níveis excepcionais com lâminas de água superiores a 1,50 m (Hydros, 1999; PROVAM, 1990).

No interior desta planície, nas áreas de campos inundáveis (Fig. 2.8B) ocorrem feições de colmatção, com numerosos paleocanais, meandros abandonados, e paleodeltas (Boaventura e Narita, 1974; Costa, 1996; Silveira, 1998) descritos como prováveis vestígios do rio Araguari (ver Capítulo 10).

Os depósitos sedimentares recentes estão representados por barras em pontal, barras de meio de canal, planície de intermaré e planície de inundação (Fig. 2.12), anteriormente descritos por Costa (1996), cuja deposição são resultantes das forçantes que atuam nesse estuário (ver capítulos 5, 8 a 10).

Sondagens realizadas na foz do rio Araguari pela Petrobrás em 1960, revelaram a relação desses depósitos recentes com unidades mais antigas. O embasamento encontra-se a 1.450 m de profundidade, sobreposto por 1.395 m de sedimentação terciária. Sobre esses depósitos são encontrados 55 metros de sedimentos quaternários distribuídos em 2 seções (THEMAG Engenharia, 1984):

- de 55-35 metros: camada de argila mole cinza, plástica e micácea, sem fósseis;
- de 35 metros até a superfície: areia muito fina com grãos angulares de quartzo, misturada com silte, argila cinza e material carbonoso. Apresenta abundantes grãos de fosfatos negros, arredondados e polidos.

2.3.2 O Estuário

À semelhança de outros sistemas estuarinos da costa amazônica, o estuário do rio Araguari é um sistema dominado por marés, cujas alturas alcançam cerca 5 metros em sua foz (DHN, 2000). As marés adentram por aproximadamente 224 km, considerando os segmentos meandantes do estuário, até a localidade de Ferreira Gomes (Fig. 2.10).

Morfologicamente, o estuário pode ser considerado como de planície costeira (Fig. 2.13A), segundo a classificação de Fairbridge (1980). Considerando sua morfologia, padrões sedimentológicos e oceanográficos, Costa (1996), enquadrou o estuário no tipo de maré (Fig. 2.13B) da proposta de Reinson (1992). Entretanto, se deve considerar os aspectos peculiares deste estuário, em função não somente do alcance da maré mas das características regionais (ver capítulos 5, 8 a 10).

A história evolutiva do estuário do rio Araguari ainda não foi devidamente esclarecida. Geneticamente sua planície de inundação está associada ao desenvolvimento do sistema da foz do rio Amazonas, tendo como limite o rio Flexal (Boaventura e Narita, 1974). Costa (1996) afirma que o estuário foi instalado em sedimentos semiconsolidados da Unidade Pré-Araguari, cuja história deposicional está relacionada a antigos sistemas fluviais e a variações do nível do mar no Holoceno. Estes sistemas fluviais antigos que pertencem à atual planície de inundação a norte do rio Araguari foram estudados por (Silveira, 1998) e teriam idade mínima de aproximadamente 3000 anos A.P (idade de diques marginais no antigo rio Macarry, cuja drenagem iniciou sua colmatação a partir de aproximadamente 1750 A.P.). Costa (1996) sugere que o estabelecimento do canal estuarino atual possuiria idade mínima de 500 anos A.P., representado pelos depósitos de preenchimento do estuário que é típico de sistemas juvenis. Esta evolução recente do estuário será tratada no Capítulo 10 desta tese.

2.3.2 Uso, Ocupação e Pressões Antrópicas

A ocupação humana no estuário do rio Araguari remonta à época pré-histórica, conforme atestam os vestígios arqueológicos de inúmeras ocupações, encontrados no limite do planalto com a planície costeira (GERCO, 2004). Nos tempos históricos, além das ocupações associadas a tribos indígenas que habitavam o litoral, é registrada na foz do estuário, a construção de uma “vigia”, apontada em mapas do século XVIII (ver Capítulo 10).

Por se constituir em uma porta de entrada para o rio Amazonas, através da antiga baía do rio Macarry (Fig. 2.14), o posicionamento geográfico do estuário do Araguari foi estratégico desde os tempos coloniais. Esta localização foi uma das causas de constantes disputas históricas, com incursões de ingleses, holandeses e franceses. O rio Araguari constituiu-se, desde o século XVIII, o limite de um contestado, situado entre ele e o rio Oiapoque, inicialmente entre França e Portugal. O conflito só foi resolvido em 1900 pela Comissão de Arbitragem, em Genebra, que deu posse da região ao Brasil.



Figura 2.14: Antiga baía do rio Macarry que servia de porta de entrada para o rio Araguari através de um canal a leste. Mapa copiado em 1894. Archives Départementales de la Guyane.

Nos dias de hoje, o estuário do rio Araguari é ocupado por inúmeras fazendas que utilizam a sua planície de inundação para a criação de gado. Esta atividade é muito antiga nessa região, implantada desde o início do século XX (ver Capítulo 5) inicialmente com a criação de bovinos. Atualmente o rebanho é praticamente de bubalinos, criados de forma extensiva com poucas áreas de manejo.

No contexto jurisdicional, as terras ocupadas pelo estuário e planície de inundação do rio Araguari, pertencem ao Governo Federal representado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. O primeiro é responsável pela regularização das terras. O IBAMA é responsável pela Reserva Biológica do Lago Piratuba, criada em 16.07.1984, que está localizada na região dos ambientes lacustres (Fig. 2.5), bordejando a margem esquerda do estuário (Fig. 2.15). Mesmo com a instalação dessa reserva, as fazendas continuam a existir a margem do estuário, o que tem trazido muitos problemas para o seu gerenciamento. Por outro lado, a gestão da reserva também é dificultada devido ao potencial dos lagos para a pesca do pirarucu, peixe nobre e altamente comercializado por comparar-se ao bacalhau.



Figura 2.15: REBIO do Lago Piratuba na margem esquerda do estuário do rio Araguari. LAGEO-ZEE/IEPA.

Outro aspecto do uso que merece ser destacado neste estuário é a instalação em seu alto curso da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes, em funcionamento desde 13.01.1976. Existem afirmações de que a instalação dessa hidrelétrica tenha diminuído a vazão do rio Araguari e venha propiciando o assoreamento de sua foz, porém até o momento nenhum estudo comprova a existência dessa relação. PROVAM (1990) afirma que assoreamento no curso inferior do rio Araguari se deve ao escoamento de parte dos sedimentos provenientes da região dos lagos e drenagens adjacentes que deságuam no rio Araguari.

No alto curso do rio Araguari estão localizados importantes recursos minerais como o manganês, ouro e metais raros como a columbita-tantalita, dando origem a garimpos.

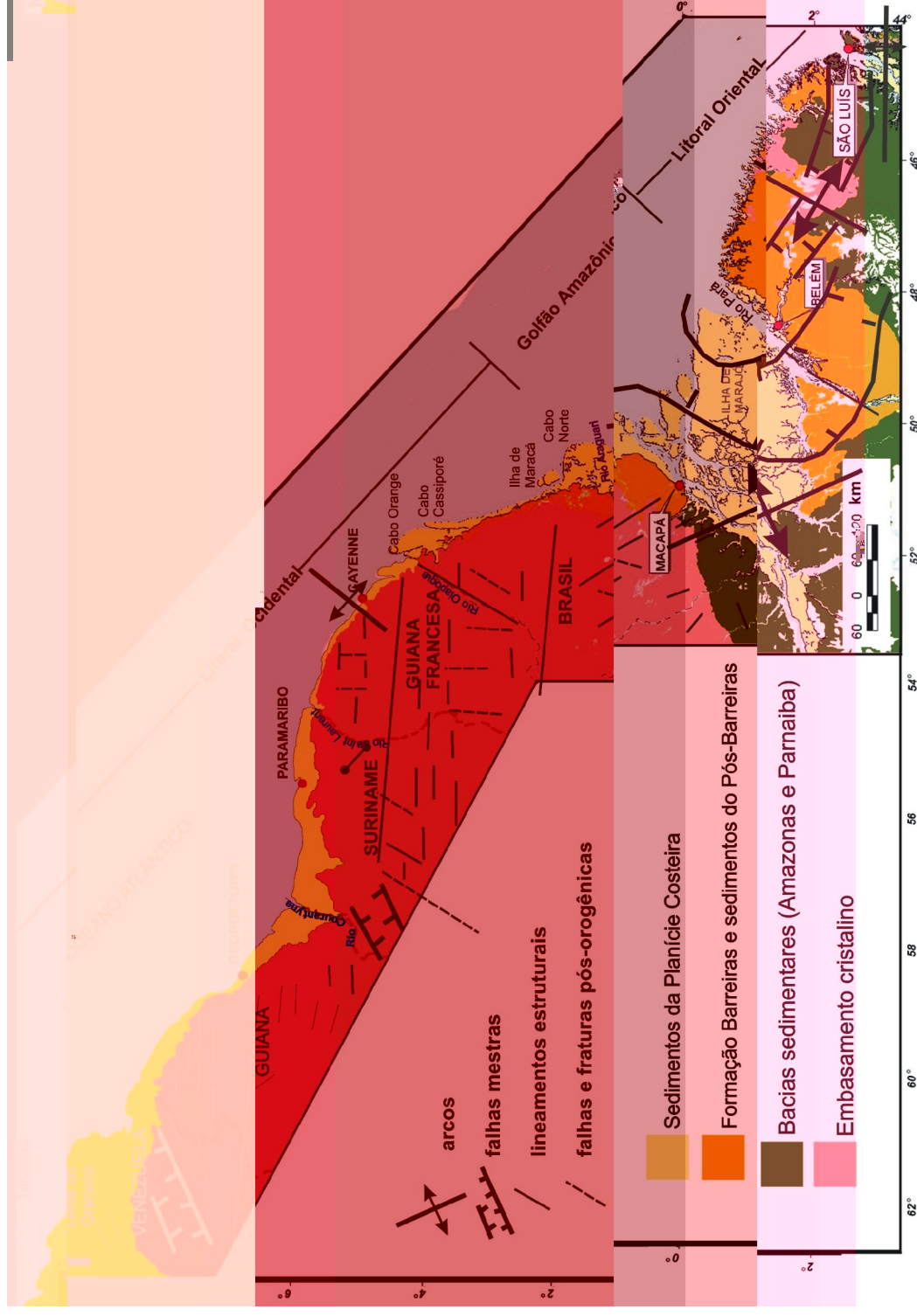


Figura 2.2: Contexto geológico-estrutural da costa amazônica. Compilado a partir de Bizzi *et al.*, 2001; Milani e Thomaz Filho, 2000; Palvadeau, 1999. Compartimentação da costa modificada de Silveira (1972).

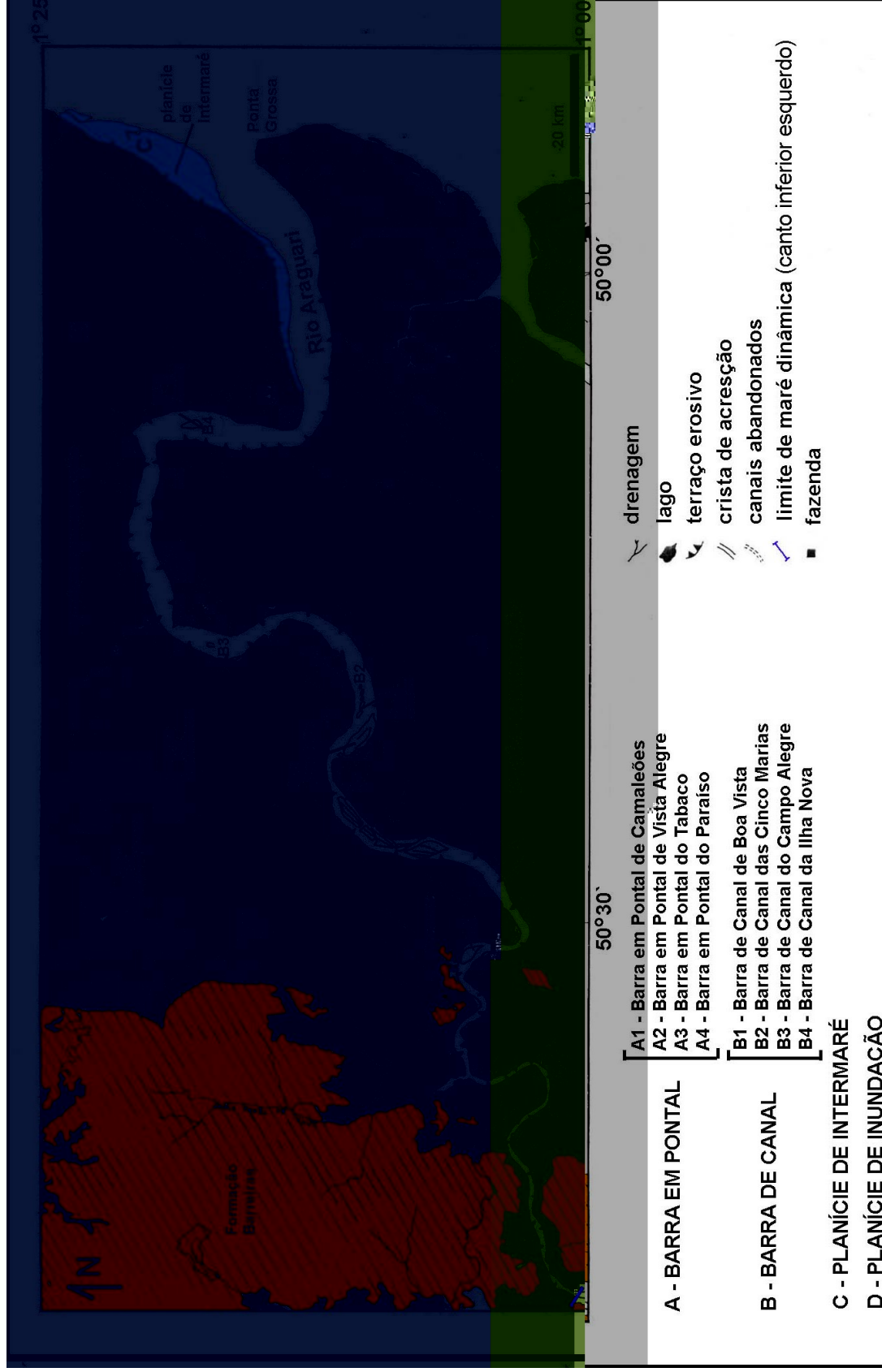


Figura 2.12: Aspectos morfológicos da planície costeira associada ao estuário do rio Araguari segundo Costa (1996).

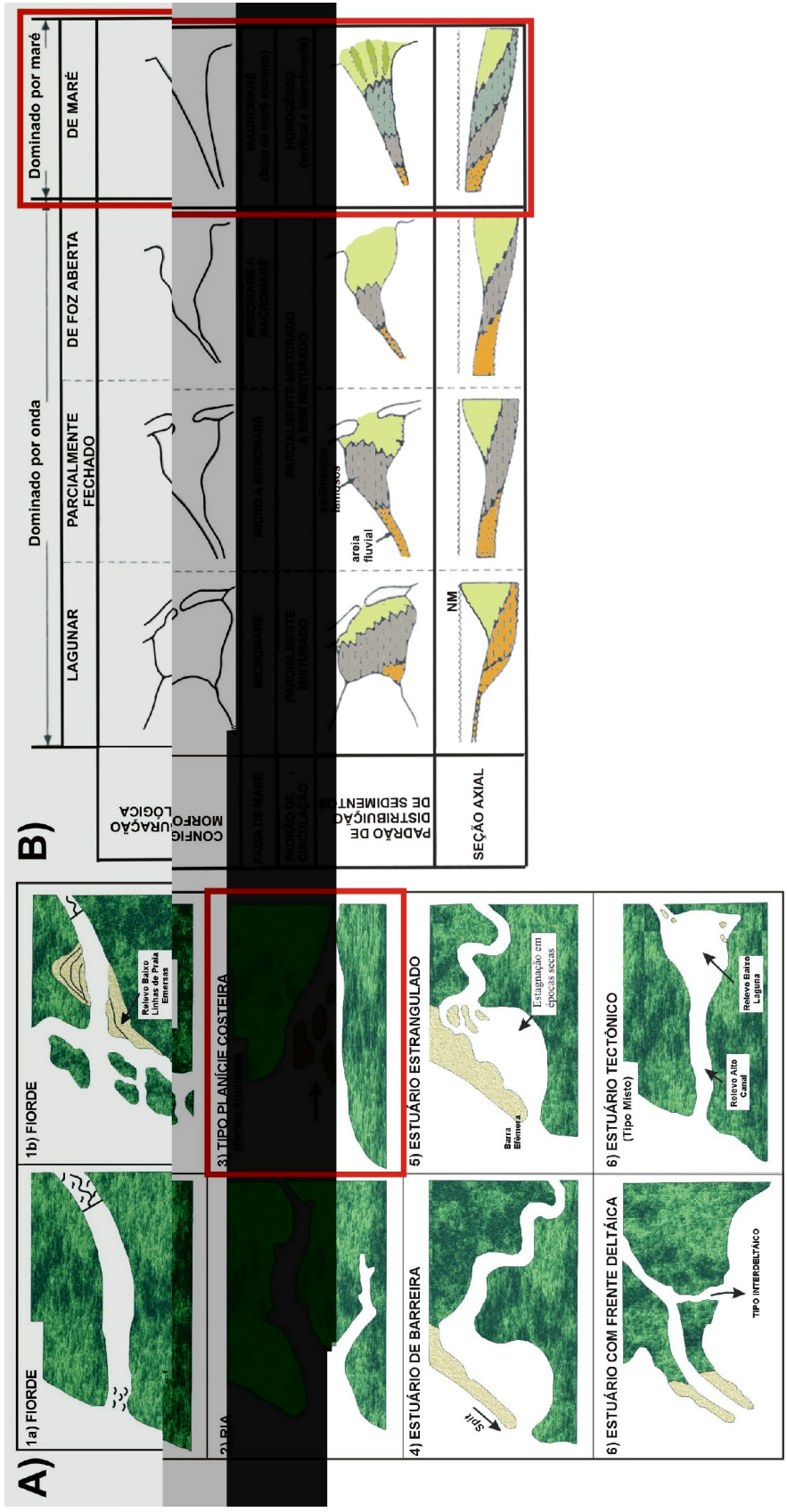


Figura 2.13: Enquadramento do estuário do rio Araguari segundo sua morfologia e padrões sedimentológicos e oceanográficos (destacado em vermelho). A) Tipo planície costeira (desembocadura em forma de funil) de Fairbridge (1980); B) dominado por marés de Reinson (1992).

3. ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS	39
3.1 MATERIAIS, MÉTODOS E ESTRATÉGIAS.....	41
3.1.1 Caracterização dos Ambientes Sedimentares Recentes	41
3.1.2 Análise da Dinâmica Natural	43
3.1.3 Análise da Dinâmica Antrópica	48
3.2 ANÁLISE DOS DADOS DE SENSORES REMOTOS.....	50
3.3 INTEGRAÇÃO DOS DADOS	50

Capítulo 3

ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS

Para a elaboração desta tese utilizou-se uma estratégia metodológica em quatro níveis de observação multitemporal: regional - costa do Amapá no contexto dos ambientes costeiros amazônicos; sub-regional - estuário do rio Araguari; local e *in situ*. Tal estratégia pode ser visualizada na Fig. 3.1.

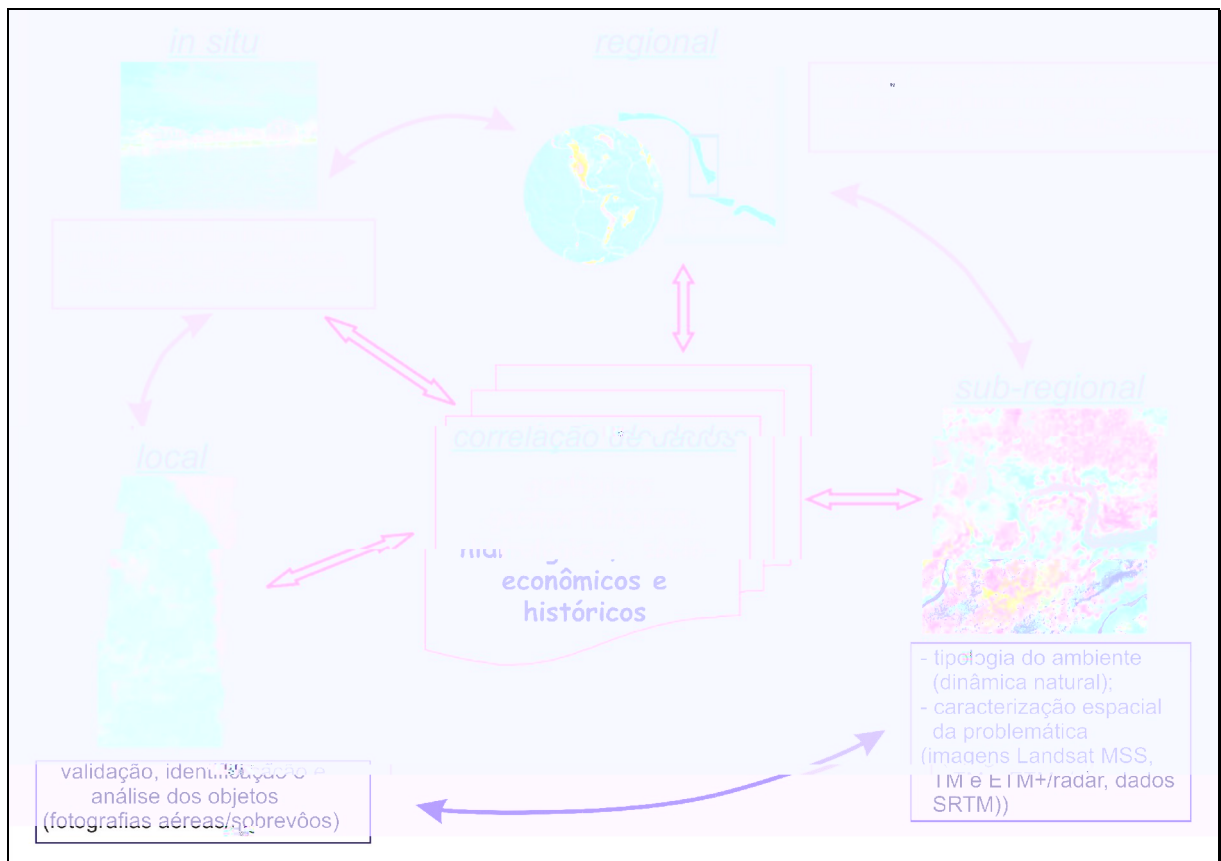


Figura 3.1: Estratégia de abordagem metodológica da tese.

Em cada um desses níveis de observação buscaram-se os elementos resultantes da atuação da dinâmica natural e da dinâmica antrópica, a fim de entender as modificações produzidas por essas dinâmicas e suas interações.

A organização desta abordagem metodológica procurou atender a duas problemáticas principais: a) compreensão das causas e efeitos das modificações que ocorrem na planície costeira do Amapá; e b) aplicação da ferramenta de sensoriamento remoto para o estudo de modificações em ambientes costeiros amazônicos. A primeira remete à necessidade de reconhecer os ambientes e os processos associados, procurando identificá-los tanto nos dados de sensores remotos, quanto no terreno. A segunda, a necessidade de compreender a resposta dos ambientes às forçantes, a partir dos resultados derivados da primeira necessidade, tendo em mente as potencialidades e limitações dos dados de sensores remotos para essa aplicabilidade.

As análises em escala regional permitiram identificar a dinâmica ambiental da região imposta principalmente pelos processos responsáveis pelos fenômenos de inundação na área (marés e cheias), que se refletem nas condições de umidade da planície costeira do Amapá. Nesta análise foram utilizadas imagens de sensores remotos de baixa resolução espacial (CBERS-WFI e os mosaicos das imagens de radar do satélite JERS-1).

A escala sub-regional restringe-se ao estuário do rio Araguari e nela foram utilizados sensores de média resolução espacial (RADARSAT-1, Landsat). Nessa abordagem, procurou-se identificar os padrões ambientais do estuário e a dinâmica dos processos naturais e antrópicos (relacionados à atividade de bubalinocultura) a eles associados.

Na escala local foram analisados registros fotográficos de sobrevôos e fotografias aéreas verticais. As fotografias aéreas foram utilizadas com o intuito de avaliar a situação anterior à implementação da atividade de bubalinocultura no estuário e, juntamente com imagens de sobrevôo, serviram para validar os padrões encontrados nas imagens de satélite e avaliar as modificações ao longo do tempo.

Os trabalhos de campo (análise *in situ*) foram realizados em quatro períodos distintos, procurando atender as características ambientais regionais e locais da área e observar os processos naturais e antrópicos. Os critérios adotados foram: a) períodos de maior e menor precipitação; b) períodos de equinócios, em marés de sizígia, coincidentes também com a maior expressão do fenômeno da pororoca. Todas as informações coletadas foram posicionadas através de um GPS de mão, com precisão em torno de 5 m, realizando a navegação em tempo real utilizando-se o aplicativo DNR Garmin, e o software ArcView GIS, versão 3.2. Na impossibilidade da navegação em tempo real, os dados eram descarregados diariamente em campo e sobrepostos às imagens de satélite (ópticas e de radar) permitindo a correlação das informações com as imagens.

A escolha da área de estudo baseou-se nos critérios de: a) disponibilidade de dados de sensores remotos; b) acesso em campo; c) acesso aos dados históricos; d) concentração da atividade de bubalinocultura e; e) atuação diferenciada dos processos naturais (áreas com e sem influência do fenômeno da pororoca).

3.1 MATERIAIS, MÉTODOS E ESTRATÉGIAS

Para alcançar os objetivos gerais e específicos da tese as estratégias metodológicas foram desenvolvidas em três fases distintas: caracterização dos ambientes sedimentares recentes; análise da dinâmica natural e, análise da dinâmica antrópica. Em todas essas fases foram utilizados produtos resultantes da análise das imagens de satélite.

3.1.1 Caracterização dos Ambientes Sedimentares Recentes

Os padrões e feições que compõem os ambientes recentes na área de estudo foram mapeados a partir de métodos de fotointerpretação em fotografias aéreas e imagens de satélite, aliados a dados da literatura e trabalhos de campo (Fig. 3.2).

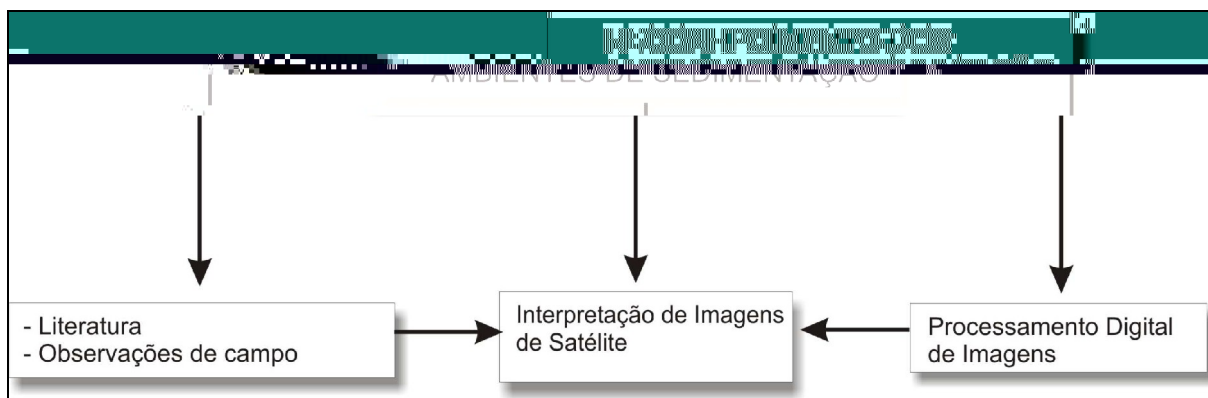


Figura 3.2: Esquema da estratégia metodológica para reconhecimento dos ambientes sedimentares.

Em campo as unidades foram reconhecidas a partir de seus processos dinâmicos (influência das marés e de inundação) e de observações sedimentológicas. As observações sedimentológicas foram realizadas através da descrição de textura e estrutura das camadas sedimentares, recuperadas através de observação de 42 testemunhos retirados com trado manual (Fig. 3.3), realização de 26 trincheiras e descrição de terraços expostos ao longo do rio Araguari.

O trado possuía 1 m de comprimento e foi utilizado ao longo das diferentes unidades observadas nas imagens de satélite e onde o acesso foi possível. Em muitos locais da planície de inundação a recuperação de sedimentos não ultrapassou 20 cm.

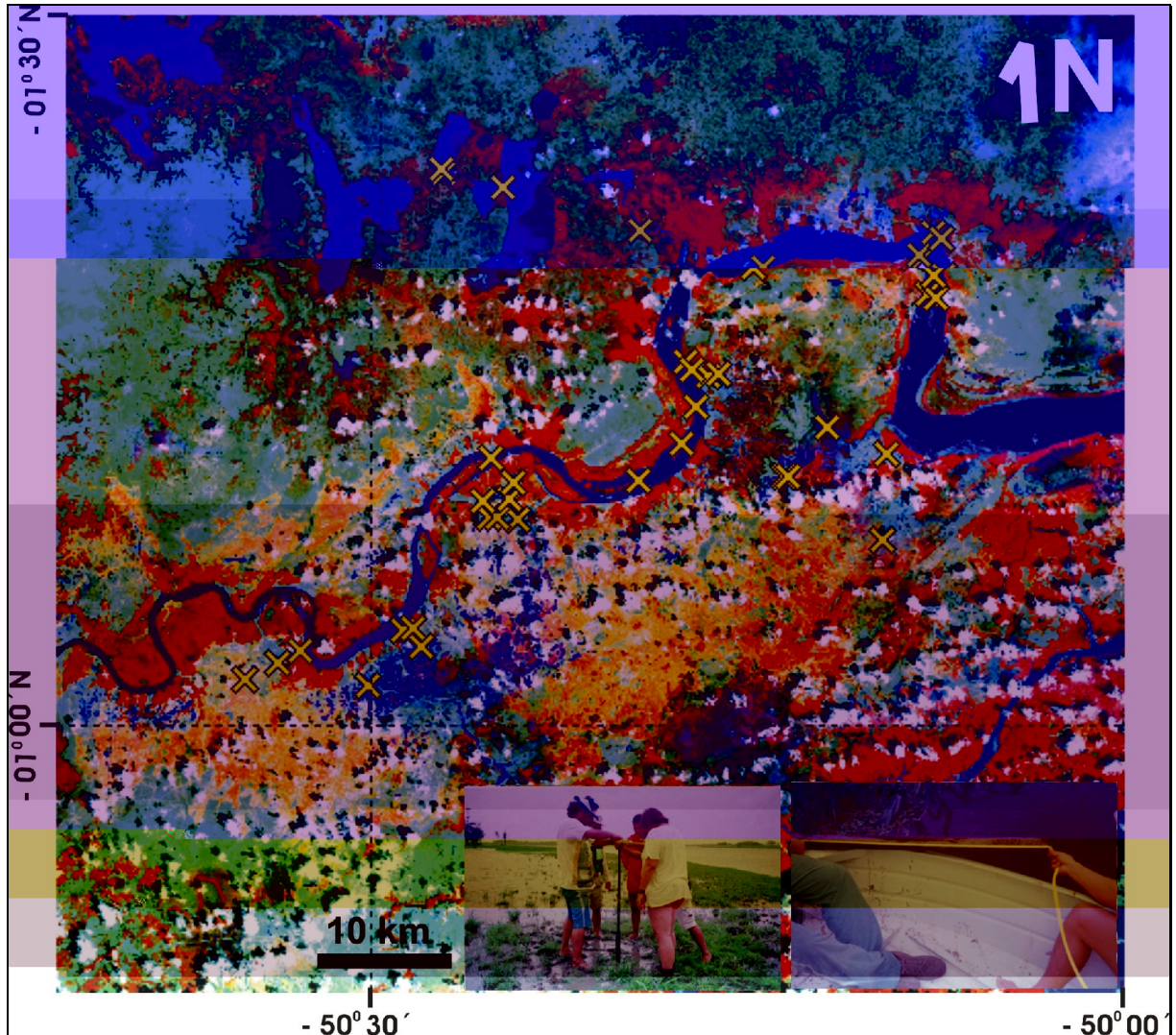


Figura 3.3: Localização da coleta realizada com trados e metodologia de recuperação e descrição. Imagem Landsat 7, ETM+, composição colorida da primeira componente principal das bandas 1, 2 e 3 no canal B; banda 4 no canal R; e primeira componente principal das bandas 7 e 5 no canal G. Fonte: GLCF.

As trincheiras tinham as dimensões de 0.2 a 0.6 m de profundidade por aproximadamente 1.0 m de largura e foram abertas ao longo de perfis topográficos transversais a duas redes de drenagens na planície de inundação do rio Araguari (Fig. 3.4). Nas trincheiras foram feitas amostragens de sedimentos em intervalos de 10 em 10 cm ou, onde o perfil apresentava mudança de fácies, sendo realizada ainda coleta de 32 amostras

superficiais ao longo dos perfis topográficos. Este método foi empregado com a finalidade de verificar mudança na sedimentação ao longo das drenagens observadas.

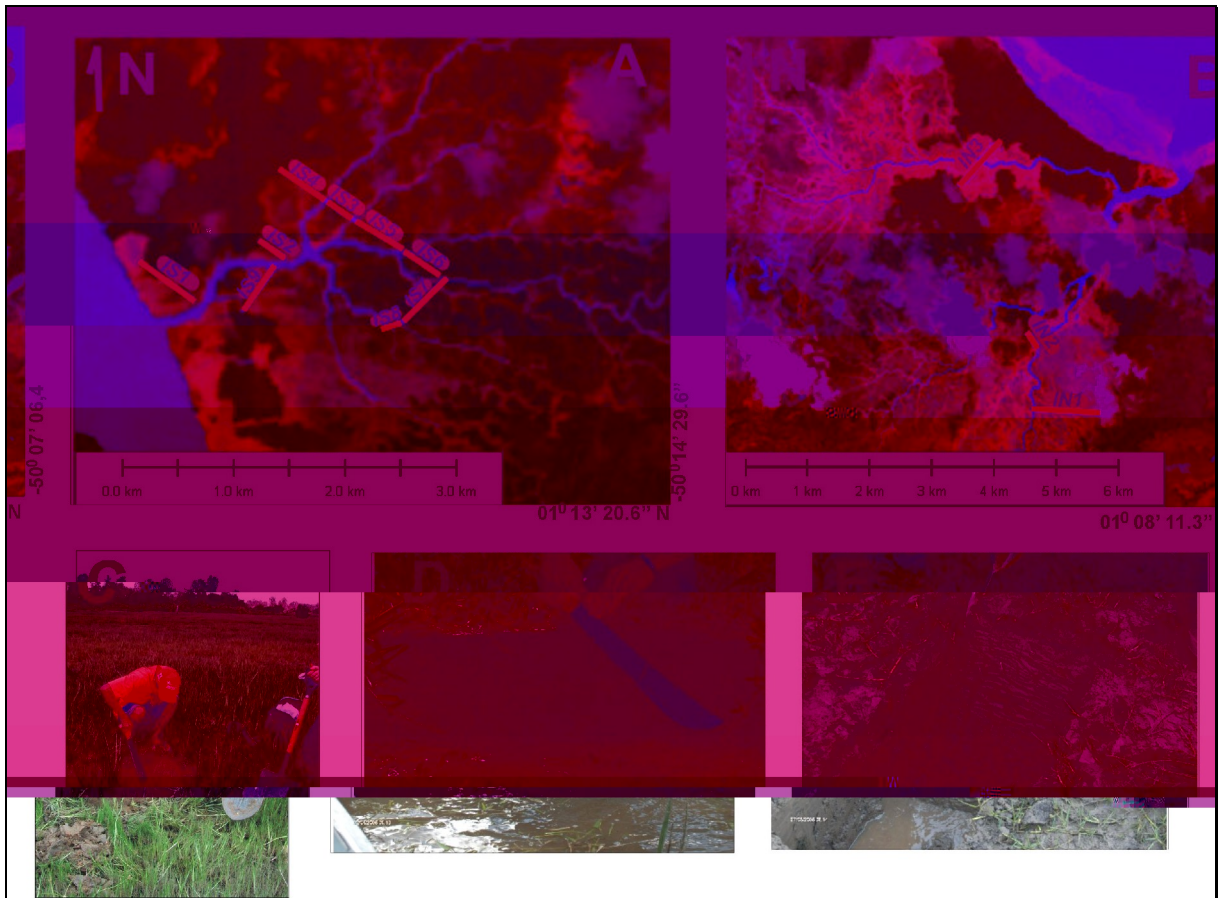


Figura 3.4: Localização de perfis topográficos onde foram abertas trincheiras e feitas as observações de terraços na planície de inundação do rio Araguari: A) igarapé Santana, B) igarapé Novo; C) e D) limpeza de terraço; E) trincheira em barra em pontal. Imagens do satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 2 em RGB. Fonte: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>.

3.1.2 Análise da Dinâmica Natural

Esta análise foi realizada a fim de compreender como os processos de inundação, relacionados às marés e cheias dos rios, atuam na região, e entender o papel destes processos na estruturação do ambiente atual, suas modificações e na dinâmica antrópica.

- Marés

Observação e registros das variações de marés, ao longo do baixo curso do rio Araguari, foi realizada a partir de inspeções visuais e ins

minutos. O registro foi realizado em dois períodos sazonais distintos, coincidentes com os equinócios de setembro de 2004 e março de 2005.

Os dados de marés coletados (Fig. 3.5, pontos A e B) foram correlacionados com as informações de previsão existentes para a Ponta do Guará (Fig. 3.5, ponto C) a fim de entender o comportamento da maré no estuário do rio Araguari e de validar a observação da pororoca em imagem de radar (ver capítulos 5 e 8).

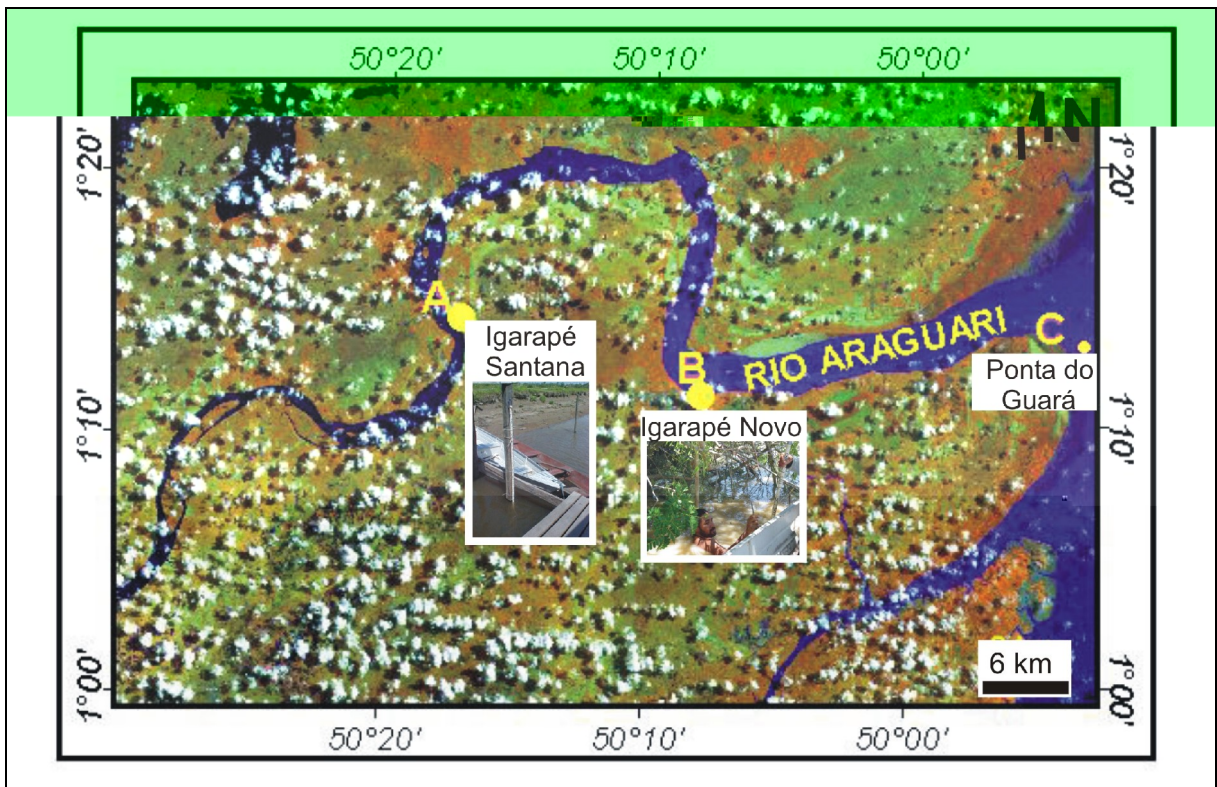


Figura 3.5: Localização dos pontos de coleta dos dados de marés. A) igarapé Santana; B) igarapé Novo; C) Ponta do Guará (dados de previsão DHN). Imagem do satélite Landsat 4, TM, composição das bandas 4, 5, 3 em RGB. Fonte: GLCF.

Observação e registro do fenômeno da pororoca foram realizados a partir de inspeção visual do comportamento da onda no estuário (forma de deslocamento, altura, poder de remobilização e deposição de sedimentos). Para tanto, foram efetuados experimentos (Fig. 3.6) para medidas de erosão e sedimentação durante o período de ocorrência do fenômeno, conforme metodologia apresentada em Santos e Santana (2005), além de coleta de água para análise da concentração de sedimentos em suspensão antes, durante e após o fenômeno, em um perfil transversal ao estuário (Fig. 3.7).

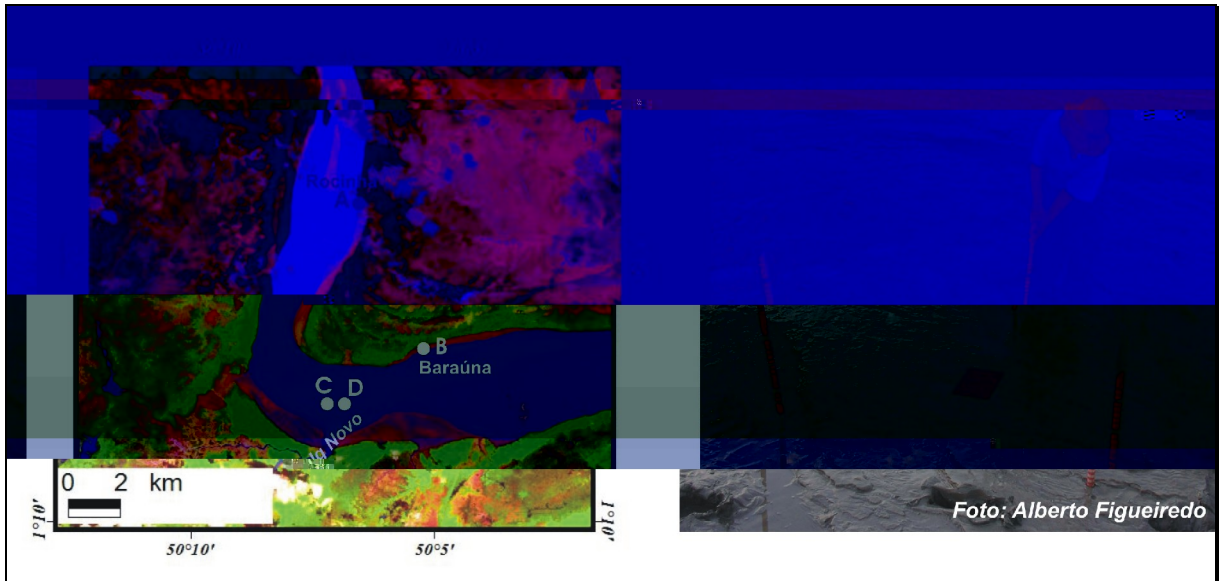


Figura 3.6: Localização dos experimentos para medições de taxa de erosão e sedimentação (à esquerda). Instalação de placa de metal na superfície da camada sedimentar durante a baixamar (à direita). As placas foram recolhidas 4 dias após a exposição aos processos sedimentares, durante período de sigízia de equinócio. Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 3 em RGB. Fonte. GLCF.

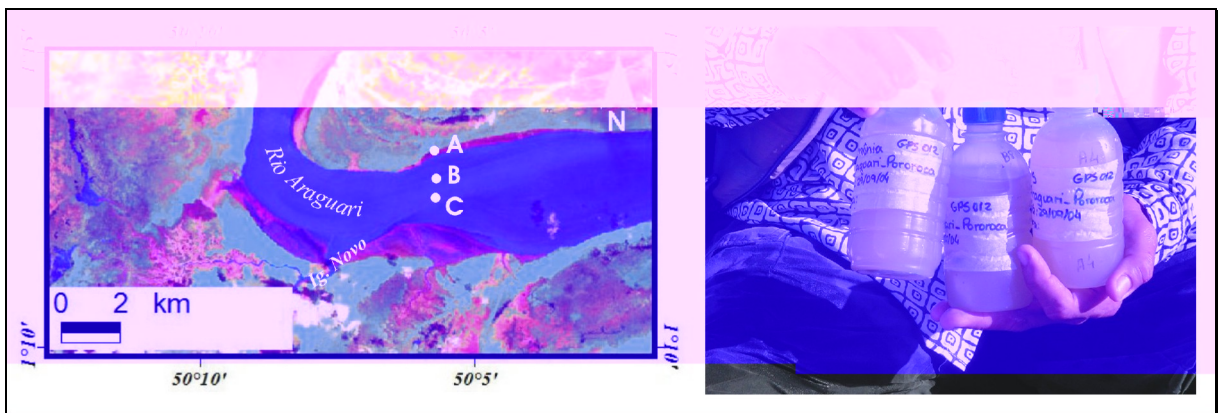


Figura 3.7: Localização dos pontos de coleta de água no estuário do rio Araguari para a análise de sedimentos em suspensão antes, durante e após a passagem da onda da pororoca. Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 3 em RGB. Fonte. GLCF.

O processamento dos dados coletados de marés foi realizado em software de tratamento estatístico Excell. As curvas de maré total foram analisadas com o objetivo de entender o comportamento das marés neste estuário e seus reflexos sobre a sedimentação, bem como correlacionar com as informações de caracterização dos ambientes descritas no item 3.1.1.

Para analisar a variação da amplitude de marés ao longo da costa amapaense (ver Capítulo 5) foram utilizados dados de marés coletados pela Marinha do Brasil, na década de 1960 e 1970. Dados de previsão dessas estações também foram usados para auxiliar na interpretação das imagens de satélite, os quais foram tratados no software Matlab, versão 6.5.

- Dados Pluviométricos e Fluviométricos

Estes dados são provenientes do banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Os dados utilizados são de várias estações localizadas dentro e fora da planície costeira (Fig. 3.8) e foram tratados estatisticamente de acordo com o objetivo do trabalho. Para correlação com as imagens de satélite foram utilizados dados acumulados de precipitação e cota da última quinzena do período de precipitação antes da aquisição da imagem. Para análise de séries históricas visando a correlação com eventos climáticos globais foram utilizados os dados de vazão (ver item 5.1.1).

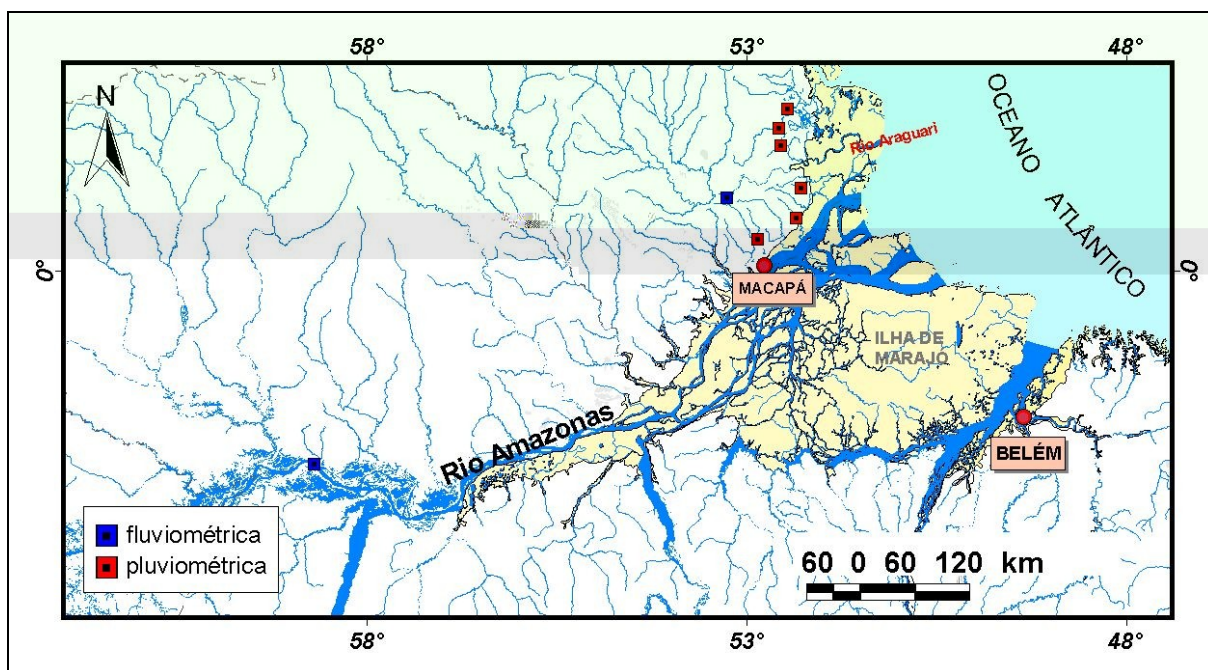


Figura 3.8: Localização das estações pluviométricas e fluviométricas, cujos dados foram utilizados nesta tese. Modificado da base de dados da ANA-Hidroweb e ANEEL.

- Dados Topográficos

Estes dados foram coletados em duas áreas, uma sob influência da pororoca e outra sem a influência do fenômeno (Fig. 3.4), a fim de verificar a variação de relevo e sua relação com os fenômenos de inundação e os padrões encontrados nas imagens de satélite, bem como entender as características morfológicas das drenagens e suas relações com os processos naturais e antrópicos.

A coleta dos dados topográficos foi realizada tanto na superfície do terreno como no leito do rio Araguari e canais secundários (batimetria).

Em terra foram realizados através de levantamento topográfico altimétrico pelo método visada a ré e vante, utilizando-se uma mira, nível de engenheiro, bússola, trena e piquetes (Fig. 3.9). Os dados resultantes foram tratados no software Grapher, versão 2.0, e os resultados integrados as informações sedimentológicas coletadas, conforme descrito no item 3.1.1.



- Mapas e Registros Históricos

Os mapas históricos serviram como elemento de avaliação qualitativa das modificações regionais no estuário, para os últimos 300 anos, servindo ainda como suporte para a análise de padrões recentes encontrados nas imagens de satélite (ver capítulos 9 e 10).

Foram resgatados junto aos *Archives Departementale de la Guyane*, Caiena e ao Arquivo Histórico do Exército Brasileiro-RJ. Cerca de 33 mapas foram analisados, correlacionando-se visualmente com imagens de satélites e alguns escolhidos para este trabalho (ver capítulos 8 e 10).

Além destes mapas, também foram utilizados registros históricos (livros) que continham descrição da costa e dos locais de atuação do fenômeno da pororoca, e forneciam ainda informações sobre alguns mapas.

3.1.3 Análise da Dinâmica Antrópica

As atividades referentes a esta etapa da tese foram realizadas a fim de verificar a dinâmica da atividade da criação de búfalos na área e seus resultados, buscando prováveis relações com as modificações na planície costeira e as informações espectrais e espaciais nas imagens de satélite.

Consistiu primeiramente na análise de informações pretéritas sobre distribuição de rebanho na planície costeira do Amapá, identificando-se a partir desta como área alvo o estuário do rio Araguari.

Entrevistas foram realizadas através da aplicação de questionários em 18 fazendas localizadas entre o rio Gurijuba e estuário do rio Araguari (Fig. 3.10, Anexo I), em março de 2003, no período chuvoso, quando o acesso à área é facilitado pelas inundações. Para a realização das entrevistas tomou-se como base um mapa de estrutura fundiária com a localização das fazendas e retiros.

Os entrevistados foram proprietários das fazendas e na ausência destes, entrevistou-se os responsáveis (capatazes). As entrevistas representam a quase totalidade das fazendas da margem direita do estuário entre o trecho trabalhado. Nos questionários aplicados se tentou identificar as principais propriedades e seus limites, tipo e quantidade de rebanho, resgatando-se ainda a percepção ambiental dos moradores sobre as modificações que ocorrem na área, suas prováveis causas e ocorrência temporal a fim de correlacionar com as informações de

campo e as imagens dos sensores remotos. Os questionários sofreram tratamento estatístico utilizando-se o software Excell e as informações relevantes foram espacializadas em um SIG (ArcView 3.2) utilizando imagens de satélite como referência visual. Estes dados também serviram para auxiliar nas análises multitemporais.



Figura 3.10: Locais de realização das entrevistas ao longo do estuário do rio Araguari, em março de 2003, época chuvosa. Imagem Landsat 7, ETM+, composição da primeira componente principal das bandas 1, 2 e 3; banda 4 e primeira componente principal das bandas 7 e 5 em BRG. Fonte da imagem: GLCF.

Nas observações visuais em campo foram registrados os elementos vinculados à atividade de bubalinocultura tais como: cercas, casas, locais de pastagem, repouso do gado, passagem e banho dos animais, etc... e observados os padrões da atividade *in situ*, tendo-se o cuidado de observar as relações de contexto de todas essas informações e sua correlação com as características do ambiente. Todas as informações foram posicionadas com GPS e registradas através de fotografias nos períodos sazonais distintos. Foram realizadas ainda medições das estruturas associadas ao pisoteio do rebanho como trilhas e pequenos canais.

Também foram utilizados os resultados dos levantamentos topográficos e batimétricos e a ó para encontrâ distiões morfologic t i n

antrópica da região e; 2) integração dos dados de sensores remotos e análise a partir da primeira fase.

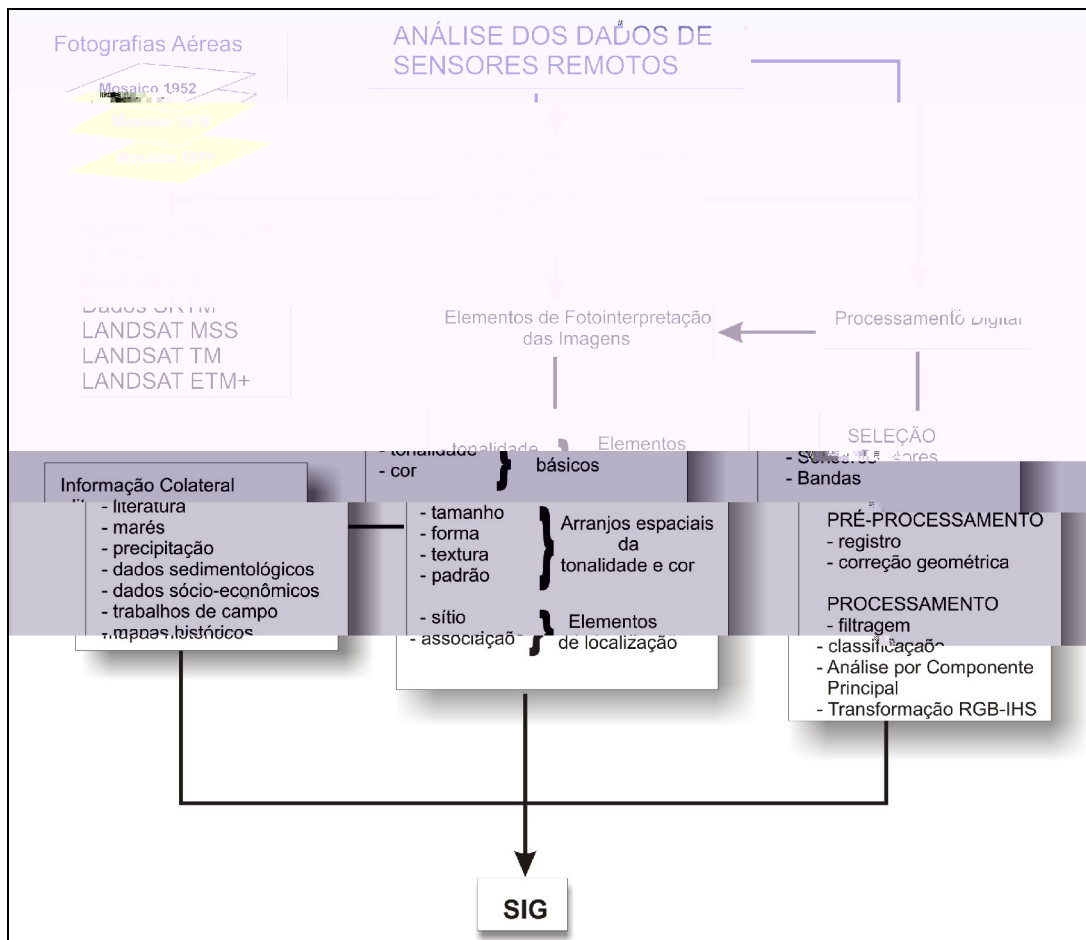


Figura 3.11: Diagrama conceitual da utilização dos dados de sensores remotos e modo de correlação com as informações colaterais. Adaptado de Jensen (1996).

Na primeira fase as informações geradas foram correlacionadas com uma imagem

4 MODIFICAÇÕES EM ÁREAS COSTEIRAS: AGENTES, ESCALAS E RESPOSTAS	53
4.1. AS ESCALAS NO ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES	53
4.2 MECANISMOS DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS NATURAIS DE CURTO PERÍODO EM ÁREAS COSTEIRAS TROPICAIS.....	56
4.2.1 Climáticos Globais.....	56
4.2.2 Oceanográficos Globais e Regionais	61
4.3 RESULTADOS DAS FORÇANTES NATURAIS EM AMBIENTES COSTEIROS TROPICAIS	67
4.3.1 Forçantes Climáticas.....	67
4.3.2 Marés como Mecanismo Controlador de Modificações	70
4.3.3 Efeitos da Pororoca nos Ambientes Costeiros	72
4.3.4 Efeitos das ondas	74
4.4 MODIFICAÇÕES DE ORIGEM ANTRÓPICA	74
4.4.1 A Pecuária como Fator de Modificação em Áreas Costeiras	76
4.4.2 Efeitos da Pecuária sobre o Ambiente	77
4.5 CONCLUSÕES	79

PARTE II

MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS EM REGIÕES COSTEIRAS E NA COSTA AMAZÔNICA

Capítulo 4

MODIFICAÇÕES EM ÁREAS COSTEIRAS: AGENTES, ESCALAS E RESPOSTAS

As modificações ambientais são decorrentes das transformações ou variações produzidas no ambiente e estão associadas a duas origens principais: ação natural e ação antrópica.

As transformações de origem natural decorrem das variações dos parâmetros naturais do ambiente, resultado das transformações do planeta Terra, enquanto que as transformações resultantes da influência antrópica são dependentes das ações do homem sobre a natureza e esta depende das transformações que ocorrem na sociedade.

Assim, as modificações naturais não podem ser confundidas com as ambientais, já que estas últimas tratam de modificações no ambiente não se referindo à origem.

Nesse contexto questiona-se nos estudos das modificações ambientais: o que se mede? ou, o que se detecta? Uma resposta inicial para essa questão viria através do entendimento de como os agentes, natureza e homem, atuam e qual a extensão, temporal e espacial, dessa atuação. Assim, três ações são necessárias: a) identificar os produtos dessas transformações; b) identificar os agentes responsáveis e; c) identificar a escala espacial e temporal dos fenômenos associados às modificações.

4.1. AS ESCALAS NO ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES

A escala é uma técnica de abordagem de um fenômeno espaço-temporal seguindo a definição de Kohler (2001).

As mudanças naturais nos ecossistemas e feições das paisagens costeiras, resultantes das variações nos parâmetros geológicos e climáticos, levam ao ajustamento nos processos superficiais, materiais e na vegetação. Essas interações e sua variação no tempo, espaço e magnitude ainda não estão completamente entendidas (Coltrinari, 1996).

No geral, as transformações ligadas aos fenômenos naturais estão relacionadas a eventos cíclicos e episódicos na natureza. Os eventos cíclicos ocorrem em escalas temporais variadas de milhões, milhares, centenas e dezenas de anos, até a escalas temporais diárias. Estes eventos podem ser previsíveis ao longo da história geológica, a qual está intrinsecamente ligada aos processos de evolução do planeta. Fenômenos episódicos não possuem tempo de recorrência definido, sendo difíceis de prever.

As transformações ligadas a fenômenos antrópicos estão associadas a eventos de origem sócio-econômica e cultural, perpassando pela escala temporal do aparecimento e evolução do homem sobre o planeta. Essas transformações teriam escalas de no mínimo milhares de anos. Entretanto, muitos dos fenômenos decorrentes da ação antrópica ainda não podem ser mensuráveis por falta de estudos mais apurados. Discute-se atualmente quanto da Terra já teria sido modificado pelo homem.

Nesses dois aspectos, natural e humano, as escalas temporais e espaciais dos fenômenos e seus resultados são variáveis.

Existem controvérsias na literatura sobre a escala de tempo de longo, médio e curto período, e a aplicação destes termos depende da área temática dos trabalhos. Em relação a modificações associadas a variações do nível do mar, USACE (1995) define que mudanças de curto período são aquelas ocorrem dentro de um intervalo de tempo de vida humana e podem ser vistas diretamente ou medidas (uma geração - 25 anos). Reed (2002) usou o termo escala de longo período para se referir a variações de nível de mar que ocorrem acima de 500 anos e de curto período para variações menores que décadas. De um modo geral, na literatura voltada para as geociências, admite-se que a escala de médio e longo período (*medium and long-term*) refere-se a transformações acima de dezenas de milhares de anos, enquanto que as transformações de curto período (*short-term*) estariam associadas ao Holoceno. Deste modo, se podem então enquadrar as transformações em escalas milenares, seculares, decenais, anuais, sazonais, mensais e diárias, além daquelas associadas a eventos não periódicos que são abordadas nesta pesquisa. Assim, o termo modificações de curto período utilizado nesta tese se refere às transformações analisadas em escala temporal secular a diária.

Nos ambientes costeiros, essas transformações podem ser estudadas através de diversas técnicas dependendo dos objetivos da pesquisa. Porém, maior enfoque tem se dado para as mudanças geomórficas (Fig. 4.1).

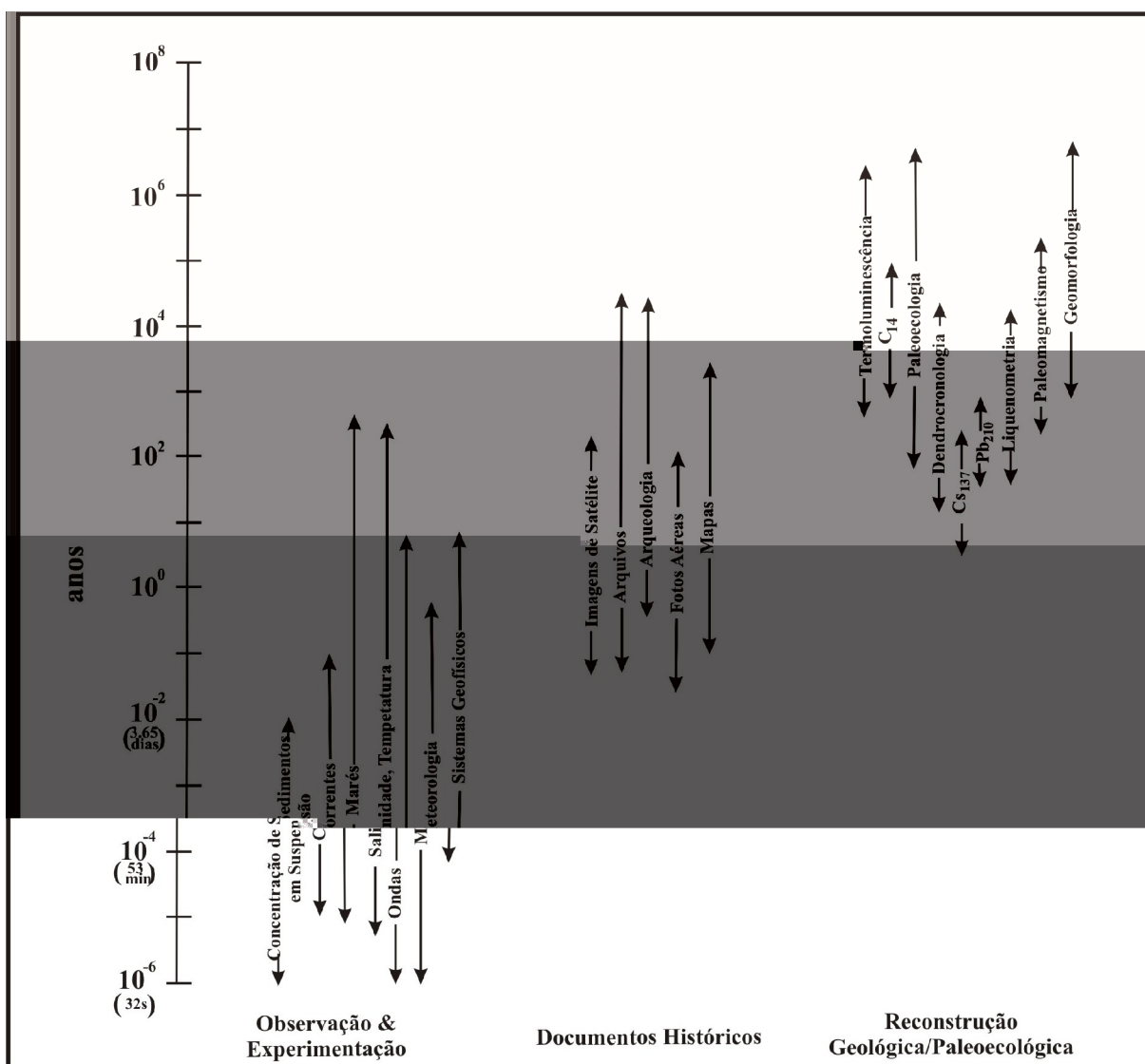


Figura 4.1: Técnicas e métodos para o estudo das mudanças geomórficas em várias escalas de tempo. As flechas das setas indicam o espaço de tempo aproximado onde uma técnica pode ser usada. Modificado de USACE (1995).

No campo aplicado os mapas e arquivos históricos são úteis para observação das transformações que ocorrem em escala maior do que as seculares, enquanto que as fotografias aéreas e imagens de satélites são utilizadas para avaliar modificações a partir de meados do século XX. No entanto, como a escala espacial das transformações depende da resposta dos ambientes aos fenômenos que ocorrem nos ambientes costeiros, estas modificações poderão ser detectáveis ou não.

4.2 MECANISMOS DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS NATURAIS DE CURTO PERÍODO EM ÁREAS COSTEIRAS TROPICAIS

As modificações ambientais de curto período nas áreas costeiras são caracterizadas por uma extrema variabilidade dos processos costeiros e do exercício de atividades humanas nos ambientes. Algumas dessas mudanças de curto período podem ser visíveis ainda na escala do tempo de vida humana. As causas dessas modificações possuem escalas temporal e espacial variadas, estando associadas a processos globais, regionais e locais.

Poucos estudos porém, tratam de entender a interação entre os mecanismos que geram as modificações nos ambientes costeiros e as respostas do ambiente, em diferentes escalas temporais (Salant *et al.*, 2005) e espaciais. Isto resulta do fato de que muitos processos interagem e ocorrem simultaneamente, o que torna difícil precisar a contribuição de cada fator para as modificações no nível do mar e conseqüentemente para as modificações nos ambientes costeiros (USACE, 1995). Por outro lado, os estudos para entender essas modificações precisariam de registros históricos associados a medições dos fenômenos e seu reflexo nos ambientes costeiros.

As modificações naturais de curto período, nas áreas costeiras, estão intrinsecamente relacionadas com a variação do nível do mar (Tab. 4.1). De um modo geral pode-se dizer que os principais agentes naturais que produzem essas modificações nas áreas costeiras e planícies tropicais úmidas estão ligados a fatores climáticos, astronômicos, oceanográficos e meteorológicos, globais, regionais e locais, que desencadeiam processos modelando e remodelando a paisagem costeira e conseqüentemente os seus ecossistemas, mantendo esta área em constante transformação.

4.2.1 Climáticos Globais

Nas costas tropicais os processos climáticos possuem uma dinâmica própria em função de sua localização geográfica. A atuação desses processos, aliada às condições geológicas e oceanográficas locais, é determinante para a existência dos ambientes costeiros tropicais e planícies associadas. Os processos climáticos refletem-se em duas variáveis principais: precipitação e padrão de ventos, que vão interferir na análise das modificações naturais.

Tabela 4.1: Fatores de mudanças do nível do mar, de curto período, ao longo da zona costeira e estimativa de seus efeitos (USACE, 1995).

Causas	Escala de Tempo (P=período)	Efeito Vertical
Mudanças Periódicas do Nível do Mar		
- marés astronômicas	6-12 horas P	0,2 a +10 m
- marés de longo período (variações rotacionais)	14 meses P	
Flutuações Oceanográficas e Meteorológicas		
- pressão atmosférica		
- ventos (ondas de tempestades)	1-5 dias	acima de 5 m
- evaporação e precipitação	dias a semanas	
- topografia superficial do oceano (mudanças na densidade da água e correntes)	dias a semanas	acima de 1 m
- El Niño	6 meses a cada 5-10 anos	acima de 60 cm
Variações Sazonais		
- balanço sazonal de água entre os oceanos (Atlântico, Pacífico e Índico)		
- variações sazonais no gradiente da água superficial		
- escoamento dos rios/inundação	2 meses	1 m
- mudança sazonal na densidade de água (temperatura e salinidade)	6 meses	0,2 m
- <i>seiches</i>	minutos-horas	acima de 2 m
Terremotos		
- <i>tsunamis</i> (ondas de longo período geradas catastróficamente)	horas	acima de 10 m
- mudanças abruptas no nível da terra	minutos	acima de 10 m

Para os ambientes costeiros tropicais, a alta precipitação exerce um papel fundamental. No entanto, a frequência e intensidade dessa precipitação variam ao longo do tempo conforme demonstrado por Latrubesse *et al.* (2005). Como resultado, períodos chuvosos e menos chuvosos ocorrem ao longo do ano, apresentando variações anuais, interanuais e decenais, de acordo com os fenômenos associados. Dois fatores naturais são fundamentais no regime dessa precipitação e decorrem da condição climática global do planeta: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e ocorrência do fenômeno *El-Niño-Southern Oscillation* (ENSO).

- ZCIT

A ZCIT é decorrente do sistema de circulação atmosférica superficial, existente entre o Equador e a latitude de 30° (Célula de Hadley), representando o ramo ascendente dessa célula (Fig. 4.2).

A ZCIT insere-se na região equatorial onde ocorrem marcantes interações atmosféricas e oceânicas: 1) zona de confluência dos ventos alíseos (ZCA); 2) zona da depressão equatorial; 3) zona de máxima temperatura da superfície do mar; 4) zona de máxima convergência de massa; e 5) banda de máxima cobertura de nuvens convectivas (Ferreira, 2002).



Figura 4.2: ZCIT gerada pelo sistema de circulação atmosférica. Fonte: Modificado de encarta.msn.com. Acessado em dezembro de 2005.

Como a ZCIT move-se anualmente de um lado para outro da linha do Equador deslocando-se para Norte, entre os meses de junho a setembro, e para o Sul do equador, nos meses de dezembro a fevereiro (Fig. 4.3), origina as estações secas e úmidas na zona equatorial tropical. Esta zona influencia fortemente a temperatura e a precipitação, marcando as áreas tropicais com altas precipitações e forte nebulosidade, observáveis em imagens de satélite (Fig. 4.4).

- ENSO

Em decorrência da variação na precipitação, os regimes fluviais tropicais são influenciados pelo ENSO (Latrubesse *et al.*, 2005), conseqüentemente os ecossistemas costeiros a eles associados também o são.

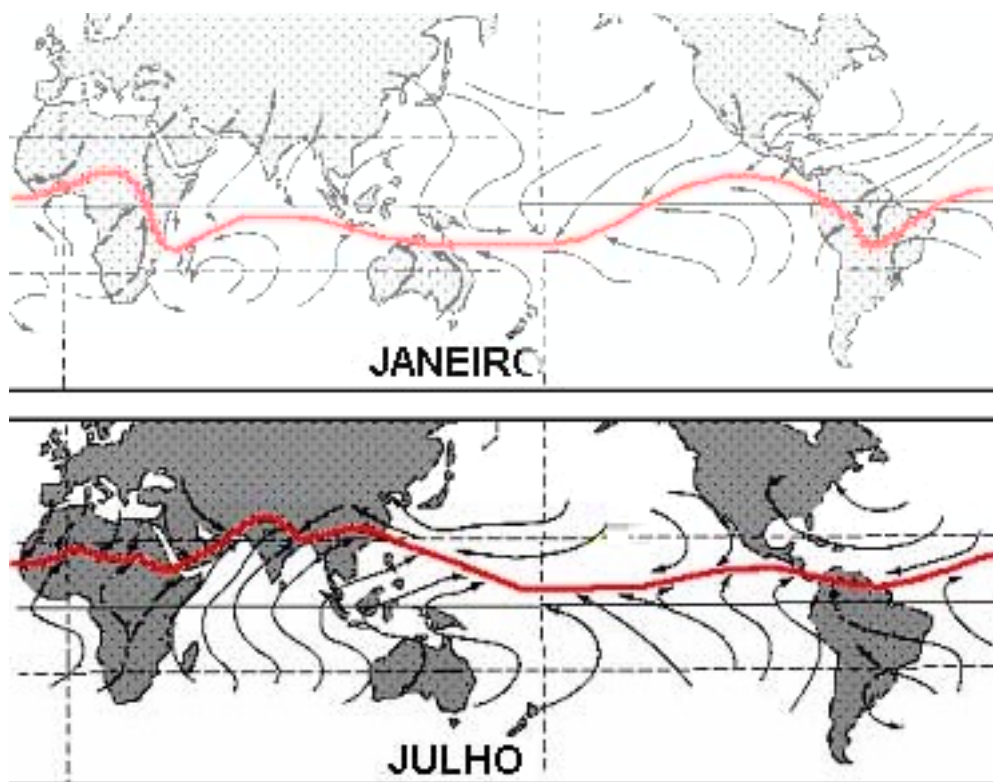


Figura 4.3: Padrão de deslocamento da ZCIT sobre a região equatorial. Para sul nos meses de dezembro a fevereiro e, para norte da linha do equador, nos meses de junho a setembro. Fonte: www.meteo.nc/comprendre/glossaire/zcit.html. Acessado em maio de 2002.



Figura 4.4: A ZCIT e sua área de alta nebulosidade sobre a região equatorial e a relação com os ventos alíseos, observada a partir de dados de classificação da cobertura da terra e dados de nuvens do satélite GOES-11. Fonte: <http://earthobservatory.nasa.gov>. Acessado em 2005.

O El-Niño está relacionado a uma oscilação atmosférica global conhecida como *Southern Oscillation* (SO) resultando em flutuações nas temperaturas no oceano. As anomalias ocasionadas pelo fenômeno podem ser negativas ou positivas. Fases negativas ocorrem durante os episódios de El-Niño quando zonas anômalas de alta pressão cobrem a Indonésia e o oeste do Pacífico Tropical e zonas anômalas de baixa pressão cobrem o leste do Pacífico Tropical. Nas fases positivas essas anomalias se invertem produzindo o fenômeno de La-Niña (NOAA - *National Weather Service*, 2006). O resultado das anomalias reflete-se no padrão de ventos, temperatura superficial na água do mar, nebulosidade e precipitação (Fig. 4.5).

Figura 4.5: Relação dos episódios de El-Niño e La Niña com o clima global. Fonte: Modificado de <<http://www.cptec.inpe.br/enos/>>. Acessado em março de 2006.

Os episódios de El-Niño e La Niña duram aproximadamente 9 a 12 meses, começam geralmente a se formar em junho-agosto, alcançando seu pico durante dezembro-abril e decaindo em maio-julho do próximo ano. São verificados entretanto, períodos em que os episódios se prolongaram por 2 anos e algumas vezes 3 a 4 anos. Embora com periodicidade irregular, os eventos de El Niño e La Niña ocorrem a cada 3 a 5 anos em média (NOAA - *National Weather Service*, 2006). O evento entretanto possui várias escalas de ocorrência que variam de interanuais, multianuais e até decenais (Tab. 4.2).

Tabela 4.2: Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña desde o século XIX. Compilado de www.cpc.ncep.noaa.gov e <http://www.cptec.inpe.br/enos/>. Acessado em março de 2006.

EL NIÑO			LA NIÑA		
			1886		
1877 – 1878					
1888 – 1889			1889-1890		
1896 – 1897					
1899					
1902 – 1903			1903-1904		
1905 – 1906			1906-1908		
			1909-1910		
1911 – 1912					
1913 – 1914			1916-1918		
1918 – 1919					
1923			1924-1925		
1925 – 1926			1928-1929		
1932			1938-1939		
1939 – 1941					
1946-1947			1949-1951		
1951					
1953			1954-1956		
1957 – 1959			1964-1965		
1965 – 1966					
1968 – 1970			1970-1971		
1972 – 1973			1973-1976		
1976 – 1977					
1977 – 1978					
1979 – 1980					
1982 – 1983			1983-1984		
			1984-1985		
1986 – 1988			1988-1989		
1990 – 1993					
1994 – 1995			1995-1996		
1997 – 1998			1998-2001		
2002-2003					
2004-2005			2006		
Forte	Moderado	Fraco	Forte	Moderado	Fraco

4.2.2 Oceanográficos Globais e Regionais

- As Marés

As marés originam-se da ação de forças gravitacionais entre Terra-Sol-Lua agindo sobre os oceanos e mares fechados e lagos (marés dinâmicas), resultando na variação periódica do nível do mar, podendo ser amplificadas por agentes meteorológicos como os ventos. Elas interferem de forma positiva ou negativa sobre a paisagem a partir do papel das

correntes de marés como fator de remobilização e transporte de sedimentos ao longo da linha de costa e nos estuários.

Em costas tropicais as marés geralmente possuem forma e amplitude variáveis (Fig. 4.6), uma vez que a morfologia dos oceanos e costas possui um papel decisivo no tipo e amplitude das marés. De um modo geral as marés nos ambientes tropicais são semidiurnas e mistas e suas amplitudes variam de micro até macromarés.

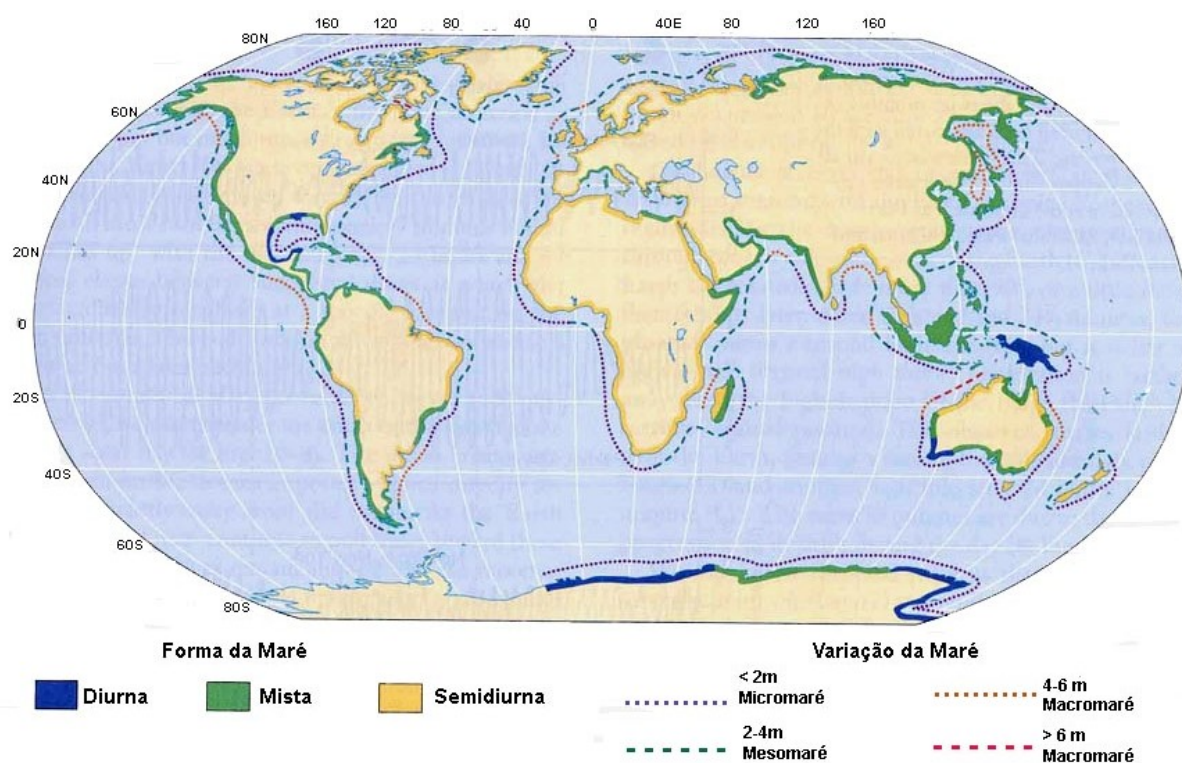


Figura 4.6: Forma e amplitude de marés no mundo. Notar que nas costas tropicais as amplitudes e tipo de marés são variáveis (Segar, 1998).

Como todo fenômeno natural, as marés também possuem sua periodicidade temporal e escala espacial associada com as variações do nível do mar (Fig. 4.7, Tab. 4.3).

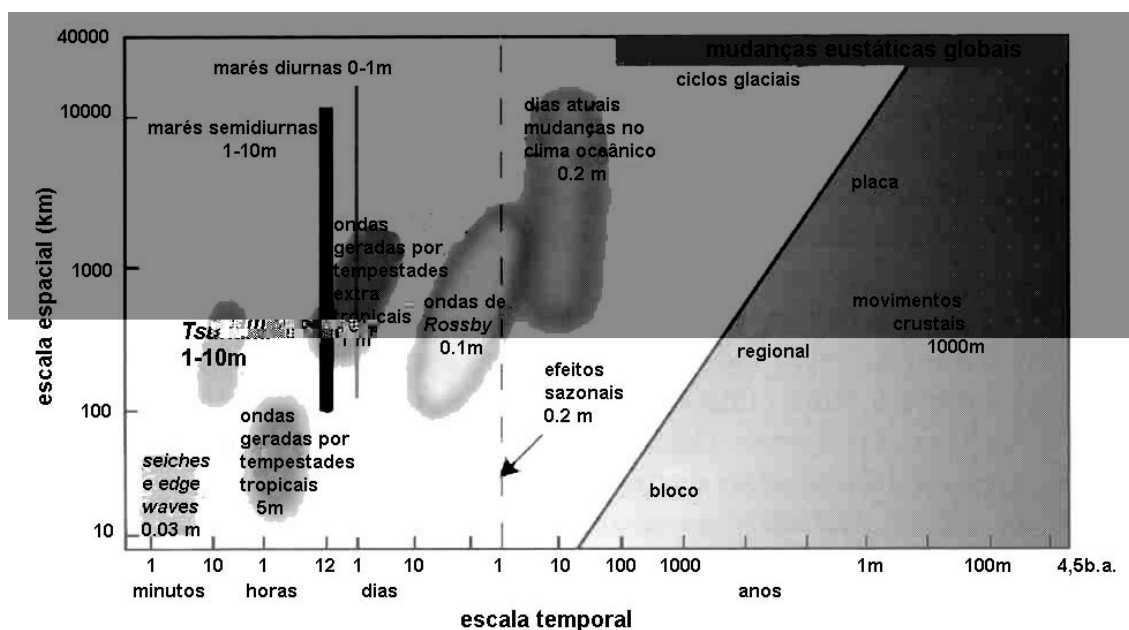


Figura 4.7: Mapa dos fatores que afetam o nível do mar no espaço e no tempo, com variação em metros. Modificações rápidas de pequena escala estão representadas no canto inferior esquerdo (Pugh, 2004).

Tabela 4.3: Exemplos de mudanças do nível do mar em função das marés e suas escalas temporais baseado em Franco (1997) e Pugh (2004).

Causas	Escala de Tempo (P=período)	Ocorrência
Trânsito da lua pela longitude local	6-12 horas P	Variação diária de baixamar e preamar.
Alinhamento do sistema Lua-Terra-Sol	~14 dias	Marés de sizígia um ou dois dias, após as luas nova e cheia; e marés de quadratura, nas luas crescente e minguante.
Equinócios e solstícios	6 meses	Em 21 de março, 21 de junho, e 23 de setembro e 22 de dezembro (para o ano de 2002).
Apogeu e perigeu	~14 dias	Quando a lua está mais próxima ou mais afastada da terra.
Movimentos médios da lua e do sol – ciclo da revolução dos nodos	18,5 anos	Quando o conjunto Terra-Sol-Lua volta a ter a mesma disposição.
Ventos (marés meteorológicas)	?	Quando há variação de pressão próximo à costa

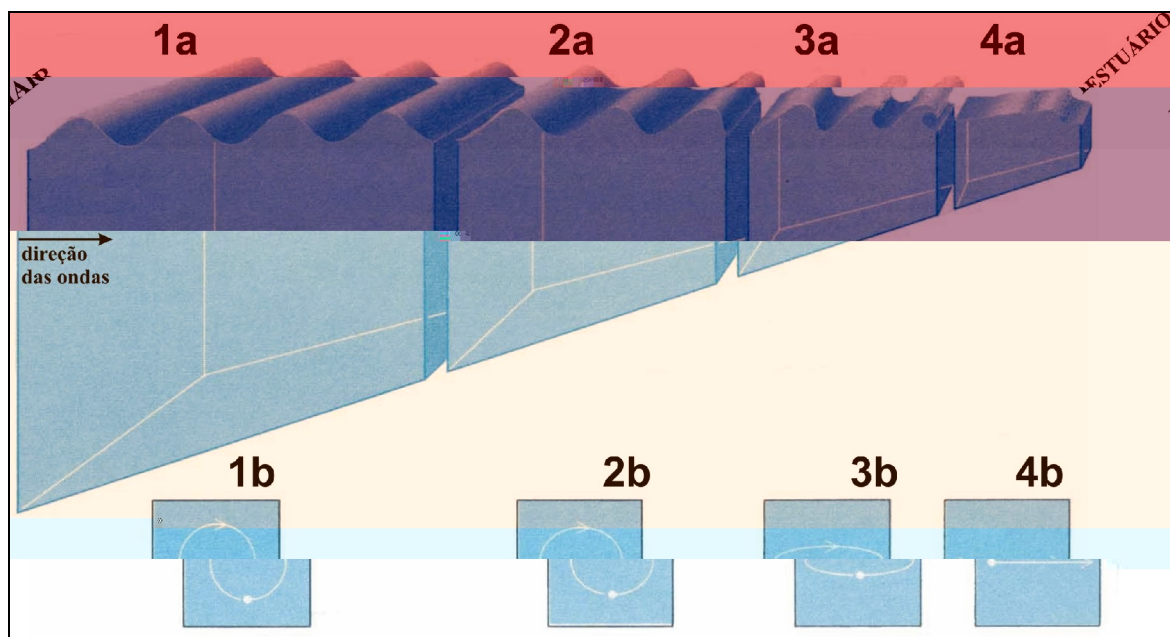


Figura 4.8: Mecanismo de formação da onda de pororoca nos estuários. No mar as ondas são simétricas, com o mesmo gradiente de ambos os lados, a crista e a calha da onda viajam a mesma velocidade (1a). Dentro de cada onda o padrão de deslocamento de uma partícula ou de um pequeno volume de água é circular (1b). A onda transporta somente energia, a água não é deslocada. Quando as ondas entram no estuário elas começam a interagir com o fundo e se movem como ondas de águas rasas. A interação comprime as ondas e diminui o comprimento de onda. As cristas começam a viajar mais rápido do que as calhas tornando-se assimétricas (2a) com movimentação das partículas na forma de uma elipse (2b). Quando a altura da onda atinge metade da profundidade, a crista sobrepassa a calha e quebra-se (3a). O padrão de movimento da partícula de água torna-se achatada (3b) e onda ao quebrar-se (4a) forma a pororoca. O padrão de movimento da partícula torna-se linear em direção à costa (4b). Então, a pororoca movimentará água e energia rio acima. Fonte: Lynch (1982).

A pororoca possui uma ampla distribuição espacial no mundo, formando-se em quase todos os continentes (Fig. 4.9) com exceção da Antártica (Chanson, 2005). Porém as mais documentadas são as do rio Seine, na França e Qiantang, na China (Chanson, 2005). As mais conhecidas no mundo e suas alturas são apresentadas na Tab. 4.5.

Tabela 4.5: Localização e altura da onda da pororoca no mundo. Sentinelles Petitcodiac Riverkeeper (2001).

Local	Altura
Amazonas, Brasil	+ 2 m
Qiantang, China	+ 2 m
Salmon, Canadá	1 m
Shubenacadie, Canadá	+ 1m
Turnagain Arm, EUA	+ 1 m
Seine, França	+ 1 m antes de 1963
Dordogne, França	+ 1m
Hoogly, Índia	+ 1m
Petitcodiac, Inglaterra	+ 1 m antes de 1968
Servern, Inglaterra	+ 1 m

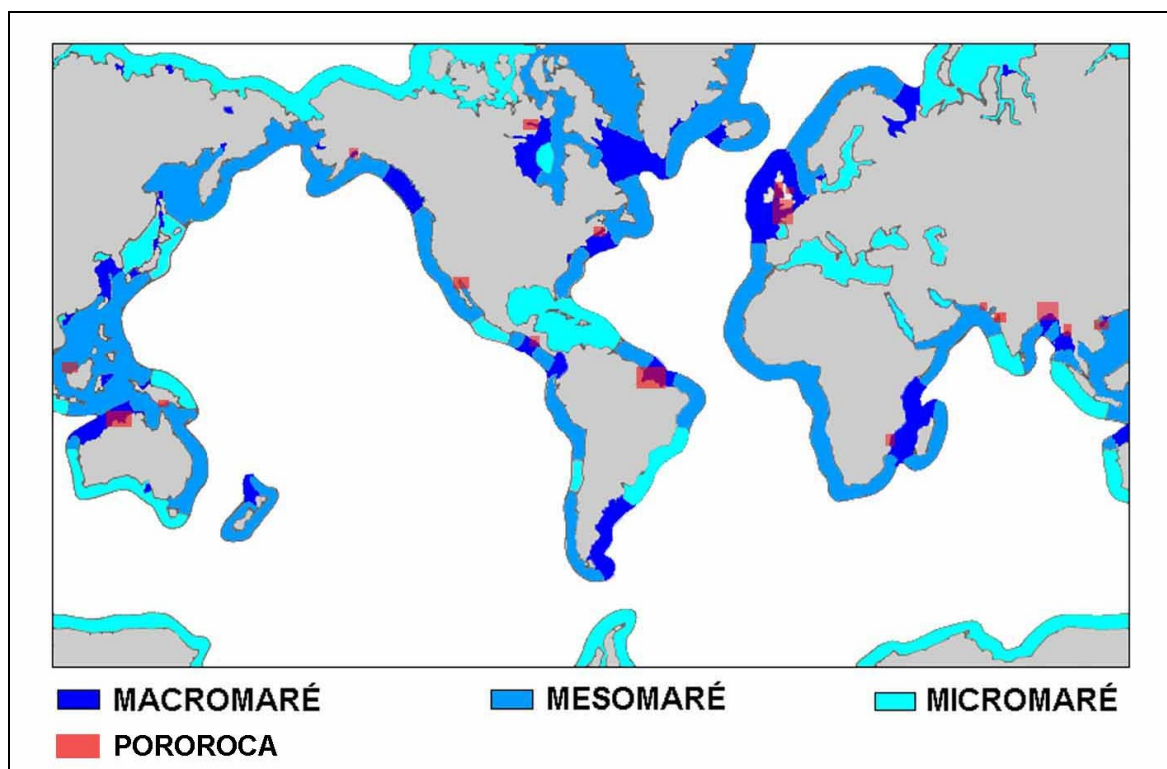


Figura 4.9: Distribuição da pororoca no mundo. Notar a predominância do fenômeno nas áreas de macromarés. Elaborado a partir de Chanson (2004), Lynch (1982), Maladain (1988) e TBRs (2005).

As características das ondas da pororoca variam de um rio para outro e igualmente de maré para maré. A maioria das ondas é relativamente pequena, variando de poucos centímetros a mais de 2 metros de altura. As maiores alturas da pororoca são encontradas na desembocadura do Amazonas que, segundo Lynch (1982), alcançaria 7 m, porém tal altura de onda não tem sido confirmada. A velocidade da onda pode alcançar mais de 6 m/s como a do rio Qiantang (Pugh, 2004). As ondas da pororoca geralmente são maiores e mais frequentes durante as marés de sizígia (Lynch, 1982), principalmente nos equinócios.

As ondas da pororoca podem ser ondulares (*ondular, ondule*) ou em formato de macaréu (*breaking, déferlant*). As formas ondulares geralmente não se quebram durante o percurso e são seguidas por várias ondas pequenas. Lynch (1982) observou mais do que 55 pequenas ondas seguindo a onda da pororoca de um tributário do rio Amazonas. Em ambientes tropicais pororocas em formato ondular são muito perceptíveis (Donnelly e Chanson, 2002). Entretanto, o tipo de onda da pororoca é variável e depende da altura da maré, da profundidade do rio, da forma do fundo e da velocidade e direção do vento.

Muitas ondas são ondulares no meio do canal e como macaréu sobre os bancos. Em certos rios a pororoca pode ser ondular em algumas marés e macaréu em outras. As ondas sempre podem mudar de forma com as mudanças na profundidade do rio. Chanson (2005) admite que as ondas em formato total de macaréu são raras.

- Ondas

Enquanto as marés atuam externa e internamente à linha de costa, as ondas são mais eficientes sobre a linha de costa. Próximo à costa, as ondas geram as correntes de deriva litorânea e correntes de retorno, as quais vão atuar de modo diferente ao longo da costa, tendo um papel mais definido nas costas de micro e mesomarés, principalmente supridas com sedimentos arenosos.

4.3 RESULTADOS DAS FORÇANTES NATURAIS EM AMBIENTES COSTEIROS TROPICAIS

O resultado da atuação das forçantes de curto período sobre os ambientes costeiros tropicais de um modo geral está ligado a três fatores: o aporte fluvial, as marés e as ondas (Fig. 4.10), cujos processos determinam a classificação dos ambientes costeiros.

A predominância de um ou de outro fator irá estruturar os ambientes costeiros e será determinante em suas mudanças. O aporte fluvial possui forte influência das forçantes climáticas e do terreno geológico onde o rio está inserido. As ondas e marés dependem principalmente das forçantes meteorológicas e oceanográficas.

4.3.1 Forçantes Climáticas

As principais conseqüências da ação da ZCIT e ENSO sobre as planícies costeiras tropicais se referem à variabilidade na precipitação, ação dos ventos e nebulosidade.

Como o movimento sazonal da ZCIT está relacionado à pronunciada alteração climática sazonal, disso resulta uma variação no aporte de sedimentos, através dos estuários, para a zona costeira. Desempenha, por conseguinte, um papel importante na redistribuição de sedimentos nas costas a exemplo do estudo apresentado por Peterson e Haug (2005) na costa da Venezuela.

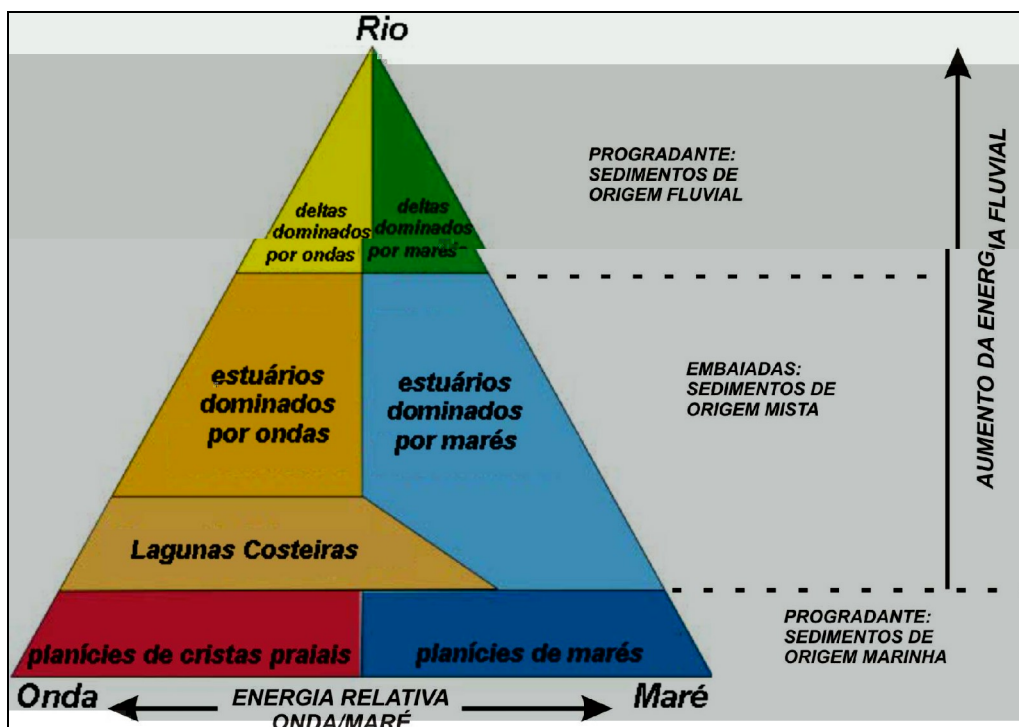


Figura 4.10: Classificação dos sistemas costeiros de acordo com Boyd *et al.* (1992), baseando-se nos processos fluviais e oceanográficos. Os campos também são discriminados com base na origem dos sedimentos e grau de embaçamento.

Enquanto o movimento da ZCIT produz uma variação sazonal, o resultado das variações ocorridas devido aos fenômenos El-Niño/La Niña afetaria a precipitação e conseqüentemente a descarga média anual dos rios, em escalas temporais variadas.

Alguns estudos mostram que os grandes rios tropicais teriam alta probabilidade de uma baixa descarga durante o evento de El-Niño e alta descarga nos períodos de La-Niña. Os efeitos sobre os regimes hidrológicos são corroborados através de estudos de séries temporais, correlacionando eventos de inundação e de seca em planícies de grandes rios como o rio Yangtze na China (Tong *et al.*, 2006). Correlações entre descargas anuais de rios tropicais e as variações das anomalias na temperatura superficial do mar nos episódios de El-Niño, são apresentadas por Amarasekera *et al.* (1997). Os autores demonstraram que os rios próximos ao equador como o Amazonas e Congo possuem fraca correlação com esses episódios, enquanto que rios mais afastados, a exemplo do Nilo e Paraná, teriam uma forte correlação. É fundamental se considerar, entretanto, que esses rios possuem descargas fluviais menores que os rios Amazonas e Congo.

O resultado das modificações no regime hidrológico afetaria a descarga hídrica e de sedimentos dos sistemas fluviais e conseqüentemente dos estuários. Entretanto, deve-se

considerar que uma das grandes lacunas para as costas tropicais são estudos que possam relacionar modificações costeiras e processos associados, principalmente processos globais.

- Como se registrariam as modificações climáticas nas áreas costeiras

Os reflexos das respostas das forçantes climáticas sobre os ambientes costeiros tropicais poderiam ser registrados através de:

- mudança na morfologia das desembocaduras dos rios, baías e estuários. Registrada em virtude da variação na descarga fluvial, afetando o padrão de correntes. A descarga funciona como um molhe hidráulico e interrompe as correntes litorâneas propiciando variação nos regimes erosionais e deposicionais, estruturando as áreas de deposição e erosão. Modificações influenciadas por essas variações têm reflexos na morfologia e são passíveis de serem monitorados por sensoriamento remoto;
- redução no aporte de água doce durante os eventos de El-Niño que diminuiria também o aporte de nutrientes para as regiões costeiras, provocando um aumento de salinidade. Inversões dessas condições seriam ocasionadas durante o evento de La Niña. Estes efeitos repercutiriam também nas condições ecológicas nos ambientes costeiros;
- mudanças na precipitação resultariam em modificações na extensão e duração das inundações, principalmente em áreas de relevo plano. Os registros ficariam marcados na espessura dos sedimentos depositados e extensão do material depositado. Tais efeitos foram estudados por Terry *et al.* (2002) em um sistema fluvial no Pacífico tropical;
- modificação na disponibilidade e distribuição espacial da pluma de sedimentos nas regiões costeiras, a exemplo do que ocorre com o rio Amazonas (Nittrouer e DeMaster, 1996). Nos períodos de maior precipitação haveria maior aporte de sedimentos provocando uma variação na pluma de sedimentação na foz dos estuários e deltas que poderiam ser monitorados por sensores óticos. Por outro lado, o maior aporte de sedimentos significa disponibilidade de material a ser trapeado nas planícies de inundação e áreas costeiras. A disponibilidade de sedimentos poderia aumentar a magnitude dos processos de formação de barras em estuários e deltas;

- modificação na direção das feições costeiras. A circulação atmosférica global influencia no padrão de ventos. As modificações na direção de incidência dos ventos sobre as costas teriam reflexos: a) na variação no ângulo de incidência de ondas sobre o litoral e, conseqüentemente, na variação morfológica dos padrões de deposição e erosão de sedimentos; b) na mudança de direção de cristas praias e; c) na modificação no padrão de migração de dunas costeiras.

4.3.2 Marés como Mecanismo Controlador de Modificações

Nos estuários a ação direta das forças astronômicas é desprezível e a corrente de maré é resultado da diferença de nível entre o oceano e o interior. O fluxo e refluxo das correntes seriam caracterizados por uma corrente axial segundo o eixo do canal que deveria ser máxima para a enchente e vazante, com a corrente de vazante adicionada a descarga fluvial potencializando o efeito das vazantes (Franco, 1997). Registros de marés para as costas rasas e estuários mostram que o tempo de enchente é muito menor que o tempo de vazante, deste modo correntes de enchentes deveriam ser maiores que as correntes de vazante, tendendo a movimentar sedimentos em direção preferencial (Pugh, 2004).

A subida e descida das marés geram mudanças periódicas na força e direção do fluxo das correntes de marés produzindo alternância entre períodos de movimentação e de não movimentação de sedimentos (estofo de maré). Importante também é a quantidade, amplitude e o sincronismo da subida e descida da maré, pois as correntes de marés são responsáveis pela formação de estruturas sedimentares características cuja natureza, tamanho e direção revelam a complexidade espacial e temporal do regime de fluxo da corrente (Friedman e Sanders, 1978; Leeder, 1982; Reading e Collinson, 1996).

A contínua subida e descida do nível de água diariamente expõe grandes espaços sobre as planícies costeiras, dependendo da amplitude de maré e do relevo da planície. Em costas arenosas propicia uma melhor atuação dos ventos e auxiliando no suprimento de areia para as dunas.

Em costas influenciadas por marés, dois principais mecanismos controlam a distribuição dos sedimentos: a) deposição a partir de suspensão e b) ressuspensão de sedimentos. Durante as enchentes e vazantes as partículas ficam em suspensão por fluxo turbulento até o período de estofo da maré (momento antes da reversão da corrente de maré) quando então a velocidade da corrente diminui consideravelmente e as partículas são depositadas no fundo. Essas partículas podem permanecer no fundo ou serem apanhadas e

ressuspensas pela corrente subsequente. O processo de ressuspensão depende, entre vários fatores, do tipo de fundo e velocidade da corrente seguinte. Estes dois mecanismos são os principais responsáveis pela formação de cinturões de sedimentos próximo à costa (Friedman e Sanders, 1978). Outro processo importante para a deposição das partículas finas a partir de suspensão é a floculação.

Os processos de deposição e erosão variam com a amplitude das marés, atuação das correntes, morfologia da área, condições geológicas e climáticas. Esses fatores, associados à presença ou não de rios, são capazes de formar e alterar as paisagens costeiras.

Hayes (1975) e Hayes (1976) advogam que a amplitude de marés seria determinante nas diferenças de grande escala na morfologia e acumulação de sedimentos nos estuários e definiu três modelos básicos de estuários: o de micro, meso e de macromarés. Os três modelos podem ser encontrados nas costas tropicais porém são nos ambientes de macromarés (estuários e planícies de marés) que a eficiência das correntes de marés é mais evidente.

Ressalta-se que as planícies de marés ocorrem tanto ao longo do litoral, como no interior e exterior dos sistemas estuarinos e nelas desenvolvem-se os canais de marés a partir da entrada e reversão do fluxo da maré.

A morfologia, largura e extensão de planícies de marés nos estuários dependem em parte da morfologia do canal estuarino, o qual está fortemente influenciado pelo regime hidrodinâmico. Disso resultam modificações constantes nos elementos que compõem a paisagem estuarina, como a formação, migração e destruição das barras longitudinais, e também a formação e erosão de áreas acrescionárias.

A amplitude de maré, energia das ondas, quantidade e tipo de sedimentos disponíveis constituem forçantes que se refletirão na natureza da planície de maré (arenosa ou lamosa). As planícies lamosas são usualmente formadas próximo aos rios com grande suprimento de lama, sendo os canais de marés as feições típicas desses ambientes (Reading e Collinson, 1996).

Os canais de maré estão em constante modificação devido à rápida acreção lateral e vertical. Estima-se que os canais movem-se 30 m anualmente e em casos extremos mais de 100 metros. Quando as águas abandonam repentinamente seus canais durante as marés de tempestades, eles são preenchidos com sedimentos dentro de poucos dias ou semanas. O escavamento de canais é forte, indicado pela profundidade desses canais de até várias dezenas de metros (Kukal, 1971).

4.3.3 Efeitos da Pororoca nos Ambientes Costeiros

Estudos sobre os resultados da atuação da pororoca nos processos costeiros e conseqüentemente nas modificações desses ambientes são poucos na literatura. A maioria das pesquisas estão relacionadas a trabalhos teóricos e experimentais (Chanson, 2001), existindo trabalhos sobre a modelagem do processo tanto em laboratório como em campo, a exemplo do trabalho de Simonsen (2003) no estuário de Qiantang, na China.

- mistura de sedimentos e dispersão de sedimentos finos e salinidade

A passagem da onda da pororoca pode gerar uma zona de mistura e de dispersão de sedimentos finos e de salinidade conforme já demonstrado por Kjerfve e Ferreira (1993) para o rio Mearim, na costa maranhense. Essa zona pode estender-se por distâncias consideráveis ao longo dos rios e estuários, uma vez que a pororoca pode viajar por longas distâncias rio adentro. Chanson (2003) discute que os processos de mistura e dispersão de sedimentos em um estuário afetado pela pororoca não são comparáveis com os processos de um estuário bem misturado e ocorrem repentinamente, podendo inclusive tornar-se o processo de mistura predominante.

O processo de advecção que ocorre associado as pequenas ondas, logo após a passagem da pororoca, é predominante na mistura das águas, conforme comprovado para o estuário do rio Mearim, no Maranhão (Kjerfve e Ferreira, 1993) e rio Ord, Austrália (Wolanski *et al.*, 2001).

- mobilização de sedimentos

O maior poder de remobilização de sedimentos durante a pororoca ocorre quando existe a reflexão da onda dentro dos estuários, nas áreas de intermarés, acentuando a onda e formando uma parede de sedimentos que pode ser dispersa por sobre grandes obstáculos, como margem de rios e construções (Fig. 4.11).



Figura 4.11: Influência da intensificação da reflexão da pororoca sobre um muro de contenção no rio Qiantang, China. (Simpson, 1997).

- formação de deformações sin-sedimentares e mudança de morfologia

Tessier e Terwindt (1994) observaram uma série de microfalésias na borda do canal do estuário da Baía de Saint-Michel, na França.

Deformações semelhantes a dobras cônicas com eixo perpendicular ao canal ocorrem na parte superior de bancos erosionais, que poderiam ser resultado da perda de estabilidade da parte superior das camadas sedimentares devido à propagação da onda da pororoca. Estas estruturas são associadas à liquefação de sedimentos e são registradas na literatura para ambiente onde existem atuação de ondas.

- efeitos ecológicos

A pororoca influencia na ecologia dos estuários, auxiliando na disponibilidade de alimentos para predadores e peixes, desta forma é importante para a atividade pesqueira nas zonas de intermaré (Chanson, 2005).

- efeitos sobre as atividades econômicas

Chanson (2005) admite que a pororoca freia o desenvolvimento econômico de algumas regiões pela violência do fenômeno, tendo um efeito importante sobre o escoamento de produtos, pois gera problemas para a navegabilidade dos estuários. Por outro lado, ultimamente ela vem se tornando uma atração a prática esportiva, como as temporadas de *surf* que ocorre no rio Qiantang, China; rio Seine e Dordogne, França e rio Araguari, Brasil. Além do fato de ser uma atração turística (Chanson, 2001; Simonsen, 2003; TBRs, 2005).

4.3.4 Efeitos das ondas

A combinação entre a pista e as condições de ventos alíseos constantes permitem que as ondas sejam agentes importantes em costas tropicais, tornando-as eficientes na modificação dos ambientes costeiros em curta escala de tempo (horas a meses). Assim, a eficiência dos ventos sobre as costas, quando combinados com a ação de marés, pode gerar ambientes sob a atuação de processos complexos, o que levou Anthony e Orford (2002) a proporem sistemas dominados por ondas e marés, simultaneamente. Tais autores discutem que a ação das ondas não está restrita a costas de barreiras arenosas cortadas por canais de marés. Deste modo, eles identificaram, em algumas costas tropicais, grandes sistemas dominados por esses dois processos.

O retrabalhamento dos sedimentos pelas ondas nos ambientes costeiros se traduz principalmente na formação de cristas praias, bancos e barras arenosas na foz dos estuários e deltas. Como resultado da presença de correntes litorâneas os sedimentos são transportados ao longo da costa que, de acordo com o maior ou menor aporte destes e, com a intensidade das ondas, geram feições indicativas de variações nos processos sedimentares decorrentes das alterações no regime de ondas e ventos.

4.4 MODIFICAÇÕES DE ORIGEM ANTRÓPICA

A influência do homem sobre o meio ambiente tem levado a proposta de uma nova época para o Planeta: o Antropoceno. Postulado primeiramente por Vernadski (1926) e aplicado por Crutzen e Stoermer (2000), caracteriza-se por um forte impacto das atividades humanas sobre o clima do planeta. Este conceito poderia ser aplicado também para as mudanças nos ambientes costeiros, e já tem sido aplicado para os sistemas fluviais por Meybeck e Vorosmarty (2005).

Nos ambientes costeiros, a pressão humana decorre das atividades de urbanização, industrialização, recreação, turismo, agricultura e pecuária. A presença de local propício ao escoamento de produtos é estratégica para alocação dessas atividades, e a existência dos recursos naturais exploráveis, aumenta a pressão sobre esses ambientes.

A ação humana tanto pode interferir nos processos como nos produtos resultantes do equilíbrio dinâmico das áreas costeiras.

A interferência nos processos é imposta geralmente através de obras de construção realizadas tanto na zona costeira como nas bacias de drenagem que deságuam na costa.

As obras realizadas na zona costeira estão associadas geralmente ao controle da erosão, em costas baixas. USACE (2002) advoga que o principal efeito das obras de engenharia (gabiões, quebra-mares, espigões, etc...) é no padrão de distribuição de sedimentos e decorre das mudanças nas condições hidrodinâmicas locais. A interferência humana através de construção de obras em áreas costeiras também pode ser realizada no sentido de preservar ambientes como, por exemplo, na utilização de vegetação e cercas para estabilização de dunas arenosas, desacelerando as mudanças provocadas por erosão natural.

Obras de construção em bacias de drenagem são decorrentes de atividades de irrigação, controle de inundação e geração de energia e segundo Yang *et al.* (2002), tanto podem aumentar como reduzir a quantidade de sedimentos em suspensão para os oceanos. O resultado é a obstrução do transporte de sedimentos para o litoral pela criação de novas trapas de sedimentos em locais anteriormente inexistentes. Reflexos de construção de barragens em rios e no litoral podem resultar em retração de área de manguezais (Bird *et al.*, 2004) pela variação no regime hidrológico.

As modificações no regime de fluxo também resultam na modificação da morfologia do canal e nas condições sedimentológicas a jusante das barragens, como reflexo da regulação do fluxo (Magilligana e Nislow, 2005).

Mudança das condições necessárias para ocorrência do fenômeno da pororoca através da instalação de portos, construção de barragens, dragagens de canais podem resultar na diminuição ou completo desaparecimento desse processo, a exemplo do que ocorreu com a pororoca do rio Ord, na Austrália; do rio Seine, na França, do rio Tsientang, na China e do rio Colorado nos EUA (Chanson, 2005; Pugh, 2004).

A interferência direta sobre a paisagem, resulta na modificação da proteção natural dos ambientes nas áreas costeiras. Tal interferência está associada à retirada da vegetação, destruição de dunas e vegetação de praias, mineração, desvios de drenagens, engordamento de praias, construção em áreas de pós-praia e atrás de ilhas barreiras, etc.

Convém ressaltar que em virtude da interconexão da paisagem com os processos costeiros, a interferência direta sobre a paisagem também resulta na interferência nos processos costeiros.

4.4.1 A Pecuária como Fator de Modificação em Áreas Costeiras

A atividade de pecuária é uma das atividades que mais cresceram nos últimos três séculos acompanhando o aumento da população humana. Estima-se cerca de uma cabeça de gado para cada família de tamanho médio no mundo (Crutzen e Stoermer, 2000). Um dos fatores é a demanda por alimentos. Dentre as atividades da pecuária a bubalinocultura tem um destaque especial.

Os búfalos são encontrados em várias partes do mundo, nos mais diversos ambientes. Em alguns locais eles fazem parte da biodiversidade natural e em outros foram introduzidos pelo homem. Nas áreas costeiras e pantanosas destacam-se os búfalos da água. Estes são originários da Índia e chegaram ao Leste e Norte da África por volta de 600 A.D., sendo introduzidos na Europa no retorno das cruzadas na Idade Média. Recentemente prosperaram na América do Sul e Central e foram introduzidos também na Micronésia e Austrália (Ligda, 1996). Encontram-se atualmente fixados em todos os continentes (Fonseca, 1987), porém com 97% de sua população localizada na Ásia (FAO, 2000).

Na maioria dos continentes o búfalo é tratado como animal para tração, auxiliando na agricultura (Sheikh *et al.*, 2005). Entretanto, na América do Sul, ele é tratado como animal de produção de carne e leite.

No Brasil o rebanho bubalino atualmente é de 3 milhões de cabeças com um crescimento de 12% ao ano. Cerca de 50% do rebanho está concentrado na região norte (Fig. 4.12).

O crescimento da população de búfalos no Brasil, se deve principalmente à precocidade do animal para abate (12 a 24 meses), resistência a doenças e pragas, custo de produção menor e fertilidade de 70% contra 40%, no caso dos bovinos, e curto período de gestação com média de 303 dias. Segundo a ABCB - Associação Brasileira dos Criadores de Búfalos, o manejo do animal é mais simples e a carne possui 40% menos colesterol, 12 vezes menos gordura, 55%, menos calorias, 11% mais proteínas e 10% a mais de minerais do que a carne bovina (http://www.faeg.com.br/faeg_not028.htm). É considerado também um máquina de produzir leite conforme preconiza Fonseca (1987). O animal alcança mais de 600 kg, para o caso dos machos, e mais de 400 kg para as fêmeas (Fonseca, 1987).

Os búfalos foram introduzidos no Brasil, pela Ilha de Marajó, no ano de 1890. Apesar da primeira importação oficial datar de 1895, que comprova a importação de búfalos da Itália para o Brasil. No início do século XX (1907) adentrou no Estado de Alagoas e somente entre 1918 e 1920 chegou a região leste brasileira, difundindo-se posteriormente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná (Fonseca, 1987).

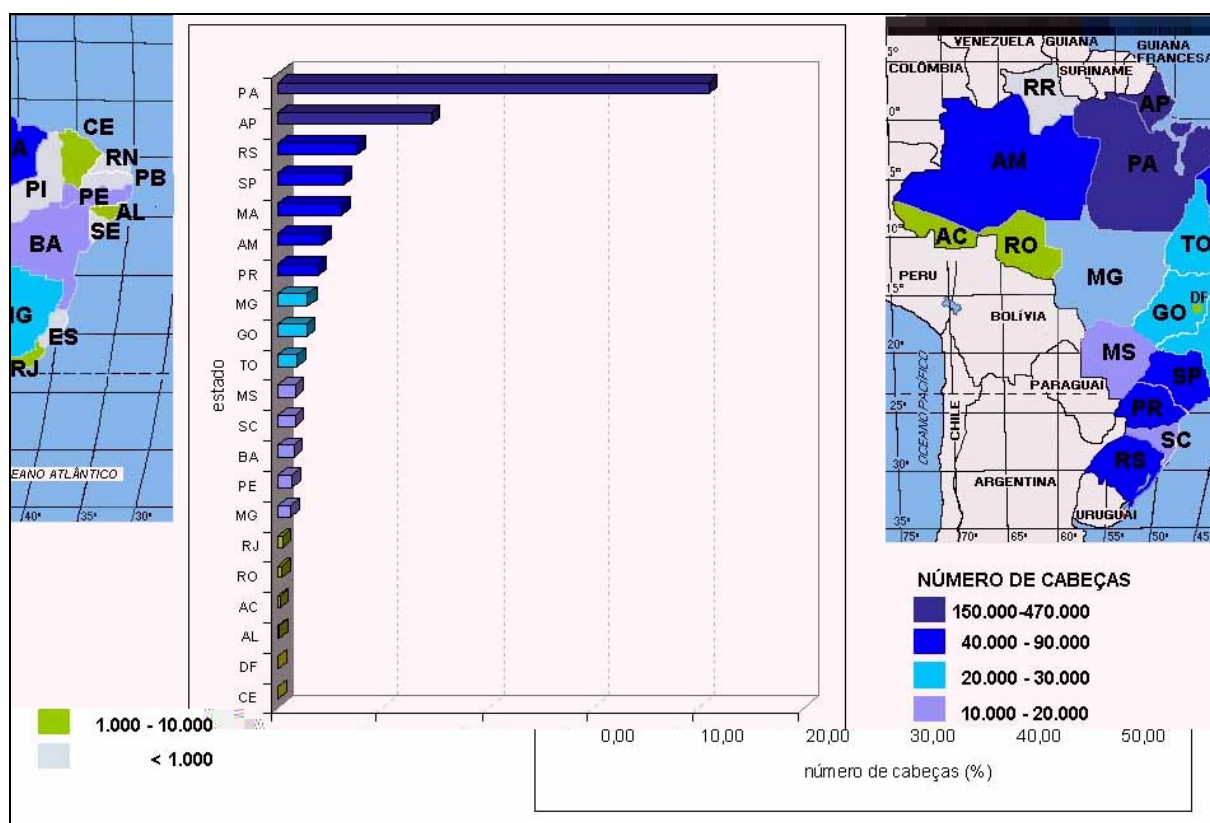


Figura 4.12: Estados Brasileiros com criação de búfalos e distribuição de cabeças no ano de 2004. Observar a concentração de rebanho nos estados costeiros. O Amapá se destaca como o segundo em quantidade de animais. Dados: IBGE (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>). Acessado em 2006.

A atividade da pecuária, e em especial a criação de búfalos, enquanto elemento de modificação do ambiente em áreas costeiras, é pouco tratada na literatura, sendo a maioria dos trabalhos realizados em áreas continentais e de clima sub-tropical (Trimble e Mendel, 1995).

4.4.2 Efeitos da Pecuária sobre o Ambiente

De um modo geral os efeitos da atividade de pecuária na modificação dos ecossistemas, estão relacionados a:

- compactação do solo - a compactação de solo pela pecuária é dos maiores efeitos do gado, pois ele pode remodelar a superfície do solo e, compactar o solo,

diminuindo a capacidade de infiltração (Pietola *et al.*, 2005) e causando aumento do escoamento superficial, algumas vezes transformando o regime de escoamento. O pisoteio do gado, geralmente associado ao seu peso (400-500 kg para o bovino e até 800 kg para bubalinos), pode causar a perda de solo, mudando a susceptibilidade à erosão pela água e pelo vento (Trimble e Mendel, 1995). O resultado desses processos é a mudança no regime hidrológico já comprovada na literatura (Mwendera e Saleem, 1997). O efeito mais comum do pisoteio do gado são os caminhos ou trilhas, formados pela tendência do rebanho de se deslocar sobre o terreno seguindo um mesmo caminho, e de deslocar-se para os lados, compactando a própria trilha. Em solos úmidos as trilhas podem alcançar profundidades de 30 cm. Outro efeito da compactação do solo pelo gado são os terracetes ou degraus (Trimble e Mendel, 1995), denominados neste trabalho de rampas;

- descaracterização da cobertura vegetal - este efeito se dá através da retirada da vegetação para alocação de pastagem e pelo constante pisoteio dos animais em áreas vegetadas. Pastoreio e pisoteio podem reduzir consideravelmente a área da cobertura vegetal nativa. A remoção da fitomassa pelo pastoreio e produção cada vez menor de fitomassa pode reduzir a fertilidade e conteúdo de matéria orgânica no solo, resultando algumas vezes na formação de uma crosta sobre o solo (Trimble e Mendel, 1995). O pastoreio em planícies de inundação por búfalos pode reduzir a biomassa de espécies nativas e induzir o aparecimento de outras espécies conforme estudos de Corbett e Hertog (1996), na planície de inundação do rio South Alligator, na Austrália. O pastoreio pode provocar ainda mudanças na diversidade de espécies em pântanos salinos (Bouchard *et al.*, 2003) e os búfalos de água podem exacerbar o espalhamento de espécies invasoras como observado em uma ilha na Ásia (Fensham e Cowie, 1998) ;
- efeito sobre a fauna – o efeito direto da compactação, diminuição da vegetação e matéria orgânica afetaria todos os níveis da endopedofauna. A redução da quantidade organismos no primeiro nível trófico afetaria a fauna de vertebrados (Cluzeau *et al.*, 1992);
- mudanças na qualidade da água – o efeito do pisoteio do gado auxilia na desmobilização do solo e produção de sedimentos que são transportados para os corpos aquosos. Ibañez *et al.* (2000) referem-se à mudança na quantidade de

sedimentos em suspensão em um dos lagos na região da baixada maranhense onde há a criação de búfalos. Os nutrientes produzidos pela urina e fezes dos animais, práticas fertilizantes associadas à produção de pastagens de alta qualidade, e a produção de organismos patogênicos (Hubbard *et al.*, 2004) também podem afetar a qualidade da água.

No Brasil, a criação do gado (bovino e bubalino) nos ambientes costeiros, é apontada como um vetor de

No caso da pecuária pode-se dizer que os estudos são raros no tocante a modificações ambientais, provavelmente em virtude de demanda por alimentação e apoio para o desenvolvimento de atividades rurais, principalmente ao considerar-se que as costas tropicais úmidas estão associadas a países que possuem um contexto econômico desfavorável para o controle da atividade.

Pode-se expressar ainda que a escala temporal e espacial das modificações ambientais decorrentes das forças antrópicas é reflexo das políticas de desenvolvimento implantadas nas regiões costeiras. Como tal, os eventos são episódicos e associados à implantação de grandes projetos geralmente de cunho econômico. Porém existe um efeito de permanência dessas atividades humanas sobre os ambientes costeiros com intervenções cumulativas. Estas nem sempre podem ser bem averiguadas principalmente pela falta de informações históricas e de métodos comparativos seguros.

Os efeitos das forças modificadoras sejam em decorrência dos agentes naturais como dos agentes antrópicos, poderiam ser monitorados por imagens de satélite, porém em tempos históricos e recentes, dependendo do acúmulo de informações sobre as áreas e de dados disponíveis. Tal assunto é abordado nos capítulos seguintes.

5 MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS: FORÇANTES E SUAS INFLUÊNCIAS NA COSTA AMAZÔNICA	81
5.1. AS FORÇANTES NATURAIS	81
5.1.1 ZCIT e ENSO e sua Variabilidade na Costa Amazônica	82
5.1.2 Descarga Fluvial	86
5.1.3 Forçantes Oceanográficas	90
5.2 O PAPEL DAS FORÇANTES NATURAIS NA DINÂMICA DA PAISAGEM E AMBIENTES DA COSTA AMAZÔNICA	103
5.2.1 Inundação e as Forçantes Climáticas e Oceanográficas	103
5.2.2 A Sazonalidade da Cobertura Vegetal	109
5.2.3 Variações no Aporte de Sedimentos	110
5.2.4 Influência das Marés e Pororoca nos Processos Sedimentares e Morfologia	112
5.3. FORÇANTES ANTRÓPICAS – A PECUÁRIA NA COSTA AMAZÔNICA	119
5.3.1 A bubalinocultura na costa amazônica	119
5.3.2 O sistema de criação	121
5.4. A PECUÁRIA COMO AGENTE MODIFICADOR DA PAISAGEM	125
5.4.1 Efeitos Induzidos pelo Rebanho	126
5.4.2 Efeitos Associados à Interferência Humana	135
5.5. CONCLUSÕES	136

Capítulo 5

MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS: FORÇANTES E SUAS INFLUÊNCIAS NA COSTA AMAZÔNICA

Neste capítulo são apresentadas as forçantes responsáveis pelas modificações na costa amazônica brasileira, principalmente na planície costeira do Amapá e estuário do rio Araguari, mostrando a escala temporal e espacial dessas forçantes e o papel desempenhado por elas. Este capítulo servirá de base para o estudo das modificações através de sensores remotos que serão discutidas a partir do capítulo 8.

O desenvolvimento do capítulo baseou-se na análise dos dados para reconhecimento dos ambientes e das dinâmicas natural e antrópica apresentados no item 3.1 desta tese. Também foram utilizadas informações da literatura científica referentes às forçantes naturais e que atuam sobre a costa amazônica. Estas informações foram sistematizadas e correlacionadas com os dados de campo e das estações pluviométricas, fluviométricas e oceanográficas. Foram utilizadas também informações sobre a atividade de pecuária da costa estudada.

Os principais mecanismos de modificações e seus produtos na costa amazônica estão relacionados com as forçantes que atuam nas costas tropicais, discutidas no capítulo 4, porém com a adição de forçantes locais que desempenham um papel importante nas modificações dessa costa.

5.1. AS FORÇANTES NATURAIS

As forçantes naturais que atuam na costa amazônica estão intimamente ligadas com as condições climáticas e oceanográficas da região em estudo (Fig. 5.1).

5.1.1 ZCIT e ENSO e sua Variabilidade na Costa Amazônica

A ZCIT e ENSO são duas forçantes que agem principalmente sobre a distribuição da precipitação, nebulosidade e descarga fluvial (ver item 5.1.2). A escala temporal de seus efeitos é variável, o ENSO tem uma variação interanual, enquanto que a ZCIT atua de forma sazonal (ver Capítulo 4).

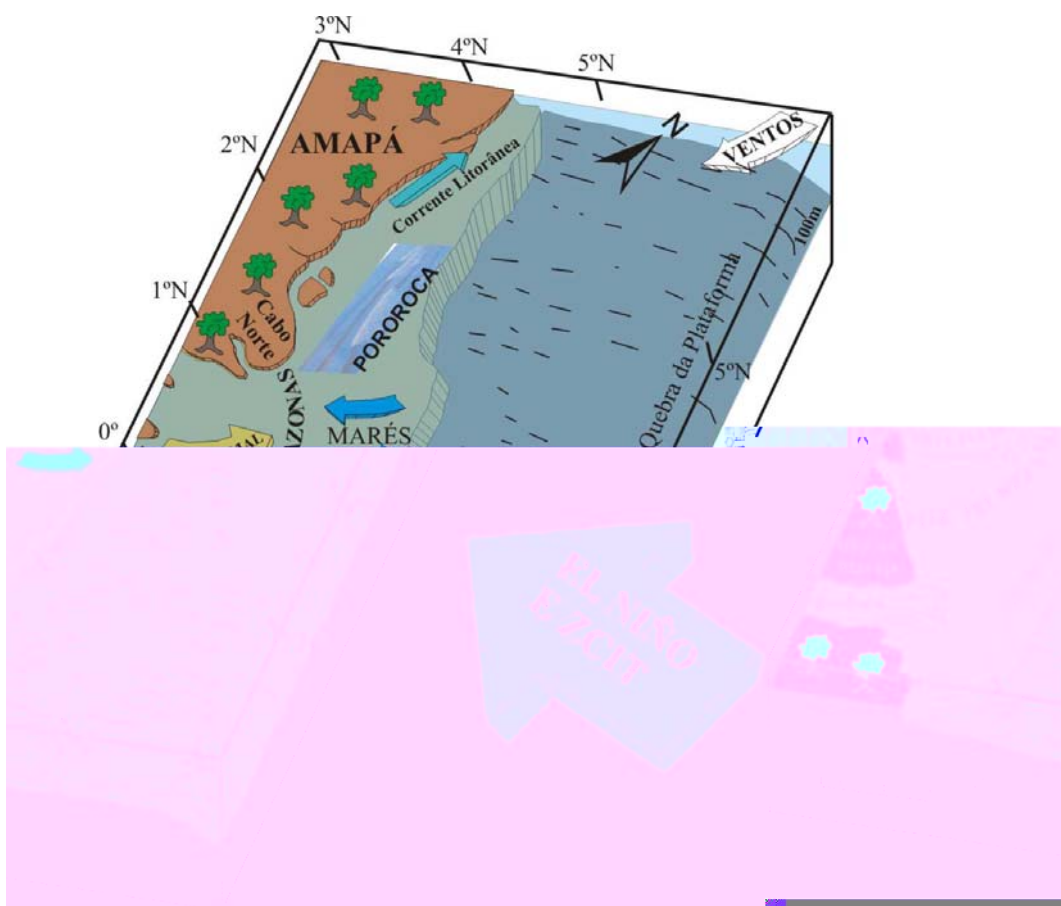


Figura 5.1: Desenho esquemático das forçantes naturais que atuam na costa amazônica. Modificado de Figueiredo Jr. *et al.* (1996).

A distribuição da precipitação é heterogênea ao longo da costa amazônica. A foz do rio Amazonas é a região de maior concentração pluviométrica anual (Fig. 5.2), excedendo a 3000 mm/ano (Quadro *et al.*, 1996), porém 40% das chuvas concentram-se nos meses de fevereiro a abril, excedendo 400 mm de chuvas mensais (Fig. 5.3). No entanto, deve-se notar que a distribuição mensal da precipitação varia ao longo do ano para cada região da costa amazônica brasileira, e a costa amapaense destaca-se por estar sujeita a chuvas durante vários meses do ano, possuindo apenas dois meses com menores precipitações (setembro e outubro) (Fig. 5.3).

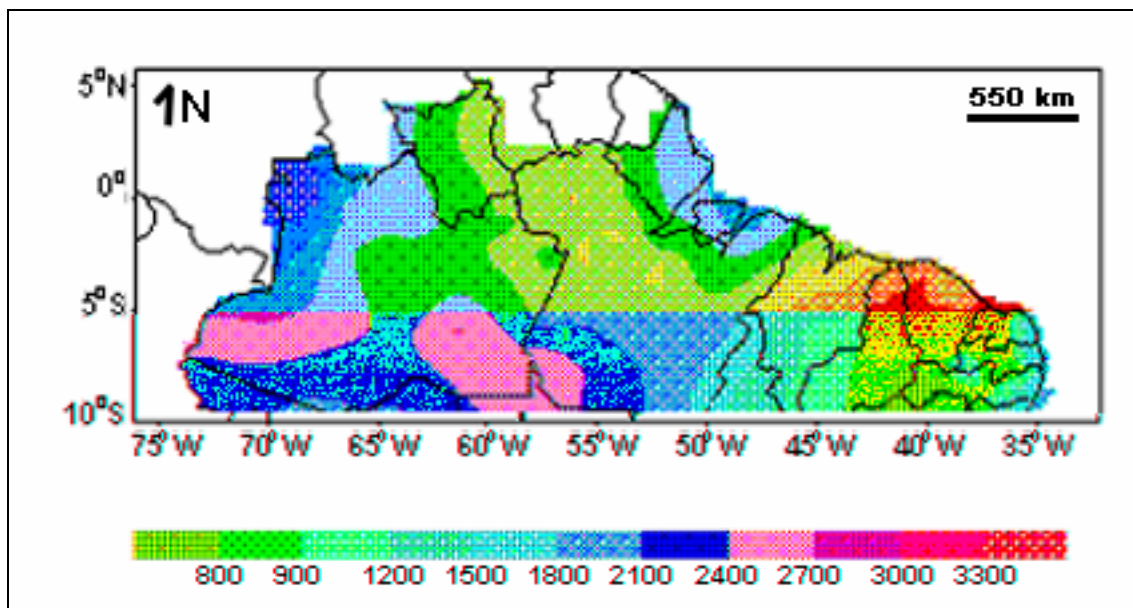


Figura 5.2: Distribuição da precipitação no norte do Brasil. Observar a concentração da precipitação por volta de 3000 mm/ano na costa amazônica, foz do rio Amazonas. Quadro *et al.* (1996).

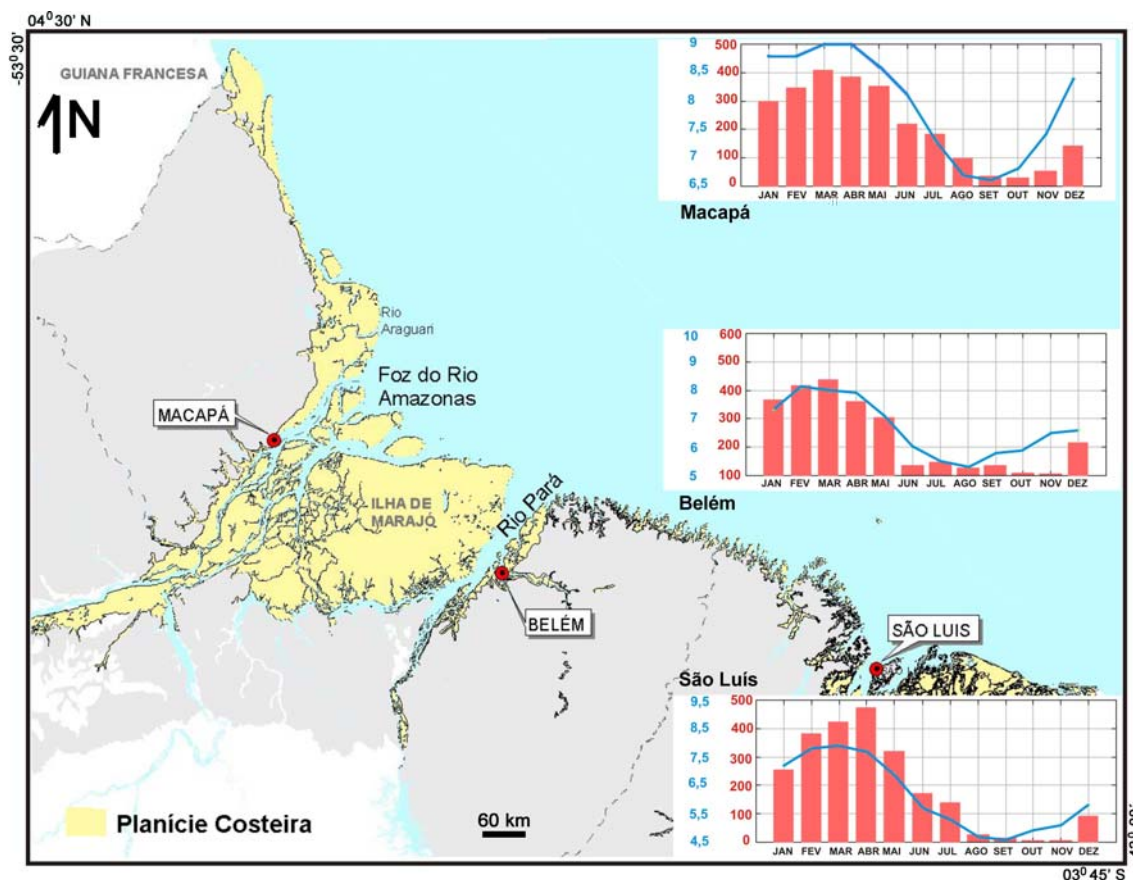


Figura 5.3: Distribuição das chuvas em mm (cor laranja) e nebulosidade mensal em graus (cor azul) para a costa amazônica brasileira. Dados do INMET para o período de 1961-1990. Mapa base modificado de Bizzi *et al.* (2001).

Nas proximidades da ZCIT há o incremento de linhas de instabilidade (bandas de nuvens causadoras de chuvas, normalmente do tipo cumulus) responsáveis em parte pela nebulosidade (Fig. 5.4). A nebulosidade é maior na costa do Amapá (estação Macapá), que apresenta sete meses de nebulosidade acima de 80%, enquanto que Belém e São Luis possuem apenas dois meses (fevereiro e março) com a nebulosidade acima dessa faixa. A presença da ZCIT também controla a direção dos ventos alíseos que incidem sobre a costa amazônica, influenciando na dispersão da pluma de sedimentos do rio Amazonas (item 5.1.2).

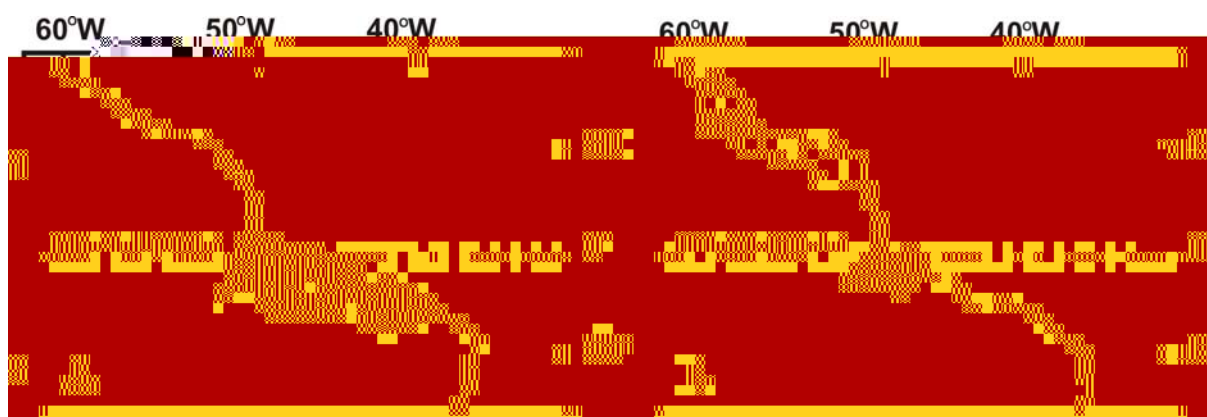


Figura 5.4: Diagrama esquemático da nebulosidade associada às linhas de instabilidade: A) fevereiro a maio, B) agosto a novembro. Fonte: FUNCEME.

As condições climáticas variam na costa amazônica com a presença dos eventos de El-Niño/La-Niña (ver Capítulo 4). Durante o período de El-Niño condições mais secas são observadas nessa costa, as quais são invertidas nos eventos de La-Niña (Fig. 5.5), refletindo nas descargas dos rios que compõem as bacias hidrográficas e deságuam na zona costeira. Estas anomalias influenciariam nos processos hidrodinâmicos e, conseqüentemente, nas condições de transporte e deposição de sedimentos.

Variações nas descargas fluviais do rio Amazonas foram registrados por (Richey *et al.*, 1989), refletindo a influência dos eventos El-Niño ao longo do século XX (Fig. 5.6).



Figura 5.5: Efeitos globais dos fenômenos El-Niño/La-Niña sobre a costa amazônica (linha em vermelho). Os efeitos na costa amazônica são observados entre os meses de dezembro-fevereiro com desenvolvimento de um período acentuadamente menos chuvoso nos eventos de El-Niño e de condições mais chuvosas nos eventos de La Niña. Modificado de http://www.cptec.inpe.br/enos/globo_la-nina.shtml.

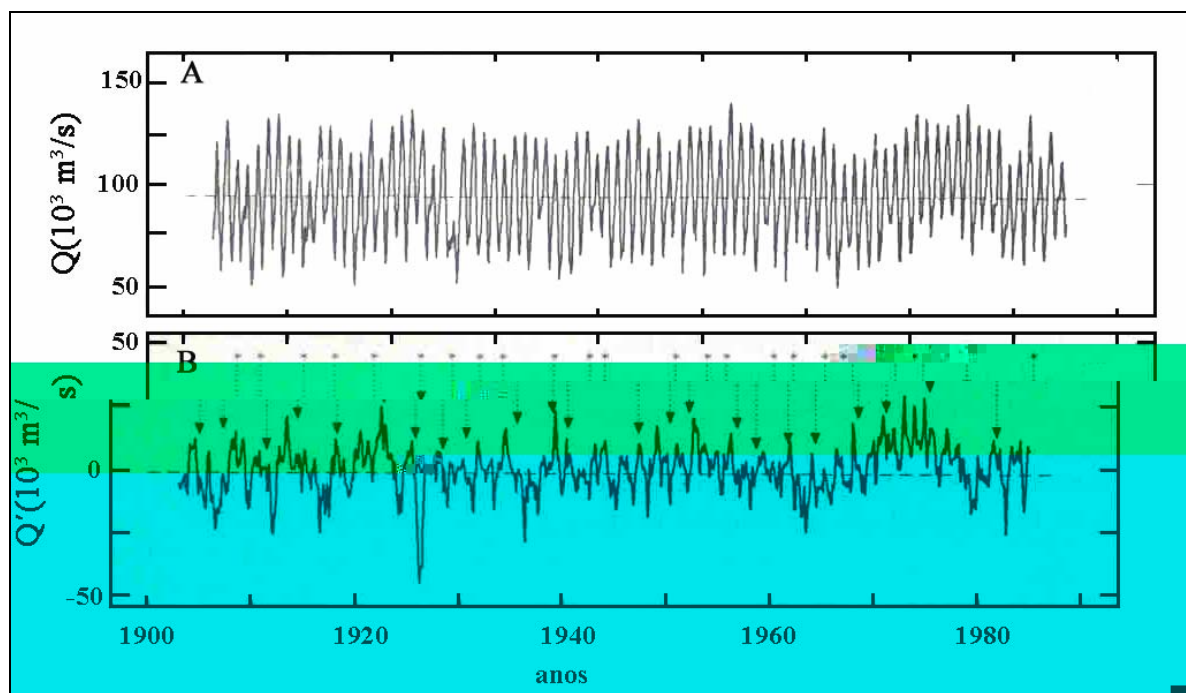


Figura 5.6: Descarga do rio Amazonas em Manacapuru. (A) descarga de 1903 a 1985. B) Q' desazonalizada de 1903 a 1985. As setas nos períodos de baixa descarga indicam a ocorrência de eventos ENSO (Richey *et al.*, 1989). Estação sem influência de marés. Comparar com a Fig. 5.7.

Séries históricas de dados fluviométricos da estação de Óbidos no rio Amazonas e, de Porto Platon, no rio Araguari, mostram anomalias nas vazões médias mensais desses rios, que podem ser correlacionadas aos eventos de El-Niño observados por Richey *et al.* (1989) (Fig. 5.7) e mostrados na Tab. 4.2, p.61. As análises foram realizadas utilizando o mesmo método do autor: descargas desazonalizadas a partir da subtração da média mensal de longo período, da respectiva média mensal em cada ano. Das estações analisadas apenas a de Óbidos tem influência das marés.

5.1.2 Descarga Fluvial

A descarga fluvial hídrica e sedimentar é uma das forçantes marcantes capazes de influenciar as modificações na costa amazônica. As variações nas descargas relativas ao rio Amazonas e dos outros rios que drenam a planície costeira possuem seu regime hidrológico regidos pelas condições climáticas e são influenciados também pelas condições oceanográficas.

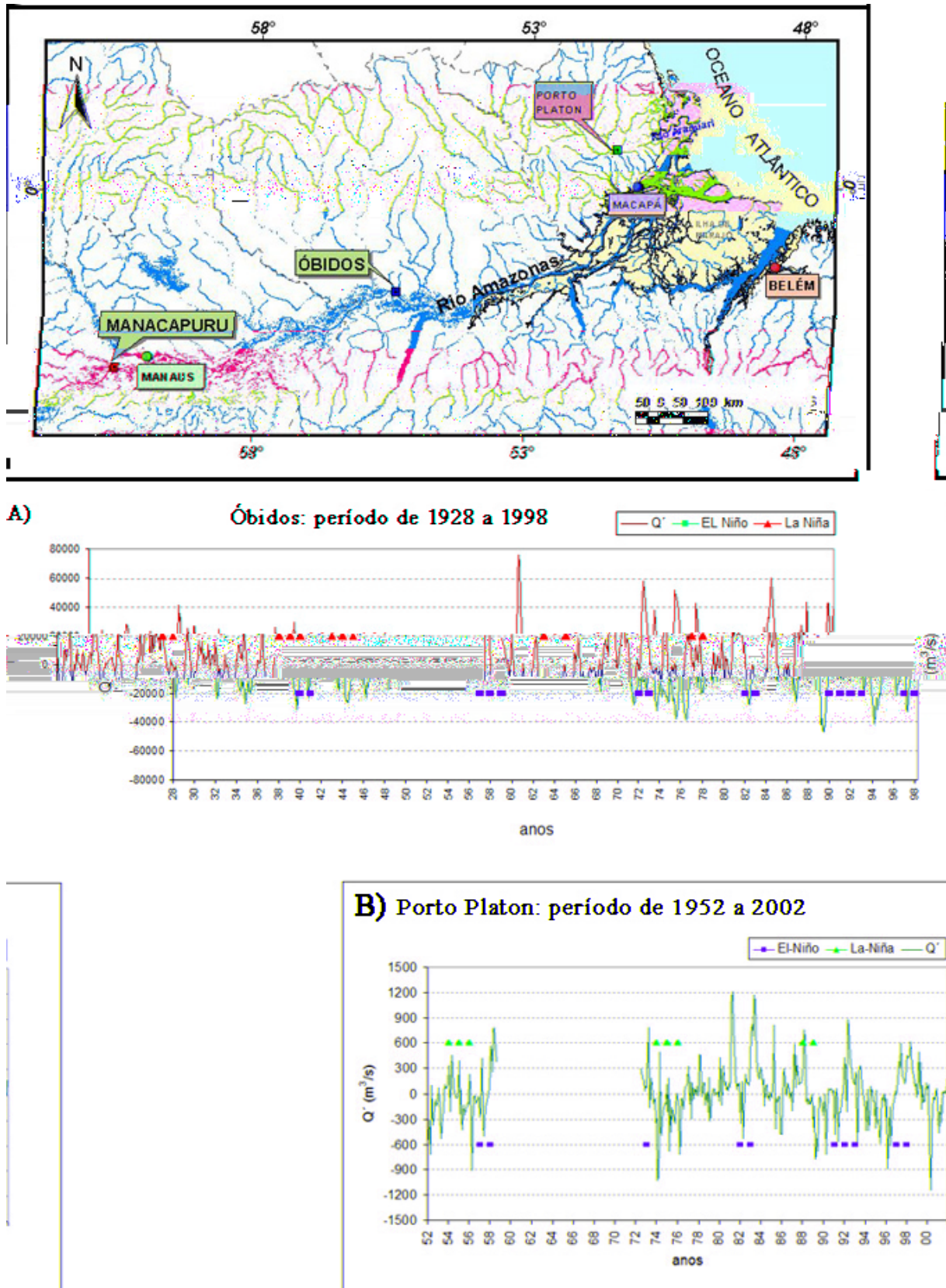


Figura 5.7: Vazão média mensal, desazonalizada, para a estação de Óbidos, rio Amazonas (A) e de Porto Platon (B), rio Araguari. As linhas transversais ao gráfico representam eventos de El Niño e La Niña fortes e moderados, relacionados com a Tabela 4.2, p.61. Fonte dos dados: ANEEL e ANA. Comparar com a Fig. 5.6.

A elevada carga sedimentar despejada pelo rio Amazonas, máximo de aproximadamente $300.000 \text{ m}^3/\text{s}$ em maio (Nittrouer *et al.*, 1991), e sua descarga hídrica (Fig. 5.8) para o oceano Atlântico contribuem para uma alta taxa de deposição de sedimentos, cerca de 2.7-4.2 cm/ano próximo ao Cabo Cassiporé (Kuehl *et al.*, 1996).

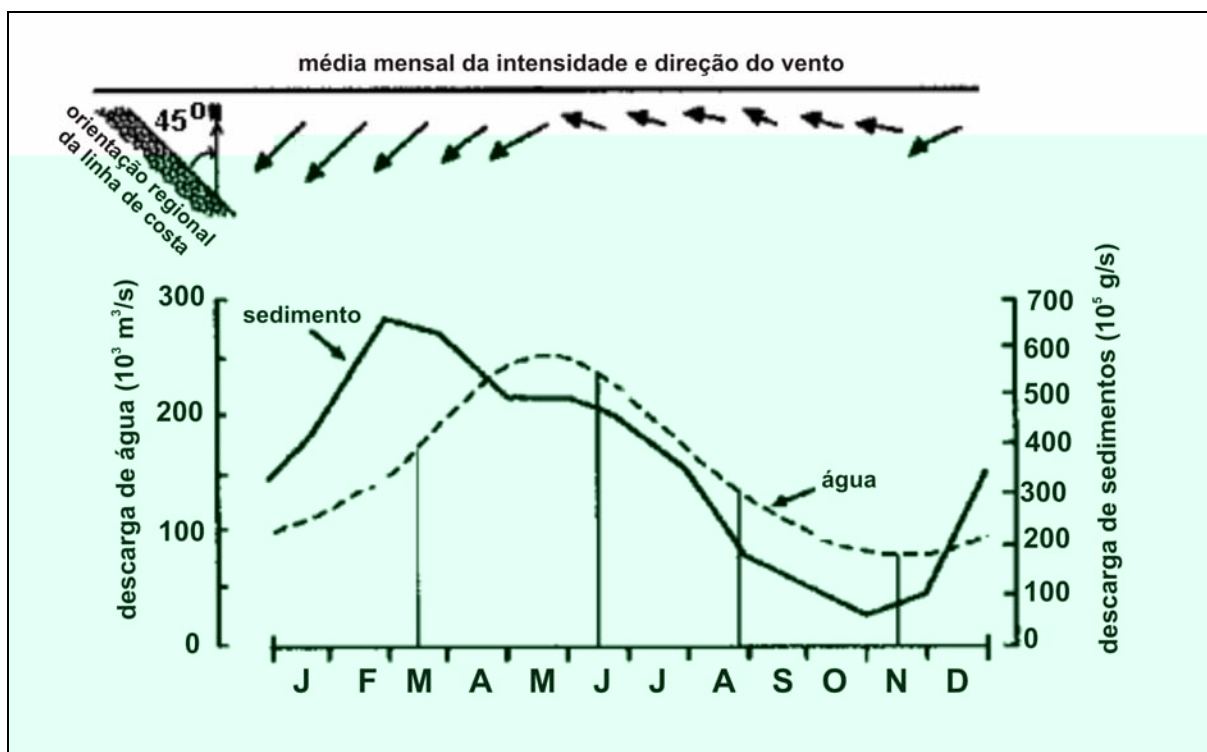


Figura 5.8: Variação sazonal dos fatores que influenciam nos processos sedimentares na plataforma do Amazonas e se refletem sobre a costa do Amapá. Modificado de Nittrouer *et al.* (1995)

A carga sedimentar do rio Amazonas forma uma pluma de sedimentos e água doce que se estende de 100 a 200 km da costa ao longo da isóbata de 10 m, variando no tempo e no espaço (Fig. 5.9) em função da flutuação na descarga do rio, da Corrente Norte do Brasil e do efeito não linear das marés. A direção, velocidade e intensidade dos ventos alíseos controla a largura da pluma e seu comportamento ao longo da costa (Paluszkiewicz *et al.*, 1995).

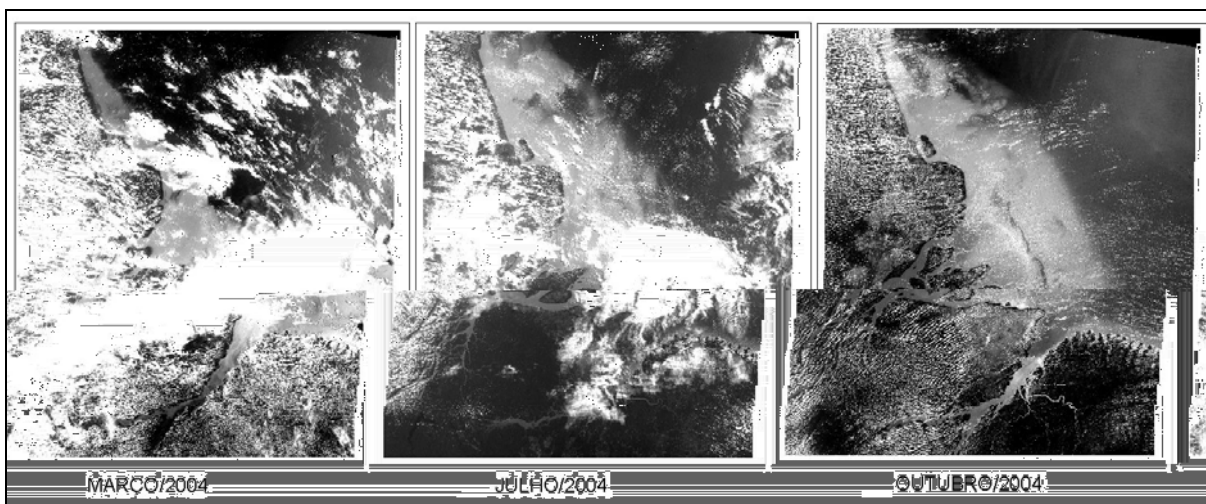


Figura 5.9: Variação da pluma de sedimentos do rio Amazonas ao longo do ano de 2004. Imagens CBERS-WFI (260 m, banda 1) obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

A concentração de sedimentos nessa pluma é bem misturada na coluna de água e varia de 1-5 g/l, próximo da costa, em profundidades inferiores a 12 m. A partir dessa profundidade em direção a isóbata de 30 m, a alta concentração é limitada às águas de fundo e alcançam mais de 100 g/l. Em direção ao mar a concentração de sedimentos é menor do que 10 mg/l na superfície da pluma, enquanto no fundo é menor que 3 g/l e flutua com as marés e ondas (AmasSeds Research Group, 1990).

Nos períodos de alta descarga do rio Amazonas (fevereiro a junho) uma camada de lama fluída é formada pela variação na concentração de sedimentos em suspensão, possuindo uma espessura de 1-7 m variando conforme a fase da maré. Esta camada de lama fluída desaparece em agosto durante a descida do nível de água (AmasSeds Research Group, 1990).

Durante os períodos de máxima descarga as águas do rio Amazonas interligam-se com as águas dos vários rios que drenam a região principalmente na planície costeira do Amapá. Essas águas de inundação são bloqueadas pelas áreas mais altas que constituem o Planalto Costeiro. Segundo Birkett *et al.* (2002), o armazenamento de água das cheias sobre as planícies de inundação do rio Amazonas é superior a dois meses. Nesse período de máxima inundação, a interligação entre as diversas redes de drenagens, torna difícil medidas reais de vazão e descarga sedimentar.

A descarga fluvial dos outros rios que drenam a costa amapaense aponta o comportamento sazonal do regime hidrodinâmico em função das forçantes climáticas (Fig.

5.10). O Araguari é o que possui as maiores descargas fluviais e também a maior descarga sedimentar (Fig. 2.11, p.31), seguido pelo rio Oiapoque. As menores descargas hídricas ocorrem entre os meses de outubro e dezembro, quando ocorrem os períodos de baixa precipitação (Fig. 5.3).

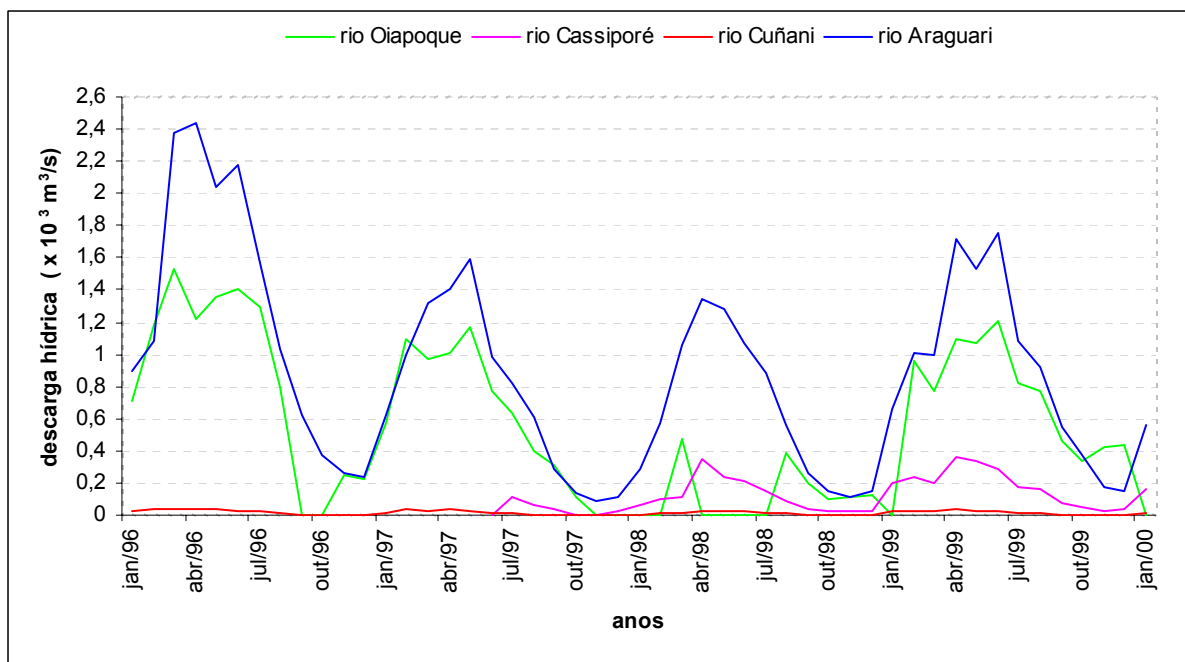


Figura 5.10: Variações das vazões médias mensais para os rios que drenam a costa amapaense em virtude das condições climáticas. Dados: ANA.

A alta descarga do rio Araguari pode ser explicada pela diferença da área de drenagem de sua bacia hidrográfica (aproximadamente 37.600 km²), em comparação com as bacias do rio Oiapoque, Cassiporé e Cuñani, que apresentam respectivamente 12.800 km², 5.100 km² e 1.400 km². Por outro lado o rio Araguari drena uma área maior da planície costeira do que os outros rios acima citados.

5.1.3 Forçantes Oceanográficas

- Marés

O comportamento das marés na costa está intrinsecamente relacionado com a conformação da costa e sua relação com as características das marés na plataforma continental amazônica.

A maré semidiurna que se propaga na plataforma do Amazonas é uma das maiores no mundo. Ela se move perpendicular as isóbatas (Fig. 5.11) e desse movimento resultam fortes correntes transversais à costa, com velocidades superiores a 200 cm/s durante as marés de sizígia (Beardsley *et al.*, 1995; Geyer e Kineke, 1995; Nittrouer e DeMaster, 1996).

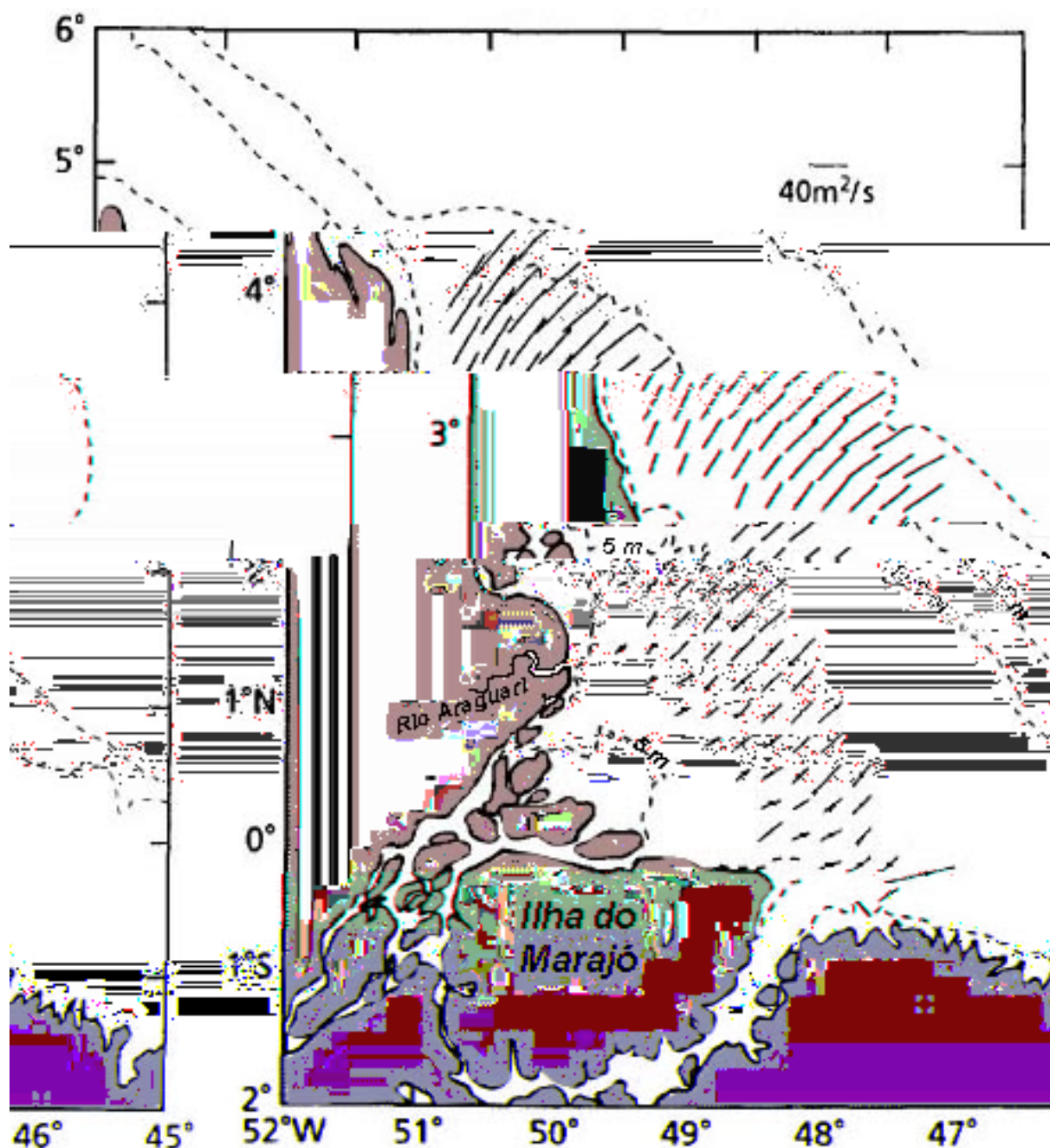


Figura 5.11: Direção das elipses de marés M2 na plataforma do Amazonas, em direção ao continente, em condições de máximo fluxo de enchente. Modificado de Beardsley *et al.* (1995).

As correntes de marés entram quase perpendiculares à linha de costa, principalmente na foz do rio Araguari. As velocidades de corrente são acima de 35 cm/s com picos máximos de velocidade na metade dos ciclos de enchente e vazante nas planícies lamosas no norte do Amapá (Allison *et al.*, 1994)

A costa amapaense é o local da costa amazônica que apresenta as maiores amplitudes e alturas de marés, cerca de 10 m na região da Ilha de Maracá (Fig. 5.12). Dados de previsão da DHN revelam que as alturas das marés nessa região podem ser maiores chegando a alcançar até 12 m. Na realidade nessa costa ocorre tanto o regime de macro, quanto o de mesomarés.

Uma das peculiaridades marcantes das marés na costa amazônica é a sua entrada nos rios e estuários como uma onda progressiva, drenando a costa e adentrando até limites consideráveis rio acima (aproximadamente 800 km para o rio Amazonas), em virtude das características das marés e das condições geológicas e geomorfológicas (relevo baixo) da região.

Na costa amapaense, as barreiras geológicas-geomorfológicas parecem constituir um dos elementos para a limitação da entrada da maré dinâmica. Como exemplo, no estuário do rio Oiapoque, extremo norte da costa amapaense, os limites de influência das marés estão a mais de 120 km da costa e são coincidentes com o contato do embasamento cristalino com a planície costeira. O mesmo ocorre no estuário do rio Araguari, onde a maré dinâmica alcança o contato do embasamento com o planalto costeiro na altura de Ferreira Gomes a aproximadamente 225 km da foz (Fig. 2.10, p.31).

Dentro do estuário do rio Araguari, as amplitudes de marés são pequenas comparativamente à maré na sua foz (Fig. 5.13). Informações de campo indicam que, no limite interior do alcance das marés nesse estuário, as amplitudes são cerca de 1m, coincidindo com o desnível topográfico entre o trecho (ver Capítulo 2), indicando o efetivo controle geológico-geomorfológico no limite das marés nesse estuário.

A extensão do estuário e o efeito de fricção de fundo propicia uma defasagem na entrada das marés em diversos pontos do estuário. Entre a Ponta do Guará e o Igarapé Novo (40 km) a correlação das medidas de campo com os dados de previsão da DHN revelam uma defasagem de 4 horas na entrada de maré (Fig. 5.13A e B).

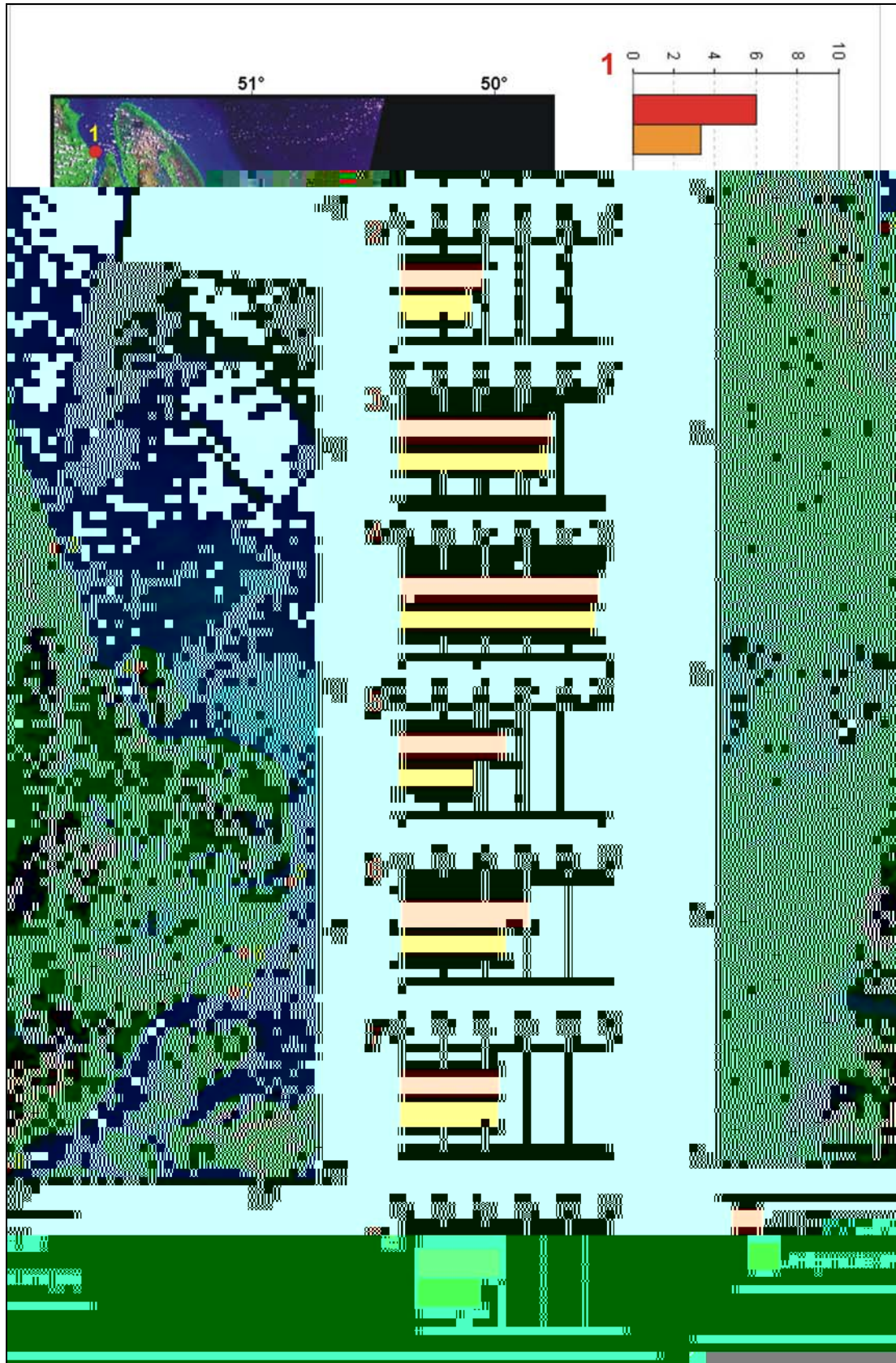


Figura 5.12: Altura e amplitudes máximas de marés nos períodos de sizígia na costa amapaense. Compilado a partir de medidas realizadas pela DHN na década de 1960 e 1970. Imagem do satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 2 em RGB. Fonte: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>.

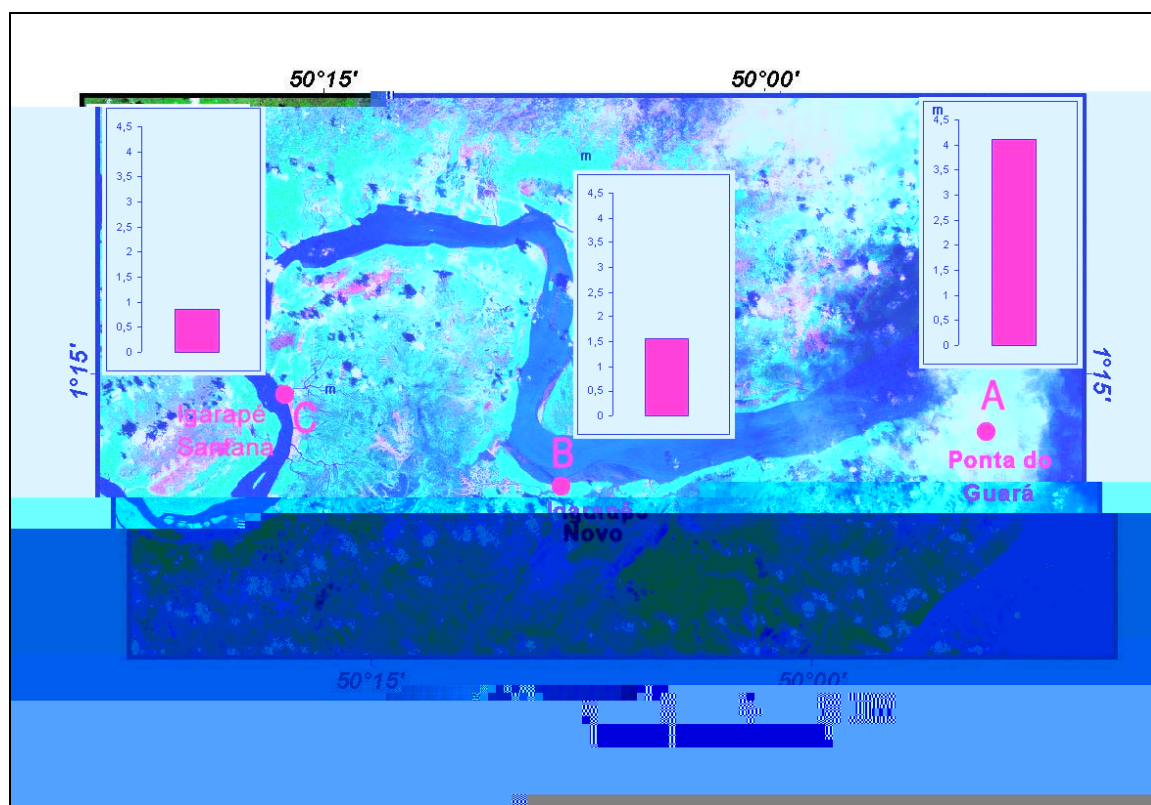


Figura 5.13: Amplitudes máximas de marés para o estuário do rio Araguari. A) Dados de previsão da marinha para 28/09/2004, máximo da sigízia-lua cheia; B) dados de campo em 28/11/2004, máximo da sizígia-lua cheia e C) dados de campo em 21/09/2004, máximo da quadratura. Imagem do satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 2 em RGB. Fonte: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>.

Em campo, observou-se que a defasagem entre o tempo de enchente e vazante da maré no estuário e nos canais que drenam a planície de inundação, limita o deslocamento de embarcações, bem como leva à necessidade de equipamentos de medições de marés nos mesmos locais dos levantamentos batimétricos, a fim de obter maior precisão na correção dos dados. A limitação da navegação por causa da defasagem de maré impede, por exemplo, que na mesma maré se possa sair e entrar de determinadas regiões do estuário.

Os dados de marés coletados em campo no estuário mostram que as curvas de maré apresentam efeitos da fricção de fundo, com uma assimetria marcante na área de influência da pororoca no igarapé Novo (Fig 5.14A), cujo tempo de enchente é de apenas 2 horas, enquanto o tempo de vazante chega a ser de 10 horas (Fig. 5.14B). Para a desembocadura do igarapé Santana (Fig. 5.13) a assimetria é menor (Fig. 5.15A). Outra característica da maré neste estuário é um período de estofa que chega a alcançar 1 hora, com um tempo maior no igarapé Santana.

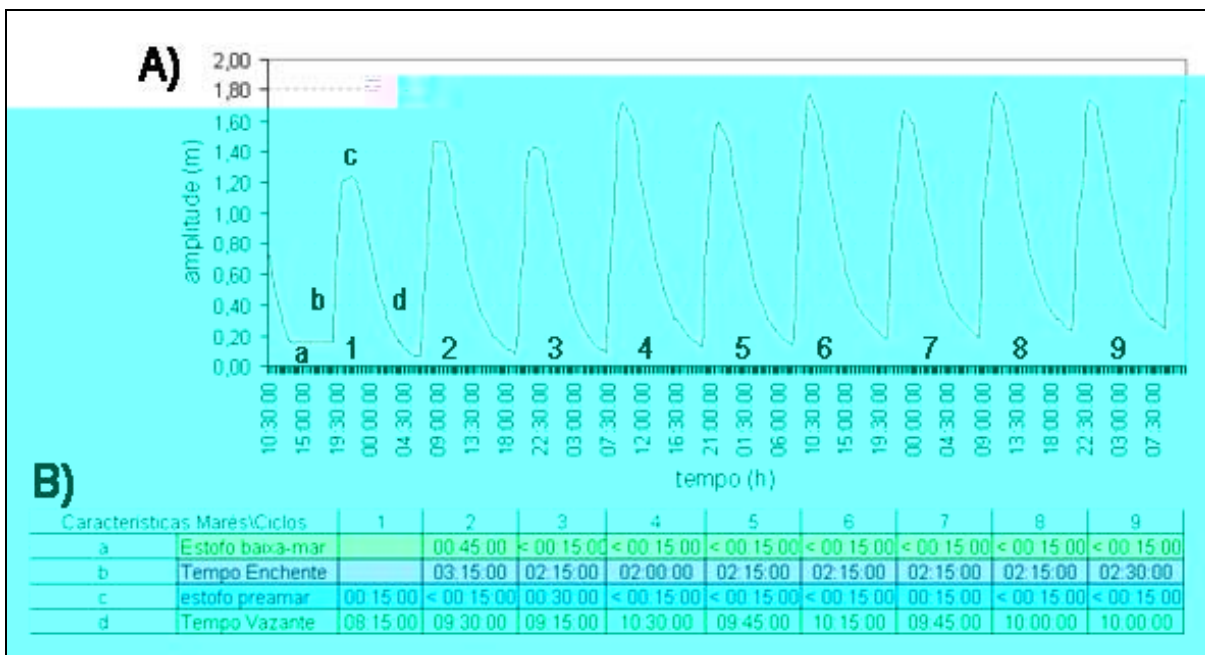


Figura 5.14: A) Curvas de maré medidas em setembro de 2004 no estuário do rio Araguari, localidade de Igarapé Novo e, B) tempos de enchente, vazante e estofos de maré. Área com influência da pororoca (Santos *et al.*, 2005b).

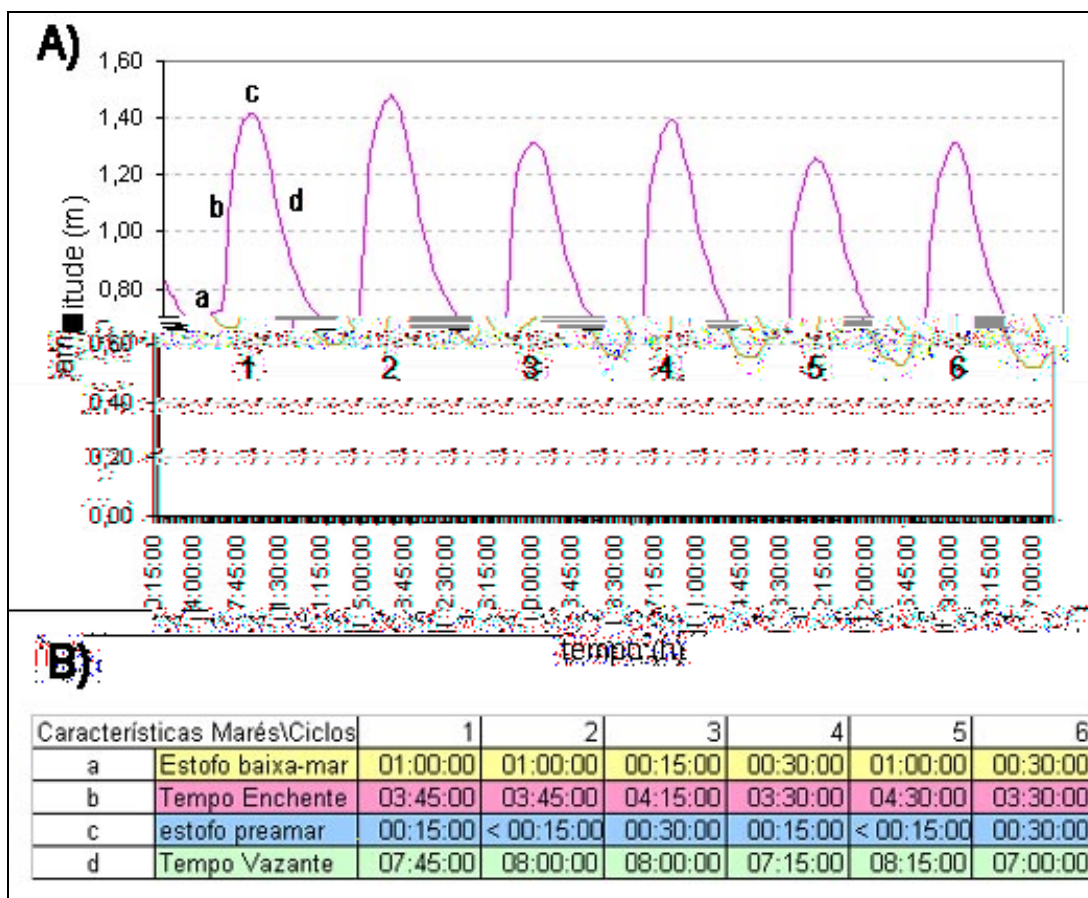


Figura 5.15: A) Curvas de maré medidas em setembro de 2004 no estuário do rio Araguari, localidade de Igarapé Santana e, B) tempos de enchente, vazante e estofos de maré. Área sem influência da pororoca (Santos *et al.*, 2005b).

As marés influenciam na inundação da planície costeira de forma diferenciada nos dois períodos sazonais. No período chuvoso, o nível de água das marés se soma com as águas das cheias dos rios afetando não são o estuário do Araguari, como a planície de inundação adjacente. No período menos chuvoso as marés são atuantes no canal do estuário e suas drenagens secundárias (ver Capítulo 8). Na planície de inundação ela alcança apenas as porções rebaixadas e algumas vezes as margens dependendo de sua altura. Infelizmente, a dimensão da área e as limitações logísticas e operacionais não permitiram acesso simultaneamente da equipe nos vários pontos do estuário para observação da distribuição espacial do fenômeno na planície.

- A pororoca na Costa Amazônica*

A pororoca   registrada na costa amazônica desde o século XVI por Vincente Yanez Pinzon e Charles-Marie de La Condamine (Chanson, 2005), sendo bastante documentada no século XIX por Magalhães (1943). É inclusive documentada por Jules Verne no romance “A Jangada”, quando descreve a presença da pororoca no estuário de Breves (Verne, 1881). Sua importância na segurança da navegação e na navegabilidade dos rios amazônicos tornou possível sua documentação também em mapas históricos do século XIX (Adonias, 1963).

O barulho da onda (semelhante ao estrondo de trovões)   ouvido de vários quil metros antes da sua chegada o que deu origem ao seu nome em tupi-guarani *poroc-poroc*, que significa grande estrondo.

O fenômeno na costa amazônica encontra condições propícias (terminação dos estuários em forma de funil, morfologia do fundo tornando-se abruptamente rasa quando chega próximo à costa, direção da entrada das marés e amplitude) para que tenha uma das maiores expressões, sendo a única no mundo a formar-se no oceano. Tal desenvolvimento do fenômeno foi bem documentado pela equipe de Jacques Cousteau no início da década de 1980, que registrou um trem de ondas estendendo-se por mais de 20 km, com alturas próxima a 2 m, em pleno mar, na desembocadura do rio Amazonas (Chanson, 2005).

Na costa amazônica oriental (Fig. 2.2, p.17), ela ocorre no estuário do rio Mearim (Kjerfve e Ferreira, 1993), no Maranhão. Dentro do Golfão Amazônico encontra-se no rio Guamá, na costa do estado do Pará e, na margem esquerda do Canal do Norte, margeando a costa sul do Amapá, Magalhães (1943) registra sua ocorrência até a localidade de Pau

* resultado publicado em resumo de evento – X ABEQUA, 2005.

Cavado, a cerca de 150 km da desembocadura do rio Amazonas (Fig. 5.16). Porém é na costa ocidental, a partir da foz do Amazonas, que a pororoca registra sua maior expressão, distribuindo-se ao longo de quase toda a costa amapaense e desenvolvendo-se principalmente no estuário do rio Araguari (Fig. 5.16).

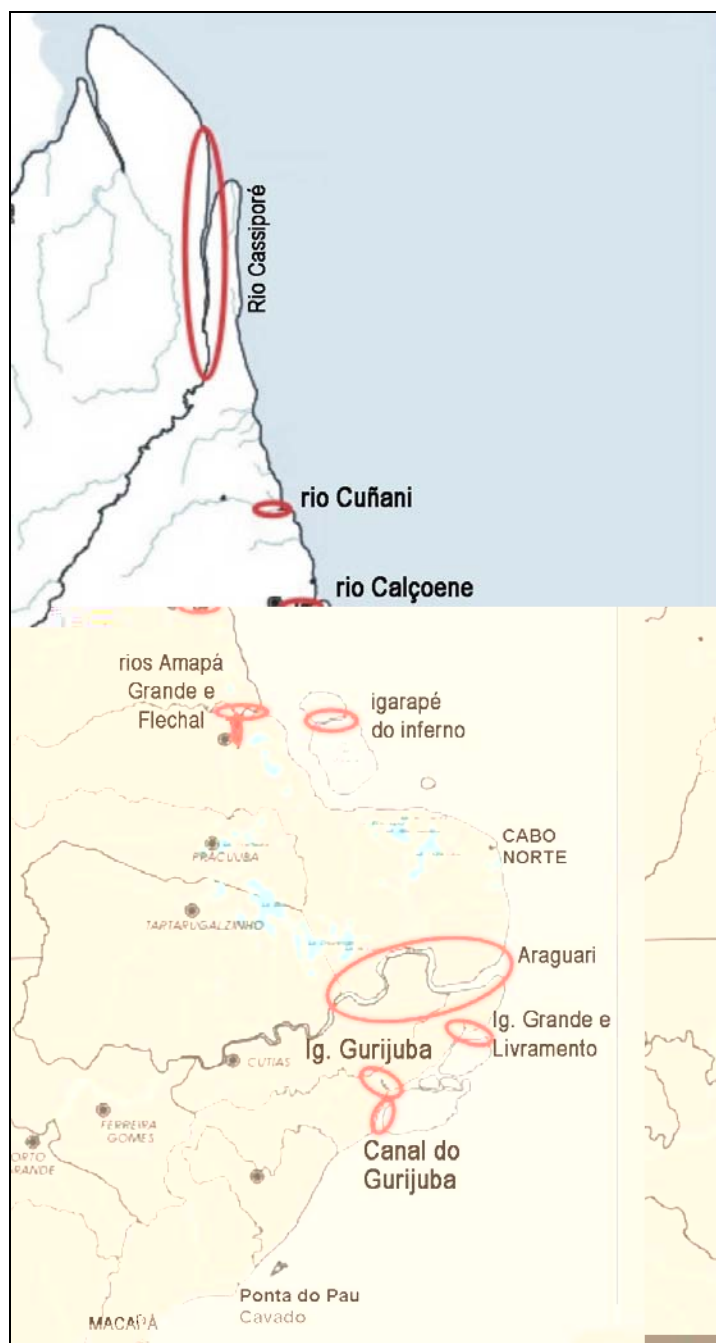


Figura 5.16: Locais de ocorrência da pororoca na costa do Amapá. O tamanho da elipse indica o alcance do fenômeno. Fonte: informações de campo, Silveira (com. verbal) e Magalhães (1943). Mapa base: ZEE/1996

A amplitude das ondas da pororoca no estuário do rio Araguari varia de 1 a 2 m durante o período da sizígia, segundo as observações de campo, tendo-se registro de ondas de até 3 m de altura na literatura e confirmadas por entrevistas com moradores locais. A forma da onda é do tipo ondular quando está nas porções mais profundas do canal estuarino, e em macaréu (*breaking*) nas porções mais rasas (Fig. 5.17). A pororoca adentra mais de 45 km no estuário, e sua velocidade medida durante a realização desta pesquisa, no equinócio de março de 2005, variou de 2.8 a 5 m/s (10 a 18 km/hora). Uma das características da pororoca é que suas ondas estendem-se de uma margem a outra do estuário (larguras de 3,5 e 2,5 km), o que já permitiu sua observação em imagens de radar (Santos e Polidori, 2005) (ver Capítulo 8).

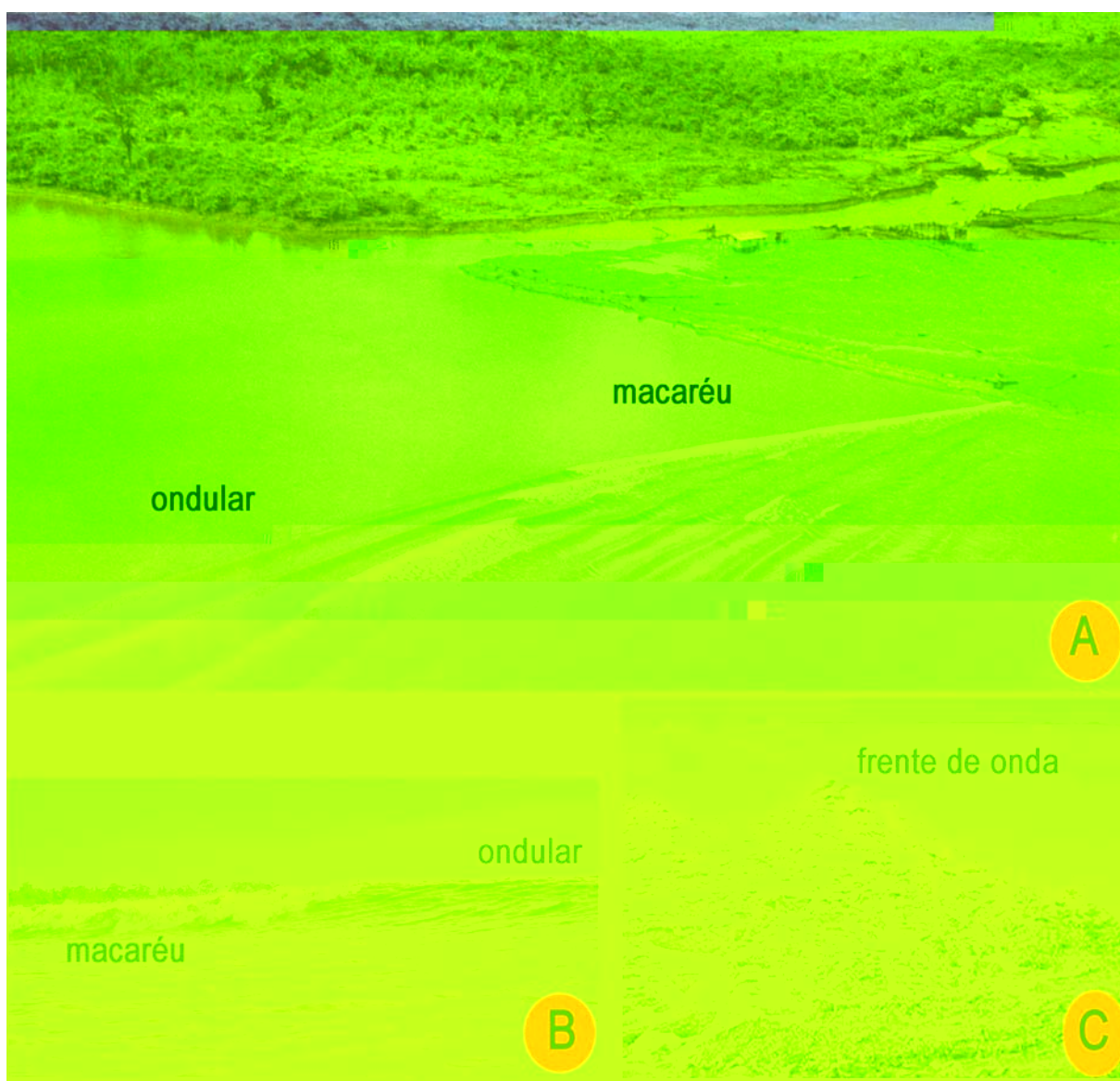


Figura 5.17: A) Vista aérea do fenômeno da pororoca registrado por Lynch (1982) no estuário do rio Araguari; B) vista frontal, 28/09/2004, maré de sizígia. C) Vista lateral em março de 2005. Observar a existência de mais de uma onda.

Ao deslocar-se no canal estuarino a pororoca varia consideravelmente de altura. Por vezes a onda desaparece nas áreas mais profundas voltando a reaparecer em seguida à medida que a profundidade diminui. Ao percorrer o estuário divide-se entre os bancos e ilhas e reflete-se quando encontra as margens.

Nas áreas muito rasas o atrito com o fundo desconfigura totalmente a onda, porém não impede o avanço das águas (Fig. 5.18).

A partir das observações de campo, pode-se resumir que o fenômeno da pororoca no estuário do rio Araguari, ocorre em 5 momentos (Fig. 5.19):

- a) momento do estofa da baixa-mar antes da chegada das ondas. Nenhum movimento nas águas anuncia a chegada da pororoca a não ser o barulho que se ouve a quilômetros de distância, antes da onda surgir no horizonte (Fig. 19A);
- b) momento de chegada da onda como uma frente única perpendicular ou não às margens do estuário, com altura variada de acordo com a profundidade (Fig. 19B). Neste momento o estuário é preenchido repentinamente pelas águas em aproximadamente 2 minutos. Um tempo muito curto em comparação ao tempo que as marés normalmente levam para alcançar a preamar (de 2 a 4 horas);
- c) momento de explosão de águas nas margens do estuário (Fig. 19C). Ocorre em seguida à chegada da onda (Fig. 19B) quando as margens do estuário são ultrapassadas pela massa d'água. Nesse momento, o fluxo das águas violentas da pororoca inunda e obstrui totalmente as drenagens menores que deságuam no estuário;
- d) recuo das águas. Ocorre logo após a passagem da onda inundando o canal e as margens do estuário. O recuo das águas forma um forte fluxo em direção ao canal do estuário (Fig. 19D);
- e) momento de turbulência logo após a passagem da pororoca. A turbulência é observada pela formação de pequenas ondas descontínuas que se deslocam atrás da frente de ondas da pororoca em sentido horário e anti-horário. A origem dessa macroturbulência ainda é desconhecida, porém Wolanski *et al.* (2004) acreditam que ela ocorra devido à instabilidade do cisalhamento vertical e horizontal do fluxo com a passagem da onda.

A exemplo de outros locais no mundo, a pororoca no estuário do Araguari é um fenômeno breve que muda a paisagem do estuário em minutos, porém de grande expressão para os processos sedimentares que se desenvolvem neste e em outros estuários da costa amapaense (ver item 5.3.4). Segundo Nittrouer e DeMaster (1996) a presença do banco do Cabo Norte, e a forma do embaçamento costeiro a sul do Cabo Cassiporé criam condições propícias para o efeito de ressonância da maré local, causando a formação de uma onda *standing* com largas amplitudes e correntes de marés, que pode formar as pororocas. Entretanto, há de se considerar que este fenômeno é também observado dentro do rio Cassiporé (Fig. 5.16, p.97). Desta forma acredita-se que outros elementos podem ter influência como os ventos alíseos constantes, uma vez que a menor expressão do fenômeno ocorre entre os meses de junho a agosto coincidindo com período de ventos alíseos fracos.

Na realidade o comportamento da pororoca, seus mecanismos e seus produtos ainda são poucos estudados na literatura, principalmente em função de adaptação de tecnologia e a logística necessária para estudar a passagem do fenômeno. Como exemplo, determinar a altura da onda da pororoca no momento que adentra no estuário é difícil pela exigência de equipamento com alta sensibilidade para registro da passagem da onda em intervalos de segundos. (Wolanski *et al.*, 2004) detectaram as ondas em intervalos de 0,5 segundos, conseguindo estudar o fenômeno no estuário de Daly, na Austrália. Nesses estudos, o risco de perda de equipamentos durante a passagem da onda, como aconteceu com Kjerfve e Ferreira (1993), no estuário do rio Mearim, é uma variável que deve ser considerada na logística.

- Ventos, Ondas e Correntes Costeiras

Uma forte corrente costeira prevalece ao longo do litoral no sentido noroeste, que auxiliam as ondas na erosão da linha de costa (Kuehl *et al.*, 1996), principalmente no setor SR I (ver Capítulo 2).



Figura 5:20: Chegada de frente de ondas na costa do Amapá no Cabo Norte, próximo à foz do rio Araguari. Janeiro/2005. Acervo IBAMA.

5.2 O PAPEL DAS FORÇANTES NATURAIS NA DINÂMICA DA PAISAGEM E AMBIENTES DA COSTA AMAZÔNICA

5.2.1 Inundação e as Forçantes Climáticas e Oceanográficas

As variações no regime de inundação da planície costeira estudada decorrem principalmente dos mecanismos climáticos globais (ENSO e ZCIT) e das condições de marés na costa amazônica. Tais mecanismos de inundação são discutidos a seguir

maioria das drenagens secundárias existentes. Entretanto, em 2003, a área estava mais inundada não somente nessas drenagens como também na planície adjacente e permitiu atravessar a planície de inundação através de um meandro do rio Araguari, em embarcação pequena (voadeira). Em março de 2004 não houve possibilidade de acessar o restante da planície, nem mesmo pelo canal observado e não existia nível de água com condições de navegabilidade sobre a planície adjacente (Fig. 5.22). Em março de 2005, o mesmo acesso estava interditado por uma cerca.

Aparentemente não deveria ter existido dificuldades para transpor o meandro do Araguari mencionado acima em 2004, uma vez que as condições de precipitação eram maiores (Fig. 5.21). Isto indica que não é somente a precipitação que controla a inundação, mas sua combinação com a morfologia do terreno.

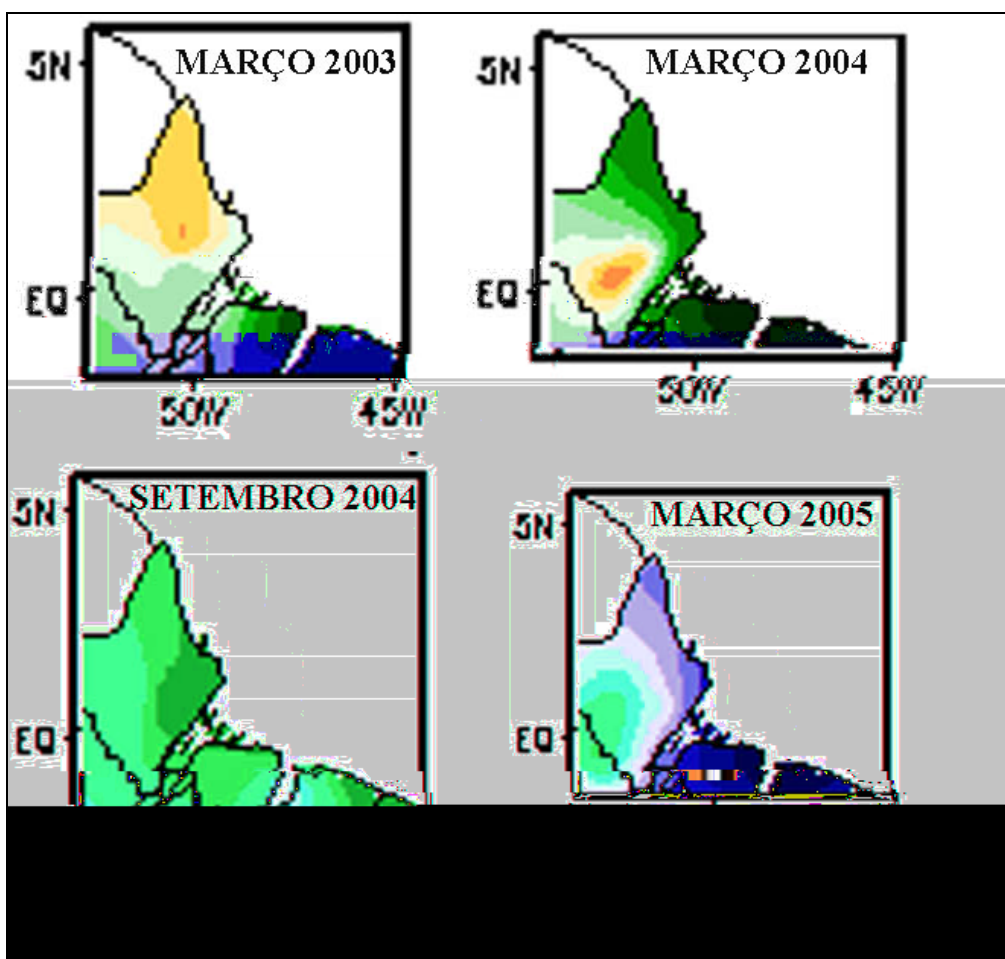


Figura 5.21: As condições de precipitação mensal no período de atividades de campo. Fonte: http://www.cptec.inpe.br/clima/monit/monitor_brasil.shtml.

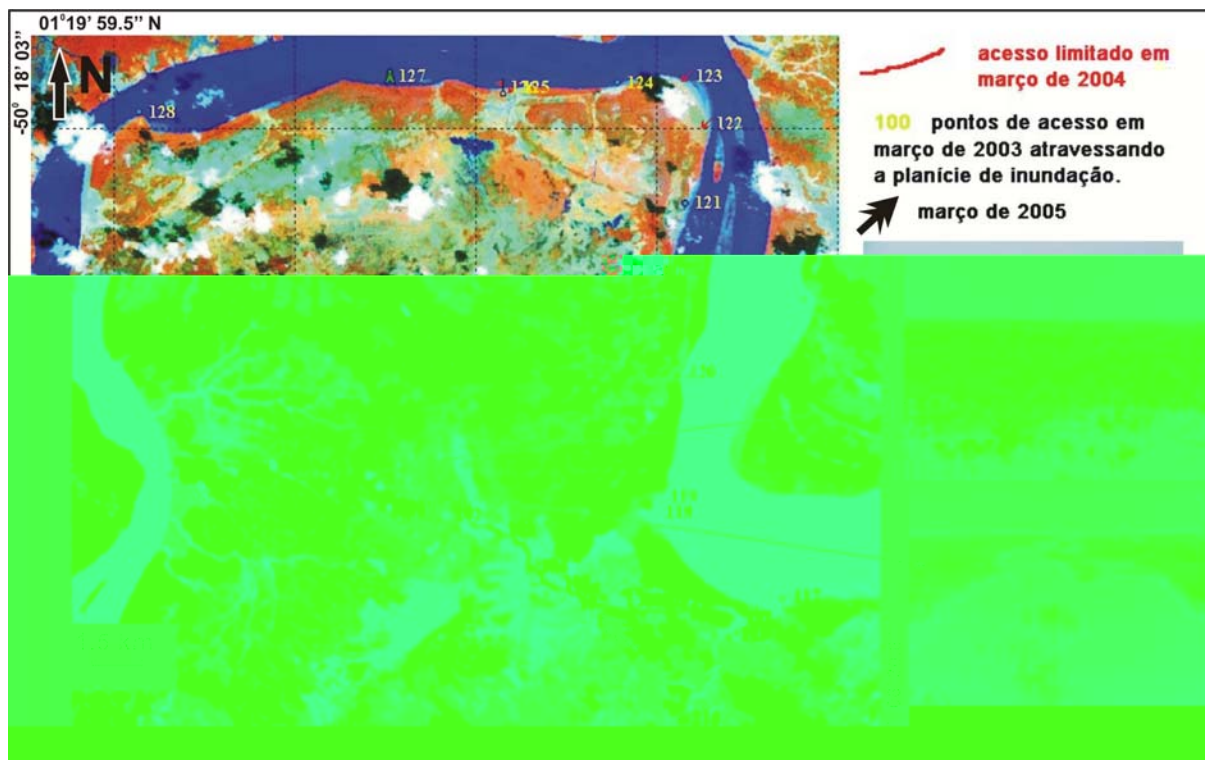


Figura 5.22: Situação de inundação em dois períodos: março de 2003 (foto acima) e março de 2004 (foto abaixo). Em março de 2005, o acesso foi limitado por uma cerca. Imagem Landsat 7, ETM+, composição da primeira componente principal das bandas 1, 2 e 3; banda 4 e primeira componente principal das bandas 7 e 5 em BRG. Fonte da imagem: GLCF.

As variações sazonais de precipitação em função do clima tropical e da presença da ZCIT podem ser perturbadas por eventos El-Niño. Rosa e Roa (1985) analisaram as cheias no rio Araguari, principalmente a que ocorreu no ano de 1984, quando a lâmina de água sobre a planície de inundação alcançou 2 m nas áreas mais rebaixadas (Fig. 5.23). Este evento pode estar relacionado a um período de alta precipitação ocorrido em virtude de um período de La-Niña registrado nas estações de Óbidos e Porto Platon (Fig. 5.7, p.87 – comparar com a tabela 4.2, p.61). A presença desse evento é corroborada na Figura 5.24. Este evento de inundação acima das condições sazonais normais do rio Araguari culminou com a morte de muitas cabeças de gado (bovinos e bubalinos) por falta da pastagem natural e deixou a planície inundada por um período superior a 2-3 meses, que correspondem os períodos normais de inundação. Tal fato foi reportado por vários moradores da região em entrevistas de campo, os quais afirmam ter sido essa uma das causas de troca de parte do gado bovino por rebanho bubalino na área.

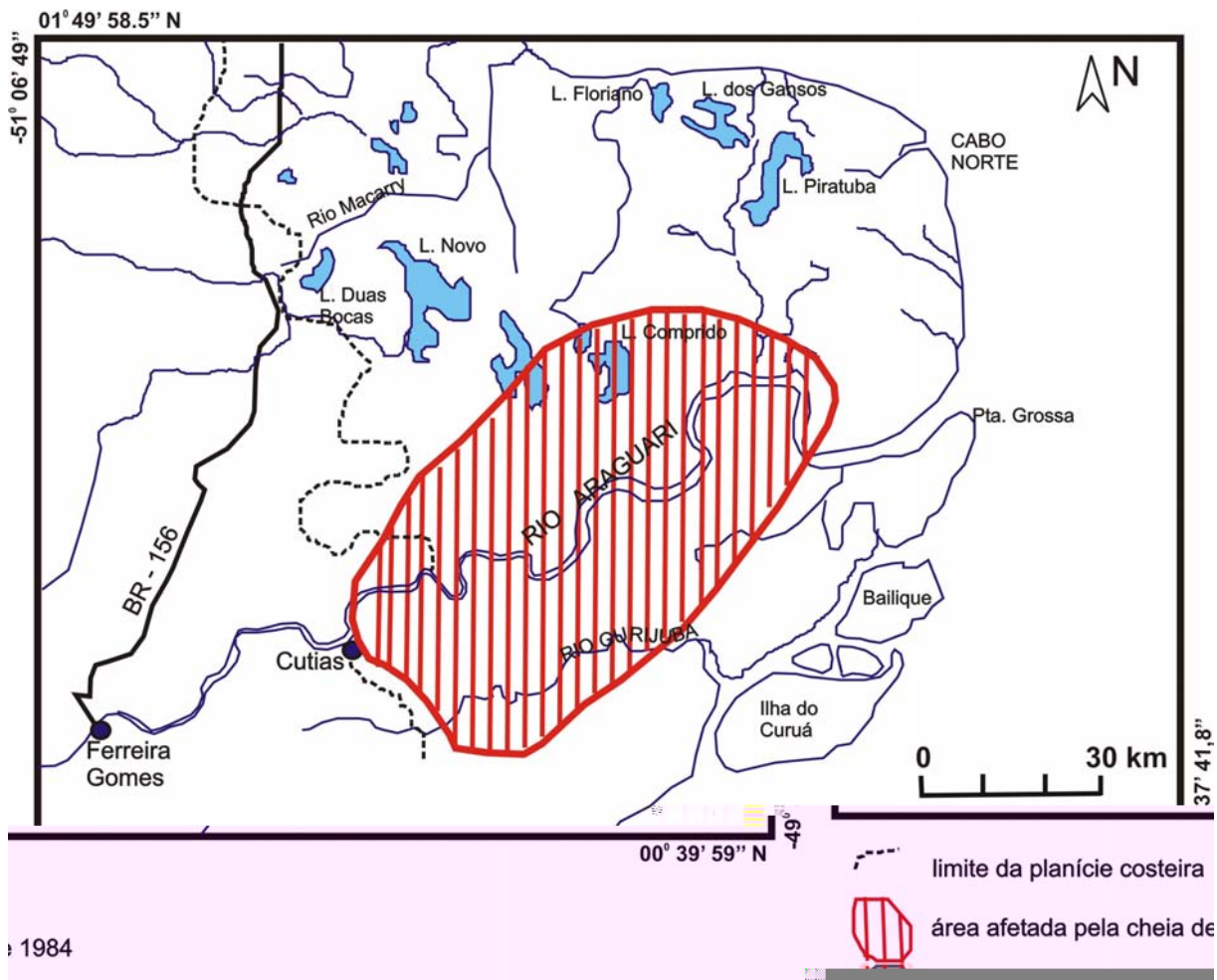


Figura 5.23: Área afetada pelas cheias de 1984. Modificado de Rosa e Roa (1985).

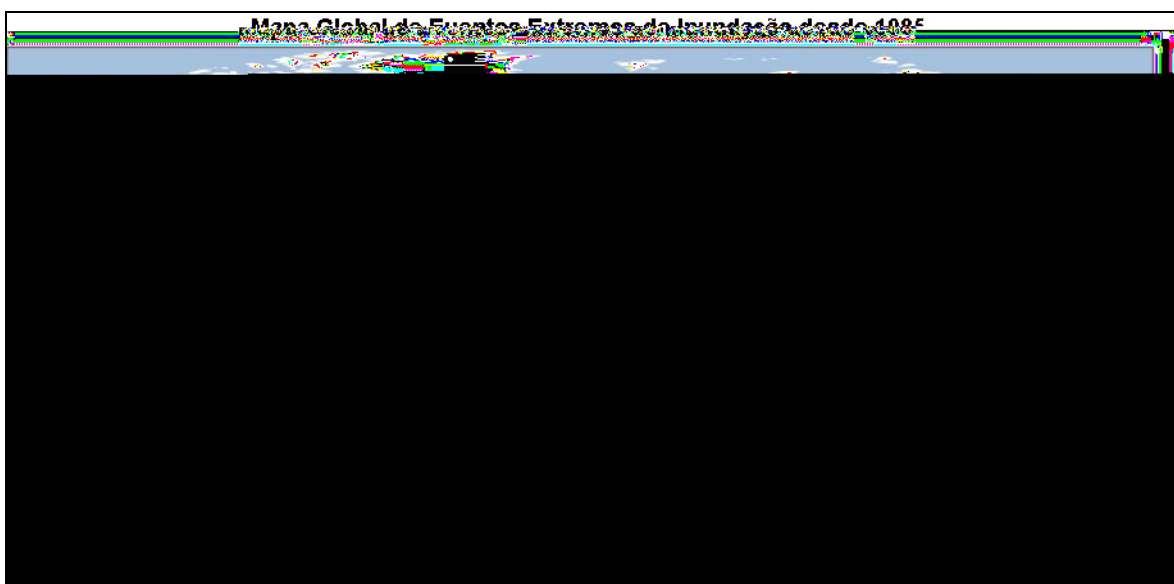


Figura 5.24: Mapa de eventos extremos de inundação desde 1985. Seta vermelha indicando a costa amazônica. Dartmouth Flood Observatory, <http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/>. Acessado em 2002.

Enquanto que as variações na precipitação são responsáveis por condições de inundações variadas em função da ZCIT e ENSO, os efeitos diários das marés sobre as condições de inundação da planície representam pequenas oscilações dentro dos ciclos maiores de inundação. Essas interações são observadas nos dados de marés e fluviométricos (Figura 5.25) da região. A estação maregráfica da Ilha do Brigue (Figs. 5.12, ponto 7 e 5.25A) mostra nitidamente dois tipos de oscilações no nível d'água: uma de alta frequência, que representa as variações diárias de marés com seus efeitos de sizígias e quadraturas; e outra oscilação anual que mostra as variações nas vazões médias mensais do rio Amazonas. Ao comparar os dados desta estação maregráfica com os dados fluviométricos da estação de Óbidos (Fig. 5.7, p.87), influenciada por maré, observa-se a correlação da variação sazonal da descarga (Fig. 5.25B). Nos dados de cota desta estação (Fig. 5.25C), são nítidas as oscilações do nível de água em função das marés de sizígias e quadraturas.

Essas interações entre o regime pluviométrico e as marés se refletem nas condições de inundações nas áreas próximas à linha de costa e dentro dos estuários. Este regime hidrodinâmico também é encontrado na costa da Guiana Francesa, estudado por Lointier (1996).

As considerações apresentadas acima mostram que as condições de inundação na área estudada são extremamente variáveis. Essas condições são maximizadas nos eventos de La Niña, e podem ser extremas se coincidentes com marés de sizígia em períodos de equinócio. A inundação é um elemento resultante das forçantes com importância para as modificações, pois influencia diretamente no escoamento superficial sobre o terreno. Nos resultados de entrevistas, os moradores indicam que processos de abertura de canais ocorrem nos eventos de fortes enchentes, a exemplo do que ocorreu no igarapé Novo (no rio Gurijuba) e do igarapé Vitória. Para o Igarapé Novo os moradores costumam atribuir a abertura do igarapé à enchente que ocorreu por volta dos anos de 1984-1985 usando a frase: “o igarapé... era mata fechada, abriu durante a enchente no inverno”. Tal fato é coincidente com a ocorrência da inundação de 1984 discutida acima. Para o igarapé Vitória os moradores atribuíram a abertura do igarapé ao pisoteio do gado, porém o processo de formação efetiva do canal teria ocorrido com “ocorrência de água maior” (períodos de inundações extremas). Seriam esses períodos de ocorrência das mudanças mais eficientes da rede de drenagem local?

Por outro lado, o entendimento das condições de inundação, suas variações na planície costeira e seus resultados são importantes para compreender os processos de sedimentação, sua dinâmica e detectar sua assinatura no registro geológico.

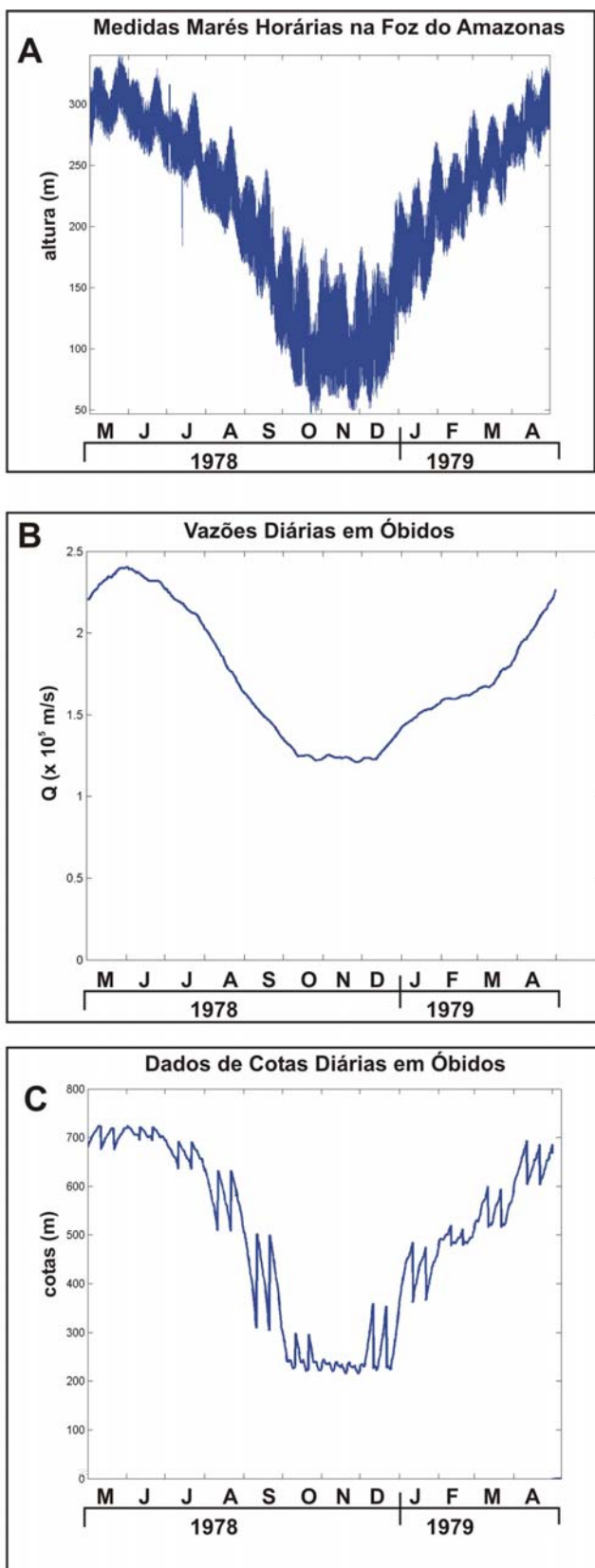


Figura 5.25: Correlação dos dados de marés (A), na Foz do rio Amazonas (estação da ilha do Brigue) com os dados fluviométricos de vazão (B) e cotas diárias em Óbidos (C), revelando a superposição da influência de marés e regime fluvial nos processos de inundação da planície costeira amapaense. Dados fornecidos pela ANEEL e DHN.

5.2.2 A Sazonalidade da Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal responde às variações sazonais e aos processos de deposição e erosão sob a influência das correntes fluviais e de marés.

Na planície de inundação a resposta ocorre de duas maneiras distintas.

Durante os períodos chuvosos, a vegetação dos campos inundáveis é constituída por vegetação campestre e espécies aquáticas flutuantes (Fig. 5.26A). As primeiras estão geralmente fixadas ao substrato, enquanto que as espécies aquáticas deslocam-se livremente (salvo em presença de obstáculos) através dos lagos, drenagens e, dependendo da altura da lâmina de água e altura da vegetação campestre, flutua por grande parte da planície de inundação. O emaranhado criado por essa vegetação viçosa sobre a planície de inundação cria um falso fundo composto de raízes e muita matéria orgânica em decomposição, criando uma noção de profundidade subjetiva. Tal fato foi evidenciado por Lointier (1996) para áreas inundáveis na planície costeira da Guiana Francesa.

Nos períodos menos chuvosos, a vegetação campestre perde sua robustez e as espécies flutuantes se restringem apenas às bacias de inundação e às margens dos canais de drenagem. A permanência das espécies flutuantes nas bacias de inundação depende das condições de umidade e do pisoteio por búfalos. As áreas sujeitas a intenso pisoteio e pastoreio inibem o desenvolvimento dessa cobertura vegetal (Fig. 5.26B, ver item 5.4). Nos corpos de águas superficiais livres (lagos e canais), ela pode se deslocar influenciada pelos ventos e correntes.

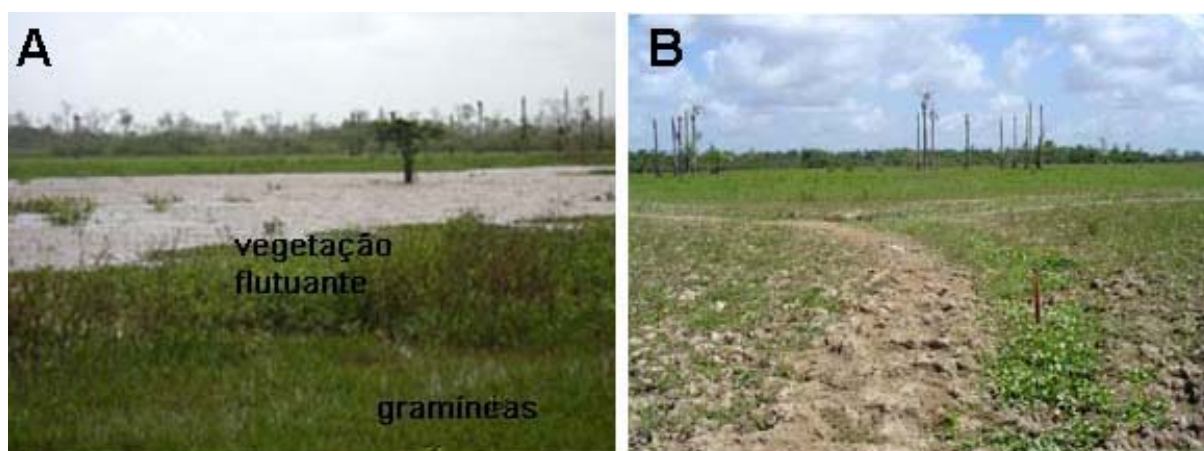


Figura 5.26: Variação na cobertura vegetal para o mesmo local na planície de inundação do rio Araguari em março de 2005 (A) e em setembro de 2004 (B).

O resultado dessa dinâmica na cobertura vegetal e o clima auxiliam na formação de camadas de matéria orgânica que ficam preservadas no registro sedimentar.

Nas planícies de marés o crescimento da vegetação pioneira auxilia na fixação de sedimentos depositados por acreção vertical e lateral, sendo ao mesmo tempo marcadores das variações nesses processos (ver item 5.2.4).

Essas variações na cobertura vegetal como resposta das condições de inundações resultantes do regime climático ou das marés podem produzir padrões espectrais distintos em imagens de satélites de sensores óticos, sendo passíveis de serem observadas, enquanto que nas margens dos estuários e na linha de costa podem se constituir em indicadores de modificações morfológicas (ver capítulos 11 e 12).

5.2.3 Variações no Aporte de Sedimentos

As variações no aporte de sedimentos produzem modificações que geralmente são registradas na linha de costa.

A influência do ENSO enquanto agente interferindo nos processos costeiros e resultando em modificações na costa amazônica foi registrado por Souza Filho (2000) para a costa do nordeste do Pará. O autor, examinando uma série de imagens de sensores remotos entre 1972 e 1998, observou mudanças mais pronunciadas na costa de Bragança entre os anos 1985 a 1988 e atribuiu essa variação na linha de costa aos períodos de alta precipitação e conseqüentemente alta descarga dos rios. Essa observação do autor pode ser correlacionada com os dados da Tab. 4.2 (p.61) e Figs. 5.6 (p.86) e 5.7 (p.87), indicando que o evento de ENSO ocorrido entre 1986-1988 deveria ter realmente influenciado na descarga de rios na costa amazônica.

As variações sazonais dos regimes hidrológicos resultam em formação e/ou modificação de áreas acrescionárias e erosivas em função da variação no aporte de sedimentos.

Na porção norte da planície costeira, próximo ao Cabo Cassiporé, existem camadas sazonais identificadas por Allison *et al.* (1996) cuja taxa de deposição sazonal excede a acumulação permanente. Zonas de acumulação efêmeras (Fig. 2.6, p.25) na foz dos estuários foram caracterizadas por Nittrouer *et al.* (1991) e resultariam de aporte fluvial de sedimentos

para a costa durante os períodos de alta descarga dos rios, sendo o Araguari também influenciado por esse processo.

A variação no aporte de sedimentos para a planície costeira tem reflexos na morfologia dos canais de marés que drenam a planície de maré atual. Essa influência pode ser observada na mudança de direção da rede de drenagem. Drenagens retilíneas existentes na desembocadura do rio Araguari, apontam fluxo de sedimentos para dentro do estuário (Fig. 5.27). Ao norte dessa mesma área as imagens de satélite evidenciam drenagens com o mesmo padrão, porém com deslocamento de canais para nordeste indicando fluxo de sedimentos contrário.

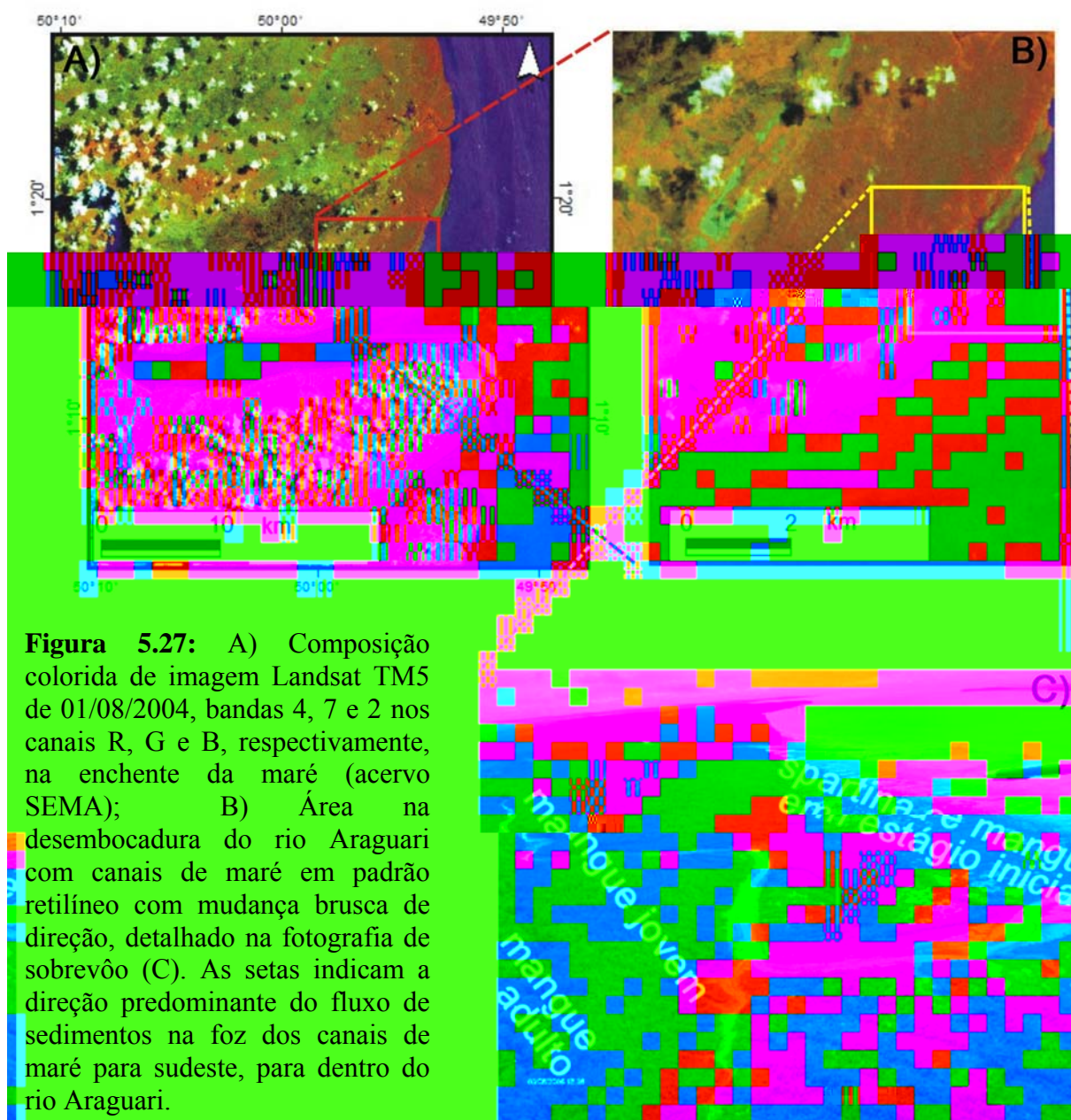


Figura 5.27: A) Composição colorida de imagem Landsat TM5 de 01/08/2004, bandas 4, 7 e 2 nos canais R, G e B, respectivamente, na enchente da maré (acervo SEMA); B) Área na desembocadura do rio Araguari com canais de maré em padrão retilíneo com mudança brusca de direção, detalhado na fotografia de sobrevôo (C). As setas indicam a direção predominante do fluxo de sedimentos na foz dos canais de maré para sudeste, para dentro do rio Araguari.

5.2.4 Influência das Marés e Pororoca nos Processos Sedimentares e Morfologia*

A maré é uma das forçantes mais efetivas no trapeamento de sedimentos na costa amazônica. Sob a ação das macromarés a mobilização dos sedimentos finos é intensa e como resultado a morfologia dos estuários pode mudar largamente e rapidamente, dentro de poucos anos (ver Capítulo 10).

Os efeitos dos ciclos das marés são importantes no processo de mistura, remobilização e transporte de sedimentos, influenciando na taxa de concentração de sedimentos em suspensão, promovendo a erosão e a deposição (ver Capítulo 4), além de permitir formar extensas planícies de marés com estruturas típicas desses ambientes.

A variação na taxa de concentração de sedimentos é um dos efeitos mais notáveis da atuação das marés principalmente quando está sob a influência da pororoca.

As taxas de concentração de sedimentos medidas em campo durante o equinócio de setembro de 2004 (Figs. 3.7, p.45 e 5.28), no canal do rio Araguari, registram 0,27 g/l antes da passagem da onda, subindo para 8,1 g/l durante e 1,65 g/l 50 minutos após a passagem da onda em um mesmo ponto na margem do estuário (Santos *et al.*, 2005a). Nas medidas tomadas em dois ciclos de marés antes desta data, a concentração de sólidos em suspensão durante a passagem do fenômeno chegou a alcançar 15,61 g/l. Tais taxas atestam o poder das correntes geradas pela onda da pororoca na remobilização de sedimentos, tornando a massa d'água muito viscosa e, ao mesmo tempo, com alto poder de erosão por carrear partículas sedimentares durante o momento de sua explosão nas margens das drenagens (Figs. 5.19C).

Os valores de concentração de sedimentos em suspensão medidos ($8 \text{ g/l} = 8 \text{ kg/m}^3$) durante a passagem da pororoca são próximos aos encontrados na camada de lama fluida existente na plataforma continental ($>10 \text{ g/l}$) e superior àquelas encontradas no estuário de Daly, na Austrália (5 kg/m^3) (Wolanski *et al.*, 2004).

A variação dessa concentração de sedimentos se reflete na turbidez das águas do estuário, principalmente na região de atuação da pororoca, o que é bem evidente nas imagens de sensores óticos (ver Capítulo 8). Por outro lado, no centro do canal (Fig. 5.28, ponto B), os valores de sedimentos em suspensão praticamente não variam com a passagem da pororoca.

* baseado no trabalho de Santos *et al.*, 2005a, apresentado durante o X Congresso da ABEQUA em 2005.

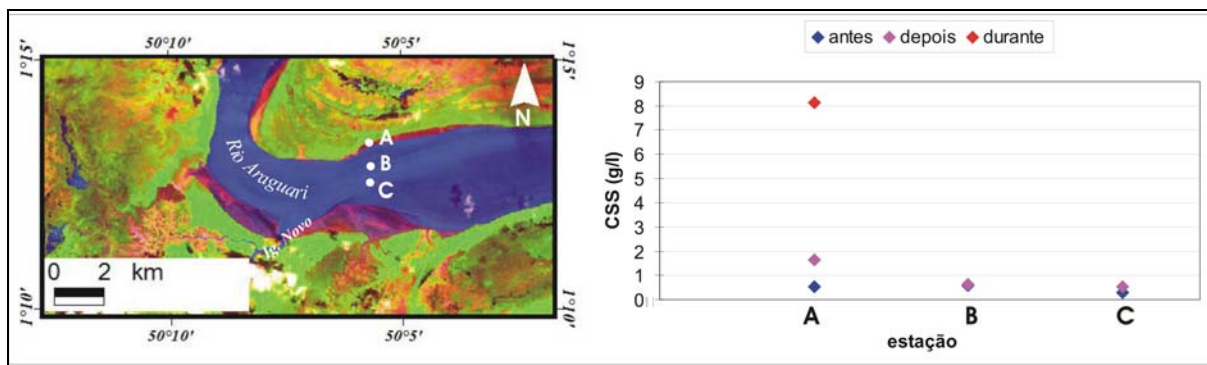


Figura 5.28: Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em sigízia de equinócio (29.09.04). Ponto A (25 minutos antes, durante e 50 minutos após), Ponto B (60 minutos antes e 13 minutos após) e na estação C (80 minutos antes e 25 minutos após). Santos *et al.* (2005a). Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 3 em RGB. Fonte. GLCF.

Os efeitos da pororoca sobre a taxa de deposição e erosão foram registrados nos experimentos em campo nos 8 ciclos de marés (Fig. 3.6, p.45). As medidas evidenciaram deposição de cerca de 1 cm (Fig. 5.29A) e erosão vertical de 3 cm de sedimentos argilosos consolidados (Fig. 5.29B), em porções distintas da região de intermaré do estuário do Araguari. Considerando-se esses valores somente para o período de sizígias, o resultado seria uma taxa de erosão e sedimentação verticais de aproximadamente 72 cm/ano e 24 cm/ano, respectivamente. Deve-se ressaltar, entretanto, que esses valores podem não ser contínuos no tempo, uma vez que os processos de erosão e sedimentação se alternam nos ambientes influenciados por marés. Porém, apesar dessa relação empírica, sabe-se que planícies costeiras influenciadas por pororoca possuem altas taxas de sedimentação, a exemplo das encontradas no rio Yangtze, na planície de maré de Shanghai (China), onde a acumulação vertical é de 12 cm/ano (Qinshang *et al.*, 1989).

As altas taxas de deposição e erosão explicariam as rápidas mudanças morfológicas nas planícies de marés que foram observadas

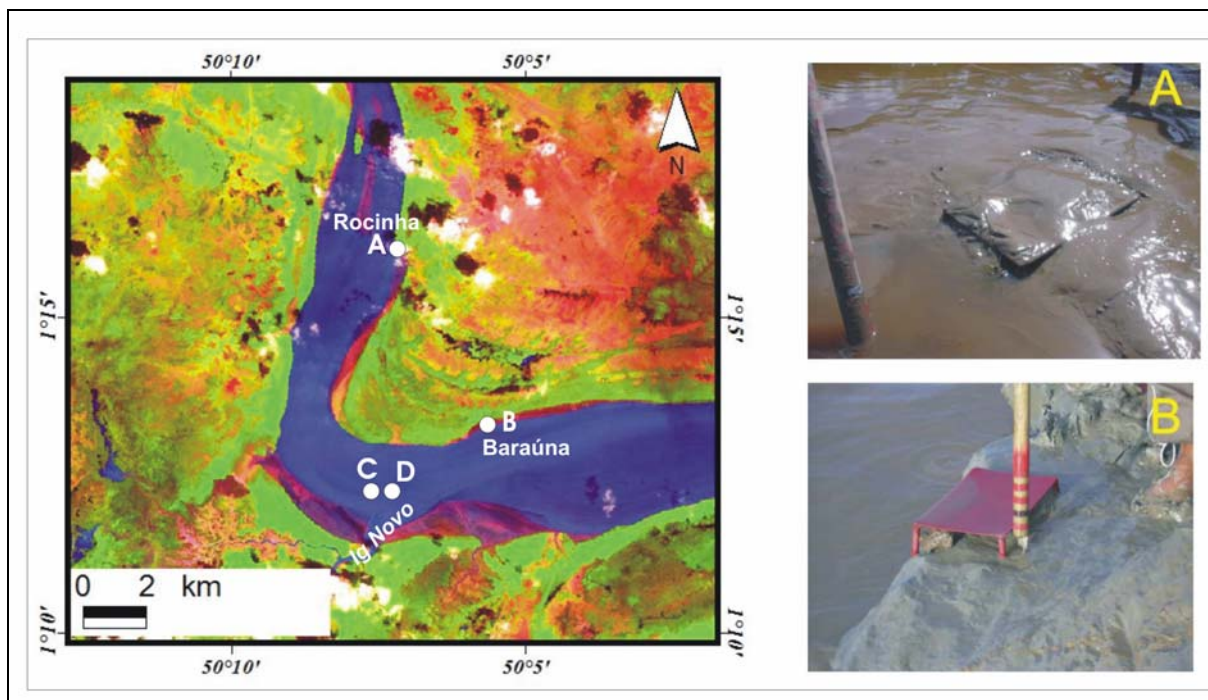


Figura 5.29: Deposição de 1 cm de sedimentos na localidade de Rocinha (A) e erosão vertical de 3 cm na localidade de Baraúna (B), em 8 ciclos de maré. C e D foram experimentos perdidos devido à remoção parcial das placas pelas correntes durante a mudança de curso do canal do igarapé Novo. Santos *et al.* (2005a). Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 3 em RGB. Fonte. GLCF. Fotos: Alberto Figueiredo.

As variações nos processos erosionais e deposicionais são capazes de gerar mudanças rápidas como a modificação dos cursos de canais, a exemplo da modificação vista em campo na foz do canal do igarapé Novo, ocorrida em março de 2005 (Fig. 5.30A). Isto explica a necessidade de sinalizações temporárias encontradas nesse local durante as etapas de campo (Fig. 5.30B).

Na localidade de Rocinha (Fig. 5.29, ponto A) o processo agradacional atual levou a construção de uma plataforma de deposição que impediu desse ponto continuar como um posto de observação da pororoca registrado na Figura 5.19 no ano de 2002. A construção dessa plataforma agradacional e a influência do fluxo de sedimentos carregados pela pororoca podem levar à obstrução da drenagem existente nesse local.

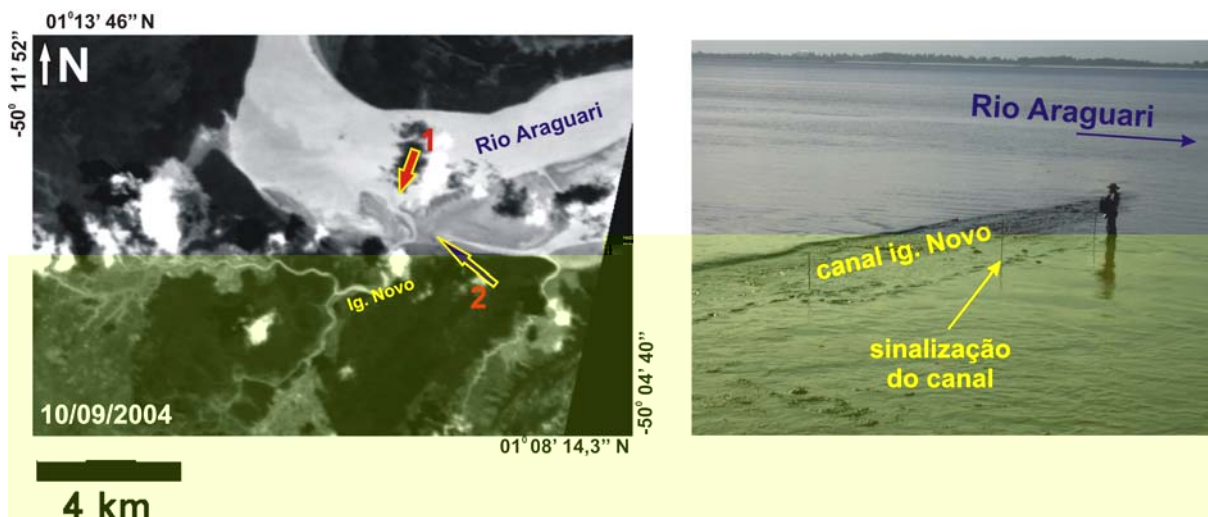


Figura 5.30: Imagem CBERS, banda 2 (A) mostrando o canal do igarapé Novo e sua foz (1) em setembro de 2004 e foto de campo do mesmo período (B). Nas marés de sizígia de março de 2005 a foz do canal ficou obstruída e seu curso mudou para a esquerda, juntando-se ao curso de outro canal de maré (2). Foto: Alberto Figueiredo.

Os processos agradacionais são efetivos na planície de inundação do estuário. As acumulações são rápidas permitindo a desativação de canais dentro da planície e processos de agradiação vertical (Fig. 5.31). A correlação de informações das entrevistas com a localização de residências, construções e cercas permitem inferir taxas de 5 cm/ano para a região do Igarapé Novo.

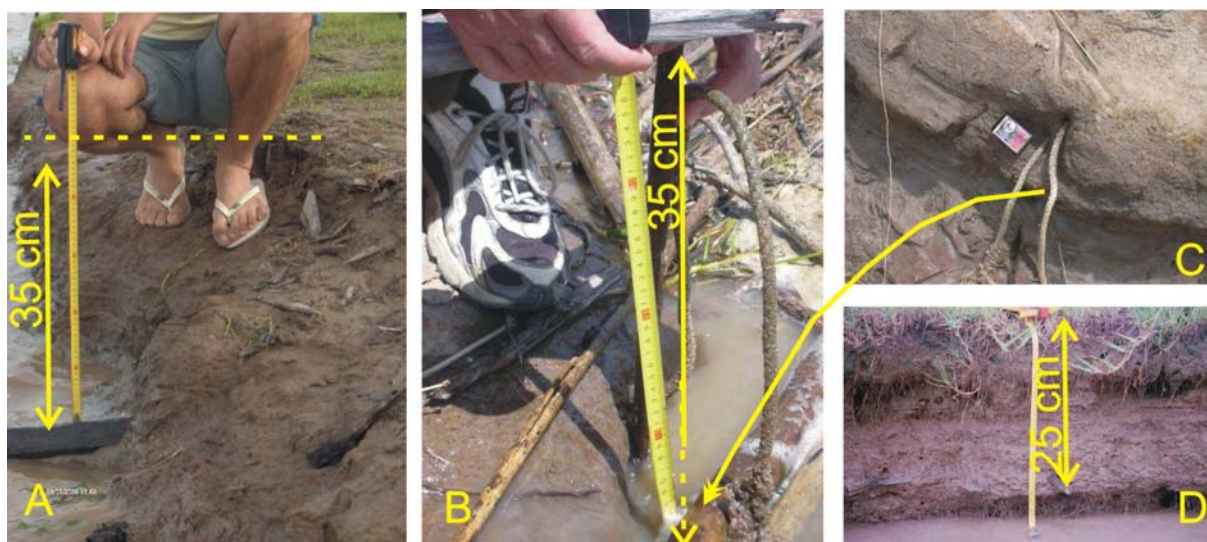


Figura 5.31: Agradiação na planície de inundação do rio Araguari. (A) 7 anos de deposição sobre restos de madeira deixados quando da construção de cercas por volta do ano de 1998, Fazenda Campo Novo, igarapé Novo; (B) deposição onde era o atracadouro de uma casa abandonada em 1993. C) detalhe em maré baixa da foto B; D) deposição sobre restos de madeira de cercas utilizadas provavelmente na década de 1990, Fazenda Campo Verde, braço do igarapé Novo.

As correntes de marés sob a influência da pororoca formam terraços erosionais sobre os sedimentos consolidados. Esses terraços apresentam alturas na ordem de centímetros (Fig. 5.32A) e desenvolvem-se nas barras e margem do estuário do Araguari. Costa (1996) descreveu esses terraços nas barras em pontais do estuário estudado, chamando-os de microfalésias. Tais feições já foram descritas na literatura por Tessier e Terwindt (1994) nas zonas de intermarés na porção interna do estuário na baía do Mont-Saint-Michel, França que possui influência da pororoca, porém com efeitos menores.

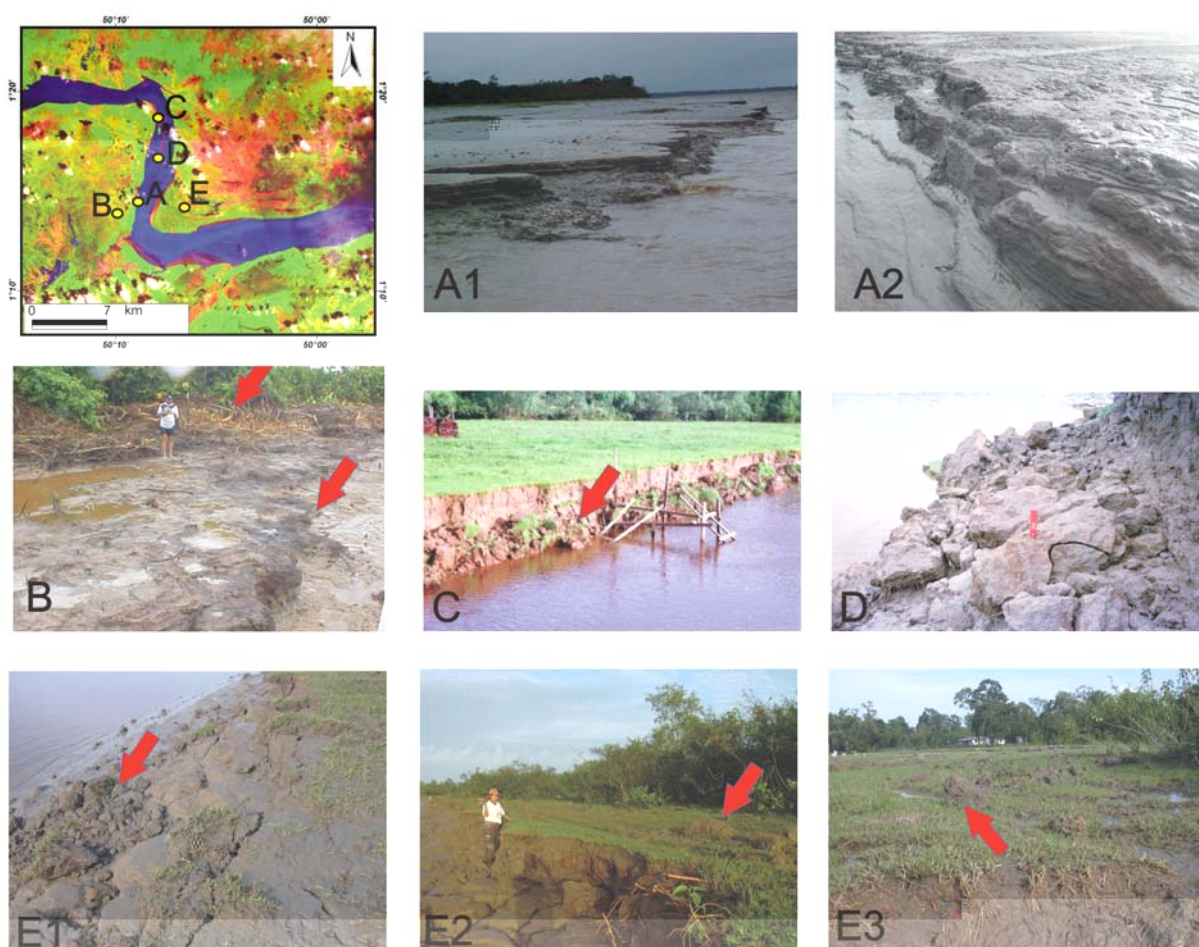


Figura 5.32: A) Terraços (microfalésias) em barra em pontal (março de 2003 e março de 2004) e em B) margem do canal do Araguari (março/2003); C a E1) blocos na margem do canal do Araguari em área de influência da pororoca (março/2005); E2 e E3) blocos acima do terraço marginal do rio Araguari (março/2005). Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 3 em RGB, fonte: GLCF. Fotos: A2, Laurent Polidori; E1 a E3, Alberto Figueiredo.

Outros terraços encontrados relacionados com a atuação da pororoca são aqueles elaborados em sedimentos consolidados sob cobertura vegetal (Fig. 5.32B). Assim como os terraços anteriores, mostram vários níveis, porém possuem alturas maiores e o forte poder de

erosão das ondas da pororoca é evidenciado na remoção de grandes árvores. O poder erosional do fenômeno da pororoca também pode ser observado no SR I (ver Capítulo 2) com grandes árvores de mangue tombadas na costa.

Blocos de sedimentos e bolas de lama são muito frequentes e dispostos sobre as camadas sedimentares nas regiões de intermarés. A localização desses blocos é coincidente com as áreas de maior atuação do fenômeno da pororoca, não sendo registradas nas porções mais interiores do estuário. Isto indica o poder das correntes e do impacto da pororoca que promove a quebra e queda por gravidade de blocos de dimensões métricas retirados dos terraços marginais e depositados as margens do canal do estuário (Fig. 5.32 C, D e E1). Tais blocos são posteriormente retrabalhados pelas correntes de marés. Em fotografias observadas de outros estuários sob a influência da pororoca, essas estruturas também ocorrem nas zonas de intermarés e tais efeitos não são descritos na literatura pesquisada.

Nas porções superiores desses terraços, são encontrados blocos de dimensões centimétricas de sedimentos consolidados vegetados (Fig. 5.32 E2 e E3) arrancados das margens do estuário, os quais se preservados podem constituir em mais um indicador da existência do fenômeno de pororoca em outros estuários no mundo e em outros locais da costa amazônica.

Além dos efeitos físicos, a ação das marés e pororoca também pode influenciar na distribuição da microfauna no estuário. Laut *et al.* (2005), analisando a distribuição da fauna de foraminíferos bentônicos e tecamebas, sugerem que existe uma correlação entre a distribuição desses organismos e as condições hidrodinâmicas influenciadas pela pororoca (Fig. 5.33). Entretanto, até o momento, nenhuma medida nas águas superficiais mostrou registro de salinidade em qualquer período sazonal, havendo necessidade de medidas ao longo da coluna da água e nos sedimentos.

A pronunciada assimetria das marés (Figs. 5.14 e 5.15) observada nas curvas, com tempo de enchente muito menor do que na vazante, pode indicar velocidades de correntes maiores nas enchentes o que auxilia na movimentação de sedimentos para dentro do estuário. Isto explica a presença de biodetritos de origem marinha retrabalhados em sedimentos da foz do estuário do rio Araguari encontrados por Santos (1994). Curvas de maré com essas características assimétricas também foram observadas no estuário do rio Daly, na Austrália, o qual possui influência da pororoca e está sujeito a processos de assoreamento em sua desembocadura (Wolanski *et al.*, 2004), à semelhança do que está ocorrendo com a foz do rio Araguari.

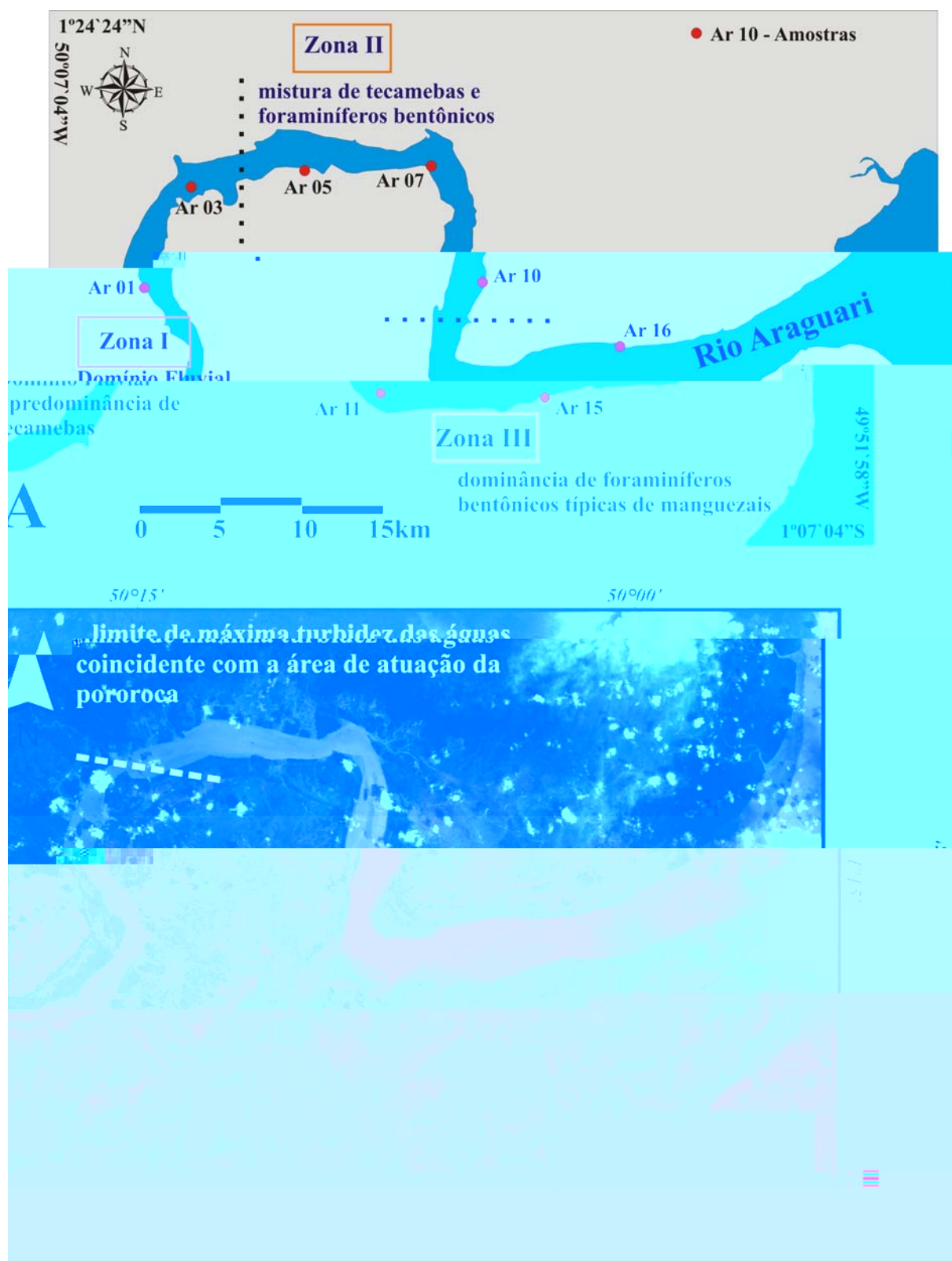


Figura 5.33: Correlação entre as zonas de distribuição da fauna de foraminíferos bentônicos e tecamebas (A) definidas por Laut *et al.* (2005) com a pluma de turbidez no estuário do rio Araguari (B) em função do fenômeno da pororoca. Notar a semelhança entre o limite da zona I e II e o limite de influência da pororoca detectado em campo, onde a turbidez da água diminui para dentro do estuário. Imagem do satélite Landsat 7 ETM+ de 18/11/2000 na composição colorida das bandas 1, 2 e 3 em GBR.

5.3. FORÇANTES ANTRÓPICAS – A PECUÁRIA NA COSTA AMAZÔNICA

As forçantes antrópicas que podem produzir modificações na costa amazônica foram apresentadas no capítulo 2 no âmbito das atividades que são desenvolvidas na planície costeira amazônica. Neste item enfatiza-se a atividade da pecuária e sua forma de desenvolvimento na costa amazônica, como subsídio para discussões de seus impactos sobre as modificações na área de estudo e reconhecimento dos padrões nas imagens de satélite e em campo, com a finalidade de procurar indicadores de modificações que serão discutidos no capítulo 9.

5.3.1 A bubalinocultura na costa amazônica

Na região amazônica o crescimento da população total de búfalos é de 13% entre os anos de 1975 e 2000, o que representa um crescimento muito maior do que em muitos países no mundo e apresenta uma série de conflitos, principalmente com a agricultura (Sheikh *et al.*, 2005), muitos dos quais também identificados para a costa amazônica no litoral do Amapá (GERCO, 2002).

A partir de dados do IBGE, estima-se que a costa amazônica brasileira comportava 62% (aproximadamente 700.000 cabeças) do rebanho total existente nos estados costeiros brasileiros. A costa amapaense tem 25% (cerca de 170.000) desse efetivo, dos quais 26 % (aproximadamente 42.000 cabeças) concentram-se no município de Cutias (Fig. 5.34), que representa grande parte da planície de inundação da margem direita do rio Araguari.

Entretanto, deve-se considerar que a cada ano existe uma tendência de aumento da densidade de rebanho, a partir da introdução de gado e por nascimentos (cerca de um bezerro para cada fêmea a cada ano).

No estuário do rio Araguari, até a finalização desta pesquisa, não existiam dados atualizados e confiáveis para uma análise da pressão do rebanho por área na planície. Um censo estava sendo realizado pelo Estado, porém as informações ainda não tinham sido divulgadas a conclusão desta tese.

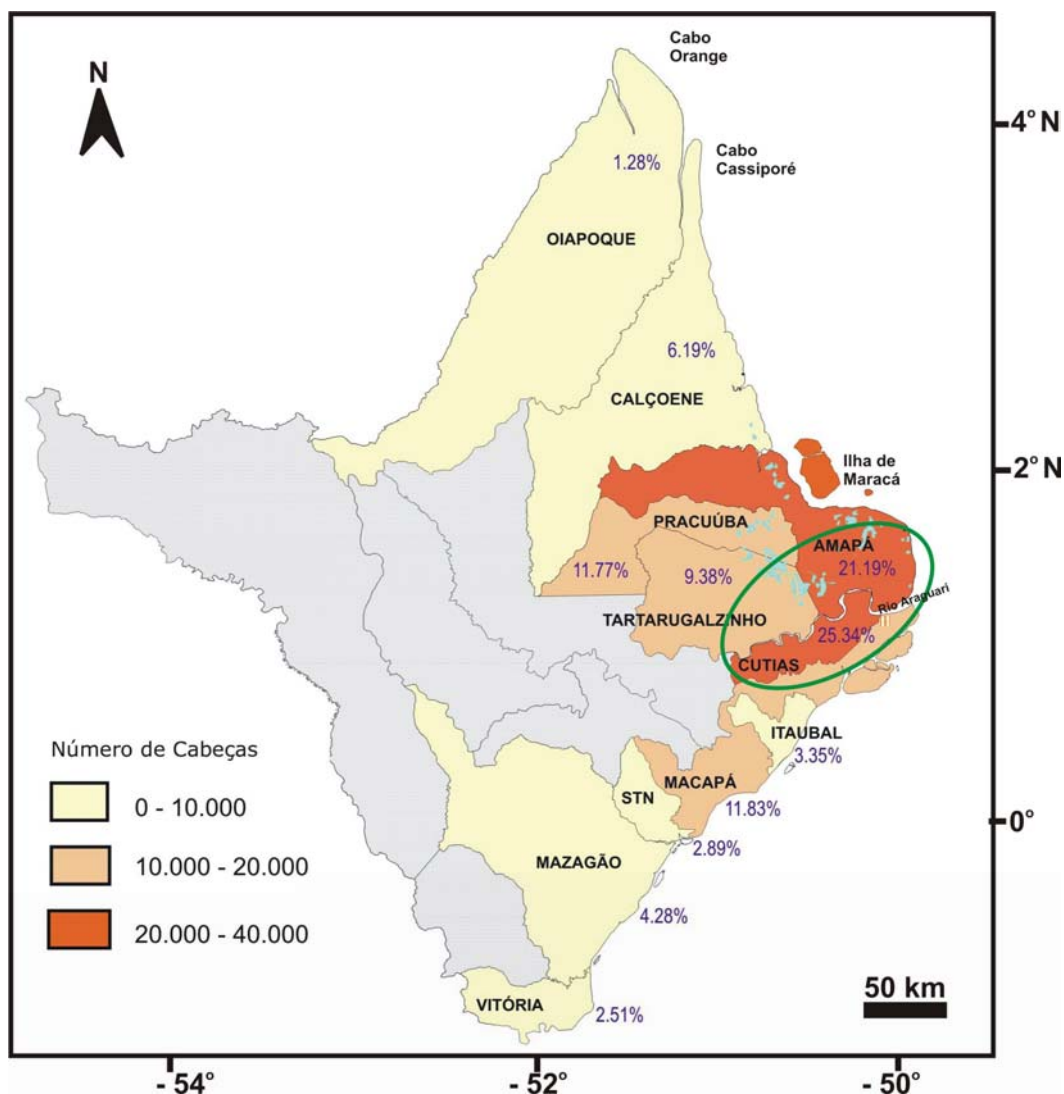


Figura 5.34: Distribuição do efetivo de rebanho bubalino na planície costeira do Estado do Amapá. Em destaque a área do estuário do rio Araguari. Elaborado a partir do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>.

Aliás, uma das grandes dificuldades na pesquisa foi a coleta de dados sobre o rebanho. Entre os vários motivos lista-se: desconhecimento por parte do funcionário da fazenda do efetivo bubalino, o difícil manejo de gado em áreas extensas, além da falta de vontade dos pecuaristas de revelar a quantidade do seu rebanho efetivo. Outra problemática foi a falta de uma base cadastral atualizada de fazendas, que permitisse estabelecer uma correlação entre os terrenos ocupados e a quantidade de rebanhos, além da dificuldade de acesso a toda a área, diferenciada para cada período sazonal. No entanto, os levantamentos realizados indicam a existência de aproximadamente 23.000 cabeças de búfalos para a margem direita do Araguari, entre o igarapé Vitória e o Igarapé Novo (Fig. 5.35).

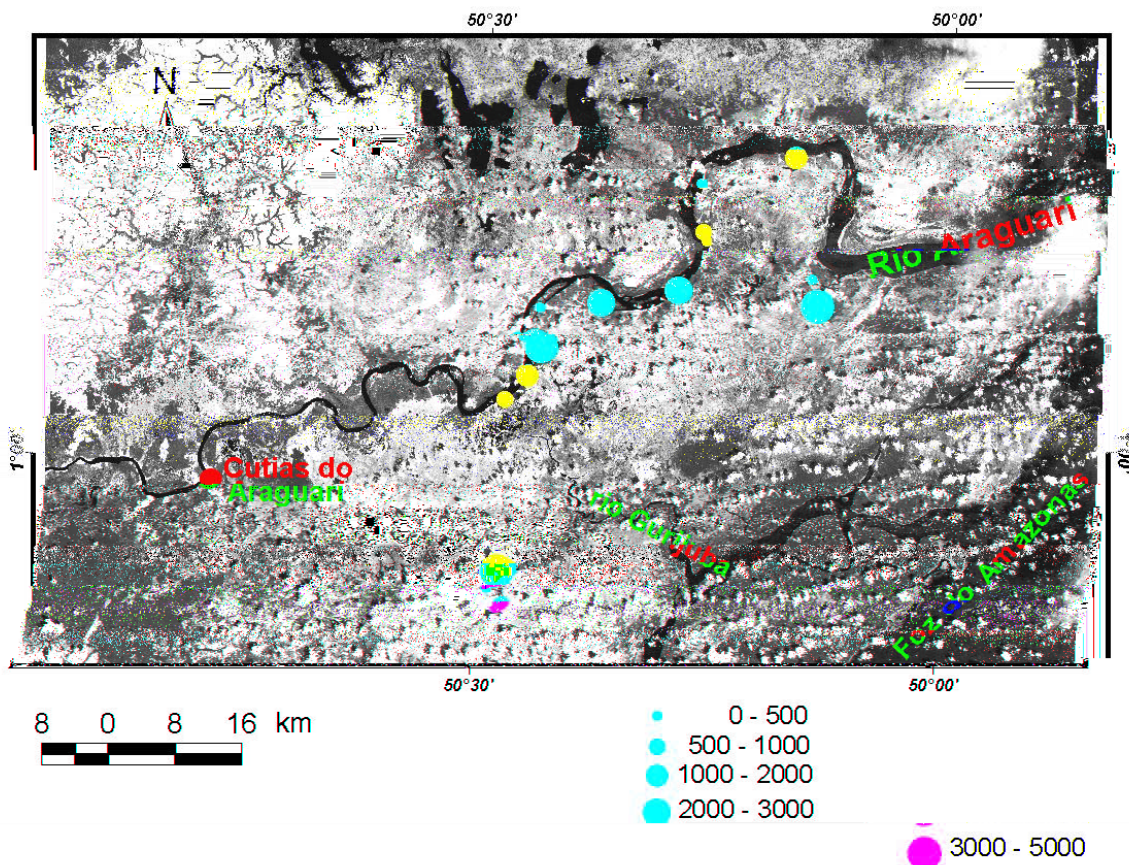


Figura 5.35: Concentração de rebanho bubalino por fazenda. O valor zero na realidade trata-se de fazendas sem informação da quantidade de rebanho. Fonte: entrevistas de campo. Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, banda 5, acervo GLCF.

5.3.2 O sistema de criação

A atividade de pecuária é desenvolvida no estado do Amapá de acordo com as características do meio natural. Nas áreas do planalto costeiro se desenvolve a criação de bovinos, que se deslocam para a planície costeira nos períodos menos chuvosos, aproveitando a pastagem natural, enquanto que a bubalinocultura é desenvolvida nas planícies de inundação. A continuidade dessa fisiografia em direção à costa permite que os ambientes costeiros, como planícies de marés e praias, sejam afetados pela atividade (GERCO, 2002).

A pecuária na região do rio Araguari é exercida desde o início do século XX (Fig. 5.36), porém a ocupação pelas fazendas ocorreu de maneira mais efetiva a partir da década de 1970. A maioria das fazendas entrevistadas iniciou a atividade com gado bovino.

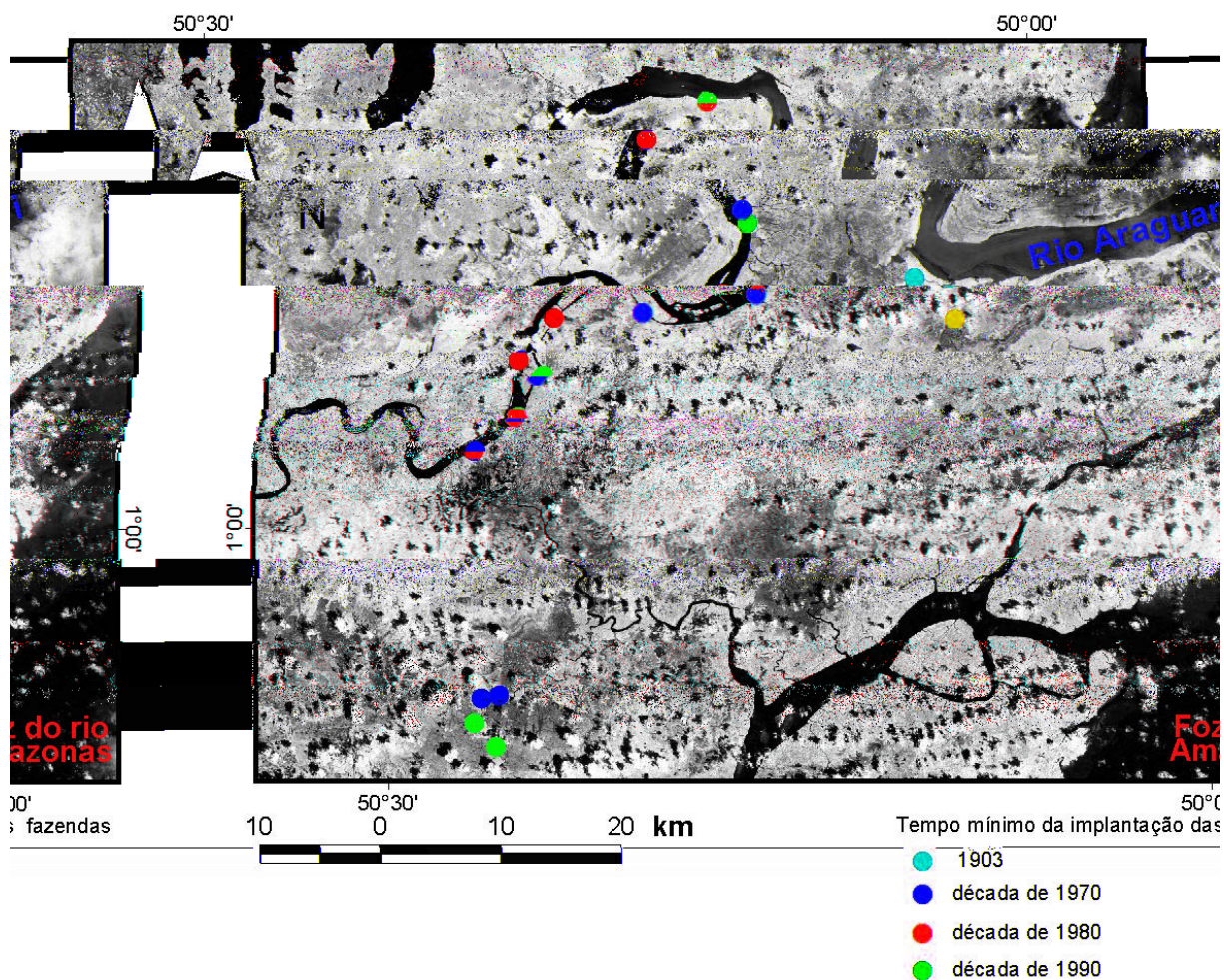


Figura 5.36: Tempo mínimo de existência da bubalinocultura na planície de inundação do estuário do rio Araguaari. Fonte: entrevistas de campo. Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, banda 4, acervo GLCF.

No sistema de criação, dependendo do tamanho da área da fazenda e das condições econômicas do pecuarista, existe uma fazenda sede com vários retiros espalhados no terreno, a quilômetros de distância dentro da planície de inundação, que se constituem, por vezes, de uma única casinha que é ocupada temporariamente por um “vaqueiro”. As fazendas podem pertencer individualmente a um proprietário ou podem existir várias fazendas pertencentes a apenas um proprietário.

As sedes das fazendas geralmente ocupam a margem do estuário do Araguaari ou das drenagens que recortam a planície de inundação (Fig. 5.37A). Algumas das grandes fazendas chegam a constituir agrupamento de empregados e familiares, formando pequenas comunidades que se ocupam praticamente apenas da pecuária (Fig. 5.37B).

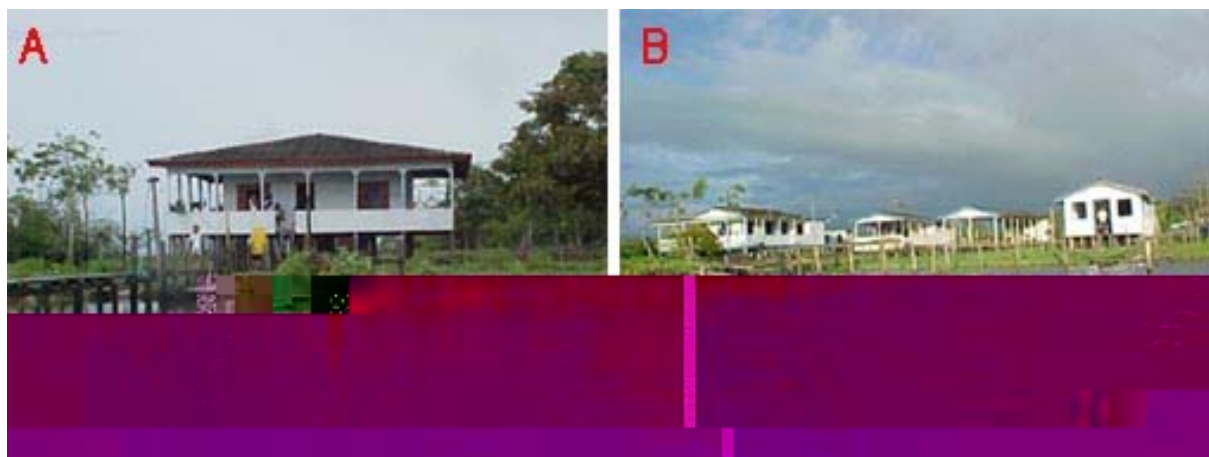


Figura 5.37: A) Sede de fazendas na planície de inundação no estuário do rio Araguari; B) Comunidades formadas nas fazendas a partir da atividade de pecuária. Março/2003.

Existem fazendas com mais de um século (Fig. 5.36) na região que, em virtude das condições de inundação, foram trocando a atividade de criação de bovinos por bubalinos, com permanência da criação de bois só nas situações de terrenos mais altos na planície.

A criação do gado bubalino é desenvolvida especialmente nas planícies de inundação e sofre a influência do regime das chuvas e inundações. Entretanto, em virtude da continuidade fisiográfica dos ambientes, o rebanho também é encontrado nas planícies de marés (Fig. 5.38).



Figura 5.38: Búfalos na planície de inundação nas áreas dos campos inundáveis (A) e dentro da floresta de várzea (B). C) Búfalos em áreas de planície de maré. Março/2003.

Nas épocas de estiagem, o rebanho se refugia próximo às margens do estuário ou nas áreas das bacias de inundação (Capítulo 8). Nos períodos de cheia, o gado é levado para pastos em áreas mais altas, entretanto, nos terrenos sem esses refúgios o gado é levado para terras altas construídas no terreno através do auxílio de um trator, com altura de aproximadamente 1 m e cerca de 10 m de extensão, chamadas localmente de “marombas”

(Fig. 5.39). Tal prática, comum apenas para as grandes fazendas, também ocorre no baixo Amazonas relacionada com a criação de búfalos, identificada por Sheikh *et al.* (2005). Nos períodos de cheias onde as gramíneas fixas ficam inundadas o gado costuma alimentar-se de vegetação flutuante.



Figura 5:39: Maromba em construção no campo para abrigo do gado durante as cheias. Rio Pírim, março de 2003.

Na área das fazendas é comum existir um local onde o gado é manejado, denominado localmente de “malhada”. Durante o período das cheias, pequenos lagos são formados nesses locais. (5.40).

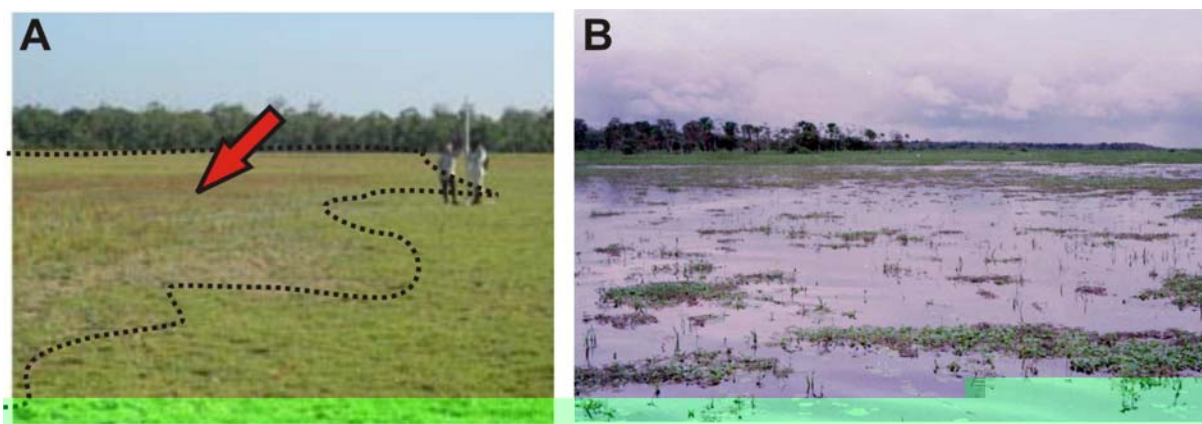


Figura 5.40: A) Área de malhada, em terreno utilizado para bubalinocultura na fazenda Campo Verde, Igarapé Novo, setembro de 2004. Observar a exposição do solo devido ao pisoteio do gado; B) malhada na fazenda Nova Delly, em março de 2004. Os pequenos lagos observados na planície inundada são áreas pisoteadas com restos de vegetação.

O manejo dos búfalos em função da pastagem é dependente das condições sócio-econômicas do fazendeiro e tamanho da fazenda. As cercas constituem uma prática de manejo do gado. Os resultados das entrevistas indicam que, no início da implantação da atividade de pecuária, as fazendas praticamente não eram delimitadas por cercas, o que constituía problemas na contagem e manejo do rebanho. Porém, com o passar dos anos, o número de cercas aumentou devido à necessidade de delimitação de fazendas, separação do rebanho

bubalino de outros animais criados, transferência de gado para manejo das pastagens exauridas, proteção de pequenas áreas (em torno de 100 ha) de pastagens artificiais destinadas à alimentação de eqüinos e bovinos e, impedimento da passagem do gado para as margens dos rios (Fig. 5.41). Durante o desenvolvimento desta pesquisa foi constatado em campo um aumento do número de cercas, impedindo inclusive o acesso e a revisita de algumas áreas.



Figura 5.41: Cercas. A) duplas para proteção das margens do rio Araguari do pisoteio dos búfalos na fazenda Maria Atilde; B) delimitação de fazendas; C) e D) bloqueando canais e delimitando fazendas no igarapé Santana, setembro de 2004 e março de 2005, respectivamente.

5.4. A PECUÁRIA COMO AGENTE MODIFICADOR DA PAISAGEM

As modificações induzidas pela atividade de pecuária, observadas na área estudada, podem ser subdivididas em duas categorias: a) aquelas induzidas pelo rebanho e b) as induzidas pela ação humana sobre a área onde a atividade de bubalinocultura é exercida.

5.4.1 Efeitos Induzidos pelo Rebanho

- Morfológicos

Ocorrem principalmente através da compactação e erosão do solo pelo pisoteio do animal e se referem à formação de estruturas de sobrecarga, trilhas, ravinas, canais artificiais e pequenos lagos.

Em terreno sob condições úmidas, o rebanho bubalino, em virtude de seu peso, é capaz de deixar pegadas, cujas profundidades alcançam mais de 10 cm e larguras variáveis de acordo com o tamanho do búfalo (Fig. 5.42A e B). Nos terrenos com menor umidade, fora das áreas com maior permanência de água, as profundidades dessas pegadas são menores (Fig. 5.42C). O resultado da passagem do gado no terreno, esteja úmido ou não, resulta em um solo extremamente pisoteado e compactado, o que dificultou por exemplo amostragens de trado nessas áreas. Esse grau de pisoteio depende do número de cabeças e do local de concentração dos búfalos.



Figura 5.42: A) Pegadas de búfalos em terreno sob condições úmidas da planície de inundação; B) solo pisoteado em condições úmidas na planície de inundação; C) solo pisoteado por búfalos em terreno sob condições mais secas. Setembro/2004.

A formação das trilhas ocorre por compactação do terreno em função do hábito do rebanho de andar em fila e, geralmente, está associada às margens das drenagens naturais e artificiais, seguindo paralelo a estas (Fig. 5.43A-D). Estão localizadas nas áreas de subida do gado (Fig. 5.43E) tanto em áreas de campos naturais quanto em áreas de várzea. Encontram-se também bordejando as cercas que delimitam as fazendas. As trilhas possuem formato retilíneo e apresentam larguras de aproximadamente 40 centímetros a 1 metro, podendo se estender por vários quilômetros. São interrompidas apenas pela presença de canais onde o gado costuma fazer travessia. Essas trilhas são típicas de pisoteio de gado e são encontradas em outros locais no mundo em áreas pastoreadas por bois (Trimble e Mendel, 1995). Na costa amazônica, tanto as trilhas como as ravinas, são encontradas na Guiana Francesa em planície

de inundação influenciada por marés próximo ao rio Mana. A disposição das mesmas também obedece aos padrões apresentados acima.

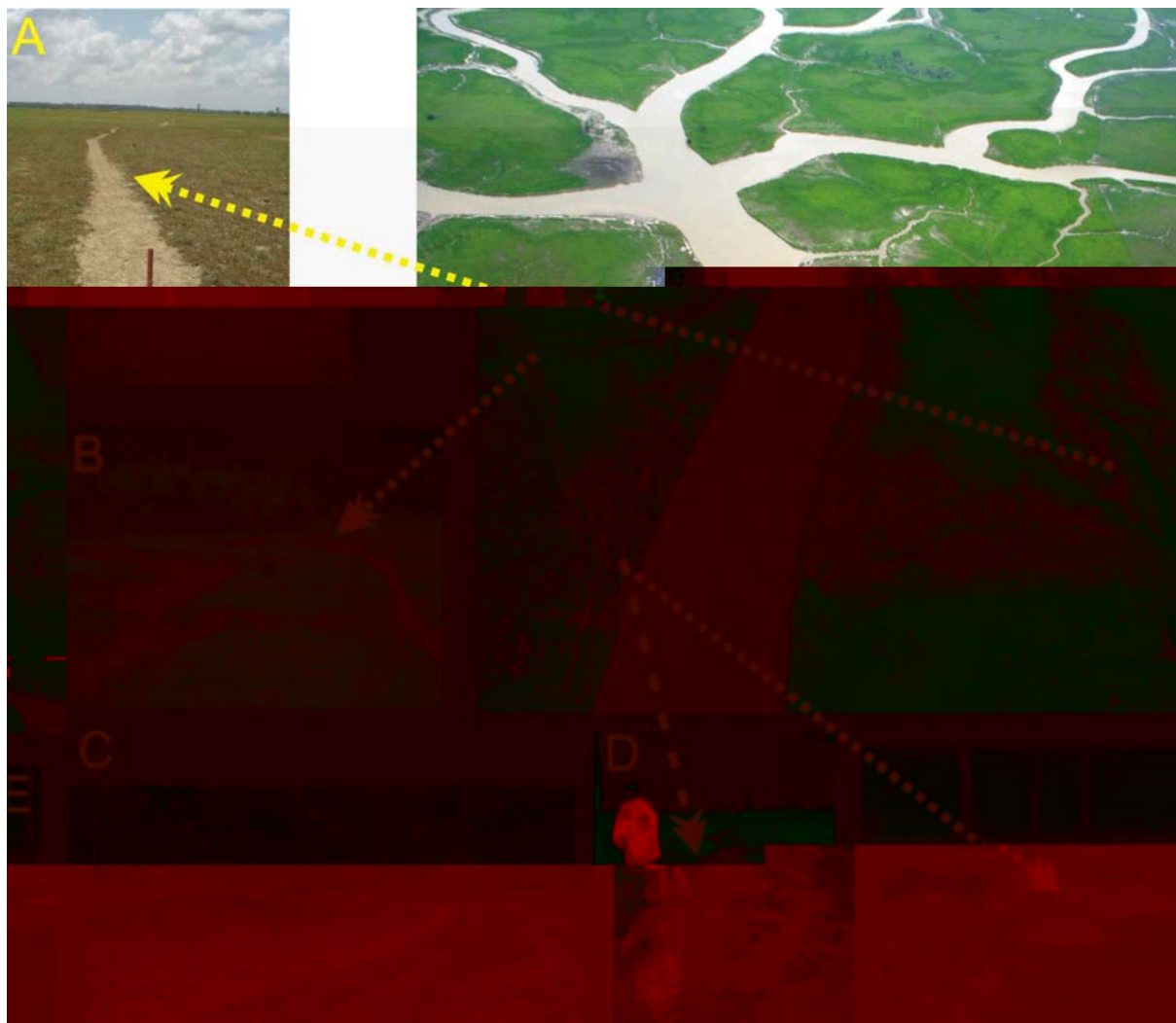


Figura 5.43: Fotografia aérea oblíqua ilustrando a disposição de trilhas (A, B, C) em áreas de fazendas contornando e paralelas à drenagens (setembro/2004); trilha paralela a drenagem (D) do igarapé Santana em março de 2003; erosão em local de subida e descida de gado para as trilhas (E), no mesmo local de D, em setembro de 2004. Foto de Sobrevôo: Odete Silveira, acervo IBAMA.

As ravinas são formadas em função da subida e descida do gado nas margens das drenagens, dispendo-se comumente perpendicular a estas configurando um padrão retangular (Fig. 5.44A e B). Elas distanciam-se entre si de metros a dezenas de metros e algumas delas podem conectar-se em duas extremidades com o canal principal formando uma pequena ilha (Fig. 5.44C). Apresentam larguras em torno de meio a um metro e extensões variadas, porém de poucos metros (Fig. 5.44D). As profundidades medidas raramente ultrapassam um metro. A formação de ravinas por gado, segundo Trimble e Mendel (1995), se inicia como uma

rampa (Fig. 5.44G), que se forma pela perda da resistência do solo ao pisoteio do gado (Fig. 5.44E e F), dando início ao processo de erosão. A erosão torna-se mais eficiente na margem do canal pela formação de um fluxo turbulento localizado na irregularidade desenvolvida pelo pisoteio do gado. Por outro lado, essa turbulência no fluxo acelera a erosão quando as águas ultrapassam a margem da drenagem. Assim, as rampas criam rotas para saída e entrada de água promovendo mais erosão, até finalmente escavar pequenos canais que são as ravinas.

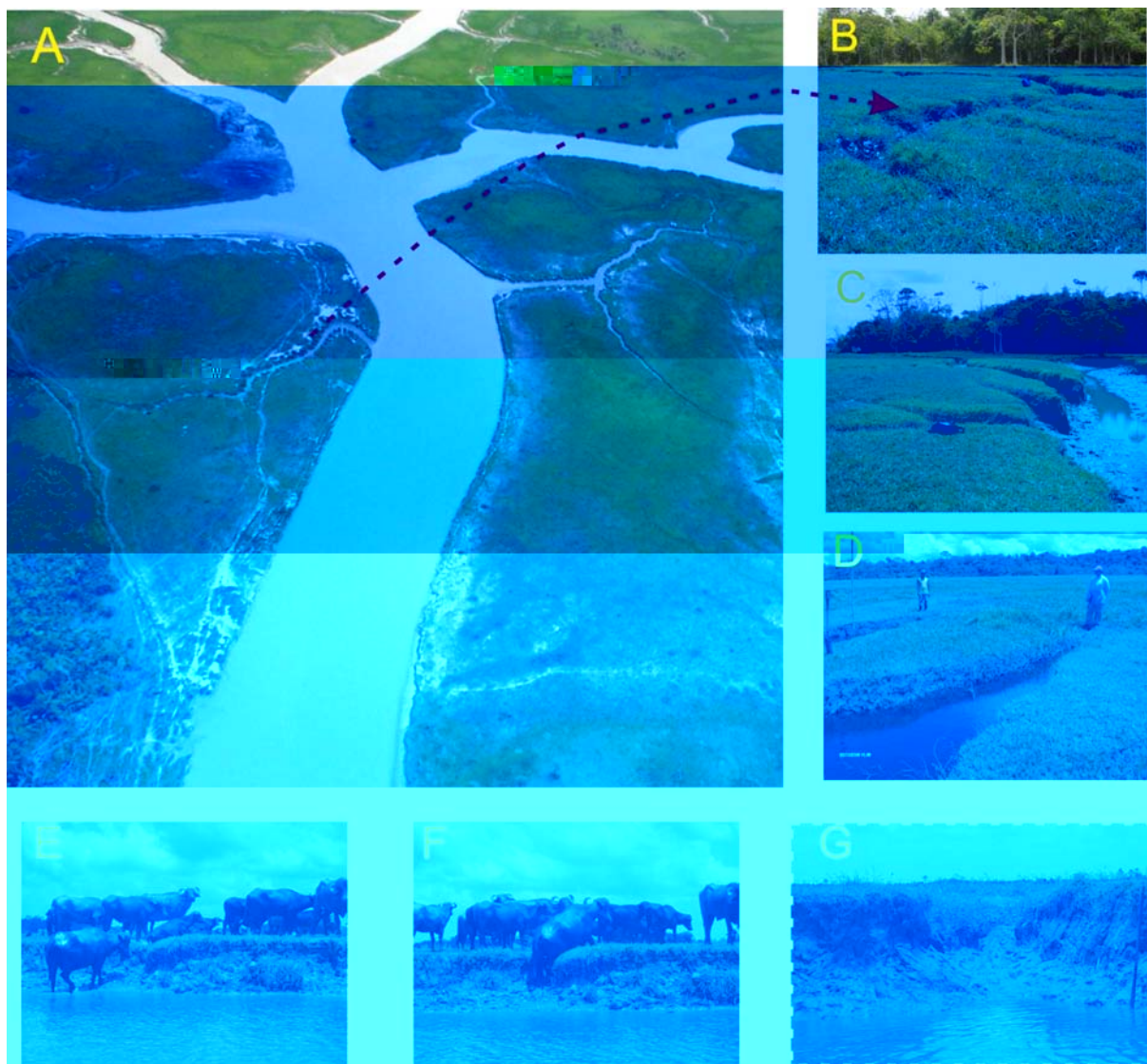


Figura 5.44: Aspectos das ravinas desenvolvidos pela subida e descida de gado da planície de inundação. A) Fotografia área oblíqua tomada em janeiro de 2005 de ravinas no igarapé Santana; B) padrão de ravina perpendicular a canal; C) ravina conectada ao mesmo canal formando uma ilha; D) observar o tamanho e profundidade; E) e F) subida de gado na margem de drenagem originando rampas (G), a partir das quais se formará uma ravina. Foto aérea: Odete Silveira, acervo IBAMA.

A formação de canais artificiais é uma das modificações apontadas pelos moradores da região em decorrência da atividade de pecuária. Os canais formados artificialmente recebem o nome de “vala”, possuindo geralmente a denominação da fazenda, por exemplo “vala do Antonico” ou de nomes vinculados ao cotidiano dos moradores como a “Vala do Paca”. Cerca de 89% das entrevistas em campo apontaram para modificações na rede de drenagem, dos quais 64% foram associadas diretamente ao pisoteio do gado ou indiretamente pela indução na formação de canais pelos moradores.

Os canais têm forma retilínea e com padrões retangulares (Fig. 5.45A) e não apresentam feições típicas das drenagens naturais como barras em pontais e curso meandrante (ver capítulo 9). As margens dos canais comumente são retas (Fig. 5.45B), apresentando terraços em função do desmonte da margem pela ação das correntes na base do canal. Dois processos de formação desses canais foram identificados: a) formação a partir do pisoteio e deslocamento do gado dentro das ravinas, junto com contínuo processo de erosão pelo fluxo turbulento gerado dentro desses pequenos canais, conforme já descrito por Trimble e Mendel (1995), e 2) desenvolvimento a partir da formação de trilhas pelo pisoteio do gado.

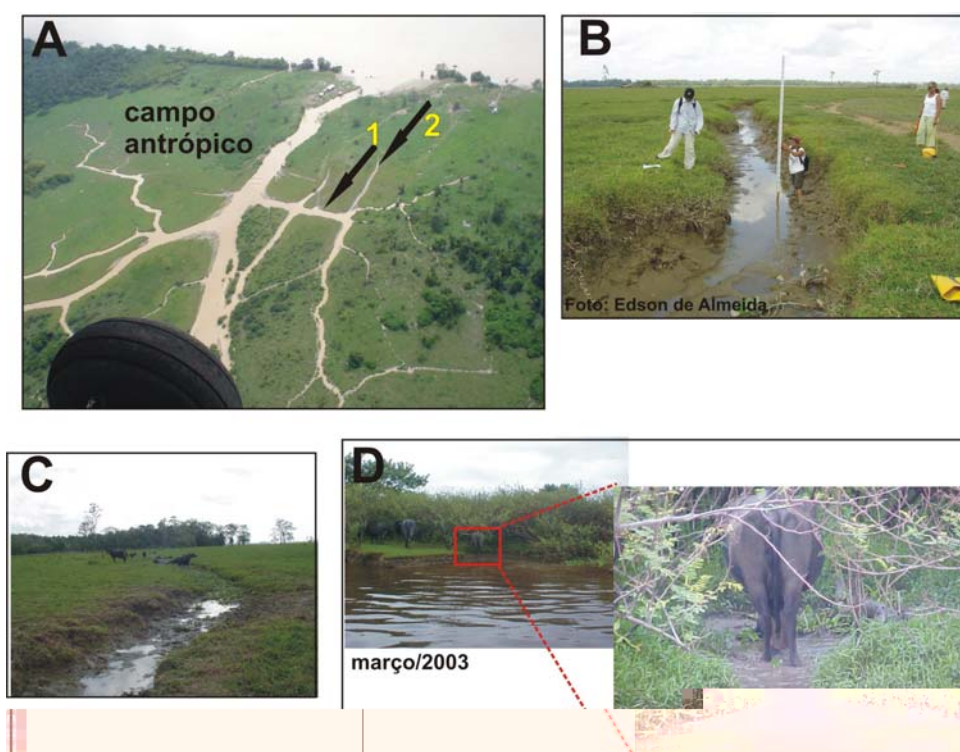


Figura 5.45: Fotografia aérea oblíqua ilustrando canal artificial (A1) com forma retangular desenvolvido na planície de inundação pelo pisoteio de gado; ravina (A2) a partir da qual está se desenvolvendo uma vala; B) canal artificial bem desenvolvido; C) canal artificial com búfalos e; D) trilha em processo de evolução para canal artificial. Foto de sobrevôo. Odete Silveira, acervo IBAMA.

A evolução dos canais artificiais é rápida. Na Figura 45D o canal artificial gerado possuía uma largura de 1,50 metro em março de 2004. Um ano depois, a largura desse canal era de 10 metros em sua boca na margem do Araguari.

Outra feição bastante comum na área é a presença de pequenos lagos e bacias, as quais são desenvolvidas a partir do hábito do rebanho a banhar-se em poças. Estas feições possuem formas arredondadas de dimensões centimétricas a métricas (Fig. 5.46A e B), que são em função do tamanho do indivíduo ou quantidade de rebanho sobre o terreno.



Figura 5.46: Poças na planície de inundação. A) poça seca; B) poças com água em período chuvoso; C) búfalos em poça no período chuvoso.

Tanto as ravinas como as feições de terraços nas bordas dos canais artificiais já foram discutidas na literatura por Trimble e Mendel (1995) em sua revisão abordando o gado como agente modelador de relevo (ver Capítulo 4).

- Efeitos sobre os processos de sedimentação

Esta interferência pode ocorrer através da disponibilização de sedimentos a partir da erosão do terreno para formação das rampas, ravinas e valas, e da ressuspensão de sedimentos dos canais, lagos e bacias de inundação (Fig. 5.47).

Os resultados das medidas de concentração de sólidos em suspensão nas drenagens, duas com influência da criação de búfalos (Igarapé Novo e Igarapé Santana) e uma sem influência efetiva (Igarapé Natural), demonstram uma variação significativa nos valores de concentração de sedimentos.

No igarapé Novo a concentração de sedimentos aumenta à medida que se aproxima do interior da planície de inundação nos dois períodos sazonais (setembro/2004 e março/2005), com concentração de sedimentos maior para o período chuvoso (Fig. 5.48), resultado esperado uma vez que nesse período a lavagem dos campos é mais efetiva. Para o igarapé Santana, a taxa de concentração de sedimentos é maior para setembro de 2004, aumentando para o interior da planície de inundação, indicando provavelmente a disponibilidade de sedimentos dentro dos canais sob a influência direta de búfalos (Fig. 5.49A). Para o igarapé natural as taxas de sedimentos em suspensão apesar de valores menores que o Igarapé Novo, apresentam a mesma tendência desta drenagem (Figs. 5.48 e 5.49B).

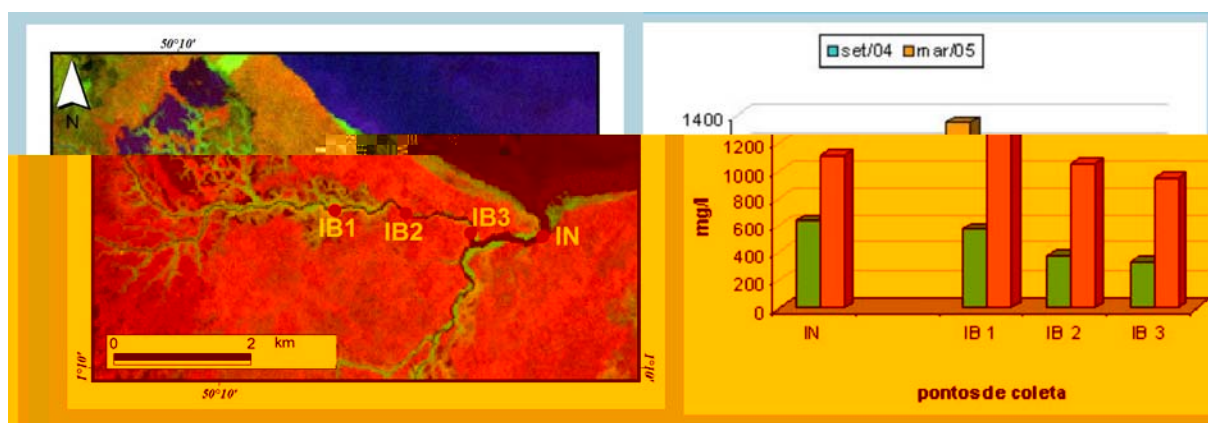


Figura 5.48: Concentração de sedimentos em suspensão para o igarapé Novo, localidade sob a influência do fenômeno da pororoca e com a maioria do rebanho localizado fora da área de coleta dos dados. Composição colorida de imagem Landsat TM5 de 01/08/2004, bandas 4, 7 e 2 nos canais R, G e B.

A variação significativa na taxa de sedimentos em suspensão entre o igarapé Novo e o igarapé Santana, pode ser atribuída à atuação do fenômeno da pororoca, que não ocorre no igarapé Santana. Para este igarapé, os valores de concentração de sedimentos em suspensão, embora menores do que o Igarapé Novo, aumentam para o interior da planície costeira em setembro de 2004, indicando que a pecuária pode ser um fator importante nessa distribuição de sedimentos. Em março as águas mais altas permitiriam a diluição dos sedimentos. O igarapé natural possui as mais baixas taxas de sedimentos em suspensão, o que seria normal por estar fora da área de influência da pororoca e ter suas margens com a floresta de várzea ainda preservada, inibindo o processo de erosão.

Os resultados da concentração de sedimentos em suspensão nas águas superficiais das drenagens estudadas indicam que a variação nesse parâmetro não pode ser atribuída exclusivamente à atividade de pecuária, principalmente onde a pororoca desempenha um papel fundamental, conforme visto no item 5.3.5.

- Efeitos sobre a cobertura vegetal

Os efeitos do pastoreio e pisoteio do gado é um fator de redução da cobertura vegetal natural na região.

O pastoreio do gado torna a cobertura vegetal muito homogênea e bem rasteira ao solo (Fig. 5.42C), expondo o solo aos processos erosionais. Assim uma variação na cobertura vegetal natural pode ser observada resultando em paisagem diferenciada dentro de uma mesma fazenda, embora sobre processos naturais semelhantes. A destruição da cobertura vegetal é observada principalmente nas áreas de “malhadas” e de aglomeração do gado para repouso.

O efeito do pisoteio e pastoreio do gado também pode causar efeitos sobre o desenvolvimento e a diversidade da cobertura vegetal, uma vez que algumas espécies podem deixar de se desenvolver ou mudar de hábito (Costa Neto, com. verbal). Proliferação de espécies invasoras (danosas ao rebanho) como o algodão bravo (*Imomoea cranea ssp fistulosa*) tem se tornado um problema na região, sendo atribuída ao intenso pastoreio por búfalos de acordo com Meirelles e Mochiutti (2000), o que reduz a biodiversidade local. Os efeitos sobre a cobertura vegetal são mais visíveis geralmente nos locais de malhadas, subida de gado e próximo às redes de drenagens.

Associada aos efeitos morfológicos, e aos existentes sobre a cobertura vegetal e a sedimentação, está a compactação do solo. As áreas extremamente compactadas estão localizadas nos locais de descanso do rebanho, das trilhas, nas margens dos canais artificiais e naturais, nas ravinas e rampas, nas áreas de malhadas e nas poças que ficam secas durante o período menos chuvoso. Nessas áreas a cobertura vegetal é praticamente inexistente devido ao contínuo pisoteio pelo gado.

5.4.2 Efeitos Associados à Interferência Humana

Estes efeitos não estão associados diretamente ao pastoreio e pisoteio do gado, porém ao desenvolvimento da atividade de pecuária e estão relacionados as atividades de desmatamento, construção de cercas (ver item 5.2.2), construção de aterros e abertura de canais.

- desmatamento

O desmatamento está associado não só à limpeza da área para implantação de fazendas (Fig. 5.36), como também para implantação de pastos para bovinos e eqüinos. As clareiras abertas seccionam a paisagem (ver Capítulo 8) e auxiliam na erosão das margens das drenagens, disponibilizando sedimentos para dos corpos de água. O desmatamento é realizado também para limpeza das áreas de fazendas principalmente nas margens do Araguari, onde a regeneração da área inicia-se a partir do crescimento de uma vegetação secundária dominada localmente de juquiris (*Mimosa pigra*).

- construção de cercas

As cercas interferem no fluxo livre de água durante as inundações (Fig. 5.50A) influenciando no escoamento superficial. Constituem-se também barreiras físicas para o deslocamento de vegetação aquática (Capítulo 8). As cercas geram obstáculos que separam áreas com níveis diferenciados de pastoreio (Fig. 5.50B) em função do confinamento do rebanho, como também fazem a separação entre áreas de florestas preservadas e áreas pastoreadas. Em alguns locais geram proteção contra a erosão nas margens dos estuários, impedindo o deslocamento de gado (Fig. 5.41A). Em função disso separam áreas com paisagens diferenciadas que podem ser observadas em imagens de satélite (ver Capítulo 8).

- construção de aterros

A construção de aterros (“maromba”) funciona como uma barreira física para circulação d’água e vegetação flutuante, porém sua ação é localizada na área, não se detectando modificação em função dessa estrutura.



Figura 5.50: A) Cerca impedindo o fluxo livre de águas durante o evento da pororoca (abril de 2002); B) cerca servindo de limite para fazenda resultando em diferenciação no solo entre uma área intensamente pastoreada e pisoteada e uma área com pouco pastoreio.

- abertura de canais

A abertura induzida de canais artificiais é realizada com a finalidade de formar drenagens a fim de facilitar acesso a fazendas, ou até mesmo impedir processos erosionais em direção as habitações desviando as drenagens, como detectado em campo. Este tipo de ação ocorre há muito tempo na região, sendo feita através de instrumentos como enxadas e pás, reboque de canoas ou utilizando o rebanho. Os canais artificiais produzidos dessa forma inicialmente têm um metro de largura (o suficiente para passar uma canoa) e poucos metros de extensão, segundo informações dos moradores locais. Feito a vala, os processos naturais se encarregam de transformá-los em verdadeiras bacias de drenagens a exemplo do que ocorreu no Igarapé Santana (ver capítulos 9 e 10).

5.5. CONCLUSÕES

As forçantes e processos associados às modificações na costa amazônica possuem uma escala temporal e espacial variada. De um modo geral as forçantes naturais afetam visivelmente as condições de inundação (Tab. 5.1), cobertura vegetal e a disponibilidade de sedimentos, que terão reflexos na morfologia da planície costeira (ver capítulos 9 e 10).

A forçante antrópica associada à pecuária possui uma distribuição espacial e temporal influenciada não só por condicionantes sócio-econômicas, mas também pelas condições naturais da área. A ação da pecuária sobre os ambientes costeiros amazônicos interage através de vários mecanismos alterando a morfologia, cobertura vegetal e provavelmente os processos de sedimentação. Essas interações podem ocorrer através de diversos caminhos (Fig. 5.51) e são passíveis de serem estudadas, porém, algumas não puderam ser detectadas nesta pesquisa. É difícil, entretanto, concluir quanto do ambiente é afetado pela atividade da pecuária ou pelos processos naturais, sem estabelecer indicadores que possam ser monitoráveis, para os quais o sensoriamento pode ser uma ferramenta útil (ver Capítulo 9).

Os resultados da atuação das forçantes discutidas neste capítulo aliados à evolução geológica da área podem resultar em modificações ambientais passíveis de serem detectadas por sensores remotos, as quais serão discutidas nos capítulos 9 e 10 desta tese.



Figura 5.18: Registro do trajeto da pororoca no estuário do Araguari com as fotos referenciadas. Equinócio de março de 2004. Imagem Landsat 7, ETM+, composição da primeira componente principal das bandas 1, 2 e 3; banda 4 e primeira componente principal das bandas 7 e 5 em BRG. Fonte da imagem: GLCF.



Figura 5.19: Seqüência da entrada da pororoca no estuário do rio Araguari na localidade de Rocinha. A) Surgimento da onda; B) pororoca chegando às margens do estuário; C) explosão da onda e ultrapassagem das águas nas margens do estuário (seta) com concomitante entrada nos canais menores; D) breve recuo das águas após a passagem da onda; E) turbulência após a passagem da onda. A seqüência entre os momentos B e C ocorre em cerca de 2 minutos preenchendo o canal do estuário cuja altura do terraço é cerca de 2 metros. Fotos: acervo IEPA.

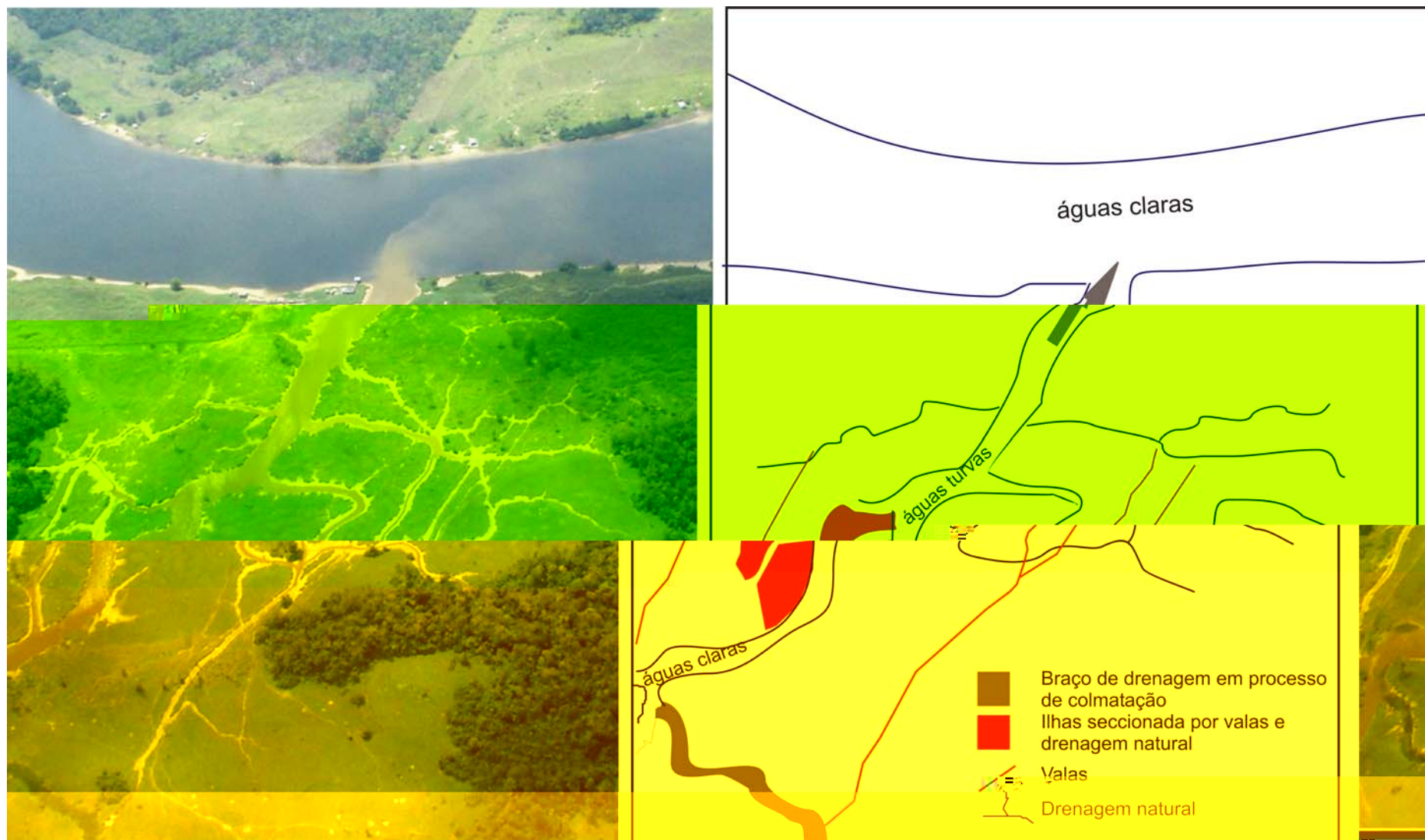


Figura 5.47: Fotografia aérea oblíqua ilustrando pluma de sedimentos em suspensão disponibilizados por pisoteio de gado em canal secundário desaguando no rio Araguari. Local sem influência da pororoca. Observar as trilhas e ravinas truncando a rede de drenagens meandranes e interligando os braços da drenagem. Foto: Odete Silveira. Acervo IBAMA.

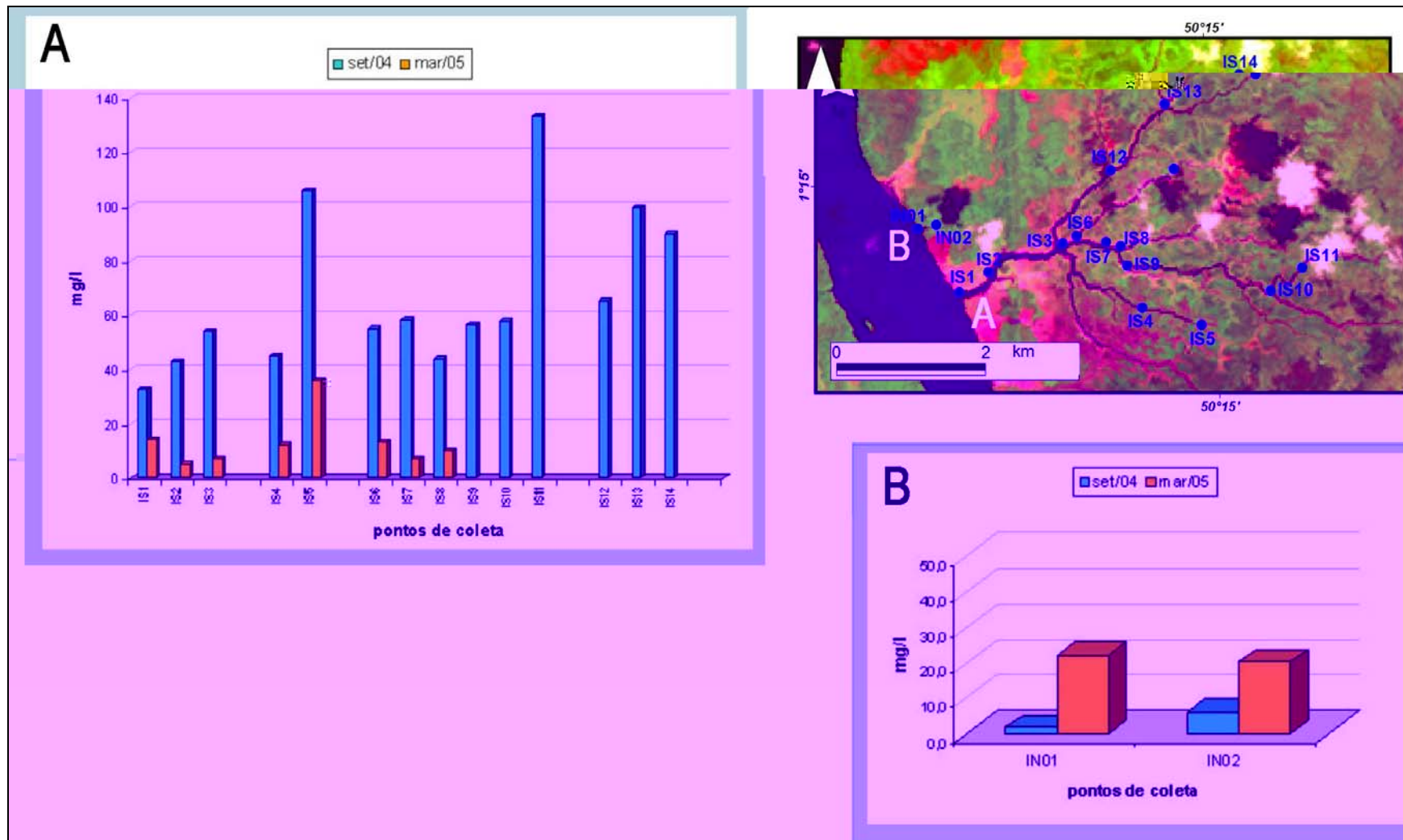


Figura 5.49: Concentração de sedimentos em suspensão. A) igarapé natural, sem atividade de bubalinocultura e; B) igarapé Santana, fora da área de influência da pororoca e diretamente influenciada pelo rebanho bubalino na área de coleta dos dados. Imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição das bandas 7, 4, 3 em RGB, fonte: GLCF.

Tabela 5.1: Mudanças do nível de inundação em função das forçantes climáticas e oceanográficas, suas escalas temporais e as variações do nível de água sobre a planície de inundação e resultados.

Causas	Escala de Tempo (períodicidade)	Efeito Vertical no Nível de Água	Resultados
Interação Oceano-Atmosfera/ El-Niño	2- 7 anos (dezembro a fevereiro)	Diminuição das condições de inundações sobre a planície costeira	Magnificação ou minimização da descarga hídrica e sólida e tempo de inundação; Variação nas zonas posicionais e erosionais.
Interação Oceano-Atmosfera/La Niña	2-7 anos (dezembro a fevereiro)	Aumento do nível de água na planície costeira na época de inundações	
Clima/ZCIT	Sazonal- 6 meses (~janeiro a junho)	Planície inundada nos meses de março a junho (~1,5 m). Condição modificada em função dos eventos de El-Niño e La Niña)	Variação na descarga hídrica e sólida (descarga fluvial máxima entre abril-junho). Precipitação e nebulosidade maior de janeiro a agosto para a costa do Amapá. Maior disponibilidade de sedimentos em suspensão.
Clima/ZCIT	Sazonal – 6 meses (~julho a dezembro)	Planície sem inundação entre os meses de julho a fevereiro. Condição modificada em função dos eventos de El-Niño e La Niña)	Variação na descarga hídrica e sólida (descarga fluvial mínima entre outubro-novembro). Precipitação e nebulosidade menor entre setembro e dezembro para a costa do Amapá. Menor disponibilidade de sedimentos em suspensão.
Oceanográficos/ Marés	Solstícios e equinócios (182 dias); Sigízias e quadraturas (14 dias); Marés semi-diurnas (~12 horas) Enchente e vazante (~2 a 10 horas)	De 1 a 10 m dependendo da localização na costa. Na planície de inundação dos estuários reforça a amplitude da inundação nos períodos de cheias	Variação na remobilização, transporte, deposição e erosão de sedimentos; Variação na qualidade da água ; Variação na taxa de erosão e sedimentação; Variação nos estratos sedimentares; Variação na extensão da pluma de turbidez; Influencia na morfologia através dos processos sedimentares.
Oceanográficos/ Marés-Pororoça	Equinócios (182 dias) Sigízias (14 dias) Marés semi-diurnas (~12 horas) Enchente (~2 minutos)	Rápida elevação do nível d'água. Aproximadamente 2 metros em 2 a 3 minutos dentro do estuário do Araguari.	Intensifica a remobilização, erosão, deposição de sedimentos e erosão de sedimentos; Aumento da concentração de sedimentos na foz do rio Araguari; Variação dos estratos sedimentares; Retrabalhamento e deposição acentuada de sedimentos nas áreas de intermarés; Influencia na morfologia através dos processos sedimentares; Variação na qualidade da água.
Oceanográficos/ Ventos e Ondas	Sazonal	Provável aumento do nível de água nos estuários e linha de costa	Sem informação sobre a costa; Represamento da pluma de sedimentação do rio Amazonas.

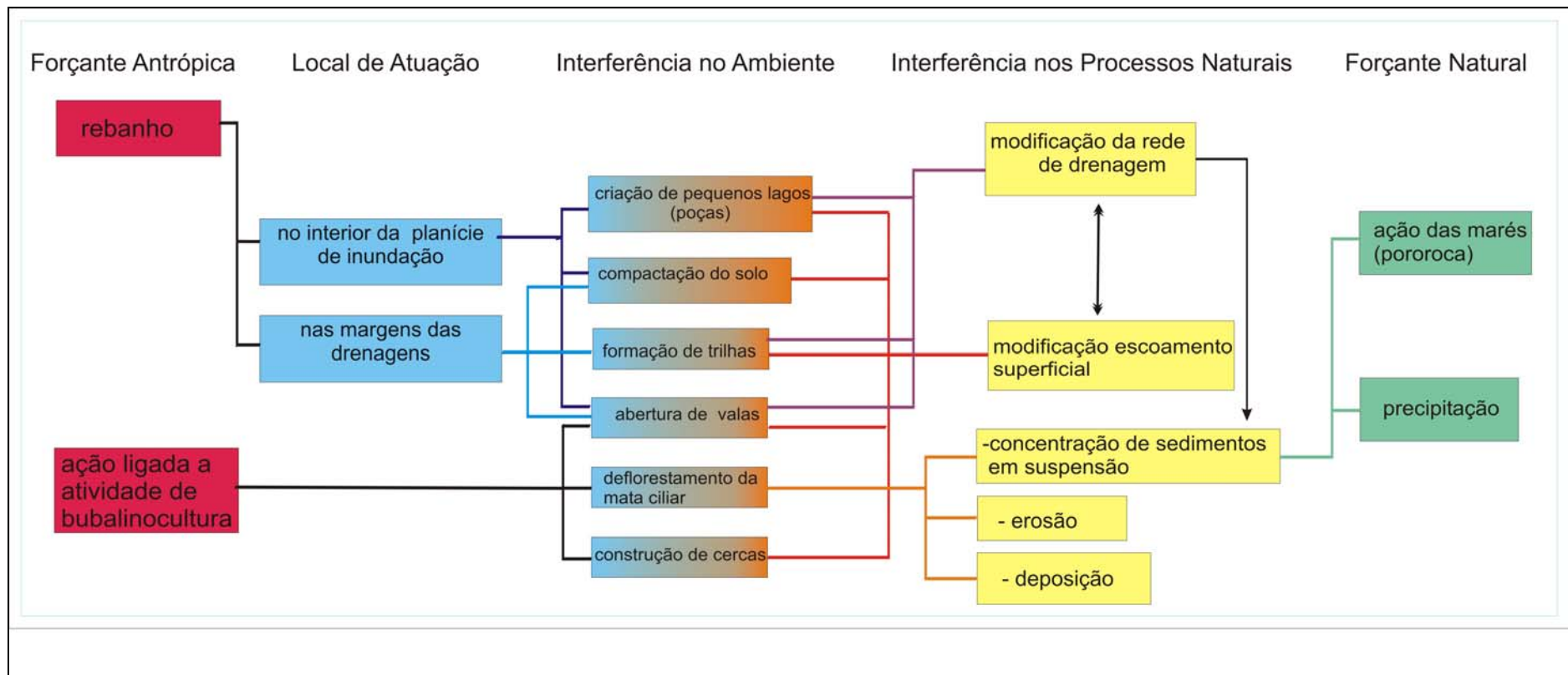


Figura 5:51: Diagrama esquemático da interação entre os processos naturais e antrópicos relacionados com a atividade de bubalinocultura na planície costeira do Amapá. Modificado de Santos e Figueiredo (2002 e 2003).

6 O SENSORIAMENTO REMOTO E AS REGIÕES COSTEIRAS TROPICAIS.....	141
6.1. O SENSORIAMENTO REMOTO.....	141
6.1.1. O Sistema de Aquisição de Dados.....	141
6.1.2 O Sistema de Análise dos Dados.....	149
6.1.3 Premissas Básicas para Aplicação do Sensoriamento Remoto em Ambientes Costeiros Tropicais.....	154
6.2 EXEMPLO DE APLICAÇÕES EM COSTAS TROPICAIS	156
6.2.1 Mapeamento de Ambientes	156
6.2.2 Detecção de Modificações.....	157
6.2.3 Monitoramento de Áreas Úmidas.....	158
6.2.4 Monitoramento das Águas Costeiras.....	159
6.2.5 Monitoramento de Derrames de Óleo	161
6.2.6 Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura do Solo	161
6.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	162

PARTE III

SENSORIAMENTO REMOTO EM REGIÕES COSTEIRAS TROPICAIS: FERRAMENTA E SUAS APLICAÇÕES

Capítulo 6

O SENSORIAMENTO REMOTO E AS REGIÕES COSTEIRAS TROPICAIS

O sensoriamento remoto como ferramenta para o estudo de ambientes costeiros tropicais possibilita a identificação e o monitoramento contínuo das modificações costeiras, otimizando os recursos financeiros, uma vez que é capaz de observar áreas extensas e de difícil acesso. Além disso, permite a seleção de alvos, facilitando a logística para os trabalhos de campo e possibilita a coleta de informações em locais mais apropriados a partir da visão geral do ambiente.

Deste modo deve ser percebido em seu contexto de aquisição, tratamento e aplicação para os ambientes costeiros tropicais, que possuem uma dinâmica própria, nem sempre condizente com a realidade da ferramenta.

6.1. O SENSORIAMENTO REMOTO

No sensoriamento remoto existem quatro elementos principais (atmosfera, cena, sensor e a análise de dados), que podem ser abordados segundo Abkar *et al.* (2000) em dois sistemas principais: o sistema de aquisição de dados e o sistema de análise de dados (Fig. 6.1).

6.1.1. O Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados, para imageamento da superfície terrestre, é composto por três componentes: a atmosfera, a cena e o sensor (Abkar *et al.*, 2000).

A atmosfera funciona modo um filtro, onde a energia eletromagnética pode ser absorvida ou dispersada e afeta a quantidade de energia que retorna para o sensor, seja ela proveniente de uma fonte natural (sol) ou artificial (sensor).

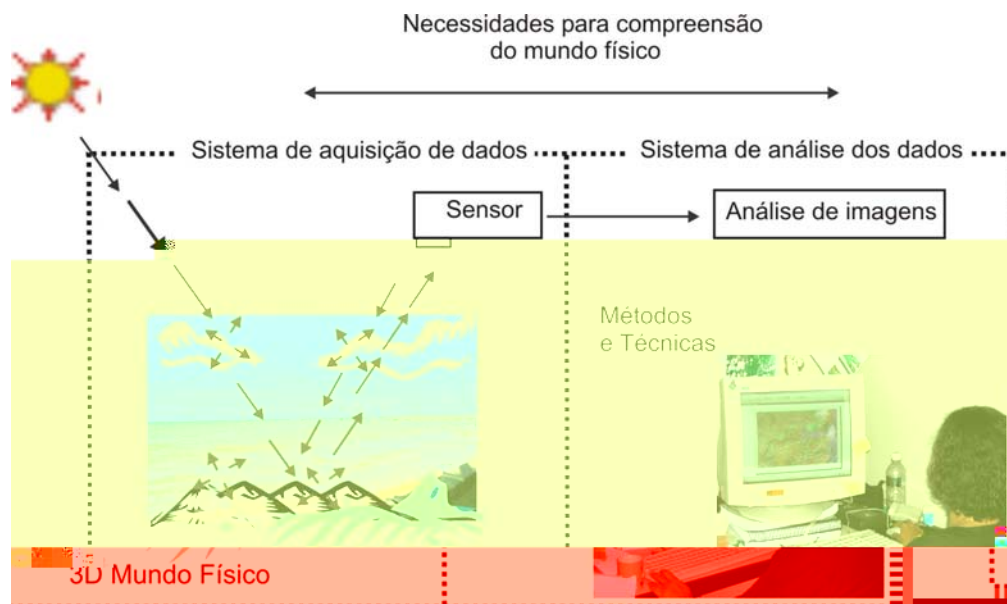


Figura 6.1: Diagrama esquemático dos sistemas de aquisição e análise dos dados no sensoriamento remoto e seus componentes principais. Elaborado a partir de Abkar *et al.* (2000).

A cena é o alvo principal do sensoriamento remoto e contém informações de objetos do mundo físico. Estes objetos visualizados na cena são resultantes das interações dos alvos na Terra com as radiações emitida, refletida e transmitida pelo sensor ou pelo sol.

O componente sensor é determinante para transformar as ondas eletromagnéticas recebidas do mundo físico em imagens de duas dimensões, cuja energia dos objetos é medida em números digitais. As características, temporal, espacial e espectral dos sensores, determinarão o quanto se pode capturar das imagens do mundo físico, estabelecendo assim a quantidade e qualidade de informações que podem ser extraídas.

Os sensores, ativos ou passivos, utilizados no sistema de aquisição de dados em sensoriamento remoto operam em diferentes comprimentos de ondas, destacando-se os radares e os sensores óticos.

- O RADAR (*RA*dio *DE*tectio *AN*d *R*anging)

Os radares possuem três características principais: 1) transmitem sinais de microondas (1mm até 1 m) em direção ao alvo; 2) recebem parte da energia transmitida que é retroespalhada pelo alvo; 3) registram a intensidade (detecção) e a defasagem (indicação da distância) dos sinais de retorno.

Por ser um sensor ativo pode funcionar a qualquer hora do dia ou da noite e não ter suas propagações de microondas afetadas pela atmosfera, em função do radar poder funcionar o tempo todo (Polidori, 1997). Entretanto, alguns tipos de cobertura de nuvens podem interferir no radar para comprimento de ondas menores que 2 cm, e a chuva se torna um fator adverso para comprimentos de ondas menores que 4 cm (CCRS, 2001).

Os sistemas de radar podem ser aerotransportados ou a bordo de satélites. Os sistemas aerotransportados iniciaram sua utilização para fins militares durante a Segunda Guerra Mundial e para fins civis desde 1970. Atualmente existe uma série de satélites com sensores em diferentes comprimentos de microondas (Tab. 6.1) que constituem um potencial para aplicação nas áreas costeiras tropicais úmidas (ver item 6.3 e Capítulo 11).

Tabela 6.1: Radares orbitais imageadores com suas respectivas características.

satélite/sensor	lançamento	banda	polarização	ângulo de incidência (°)	resolução espacial da imagem (range x azimuth)
SEASAT	1978	L	HH	23	25 m x 25 m
SIR-A	1981	L	HH	50	40 m x 40 m
SIR-B	1984	L	HH	15-60	58-16 m x 20-30 m
ALMAZ-1	1987	S	HH	30-60	15-30 m
ERS-1/AMI SAR	1991	C	VV	20-26	25 x 25 m
JERS-1	1992	L	HH	35	18 m
SIR-C	1994	C, L	HH, VV, HV, VH	15-55	10-200 m
X-SAR	1994	X	VV	15-55	10-200 m
RADARSAT-1	1995	C	HH	10-60	10-100 m azimuth
ERS-2/AMI	1995	C	VV	20-26	25 x 25 m
ASAR	2002	C	HH e/ou VV	15-45	25 x 25 m
ENVISAT					150 x 150 m
ALOS/PALSAR	2005	L	HH, VV, HV, VH	08-60	7-100 m range

Na aplicação das imagens SAR, o conhecimento dos parâmetros dos sensores (comprimento de onda, ângulo de incidência, polarização) e da interação da onda com o terreno são fundamentais para a distinção de feições geográficas.

O comprimento de onda determina a profundidade de penetração em uma superfície. Esta capacidade aumenta para comprimento de ondas maiores. Ele determina também, junto com o ângulo de incidência, a rugosidade da superfície da terra ou do mar (Fig. 6.2).

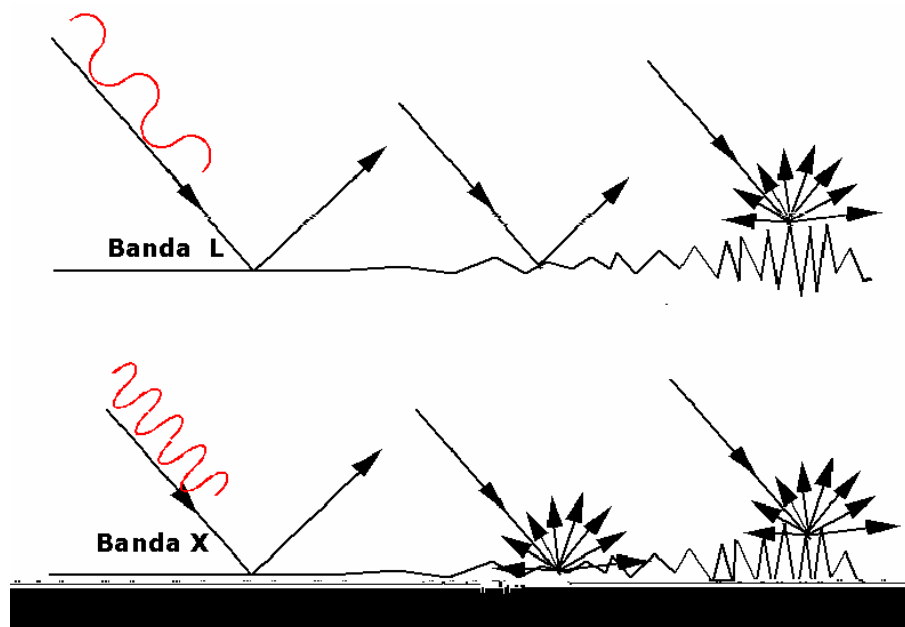


Figura 6.2: Relação entre rugosidade e comprimento de onda. A superfície será lisa se suas variações de altura são muito inferiores ao comprimento de onda do radar. Neste caso a maior parte da energia incidente é refletida na direção oposta ao radar. Figura cedida por Laurent Polidori.

O ângulo de incidência determinará o comportamento da reflexão e penetração da onda de radar sobre uma superfície. O aumento do ângulo de incidência diminui a refletividade do alvo resultando em uma resposta baixa ou escura. No entanto, como nem sempre a superfície imageada é plana, o ângulo de incidência local (ângulo entre a iluminação do radar e a linha perpendicular ao terreno) é importante e em parte determina a tonalidade e o brilho da cena (CCRS, 1997). Este ângulo influencia na intensidade do retroespalhamento e essa influência pode ser modelada para superfícies homogêneas. Em presença de relevo pronunciado, o ângulo de incidência também influencia nas distorções geométricas das imagens, produzindo efeitos de sombra, encurtamento e sobreposição.

As diferentes polarizações (ver Tab. 6.1) também podem auxiliar na distinção da estrutura física dos alvos, através do retroespalhamento. Quando a onda emitida pelo radar atinge o alvo, a polarização pode ser modificada, retroespalhando a onda em outra polarização (CCRS, 2001; Polidori, 1997). Este processo afeta o modo como o alvo aparece nas cenas polarimétricas, favorecendo o estudo do mesmo. Por outro lado, a orientação do alvo também influencia na resposta polarimétrica.

A aplicação do RADAR em regiões tropicais deve-se principalmente à sua precisão de localização em função de sua geometria estável e sensibilidade às características da paisagem,

principalmente o relevo (Polidori, 1997). Em áreas costeiras com baixo relevo e águas rasas, como é o caso da costa amazônica (Fig. 6.3), dependendo do comprimento de onda utilizado estas imagens podem constituir outros tipos de potencialidade e limitações (ver Capítulo 11).



Figura 6.3: Imagem ERS no estuário do rio Oiapoque. Observar o efeito da rugosidade da superfície da água indicando a batimetria nas águas rasas. Fonte: ESA 1992.

- Os Sensores Óticos

Os sensores óticos representam a técnica mais tradicional para aquisição de imagens de satélite. Eles utilizam a luz solar como fonte de energia e funcionam na faixa do visível e infravermelho (Tab. 6.2) e registram a radiação refletida pelos alvos sobre a superfície da terra.

Tabela 6.2: Regiões do espectro eletromagnético utilizados em sensoriamento remoto. Fonte: Schowengerdt (1997).

nome	comprimento de onda	origem da radiação	propriedade de interesse
visível	0,4 – 0,7 μm	solar	reflectância
infravermelho próximo	0,7 – 1,1 μm	solar	reflectância
infravermelho de pequeno comprimento de onda	1,1 – 1,35 μm	solar	reflectância
	1,4 – 1,8 μm		
	2 – 2,5 μm		
infravermelho médio	3 – 4 μm	solar,	reflectância,
	4,5 – 5 μm	termal	temperatura
infravermelho termal	8 – 9,5 μm	termal	temperatura
	10 – 14 μm		

Diferentemente do radar, a habilidade dos sensores óticos de distinguir sinais que estão espectralmente próximos depende principalmente do intervalo de comprimento de onda em que eles operam, e sua resolução espacial, radiométrica e temporal são elementos importantes no estudo de modificações. Existem sensores nas mais variadas resoluções espaciais (métricas a quilométricas) e podem operar em: a) bandas largas, como as fotografias aéreas em preto e branco; b) bandas espectrais menos largas e com 3 a 6 bandas de comprimento de onda (sensores multiespectrais); c) estreitas bandas espectrais, com quantidade de bandas superiores aos sensores multiespectrais e são chamados sensores hiperespectrais. Estes possuem a vantagem de discriminar melhor entre alvos nas imagens devido à coleta simultânea de dados em várias bandas espectrais bem estreitas.

Na aplicação desses sensores óticos, os fatores que influenciam na resposta dos alvos são os elementos que absorvem, transmitem e refletem a energia (umidade e propriedades químicas e mineralógicas do solo e das rochas, atividade de fotossíntese e tipo de dossel da vegetação, conteúdo de fitoplâncton e matéria orgânica na água, etc...), rugosidade superficial do alvo, ângulo de observação e iluminação. As resoluções espacial, espectral, temporal e radiométrica dos sensores são elementos importantes para o estudo dos recursos ambientais e sua dinâmica.

Em ambientes tropicais a presença constante de nuvens interfere freqüentemente na disponibilidade de imagens para estudos ambientais. Deste modo sensores óticos com alta resolução temporal podem minimizar esse problema.

Altas resoluções espectrais, nas várias faixas do espectro do visível e infravermelho, permitem a descrição das paisagens utilizando a cor com uma informação essencial nessa aplicação. É importante também no monitoramento dos fenômenos que ocorrem nos ambientes.

Determinante na escala de observação dos fenômenos globais, regionais e locais sobre a superfície da terra ou do mar é a resolução espacial, a qual está intrinsecamente relacionada com a sua faixa de imageamento. Isto permite que os sensores sejam classificados como de baixa, intermediária e alta resolução, independente de serem ativos ou passivos. Abaixo são apresentados alguns sensores óticos que operam nessas resoluções.

➤ Sensores de Baixa Resolução – Observação Global e Regional

Nesta categoria estão os sensores de que operam em bandas largas e geoestacionários. Estes sensores permitem a observação da terra em escala global, com imagem em largas faixas de imageamento (mais de 100 até 5000 km), possuindo resolução espacial acima de 100 metros a exemplo do NOAA-AVRR, ORBIEW 2-SeaWiFS, MeRIS, MODIS, SPOT-vegetation, CBERS-WFI, ERS 2-ATSR e METEOSAT. Esta baixa resolução permite em contrapartida uma alta repetitividade de observação de um ponto na superfície da terra, em virtude da alta resolução temporal que é de até 10 vezes por dia no caso do NOAA, que opera com vários satélites, favorecendo o monitoramento de fenômenos de grande escala e alta frequência temporal. Assim, fenômenos importantes que afetam as regiões costeiras tropicais (ver Capítulo 4) como El-Niño e variação da ZCIT podem ser observados e monitorados por esses sensores (Fig. 6.4).

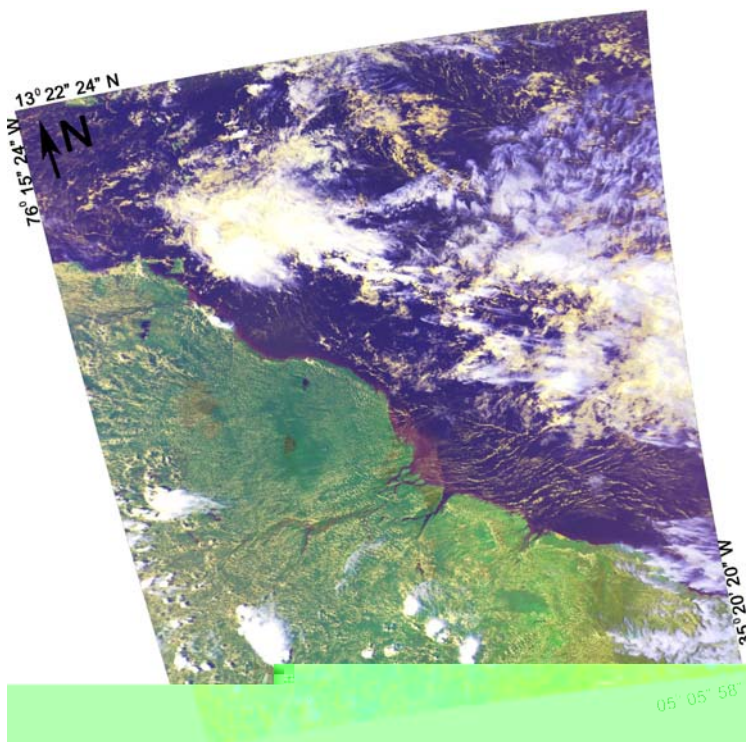


Figura 6.4: Imagem de novembro de 2002, do satélite NOAA na região da costa amazônica. Observar a concentração de nuvens na ZCIT. Composição colorida das bandas 4, 2, 1 nos canais RGB, respectivamente. Fonte: IRD/ US Espace – programme SEASNet.

➤ Sensores de Resolução Intermediária – Observação Regional e Sub-Regional

Estes sensores são em sua maioria multiespectrais, destacando-se os dos satélites LANDSAT-TM, SPOT-HRV, CBERS-CCD, TERRA-ASTER, entre outros. Nesse conjunto está o Landsat MSS que possui dados desde a década de 1970. A resolução intermediária (5 a 100 m) das imagens coletadas permite a observação de fenômenos regionais (Fig. 6.5) e até

mesmos locais. Assim, processos costeiros podem ser monitorados nos estuários, baías e águas costeiras, definindo desta forma o seu potencial para as regiões tropicais que apresentam a problemática de constante cobertura de nuvens sob a influência da ZCIT.

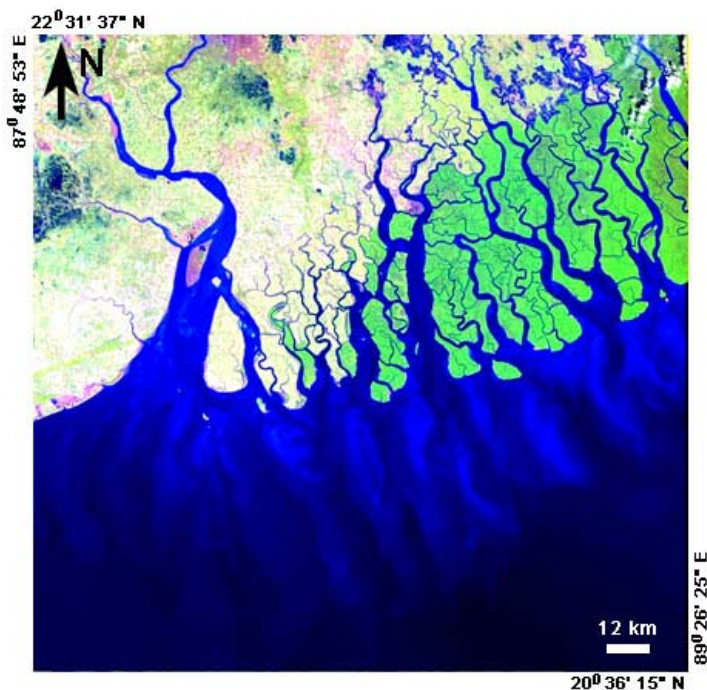


Figura 6.5: Imagem do sensor Landsat 7 ETM+, composição colorida das bandas 5, 4 e 3, em RGB, respectivamente. Estuário do rio Hoogly, costa da Índia, onde ocorre também a pororoca. Notar a pluma de sedimentos indicada pela diferença na cor da água na imagem. <http://glovis.usgs.gov/ImgViewer>. Acessado em março de 2006.

➤ Sensores de Alta Resolução – Observação Local

Os sensores de alta resolução espacial (1 a 5 m) são importantes para uma visão mais detalhada dos ambientes, permitindo estudos em nível local. A aquisição de dados por estes sensores é realizada tanto de forma aerotransportada, a exemplo das fotografias aéreas verticais e videografia, como também através de satélites. Paulatinamente estes sensores vêm sendo utilizados para a execução de mapeamento e cartografia de áreas costeiras.

Os sensores fotográficos aerotransportados foram os mais utilizados desde meados do século XX, e seus produtos são apresentados na forma de fotografias aéreas pancromáticas (preto-e-brancas) ou coloridas (normal e falsa cor) (Moreira, 2003). Estes sensores constituíram e ainda constituem, a nível mundial, um método para cartografia do terreno.

A videografia é um método aerotransportado de aquisição de dados que vem sendo utilizado para adquirir imagens no espectro visível e infra-vermelho, desde os anos 1980 (Galisson, 2000). Foi desenvolvida como uma técnica alternativa de recobrimento aéreo

devido à necessidade de monitoramento rápido dos ambientes sem a necessidade de grandes precisões e com custos mais baixos do que os recobrimentos aerofotogramétricos.

Os sensores orbitais foram implementados a partir do final da década de 1990 e estão representados pelo IKONOS, QUICKBIRD e SPOT5-HRG (Pan e Supermode) (Fig. 6.6). Por possuírem ainda um custo relativamente alto, a utilização desses sensores deve ter um compromisso entre o método e o objetivo do trabalho. Isto é importante para as regiões tropicais úmidas, onde existem ambientes com consideráveis extensões.



Figura 6.6: Exemplo de dado adquirido com o sensor de alta resolução (SPOT 5-HRG) em área tropical, Indonésia. http://www.spot.com/automne_modules_files/simcorp_gal/ edited. Acessado em março de 2006.

6.1.2 O Sistema de Análise dos Dados

O sistema de análise de imagens é um dos mais importantes componentes na aplicação do sensoriamento remoto, pois é neste ponto que os dados transformam-se em informações (Abkar *et al.*, 2000). Essa transformação dependerá do poder de resolução dos componentes do sistema de aquisição de dados e da capacidade do usuário de analisar as imagens através dos métodos e técnicas disponíveis no mercado.

Esta capacidade está intrinsecamente associada com as necessidades básicas para implementação e uso de imagens de sensores remotos (ver item 6.2.3). Basicamente para a análise dos dados dois elementos são necessários: a infra-estrutura (hardwares e softwares) compatível com a análise a ser realizada e o conhecimento dos métodos e técnicas de processamento digital de imagens.

Entre as abordagens de análise de dados para extração de informações em áreas costeiras a partir de dados de sensores remotos, as mais utilizadas são elencadas abaixo.

- Fotointerpretação

Como uma das primeiras técnicas aplicadas para utilização de imagens de sensores remotos, a fotointerpretação tem sido usada tradicionalmente desde o advento das fotografias aéreas, iniciando *a priori* de modo analógico com o uso de estereoscópios e atualmente na forma de imagens digitais, escaneadas ou adquiridas através de sensores digitais. O método foi expandido para as imagens de satélite.

A fotointerpretação é baseada nas características das feições observadas nas imagens como: padrão, tonalidade e cor, forma e tamanho, textura, padrão, altura, sombra, elementos de contexto (Jensen, 1996; Moreira, 2003). Ela envolve duas fases: a observação e a interpretação. A primeira analisa a imagem com o propósito de reconhecer simplesmente as diferentes feições da paisagem, sem compromisso com a correta identificação do alvo (Moreira, 2003), analisando-se a escala da foto, época de aquisição, etc. Na interpretação faz-se a avaliação das partes que compõem a imagem e o fotointérprete utiliza seu conhecimento técnico e experiência para separar as diferentes feições contidas na foto. Nesse processo o usuário também utiliza os raciocínios lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar o comportamento de cada objeto contido nas fotos. O resultado da fotointerpretação geralmente é um mapa temático validado em campo. Neste trabalho, a técnica de fotointerpretação foi utilizada a fim de reconhecer os padrões e feições naturais e antrópicas na área da pesquisa e produzir o mapa de ambientes (Capítulo 8, Anexos II e III).

- Combinação de Dados de Sensores Remotos

Esta combinação só é possível graças à disponibilidade e variedade de imagens de sensores remotos existentes atualmente e à implementação e avanço das ferramentas de processamento digital de imagens. Geralmente o intuito deste método é retirar maiores informações das imagens disponíveis, visando melhorar a interpretação dos dados e transformá-los em informações confiáveis.

A combinação dos dados de diferentes sensores requer o cuidado de todos os conjuntos de dados estarem registrados geometricamente entre eles, envolvendo a reamostragem para o mesmo tamanho de pixel. A combinação de imagens pode ser realizada por dois métodos (Polidori *et al.*, em preparação): gráficos e estatísticos.

Os métodos gráficos podem ser executados através da realização da composição colorida de imagens de sensores. As variações na intensidade da cor na composição colorida

resultam das mudanças no espectro dos alvos nos vários sensores ou bandas de imagens de um mesmo sensor. No método gráfico pode-se ainda fazer a simples substituição de banda de imagens. A transformação IHS é muito utilizada para a fusão de sensores óticos e radar. Tal técnica foi avaliada nesta tese, integrando dados do sensor ETM+ e RADARSAT-1 (ver capítulos 8 e 11).

Ao contrário dos métodos gráficos que geram um produto onde cada pixel de uma banda é independente dos outros pixels nas outras bandas, os métodos estatísticos fazem uma comparação global entre as diferentes bandas, calculam e mapeam índices de semelhanças. A análise por componente principal é a técnica mais utilizada e realiza transformações lineares nas imagens, envolvendo processamentos que combinam as informações espectrais coletadas nas várias bandas do sensor, gerando novas imagens com informações espectrais estatisticamente mais contrastadas do que nas bandas originais. As transformações são realizadas pixel a pixel e não dependem da localização espacial dos dados, mas sim das propriedades estatísticas das imagens.

A análise por principal componente também pode ser utilizada para comprimir o conteúdo de informações de numerosas bandas (por exemplo, 7 bandas do TM) para duas ou três bandas de imagens de componente principal reduzindo a dimensionalidade dos dados, através da concentração de informações espectrais dos alvos. Esta técnica foi aplicada neste trabalho para análise dos dados do sensor ETM+ (ver Capítulo 8).

- Análise Multitemporal

A análise multitemporal consiste em comparar imagens de sensores remotos de duas ou mais datas diferentes, permitindo com que informações de diferentes épocas possam ser detectadas e possibilitando assim uma avaliação histórica e o reconhecimento das alterações ocorridas na paisagem de uma região, num dado período de tempo. A técnica permite a análise de modificações históricas recentes desde o aparecimento das fotografias aéreas na década de 1940, podendo ainda retroceder-se na análise histórica usando produtos cartográficos (ver Capítulo 10). Este tipo de análise é uma ferramenta útil para aplicação em ambientes costeiros tropicais sujeitos a rápidas modificações, possibilitando avaliar a sua dinâmica e auxiliando na identificação os processos envolvidos. Entretanto, as altas precipitações e nebulosidades podem restringir esta análise (ver Capítulo 11).

- Classificação

A classificação é um dos métodos mais usados para extração de informações de dados de sensores remotos (Jensen, 2000). Na classificação procura-se rotular cada pixel da imagem a uma classe temática, semelhante ao que se faz na fotointerpretação visual. Para tal utilizam-se algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais (Moreira, 2003).

Este método é aplicado de duas maneiras: supervisionada e não-supervisionada. No primeiro o reconhecimento dos padrões espectrais se baseia em áreas de treinamento, fornecida pelo usuário ao sistema de processamento. A classificação não-supervisionada tenta eliminar a subjetividade do usuário na obtenção das amostras das áreas e agrupar automaticamente os pixels com critérios de semelhança espectral.

Geralmente os algoritmos classificadores não-supervisionados baseiam-se na regra de decisão da distância mínima, radiométrica, entre o valor do nível digital do pixel e o valor médio dos números digitais das classes espectrais contidas na área da imagem (Moreira, 2003).

O objetivo da classificação é um reconhecimento prévio das diferentes classes temáticas existentes na imagem, e não pode ser confundida com o mapeamento de unidades de paisagens e/ou ambientes, uma vez que os vários algoritmos estatísticos permitem apenas o reconhecimento dos padrões espectrais, associando cada número digital a uma resposta espectral. A relação entre as classes espectrais (das imagens) e os padrões das imagens e alvos reais no terreno gera as classes temáticas que são definidas pelo usuário. Como definido por Jensen (2000), classes de informações é o usuário que define, classes espectrais é inerente aos dados do sensor e deve ser identificada e rotulada pelo usuário.

A classificação digital também pode ser utilizada para classificar índices como de textura e de vegetação. O resultado da classificação é um mapa codificado relacionado às diferentes categorias das unidades classificadas com códigos ou cores.

- Topografia e Batimetria

A topografia e a batimetria permitem a visualização da geometria do terreno que está intrinsecamente associada aos processos naturais e fenômenos de antropização de regiões. A topografia (para áreas emersas) e a batimetria (para áreas submersas) permitem conhecer, através de modelos bi ou tridimensionais, a morfologia do terreno.

A técnica mais utilizada para reconstituição do relevo em 3 dimensões é a fotogrametria que foi realizada por muito tempo através de fotografias aéreas estereoscópicas e utilizada mundialmente para a elaboração de mapas planialtimétricos com precisões da ordem de 2 metros para escala de 1:25.000 (Polidori *et al.*, em preparação). A técnica combinada com imagens aéreas serve para estudos ambientais, auxiliando no monitoramento e gerenciamento. Atualmente, modernas técnicas como a topografia por radar da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) permitem a elaboração de modelos digitais de elevação de terreno com acurácia vertical da ordem de +/- 16 m, para a banda C de +/-6 m, para a banda X (Rabus *et al.*, 2003) (ver Capítulo 8). Esta técnica, entretanto, tem suas limitações para regiões de floresta densa como é caso das áreas tropicais (ver Capítulo 11). Outras técnicas altimétricas utilizando o Sistema de Perfílagem a Laser (ALS – *Airbone Laser Scanning*) ou sistema de laser aerotransportado para mapeamento de terreno (ALTM – *Airbone Laser Terrain Mapper*) adquirem dados de elevação do terreno com precisão de um DGPS. O sistema permite que sejam registrados objetos acima do solo (Tavares e Savian, 2003), levando a registrar com maior precisão a topografia do solo em regiões densamente florestadas, como é o caso das regiões tropicais.

A batimetria permite a identificação e modelagem da topografia de fundo em áreas submersas, através de sensores acústicos. Estas informações são utilizadas para estudos hidrodinâmicos e avaliações multitemporais de processos através da migração das formas de fundo. A técnica também é utilizada para auxiliar a navegação em águas costeiras, estuários e baías, apresentando limitações onde o fundo é muito instável e com propriedades acústicas reais desconhecidas. Em regiões tropicais, a presença de massa vegetal flutuante (ver Capítulo 5) impede a correta identificação de seu fundo pela presença do emaranhando de raízes. Em costas lamosas, a presença de lamas fluidas no fundo são capazes de produzir ruídos identificando falsos fundos.

Onde as técnicas batimétricas tradicionais encontram dificuldades, no caso de costas rasas e sujeitas a alta energia, técnicas altimétricas alternativas como o Lidar (*Light Detection And Ranging*) são utilizadas. O LIDAR batimétrico funciona através do registro dos múltiplos retornos dos pulsos em um único comprimento de onda, ou através dos retornos correspondentes dos pulsos infra-vermelho e verde (Brandalize e Phillips, 2004). Estas técnicas porém são difíceis de serem aplicadas em regiões tropicais influenciadas por grandes fontes fluviais e com pluma de turbidez elevada.

Imagens de satélites também podem fornecer informações sobre a batimetria próxima à linha de costa, através da utilização da linha de água na costa, acoplados a dados de marés permitindo a reconstituição morfológica de bancos costeiros (Gratiot *et al.*, 2005).

6.1.3 Premissas Básicas para Aplicação do Sensoriamento Remoto em Ambientes Costeiros Tropicais

Apesar da importância do subsistema de aquisição e análise dos dados de sensoriamento remoto, outros elementos existem para o sucesso da aplicação do sensoriamento remoto em regiões costeiras para detecção de modificações. São necessidades geradas desde a aquisição dos dados e imagens até a análise e geração das informações, podendo potencializar ou limitar o seu uso (ver capítulos 8 a 11).

- disponibilidade de imagens

De um modo geral as costas tropicais estão sujeitas a fortes nebulosidades em virtude de suas características (ver Capítulo 4), que restringem as avaliações multitemporais por sensores óticos e requerem um considerável acervo de dados, muitos dos quais podem estar disponíveis na internet. Entretanto, para os dados SAR, o acervo de imagens é muito recente e, os recobrimentos até a década de 90 foram limitados. Para as regiões tropicais, as imagens JERS-1, do GRFM, constituem um acervo de mosaicos de radar de fácil acesso.

Entretanto, não é apenas a disponibilidade de imagens um fator importante para o estudo de modificações, porém essa disponibilidade em época certa de acordo com a dinâmica ambiental da região é fundamental para a avaliação dos processos envolvidos nas modificações em costas tropicais. Por exemplo, a necessidade de observar a variação hidrodinâmica e sua relação com pluma de sedimentos em um estuário tropical requer dados de alta e baixa precipitação, o que nem sempre é possível para as costas tropicais através de sensores óticos. Esta falta de disponibilidade hoje poderia ser sanada através de imagens SAR, porém o acervo destas imagens não permite retroceder no tempo de forma contínua. Além do mais, pelas características das imagens de radares, elas não podem sanar a necessidade de imagens óticas para o monitoramento de pluma de sedimentos.

No caso de monitoramento de fenômeno com variações diárias, os sensores de resolução intermediária a alta, por sua repetitividade de coleta de dados, poderiam fornecer um bom estudo de modificações e associá-los aos períodos de variações na magnitude dessa forçante. No entanto os sensores de baixa resolução espacial possuem praticamente resolução

temporal diária enquanto que as marés possuem um ciclo de mínimo de 2 a 10 horas, no caso da costa amazônica (ver Capítulo 5).

No aspecto de monitoramento da forçante antrópica como elemento de modificação, a análise fica condicionada à existência e disponibilidade de imagens obtidas em período anterior a intervenção no ambiente. No entanto, o monitoramento por satélites só se tornou uma preocupação a partir da década de 90.

- capacidade de processamento das imagens: infra-estrutura e recursos humanos

A infra-estrutura para análise dos produtos de sensoriamento remoto é uma variável importante e perpassa pela infra-estrutura física, capacitação do usuário para avaliação dos produtos de sensores remotos e o custo de aquisição de imagens. Aquisição de imagens de alta resolução para estudos de modificações tem um custo muito alto pela necessidade de uma série de imagens nos períodos necessários para se ter a visão dinâmica do ambiente.

A capacitação do usuário em sua maioria não pode ser completada em apenas um indivíduo, pela variedade de aplicações do sensoriamento remoto nos ambientes costeiros e a necessidade dos estudos nas costas tropicais. À medida que pessoas capacitadas estão disponíveis no mercado, o uso das imagens torna-se mais abrangente. Entretanto, uma capacitação técnica sem fundamentos teóricos pode resultar em um alastramento de falsas idéias que o sensoriamento remoto pode ser a tábua de salvação para monitorar com eficácia os recursos ambientais.

- escolhas metodológicas

A escolha dos sensores e da metodologia para aplicação do sensoriamento remoto em áreas costeiras passa pela escala de resposta do ambiente e do fenômeno passível de ser detectado nas imagens, seja em seu aspecto espacial, espectral ou temporal. Nesse processo poderá se caracterizar os ambientes e seus componentes, como também observar suas transformações espaciais. Entretanto, como fazer a escolha adequada? Esta dependerá do objetivo do trabalho e do reconhecimento prévio das características do ambiente. Receitas operacionais são úteis para elaboração de produtos provenientes de imagens de satélite, porém não são, necessariamente, perfeitamente aplicáveis em todas as áreas costeiras. Nas áreas costeiras tropicais, a gama de forçantes envolvidas no estudo das modificações exige que os

sensores remotos possam ver as variações das forçantes e seus efeitos na paisagem. Isto requer muitas das vezes aplicações de sensores diferentes e em escalas diferenciadas. Assim, metodologias básicas que impliquem no reconhecimento prévio do ambiente ainda são necessárias.

6.2 EXEMPLO DE APLICAÇÕES EM COSTAS TROPICAIS

Poucos trabalhos de revisão da aplicação de sensoriamento remoto para o monitoramento de ambientes costeiros tropicais foram realizados, sendo comum neles o destaque para aplicação em áreas em ecossistemas de manguezais e recifes de corais (Cracknell, 1999; Mumby *et al.*, 1999). Destaca-se aqui a revisão realizada por (Sanderson, 2001) para o litoral de Singapura e, de Polidori *et al.* (em preparação) para a costa amazônica. Neste item apresenta-se um resumo das aplicações do sensoriamento remoto nas costas tropicais. As aplicações específicas para a costa amazônica são abordadas no Capítulo 7.

6.2.1 Mapeamento de Ambientes

A necessidade de uma cartografia atualizada dos ambientes costeiros pode ser uma das causas para que os mapeamentos em costas tropicais tenha sido uma das primeiras aplicações do sensoriamento remoto. Entretanto, a maioria dos trabalhos está voltada para o mapeamento de manguezais e de recifes de corais.

No mapeamento de manguezais, a aplicação principal é para a discriminação das unidades florísticas utilizando sensores óticos de média resolução espacial como SPOT1, 2, e SPOT XS, IRS-1C LISS3 e Landsat MSS TM4, 5 e 7 ETM⁺ 7. As principais técnicas aplicadas para o mapeamento tem sido a classificação digital (Green *et al.*, 2000; Rasolofoharino *et al.*, 1998). Sensores aerotransportados de alta resolução como o *Compact Airborne Spectrographic Imager* (CASI) também foram utilizados visando avaliar o custo de recobrimento e tratamento para ambientes costeiros tropicais (Clark *et al.*, 1997).

Para os recifes de corais, imagens óticas de média resolução espacial como o Landsat 7 ETM⁺ foram utilizadas na costa da Indonésia, utilizando a classificação digital e análises por principal componente para identificação desses ambientes (Radiarta *et al.*, 2002). Imagens

de alta resolução como CASI, IKONOS e SPOT HRV também foram utilizadas, avaliando-se a potencialidade desses sensores para essa aplicação (Mumby e Edwards, 2002).

O mapeamento usando imagens SAR foi iniciado no final da década de 1990, durante os programas de validações de imagens de satélites já existentes (ERS-1 e JERS-1), a exemplo do trabalho de Simard *et al.* (2002), que mapearam a vegetação costeira na região do Gabão, demonstrando a complementaridade no uso das bandas C e L, para o aperfeiçoamento da cartografia. Imagens polarimétricas foram utilizadas por Lucas *et al.* (2002) para caracterizar comunidades de mangue na costa da Austrália e Guiana Francesa. Na costa de Madagascar, Pasqualini *et al.* (1999) utilizaram imagens de radar SIR-C analisando os dados em banda C e L e, em várias polarizações, para mapeamento temático com a finalidade de caracterizar a dinâmica de florestas de mangue sujeitas à atividade de aquacultura.

Nota-se que, no contexto de mapeamento, apesar da diversidade de ambientes nas costas tropicais, os destaques na literatura são para os manguezais e recifes de corais, em parte pelo apelo ambiental que esses ecossistemas possuem. Porém, a limitação da disponibilidade de imagens óticas, devido às condições meteorológicas sobre as costas tropicais, pode também ter inibido o avanço de mapeamento de outros ambientes e, ao mesmo tempo, permitido um aumento de trabalhos de mapeamento com imagens SAR atualmente.

6.2.2 Detecção de Modificações

A capacidade dos sensores remotos de obtenção de imagens de diferentes épocas oferece a possibilidade do monitoramento de modificações costeiras através de análises multitemporais. No entanto, a maioria dos trabalhos sobre monitoramento de modificações costeiras se ocupa das modificações apenas da linha de costa. Algumas vezes o monitoramento das modificações da linha de costa é acompanhado de mapeamento dos ambientes costeiros (Cuong *et al.*, 1989; Qingcheng, 2000). Nesses trabalhos são usados os sensores de média resolução espacial, principalmente o Landsat, em parte pela antiguidade das imagens, existentes desde 1972 para o sensor MSS.

Tanto para a linha de costa, como para o interior da planície costeira, a existência e disponibilidade de fotografias aéreas são importantes, pois continuam a ser um dos dados mais antigos para estudar modificações de curto período, sejam elas naturais ou antrópicas. Bird *et al.*, (2004) utilizaram fotografias aéreas para determinar a história de modificações induzidas por regime hidrodinâmico e pelo uso do solo para aquacultura, permitindo

monitorar modificações de mais de meio século no litoral de Singapura. Geralmente esses estudos de modificações são acompanhados da utilização de um SIG.

O enfoque dos trabalhos para estudo das modificações da linha de costa provavelmente resulta da necessidade de monitoramento em função das condições de navegabilidade. Além disso, se torna mais fácil monitorar as modificações da linha de costa do que os ambientes costeiros interiores, que requerem o uso de outras ferramentas, além de um bom mapeamento dos mesmos e do entendimento das mudanças.

A detecção de modificações em ambientes costeiros tropicais tem sido apontada por Green *et al.* (2000) como a segunda maior necessidade dos tomadores de decisão e cientistas para aplicação do sensoriamento remoto, ultrapassada apenas pela necessidade de aplicação da ferramenta para estabelecer bases para gerenciamento e planejamento dessas áreas.

6.2.3 Monitoramento de Áreas Úmidas

A aplicação do sensoriamento remoto para estudo de áreas tropicais úmidas é importante para o entendimento dos processos de inundações (ver capítulos 4 e 5). Alsdorf *et al.* (2003) discutem que antes do advento do sensoriamento remoto o monitoramento de processos de inundações de larga escala era praticamente desconhecido. As medidas existentes limitavam-se a medições de descargas pontuais que impediam a extrapolação dos dados para as grandes bacias. As limitações das medidas pontuais nas áreas com grandes bacias hidrográficas, a exemplo das existentes nos ambientes tropicais, advêm principalmente do fato de que extensas planícies de inundações são conectadas ao mesmo tempo a vários rios. O sensoriamento remoto oferece a oportunidade de determinar o padrão espacial e temporal de inundação e o armazenamento de água nessas bacias hidrográficas, como a do Amazonas, o que seria impraticável apenas com medições por estações fixas, por falta de representatividade das amostras e alto custo do processo.

Nesse contexto, está o desenvolvimento do projeto HIBAM (Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica), cujos primeiros resultados têm mostrado a viabilidade do uso de satélites altimétricos do tipo TOPEX/POSEIDON para a determinação dos níveis dos grandes rios, principalmente em áreas remotas (<http://www.ana.gov.br/hibam>).

Os trabalhos para esses estudos iniciaram-se com imagens dos sensores óticos Landsat e SPOT, a exemplo do trabalho realizado por Blasco *et al.* (1992), que determinaram a extensão de inundação no complexo deltáico de Ganges utilizando análise visual e digital de

imagens SPOT XS. Posteriormente, o radar tornou-se mais utilizado por suas características e por apresentar um alto contraste entre terra e água. Desnos *et al.* (1996) usaram imagens do satélite ERS-1 e ERS-2 para monitoramento de áreas inundadas em Bangladesh, utilizando análise multitemporal através da composição colorida dessas imagens, a fim de avaliar as condições de inundações durante a estação úmida nessa região tropical. Brisco e Pultz (1998) apresentam várias aplicações do uso de Radarsat no mapeamento e monitoramento de áreas úmidas.

Deve-se considerar que estas aplicações se limitam a observar o fenômeno de inundação e sua extensão, sem possuir a característica de previsão do fenômeno.

6.2.4 Monitoramento das Águas Costeiras

A detecção de diferenças nos corpos aquáticos através de sensores remotos é possível em virtude do conteúdo de fitoplâncton, matéria orgânica e material inorgânico em suspensão (Moreira, 2003). Esses elementos influenciam na absorção e reflexão das ondas eletromagnéticas perto da superfície, uma vez que a cor do fundo e a profundidade são fatores não detectáveis pelos sensores remotos.

Nos sensores óticos são registradas mudanças de coloração da água em função de material em suspensão e fitoplâncton e mudanças na temperatura da água (para o espectro termal). Isto permite utilizar a cor da água como um traçador dos processos hidrodinâmicos (Fig. 6.7).

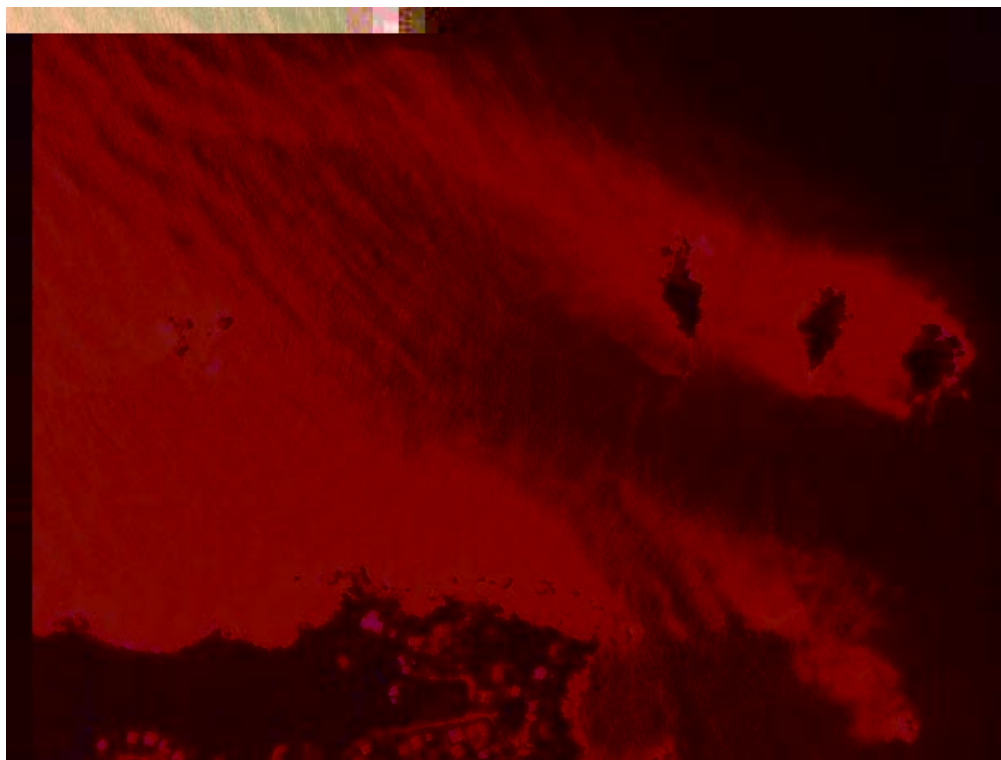


Figura 6.7: Exemplo de utilização da cor da água como traçador da hidrodinâmica em áreas costeiras tropicais. Fotografia aérea de 1998 cedida pela SERG, Caiena.

Vários autores como Barros *et al.* (2003), Braga (1988), Brakel (2003), Deng *et al.* (1999) e Nichol (1993) utilizaram imagens de Landsat MSS, TM e ETM+, além do NOAA para estimar a concentração de sedimentos em suspensão e monitorar diferentes massas de água em áreas costeiras tropicais. Froidefond *et al.* (2004) utilizaram imagens SPOT e medidas de concentração de material em suspensão para estudar as planícies lamosas e lamas em suspensão na costa da Guiana Francesa. Poucos trabalhos são encontrados a respeito da estimativa de clorofila e da temperatura (Cuq, 1983; Islam *et al.*, 2004). Um dos problemas para o monitoramento das águas costeiras, no entanto, ainda está por conta da coleta de dados simultaneamente à aquisição da imagem.

Através de imagens de radar, pode-se obter indicação de correntes e indiretamente da morfologia de fundo devido à diferença na rugosidade superficial. Essa diferença de rugosidade ocorre pela interação da corrente superficial com a topografia de fundo, causando variação no espectro de ondas e conseqüentemente uma modulação no retorno do sinal para o radar (Hesselmans *et al.*, 1997). Isto permitiu por exemplo avaliar o comportamento de pluma de sedimentação no rio Sepik em Nova Guiné a partir de dados do Radarsat-1, complementado com a coleta de dados de correntes em campo (Cresswell e Tildesley, 2000).

A identificação de mudanças, seja na coloração ou na rugosidade superficial das águas costeiras através de imagens, se constitui numa informação importante para o monitoramento das águas nas costas tropicais, uma vez que em sua grande maioria estão vinculadas a rios com grandes fontes fluviais.

6.2.5 Monitoramento de Derrames de Óleo

A preocupação com os desastres relacionados a derrames de óleo, vinculados ao aumento da produção da indústria do petróleo e do escoamento do produto, tem levado ao desenvolvimento de algoritmos específicos para a detecção e monitoramento de derrame de óleo em águas costeiras e oceânicas utilizando dados dos satélites ERS-1, ERS-2 e Radarsat-1 (Sanderson, 2001). As informações sobre monitoramento de derrames de óleo através de imagens SAR só são possíveis porque as ondas de capilaridade refletem a energia emitida pelo radar, produzindo um brilho na imagem. A presença de óleo amortecendo essas ondas e produzindo uma maior viscosidade no corpo d'água induz uma reflexão especular na imagem, produzindo uma área escura. No entanto, um desafio é distinguir o padrão do óleo de outros fenômenos naturais que mascaram as ondas curtas e criam um padrão escuro na superfície da água (Brekke e Solberg, 2005). As imagens de Radar, incluindo ERS-1, ERS-2, Radarsat e JERS-1 apresentam mais sucesso no monitoramento de derrames de óleo em região de mar aberto (Fingas e Brown, 1997). Para esta aplicação entretanto, é fundamental a obtenção de dados radiométricos, meteorológicos e oceanográficos para uma melhor análise da situação de derrames de óleo (Estes e Senger, 1971).

Ressalta-se que as aplicações de imagens de sensores remotos estão restritas a monitoramento da ocorrência de derrames e poucos trabalhos foram encontrados na literatura para as costas tropicais. No entanto, as políticas internacionais de prevenção do meio ambiente têm levado à aplicação de imagens de sensores remotos para a elaboração de mapas de sensibilidade ao derrame de óleo, o que, para a costa amazônica levou a um grande avanço no uso de imagens de radar (ver Capítulo 7).

6.2.6 Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura do Solo

O uso sustentável dos ecossistemas costeiros tropicais não pode ser feito sem o entendimento dos impactos direto e indireto realizados pela ação humana. É necessário ainda muitas pesquisas nessa direção, principalmente devido à dinâmica espacial e temporal no

padrão de uso e cobertura do solo, que permitam prever a extensão dos impactos antropogênicos ou das mudanças ambientais (Dahdouh-Guebas, 2002). O sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas - SIG são ferramentas úteis para o entendimento desse processo.

A maioria das aplicações se limitam ao mapeamento do uso do solo ou da evolução de culturas, utilizando primeiramente imagens de sensores óticos, e posteriormente de radar, em diversas partes do mundo, como na costa da Indonésia, China e Korea, com o uso também das ferramentas de SIG (Chen *et al.*, 2005; Ribbes e Le Toan, 1999; Xiuwan, 2002). No entanto, o que se observa através dos exemplos é que poucos estudos estão voltados para o entendimento dessa dinâmica de uso e ocupação, e suas implicações sobre os ambientes costeiros tropicais estudados.

6.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na observação dos ambientes costeiros tropicais, tanto os sensores que atuam na faixa do espectro ótico quanto os radares têm sido utilizados.

Os principais sistemas de **sensores óticos** aplicados no reconhecimento e monitoramento de ambientes tropicais são o Landsat MSS (1, 2 e 3), TM 5 e 7 e SPOT. Estes sensores foram os primeiros a serem utilizados, principalmente por terem sido os que inauguraram os sistemas imageadores orbitais para observação dos recursos terrestres. Apesar de suas limitações em relação à cobertura de nuvens, estes sensores são utilizados em função das características do espectro onde operam (visível e infra-vermelho), fornecendo informações de naturezas diversas, associadas às características físico-químicas e biológicas dos alvos, as quais não podem ser fornecidas pelos radares.

A utilização de radares orbitais para monitorar áreas costeiras tornou-se uma prática na década de 1990, em decorrência da operacionalização dos radares de abertura sintética (SAR) no início desse período. O potencial para aplicação em estudos costeiros em regiões tropicais passa pela sua boa resolução espacial (variando de 10 a 100 m) e independência do tempo para coletas das imagens, uma vez que as aquisições podem ser realizadas de dia ou de noite, independente da presença de nuvens.

As imagens de radares adquiridas pelos satélites ERS e JERS-1 são as mais utilizadas para mapeamento de ambientes costeiros, principalmente por terem sido os primeiros a serem lançados. Em meados da década de 90, o RADARSAT-1 é lançado apresentando maior

resolução espacial e temporal, melhorando a performance da tecnologia SAR. A ESA (*European Space Agency*) lançou, em 2002, o ENVISAT (*Environmental Satellite*), porém as aplicações deste último sensor em áreas costeiras ainda não foram amplamente desenvolvidas.

Nos trabalhos analisados, o principal objetivo do uso do sensoriamento remoto em áreas costeiras tem sido o mapeamento, principalmente de manguezais, e o reconhecimento de variações da linha de costa. Isto decorre de dois fatores principais: muitos ambientes costeiros ainda não possuem uma cartografia atualizada e o fato dos manguezais chamarem a atenção como recurso natural abundante nas costas tropicais.

Um avanço considerável das aplicações em ambientes costeiros tropicais no uso do sensoriamento remoto foi dado à medida que novos sensores surgiram no mercado, tornando-se operacionais e comercialmente viáveis. Dados dos antigos sensores também estão sendo disponibilizados com baixos custos. Isto abre campo para inúmeras possibilidades de aplicações na detecção de modificações em ambientes costeiros.

7 SENSORIAMENTO REMOTO NA COSTA AMAZÔNICA	164
7.1 AS FERRAMENTAS E O CONTEXTO TECNOLÓGICO DO DESENVOLVIMENTO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA COSTA AMAZÔNICA	164
7.2 APLICAÇÕES NA COSTA AMAZÔNICA	167
7.2.1 Mapeamento e reconhecimento dos ambientes	167
7.2.2 Detecção de Mudanças	169
7.2.3 Estudos multidisciplinares para a gestão ambiental	171
7.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	171

Capítulo 7

SENSORIAMENTO REMOTO NA COSTA AMAZÔNICA

O sensoriamento na costa amazônica teve seu desenvolvimento seguindo a lógica de implementação e aplicação dessa ferramenta no mundo. As primeiras aplicações vieram com a utilização de fotografias aéreas, utilizadas principalmente para fins de reconhecimento do território, ainda quando estas eram o único meio de mapeamento e cartografia por imagens de sensores remotos.

Este quadro sofre mudanças a partir do recobrimento do território brasileiro por radar aerotransportado, no âmbito do Projeto RADAM, na década de 1970 (Azevedo, 1971), e do lançamento dos sensores remotos orbitais, primeiramente óticos, como o Landsat, e depois os radares, como o ERS-1 e JERS-1, na década de 1990 (Fig. 7.1).

No entanto, o contexto de aplicação das ferramentas de sensoriamento remoto seguiu passos diferenciados em cada território que integra essa região.

7.1 AS FERRAMENTAS E O CONTEXTO TECNOLÓGICO DO DESENVOLVIMENTO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA COSTA AMAZÔNICA

Sem dúvida, o Projeto RADAM foi um dos marcos que despertou a comunidade técnico-científica para o potencial de utilização de imagens de sensores remotos para a região amazônica brasileira. As imagens deste projeto constituem ainda hoje o único produto de sensor remoto, em escala regional, utilizado para estabelecer um *background* preliminar dos ambientes costeiros amazônicos. Em escala local detecta-se a existência de fotografias aéreas desde a década de 50 (Fig. 7.1).

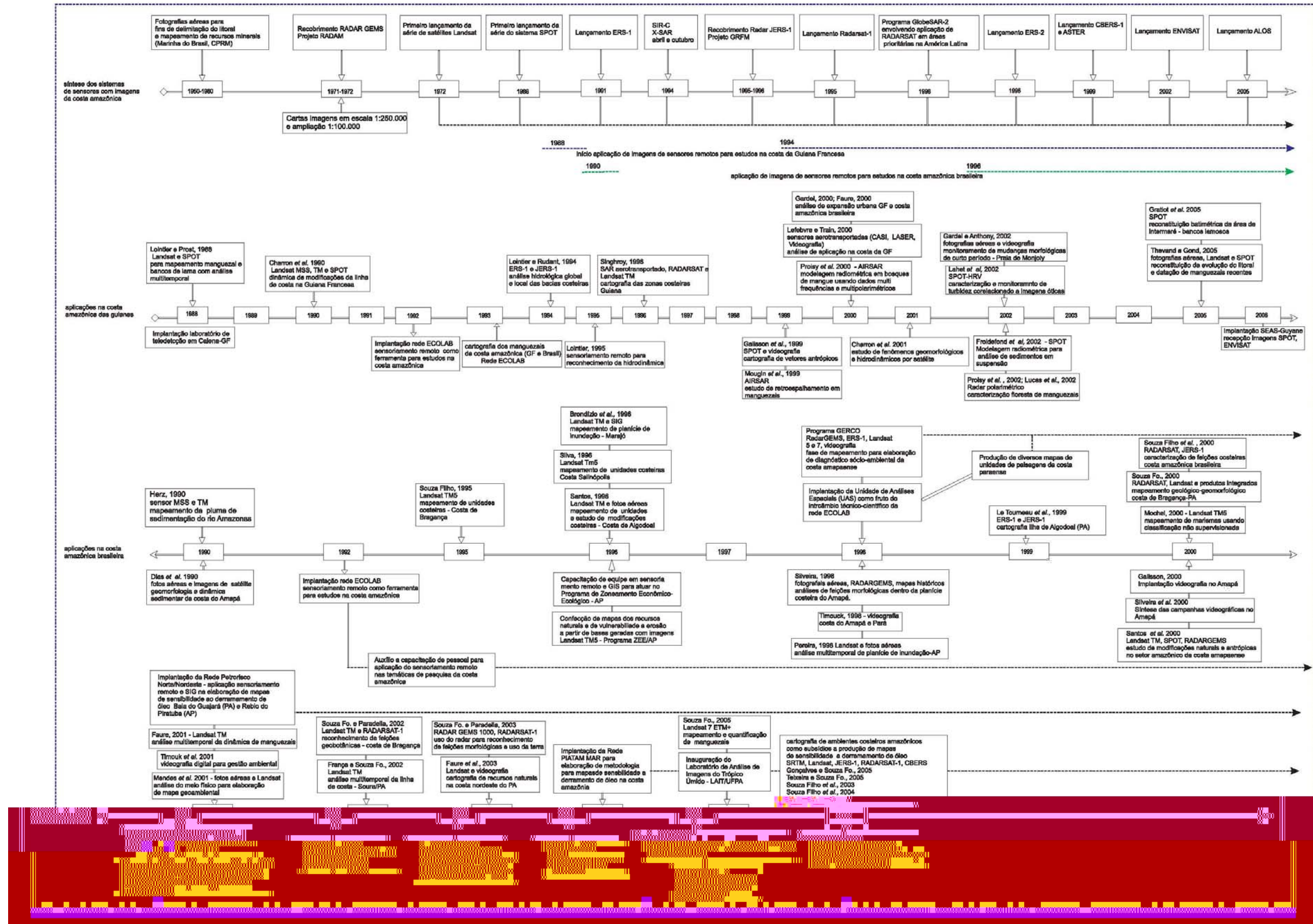


Figura 7.1: Desenvolvimento da aplicação do sensoriamento remoto na costa amazônica dentro do contexto das principais ferramentas disponíveis no mundo.

Nesta costa, programas de cunho nacional como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) e o Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (GERCO), implementados nos estados na década de 1990, deram impulso na utilização de sensores remotos óticos, utilizando imagens de sensores do satélite Landsat. Tal fato decorreu principalmente da necessidade de cartografia e elaboração de mapas temáticos e integrados atualizados para o ordenamento territorial.

No contexto de aplicação para questões científicas, o litoral da Guiana Francesa apresenta uma diversidade na aplicação das ferramentas de sensoriamento remoto, incluindo modelagens radiométricas, pela existência de um laboratório de sensoriamento remoto desde o final da década de 1980 (Fig. 7.1). Este laboratório foi criado com a finalidade de avaliar as ferramentas de sensoriamento no contexto tropical como apoio as agências espaciais européias (CNES, ESA) e respondendo à demanda de gestores.

Na costa amazônica brasileira a aplicação da ferramenta seguiu passo a passo com a formação e capacitação de pessoal e a diversificação no uso das ferramentas ficou por conta da disponibilidade de imagens e a presença de programa e projetos em rede. Destaca-se entre eles o ECOLAB - Ecossistemas Costeiros Amazônicos, uma rede de cooperação técnico-científica entre brasileiros e franceses implantada desde 1992 que reúne bianualmente os pesquisadores da costa amazônica, tendo o sensoriamento remoto como a ferramenta de apoio fundamental.

Recentemente, a implantação do Projeto PIATAM Mar - Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica, com apoio da Petrobras, reúne pesquisadores da costa amazônica brasileira, de diversas áreas temáticas. Este projeto tem contribuído para a aplicação dessa ferramenta, no contexto do desenvolvimento de mapas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, inclusive com o apoio para o desenvolvimento do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido-LAIT na UFPA (Belém) em 2004.

Nos projetos e programas, observa-se que o estudo da costa amazônica abrange diferentes áreas temáticas e o sensoriamento remoto tem sido usado como uma ferramenta de interdisciplinaridade, contribuindo para a integração de resultados, sendo esta uma característica que identifica a aplicação do sensoriamento remoto na costa amazônica.

7.2 APLICAÇÕES NA COSTA AMAZÔNICA

As aplicações das ferramentas de sensoriamento remoto na costa amazônica estão intrinsecamente relacionadas ao desenvolvimento de programas e projetos onde se destacam duas abordagens principais: mapeamento e reconhecimento dos ambientes e suas variáveis e; detecção de mudanças.

7.2.1 Mapeamento e reconhecimento dos ambientes

Os trabalhos de mapeamento na costa amazônica iniciaram-se com o reconhecimento dos manguezais da costa brasileira realizado por Herz (1991). Em 1993 através da rede de cooperação técnico-científica ECOLAB foi realizado o mapeamento das unidades de paisagem da costa amazônica, abrangendo desde a costa do Pará até ao Suriname, utilizando técnicas de fotointerpretação tradicional (ver item 6.1.2) sobre imagens de sensores remotos óticos (orbitais e aerotransportados) e relatórios de estudos ambientais. Durante essa década, a técnica de fotointerpretação foi a mais utilizada e posteriormente expandiu-se para as técnicas digitais de classificação supervisionada de imagens com auxílio de informações de campo e fotografias aéreas (Fig. 7.1).

No final da década de 1990, a disponibilidade e acessibilidade de dados de sensores remotos óticos e a obtenção de imagens de radares, através de projetos regionais, permitiram um melhor mapeamento e reconhecimento da paisagem costeira amazônica, através da fusão e integração de informações dessas imagens (SPOT, Landsat) e com imagens de radares orbitais (ERS-1 e 2, JERS-1, RADARSAT-1), dados de elevação de terreno (SRTM) e imagens videográficas (Fig. 7.2).

Em relação às imagens de radares, destaca-se na costa da Guiana Francesa a aplicação de imagens ERS-1 e JERS-1, enquanto que na costa amazônica brasileira o principal satélite utilizado foi o RADARSAT-1. O uso destas imagens, porém, é muito mais em função das oportunidades que se apresentaram através das agências espaciais e em relação a financiamento, do que em função das características de cada sensor.

Na costa da Guiana Francesa, o uso dos radares ERS-1 e JERS-1 propiciaram o mapeamento de condições hidrológicas (Lointier, 1995; 1996), auxiliando na compreensão da hidrodinâmica dessa região que possui certa similaridade com a costa amapaense no que diz respeito às planícies de inundação interconectadas dentro da planície costeira. Na costa

amazônica brasileira o RADARSAT-1 tem aprimorado o mapeamento de ambientes costeiros (Souza Filho, 2000; Batista *et al.*, 2005, Gonçalves e Souza Filho, 2005).

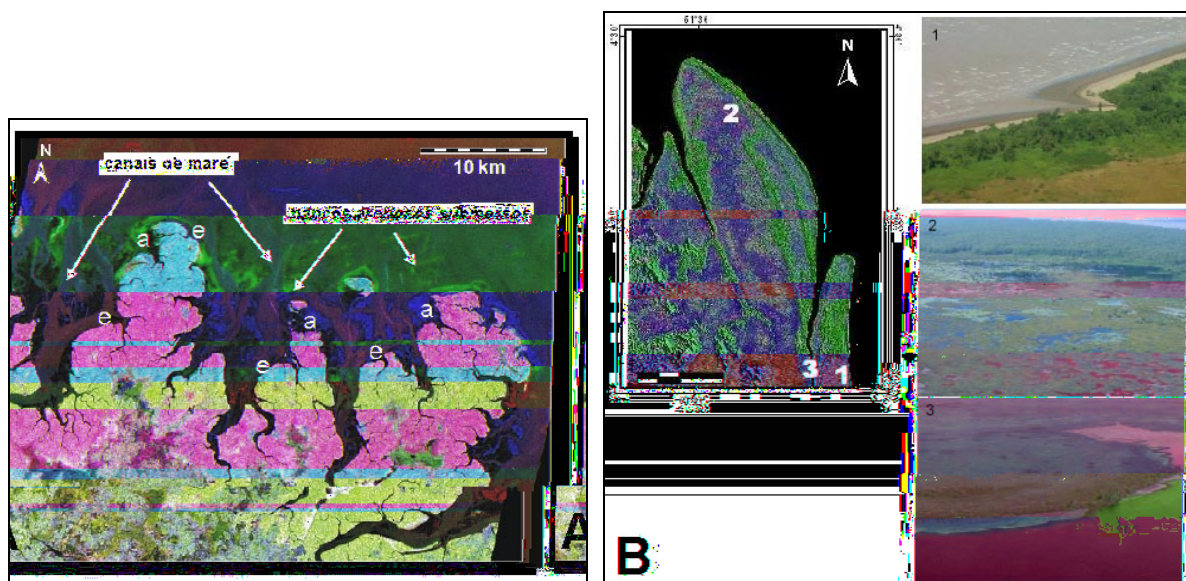


Figura 7.2: Exemplo de mapeamento de ambientes costeiros amazônicos. A) integração de imagens RADARSAT-1 e Landsat TM, a-acresção, e-erosão, costa de Bragança-PA (Souza Filho e Paradella, 2001); B) Fusão SAR/SRTM com TM/Landsat, Cabo Cassiporé-AP (Batista *et al.*, 2005).

Além do mapeamento dos ambientes naturais, mapeamento do estado de urbanização de capitais que fazem parte da costa amazônica brasileira e da Guiana Francesa (Belém e Caiena) foi realizado por Faure *et al.* (2003) que baseados em análise de textura de imagens SPOT, Landsat e dados demográficos, estabeleceram índices de densidade demográfica.

No início dos anos 2000, radares com multipolarização e multifrequência (Fig. 7.3) começaram a ser utilizados para reconhecimento das unidades de manguezais, sua estrutura e biomassa (Lucas *et al.*, 2002; Proisy *et al.*, 2000; Proisy *et al.*, 2002).

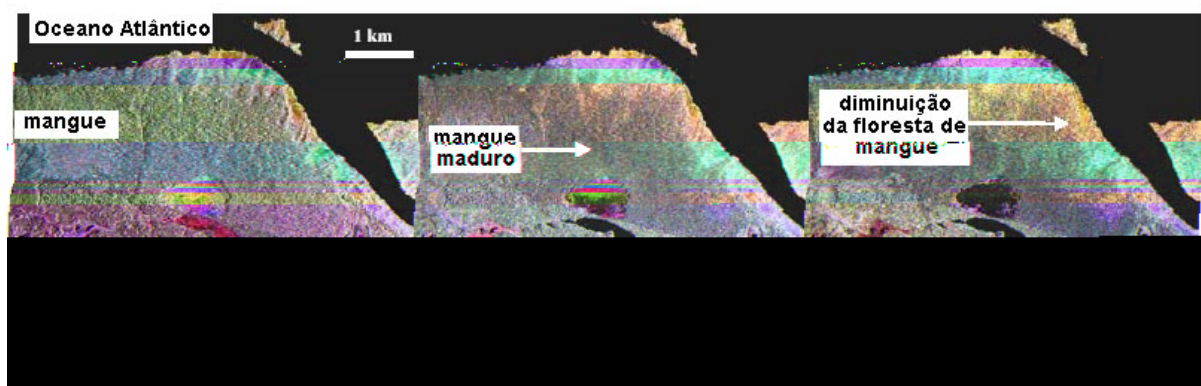


Figura 7.3: Imagens AIRSAR com multipolarização de floresta de mangue na Guiana Francesa, bandas C, L e P. Proisy *et al.* (2002).

Nas águas costeiras o reconhecimento da turbidez, a partir de modelagem da concentração de sedimentos em suspensão, acoplada aos dados de sensores remotos óticos, auxiliou no mapeamento de pluma de sedimentos na costa da Guiana Francesa (Froidefond *et al.*, 2002; Lahet *et al.*, 2002).

Mapeamento de formas subaéreas foi realizado por Gratiot *et al.* (2005), que utilizaram uma série de imagens SPOT e dados de marés em uma análise multitemporal para mapeamento batimétrico no litoral da Guiana Francesa, com a finalidade de demonstrar o potencial de dados de sensores de alta resolução para auxiliar na batimetria de águas rasas e zonas de intermarés lamosas e sujeitas a mudanças contínuas.

Mapeamentos voltados à identificação dos padrões de uso e ocupação do solo são poucos, destacando-se o trabalho de Singhroy (1996), que aplicou imagens de SAR aerotransportado, RADARSAT e Landsat para cartografia da costa da República da Guiana. Ferramentas alternativas (videografia) e imagens de Landsat TM e SPOT, aliadas a informações de campo, permitiram a cartografia dos vetores antrópicos na Costa da Guiana Francesa (Galisson *et al.*, 1999).

7.2.2 Detecção de Mudanças

No estudo das modificações dos ambientes, a principal técnica aplicada tem sido a de análise multitemporal com digitalização de linha de costa para detectar as mudanças.

Os estudos iniciais foram realizados na Guiana Francesa, no final da década de 1980, usando dados do sensor MSS, SPOT e fotografias aéreas, com quantificação de áreas erosionais e acrescionárias (Lointier e Prost, 1988; Charron *et al.*, 1990).

Na costa amazônica brasileira, eles se iniciaram em meados da década de 1990 com o reconhecimento da modificação de padrões de cristas praias através de comparações visuais de imagens Landsat e fotografias aéreas na costa paraense (Santos, 1996). Estes tipos de imagens foram avaliadas junto com mapas históricos e utilizadas para o reconhecimento de modificações na planície costeira amapaense por Silveira (1998). Entretanto, a maioria dos estudos com avaliação quantitativa de modificações da linha de costa foram realizados na costa paraense, a partir da utilização de imagens de Landsat, do GEMS-1000 (projeto RADAM) e de RADARSAT-1, com auxílio de sistemas de informações geográficas - SIG (França e Souza Filho, 2002; Souza Filho e Paradella, 2003).

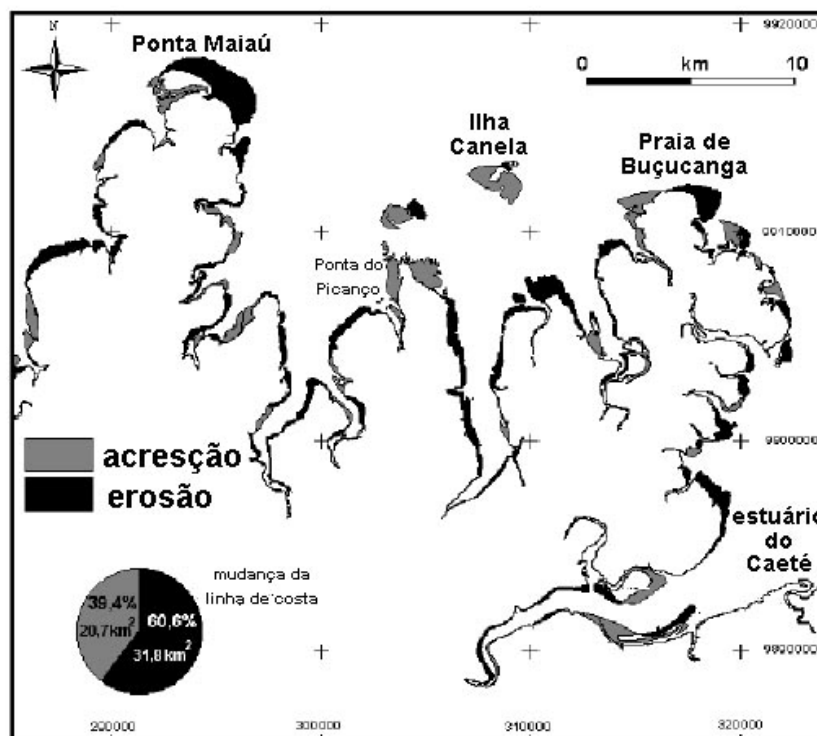


Figura 7.4: Análise de mudanças da linha de costa a partir de dados de radar aerotransportado GEMS 1000, em 1972 e de imagens RADARSAT -1, em 1998. Souza Filho e Paradella (2003).

Na costa da Guiana Francesa os estudos têm sido dirigidos para o entendimento das variações na linha de costa devido ao deslocamento dos bancos lamosos associados à dinâmica de sedimentação da costa amazônica, utilizando principalmente imagens do satélite SPOT e fotografias aéreas. Através destas imagens e aliando dados de campo, Allison e Lee (2004) puderam identificar os mecanismos e volume de sedimentos trocados entre as franjas de manguezais e as áreas de bancos lamosos que se estabelecem ao longo da referida costa. Essas mudanças no litoral associadas à migração dos bancos lamosos também foram avaliadas através de imagens SAR ERS-1 e 2 e ENVISAT, como observado no trabalho de Trebossen *et al.* (2005). Imagens de sensores óticos aerotransportados (CASI e videografia) têm sido utilizadas para os estudos locais na costa da Guiana Francesa (Lefebvre, 2000 e Lefebvre *et al.*, 2004). Não apenas os bancos lamosos, mas modificações das praias associadas aos promontórios rochosos foram estudadas através de fotografias aéreas, imagens de satélites e informações de campo, permitindo estabelecer uma correlação entre a dinâmica de modificações dessas praias e a migração dos bancos lamosos associados ao Sistema de Dispersão Amazônico (Anthony e Dolique, 2004). A maioria destes trabalhos foi

desenvolvida no âmbito do PNEC - *Programme National sur l'Environnement Côtier*, o qual permitiu estudar a estruturação dos ecossistemas e a influência das variações hidrodinâmicas e do trânsito de sedimentos amazônicos nesse litoral.

Como as modificações não se restringem apenas à dinâmica natural, as mudanças referentes à expansão urbana no município de Belém e em Caiena-Guiana Francesa foram tratadas por Faure (2000) e Gardel (2000). Pereira (1998), Zarin *et al.* (2001) e Santos *et al.* (2003) trataram das mudanças na paisagem na costa do Amapá influenciadas pela dinâmica de inundação sazonal e processos antrópicos, associados principalmente com a bubalinocultura.

7.2.3 Estudos multidisciplinares para a gestão ambiental

Estes estudos iniciaram no final da década de 1990, marcando uma abordagem multidisciplinar, através do uso de imagens de satélite, procurando indicadores de sustentabilidade para os ambientes costeiros amazônicos (Charron *et al.*, 2001; Faure *et al.*, 2002). Porém, a aplicação dos produtos derivados de sensores remotos para a gestão ambiental necessita da cartografia dos ambientes costeiros. Desta forma, mapas geoambientais foram elaborados, a exemplo do trabalho de Mendes *et al.* (2001), que utilizaram mapas geológico-geomorfológicos derivados de imagens de satélite Landsat e informações sobre a legislação de proteção de ambientes costeiros.

7.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na costa amazônica, a maioria dos trabalhos analisados, a exemplo do que ocorre no nas áreas costeiras tropicais trata de mapeamento de ambientes e unidades de paisagem.

Comparando-se as aplicações na costa amazônica com aquelas discutidas no capítulo 6, relacionadas ao estudo de costas tropicais, nota-se que existem muitos trabalhos de mapeamento e reconhecimento do ambiente, porém em áreas localizadas da costa. No mapeamento dos ambientes costeiros utilizaram-se técnicas de fotointerpretação e classificação digital de imagens, com poucos estudos visando estabelecer correlação entre a radiometria da imagem e os parâmetros ambientais. Apesar de que no início dos anos 2000 tenha havido uma diversificação dos tipos de sensores remotos e técnicas aplicadas para o mapeamento costeiro, isto ainda não acompanha a diversidade de sensores disponíveis no

mercado. Nos últimos anos, ênfase tem sido dada ao radar, por sua vantagem em regiões com constante cobertura de nuvens, com aplicação inicial na Guiana Francesa.

Existe uma similaridade, ainda, da aplicação de sensoriamento remoto para estudos de modificações costeiras na costa amazônica com aqueles existentes para outras costas tropicais do planeta (ver Capítulo 6). A maioria dos trabalhos se restringiu ao estudo das variações na linha de costa, com quantificação de áreas erosionais e acrescionárias, e poucos trabalhos com estudo da dinâmica dessas modificações e sua relação com os processos regionais.

Nota-se que o avanço na utilização da ferramenta de sensoriamento remoto no estudo da costa amazônica é reflexo direto da implantação de laboratórios regionais que desempenham um papel fundamental na formação de recursos humanos, a partir de projetos de cooperação nacional e internacional (Fig. 7.1). Diversificação considerável na utilização de técnicas para processamento de imagens de satélite é observada para os estudos realizados na costa da Guiana Francesa, notadamente como reflexo talvez da antiguidade do Laboratório de Sensoriamento Remoto, implantado desde a década de 80 (Lointier, 1989) e da presença, ainda que temporária, de pessoal capacitado, bem como do acesso a informações provenientes de projetos com agências espaciais.

Estes avanços estão intimamente relacionados com a aplicação da ferramenta de sensoriamento remoto para o reconhecimento e compreensão da dinâmica dos ambientes costeiros amazônicos, como forma de apoio à gestão, realizado por parte das instituições regionais. É dentro deste contexto que esta tese se encontra.

8. APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA RECONHECIMENTO DOS AMBIENTES E SUA DINÂMICA NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI	174
8.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS: AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO	174
8.1.1 Fotografias Aéreas	174
8.1.2 Imagens de Radar Aerotransportado (RADAR GEMS 1000) – RADAM	175
8.1.3 Imagens de Satélite	176
8.1.4 Dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)	184
8.1.5 Integração dos Dados de Sensores Remotos	185
8.2 RECONHECIMENTO DOS PADRÕES E FEIÇÕES MORFOLÓGICAS	185
8.2.1 Uso e Cobertura do Solo	185
8.2.2 Feições Morfológicas Lineares Associadas aos Padrões de Uso e Cobertura Vegetal ..	198
8.2.3 A Instabilidade dos Padrões e Feições no Contexto das Modificações Ambientais	201
8.2.4 Reconhecimento dos Ambientes	202
8.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	207

PARTE IV

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO RECONHECIMENTO DOS AMBIENTES E ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI

Capítulo 8

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA RECONHECIMENTO DOS AMBIENTES E SUA DINÂMICA NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI

8.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS: AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

Os produtos de sensores remotos utilizados nesta tese foram apresentados no capítulo 3 e a descrição dos processamentos dos mesmos são apresentados abaixo.

8.1.1 Fotografias Aéreas

A foz do estuário do rio Araguari possui recobrimento com fotografias aéreas verticais desde a década de 50, realizados inicialmente pela Marinha do Brasil para fins de reconhecimento da linha de costa, como apoio para a elaboração de mapas batimétricos e instalação de marégrafos. As fotografias aéreas foram usadas (Tab. 8.1) para comparações visuais a fim de identificar padrões pretéritos nas imagens de satélites e avaliar as modificações recentes.

Tabela 8.1: Fotografias aéreas processadas.

ID	Ano	Escala	Tamanho Pixel (m)
I-40	09/1971	1:80.000	10,2
1-200	09/1952	1:50.000	6,3
12-200	10/1966	1:30.000	3,8
12-200	07/1970	1:30.000	3,8

As fotografias foram digitalizadas a fim de transformar as imagens de forma analógica para o formato digital utilizando-se um *scanner*. Foi adotada a resolução de 300 dpi e calculado o tamanho de *pixel* das fotografias aéreas utilizadas (Tab. 8.1).

O processamento das fotografias aéreas para fins de análise multitemporal deveria envolver uma correção geométrica transformando cada foto em uma ortofoto, através de dados dos parâmetros do vôo e da câmera utilizada na tomada das imagens. Nesta pesquisa estas informações não puderam ser resgatadas, o que teria permitido fazer a correção das

distorções inerentes às variações do movimento do avião durante a captura das imagens, como também referente à objetiva da câmera fotogramétrica. Para sanar este problema uma solução seria utilizar pontos de controle secundários (de campo) para o registro e correção, o que não foi possível por dois problemas fundamentais: a) falta de acesso necessário a área recoberta pelas fotografias e 2) dificuldades para reconhecimento dos pontos de controle nas fotografias aéreas e em campo, em virtude das constantes modificações na área de estudo. Por outro lado, assim como o deslocamento do avião, o relevo pode influenciar nas distorções das imagens; porém, para áreas planas como a região estudada, pode-se utilizar métodos simplificados para evitar as distorções.

Assim, para eliminar as distorções internas das fotografias, as bordas de superposição foram recortadas ao máximo, através do programa *Panavue Image Assembler*, versão 2.12. A parte central das fotografias foi utilizada para o mosaico, seguindo as recomendações de Crowell *et al.* (1991). As imagens foram mosaicadas no software *Regeemmy Image Registration and Mosaicking*, versão 2.36, procurando-se não ultrapassar o RMSE (*Root Mean Square Error*) de 3 *pixels* para os mosaicos que correspondem a 11,5 m; 19,0 m e 30.5 m, para as escalas de 1:30.000, 1:50.000 e 1:80.000, respectivamente.

A correção geométrica dos mosaicos foi feita através da aquisição de pontos de controle em imagens de satélite Landsat 7 ETM+ previamente corrigida e considerada como referência geométrica.

Os métodos utilizados para o pré-processamento digital estão simplificados no fluxograma da Fig. 8.1.

8.1.2 Imagens de Radar Aerotransportado (RADAR GEMS 1000) – RADAM

As imagens de radar de visada lateral GEMS (*Goodyear Electronic Mapping System*) 1000, banda X, são provenientes das cartas imagens produzidas no âmbito do Projeto RADAM (*Radar Amazon*) (Azevedo, 1971). Estas imagens constituem o único recobrimento aéreo completo da costa amazônica sem nuvens, razão pela qual este sensor foi utilizado no projeto. As imagens foram recuperadas no acervo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em formato analógico e constituem, junto com as fotografias aéreas, as imagens mais antigas da região e foram utilizadas para comparação das modificações (ver Capítulo 10).

À semelhança das fotografias aéreas verticais, as imagens em meio analógico foram digitalizadas, porém utilizando-se um *scanner* de rolo A0, pertencente ao Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil.



Figura 8.1: Fluxograma de pré-processamento das fotografias aéreas.

8.1.3 Imagens de Satélite

Os dados utilizados foram imagens de radar dos satélites JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) e RADARSAT-1, assim como imagens de sensores óticos MSS, TM e ETM+, do satélite Landsat (Tab. 8.2).

- JERS-1

As imagens JERS-1 são provenientes de dois mosaicos gerados pelo *Projeto Global Rain Forest Mapping* (GFRM). Este satélite foi lançado pela NASDA (*National Space Development Agency of Japan*) em 1992. As características desses dados são apresentadas na Tabela 8.2.

Os mosaicos foram obtidos a partir de imagens com espaçamento de pixel da ordem de 12,5 m e processados pela NASDA com reamostragem de *pixel* para 3 arcos segundo. Pertencem a dois períodos sazonais distintos: outubro de 1995 e maio de 1996, correspondendo aos períodos menos chuvoso e mais chuvoso da região, respectivamente (Fig. 8.2).



Figura 8.2: Imagens JERS-1 de outubro de 1995 e maio de 1996. Fonte: GRFM.

Os dois mosaicos foram lidos e registrados no software ENVI 3.5, reprojutados para o sistema de projeção UTM, datum/elipsóide WGS84. A área de pesquisa foi recortada e o tamanho de pixel transformado de arcos segundos para metros (cerca de 92 metros).

Na fase de processamento procedeu-se o ajuste de histograma dos mosaicos e transformação da escala em tons de cinza para uma imagem de cor sintética a partir da técnica de fatiamento. Nesta técnica, os intervalos de níveis de cinza são estabelecidos a partir da distribuição dos valores dos números digitais (DN's) das imagens e mapeados em cores ou tons de cinza diferentes. Esta transformação foi usada com a finalidade de diferenciar grandes feições retendo detalhes da imagem, permitindo assim o realce de informações. Desta forma as regiões inundáveis campestres e áreas de cobertura vegetal foram evidenciadas, preservando a nitidez das feições lineares como as paleodrenagens e feições antrópicas.

Após esse processo fez-se a comparação visual entre os mosaicos dos diferentes períodos, tanto em tons de cinza como em pseudocor.

- RADARSAT-1

O RADARSAT-1, lançado em 1995, (Fig. 7.1, p.173) é um radar operacional e comercial que possui a possibilidade de oferecer 35 modos de aquisição de imagens, com ângulos de incidência que variam de 10° a 59° e resolução espacial de 10 a 100 metros (Paradella et al., 1997). Isto permitiria uma melhor avaliação da área e a possibilidade de separar os diferentes padrões de cobertura na área, pois a modificação do ângulo de incidência influenciará na penetração, tonalidade e brilho da imagem (ver Capítulo 6.1.1). No entanto, as imagens utilizadas nesta pesquisa correspondem apenas ao modo *Wide 1*, com ângulo de incidência de aproximadamente 25° (Tab. 8.2). Este ângulo intermediário, entre os disponíveis para o RADARSAT-1, permitiria uma razoável penetração sobre a cobertura vegetal, do que os ângulos de incidência menores disponíveis para este sistema.

Foram utilizadas 8 imagens do sistema RADARSAT-1 que compuseram 4 mosaicos, 2 de cada período sazonal distinto: chuvoso (15 de janeiro e 08 de fevereiro de 2003) e menos chuvoso (06 e 30 setembro de 2004) (Fig. 8.3 e Tab. 8.2). As imagens utilizadas foram adquiridas no formato CEOS (*Committee on Earth Observation Satellites*), com nível de processamento 1, SGF (*SAR Georeferenced Fine Resolution Product*) e dados em 16 bits.

Estas imagens já vieram com uma calibração radiométrica chamada correção do padrão de antena. Deste modo procedeu-se apenas os processamentos para a ortoretificação e análise multitemporal através de composição colorida para extração das informações procuradas.

As imagens foram ortoretificadas usando pontos de controle adquiridos sobre a imagem do Landsat 7 sensor ETM+ ortoretificada proveniente do GLCF e os dados de efemérides para as imagens de radar disponíveis no cabeçalho dos dados do CD-SAR. A ortoretificação foi realizada utilizando o DEM do SRTM, tendo o espaçamento do pixel reamostrado para 30 metros. Para isso foi utilizado o pacote denominado *Ortho & DEM* disponível no *software* PCI Geomática 9.1. Após a ortoretificação, visando a continuidade geométrica da zona de estudo, foi elaborado um mosaico para cada data das imagens adquiridas, totalizando 4 mosaicos (Fig. 8.3). Os mosaicos foram realizados de forma automática no módulo *OrthoEngine* do *software* PCI Geomática 9.1. Foi realizado o reescalonamento das imagens de 16 para 8 bits. Este processamento foi necessário para redução do volume dos dados e limitação do olho humano em distinguir muitos níveis de cinza.

Para atenuar o *speckle* (ruído inerente aos dados de radar) foi aplicado um algoritmo de filtragem adaptativa (filtro Frost) (Lopes *et al.*, 1990), com *kernel* de 3 x 3 *pixels*. A fim de melhorar a qualidade visual das imagens foi aplicado um realce linear para melhorar o contraste.

As imagens foram usadas para o mapeamento dos ambientes costeiros (neste capítulo) e detecção e avaliação de modificações e seus indicadores (ver capítulos 9 e 10).

- LANDSAT

As imagens utilizadas foram adquiridas pelos sensores MSS (*Multi Spectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*) e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) dos satélites Landsat 1, 4, 5 e 7 (Tab. 8.2, Fig. 8.4). As imagens do satélite Landsat têm sido adquiridas desde 1972, sendo as imagens do sensor MSS as mais antigas e de mais resolução espacial e espectral da série de imagens do satélite Landsat. As imagens do sensor TM estão disponíveis desde 1984 e possuem uma qualidade intermediária entre as do sensor MSS e ETM+. Este último possuía as imagens de melhor qualidade da série Landsat, porém só foram coletadas entre abril de 1999 até maio de 2003, quando ocorreu uma anomalia no sensor do Landsat 7, que continua operando, embora com problemas (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>).

As imagens de Landsat foram utilizadas principalmente para a reconstituição das modificações que ocorreram ao longo do estuário do rio Araguari, sendo que a imagem de Landsat 7 ETM+ foi aplicada no reconhecimento dos ambientes e constituiu a imagem base para a correção das imagens dos outros sensores.

As imagens de Landsat adquiridas através do programa GLCF vieram previamente ortoretificadas segundo o procedimento abaixo:

- as imagens do sensor MSS vieram ortoretificadas a partir de imagens Landsat TM utilizadas para o controle horizontal e modelo digital de elevação de terreno para o controle vertical;
- a imagem do sensor TM também veio processada do mesmo modo que para o sensor MSS, à exceção do controle horizontal, para o qual foram utilizados de 6 a 12 pontos de controle identificáveis na imagem, com acurácia melhor do que 15 metros. O tamanho de pixel desta imagem veio reamostrado para 28.5 metros, enquanto que da imagem do sensor MSS o tamanho de pixel veio reamostrado para 57 metros (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>);

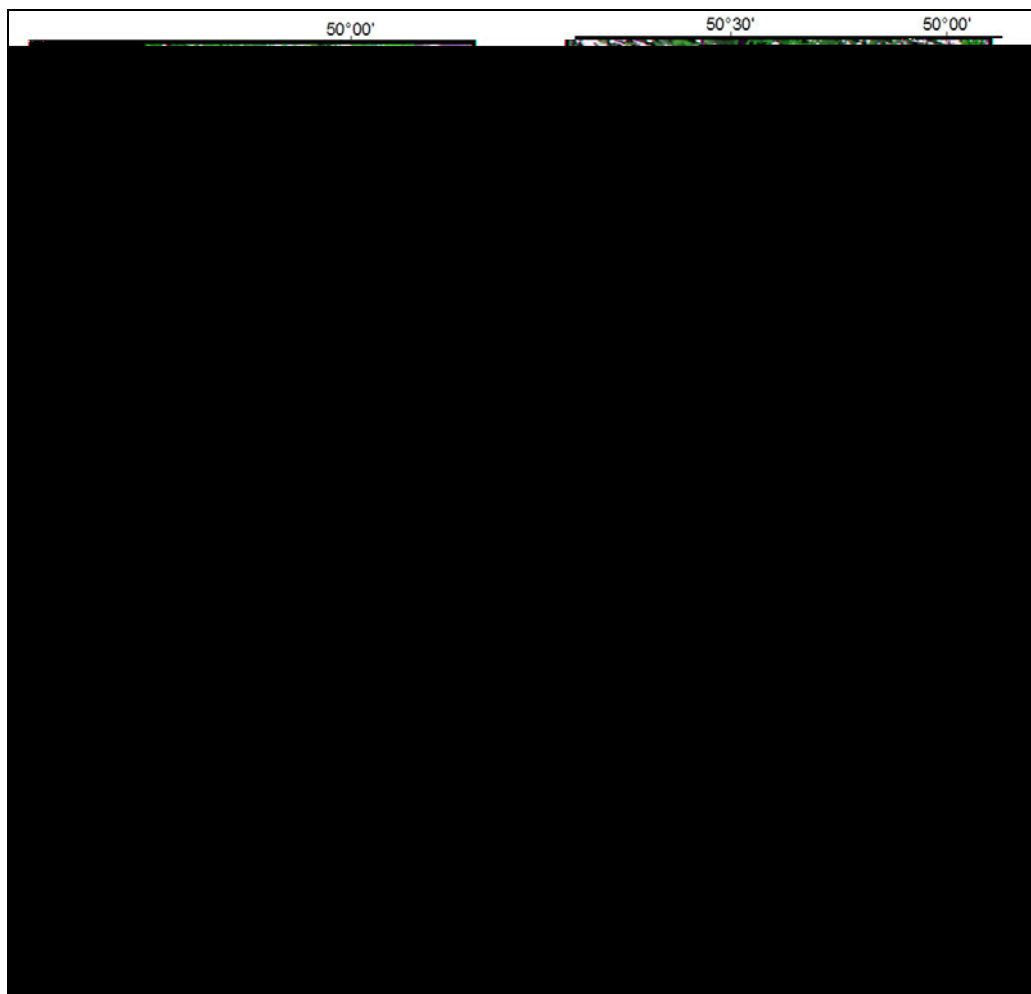


Figura 8.4: Imagens Landsat utilizadas nesta tese.

O erro de posicionamento para as imagens do sensor MSS é menor que 100 metros e para as imagens dos sensores TM e ETM+ é menor que 50 metros, determinado a partir de um polinômio de primeira ordem. Todas as imagens vieram com a Projeção em UTM e o datum/esferóide WGS1984 (Tucker *et al.*, 2004). Não houve, portanto, necessidade de correção geométrica dessas imagens uma vez que os pontos de controle coletados durante os trabalhos de campo e plotados sobre as mesmas apresentaram boa qualidade no posicionamento, principalmente a do sensor ETM+ adquirido com nível de processamento 1G, geométrica e radiometricamente corrigida, (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/fileformat/index.shtml>).

A imagem do sensor MSS do Landsat 1 adquirida do INPE, originalmente referenciada no Datum SAD-69/Brasil, foi reprojeta para o sistema de referência utilizado na tese e georeferenciada tendo como base a imagem do sensor ETM+.

A fase do processamento digital das imagens Landsat envolveu a elaboração de composição colorida das bandas do visível e infravermelho com realce linear. Para as imagens do sensor ETM+ foi realizada análise por principal componente e classificação não-supervisionada (ver Capítulo 6).

Na análise por principal componente utilizaram-se as bandas seletivamente, seguindo o processamento empregado por Siljeström (1997) baseado em Chavez Jr. e Kwarteng (1989). Os testes foram realizados utilizando três subgrupos de imagens: subgrupo I - análise das 3 bandas no visível (1, 2 e 3); subgrupo II - análise de bandas no visível e infra-vermelho (3, 4 e 5) e; subgrupo III - análise das bandas do infra-vermelho (7 e 5), avaliados através da matriz de covariância das imagens. Um filtro linear foi aplicado visando melhorar o contraste nas imagens resultantes dessa análise. Após o tratamento, procedeu-se à análise visual dos componentes principais de cada subgrupo de imagens interpretando os alvos através da observação de padrões, texturas, formas, tonalidades e tamanhos dos alvos.

Em seguida, vários testes foram realizados com as principais componentes e bandas originais das imagens a fim de combinar as informações e reduzir a dimensionalidade dos dados de forma a ressaltar as informações em cores. Os resultados desses testes foram avaliados visualmente, utilizando os critérios de fotointerpretação. A imagem resultante foi utilizada para identificar as feições geomorfológicas e discriminar as unidades espectrais. As feições e unidades espectrais foram posteriormente interpretadas, com o auxílio do resultado da classificação não-supervisionada e, correlacionadas com dados auxiliares e de campo, para o reconhecimento dos ambientes (ver item 8.3). O produto resultante deste processamento também foi utilizado como uma ferramenta de comunicação nas etapas de campo para discussões com os fazendeiros.

A classificação não-supervisionada foi aplicada com a finalidade de explorar os dados espectrais da imagem a partir do agrupamento dos pixels por semelhanças espectrais e, assim, ter uma primeira visão da área de pesquisa, possibilitando extrair as prováveis informações temáticas. As bandas escolhidas para a aplicação foram as principais componentes dos subgrupos I e III. Após vários testes, foram definidos os parâmetros para a classificação utilizando o algoritmo ISODATA. O subgrupo I foi escolhido a fim de ressaltar as diferenças de turbidez nos corpos de água e o subgrupo III para análise das variações espectrais nas áreas emersas. Os produtos dessas classificações auxiliaram o reconhecimento de padrões espectrais prévios do ambiente e seus resultados são discutidos no capítulo 11.

O registro e processamento das imagens dos satélites Landsat foram realizados utilizando-se o software ENVI 3.5, uma vez que o mesmo permite avaliar provisoriamente os resultados dos processamentos sem necessidade de gravação dos dados, sendo útil também na avaliação de vários produtos simultaneamente através de múltiplas janelas vinculadas geograficamente.

8.1.4 Dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

Os dados do SRTM foram utilizados para a escala de análise de observação regional e sub-regional, a fim de diferenciar as macrofeições geomorfológicas da planície (ver Capítulo 9).

Os dados de elevação foram coletados entre 11 e 22 de fevereiro de 2000 pela espaçonave *Space Shuttle Endeavor* durante a missão STS-99, obtidos através dos ecos de radar recebidos por duas antenas distantes de 60 metros, uma sobre o *shuttle* e a outra fixada em um braço articulado. O DEM foi gerado através da técnica de interferometria *InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar*. Experiências anteriores tinham usado a técnica para levantamento da topografia, porém, com ecos de radar recebidos em duas datas diferentes. Isto afetava o processamento interferométrico, devido à instabilidade da superfície entre uma aquisição e outra devido à variação de umidade, cobertura vegetal e do comprimento de onda utilizado.

O diferencial do SRTM foi a coleta simultânea dos dados de elevação, mapeando 80% da massa de Terra na Banda C (~5.6 cm), polarização HH e VV, e banda X (~3 cm) com polarização VV, registrando o sinal do radar em uma única passagem (Rabus *et al.*, 2003), permitindo uma melhor precisão dos dados para o modelo de elevação. Entretanto, o fato dos dados de elevação terem sido coletados em bandas C e X (curtos comprimentos de ondas) gera uma limitação em paisagens com floresta densa, como a costa amazônica (ver Capítulo 11).

Os dados foram adquiridos com espaçamento do *grid* de 1 arco segundo (aproximadamente 30 metros) e são distribuídos gratuitamente pela NASA na forma de DEMs (*digital elevation models*), em extensão *.ght, em áreas de 1° x 1°, com resolução de 3 arcos segundo (aproximadamente 90 metros) para regiões fora dos USA. Os parâmetros de projeção estão em coordenadas geográficas e os dados, horizontal e vertical, estão

referenciados ao Datum WGS 84 (Rabus *et al.*, 2003). Os dados estão disponíveis no site ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America/.

A leitura dos arquivos dos dados SRTM foi realizada no Software *Global Mapper 5* e os dados mosaicados e recortados para restringir a área de estudo. Em seguida foi gerada uma nova paleta de cores visando o realce dos dados. O resultado foi comparado visualmente com as informações correlatas e posteriormente exportado para leitura no software PCI Geomática, a fim de auxiliar na ortoretificação das imagens de RADARSAT-1.

8.1.5 Integração dos Dados de Sensores Remotos

A integração de dados foi realizada visando auxiliar na detecção dos padrões e feições da área de estudo e auxiliar na identificação das modificações ambientais. Foi realizada por dois métodos: análise de imagens multidatas e análise multisensor.

A integração de imagens multidatas foi feita através de composições coloridas entre as imagens multidatas do RADARSAT-1 e entre as imagens multidatas do JERS-1. Tal análise foi realizada visando a avaliação das modificações sazonais e entre as imagens desses radares.

A integração de dados multisensores foi realizada de dois modos distintos: a) para a observação das modificações seculares fez-se comparação visual dos mapas históricos com as fotografias aéreas, imagens de radar GEMS 1000 e JERS-1 e a composição colorida da imagem do sensor ETM+; b) a análise de modificação no período dos dados de sensores remotos disponíveis foi realizada por comparações entre os mosaicos de fotografias aéreas, as imagens RADARGEMS e as imagens de satélite Landsat e do RADARSAT-1.

Todos os produtos resultantes do processamento das imagens foram armazenados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o *software* ArcView 3.2 para facilitar a extração das informações.

8.2 RECONHECIMENTO DOS PADRÕES E FEIÇÕES MORFOLÓGICAS

8.2.1 Uso e Cobertura do Solo

A partir da análise dos produtos gerados a partir dos dados de sensores remotos e das informações colaterais foram distinguidos oito padrões de uso e cobertura do solo: áreas de cobertura vegetal densa associadas às florestas de mangue e florestas de várzeas, campos arbustivos, áreas de vegetação campestre, campo antrópico, zona de intermaré, canal estuarino e lagos (Quadro 8.1, Fig. 8.5).

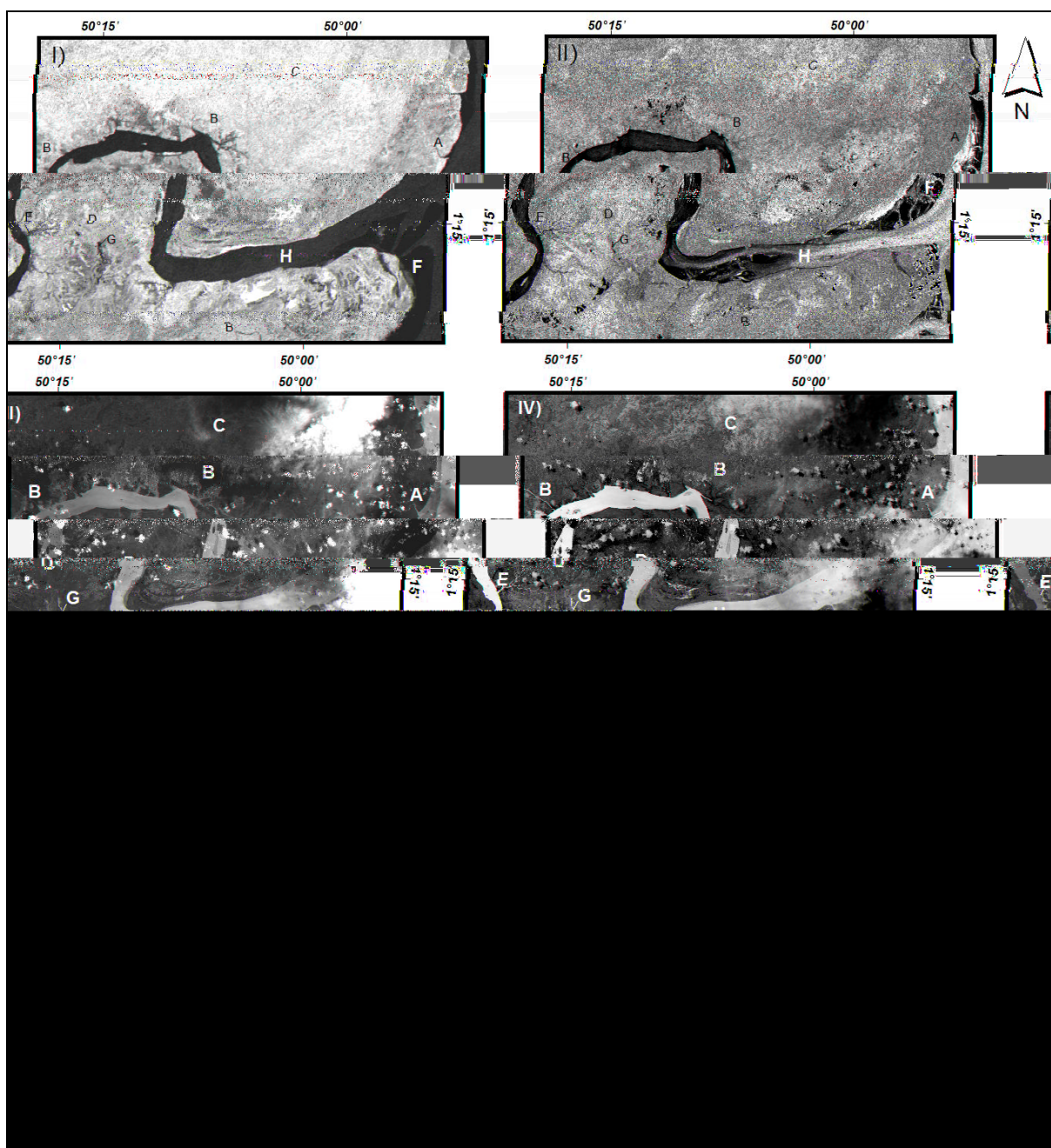


Figura 8.5: Principais padrões de uso e cobertura do solo reconhecidos. A) floresta de mangue, B) floresta de várzea, C) campo arbustivo, D) áreas de vegetação campestre, E) campo antrópico, F) planície de maré, G) lagos e H) canal estuarino. I) Imagem JERS-1 de outubro de 1995, II) imagem RADARSAT-1 de 30 de setembro de 2004, III) primeira componente principal do subgrupo I do sensor ETM+, IV) primeira componente principal do subgrupo II do sensor ETM+, V) primeira componente principal do subgrupo III do sensor ETM+, VI) imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 das bandas 1, 2 e 3 em B; banda 4 em R; e PC1 das bandas 7 e 5 em G.

As florestas de mangue desenvolvem-se na desembocadura do estuário do rio Araguari (Fig. 8.5A, 2.8B, p.28 e 5.27C, p.111), apresentando-se na forma de uma franja ao longo do litoral e truncando o padrão de floresta de várzea desenvolvido em direção ao interior do estuário. É uma unidade que não pôde ser distinguida com nitidez dos padrões de floresta de várzea nas imagens de RADARSAT-1. Nestas imagens o limite das florestas de mangue com a com a planície de intermaré é bem nítido em função do efeito de *double-bounce*. Nas imagens JERS-1 os padrões de floresta de mangue distingue-se dos padrões de floresta de várzea pela diferença na rugosidade. Nos produtos derivados do sensor ETM+ este padrão é distinguido por sua textura mais lisa e tonalidade avermelhada mais escura como resultado da associação do vermelho na banda 4 do infravermelho próximo e da absorção de parte da energia incidente sobre esta cobertura vegetal.

A floresta de várzea bordeja as margens do rio Araguari, recobre as ilhas que ocorrem no canal do estuário e também ocorre como massas florestais e feições lineares encravadas na planície costeira (Fig. 8.5B). Na imagem de radar JERS-1 de maio de 1996 este padrão é mais visível apresentando tonalidade em tons de cinza médio com tons claros no contato com os padrões dos campos arbustivos e áreas campestres, além de apresentar textura mais rugosa (Fig. 8.6A). É bem nítida na composição colorida das imagens dos dois períodos sazonais. Na imagem de RADARSAT-1 de 08 de fevereiro de 2003 este padrão é melhor visualizado do que nas outras imagens dos períodos menos chuvosos, apresentando tons de cinza mais escuros (Fig. 8.6B). As florestas associadas às massas de floresta de várzea e das ilhas apresentam textura mais rugosa na composição colorida do ETM+ do que aquelas associadas às feições lineares.

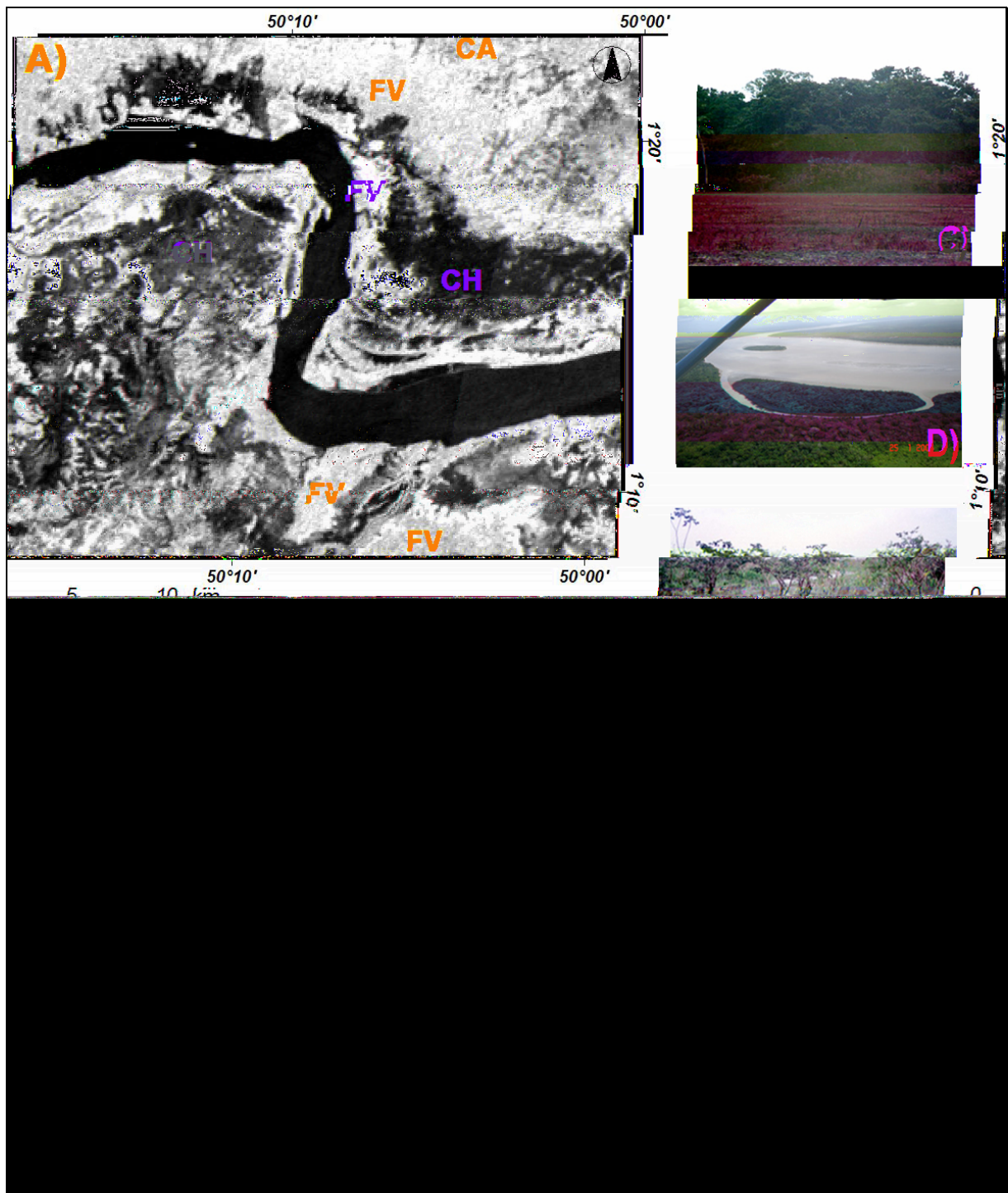


Figura 8.6: Imagens de radar do período chuvoso mostrando os padrões associados a floresta de várzea (FV) distinguindo-os das áreas campestres (CH). A) Imagem JERS-1 de maio de 1996, B) Imagem RADARSAT-1 de 08 de fevereiro de 2003, C) floresta de várzea emergindo em áreas campestres, D) floresta de várzea na margem do Araguari e recobrimdo ilhas, E) campos arbustivos, F) e G) áreas de vegetação campestres. Fotos: D, acervo IBAMA; F, cedida por Salustiano V. da Costa Neto.

As áreas de campos arbustivos ocorrem como um padrão bem expressivo na planície de inundação a norte do estuário (Fig. 8.5 e Fig. 8.6E) e como manchas na planície de inundação a sul. Apresenta uma textura rugosa nas imagens do JERS-1 com tonalidades de cinza mais escuras que da floresta de várzea, porém mais claras que as áreas campestres na imagem de maio de 1996 em função da variação no retroespalhamento por causa da lâmina de água existente nesses períodos. Nas imagens de RADARSAT-1, confunde-se com as áreas de vegetação campestres. Nas imagens do sensor ETM+ é onde apresenta um maior contraste (Fig. 8.5) por sua textura e variações de rugosidade e tonalidades principalmente para as primeiras componentes dos subgrupos II e III e na composição colorida.

As áreas de vegetação campestre ocupam a maior parte da área estudada e estão localizadas no interior da planície costeira. É uma unidade heterogênea seccionada por massas de floresta densa de espécies de várzea, disformes e por vezes retilíneas. Apesar de ser considerada uma unidade natural encontra-se parcialmente alterada pelo uso do solo em função da pecuária com a presença de inúmeras valas e de cercas (ver Capítulo 5). Nas imagens de RADARSAT-1 apresenta textura rugosa e com tonalidades ora claras, ora escuras dependendo da época de aquisição das imagens, devido à influência da umidade sobre o retroespalhamento nas imagens de radar. Em alguns locais tons muito claros e com alto brilho são detectados. Nas imagens JERS-1 possui textura mais lisa e tonalidades de cinza escuro (no período menos chuvoso) a tonalidades muito escuras para maio de 1996 (Fig. 8.6A). Na composição colorida do sensor ETM+ possui textura lisa apresentando uma variedade de tons de cinza nos produtos das principais componentes que resultam, na composição colorida, em tons esverdeados e avermelhados, dependendo da situação da cobertura vegetal com tonalidades escuras nas áreas com maior umidade (Fig. 8.5VI).

Os campos antrópicos estão associados ao processo de desmatamento para implantação das infra-estruturas, formação de pequenos pastos e as áreas pastoreadas pelo rebanho (Fig. 5.42B e C, p.126) (ver Capítulo 5). Apresentam formas geométricas bem definidas, contrastantes com seu entorno (Fig. 8.7 e 8.8). Para o interior da planície costeira, estas áreas confundem-se por vezes com as de vegetação campestre, porém quando intensamente pastoreadas pelo gado bubalino (Fig. 5.42B e C, p.126) podem ser identificadas em virtude do contraste com as áreas adjacentes devido à mudança de cor, textura e da umidade do solo por modificação no padrão de reflexão da onda eletromagnética. (Fig. 8.8). Nas imagens JERS-1 estes padrões são bem evidentes nas margens do rio Araguari, quando apresenta textura lisa, tonalidade cinza escura nos dois períodos sazonais (Fig. 8.7A e B)

quando associados ao desmatamento para implantação de fazendas. Estas mesmas áreas, só são distinguidas nas imagens de RADARSAT-1 dependendo do período da imagem e da dinâmica de ocupação do terreno (Fig. 8.7C e D), quando existe modificação da cobertura vegetal por desmatamento ou pastoreio, bem como em função das variações nas condições de umidade. No entanto, para estas imagens, quando o terreno está sob influência de pastoreio e na presença de cercas são visualizadas pelas modificações nos padrões de retroespalhamento sendo notadas em imagens multidatas (Fig. 8.8A, B e C). Na composição colorida do sensor ETM+ são distinguidas principalmente por sua geometria e maior exposição do solo apresentando textura muito lisa (Fig. 8.7E).

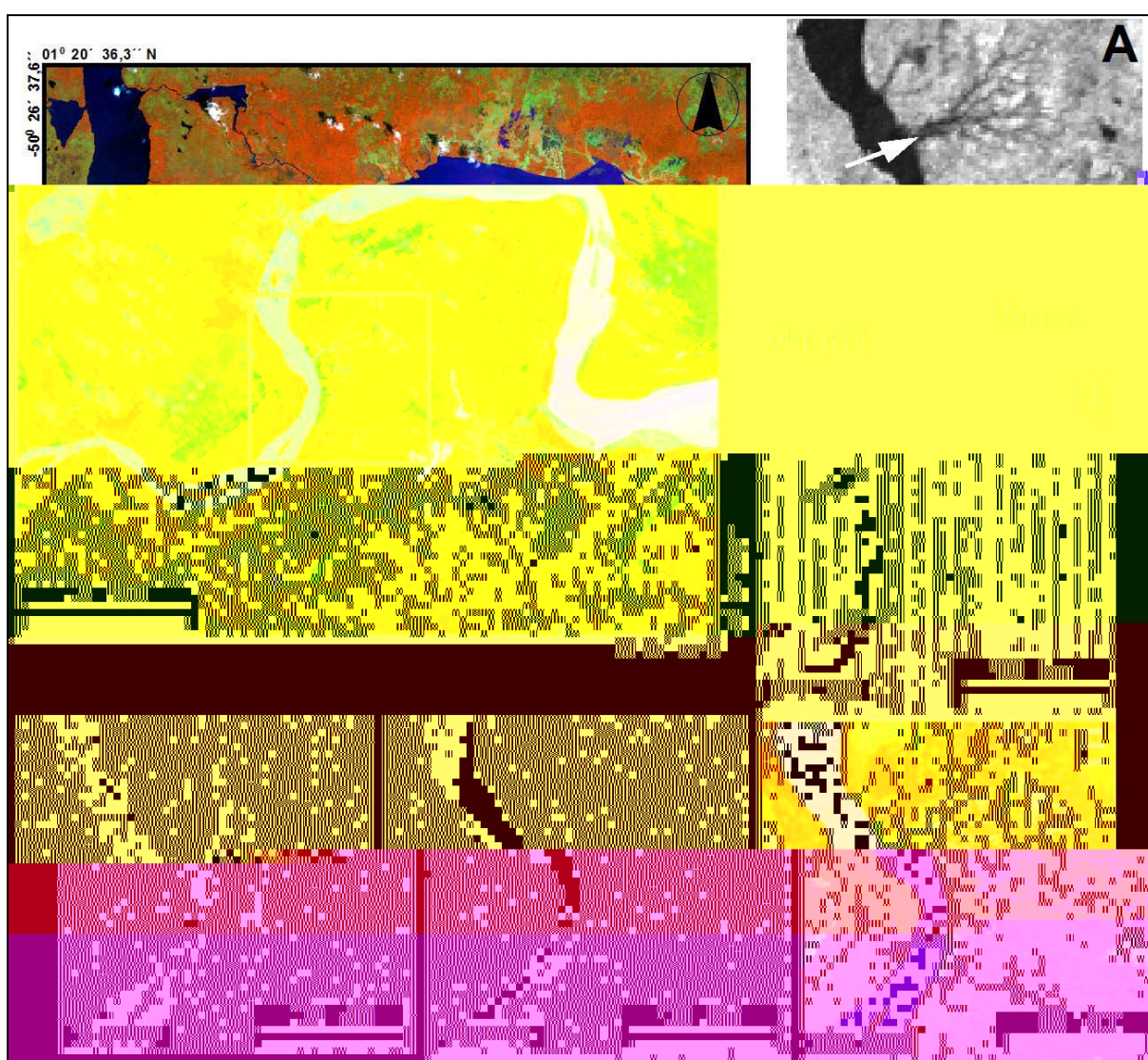


Figura 8.7: Campo antrópico associado a desmatamento de floresta de várzea. A e B) imagens JERS-1, C e D) imagens RADARSAT-1, E)) imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G.

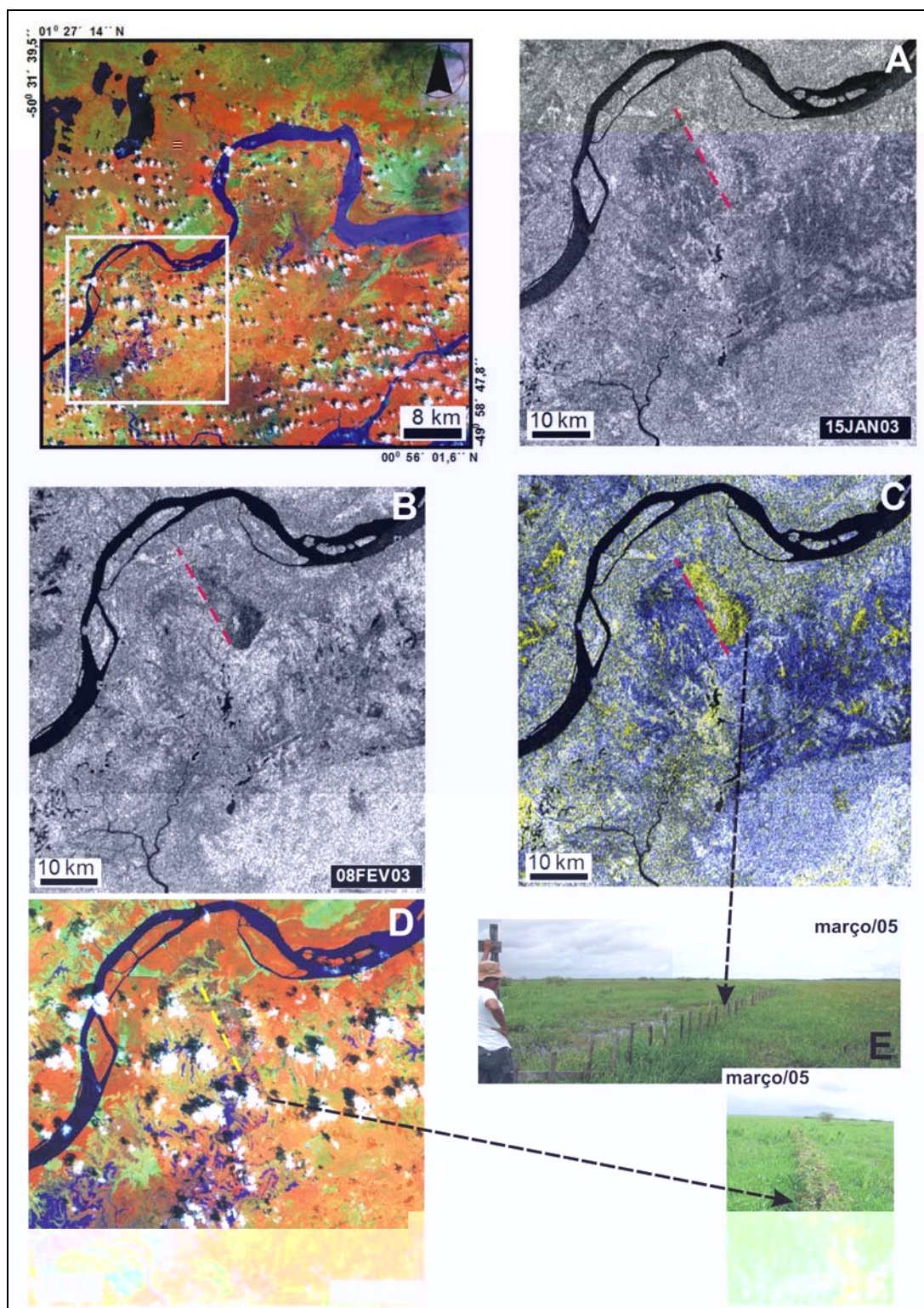


Figura 8.8: Detecção de padrões antrópicos influenciados por mudança na cobertura vegetal em função de pastoreio de gado bubalino. A) RADARSAT-1 de 15/01/2003, B) RADARSAT-1 de 08/02/2003, C) composição colorida da imagem de 15/01/2003 (em R e G) e de 08/02/2003 (em B), mostrando variações no retroespalhamento coincidentes com o limite de uma cerca, D) imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G; E) cerca apontada em C; F) cerca apontada em D, porém não detectada na composição colorida das imagens de radar.

Linhas tracejadas em vermelho representam cercas que delimitam mudança no retroespalhamento nas imagens de radar. Foto E: Laurent Polidori.

A zona de intermaré ocorre na borda do canal do rio Araguari. É mais desenvolvida em direção à foz do estuário, quando apresenta extensões de mais de 20 km e larguras de até 4 km (Fig. 8.5F). Nesta zona ocorrem barras em pontal, barras de canal e barras de desembocadura (Fig. 8.9). É um padrão nítido em todos os produtos dos sensores remotos, variando de extensão em função das variações de inundação por marés e, da influência de processos erosionais e deposicionais. Nas imagens de RADARSAT-1, quando sob processo de colonização por vegetação pioneira, apresenta tonalidade cinza clara com alto brilho. Sem cobertura vegetal, as tonalidades são muito escuras com reflexão especular (Figs. 8.5F). Nas imagens do sensor ETM+ este padrão é bem nítido na primeira componente principal do subgrupo I e na segunda componente principal do subgrupo II (Fig. 8.9).

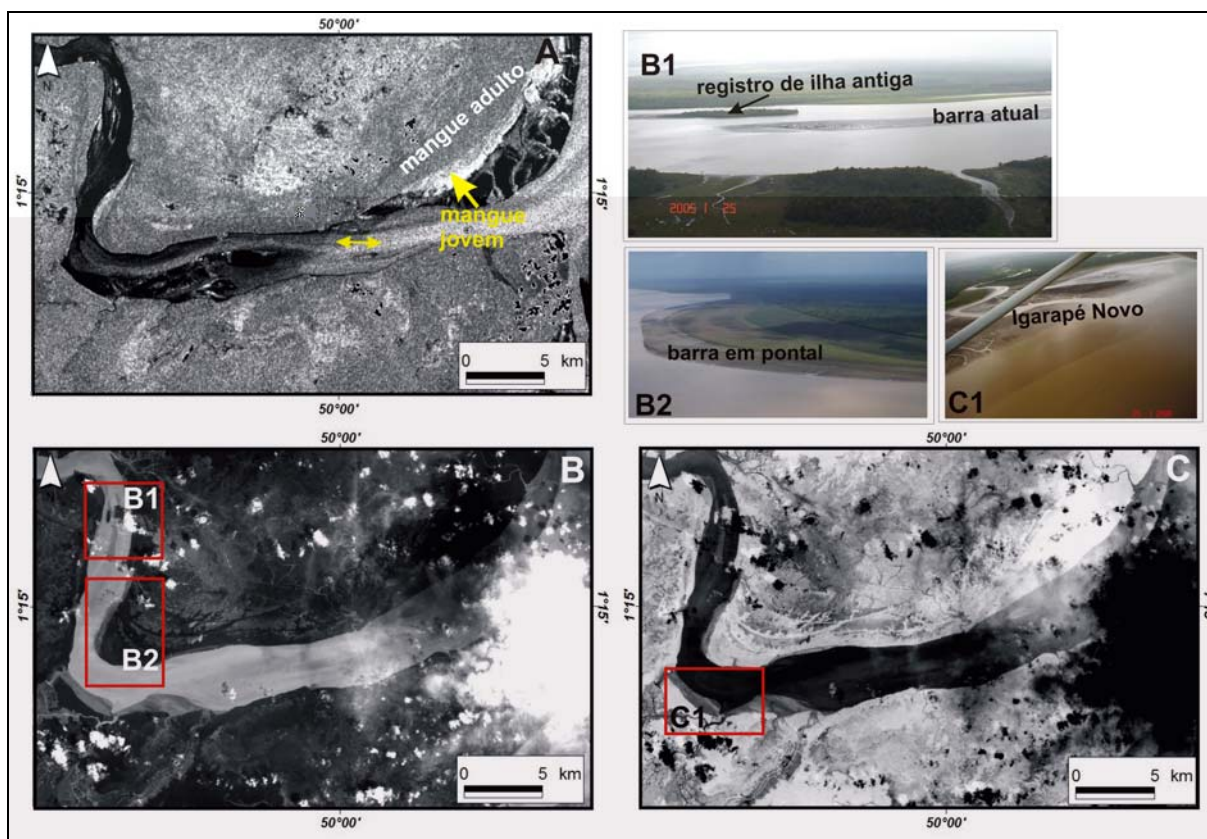


Figura 8.9: Planície de intermaré na desembocadura do rio Araguari. A) Imagem RADARSAT-1 de 30/09/2004 em situação de baixamar. Observar a mudança de tonalidade de cinza médio (mangue adulto) para tons claros e brilhantes (mangue jovem), reflexão especular nas áreas sem vegetação na planície de intermaré; B) primeira componente principal do subgrupo I (bandas 1, 2 e 3) ressaltando principalmente as variações nos corpos de água, B1) barras longitudinais, B2) barra em pontal; C) segunda componente principal do subgrupo II (bandas 3, 4 e 5) ressaltando as variações na cobertura vegetal; C1) barras de desembocadura de canal. Seta amarela horizontal indicando o canal do estuário. Fotos: Odete Silveira, acervo IBAMA.

Os lagos foram os padrões melhor identificados nas imagens dos sensores remotos, por possuírem um bom contraste entre água calma e vegetação em todos os comprimentos de onda. Na planície de inundação a norte do estuário do Araguari, estão associados aos sistemas lacustres apresentados no capítulo 2 (Fig. 2.5, p.24). Na planície a sul, os lagos são bem menores (Fig. 8.5G). Seus padrões são distintos em cada uma dessas regiões.

Nas imagens de JERS-1 e de RADARSAT-1, os grandes sistemas de lagos encontrados a norte, apresentam tonalidades bem escuras indicando reflexão especular. Em algumas porções apresentam leve rugosidade da sua superfície que pode indicar a presença de uma rugosidade superficial na água em função da presença de ventos.

Os lagos a sul do estuário ocorrem na primeira componente principal do subgrupo I e segunda do subgrupo II do sensor ETM+ com tonalidades claras, principalmente em áreas associadas a campos antrópicos, indicando a presença de turbidez nas águas. Essas tonalidades se assemelham muito àquelas das águas encontradas na foz do estuário do Araguari, que são muito turvas.

O canal estuarino refere-se ao leito do rio Araguari sujeito constantemente a correntes fluviais, de marés e a atuação da pororoca (Figs. 5.17, p.98 e 8.9), definindo-se por sua morfologia. Nas imagens de radar apresenta tonalidade cinza escuro para o JERS-1 e cinza claro para o RADARSAT-1 (Fig. 8.5H), apresentando textura pouco rugosa, tornando-se mais lisa e com tonalidades mais escura em direção rio acima. Isto indica a influência de águas agitadas que comumente ocorre na área da foz do estuário, principalmente após a entrada das marés. Na imagem de RADARSAT-1 de 30 de setembro de 2004 o canal é bem definido (Fig. 8.9A). Na primeira componente principal do subgrupo I e segunda componente principal do subgrupo II observa-se variação na tonalidade das águas que variam de cinza claro até a tonalidade bem escura em direção a montante do rio.

Nos dados de SRTM foi possível observar os padrões associados às coberturas de floresta densa e áreas campestres (Fig. 8.11). O limite entre o planalto e a planície costeira é observado nitidamente nesses dados.

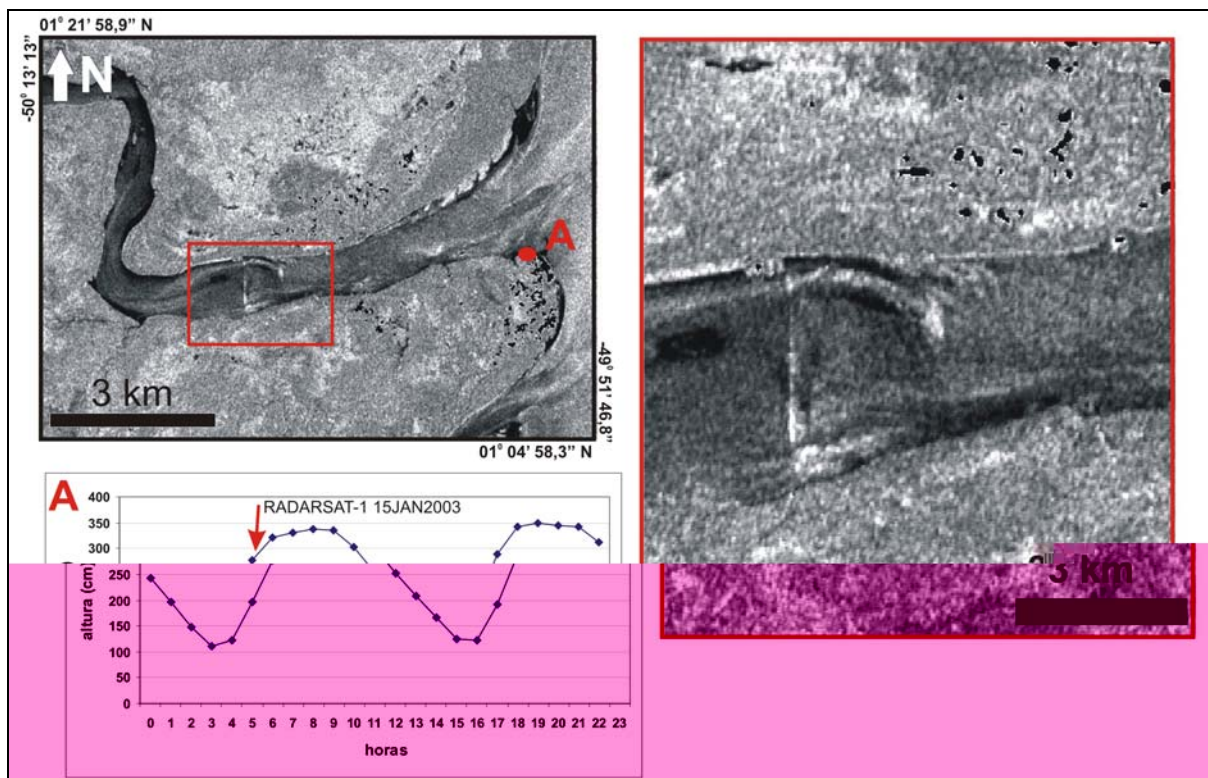


Figura 8.10: Onda da pororoca perpendicular ao canal do estuário do rio Araguari, a 20 km da desembocadura. Imagem RADARSAT-1 de 15 de janeiro de 2003. A) Previsão de maré para a estação na foz do estuário (Dados DHN). Modificado de Santos & Polidori (2005).

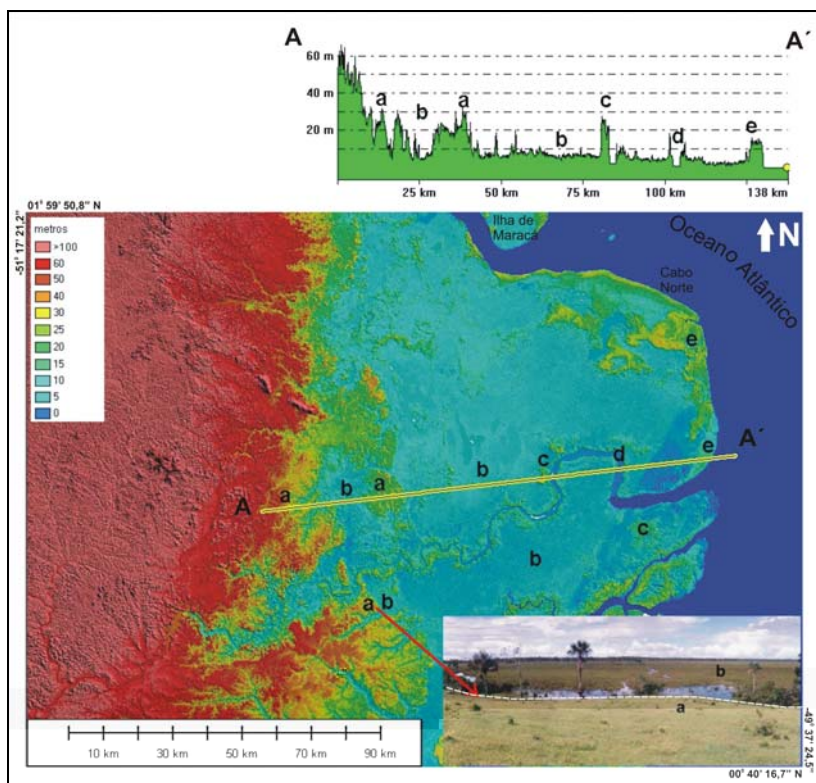


Figura 8.11: DEM do SRTM mostrando a planície costeira ao longo do estuário do rio Araguari. O perfil desenhado mostra as principais feições associadas ao relevo e à cobertura vegetal. (a) planalto costeiro (Formação Barreiras), (b) planície de inundação – vegetação campestre, (c) planície de inundação - vegetação de floresta de várzea, (d) canal do estuário do Araguari, (e) planície de maré - vegetação de mangue.

8.2.2 Feições Morfológicas Lineares Associadas aos Padrões de Uso e Cobertura Vegetal

As feições lineares estão associadas a padrões de acreção, erosão, paleodrenagens, drenagens atuais e a estruturas resultantes da ação antrópica.

As feições de acreção são encontradas nas margens do canal do estuário do rio Araguari e em sua foz.

As feições associadas às margens do canal são definidas ou pelo zoneamento de vegetação nas margens do canal (Fig. 8.9B2) ou pela intercalação entre os padrões de floresta de várzea e áreas campestres para dentro da planície de inundação. Foram detectadas em quase todos os sensores remotos utilizados e em campo, dependendo da resolução espacial dos sensores e das dimensões dessas feições. Nas imagens de JERS-1, de menor resolução espacial, somente as grandes feições lineares são visíveis. Nas imagens de RADARSAT-1 as mesmas têm menor visibilidade e só são evidenciadas quando estão sob influência de inundação (Fig. 8.3). Isto porque, apesar da melhor resolução espacial deste sensor, a banda C é menos sensível a essas diferenças.

As feições acrescionárias encontradas na desembocadura do estuário estão associadas ao zoneamento da vegetação de mangue na interface com a zona de intermaré (Figs 8.9A e 5.27B e C, p.111). São marcadas nas imagens de RADARSAT-1 por uma reflexão muito clara e brilhante ao lado de áreas de tons escuros, associados às zonas de intermaré sem vegetação.

Estas feições de acreção ocorrem ainda nas drenagens secundárias da planície de inundação do rio Araguari; entretanto, por serem mais recentes, são delimitadas por pequenos terraços com cerca de 20 centímetros de altura (Fig. 8.12) e, algumas vezes, por zoneamento de vegetação de gramíneas, sendo observáveis apenas em imagens de sobrevôo.

As feições associadas a padrões de erosão são definidas por truncamento de feições acrescionárias pretéritas, erosão atual das margens de canais e erosão de ilhas. Estas feições, entretanto, só puderam ser distinguidas através de análises multitemporais e informações de campo. No caso das análises multitemporais, são visíveis em quase todas as imagens utilizadas, dependendo da sua resolução espacial (ver capítulos 9 e 10).

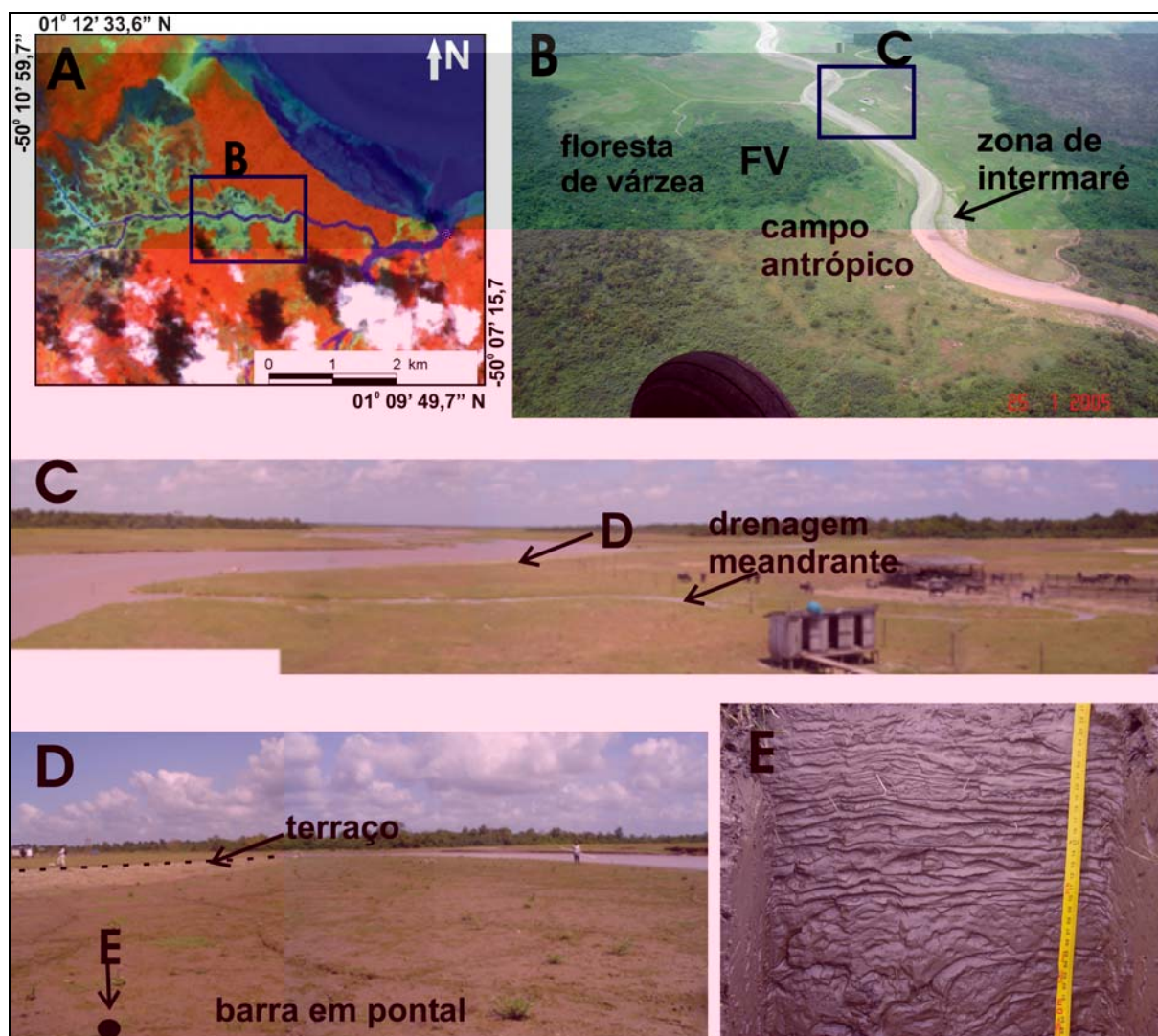


Figura 8.12: Feições morfológicas lineares associadas a padrões de acreção: A) igarapé Novo com detalhe para a fotografia de sobrevôo em B) mostrando a relação entre a zona de intermaré e a planície de inundação onde se destacam os padrões de campo antrópico e floresta de várzea; C) campo antrópico cortado por drenagem meandrante. Na borda do canal maior (seta) são desenvolvidas, nas zonas de intermaré, barras em pontal (D) com estruturas típicas de maré conforme verificado nas trincheiras (E). Imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G.

As paleodrenagens identificadas possuem dimensões métricas até quilométricas, sendo esta uma característica importante da região, conforme descrito por Silveira (1998). As paleodrenagens mais antigas geralmente são definidas por alinhamento de vegetação na borda de feições de canais abandonados, quando em áreas com pouca interferência antrópica. Nos locais sob a interferência da pecuária as paleodrenagens e as estruturas antrópicas podem por vezes se confundir (Fig. 8.13). Tais ambigüidades podem ser melhor analisadas a partir de

avaliações multitemporais (ver capítulos 9 e 10). As grandes paleodrenagens são visíveis nas imagens JERS-1, principalmente na imagem de maio de 1996 (Fig. 8.14). Nas imagens RADARSAT-1 são pouco nítidas. Nas imagens do sensor ETM+, apesar de serem visíveis em quase todos os produtos, são mais nítidas na segunda componente principal do subgrupo II (bandas 4, 5 e 7) e no produto da composição colorida.

As feições lineares associadas às drenagens atuais correspondem tanto às drenagens elaboradas sob a ação dos fenômenos naturais, quanto àquelas associadas à ação antrópica (ver capítulos 5 e 9), sendo nítidas na segunda componente principal do subgrupo II.

As feições lineares associadas às drenagens naturais se distinguem por seu posicionamento na planície costeira e por sua forma, geralmente meandrante (Fig. 8.12C), apesar de existirem drenagens naturais de caráter retilíneo (Fig. 5.27C, p.111).

As feições relacionadas às intervenções antrópicas estão associadas à presença de cercas (Fig. 8.13), valas e limites de áreas desmatadas (ver Capítulo 5). Uma das características dessas feições é o truncamento dos padrões e feições naturais, evidentes em campo e que possibilitariam ainda a análise da dinâmica de ocupação da planície através dos sensores remotos.

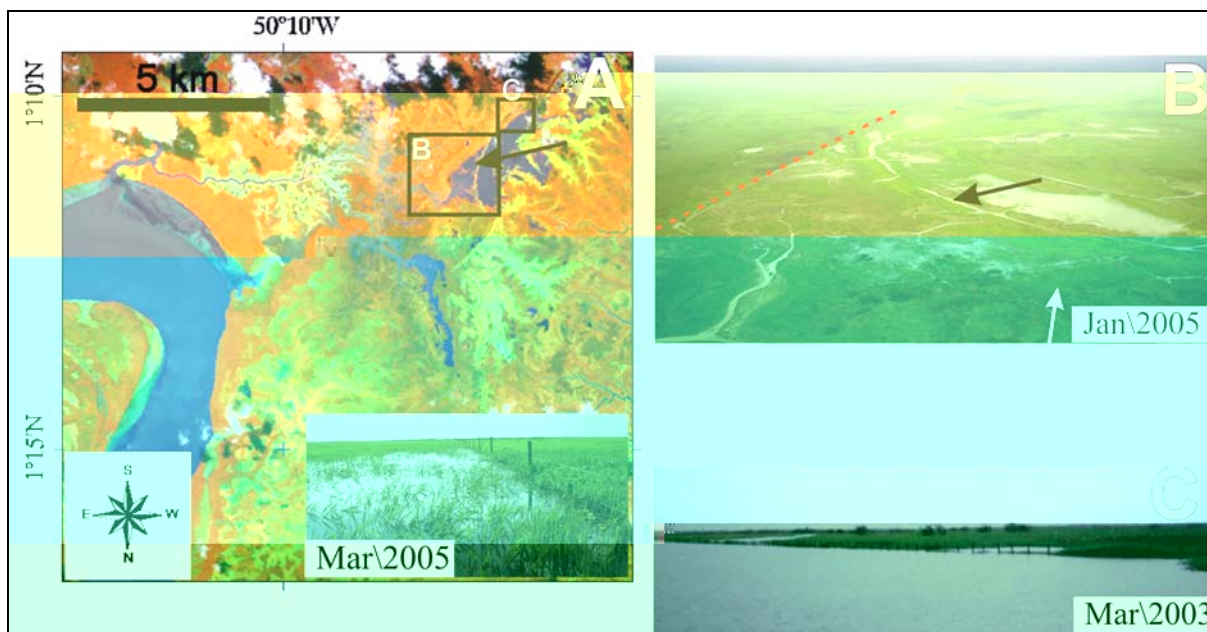


Figura 8.13: A) Relação entre paleodrenagem e cercas na planície a sul do estuário, composição colorida imagem do sensor ETM+. Foto com detalhe de cerca com mudança de padrão na imagem; B) fotografia aérea do detalhe da imagem. Seta preta indicando a paleolinha; C) cerca definindo um lago. Mesma cerca marcada pela linha pontilhada em B. Imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G. Foto B: Odete Silveira, acervo IBAMA.

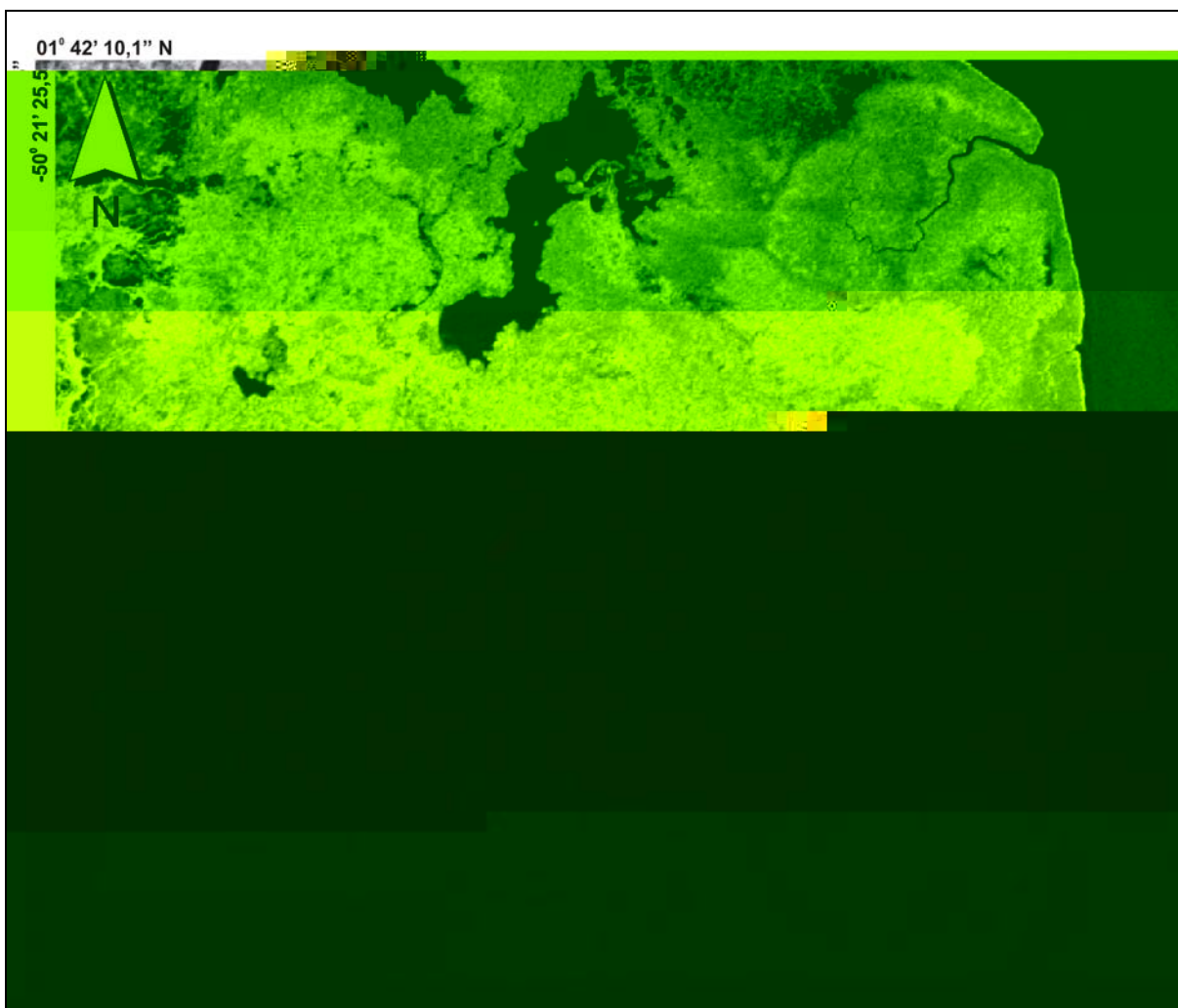


Figura 8.14: Paleodrenagem meandrante em imagem JERS-1 (maio/1996) da planície a norte do estuário. Fonte: GRFM.

8.2.3 A Instabilidade dos Padrões e Feições no Contexto das Modificações Ambientais

Os padrões associados à cobertura vegetal densa (floresta de várzea e manguezais) possuem limites constantes para o interior da planície e somente são alterados pelos processos deposicionais e erosionais quando associados às margens do estuário, dando origem as linhas de acresção e aos truncamentos.

Os campos arbustivos apresentam padrões constantes devido à sua localização no interior da planície costeira, visto que são influenciados mais pela dinâmica de inundação do que pela atividade antrópica. Além do mais, sua cobertura vegetal parece ser estável ao longo do tempo. No entanto, a detecção dessas áreas nas imagens de RADARSAT-1 está

condicionada à presença de umidade, que proporciona um retroespalhamento difuso, gerando um alto brilho nessa região. Nesta porção também, os trabalhos de campo indicam um relevo um pouco mais elevado que o restante das áreas de campo.

As áreas de vegetação campestre apresentam padrões variáveis temporalmente, em função principalmente das modificações sazonais da cobertura vegetal (Fig. 5.26, p.109) e diferenças nas condições de inundação.

Os padrões de campos antrópicos nas áreas campestres se alteram em poucos dias. Essa modificação, por vezes, ocorre devido à mudança da cobertura vegetal, em virtude do pastoreio pelo gado e conseqüente retirada do gado para outro local de pastagem (8.8A, B e C), e não somente pela variação nas condições de inundação. A mudança da cobertura vegetal em função do pastoreio é bem detectada nas imagens de RADARSAT-1 pelas variações no retroespalhamento. Quando estes campos antrópicos estão relacionados a desmatamento da floresta de várzea, apresentam uma forma geométrica similar ao longo do tempo, alterando a sua área. Sua detecção nas imagens de RADARSAT-1 está condicionada à mudança nas condições de umidade da planície (Fig. 8.7).

Os padrões das zonas de intermaré e o canal estuarino apresentam feições deposicionais e erosionais que se reconfiguram temporal e espacialmente tanto em função da variação na lâmina de água devido às marés como em função da mudança na configuração de seus depósitos (Fig. 8.9A e B) (ver Capítulo 10).

8.2.4 Reconhecimento dos Ambientes

A partir da interpretação dos padrões de uso e cobertura vegetal e das feições morfológicas lineares apresentadas acima, em associação com as demais informações correlatas apresentadas no capítulo 3, foram identificadas duas grandes unidades dentro da planície costeira, uma associada a ambiente fluvial meandrante e outra a ambiente estuarino (Quadro 8.2, Anexo II).

Na planície de inundação influenciada por marés, agrupam-se os padrões referentes às florestas de várzea, campos arbustivos, áreas de vegetação campestre e os campos antrópicos (Fig. 8.15).

Quadro 8.2: Interpretação das informações para o mapeamento costeiro da área.

Região Morfológica	Ambientes de Sedimentação	Subunidades do ambiente	Padrões Associados	Feições Associadas
Planície Costeira	fluvial meandrante sob influência de marés	planície de inundação influenciada por marés	cobertura vegetal densa (floresta de várzea)	barras em pontal; paleodrenagens; lagos e canais
			áreas de vegetação campestre, campos arbustivos e campos antrópicos	
	estuário	planície de maré	cobertura vegetal de floresta de mangue cobertura vegetal de florestas de várzea em ilhas	barras em pontal; barras de desembocadura de canais; barras de canal; linhas de acreção; paleodrenagens; canais de maré
			zona de intermaré	
	canal estuarino			

Esta planície possui seu limite com o planalto costeiro (Fig. 8.11) e está sujeita aos processos de inundação discutidos no capítulo 5. Não foi possível determinar até onde as marés influenciam esta planície na época da sua inundação. A planície está elaborada sobre sedimentos siltico-argilosos sem estruturação aparente, porém, próximo à desembocadura do estuário, os mesmos estão sobrepostos a sedimentos com estruturas típicas de marés. Dentro da planície de inundação existem áreas deprimidas onde se desenvolvem as bacias de inundação e os sedimentos tornam-se mais argilosos.

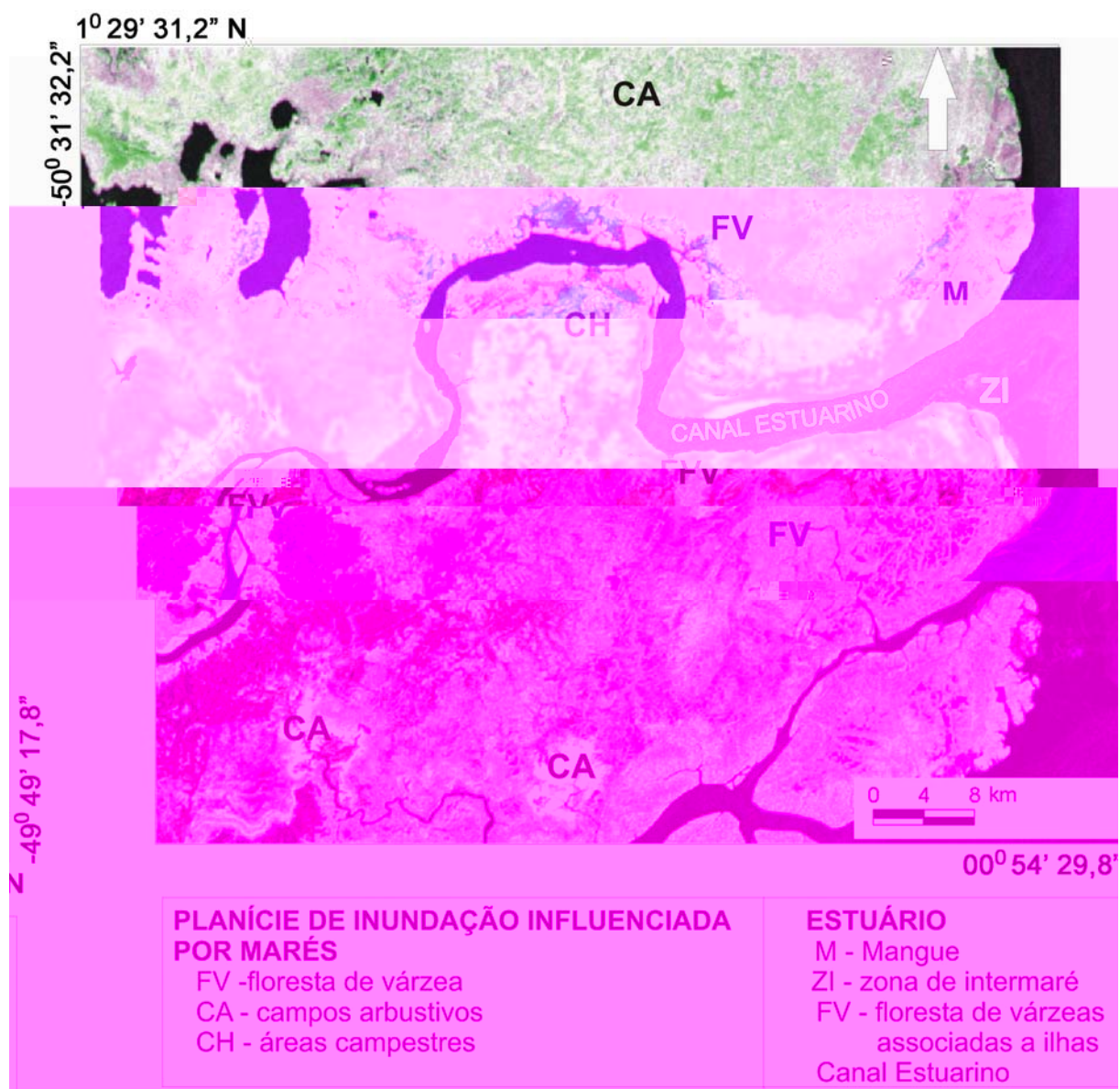


Figura 8.15: Composição colorida das imagens JERS-1 de maio/96 (em R e B) e outubro/95 (em G). Em cinza as áreas sem modificação, algumas realçando as unidades de floresta de várzea (textura rugosa - reflexão difusa – copa, troncos e galhos) e de mangue (textura mais lisa – reflexão provavelmente nas copas). Em verde as áreas inundáveis e nas porções mais escuras as áreas com maior umidade (reflexão parcialmente difusa nos campos menos alagados a especular para as áreas mais alagadas, em virtude da cobertura vegetal baixa). Nos campos arbustivos (CA), a sul, notar o alto brilho referente a reflexões difusas pelo efeito de *double-bounce*. No canal estuarino e zona de intermaré a textura lisa e tonalidade escura é resultado da reflexão especular em virtude do comprimento de onda de 23 cm, o mesmo ocorrendo com os lagos.

As bacias de inundação (Fig. 8.16A) estão associadas às áreas mais úmidas do terreno e apresentam desníveis topográficos de apenas poucos centímetros (cerca de 20) em relação às áreas adjacentes. Nos períodos menos chuvosos, essas bacias podem secar, apresentando gretas de contração em sua superfície (Fig. 8.16B), deixando expostos também pequenos canais meandранtes. Estes canais atravessam também a planície de inundação, conectando-se às margens dos canais secundários que deságuam no rio Araguari (Fig. 8.16C). Nas imagens do sensor ETM+ são distinguidas dentro dos padrões de áreas campestres por tonalidades mais escuras, uma vez que nesse comprimento de onda ótico, a umidade apresenta refletâncias mais baixas.

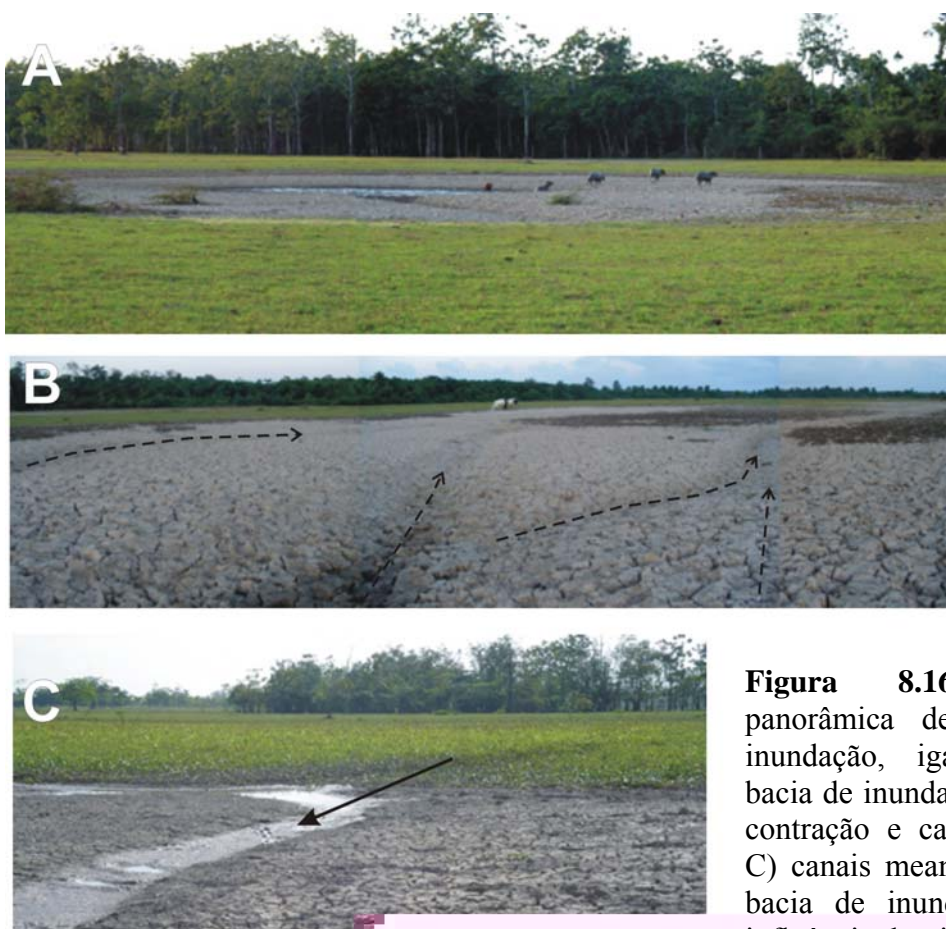


Figura 8.16: A) Vista panorâmica de uma bacia de inundação, igarapé Novo; B) bacia de inundação com gretas de contração e canais meandранtes; C) canais meandранtes dentro de bacia de inundação sem muita influência do pisoteio por búfalos. Setembro de 2004.

Os lagos existentes na planície de inundação mostram evidências de uma história diferenciada a norte e sul do canal do Araguari, tanto pela sua dimensão e forma, quanto por sua relação de contexto na planície. Os lagos a norte são maiores sendo comum a presença de camadas de turfas sobrepostas a camadas de argila cinza clara, aparentemente homogênea. A sul, os lagos são intermitentes (Fig. 8.13A e B), alguns dos quais podem estar associados a pisoteio de gado ou provavelmente a paleodrenagens. Nestes lagos são encontradas águas turvas, enquanto que a norte as águas são mais claras.

Nas margens do estuário as barras em pontal são as feições características no limite da planície de inundação com o canal estuarino (Fig.8.9B2). Quando estas barras estão mais próximas da desembocadura do estuário, apresentam estruturas típicas de maré e terraços erosivos decorrentes da ação da pororoca (Fig. 5.32A2, p.116). As barras em pontal também são encontradas às margens dos canais secundários que drenam a planície de inundação (Fig. 8.12B, D e E).

Na planície estuarina destacam-se os padrões de zona de intermaré e o canal estuarino.

As zonas de intermaré são formadas por barras de canal (Fig.8.9B1) e barras de desembocadura, cujos sedimentos apresentam estruturas de marés. São comuns as feições acrescionárias delimitadas pelo zoneamento de vegetação. Em direção à montante do rio ocorrem ilhas mais antigas, recobertas pelo padrão de floresta de várzea, as quais poderiam ter sido antigas barras de canal, descritas por Costa (1996). No entanto, em análises multitemporais, entre as aquisições da década 1990, observa-se que algumas ilhas atuais já fizeram parte do continente (ver Capítulo 10). Os canais de marés são as feições típicas dessa planície. Possuem formas meandranes e estão em constante modificação, em função do fluxo das correntes e sua influência nos processos deposicionais e erosionais no estuário (Fig. 5.30, p.114).

No canal estuarino, as imagens demonstram com nitidez a influência da pluma de águas turvas no estuário com seu limite ocorrendo a aproximadamente 60 km da foz do estuário. Esta turbidez coincide com a área de máxima expressão do fenômeno da pororoca observado em campo (ver Capítulo 5). Em direção à montante as águas são mais claras.

8.3 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A detecção dos padrões e feições relacionados aos ambientes apresentados acima é diferente para cada produto, e está vinculada principalmente à resolução espectral e espacial dos sensores analisados.

Extensas feições de paleodrenagens e estruturas antrópicas (cercas) puderam ser identificadas nas imagens JERS-1, embora o produto analisado seja de média a baixa resolução espacial. As áreas campestres mais susceptíveis à inundação também foram bem evidenciadas uma vez que a banda L, de comprimento de onda de 23 cm penetra mais na cobertura vegetal, permitindo diferenciar solos em condições secas e úmidas, o que a banda C não consegue fazer com tanta nitidez. Deste modo, a composição colorida dos mosaicos do JERS-1 dos dois períodos sazonais evidenciou melhor o limite entre os padrões e feições detectados na planície de inundação do que as imagens RADARSAT-1 (Fig. 8.15), ressaltando as áreas de campos e distinguindo das áreas de cobertura vegetal densa.

As variações nos padrões das áreas campestres e de campos antrópicos foram melhor identificadas nas imagens RADARSAT-1, como também as variações associadas à presença de cercas. Tal resultado só foi possível porque o RADARSAT-1, com comprimento de onda de 5,3 cm é sensível para detectar as variações na cobertura vegetal em função das condições climáticas e antrópicas. Em alguns casos (Fig. 8.8) a variação na cobertura vegetal foi o fator determinante para a identificação de padrões antropizados mais que a variação de umidade na planície.

Estas imagens também evidenciaram as variações nos padrões e feições da planície estuarina mostrando com nitidez a dinâmica associada ao estuário (Fig. 8.10). Nas zonas de intermaré os padrões acrescionários foram identificados a partir da mudança do padrão de reflexão especular das zonas de intermaré, sem cobertura vegetal, para um retroespalhamento difuso resultado da interação da onda com a cobertura vegetal que coloniza inicialmente essas áreas e o solo. Desta forma, pode-se separar a zona constantemente retrabalhada e influenciada pela maré, daquelas que já estão em processo de estabilização (Figs. 8.9A e 5.27B e C, p.111). Essa mudança no padrão de reflexão nas zonas de intermaré não foi detectada pelo sensor JERS-1 (1995), provavelmente em função das datas das imagens em um momento onde a vegetal inicial não estava se estabelecendo.

Nos produtos analisados do sensor ETM+ foram identificados quase todos os padrões e feições da planície de inundação influenciada por marés e do estuário, resguardando a

resolução espacial do sensor. A cobertura vegetal foi um elemento importante para essa identificação, uma vez que a mesma responde tanto à dinâmica natural quanto antrópica. Entretanto, para as áreas onde se registrou interferência do pisoteio de gado, os padrões naturais e antrópicos são difíceis de serem separados (Fig. 8.13).

Os padrões e feições na planície de inundação foram melhor identificados nas primeiras componentes dos subgrupos II e III, o que era de se esperar, uma vez que a vegetação responde à dinâmica do ambiente estudado. As feições de águas rasas e a turbidez das águas do estuário na planície estuarina foram melhor evidenciadas através da análise da composição colorida e das primeiras componentes principais dos subgrupos I e II. Isto se deve ao fato de que as águas turvas apresentam maior reflectância nas primeiras bandas do sensor ETM+.

Na segunda componente principal do subgrupo II as feições lineares referentes às paleodrenagens, drenagens atuais e cercas foram ressaltadas com mais nitidez. Provavelmente em função dessa componente ter armazenado o resíduo de variância desse subgrupo. Nas imagens de RADARSAT-1, as feições ligadas às drenagens atuais foram mais difíceis de serem ressaltadas. Entretanto, os alinhamentos das cercas são bem visíveis, sendo facilmente detectados em função da variação na cobertura vegetal principalmente quando sob influência do pastoreio.

Os dados SRTM embora tenham ressaltado as macrofeições vinculadas à topografia, no limite entre planalto costeiro e planície costeira (Fig. 8.11), não permitem fazer nenhuma inferência da topografia (ver Capítulo 11) na planície costeira. Entretanto, são úteis para definir áreas de cobertura vegetal densa (ver Capítulo 9).

A utilização de sensores com maior resolução espacial permitiria caracterizar melhor os padrões associados às drenagens secundárias. Entretanto deve-se levar em consideração que a escala espacial do ambiente estudado é um elemento fundamental para a identificação desses padrões e sua relação com as modificações (ver capítulos 9 e 10).

Os padrões e feições morfológicas observadas nas imagens podem servir como indicadores de modificações tanto da dinâmica natural como da dinâmica antrópica (Capítulo 9), e ainda para reconstituir as modificações históricas e recentes da planície estudada (Capítulo 10), em função da potencialidade e limitação dos sensores remotos utilizados (Capítulo 11).

Tabela 8.2: Imagens de satélite e dados de sensores remotos utilizados.

Plataforma/ Sensor	Modo/ Bandas utilizadas	Data de Aquisição	Órbita/ Hora Local	Ângulo de Incidência	Tamanho de Pixel (m)	Situação Ambiental (*)	Cessão das Imagens
RADAR GEMS 1000	X	1972	-	45-77°	-	-	CPRM
JERS-1	mosaico, L	02 e 03 de out 1995	-	36-41°	~ 90 m	período menos chuvoso, sem informação de marés	GRFM
JERS-1	mosaico, L	09 e 10 de mai 1995	-	36-4°	~ 90 m	período chuvoso, sem informação de marés	GRFM
RADARSAT-1 M0324302 M0324303	Wide 1, C	15 jan 2003	descendente 06:10	20° – 31°	12,5 m x 12,5 m	início período chuvoso maré: 2 horas após a baixamar	PIATAM Mar- PETROBRÁS
RADARSAT-1 P324316 P324317	Wide 1, C	08 fev 2003	descendente 06:10	20° – 31°	12,5 m x 12,5 m	início período chuvoso maré: 2 horas após a preamar	PIATAM Mar- PETROBRÁS
RADARSAT-1 P9387005 P9387006	Wide 1, C	06 set 2004	descendente 06:09	20° – 31°	12,5 m x 12,5 m	período menos chuvoso maré: 3 horas após a preamar	PIATAM Mar- PETROBRÁS
RADARSAT-1 P9389371 P9389372	Wide 1, C	30 set 2004	descendente 06:09	20° – 31°	12,5 m x 12,5 m	período menos chuvoso maré: baixamar	PIATAM Mar- PETROBRÁS
LANDSAT1-MSS	4, 5, 6, 7	21 nov 1973	241/059 09:59	-	80 m x 80 m	período menos chuvoso maré: preamar	INPE
LANDSAT 5-MSS	4, 5, 6, 7	15 jul 1986	225/059 09:57	-	57 x 57 m	final período chuvoso maré: 1 hora antes da baixamar	GLCF
LANDSAT 4-TM	1 a 5 e 7	08 ago 1992	225/059 09:43	-	28,5 m x 28,5 m	período menos chuvoso maré: 3,5 h após preamar	GLCF
LANDSAT 7-ETM+	1 a 5 e 7	18 nov 2000	225/059 10:25	-	28,5 m x 28,5 m	período menos chuvoso maré: 1 hora antes da baixamar	IEPA/INPE e GLCF
Dados SRTM (DEM)	-	11-22 fev 2000	-	-	~ 90 m (espaçamento dos pontos)	início período chuvoso, sem informação de marés	USGS

* referência das marés na estação de ponta do Guará, foz do rio Araguari.

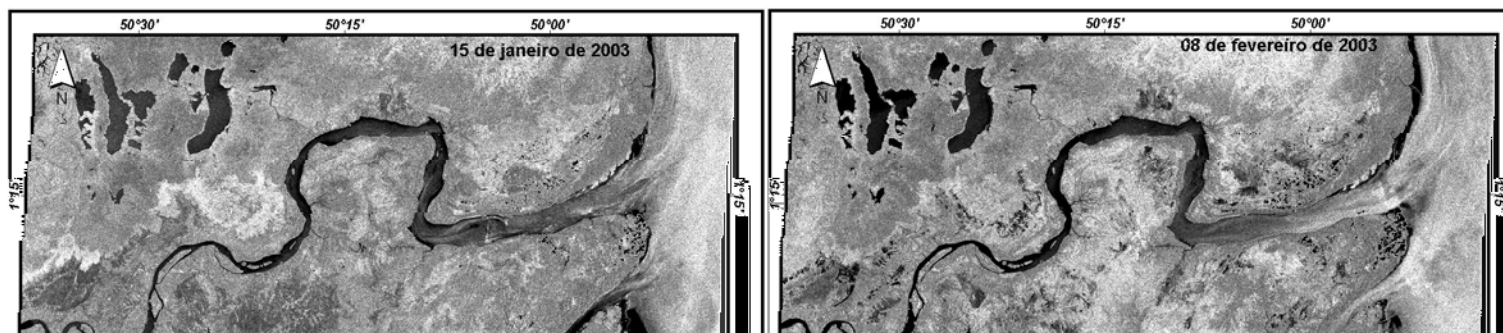


Figura 8.3: Mosaicos das 8 imagens de RADARSAT-1 utilizadas no trabalho.

Quadro 8.1: Chave de identificação dos padrões de uso e cobertura vegetal a partir dos produtos de sensores remotos analisados.

Uso e Cobertura da Terra	Descrição	JERS-1	Landsat 7 ETM+
--------------------------------	-----------	--------	----------------

Uso e Cobertura da Terra	Descrição	JERS-1	RADARSAT-1	Landsat 7 ETM+					Dados SRTM
				PC1 Subgrupo I	PC1 Subgrupo II	PC2 Subgrupo II	PC1 Subgrupo III	Composição Colorida	
Áreas de vegetação campestre	Área com cobertura vegetal de gramíneas recortadas por pequenas massas e alinhamentos de floresta de várzea. Sujeita a inundações sazonais somadas a inundações por marés no período chuvoso.	Tonalidade cinza médio em outubro e cinza escuro a muito escuro em maio. Textura lisa.	Variações tonais de cinza claro até cinza escuro, com regiões de alto brilho dependendo da data da imagem, textura rugosa.	Tonalidade cinza claro e média, dependendo da umidade e cobertura vegetal, textura lisa.	Tonalidade cinza escuro a muito escuro, textura lisa.	Tonalidade cinza médio a escuro, textura lisa.	Tonalidade de cinza claro a escuro dependendo da situação de umidade e cobertura vegetal.	Tonalidade esverdeada, avermelhadas quando sob influência de pouca cobertura vegetal, textura lisa.	Idem ao anterior porém tendendo a 0 metro próximo a linha de costa.
Campos antrópicos	Feições geométricas sem cobertura vegetal ou com incipiente cobertura vegetal resultado do pastoreio e de implantação de fazendas.	Cinza escuro, textura lisa.	Tons cinza médio, textura lisa e formas geométricas bem definidas dependendo da época da imagem.	Tons cinza médio a claro, dependendo da cobertura vegetal, textura lisa e formas geométricas bem definidas.	Tons cinza escuro, textura lisa e formas geométricas bem definidas.	Tons cinza escuro, textura lisa e formas geométricas bem definidas.	Tons cinza claro, textura lisa e formas geométricas bem definidas.	Tons verde claro e esbranquiçado quando o solo está quase que totalmente exposto, textura lisa e formas geométricas bem definidas.	Mesma topografia aparente das áreas campestres.

Uso e Cobertura da Terra	Descrição	JERS-1	RADARSAT-1	Landsat 7 ETM+					Dados SRTM
				PC1 Subgrupo I	PC1 Subgrupo II	PC2 Subgrupo II	PC1 Subgrupo III	Composição Colorida	
Zona de intermaré	Com formas de planícies bordeja áreas de floresta de várzea e de mangues. Largura de até 4 km na desembocadura do estuário e 20 km de extensão. Canais de maré meandranes.	Tonalidade muito escura, reflexão especular, com tons claros e brilhantes no contato com a floresta de mangue.	Superfície lisa entre os alinhamentos de vegetação com tons mais claros.	Tons cinza claro, textura lisa.	Tons cinza claro, textura lisa.	Tons cinza médio, textura lisa.	Tonalidades cinza médio, textura lisa.	Tons esverdeados e azulados, dependendo do grau de exposição subárea da planície, textura lisa.	-
Lagos	Geralmente alongados com até 14 km de extensão. Estão desenvolvidos nas áreas de vegetação campestre.	Tons escuros indicando reflexão especular.	Tons cinza muito escuro a negro. Tons brilhantes na borda dos lagos a norte da planície.	Cinza claro nos lagos a norte da planície e muito claro na planície a sul do Araguari.	Tons esbranquiçados nos sistemas de lagos a norte e tons cinza muito claro nos lagos na planície a sul do Araguari.	Tons cinza claro nos sistemas de lagos a norte e cinza escuro a muito escuro nos lagos a sul do rio Araguari.	Superfície lisa e negra.	Tons azul escuro nos lagos a norte e azul claro para os lagos a sul.	-
Canal estuarino	Faz parte do canal do rio Araguari e apresenta largura máxima de 2 km do leito menor nas proximidades da área de estudo.	Tons escuros em direção a montante e cinza médio em direção a foz, textura pouco rugosa e feições lineares indicativas de correntes.	Tons cinza médio a claro para a foz, escuros rio acima. Variações nas feições dependendo da época da imagem e indicativas de correntes.	Cinza muito claro na foz a cinza médio direção rio acima. Feições indicativas de correntes.	Cinza claro tornando-se branco em direção a montante.	Cinza escuro tornando-se cinza claro rio acima.	Cinza muito escuro na foz e superfície negra em direção a montante do rio.	Tons azulados próximo a desembocadura e azul escuro em direção a montante do rio.	-

9 OS INDICADORES DE MODIFI

Capítulo 9

OS INDICADORES DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS NA PLANÍCIE COSTEIRA AMAPAENSE

As observações de modificações em áreas costeiras requerem o uso de indicadores ambientais. Berger (1996) advoga que apesar dos inúmeros trabalhos sobre indicadores para mensurar o estado do ambiente, poucos são os que se reportam aos processos que determinam a estruturação física e química dos ecossistemas. Tais processos deveriam receber mais atenção pois são determinantes para definir as condições ambientais de cada ecossistema.

Os indicadores ambientais para avaliar modificações são subdivididos em três grupos: geoindicadores, bioindicadores e socioindicadores. Os indicadores de modificação abordados nesta pesquisa se referem aos geoindicadores.

Os geoindicadores, conforme definição da IUGS – *International Union of Geological Sciences*, são elementos capazes de mensurar os processos geológicos e fenômenos em superfície ou próximos à superfície que variam significativamente em períodos menores que 100 anos (escala histórica) e que fornecem informações úteis para avaliações ambientais. Eles medem variações geológicas e geomorfológicas tanto para eventos catastróficos quanto para aqueles graduais, evidentes dentro do tempo de vida humano, servindo para reportar o estado do ambiente em determinado momento.

Este capítulo se propõe a apresentar e discutir os indicadores que podem ser utilizados para avaliação das modificações na área estudada, procurando distinguir aqueles que são passíveis de serem monitorados em imagens dos satélites. Alguns desses indicadores foram utilizados para reconstruir a evolução no estuário do rio Araguari, a partir do século XVII (ver Capítulo 10).

Os indicadores foram definidos a partir das observações de campo, dados históricos e da interpretação de imagens de sensores remotos. A metodologia dos levantamentos de campo e resgate dos dados históricos foi descrita no capítulo 3 desta tese e o processamento dos

dados de sensores remotos reportados no capítulo 8. Vale ressaltar que os indicadores de modificações apresentados são discutidos à luz dos conhecimentos da área de estudo, e dentro do contexto das modificações que são analisadas nesta tese.

9.1 INDICADORES NATURAIS

9.1.1 Rede de Drenagem

Três elementos referentes à rede de drenagem foram identificados, que poderiam ser utilizados como indicadores para análise das transformações naturais e antrópicas atuais e das modificações históricas: padrão e forma do segmento de drenagem e, morfologia dos canais.

Foram observados na área três tipos de padrões de rede de drenagem: dendríticos, retilíneos e palimpsestos.

- Dendríticos

Os padrões de drenagem dendríticos são comuns na planície de inundação e na planície estuarina. Apresentam baixa densidade de drenagem, grau de controle fraco na planície de inundação e forte na planície estuarina. Os segmentos de drenagem são em sua maioria meandantes (Fig. 9.1).

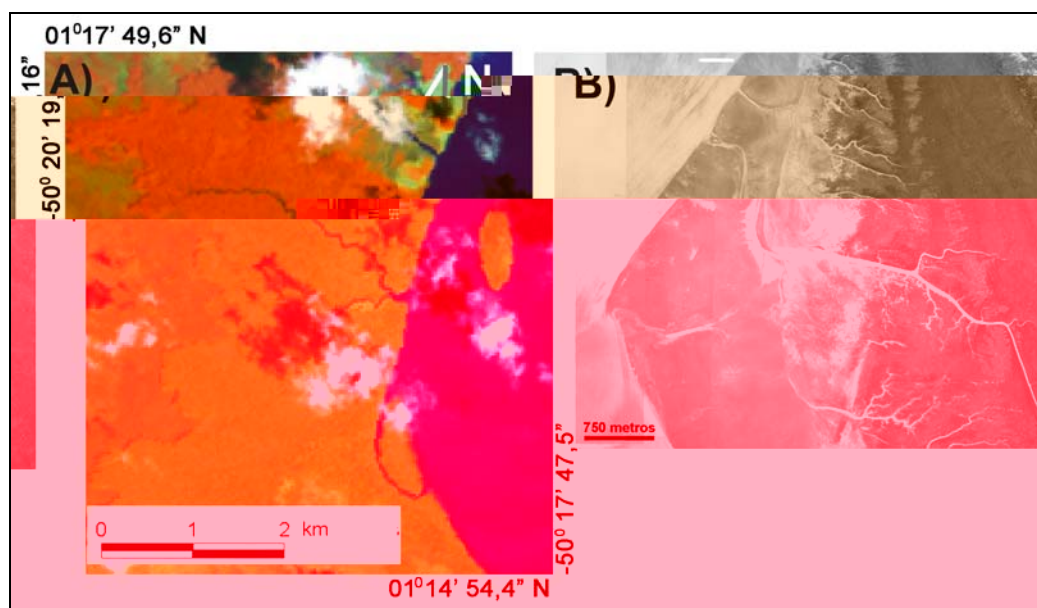


Figura 9.1: A) Padrão de drenagem dendrítico atual com canais meandantes na planície de inundação em áreas de floresta de várzea; B) drenagem retilínea controlada pelos padrões acrescionários na planície estuarina. Imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G. Fotografia aérea de 1970, acervo CHM.

- Retilíneos

As drenagens retilíneas apresentam canais retos ou com baixa sinuosidade, com grau de controle forte e angularidade alta. São comuns na planície de inundação na área de criação de búfalos (Fig. 5.44, p.128 e Fig. 5.45, p.129) e geralmente seccionam as drenagens meandantes. Ocorrem também na planície estuarina, porém não chegam a constituir uma rede de drenagem com várias confluências de canais (Fig. 5.27B e C, p.111).

- Palimpsestos

Os palimpsestos constituem as paleodrenagens estabelecidas na planície costeira, apresentam geralmente formas meandantes (Fig. 8.14, p.200) com baixa sinuosidade ou com tendência retilíneas (Fig. 9.2A). Ocorrem geralmente como canais isolados ou fazendo parte de rede de drenagens pretéritas que possuíam padrão de drenagem dendrítica (Fig. 9.2B).

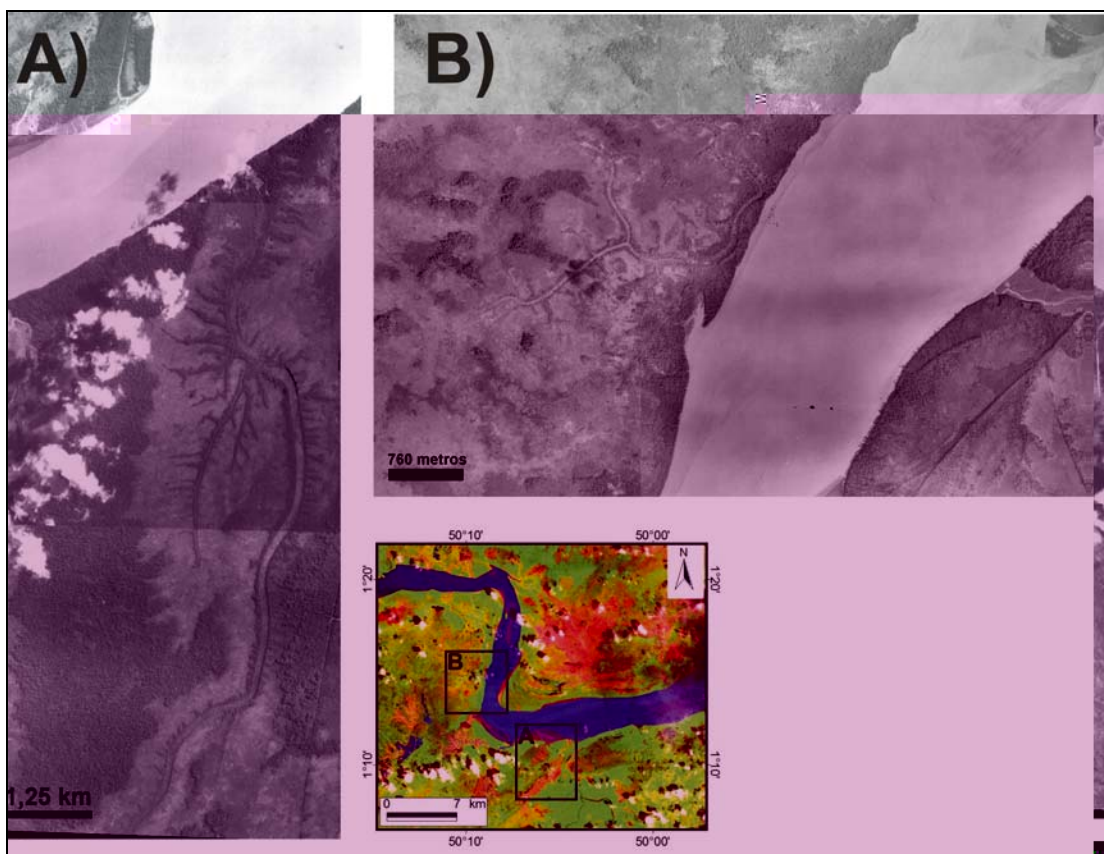


Figura 9.2: Paleodrenagens, com margens delimitadas por linhas de vegetação, na planície de inundação influenciada por marés. A) com tendência retilínea na planície de inundação a sul do estuário do Araguari; B) canais palimpsestos em padrão dendrítico com baixa densidade de drenagem e grau de controle fraco. Imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição coloridas das bandas 7, 4 e 3 em RGB. Fotografias aéreas de setembro de 1952 (A) e outubro de 1966 (B), acervo CHM.

O representante principal de drenagem com segmentos meandrantés é o próprio rio Araguari. Diferente dos segmentos de drenagens palimpsestos, que possuem apenas suas

Na planície estuarina os segmentos retilíneos apresentam deslocamento de suas formas retas, acompanhados pela sedimentação. Em sua linha de deslocamento é comum mudança na cobertura vegetal apresentando em zoneamento, indicando padrões de acresção (Fig. 5.27C, p.111).

9.1.2 Cobertura Vegetal como Marcador dos Processos de Modificação

A cobertura vegetal na região estudada pode ser utilizada como indicador de modificações levando-se em consideração o nível de preservação da área.

Nas áreas mais preservadas da planície ela se destaca como marcadora de processos de colmatação, acresção e erosão. Nas áreas utilizadas pela pecuária são marcadoras dos processos antrópicos.

Como indicador de processos de colmatação, linhas de vegetação demarcam margens de paleodrenagens dentro da planície de inundação destacando-se das áreas campestres adjacentes (Fig. 9.2). Estes alinhamentos são encontrados por toda a planície de inundação, porém na área de uso para a pecuária se encontram com seus padrões alterados.

Outro indicador indireto do processo de colmatação é a presença de massas de florestas na planície de inundação (Fig. 8.6C, p.191). Estas massas se destacam por possuírem árvores mais altas com uma diversidade de espécies parasitárias em seus troncos indicando uma floresta madura. Este tipo de cobertura vegetal ocorre, às vezes, ao lado de cobertura vegetal de várzea mais recente que apresenta árvores de menor porte e espécies mais jovens.

Como marcador de processos de acresção, a cobertura vegetal apresenta feições de zoneamento que ocorrem tanto no limite da planície de inundação com o canal do estuário, quanto na planície estuarina. No primeiro o zoneamento ocorre em vegetação de várzea (Fig. 9.5A) e, no segundo, na vegetação de mangue na planície estuarina (Fig. 5.27B e C, p.111).

Alternância entre os padrões de floresta de várzea e áreas campestres (ver Capítulo 8, Fig. 9.5B) marca linhas acrescionárias associadas a barras em pontal.

Como marcadores de processos erosionais se destacam: linhas de vegetação de floresta de várzea truncadas por outras mais recentes, terraços erosionais em áreas de cobertura vegetal de floresta de várzea (Fig. 5.32B, p.116), campestres, campos antrópicos e em áreas de manguezais na planície estuarina (Fig. 2.6, p.25). Os terraços erosionais são marcados pela exposição de turfas, camadas de lama, raízes de árvores em posição de vida (Fig. 5.32B,

p.116), além da presença de blocos de sedimentos consolidados em frente e acima de terraços erosionais (Fig. 5.32 C a E, p.116).

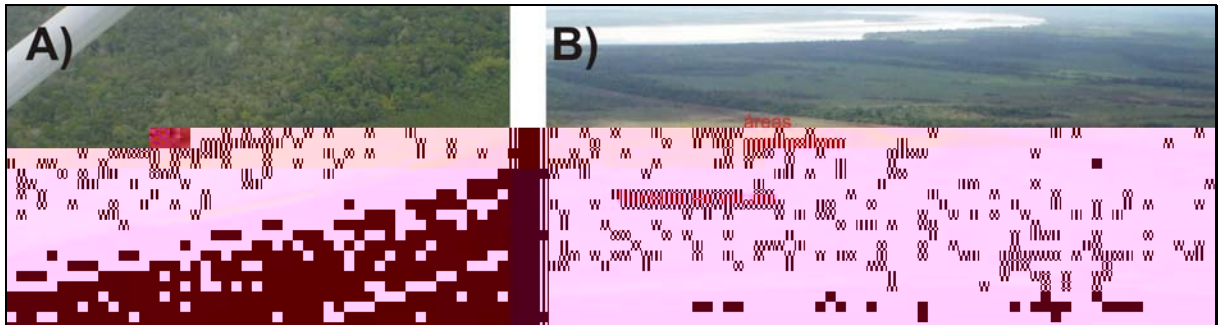


Figura 9.5: A) zoneamento de vegetação na margem do estuário; B) alternância entre padrões de áreas campestres e floresta de várzea delimitando acresção em barra em pontal. Fotos: Odete Silveira, acervo PROBIO.

Nas áreas sob influência da pecuária as diferenças na cobertura vegetal marcam: a) limites de áreas com níveis de pastoreio diferenciado, que é mais efetivo na presença de cercas (Figs. 5.50B, p.136 e 8.8, p.194); b) limites entre áreas conservadas e campos antrópicos, quando foram abertas clareiras em floresta de várzea (Fig. 8.7, p.193 e Fig. 9.6).



Figura 9.6: Desmatamento em áreas de floresta de várzea para implantação de pasto. Notar as cercas delimitando o terreno e a margem do estuário. Março de 2004.

9.1.3 Variações na Taxas de Sedimentação e Erosão

As taxas de sedimentação e erosão verticais e laterais são importantes como indicadores das modificações que ocorrem na área.

Na planície de inundação influenciada por marés, as taxas de sedimentação vertical desempenham um papel fundamental nos processos de agradação, demonstrado pelas estruturas e resíduos de ocupação soterradas nessa planície (Fig. 5.31, p.115), em bom estado de preservação e de datas recentes, conforme confirmado nas entrevistas e nas observações de campo.

Na planície estuarina, os marcadores utilizados em campo mostraram taxas de sedimentação e erosão verticais da ordem de centímetros em poucos dias. É evidente que a alta turbidez do canal estuarino (Capítulo 8) indica a grande disponibilidade de sedimentos nas águas do estuário para que ocorra a deposição. A força de erosão durante o fenômeno da pororoca é um mecanismo poderoso que atua principalmente nas margens do estuário (ver item 5.2.3, p.110).

9.2 INDICADORES ASSOCIADOS À DINÂMICA ANTRÓPICA

Estes indicadores estão associados principalmente à pecuária e seus efeitos sobre a área (ver item 5.4, p.125). Os indicadores que poderiam ser utilizados para avaliar a dinâmica antrópica estão relacionados às trilhas, ravinas, canais retilíneos (tratado no item 9.1.1), cercas e turbidez dos corpos aquáticos.

9.2.1 Trilhas

As trilhas indicam a presença de rebanho e deslocamento do gado sobre o terreno. Corretamente identificadas e monitoradas poderiam servir para indicar onde os processos erosionais e de compactação do solo seriam mais evidentes, uma vez que a tendência observada em campo é das mesmas terminem em um local de pastoreio, repouso ou travessia do rebanho (Fig. 5.43, p.127). Desta forma poderiam ser estabelecidos locais de medições dos processos erosionais, deposicionais e os associados à concentração de sedimentos em suspensão, acompanhando assim os processos de transformações do terreno.

9.2.2 Rampas, Ravinamentos e Canais (Valas)

A presença de trilhas, rampas e ravinamentos nas margens das drenagens associadas com registros de pisoteio de gado pode constituir um indicador morfológico confiável da ação antrópica relacionada à pecuária, indicando ainda processos de erosão por pisoteio de gado, cujos elementos são identificados em outras regiões no mundo (ver Capítulo 5).

9.2.3 Cercas

As cercas em si não se constituem elementos de modificação, mas seccionam paisagens com diferentes níveis de pastoreio e assim podem indicar a dinâmica de modificação da cobertura vegetal (Fig. 8.8, p.194). Além de serem marcadores da utilização do solo para a pecuária, elas podem ser utilizadas também para demarcações de processos erosionais, pelo hábito dos fazendeiros de as construírem geralmente as margens do canal. No exemplo apresentado na Figura 5. 41A (p.125) as cercas duplas indicam que quase 15 metros da margem do canal do rio Araguari teriam sido erodidos em 7 anos em função do pisoteio do gado e ação de correntes.

As modificações induzidas pela presença de cerca e pastoreio do gado podem ocorrer em escala temporal diária, conforme observado na figura 8.8 (p.194).

9.2.4 Turbidez dos Corpos Aquáticos

A turbidez das águas dos lagos e drenagens na planície de inundação pode ser um indicador de sedimentos perturbados por pisoteio do gado, cuja relação já foi discutida no capítulo 5 (Figs. 5.47, p.131 e 5.49, p.133).

A disponibilidade de sedimentos em suspensão pela presença da atividade de bubalinocultura já foi detectada para a baixada maranhense por Ibañez *et al.* (2000).

9.3 TOPONÍMIA

A toponímia pode servir como um elemento para detecção da mudança de paisagem. Na região estudada os nomes de lugares revelam um pouco da temporalidade da origem de algumas drenagens. Um exemplo é o uso do termo “novo” acrescentado aos nomes substantivos da drenagem, como igarapé Novo e lago Novo, indicando a presença de feição

que em passado recente não existia. Por outro lado, o termo rio Tapado indica a presença de uma drenagem que foi colmatada (Fig. 9.7).

Figura 9.7: Drenagem colmatada na desembocadura do rio Araguari, denominada de rio Tapado, indicado pela seta, em mapa histórico de 1850. Fonte: Saint-Quantin (1858).

Feições morfológicas antrópicas são identificadas por nomenclatura própria na região referente a modificações introduzidas pelo homem, tais como o termo “vala”, usado para ressaltar a interferência da atividade de pecuária na construção de drenagens na planície costeira (Santos *et al.*, 2003b). Este termo geralmente é associado ao nome de fazendas ou de pessoas.

Nomes de igarapés associados ao nome de fazenda também são comuns, quando estes se iniciaram a partir da influência da pecuária na região, caso do igarapé Santana, na fazenda epônima, aberto na década de 1980 e que apresenta atualmente uma rede de drenagem bem evidente (ver Capítulo 10).

9.4 IDENTIFICAÇÃO E ESCALA DOS INDICADORES

Os indicadores tratados acima puderam ser identificados através de várias ferramentas e métodos utilizados nesta pesquisa.

9.4.1 Dados dos Sensores Remotos

Em dados de sensores remotos quase todos os indicadores puderam ser identificados, com exceção da toponímia e formas dos fundos de vales. No caso da toponímia, as imagens auxiliaram a identificar o histórico de desenvolvimento das drenagens modificadas (ver item 9.5).

Os indicadores associados à rede de drenagem são evidenciados nas imagens de acordo com a resolução espacial e espectral do sensor. Nas imagens JERS-1 as grandes paleodrenagens (Fig 8.14, p.202) e drenagens atuais são possíveis de serem observadas, assim como algumas redes de drenagens secundárias (Fig. 8.7A, p.193). Nas imagens RADARSAT-1 a presença de água na planície de inundação não permite que as drenagens secundárias sejam ressaltadas em todas as imagens (Fig. 8.7C e D, p.193). As drenagens principais e

secundárias são evidentes nos produtos do sensor ETM+, principalmente na segunda componente principal do subgrupo II para as drenagens atuais e, na composição colorida para as paleodrenagens. Pequenas drenagens, da ordem de metros a algumas dezenas de metros de extensão, não podem ser observadas, a não ser nas fotografias aéreas e imagens de sobrevôo, as quais são importantes para distinguir a forma de segmentos da rede hidrográfica.

Da mesma forma que a drenagem, a cobertura vegetal e sua variação também podem ser monitoradas pelos diversos sensores, resguardando-se suas limitações (ver capítulos 8 e 11) para a observação dos padrões.

Os reflexos das variações nas taxas de sedimentação e erosão laterais só podem ser avaliados nas imagens através de análises multitemporais (ver Capítulo 10).

As estruturas antrópicas relacionadas às cercas são evidenciadas nas imagens de satélite, dependendo da variação no padrão espectral recortado por elas, do tipo de sensor utilizado e de sua resolução espacial (ver Capítulo 8). Estes elementos influenciam muito mais na detecção dessas estruturas do que as suas dimensões. O mesmo ocorre com as valas. Por exemplo, no igarapé Santana, é notável nas imagens do sensor ETM+ a presença do intrincado arranjo de valas no interior da planície de inundação. As larguras dessas valas no interior desse igarapé não ultrapassam algumas dezenas de metros.

Rampas, ravinas e poças de dimensões métricas são mais evidentes em recobrimento fotográfico por sobrevôo e em campo.

A turbidez da água, devido ao pisoteio do gado dentro dos corpos de água, foi identificada nos produtos do sensor ETM+ (Fig. 9.8) e nas fotografias tomadas em sobrevôo (Fig. 5.47, p.131).

As trilhas por serem formas lineares muito estreitas (por volta de 40 cm) não puderam ser percebidas pelos sensores remotos orbitais. Entretanto, são elementos visíveis em imagens de sobrevôos por sua continuidade linear no terreno. Isto leva a possibilidade de serem visualizadas em sensores óticos com alta resolução espacial, em função da diferença de padrão espectral que ocorre entre o solo exposto na trilha e áreas vegetadas nas adjacências.

9.4.2 Cartas e Mapas

O principal indicador que pode ser analisado tanto em cartas e mapas históricos, como em cartas e mapas recentes, é a toponímia. Estes documentos guardam o registro dos nomes

de lagos e canais, os quais podem mudar ao longo do tempo, porém seus nomes permanecem registrados. Além da toponímia, guardam ainda o registro da hidrografia e conseqüentemente de antigas linhas de costas (ver Capítulo 10). Tais registros são aplicados no capítulo 10.



Figura 9.8: Águas turvas em lagos nas regiões de criação de búfalos, na planície de inundação influenciada por marés e fora da influência do fenômeno da pororoca. A1) e B1) composição colorida das primeiras componentes principais dos subgrupos I (B) e III (G) e banda 4 (R) do sensor ETM+; A2) e B2) primeira principal componente do subgrupo I. Notar em A1 que o rio Araguari tem uma tonalidade de azul mais escuro, indicando águas menos turvas.

9.4.3 Trabalhos de Campo

Os principais indicadores relacionados às drenagens que foram observados nos trabalhos de campo são o tipo do segmento e a forma do vale do canal, através de levantamentos topográficos e batimétricos. Foram úteis para analisar as drenagens naturais e antrópicas da ordem de poucos metros, ao mesmo tempo em que permitiram observar as estruturas sedimentares, as quais indicam os processos associados a essas drenagens e às feições morfológicas referentes ao pisoteio do gado.

A utilização de rampas, ravinas e valas como elementos de monitoramento dos processos antrópicos deve considerar uma rápida evolução de devido aos processos erosionais. Nos primeiros trabalhos de campo tentou-se fazer um monitoramento da abertura de uma vala que não foi eficaz por dois motivos:

- áreas ocupadas pelo rebanho e para a implantação das fazendas possuem rápido crescimento da cobertura vegetal. Isto faz com que os fazendeiros limpem o terreno freqüentemente e, desta forma, antigas rampas e ravinas podem ser entulhadas, impedindo observação o seu processo de evolução, conforme aconteceu com a vala observada na Fig. 5.45D, p.129;
- estas formas, quando seguem seu processo de evolução, podem ser entulhadas por sedimentos devido ao processo erosional a que estão submetidas e desta forma são abandonadas pelo gado. Isto explica o complexo padrão de canais que se associam nas áreas pisoteadas pelo rebanho (Figs. 5.45, p.129 e 5.47, p.131) e provavelmente a indicação nas entrevistas de que muitas valas dentro da planície de inundação estariam se fechando.

Outro indicador que pode ser monitorado em campo é a concentração de sedimentos em suspensão, que pode evidenciar tanto a disponibilização de sedimentos por processos naturais quanto antrópicos (ver Capítulo 5).

As estruturas antrópicas são bem visíveis no terreno, principalmente as cercas quando construídas em áreas de vegetação campestre (ver Capítulo 8). Entretanto, cercas em áreas de vegetação densa, podem ficar escondidas em campo e, neste caso, tomadas de fotografias aéreas são melhores (Fig. 9.9).



Figura 9.9: Cerca atravessando áreas de floresta densa e áreas campestres. Foto: Odete Silveira, acervo IBAMA.

Áreas erosicionais e deposicionais atuais são evidentes nos terraços (Fig. 5.32, p.116) e plataformas de deposição (5.29A, p.114), respectivamente. A comparação entre estruturas sedimentares em áreas erosionais pode ser indicadora dos processos pretéritos de evolução da paisagem. No caso, podem ser utilizadas para analisar se ilhas hoje encontradas dentro do canal do rio faziam parte ou não do continente e desta forma auxiliar na análise multitemporal (ver Capítulo 10).

Através de entrevistas de campo, dois elementos indicativos de modificações foram identificados: toponímia e rede de drenagem. No caso da rede de drenagem foram apontados os locais onde foram abertos drenos pela ação antrópica direta ou pelo pisoteio do gado. Ao mesmo tempo, foram úteis para indicar áreas onde as drenagens estão sob modificação seja por processos naturais ou antrópicos (ver Capítulo 10).

9.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As diferenças apresentadas para a rede de drenagem com relação ao seu padrão, tipo de segmento e formas do canal podem ser indicadores para estabelecer se a rede de drenagem sofreu ou não influência dos processos antrópicos, principalmente na planície de inundação.

Para as drenagens naturais, os perfis apresentam um desenvolvimento de formas comuns para os segmentos meandantes, associados aos processos deposicionais e erosionais, gerando a assimetria na morfologia e diferenças na sedimentação em ambas as margens de canais (Fig. 9.3).

Drenagens retilíneas são freqüentes dentro da planície de inundação e os estudos dos efeitos da pecuária sobre o terreno (ver Capítulo 5) indicam que as mesmas podem servir como indicadores da atuação dos processos antrópicos, estando associadas principalmente ao pisoteio do gado. Este tipo de drenagem pode ser definido a partir de suas relações temporais com outras drenagens (Fig. 5.47, p.131), da observação de estruturas sedimentares em ambas as margens das drenagens e de análises multitemporais (neste caso, desde que seja possível estabelecer o histórico de ocupação do terreno). A topografia também é um elemento importante para verificação da morfologia desses canais, que apresenta diferenças para as drenagens naturais e antrópicas (ver Capítulo 5 e Figs. 9.3 e 9.4).

Em Lima (2002) é mostrado que drenagens com canais retos são poucos freqüentes na natureza, à exceção daqueles que são controlados por falhas e juntas, ou pela disposição de cordões arenosos em planícies arenosas ou planícies deltáicas. O controle do deslocamento do curso da drenagem, em função de variações no regime sedimentar, como observado na planície estuarina (Fig. 5.27B e C, p.111), também é capaz de estruturar drenagens com padrões de deslocamento retilíneos, uma vez que na área onde tal processo ocorre não se observa influência da atividade de pecuária (ver Capítulo 8).

A cobertura vegetal pode ser utilizada como indicador de mudanças tanto na planície de inundação como na planície estuarina, indicadas pelas feições geomórficas discutidas no capítulo 8 e item 9.1.2.

Entretanto, Morton (1996) advoga que as linhas de vegetação seriam elementos menos sensíveis para ressaltar modificações na linha de costa, devido a mudanças temporais em sua aparência. No entanto, o autor acrescenta que isso pode ser resolvido com o entendimento dos processos costeiros e dos fatores que afetam a aparência da linha de vegetação em fotografias aéreas. Tais processos já foram discutidos para a área em foco nos capítulos anteriores (capítulos 5 e 8).

As linhas de vegetação podem ser um indicador mais confiável para identificação de paleodrenagens nas imagens, quando estas não estão alteradas pela ocupação do solo para a pecuária, pois marcam nitidamente margens de paleodrenagens.

Próximo às margens da planície de inundação e na planície estuarina, são demarcadoras dos processos de acreção e erosão e sua utilização seria mais confiável para a área do que utilizar a linha d'água em avaliações multitemporais por imagens, pois:

- dentro do estuário, as zonas de intermaré são restritas e totalmente cobertas durante a preamar;
- as zonas de intermaré na planície estuarina em direção à desembocadura do estuário são tão amplas e planas que pequenas variações nas marés poderiam produzir variações de extensões consideráveis nesse indicador.

Além do mais, a variação na cobertura vegetal produz um padrão espectral passível de ser monitorado na maioria dos sensores utilizados nesta tese, dependendo de sua resolução espacial e espectral (ver Capítulo 8).

Na planície de inundação, a retirada da cobertura vegetal das áreas de floresta de várzea pode ser indicador da taxa de ocupação do solo para a pecuária através de imagens de sensores com resolução espacial e espectral adequada. Entretanto, para as áreas campestres, a rápida mudança da cobertura vegetal, em virtude das condições naturais e antrópicas, não permitiria a utilização deste indicador de forma eficaz.

As variações nas taxas de erosão e sedimentação tanto vertical como laterais devem ser cuidadosamente utilizadas. Para as taxas de sedimentação vertical, deveriam ser utilizados métodos clássicos como o ^{210}Pb e ^{137}Cs . No entanto, deve-se considerar que as medidas em campo, embora limitada pelo número de experimentos, apontam para altas taxas de erosão e sedimentação, variáveis dentro do estuário, em função de processos de erosão e deposição diferenciados.

Durante os trabalhos de campo, foram testados vários métodos de observações das taxas de sedimentação e erosão (varas graduadas, placas, piquetes, trena e bússola). Entretanto, em alguns locais, as elevadas taxas de erosão e a velocidade das correntes não permitiram medições confiáveis, havendo ainda perdas de material e de pontos de referência. Para a planície estuarina as taxas de sedimentação e erosão verticais poderiam ser monitoradas através das placas de sedimentação construídas e utilizadas na pesquisa (Fig. 3.6, p.45), as quais podem também auxiliar no estudo de formação de estruturas sedimentares durante a atuação do fenômeno da pororoca, em outras áreas no estuário.

Não se deve esquecer, entretanto, que as estruturas antrópicas soterradas na planície de inundação podem ser um elemento importante de referência para avaliação dos processos

sedimentares, se aliadas com outros métodos de datação e correlacionadas com o resgate do histórico de ocupação.

Os vestígios de estruturas associadas a construções de casas (Fig. 9.10) e cercas (Fig. 5.41A, p.125) nas margens do estuário podem ser usados para avaliar as taxas de erosão lateral e sua identificação depende da busca de informações em campo através de entrevistas. Semelhante aos mapas antigos, estes indicadores ficam registrados, mesmo que na memória das pessoas, indicando antigas construções que hoje não existem, ou que se tornaram obsoletas, como no caso das cercas, sendo, portanto, registros históricos que não podem ser desprezados.

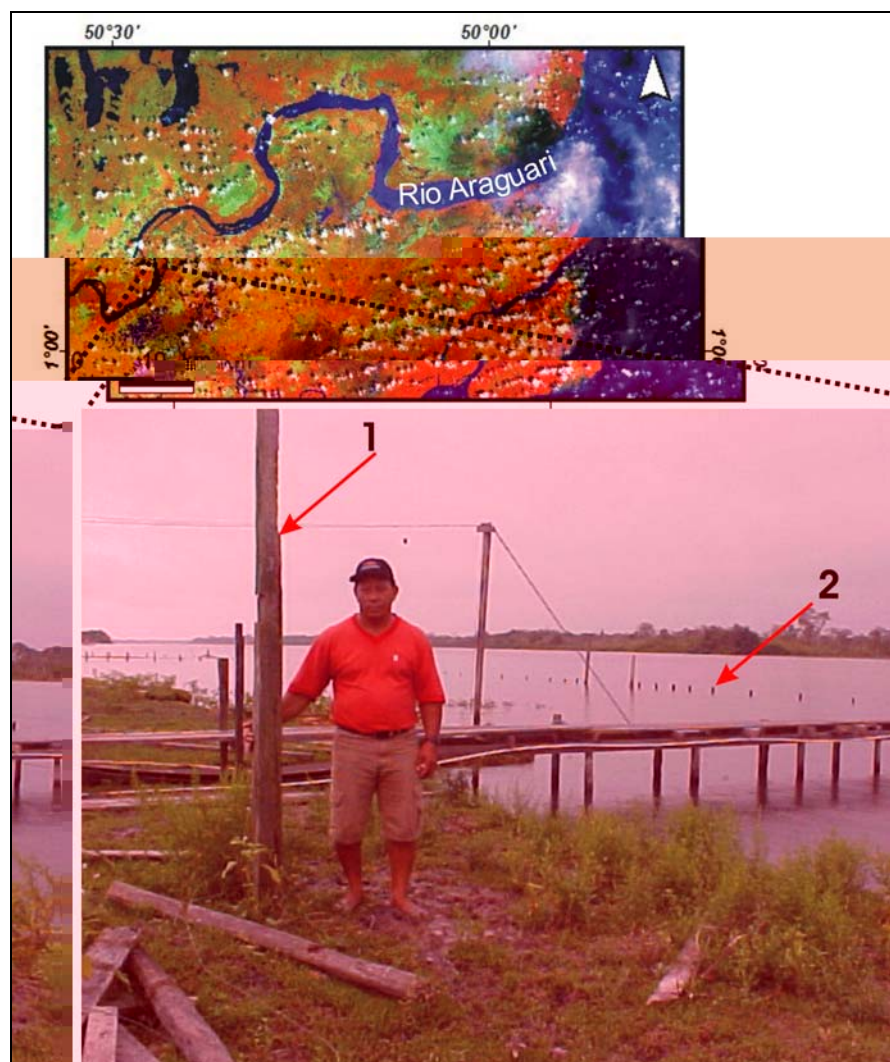


Figura 9.10: Estrutura de fundos de casa (1) e de antiga cerca (2). Estas estruturas correspondem à segunda casa, construída em 1995 e abandonada em 2002. Notar que a erosão ocorre em margem côncava do meandro do rio Araguari, que poderia indicar o processo natural de migração do canal do rio. No entanto, os moradores apontam consensualmente que o pisoteio do gado tem acelerado os processos erosionais. Composição colorida das primeiras componentes principais dos subgrupos I (B) e III (G) e banda 4 (R) do sensor ETM+.

O monitoramento dos indicadores associados às trilhas, rampas, ravinas e valas requer adoção de sistemática apropriada e constante visitas ao campo, tentativa feita nesta pesquisa. Entretanto, duas dificuldades ocorreram:

- rápida evolução do processo erosional com perda das referências;
- dificuldade de acompanhamento regular do processo através das revisitas em campo.

A primeira dificuldade poderia ser sanada com o uso de uma estação total que permitisse monitorar a evolução das formas em três dimensões (profundidade, largura e comprimento). A segunda depende de fatores de ordem econômica e logística, pois requer várias campanhas de campo. Necessita ainda, de que os moradores da região não modifiquem o local e que condições de acessibilidade existam durante todo o período de monitoramento. O acompanhamento contínuo com DGPS e estação total poderia ser um método a ser testado para monitorar a evolução das feições morfológicas, porém há necessidade de ser estabelecido referências de nível confiáveis, inexistente na área de estudo.

Vale ressaltar que, na literatura, a maioria dos estudos não adota esta metodologia, pois a adoção de estações totais, ravinastádo

quando se tratar de uma área muito dinâmica como a estudada, pois pode levar ao uso de homônimos, como o associado ao termo novo. Como exemplo, o nome igarapé Novo denomina duas drenagens diferentes existentes na área de pesquisa. Uma drenagem que deságua no Araguari próximo à sua desembocadura a leste (Fig. 9.11A) e outra associada ao rio Gurijuba a sul (Fig. 9.11B). Ambas teriam se estabelecido na década de 1980, conforme atestado nas entrevistas em campo e confirmado pelas observações dos sensores remotos (ver Capítulo 10). Estas ambigüidades podem ser sanadas com o reconhecimento da localização das drenagens e corroboração das entrevistas com outros moradores do local, o que se fez nesta pesquisa.

Nas cartas históricas, os registros da hidrografia e antigas linhas de costas devem ser analisados, resguardando-se de problemas referentes à fidelidade das cartas, à realidade do terreno por conta de mal feitas e à cartografia tendenciosa em virtude de questões políticas e históricas, além de situações relativas à evolução da própria cartografia ao longo do tempo.

A maioria dos indicadores apresentados foram detectados nas imagens de sensores remotos através das modificações nos padrões espectral e espacial, assim como através de análises multitemporais (Quadro 9.1, ver Capítulo 10).

Deve-se considerar, no entanto, que um indicador deva ser passível de medição, ou ter pelo menos meios de resgatar a informação. No entanto, avaliando-se a realidade da região estudada, quais indicadores podem ser mensurados com confiabilidade de sua origem? visto que os registros geológicos e geomorfológicos da área, principalmente na planície de inundação, parecem estar sendo superpostos pelos processos antrópicos.

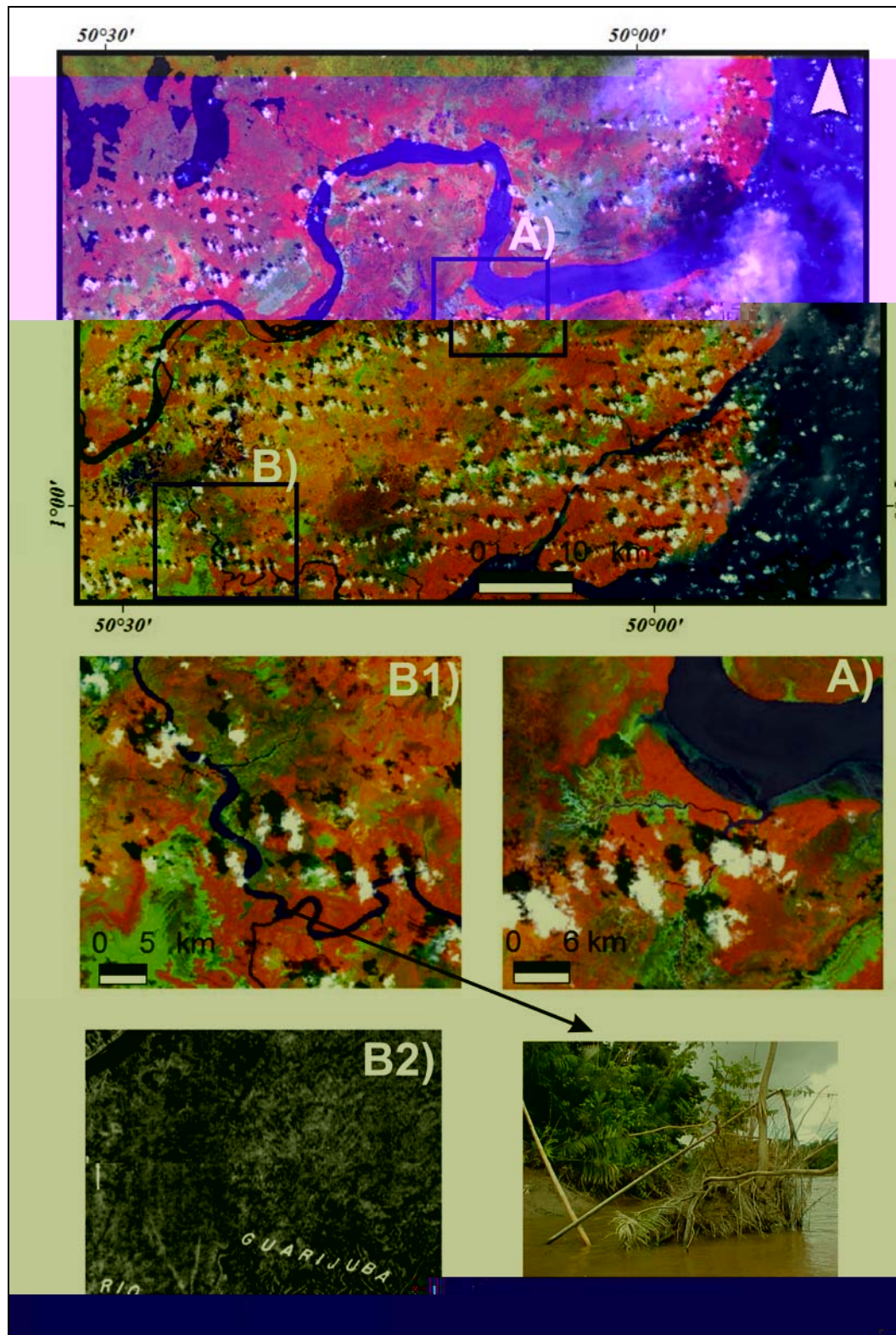


Figura 9.11: Drenagens homônimas. A) Igarapé Novo na margem do rio Araguari; B1) igarapé Novo ligando o rio Gurijuba ao rio Araguari. Em 1972 essa drenagem era inexistente na época da aquisição das imagens do projeto RADAM (B2). A fotografia mostra evidências do processo erosional na confluência do igarapé Novo com o rio Gurijuba. Imagem de satélite do sensor ETM+, composição colorida das primeiras componentes principais dos subgrupos I (B) e III (G) e banda 4 (R).

Quadro 9.1: Indicadores, métodos e escalas de observação neste estudo.

Indicador	Dados de Sensores Remotos	Cartas Históricas	Trabalhos de Campo
Padrão e tipo de segmentos da rede de drenagem	Imagens JERS-1, ETM+, fotografias aéreas verticais e oblíquas e parcialmente no RADARSAT-1		Melhor observado para rede de drenagem com extensão métrica a dezenas de metros; Acompanhamento da forma com drenagem com GPS;
Formas dos vales dos canais atuais			Observações e levantamentos topográficos e batimétricos;
Paleodrenagens	Detecção da forma do segmento da rede de drenagens em imagens JERS-1, ETM+, RADAR GEMS 1000, fotografias aéreas verticais e oblíquas	Detecção da hidrografia da época da elaboração do mapa	Sem boa visibilidade em campo
Cobertura vegetal	Imagens de satélite, fotografias aéreas verticais e oblíquas, RADAR GEMS 1000	Detecção de áreas com vegetação de floresta	Observação da estrutura e relações de contexto
Taxas de erosão e sedimentação	Variações laterais observadas em análises multitemporais		Variações verticais na planície estuarina detectadas com medição utilizando placas de sedimentação; variações na planície de inundação detectadas através de objetos e estruturas soterradas
Trilhas	Fotografias aéreas verticais e oblíquas		Medições de largura e comprimento com trena
Rampas, ravinas e canais	Imagens de satélite para os canais de dezenas a centenas de metros de comprimento; fotografias aéreas oblíquas para os canais menores e as ravinas		Observações da largura, altura, forma e aspectos da sedimentação
Cercas	Imagens de satélite, fotografias aéreas oblíquas		Posicionamento com GPS e relação de contexto com os padrões da área.
Turbidez da água	Imagens do sensor ETM+ e fotografias aéreas oblíquas		Medições de sedimentos em suspensão e observação da relação de contexto do corpo d'água com o uso e cobertura do solo
Toponímia		Para drenagens naturais existentes no passado	Entrevistas de campo com posicionamento das drenagens e distinção de termos para drenagens naturais e antrópicas

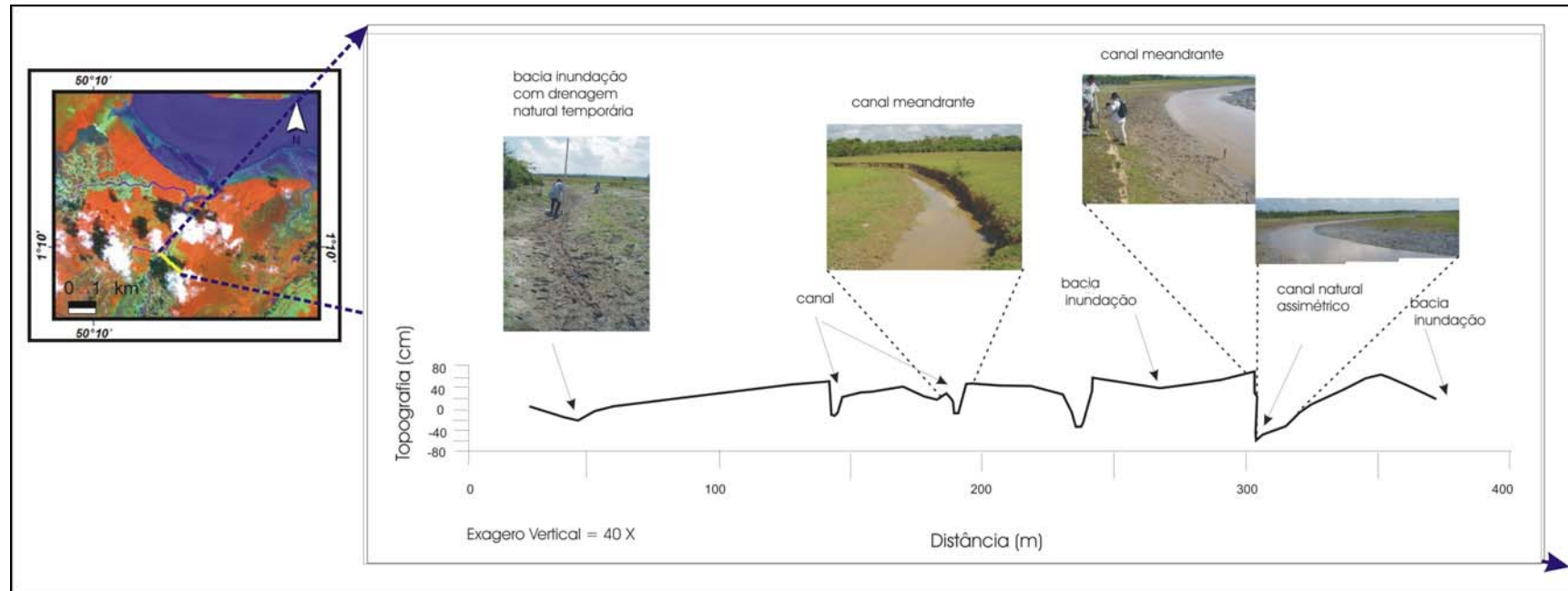
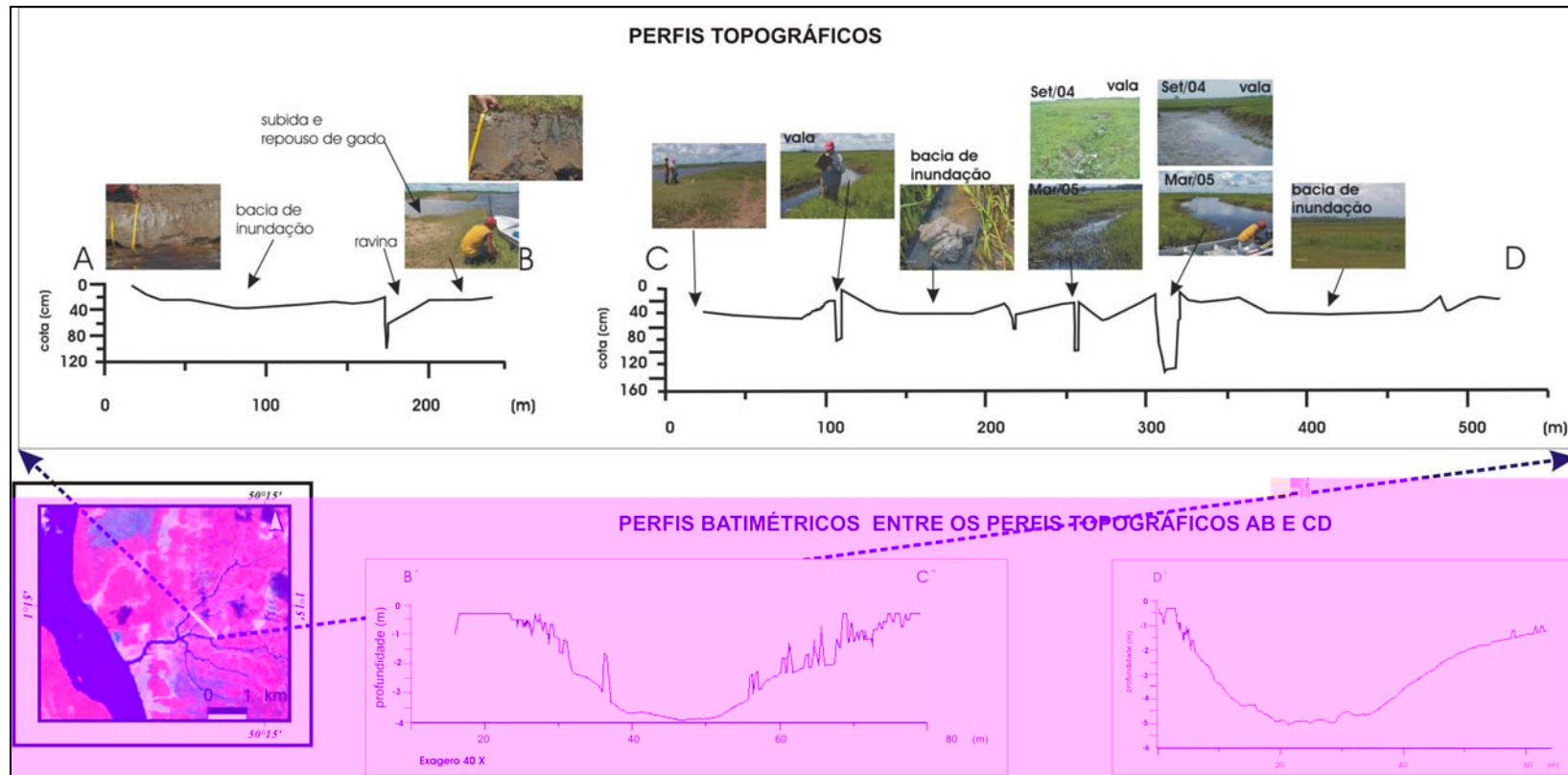


Figura 9.3: Aspectos topográficos dos segmentos meandranes naturais na planície de inundação. Os perfis transversais aos canais são assimétricos. Perfil IN2, no igarapé Novo, fazenda do Sr. Dinaldo, área de influência da pororoca. Imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G.



10 RECONSTITUIÇÃO DAS MODIFICAÇÕES NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI	232
10.1 APLICAÇÃO DE MAPAS HISTÓRICOS E IMAGENS DE SENSORES REMOTOS EM ESTUDOS DE MODIFICAÇÕES COSTEIRAS	232
10.2 MATERIAIS E MÉTODOS	234
10.2.1 Mapas Históricos	234
10.2.2 Imagens de Sensores Remotos	236
10.2.3 Dados Auxiliares	236
10.2.4 Métodos de Detecção das Mudanças	236
10.3 MUDANÇAS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO INFLUENCIADA POR MARÉS	237
10.3.1 Permanência do "Cabo Norte" e desaparecimento da ilha Carpori	237
10.3.2. Desaparecimento do Furo do Araguari na Porção a Sul do Estuário	239
10.3.3. Evolução de Canais Secundários	242
10.3.4. Detecção das Mudanças no Lago Central do Meandro de Desembocadura.....	246
10.4 MUDANÇAS NA PLANÍCIE ESTUARINA NA DESEMBOCADURA DO RIO ARAGUARI	246
10.4.1 Desenvolvimento da Morfologia Atual do Meandro de Desembocadura	246
10.4.2 Modificações na Planície Estuarina.....	247
10.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	250

Capítulo 10

RECONSTITUIÇÃO DAS MODIFICAÇÕES NO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI

Neste capítulo apresenta-se a história de modificações registradas a partir do século XVII, relacionada ao desenvolvimento do estuário do rio Araguari, tendo como base de informações os mapas históricos e imagens de sensores remotos, aliados aos dados auxiliares e os indicadores de modificação discutidos anteriormente.

10.1 APLICAÇÃO DE MAPAS HISTÓRICOS E IMAGENS DE SENSORES REMOTOS EM ESTUDOS DE MODIFICAÇÕES COSTEIRAS

A aplicação de imagens de sensores remotos é providencial para a caracterização dos ambientes costeiros e indicações dos processos de modificações da paisagem. Elas permitem o reconhecimento dos ambientes atuais e de feições geomórficas importantes, produtos das modificações do passado, registradas nas planícies costeiras, tais como meandros abandonados, paleodeltas, antigos estuários e registros de planícies acrescionárias (ver Capítulo 9). Tais elementos são indicativos dos processos que operaram nesses ambientes. Estas imagens também são úteis para estudar a dinâmica das modificações relacionadas aos processos costeiros atuais, pelo menos a partir do aparecimento das fotografias aéreas.

No entanto, nem todas as fases de modificações ficam registradas nas planícies costeiras, principalmente nos trópicos úmidos, sujeitos às condições climáticas que propiciam o desenvolvimento de uma cobertura vegetal espessa, impedindo a identificação desses registros. Além do mais, estes registros se superpõem em várias escalas de tempo, e a erosão pode promover a perda do registro dos eventos acrescionários, tornando mais difícil a identificação e a reconstituição dos eventos. Quando a ação antropogênica interage no terreno, fica ainda mais difícil entender a história evolutiva e estabelecer ações eficazes para seu estudo.

Nesse contexto, os mapas históricos passam a representar um papel importante para a melhoria do conhecimento dos ambientes costeiros e para análise de suas modificações, principalmente nas áreas sujeitas a mudanças intensas e constantes. Com efeito, eles mostram feições representativas da hidrografia e morfologia observadas em diferentes épocas, que podem ser descritas apesar da sua qualidade limitada devido à precisão de localização. Além do mais os mapas antigos constituíam uma ajuda à navegação. Estes mapas podem auxiliar na reconstrução da evolução geológica recente, como é o caso da planície costeira do Amapá.

O único trabalho utilizando mapas históricos, para reconhecer a evolução geológica recente (seculares) da costa amapaense, é o de Silveira (1998). A autora utilizou os mapas de Alexandrino (1749), Cavalcante (1896) e Braz de Aguiar (1923) comparando com fotografias aéreas da década de 70, e imagens de radar do Projeto RADAM (Azevedo, 1971), para o reconhecimento de antigas feições morfológicas no interior da planície costeira e da evolução da linha de costa. Tais feições estão associadas à desativação de deltas, baías e canais. Algumas parecem ser registros de condições hidrográficas e geomorfológicas registradas nos mapas antigos, o que demonstra a rápida dinâmica de modificações nessa planície costeira.

Plaziat e Augustinus (2004) utilizaram mapas dos séculos XVIII e XIX, comparando alguns sítios na costa da Guiana Francesa, o que permitiu entender melhor o fenômeno de progradação e retrogradação dos bancos lamosos existentes nessa costa (ver Capítulo 3), cuja existência pode ser remontada ao século XVIII.

Modificações recentes têm sido detectadas através de imagens de sensores remotos, em vários locais nas costas tropicais (ver Capítulo 6). Na costa amazônica, foram observadas por diversos autores, conforme apresentado no capítulo 7. Alguns desses trabalhos apontam para as prováveis mudanças associadas à atividade de pecuária (Santos *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2003), induzindo a modificações morfológicas (capítulos 5, 8 e 9) e criando uma complexidade para o entendimento das modificações naturais que ocorrem na planície estudada.

A recuperação da história de modificações de ambientes costeiros, através de mapas antigos, foi estudada no mundo por vários autores (Warburton *et al.*, 2002; Cooper *et al.*, 2004; Wal e Pye, 2004). Os trabalhos demonstram que esses mapas podem se constituir em mais uma ferramenta aliada aos estudos dos ambientes costeiros e que, apesar de suas limitações, poderiam ser utilizados para costas influenciadas por rápidas mudanças costeiras (Camfield e Morang, 1996). Neste caso, seria útil para o estudo das modificações na costa

amazônica, pois as histórias, geológica e humana, são distintas e geralmente ocorrem em escalas temporais muito diferentes. A costa amapaense é uma das poucas regiões no mundo onde essas histórias ocorrem em mesma escala de tempo. Por esta razão os mapas antigos podem ser utilizados para estudar evoluções geológicas-geomorfológicas. No entanto, como essa é uma situação pouco freqüente, ainda não existe uma metodologia bem desenvolvida para essa abordagem.

10.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste capítulo corresponde principalmente à análise de mapas históricos desde o século XVII, com um aumento na freqüência dos dados a partir da década de 1950, devido ao desenvolvimento de sensores remotos imageadores aerotransportados e orbitais. Estas cartas e imagens foram correlacionadas entre si, e com dados auxiliares e indicadores de modificações.

10.2.1 Mapas Históricos

Os mapas históricos foram utilizados para observação visual e comparação com os registros das paleofeições nas imagens de satélite e fotografias aéreas. Comentários anotados nos mapas e a respeito dos mesmos foram utilizados como referência para entender as modificações. A correção geométrica desses mapas não foi realizada devido à necessidade de recuperação da história de confecção dos mapas, de se recuperar mapas bem preservados e de se buscar informações sobre as projeções cartográficas e correções das mesmas para as projeções e datum atuais.

Os mapas históricos da região costeira estudada existem desde o século XVI. Apesar desses mapas apresentarem pouca informação, para o interior da planície costeira e terrenos geologicamente mais antigos, nas proximidades das linhas de costa possuem uma cartografia mais aprimorada, devido à necessidade de auxílio à navegação na região (Fig. 10.1A) e ao desenvolvimento do comércio com grupos indígenas que habitavam a costa (Fig. 10.1B).

Ademais, a presença na região norte do país de uma área de Contestado, inicialmente entre Portugal e a França, na região entre os rios Oiapoque e Araguari, durante os séculos XVIII e XIX, levou à confecção de muitos mapas militares para preparar a arbitragem da área.

A localização da região em área de fronteira do Brasil também contribuiu para que muitos mapas fossem elaborados.



Figura 10.1: A) Mapa de 1793, mostrando as áreas rasas e cotas batimétricas como auxílio à navegação na costa amapaense; B) mapa do final do século XIX, mostrando localização de tribos indígenas (elipses em cinza). Fonte: *Archives Départementales de la Guyane*.

Um dos problemas relativos a esses mapas é a sua conservação, apresentando distorções de papel, dobradura, dentre outros, e sua precisão decorrente da evolução da própria história cartográfica, uma vez que as longitudes eram imprecisas até o final do século XVIII, enquanto que as latitudes já tinham melhor precisão séculos antes. As datas nesses mapas são pouco precisas, sendo um dos problemas as inúmeras cópias de autores diferentes realizadas com maior ou menor precisão dependendo do objetivo do trabalho. Além do mais, os mapas representavam uma informação defasada de 10 a 20 anos, quando os dados já eram de domínio público.

Entretanto, estes mapas permitem comparações que podem dirimir parte da história geológica da planície do estuário do rio Araguari, através das comparações de macro-feições com os registros encontrados nas imagens de sensores remotos. Isso exige que as paleofeições existentes nas imagens recentes tenham sido observadas pelos cartógrafos que elaboraram os mapas, o que é possível quase sempre para os rios e seus limites com a linha de costa. No entanto, a presença de bancos lamosos ou arenosos é observada apenas se fosse importante para a navegação.

10.2.2 Imagens de Sensores Remotos

As imagens de sensores remotos fornecem uma visão em várias escalas temporais e espaciais, tendo sido utilizadas para observação das transformações em escala regional e local. Elas permitiram identificar os vestígios da morfologia do passado (capítulos 8 e 9) e as modificações recentes que estão ocorrendo no estuário principalmente em sua planície estuarina.

As imagens utilizadas foram fotografias aéreas verticais, imagens do Projeto RADAM (RADAR GEMS 1000), imagens de radares JERS-1 e RADARSAT-1, além das imagens dos sensores MSS, TM e ETM+ do satélite Landsat 1, 4, 5 e 7. Os processamentos destas imagens foram descritos no capítulo 8.

10.2.3 Dados Auxiliares

Imagens de fotografias de 35 mm obtidas em sobrevôo foram utilizadas visando auxiliar no reconhecimento dos padrões morfológicos e na determinação de indicadores de modificação na área. Entrevistas de campo, através de questionários, foram realizadas com moradores da região resgatando a história de modificações recentes nas drenagens, a fim de correlacioná-las com as informações das imagens de sensores remotos. Esta fase permitiu também identificar outros indicadores de modificação na região, como por exemplo a toponímia (ver capítulos 3 e 9).

10.2.4 Métodos de Detecção das Mudanças

As modificações foram identificadas através da análise multitemporal dos mapas históricos e imagens de sensores remotos (ver capítulos 3 e 8), confirmados através dos dados auxiliares descritos acima, e dos indicadores de modificação apresentados e discutidos no Capítulo 9.

10.3 MUDANÇAS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO INFLUENCIADA POR MARÉS

A partir do século XVII, várias evidências de modificações morfológicas foram detectadas resultantes das transformações ambientais no estuário estudado.

10.3.1 Permanência do "Cabo Norte" e desaparecimento da ilha Carpori

O Cabo Norte é uma das importantes feições fisiográficas da planície costeira do Amapá, delimitando a planície de inundação influenciada por maré a norte do estuário do rio Araguari. A presença deste cabo ocorre nos mapas desde o século XVII (Fig. 10.2A) e permanece nos mapas dos séculos subsequentes (Fig. 10.2B a D). Este cabo aparece associado à presença de uma ilha denominada Carpori, registrada em vários mapas analisados.

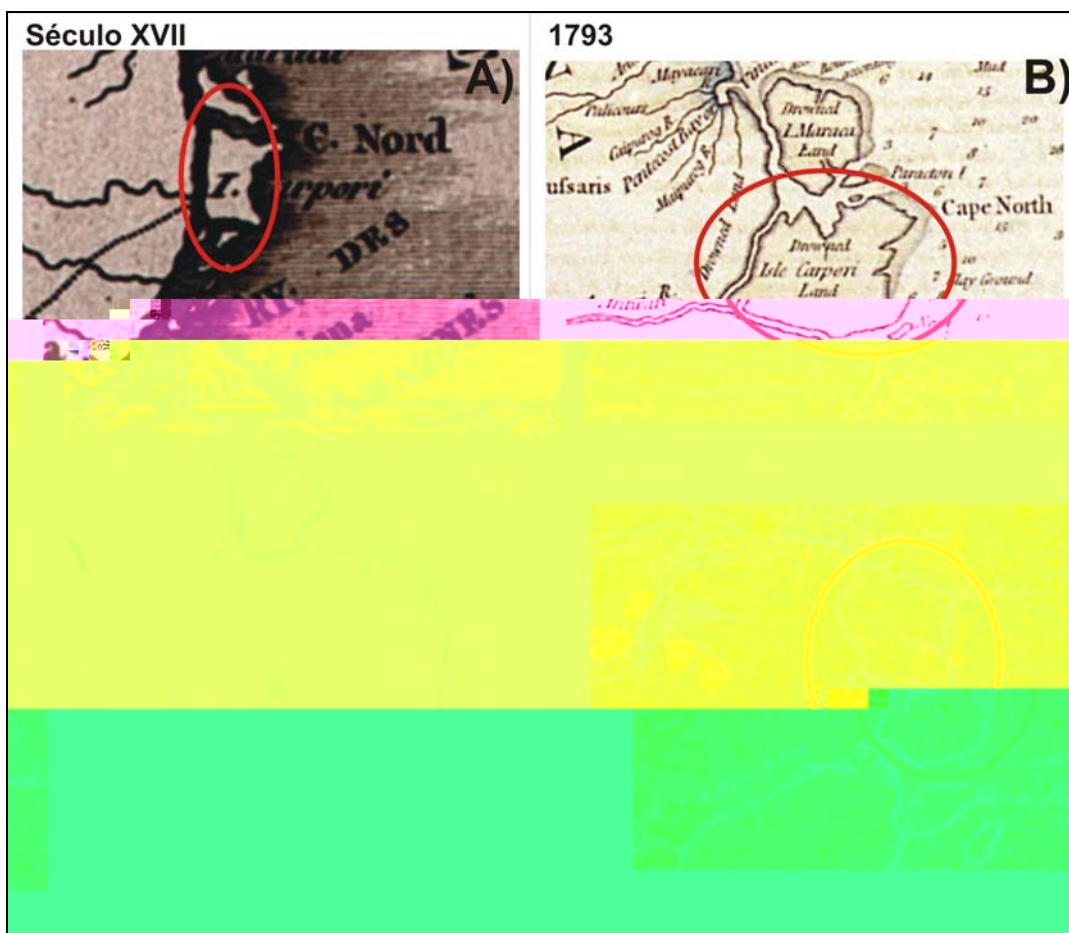


Figura 10.2: Mapas mostrando a evolução da cartografia das terras da Ilha Carpori, na planície de inundação a norte do rio Araguari. A a C: *Archives Départementales de la Guyane*, D: Arquivo Histórico do Exército Brasileiro.

A antiga ilha Carpori que definia o Cabo Norte posicionava-se na foz do antigo rio Araguari, e referia-se a uma terra delimitada entre dois braços do rio Araguari: um a oeste e outro a sul, separando-a do continente (Fig. 10.2B). Nos mapas esses braços parecem ter dimensões semelhantes e poderiam ser navegáveis, razão pela qual podem ter sido bem cartografados. Por volta do final do século XVIII o braço a oeste desta terra desaparece, sendo substituída por uma área alagada, quando deve ter ocorrido a consolidação da atual região dos Lagos (Fig. 10.3A a C).

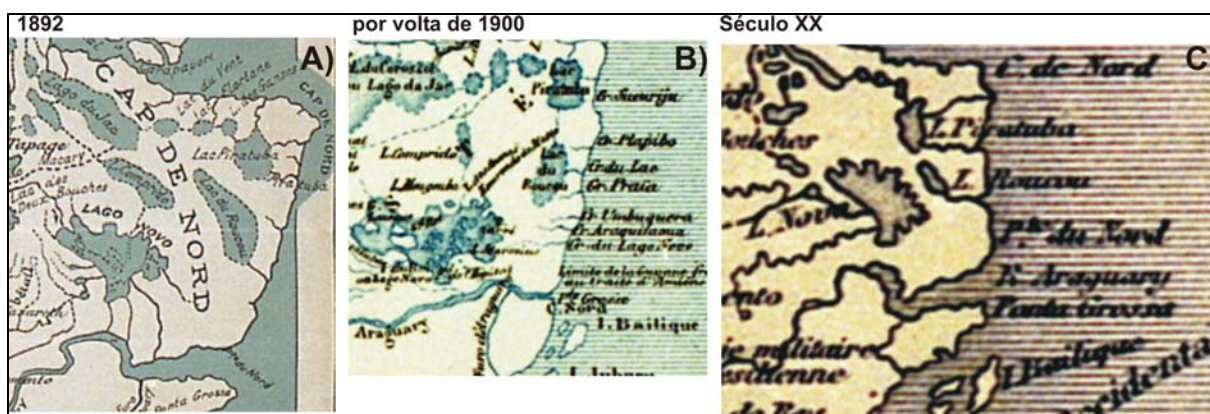


Figura 10.3: Mapas do século XIX, mostrando a região da planície de inundação a norte do rio sem a drenagem que separava a terra de Carpori do continente. Fonte: *Archives Départementales de la Guyane*.

O desaparecimento desse braço do Araguari é confirmado no mapa de Saint-Quantin de 1850 (Fig. 9.7, p.219), que em suas observações descreve: “on remarquera combien est significatif le nom de Rio-Tapado... que porte la plus grande des criques de l’Araouari qui va se perdre dans les lacs et marais qui ont remplacé la seconde branche de ce fleuve, depuis l’obstruction de son embouchure”* (Saint-Quantin, 1858). Este evento também é confirmado em outro mapa do século XIX (Fig. 10.4A).

Cicatrizes da drenagem que separava a ilha Carpori do continente são reveladas nas imagens Landsat ETM+7 (Fig. 10.4B) e JERS-1 (Fig. 8.14, p.201). Entretanto, nenhuma diferença espectral distingue a terra de Carpori do continente, a não ser a presença de paleocanal definido por alinhamento de vegetação de floresta em áreas campestres (Fig. 10.4C).

* “... nota-se como é significativo o nome de Rio Tapado... que possui o maior dos igarapés do Araouari, e que se perde dentro dos lagos e pântanos que substituíram o segundo braço deste rio, depois da obstrução de sua embocadura”.

A análise dos mapas históricos indica que a planície de inundação a norte do estuário do rio Araguari possui a forma de um cabo há vários séculos e teria se configurado e consolidado totalmente, tal como é hoje, a partir do final do século XVIII (Fig. 10.2).

10.3.2. Desaparecimento do Furo do Araguari na Porção a Sul do Estuário

O furo do Araguari representaria uma antiga ligação entre os rios Araguari e o Amazonas, sendo registrado nos mapas analisados somente a partir do século XVII até o século XX (Fig.10.5).

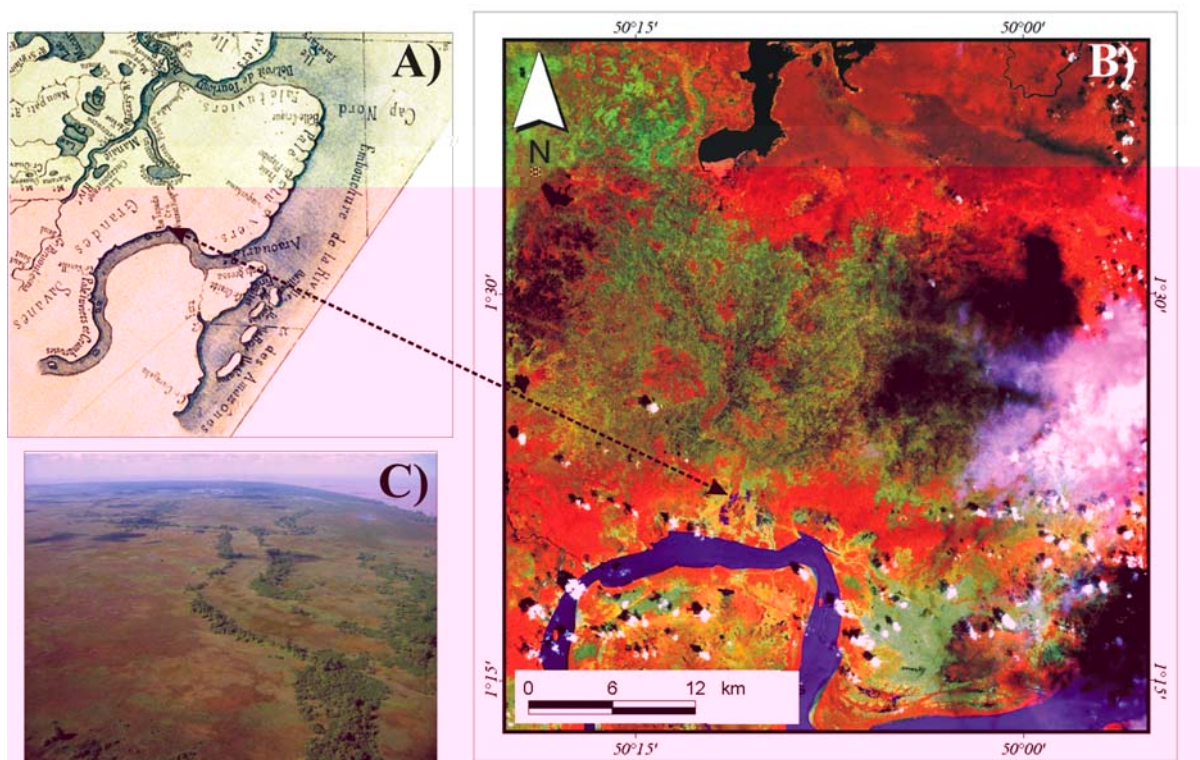


Figura 10.4: A) Carta do século XIX indicando a toponímia do rio Tapado. Este mapa foi corrigido após trabalhos hidrográficos de M. Carpentie e; B) paleodrenagem indicando a existência de um antigo braço do rio Araguari. Imagem de satélite do sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I (B), banda 4 (R) e PC1 do subgrupo III (G); C) fotografia aérea da paleodrenagem (acervo IBAMA). A) Fonte da carta: *Archives Départementales de la Guyane*.

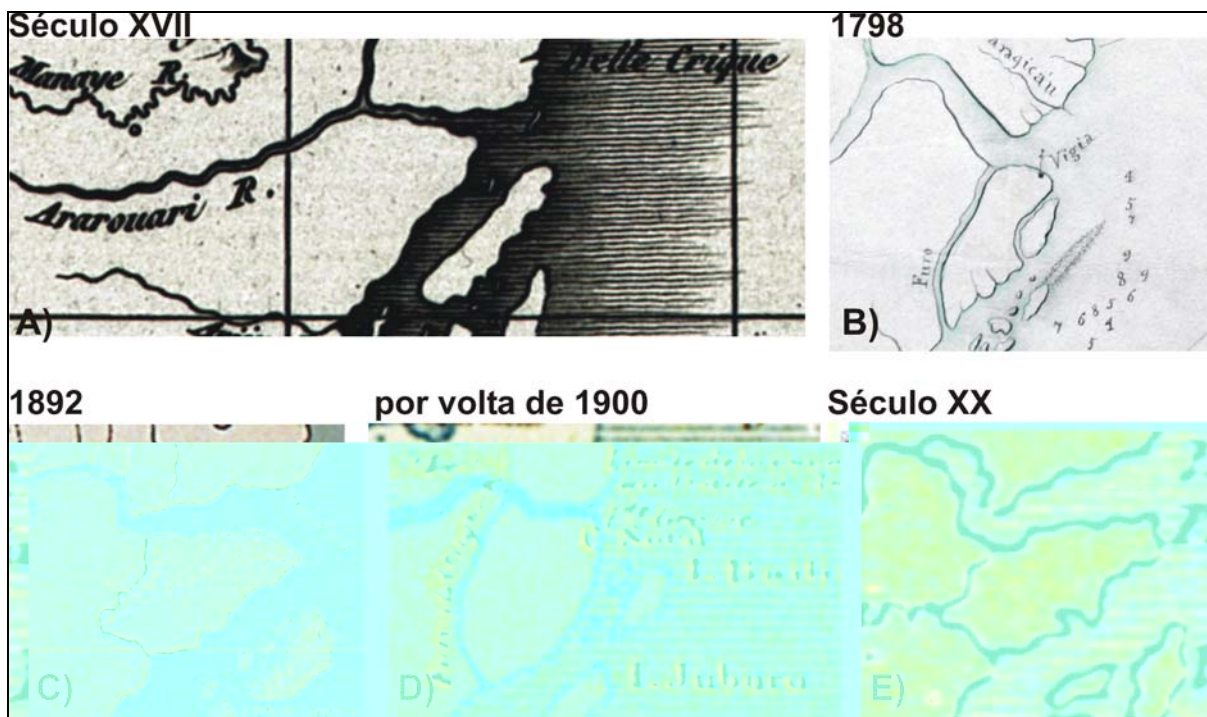


Figura 10.5: Presença do furo do Araguari em diversos mapas a partir do século XVII. Fonte: A, C a E, *Archives Départementales de la Guyane*; B, Arquivo Histórico do Exército Brasileiro.

Em cópia do mapa de 1798 (Figs. 10.5B e 10.6A) registram-se anotações, sem datas, da obstrução do mesmo. Adonias (1963) em sua obra sobre a cartografia da Região Amazônica, existente no acervo do Itamarati, assinala em uma carta feita em 1808 as seguintes anotações: “obstruído (furo Araguari entupido por ordem de Conde de V^a. Flor)”. A obstrução do furo é confirmada nas anotações feitas sobre o mapa de 1798 (Fig. 10.6A). Isto sugere que este furo teria sido obstruído entre 1798 e início do século XIX.

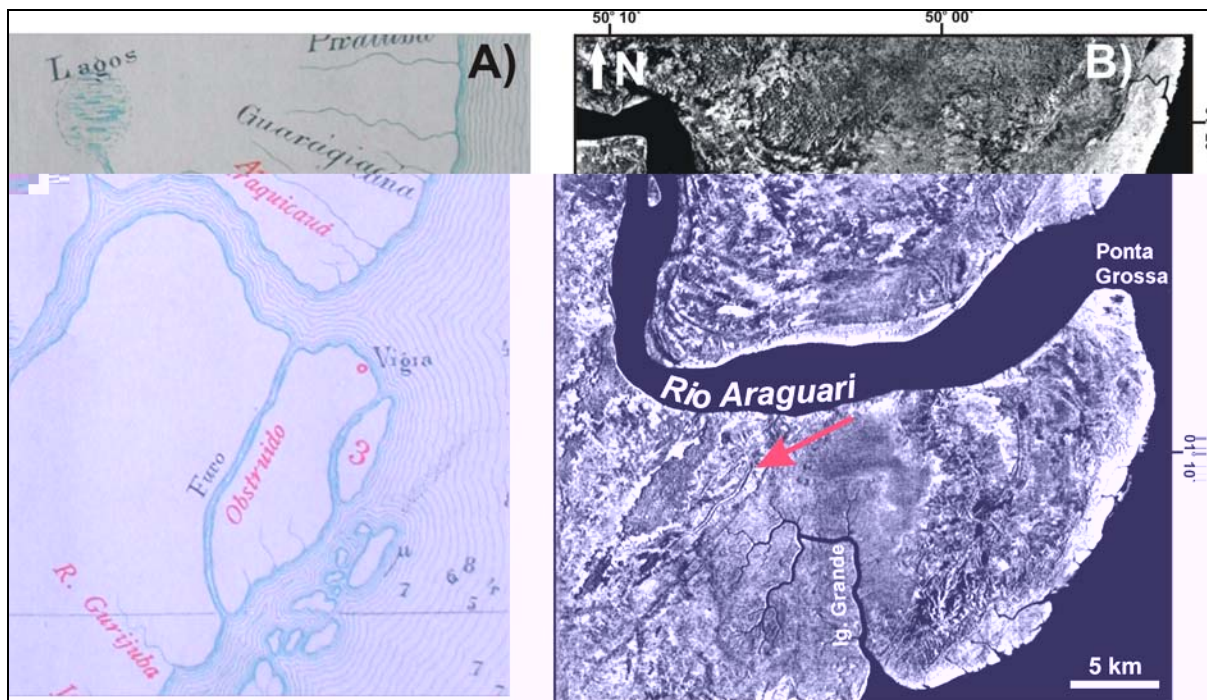


Figura 10.6: A) Mapa de 1798, com posterior anotação revelando a obstrução do furo do Araguari; B) paleodrenagem do furo do Araguari em imagem de Radar do Projeto RADAM. Comparar com a Fig. 9.2A - fotografia aérea de 1952. Fonte da carta: Arquivo Histórico do Exército Brasileiro, imagem de radar: acervo CPRM.

A existência desse furo ainda está viva na memória de alguns moradores na região, conforme atestado durante entrevistas de campo com moradores antigos da foz do Amazonas, em 2001. Atualmente ligação feita por este furo entre o rio Araguari com o Amazonas não mais existe e sua evidência nas imagens de sensores remotos é marcante (Figs. 10.6B e 9.2A, p.211).

Vale ressaltar que tanto o furo do Araguari quanto parte do “rio Tapado”, são cartografados no século XX como drenagens ativas (Fig. 10.7).

A presença desse furo, que isolava uma ilha a leste, em direção à foz do Amazonas, talvez explique a existência de uma região de vegetação densa, existente a sul da planície do Araguari, aparentemente um pouco mais elevada que a planície atual, onde se desenvolveu a rede de drenagem do igarapé Grande (Fig. 10. 6B), que configura uma das poucas bacias de drenagem bem definidas, o que é incomum na planície costeira estudada.

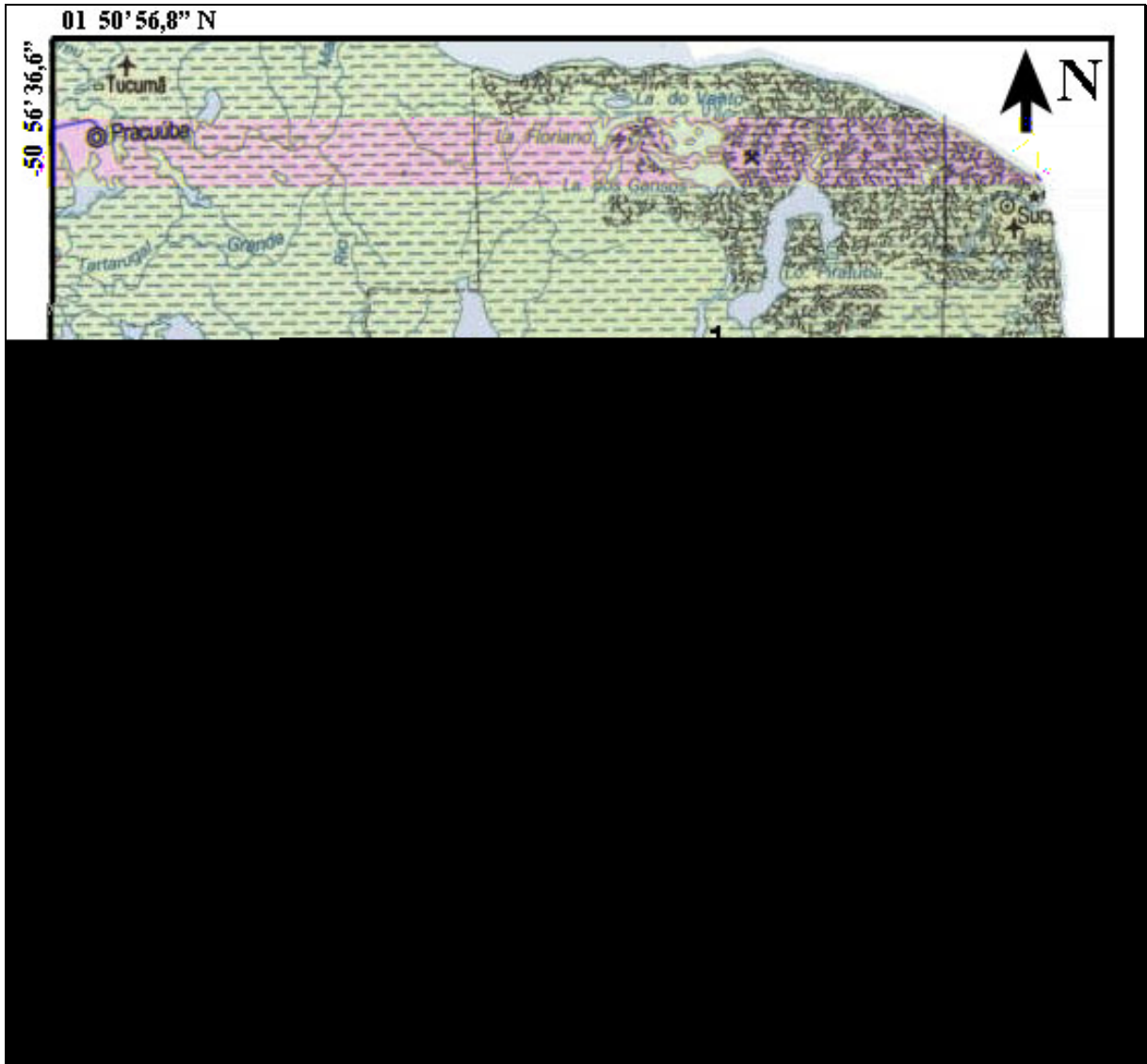


Figura 10.7: Mapa planialtimétrico do Estado do Amapá, mostrando parte do rio Tapado (1) e o furo do Araguari (2) como drenagens ativas, 3) igarapé Paraíso. Fonte: IBGE.

Na porção leste dessa referida feição, teria se iniciado o processo de acresção na localidade de Ponta Grossa (Fig. 10.6B), a qual seria concomitante com a formação da barra em pontal encontrada na margem norte do estuário (Fig. 8.9B2, p.195).

10.3.3. Evolução de Canais Secundários

Ao longo das margens da planície de inundação do rio Araguari são observadas várias drenagens menores (secundárias). Dentre estas, se destacam duas drenagens homônimas

denominadas de igarapé Novo (Fig. 9.11, p.230), nome que sugere uma formação recente para essas drenagens e a do igarapé Santana (Fig. 3.4A, p.43).

O igarapé Novo desenvolvido às margens do rio Araguari (Fig. 9.11A, p.230), teria se formado por volta de 1988, segundo informações resgatadas nas entrevistas, a partir da entrada de gado bubalino. Com efeito, nesse local observa-se, em fotografia aérea de 1952, uma drenagem de característica natural. Em 1970, registra-se apenas uma drenagem muito incipiente no local (Fig. 10.8A e B), não sendo registrada na imagem do sensor MSS, em 1973, provavelmente em função da menor resolução espacial desta imagem. Tal drenagem é registrada com maior expressão nas imagens de 1986, 1992 e 2000. Nota-se então que o tamanho atual e organização espacial da bacia do igarapé Novo teriam ocorrido a partir da década de 1980 (Fig. 10.9A, B e C). Seus padrões de drenagens no interior da planície de inundação apresentam segmentos retilíneos indicando ação de pisoteio do gado como um fator na estruturação dessa drenagem.

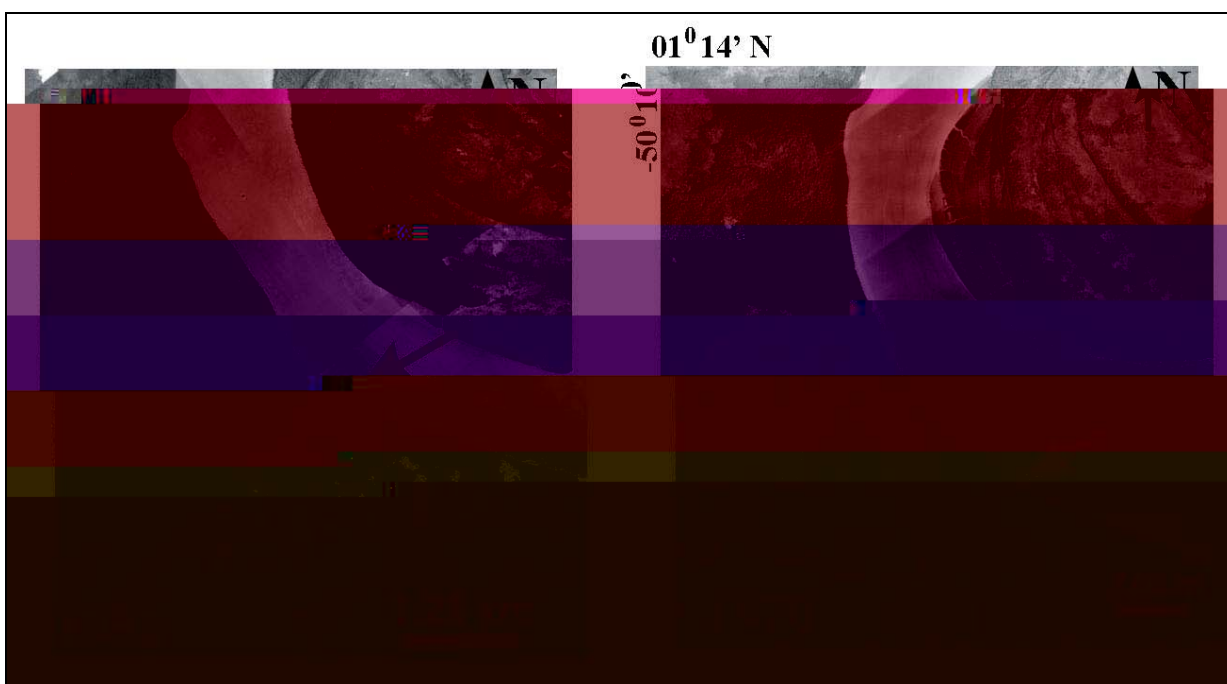


Figura 10.8: Drenagem do igarapé Novo (indicado pela seta) em fotografias aéreas de 1952(A) e 1970(B). Acervo CHM, Marinha do Brasil.

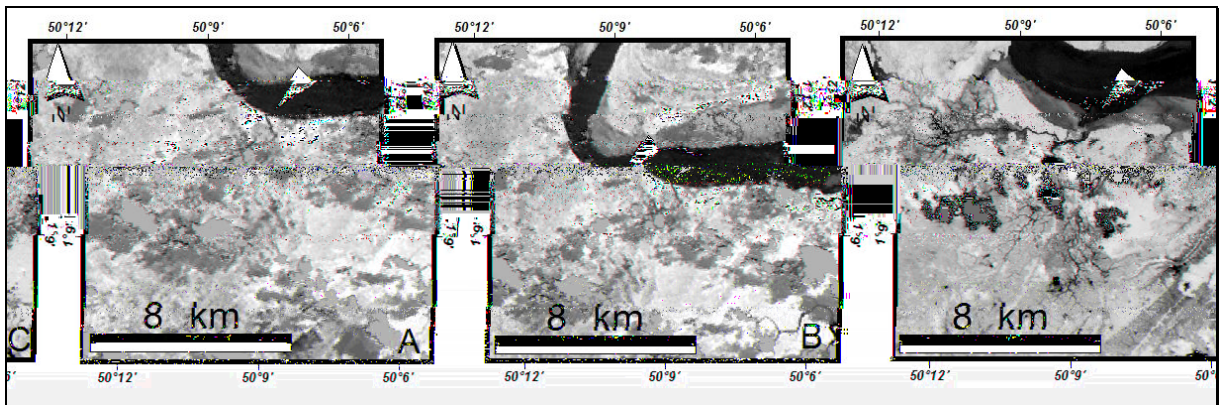


Figura 10.9: Desenvolvimento da bacia de drenagem do igarapé Novo, entre 1986 (A), 1992 (B) e 2000 (C). Notar o desenvolvimento de barras de desembocadura de canal em 2000. A) Imagem de satélite Landsat 5, MSS, PC2 das bandas 7, 5 e 4 ; B) imagem de satélite Landsat 4, TM, PC2 das bandas 4, 5 e 3; C) imagem de satélite Landsat 7, ETM+, PC2 das bandas 4, 5 e 3.

O igarapé Novo desenvolvido na confluência com o rio Gurijuba (Fig. 9.11B, p.230) teria sido aberto, segundo os resultados das entrevistas, por volta de 1986, em função de uma grande enchente no Araguari. Os resultados das entrevistas corroborados pelas análises de fotografias aéreas indicam que os búfalos só foram introduzidos na área depois que o igarapé se abriu. Fato natural para a região, pois as fazendas são instaladas sempre à margem de uma drenagem.

A análise da imagem de 1972 revela que, nesse ano, este igarapé não existia, o que é corroborado pela imagem do Projeto RADAM (Fig. 9.11B2, p.230). O mesmo aparece bem expressivo na imagem de 1986. Isto aponta que provavelmente o desenvolvimento desta drenagem esteja associado ao forte evento de La-Niña ocorrido entre os anos de 1982 e 1983, que teve reflexos nas cheias do rio Araguari no ano de 1984 (ver Capítulo 5). Deste modo, o igarapé citado acima teria sido originado por fortes correntes associadas a altas velocidades de fluxo durante a enchente apontada nas entrevistas.

A drenagem do igarapé Santana, aberta, segundo o resultado das entrevistas, aproximadamente no início da década de 1970, em virtude do escavamento com posterior pisoteio de búfalos, ao lado da fazenda homônima, é registrado na imagem do sensor MSS, a partir do ano de 1986 e nas imagens subseqüentes. Em 1971 (Fig. 10.10A), o local de tal drenagem é registrado pela presença de desmatamento indicando a implantação de uma

fazenda. Em 1973, devido à presença de nuvens na imagem, não foi possível avaliar se a mesma estava se desenvolvendo.

Além dessas três drenagens mencionadas, várias outras foram analisadas. Indica-se aqui como exemplo de drenagem assoreada, o igarapé Paraíso, que teria sido colmatado por volta de 1992, segundo entrevistas de campo. Tal igarapé aparece ativo desde as fotografias aéreas de 1952. Na imagem de 2000, parte de sua drenagem no interior da planície de inundação está assoreada. O igarapé localiza-se em área de perda de energia da pororoca e seu evento de fechamento parece estar associado a um contínuo processo de assoreamento de drenagem que vem correndo nessa porção do estuário.

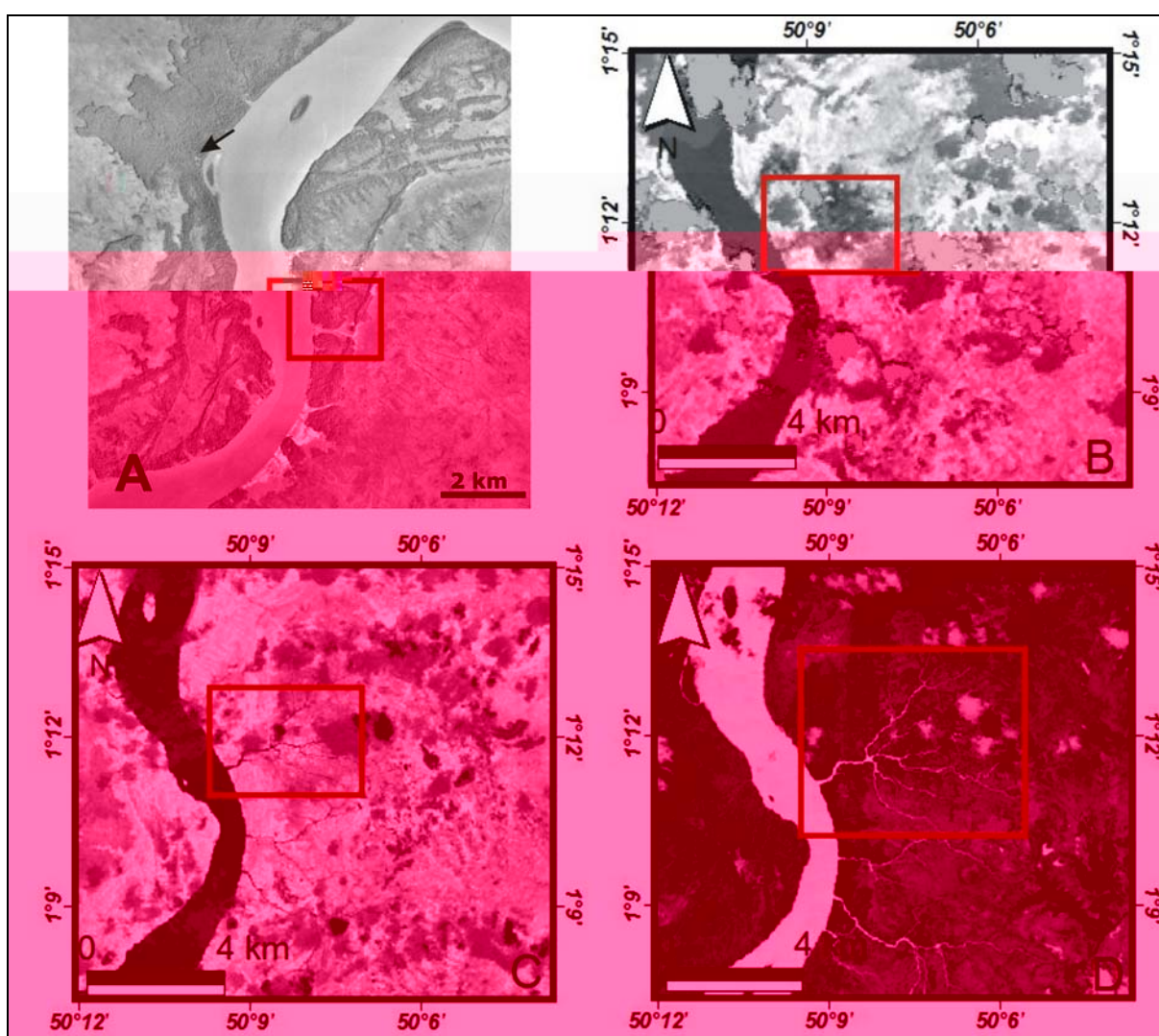


Figura 10.10: A) Fotografia aérea de 1971 mostrando a drenagem do igarapé Santana. Notar o desmatamento indicando a implantação da Fazenda Santana. B), C) e D) organização da rede de drenagem do igarapé Santana em 1986, 1992 e 2000. Em B) Imagem de satélite Landsat 5, MSS, PC2 das bandas 7, 5 e 4 ; C) imagem de satélite Landsat 4, TM, PC2 das bandas 4, 5 e 3; D) imagem de satélite Landsat 7, ETM+, PC1 das bandas 4, 5 e 3.

10.3.4. Detecção das Mudanças no Lago Central do Meandro de Desembocadura

Dentro da planície de inundação a sul do estuário, outra feição que chama a atenção, é a presença de um lago influenciado por uma cerca detectada em campo e nos sensores remotos (Fig. 9.8, p.222).

Este lago passou a ser registrado apenas na imagem de 2000. Em imagens anteriores, o que se detecta é a presença de uma cerca (Fig. 8.13A, p.200), mais antiga, marcada na imagem de 1992, que aquela indicada na Figura 8.13B e C, cujo registro só aparece na imagem de 2000. Isto sugere uma influência das estruturas antrópicas e o confinamento de gado provavelmente na formação desse lago.

10.4 MUDANÇAS NA PLANÍCIE ESTUARINA NA DESEMBOCADURA DO RIO ARAGUARI

Como mencionado acima, a forma geral da planície de inundação do estuário do rio Araguari se estabeleceu a partir do século XIX. Entretanto, mudanças locais são evidentes no meandro externo, relacionado com a planície estuarina do Araguari.

10.4.1 Desenvolvimento da Morfologia Atual do Meandro de Desembocadura

A modificação na morfologia dos meandros no baixo curso do estuário do rio Araguari a partir do final do século XVIII parece estar condicionada ao desaparecimento da antiga ilha Carpori descrita anteriormente. No mapa de 1798 (Figs. 10.2D e 10.11A), a desembocadura do estuário do rio Araguari aproxima-se da sua configuração atual, não existindo mais a terra de Carpori que configurava o antigo Cabo Norte. Nesse mapa, observa-se que a planície de inundação da margem esquerda do rio Araguari ocorre de forma contínua, sendo seccionada apenas pelo que foi denominada pelo autor do mapa de “sequitos de lagos”. Comparando-se este mapa com o de 1892 (Fig. 10.3A) e com a imagem de radar do Projeto RADAM (Fig. 10.11B), nota-se que a desembocadura atual do rio Araguari estaria ligada à drenagem existente a sul da ilha Carpori.

A desembocadura do rio Araguari antes de sua conformação no século XX (Fig. 10.11B) apresenta nos mapas antigos uma sinuosidade muito menor que a atual, com o rio

constantemente representado com direção oeste-leste. No final do século XIX (Fig. 10.3A), a planície estuarina na desembocadura do rio Araguari teria adquirido sua configuração atual. De acordo com Boaventura e Narita (1974), as imagens adquiridas no âmbito do projeto RADAM mostram terraços que confirmam a migração do rio Araguari para sul. Estes terraços são evidências da formação de barras em pontal, típicas de rios meandrentes, e foram provavelmente formados quando o Araguari passou a ter apenas uma desembocadura. Por outro lado, seriam evidências apenas da migração dessa parte do rio Araguari, e não do rio Araguari como um todo, como advogava o autor supra citado. Tal fato teria ocorrido entre os séculos XVIII e XIX, com a colmatação do braço a oeste da terra de Carpori (ver item 10.3.1).

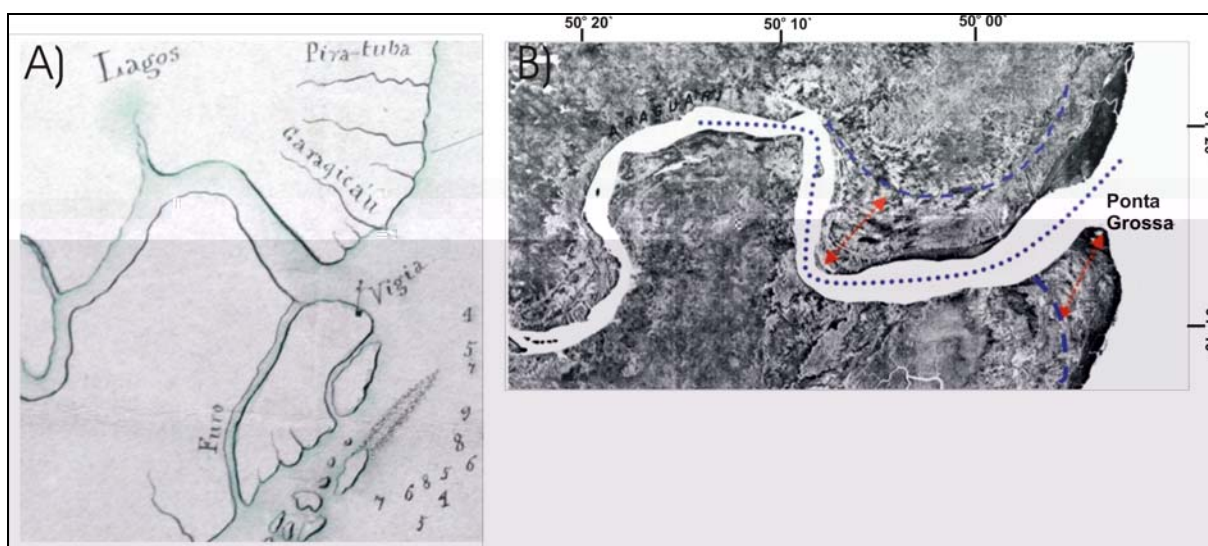


Figura 10.11: Evolução da desembocadura do rio Araguari. A) Carta de 1798 mostrando a ausência da Ponta Grossa. Comparar com a Fig. 10.3A, carta de 1892, que mostra o segmento final do meandro da desembocadura do Araguari mais desenvolvido. B) Configuração atual do meandro final do rio Araguari. Notar o desenvolvimento das áreas acresionárias (setas vermelhas), demarcadas por linhas de vegetação, a norte e a sul da foz do estuário. Carta em A, acervo do Arquivo Histórico do Exército. B) imagem de radar GEMS 1000 do Projeto RADAM.

10.4.2 Modificações na Planície Estuarina

Três principais modificações foram observadas na planície estuarina a partir dos resultados da análise multitemporal dos dados de sensores remotos, desde a década de 1950:

- progradação e recuo da margem do estuário

Entre 1973 e 1986 observa-se o crescimento na margem esquerda do rio Araguari

ocasionando a incorporação da ilha do meio do canal ao continente. Entre 1986 e 2000, houve (Fig. 10.12) um recuo desta mesma área da margem do rio Araguari. Este recuo foi de aproximadamente 750 m em menos de uma década (entre 1992 e 2000). Hoje a margem pretérita do estuário é marcada pela presença de uma ilha com vegetação densa, separada por um canal (Fig. 8.9B1, p.195), a qual em 1986, pertencia ao continente (Fig. 10.12). Esta ilha não é registrada nas fotografias aéreas de 1950, porém, é registrada nas de 1970 e na imagem de Landsat de 1973 (Fig. 10.12A).

Na atual planície de inundação adjacente a essa área é possível observar os registros de semelhantes mudanças, com presença de ilhas de vegetação de alto porte encravada em áreas com presença apenas de vegetação de gramíneas marcando a presença de canais colmatados.

- desenvolvimento de barras de canal

No período entre 1986 e 2000, enquanto a margem do estuário recuava, novas barras de canal foram se formando (Fig. 10.12D) e hoje se encontram em processo de consolidação com início de colonização por vegetação rasteira.

- desenvolvimento de barras de desembocadura

Na foz do igarapé Novo, que deságua no rio Araguari, barras de desembocadura de canal foram formadas (Figs. 8.9C1, p.195 e 10.9B e C) entre o período de 1992 e 2000, na porção côncava de meandro, a qual estava em processo erosivo. Na realidade, observando-se outra imagem de 1997, estas barras não existiam tratando-se de um fenômeno muito recente nesta porção do estuário.

As barras encontram-se atualmente em processo de consolidação com colonização por vegetação, porém estão sendo constantemente retrabalhadas pela ação das correntes e da pororoca que propicia mudanças em sua configuração (Fig. 8.9A, p.195).

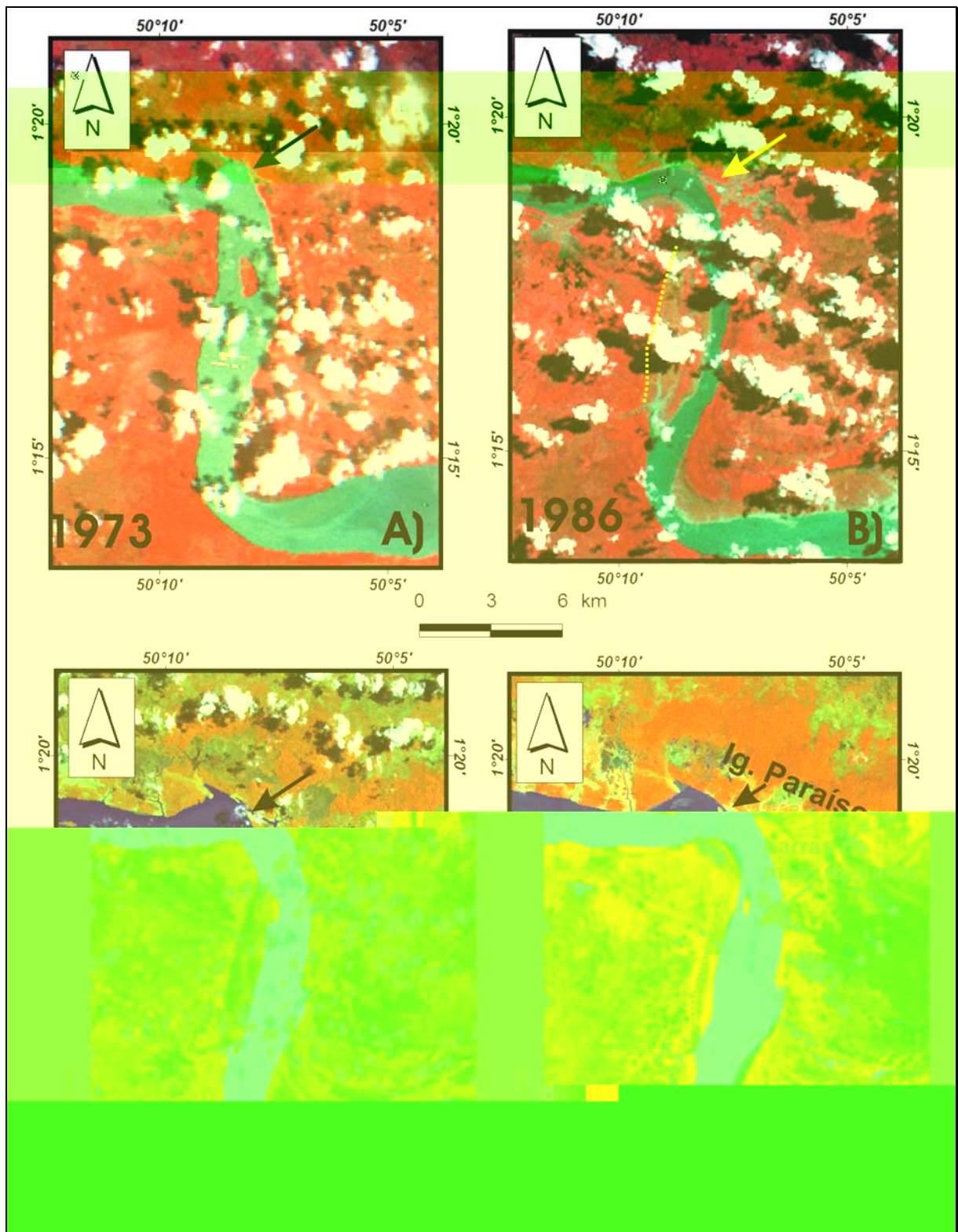


Figura 10.12: Variação na margem da planície estuarina, em local de existência da pororoca. Observar a progradação entre 1973 (A) e 1986 (B) e depois o recuo da margem do estuário entre 1986, 1992 (C) e 2000 (D). Em 2000 a presença de uma ilha marca o registro da antiga margem do estuário. Esta ilha é a mesma registrada na imagem de 1973. A) Imagem de satélite Landsat 1, MSS, composição colorida das bandas 7, 5 e 4 em RGB; B) imagem de

satélite Landsat 5, MSS, composição colorida das bandas 7, 5 e 4 em RGB; C) imagem de satélite Landsat 4, TM, bandas 4, 5 e 3 em RGB; C) imagem de satélite Landsat 7, ETM+, composição colorida das primeiras componentes principais dos subgrupos I (em B) e III (em G) e da banda 4 (em R).

10.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

As modificações registradas a partir do século XVII, na área de estudo, sugerem que as mesmas estão ligadas a três processos principais: colmatção da rede de drenagem na planície de inundação influenciada por marés, processos erosionais e deposicionais em decorrência da influência das correntes fluviais e de marés, aliadas à presença da pororoca.

Os processos de colmatção foram os registros mais antigos evidenciados na análise dos mapas históricos e sua correlação com as imagens de sensores remotos. O registro do desaparecimento do rio Tapado indica que o rio Araguari, em sua porção adjacente ao estuário, teve sua planície de inundação ao norte, consolidada pelo menos a partir do final do século XVIII, quando ocorreu a colmatção dessa drenagem. A consolidação recente dessa planície pode ser corroborada por Toledo (com. verbal), que encontrou idades muito recentes para os lagos Lodo e Comprido de Baixo, a leste ao rio Tapado (Fig. 10.6). Estas idades, de 310 +/- 30 anos A.P. (sem calibração) e 200 +/- 45 anos A.P. (sem calibração), para estes lagos, respectivamente, foram obtidas em material orgânico retirado de testemunhos a 195 cm e 170 cm de profundidade. Esses processos de colmatção recente da atual planície de inundação do estuário do rio Araguari são evidenciados pelos numerosos paleocanais existentes em sua porção norte, e outros poucos registrados a sul do estuário (Fig. 9.2, p.211).

A presença dessa rede de paleocanais ja tinha sido registrada por Boaventura e Narita (1974) e estudados por Silveira (1998), que apontou a recente historia de colmatção dessa planície. Este autor advoga que esse processo pode ter sido desencadeado por um reajuste da rede hidrologica em função provavelmente de fatores tectonicos locais e por uma disponibilidade continua de sedimentos, uma vez que se tratam de processos rapidos de agradação.

O processo de colmatção é continuo na planície de inundação, como indicado pelos registros em campo (Fig. 5.31, p.115). Tal processo agradacional tambem é evidenciado pelo fechamento de canais nos dias atuais (Fig. 10.12)

Os processos de erosão das margens do estuário do rio Araguari e o desenvolvimento das barras de canal estão relacionados ao retrabalhamento dos sedimentos pelas correntes de marés e ação da pororoca. Estes processos permitem com que fragmentos do continente sejam

preservados dentro do rio Araguari (Fig. 10.12).

O fenômeno da pororoca propicia que elevadas taxas de erosão e sedimentação verticais e laterais ocorram (ver Capítulo 5), o que pode explicar as rápidas modificações observadas na porção do estuário estudado.

As informações de campo e análise de imagens de satélite indicam que o local onde se observou o processo erosional das margens do estuário, entre 1986 e 2000, atualmente corresponde a áreas de perda de energia da onda de pororoca (Fig. 5.18, p.100).

O canal estuarino adjacente a esta margem erosional é o local de formação atual das barras de canal (Fig. 10.12D), onde predomina sedimentação de areia siltosa e areia fina (Santos *et al.* 2005a).

Mais a sul dessas áreas, o processo deposicional é evidenciado pela formação de barras de desembocadura, em local que deveriam ocorrer processos erosionais, em função da configuração côncava do meandro do rio Araguari, nessa porção do estuário. A formação dessas barras está associada à presença do canal do igarapé Novo, e outro canal desenvolvido mais a leste (Fig. 10.12D). Estes canais funcionam como um molhe hidráulico bloqueando o fluxo de sedimentos nessa margem do estuário e permitindo o desenvolvimento das barras em ambos os lados de suas desembocaduras. A norte do igarapé Novo as barras estão interligadas a uma plataforma erosional. Atualmente, as barras se encontram em processo de reconfiguração conforme pode ser visualizado na imagem de radar da Figura 8.9A. p.195.

Geralmente estas barras, quando não erodidas, são rapidamente fixadas dentro do canal estuarino. Isto ocorre pelo processo de agradação em função da contínua deposição de sedimentos. Esse processo eleva a superfície do terreno, aumentando a altura das barras, tornando suas superfícies gradualmente mais expostas, à medida que as torna também colonizadas, inicialmente por vegetação rasteira. À proporção que essa vegetação se estabelece, mais sedimentos são fixados sobre a superfície das barras, e a vegetação será substituída por espécies de maior porte.

Quando este processo ocorre nas barras de canal, ilhas são formadas dentro do estuário. Estas ilhas podem ser incorporadas às margens do estuário, tornando-se parte do continente, através de processo de colmatação dos canais entre as barras vegetadas e as margens do estuário. Tal processo de incorporação parece ter ocorrido em relação à ilha testemunho descrita no item 10.4.2 referente ao recuo da margem do estuário entre 1986 e 2000 (Fig. 10.12). Como resultado massas florestais são encontradas dentro da planície de

inundação do estuário, ressaltadas entre áreas de vegetação campestre, sendo indicadores desses processos de colmatção. Isto também pode explicar porque alguns registros de barras em pontal apontadas por Costa (1996) são complexos e muito diferentes do registro acrescionário da barra do último meandro do Araguari. O que sugere que paleofeições encontradas na margem convexa deste estuário, nem sempre estão relacionados a barras em pontais e, portanto, não são registros de processos de acresção e sim de processos de colmatção.

Apesar das rápidas transformações observadas na planície de inundação e na planície estuarina do rio Araguari, em relação às modificações históricas não se pode afirmar que as mesmas possuam exclusivamente as condições ambientais naturais como fatores de modificações, conforme apresentado para a situação do furo do Araguari.

Nesse contexto, encontra-se também o desenvolvimento das “bacias de drenagem” dos igarapés Novo, que deságuam nos rios Araguari e Gurijuba e, do igarapé Santana, as quais foram indicadas como iniciadas em função da atividade da pecuária na região durante a década de 1980. Estas drenagens se transformaram em uma rede de canais bem relevante na região, no período de uma década, possuindo vários indícios de transformações antrópicas em seus segmentos, evidenciando que a atividade da pecuária pode promover mudanças sobre o solo (ver Capítulo 5), como também pode mascarar os indicadores naturais das modificações, impedir a sua identificação sobre o terreno e trazer ambigüidades, como ocorreu com o lago identificado da planície de inundação discutido no item 10.3.4.

Algumas divergências foram encontradas no histórico temporal das cartas, em relação às modificações relacionadas à planície de inundação do rio Araguari. Isto remete à necessidade de se resgatar a história de confecção das cartas antigas, pois alguns mapas podem ser cópias de mapas anteriores. Um exemplo dessa divergência é a preservação da ilha Carpori em mapas do século XIX (Fig. 10.13) que podem tratar-se de mapas compilados de outros autores. Por outro lado, erros propositais em função da delimitação do território contestado podem ter ocorrido, um dos exemplos é a mudança de localização da Baía de Vincent Pinzon e ao posicionamento do nome do Cabo Norte, que variam em alguns mapas.

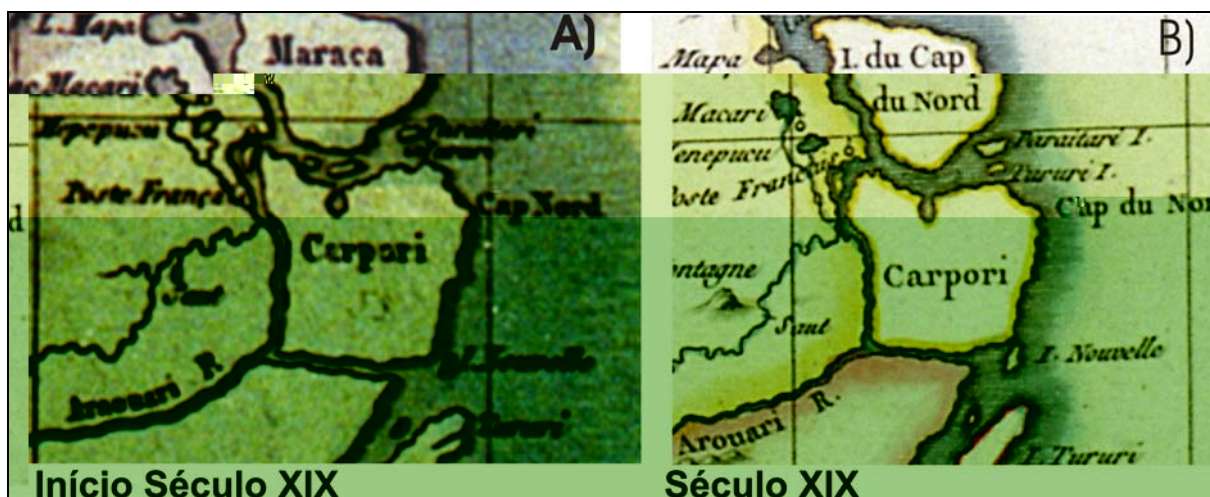


Figura 10.13: Exemplos de mapas do século XIX que ainda preservam a ilha Carpori apesar da existência de mapas mais antigos (Fig. 10.5B) onde a ilha não existia mais. Fonte: *Archives Départementales de la Guyane*.

De um modo geral pode-se considerar, entretanto, que afora a variável antrópica, a tendência do estuário do rio Araguari é de contínuo processo de colmatação de sua planície de inundação e de assoreamento de seu canal, através da formação de barras de canal e de desembocadura. No canal estuarino, este fato pode estar associado ao deslocamento da influência da pororoca cada vez mais para sua foz, uma vez que existem relatos da existência da pororoca em porções mais interiores do estuário em documentos históricos.

11 AVALIAÇÃO DOS SENSORES E TÉCNICAS PARA O ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES	255
11.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DAS IMAGENS UTILIZADAS.....	255
11.1.1 Imagens de Radar	255
11.1.2 Dados SRTM.....	259
11.1.3 Imagens dos Sensores Óticos	259
11.2. POTENCIALIDADE E LIMITAÇÕES DAS TÉCNICAS E PROCESSAMENTOS	260
11.2.1 Correção Geométrica.....	260
11.2.2 Análise de Componente Principal por Subgrupo	262
11.2.3 Classificação Não Supervisionada	264
11.2.4 Análise Multitemporal.....	268
11.2.5 Fusão de Imagens Multisensor	269
11.3 POTENCIALIDADE DOS MAPAS E IMAGENS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS	271
11.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	272

PARTE V

AVALIAÇÃO DOS SENSORES E TÉCNICAS APLICADAS PARA O ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES NA COSTA AMAPAENSE

Capítulo 11

AVALIAÇÃO DOS SENSORES E TÉCNICAS PARA O ESTUDO DAS MODIFICAÇÕES

O uso dos vários dados de sensores remotos e a aplicação das técnicas/métodos nesta tese permitiram um melhor reconhecimento da região e a avaliação de suas modificações, porém apresentaram limitações em função das características dos sensores utilizados e das condições ambientais da área. Este capítulo se propõe a avaliar as vantagens e limitações dos sensores e métodos aplicados nesta pesquisa, com o intuito de discutir a reprodução da pesquisa em outras regiões costeiras amazônicas com características semelhantes ou não à área estudada, dentro da temática abordada.

11.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DAS IMAGENS UTILIZADAS

11.1.1 Imagens de Radar

Os dados das imagens de radar, sem dúvida alguma, podem auxiliar na análise das modificações atuais, minimizando o problema de disponibilidade de imagens, em virtude da incidência de nuvens na região estudada.

No entanto, se deve considerar duas abordagens principais nesta pesquisa: disponibilidade de imagens e as características dos sensores disponíveis.

A disponibilidade de imagens de radares para as análises multitemporais (ver Capítulo 6, item 6.1.3) se torna um problema devido à pequena quantidade de cobertura com radares, sobre a costa amazônica para anos anteriores ao meado da década de 1990.

Depois do recobrimento realizado pelo Projeto RADAM, na década de 1970, as imagens mais antigas de radar sobre a costa, correspondem aos satélites SIR-A (Tab. 6.1), em banda L, que recobriu apenas duas faixas na costa amazônica (Fig. 11.1A), na década de 1980. Na década de 1990, com exceção das faixas recobertas pelo SIR-C/X-SAR (Fig. 11.1B) e o recobrimento do JERS-1, todos os radares operaram em banda C.

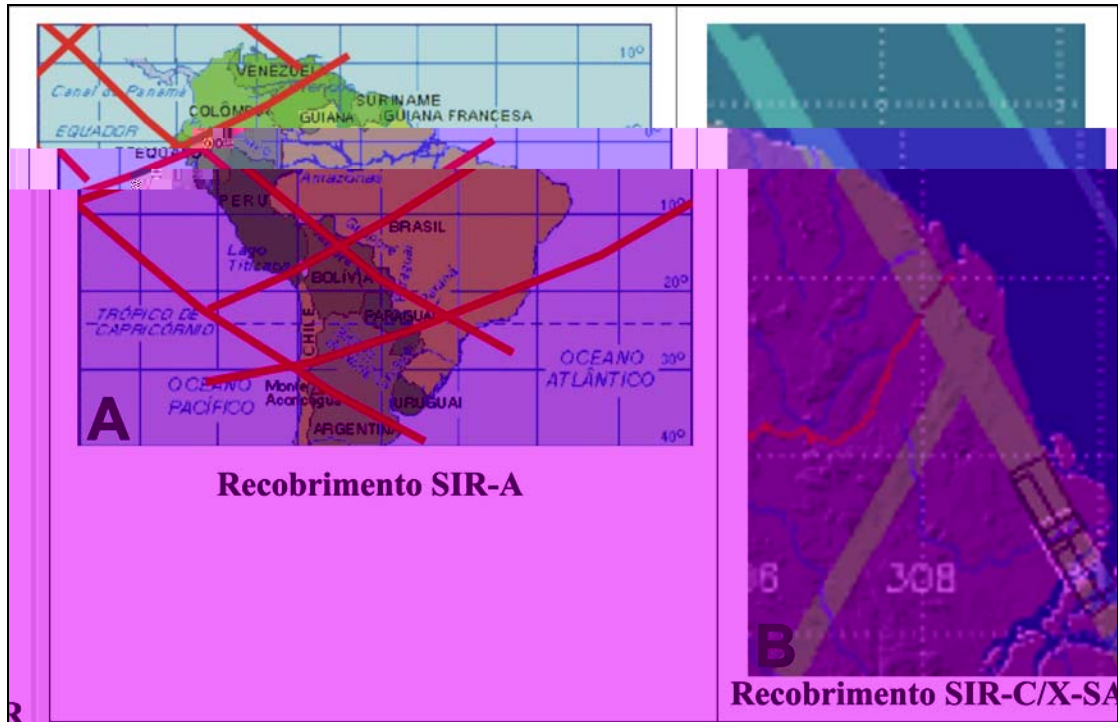


Figura 11.1: Faixa de recobrimentos com radares em banda L na costa amazônica. A) SIR-A, em 1981 e; B) SIR-C/X-SAR, em 1994. Fontes: A) Modificado de <http://southport.jpl.nasa.gov/gif/smap.gif> ; B) <http://southport.jpl.nasa.gov>.

As características dos radares que foram utilizados nesta pesquisa, JERS-1, em banda L, e RADARSAT-1, em banda C, definiram os resultados apresentados nos capítulos precedentes.

As imagens de RADARSAT-1 mostraram-se muito sensíveis às modificações da paisagem nas áreas campestres. Isto se deve principalmente em função do comprimento de onda das imagens utilizadas (5,3 cm). Isto define um baixo poder de penetração na cobertura vegetal densa, porém, nas áreas campestres, em função da baixa densidade da cobertura vegetal, os dados permitiram ressaltar as flutuações nessa cobertura vegetal. Além do mais, como esse tipo de cobertura vegetal é a mais afetada pela atividade de pecuária, com a presença de estruturas antrópicas, a propriedade de penetração da banda C permitiu evidenciá-las. Ressalta-se, porém, que tais comparações são válidas para imagens com mesmas condições de observações (características das imagens do sensor e condições ambientais) (ver capítulos 6 e 8).

As variações nas condições de umidade da planície, tanto em função da precipitação (Fig. 11.2), como em função das condições de maré (Fig. 11.3) influenciaram na resposta das imagens de RADARSAT-1.

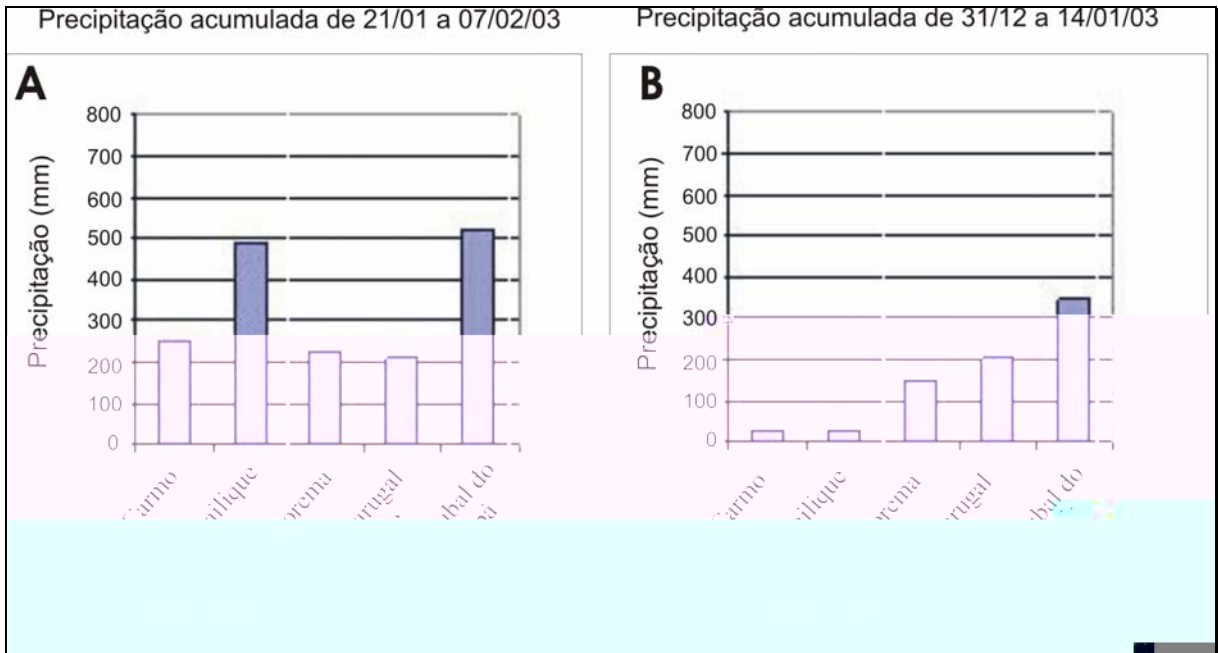


Figura 11.2: Variação da precipitação acumulada para a quinzena antes da aquisição das imagens RADARSAT-1 de 08 de fevereiro (A) e 15 de janeiro de 2003 (B) utilizadas nesta tese. Comparar com a figura 8.3. Dados ANA.

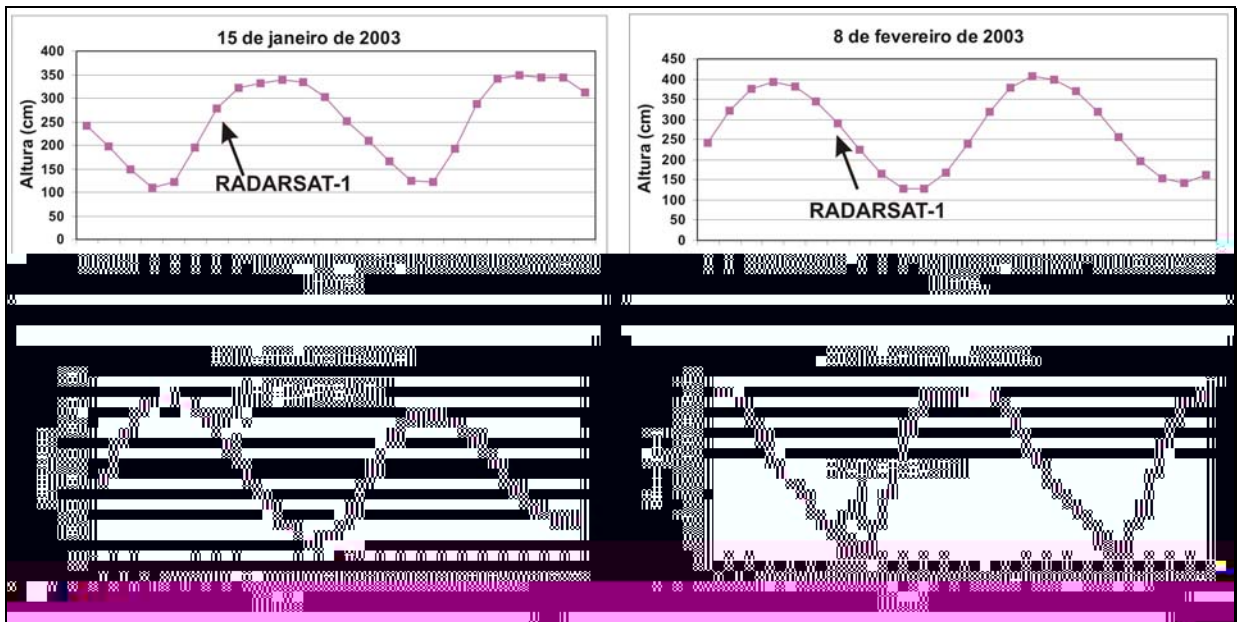


Figura 11.3: Condições de maré previstas para a Ponta do Guará (foz do rio Araguari) para as imagens de RADARSAT-1 analisadas. Comparar com a figura 8.3, p.180. Dados CHM.

11.1.2 Dados SRTM

Os dados altimétricos fornecidos pelo DEM do SRTM foram adquiridos por radares em banda C. Devido ao baixo poder de penetração das ondas eletromagnéticas nesse comprimento de onda, nas áreas de cobertura florestal densa, parte da energia eletromagnética recebida pelo sensor refere-se à reflexão pelas copas das árvores. Neste caso, para as áreas tropicais, onde predomina a cobertura vegetal de florestas, as propriedades altimétricas na realidade representam a altura do dossel.

utilizaram esta propriedade do recobrimento para estimar a altura da vegetação em duas regiões (Iowa e Norte de Dakota). Baseados em seus resultados os autores sugerem que esses dados possam ser aplicados para determinar a altura de vegetação utilizando como unidade mínima de mapeamento 1.8 ha.

Assim, a propriedade dos dados SRTM também poderia ser utilizada para estimar altura da cobertura vegetal na área estudada, por se tratar de uma região plana. Porém, há necessidade de avaliações quantitativas nesse sentido, sem esquecer da temporalidade dos dados.

Esta dificuldade de aquisição de dados altimétricos por satélite se soma a ausência de dados altimétricos precisos na região (ver item 11.2.1), os quais são importantes para a calibração e correlação dos dados de marés, de perfis sedimentológicos e correção de dados de sensores remotos. Isto interfere nas avaliações do nível de inundação na planície e não permite correlacionar com confiabilidade as variações da superfície de água, fator importante na área de estudo.

Por outro lado, a coleta dos dados do SRTM, limitou-se entre -51° e 51° de latitude, em função da inclinação do *Shuttle* o que é uma vantagem para a região estudada e demais áreas tropicais, porém constitui-se em uma dificuldade para outras áreas no mundo.

11.1.3 Imagens dos Sensores Óticos

Um dos principais problemas relativos à utilização dos dados dos sensores óticos nesta pesquisa diz respeito à disponibilidade de imagens sem muita interferência de nuvens para estudar as modificações.

A maioria das imagens utilizada corresponde ao período menos chuvoso (Tab. 8.2), quando a presença de nuvens é menor na região (ver Capítulo 5) e permite ter uma área útil da imagem maior. No entanto, em alguns momentos, foi necessário recorrer a informações de imagens com alta incidência de nuvens, porém com o objeto de estudo visível. Isto leva, muitas vezes, à análise de maior quantidade de imagens do que o necessário, uma vez que, para averiguar as informações dos eventos de modificações citados nas entrevistas, seriam necessárias imagens com o objeto de estudo visível de pelo menos dois anos antes e dois anos depois da data informada.

Os sensores óticos utilizados, como o MSS e o TM, guardam, porém, a potencialidade de existirem em períodos mais antigos que os atuais e, portanto, servem como referência. Embora, para o caso do sensor MSS, as imagens possuam pouca resolução espacial e espectral, dificultando as avaliações de modificações dentro da planície costeira. Para as áreas da planície estuarina e do canal do estuário, estas imagens constituíram-se uma boa referência, devido ao bom contraste entre os corpos aquosos e a cobertura vegetal e/ou solo.

11.2. POTENCIALIDADE E LIMITAÇÕES DAS TÉCNICAS E PROCESSAMENTOS

11.2.1 Correção Geométrica

Para análise multitemporal (ver Capítulo 6), a correção geométrica é um passo importante para a correlação entre imagens. O registro geométrico, através da coleta de pontos de controle no terreno, usualmente é necessário para refinar essa correção geométrica. Crosta (1992) advoga que a primeira condição para isto seria a existência de mapa planimétrico ou plani-altimétrico confiável, em escala adequada. Condição esta inexistente para a costa amazônica, principalmente para a costa amapaense, por dois motivos principais: a) as cartas planimétricas da área costeira estão restritas à escala 1:100.000 e estão muito desatualizadas e b) falta de pontos de controle confiáveis em mapa que possam ser correlacionáveis nas imagens.

Desta forma, a coleta de pontos de controle em campo para a correção tornou-se uma tarefa rotineira, quando se pretende refinar a geometria para as comparações e, ao mesmo tempo, obter-se um bom posicionamento dos objetos em campo, Tarefa fundamental também para auxiliar na identificação dos padrões e feições nas imagens (ver capítulos 8 e 9).

No entanto, duas premissas fundamentais para aquisição de pontos de controle no terreno são (a) a necessidade de acesso às áreas que permitam uma boa distribuição desses

pontos nas imagens e (b) pontos de controle confiáveis e estáveis. A estabilidade e confiabilidade dos pontos de controle são uma dificuldade em função das constantes modificações do nível de água devido às inundações, afogando redes de drenagens que às vezes constituem o único referencial para coleta dos pontos. As constantes transformações da paisagem também são uma dificuldade. Isto exige um conhecimento prévio dos processos dinâmicos e sua localização espacial para encontrar pontos de controle estáveis passíveis de serem utilizados.

Na planície costeira amapaense, estas premissas são difíceis de serem cumpridas. Tal fato pode ser corroborado ao se observar as cartas de estações planimétricas e altimétricas do estado do Amapá, atualizadas em 1998 e 1999 pelo IBGE (Figs. 11.4 A e B). Nestas cartas, a concentração de pontos planimétricos e altimétricos é principalmente ao longo das estradas e próximos às drenagens nas áreas do planalto costeiro e embasamento (comparar com a Fig. 2.4, p.23). Isto se deve à dificuldade de acesso a planície, assim como ao esforço logístico e financeiro para tal empreendimento.

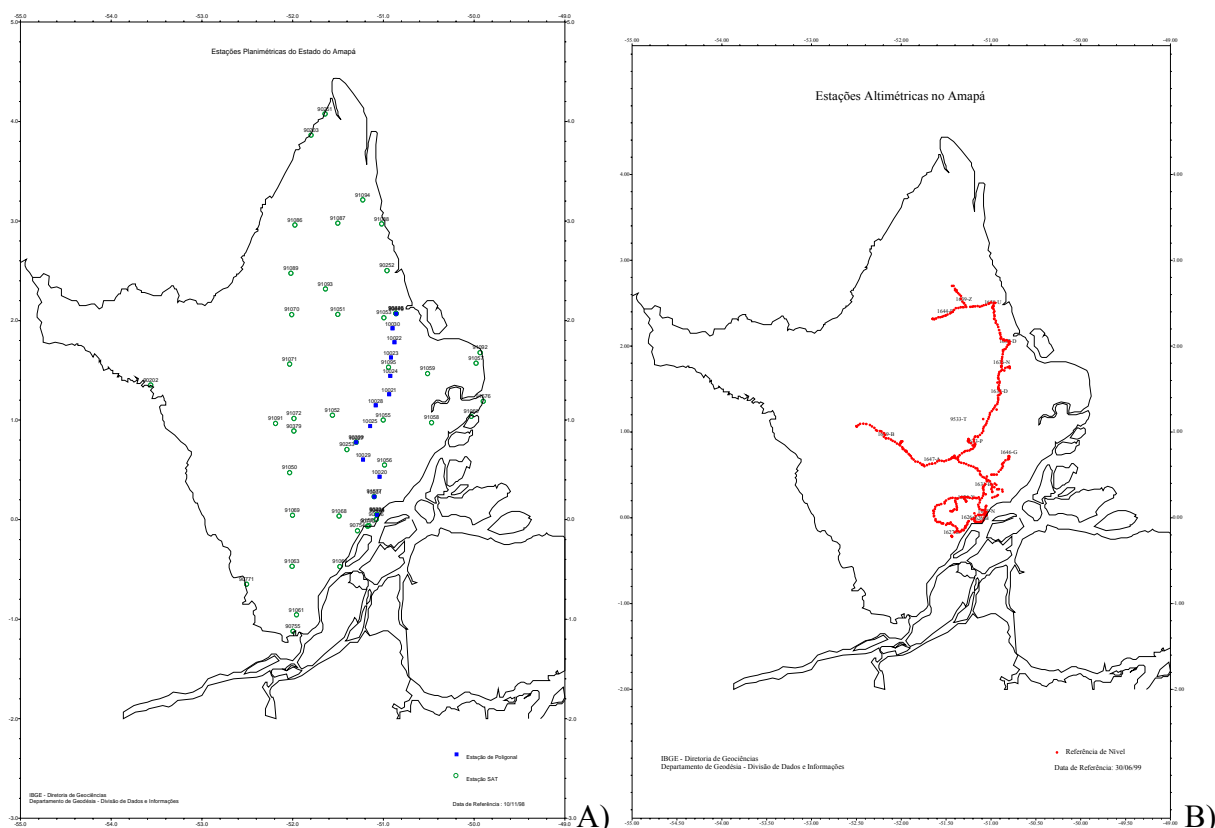


Figura 11.4: A) Mapa das estações planimétricas e B) altimétricas do Amapá. Fonte: http://www2.ibge.gov.br/pub/Cartas_e_Mapas/Documents_Geodesicos/Norte/.

As dificuldades de acesso não só afetam a coleta de bons pontos de controle como a observação e coleta de outros dados em campo.

Desta forma, nesta pesquisa, foram providenciadas as imagens disponibilizadas através do GLCF (ver Capítulo 8). No entanto, isso não diminuiu as dificuldades de registro das fotografias aéreas e imagens mais antigas como as do sensor MSS de 1973. Nas fotografias aéreas, a escala de observação local exige uma precisão maior nos pontos de controle adquiridos entre as imagens corrigidas e as fotos. Para a imagem do sensor MSS de 1973, a dificuldade ocorreu em função de uma resolução espacial mais baixa que dos outros sensores óticos e de imagens de uma época em que a geometria interna era pior que as atuais.

Para o processo de ortoretificação das imagens de RADARSAT-1, utilizando um modelo numérico de terreno (DEM SRTM), deve-se ressaltar que tal tarefa não seria justificável para um terreno plano como o da área estudada. Além do mais, o DEM utilizado relaciona dados de altimetria com cobertura vegetal (ver item 11.1.2), tornando o processo de ortoretificação menos exato. No entanto, isto permitiu com que se obtivesse uma melhor comparação e combinação entre imagens do RADARSAT-1 e destas com o produto do sensor ETM+.

11.2.2 Análise de Componente Principal por Subgrupo

Na análise da matriz de correlação entre os grupos escolhidos para aplicação da técnica por componente principal, se observa que o subgrupo I apresenta a mais alta correlação entre as bandas, enquanto que o subgrupo II apresenta a mais baixa correlação (Tab. 11.1). A maior correlação significa mais semelhanças entre as bandas, trazendo pouca informação nas outras componentes secundárias. A busca de bandas com pouca correlação na matriz permite que as diferenças entre estas bandas combinadas sejam ressaltadas em outras componentes fora a primeira componente principal. Isto explica o fato do subgrupo II ter apresentado uma distribuição melhor de informações nas duas primeiras componentes, permitindo diferenciar os padrões de drenagens atuais com maior nitidez na segunda componente principal.

Tabela 11.1: Matriz de correlação para as seis bandas do sensor ETM+ utilizadas.

Bandas ETM+	1	2	3	4	5	7
1	1	-	-	-	-	-
2	0.98	1	-	-	-	-
3	0.93	0.97	1	-	-	-
4	0.35	0.30	0.09	1	-	-
5	0.35	0.30	0.17	0.68	1	-
7	0.54	0.51	0.43	0.48	0.92	1

No resultado da análise por componente principal do subgrupo I (bandas 1, 2 e 3), a elevada correlação entre as bandas usadas permitiu com que cerca de 99% ficasse concentrada na PC1. A utilização de bandas que possuem comprimentos de onda com máxima refletância para águas turvas neste subgrupo resultou em uma PC1 que apresenta com bastante nitidez a localização das águas turvas do rio Araguari e aquelas associadas ao pisoteio de gado em pequenos lagos localizados na planície de inundação (ver Capítulo 8).

O resultado da análise do subgrupo II (bandas 3, 4 e 5) mostrou que a PC2, que concentrou 27% das informações das bandas, ressaltou melhor as feições nas áreas úmidas como a rede de drenagem e zonas de intermaré. Essa componente secundária mostra claramente o padrão da atual rede de drenagem natural e antrópica da área, bem como das feições inerentes aos paleocanais e linhas acrescionárias dentro da planície, realçados por diferenças de textura e forma. Este triplete é portanto o melhor resultado obtido nas análises por subgrupo de principais componentes.

O resultado da análise do subgrupo 3 (bandas 5 e 7, do infra-vermelho) evidenciou principalmente as feições associadas à porção emersa da planície, visto que as características espectrais destas bandas permitem ressaltar áreas de solos arenosos e argilosos. Isto explica, por exemplo, porque as áreas mais arenosas e siltosas aparecem com um padrão de reflexão muito alto na composição colorida, resultante das análises por componentes principais.

Esta composição colorida baseada nas principais componentes seletivas apresentou o melhor resultado quando foi combinada à primeira principal componente dos subgrupos das bandas do visível (em azul), do infra-vermelho (em verde) e a banda 4 (em vermelho), que foi

preservada por sua característica. Nesta composição se concentram as informações principais das seis bandas utilizadas.

O resultado da análise por componente principal permitiu que imagens com muitas nuvens pudessem ser utilizadas na análise multitemporal, diminuindo a interferência de estas na visualização dos dados. As nuvens continuaram nas imagens, porém a maior parte das informações referente a elas ficou concentrada na primeira componente principal. Este tipo de análise acabou por ser aplicada também nas imagens do sensor MSS, a fim de ressaltar as drenagens e auxiliar na comparação das imagens multidas de Landsat (Figs. 10.9 e 10.10).

11.2.3 Classificação Não Supervisionada

A classificação não supervisionada enquanto método exploratório da imagem classificada (sensor ETM+) foi um elemento útil antes da definição dos padrões identificados no capítulo 8. Por outro lado, deve-se reconhecer o caráter aleatório desta classificação. O produto foi apenas uma análise intermediária e não foi feita nenhuma validação da classificação, que foi realizada sem utilizar áreas de treinamento, como se usa na classificação supervisionada, que pode dar uma representação mais “fiel” do terreno.

A utilização da classificação não supervisionada se deve a dois fatores fundamentais: alta incidência de nuvens nas imagens e a heterogeneidade das classes espectrais dentro de uma mesma unidade, como reflexo das condições ambientais (naturais e antrópicas) da área.

Uma análise exploratória das classificações realizadas mostrou que muitos *pixels* foram classificados erroneamente, havendo confusões entre classes de terrenos com maior umidade, águas muito turvas e sombras de nuvens (Figs. 11.5 e 11.6). Observa-se, no entanto, que para a classificação da principal componente do subgrupo I (Fig. 11.5) foram identificadas cinco classes no canal estuarino, representando as variações na turbidez das águas do estuário, o que não foi possível observar na classificação da primeira componente principal do subgrupo III (Fig. 11.6). Confusões bem evidentes são visualizadas entre as áreas de florestas, sombras de nuvens e campos arbustivos no resultado da classificação do subgrupo I (Fig. 11.5), que são menos visíveis na classificação do subgrupo III (Fig. 11.6). Estas confusões entre as classes são mantidas e se tornam mais complexas para o produto da classificação colorida (Fig. 11.7). Porém, nota-se que dentro do canal estuarino a separação entre as classes de turbidez da água é melhor. Provavelmente em função da homogeneidade

no padrão de reflexão das águas dentro do estuário, o que não é possível para a planície de inundação.

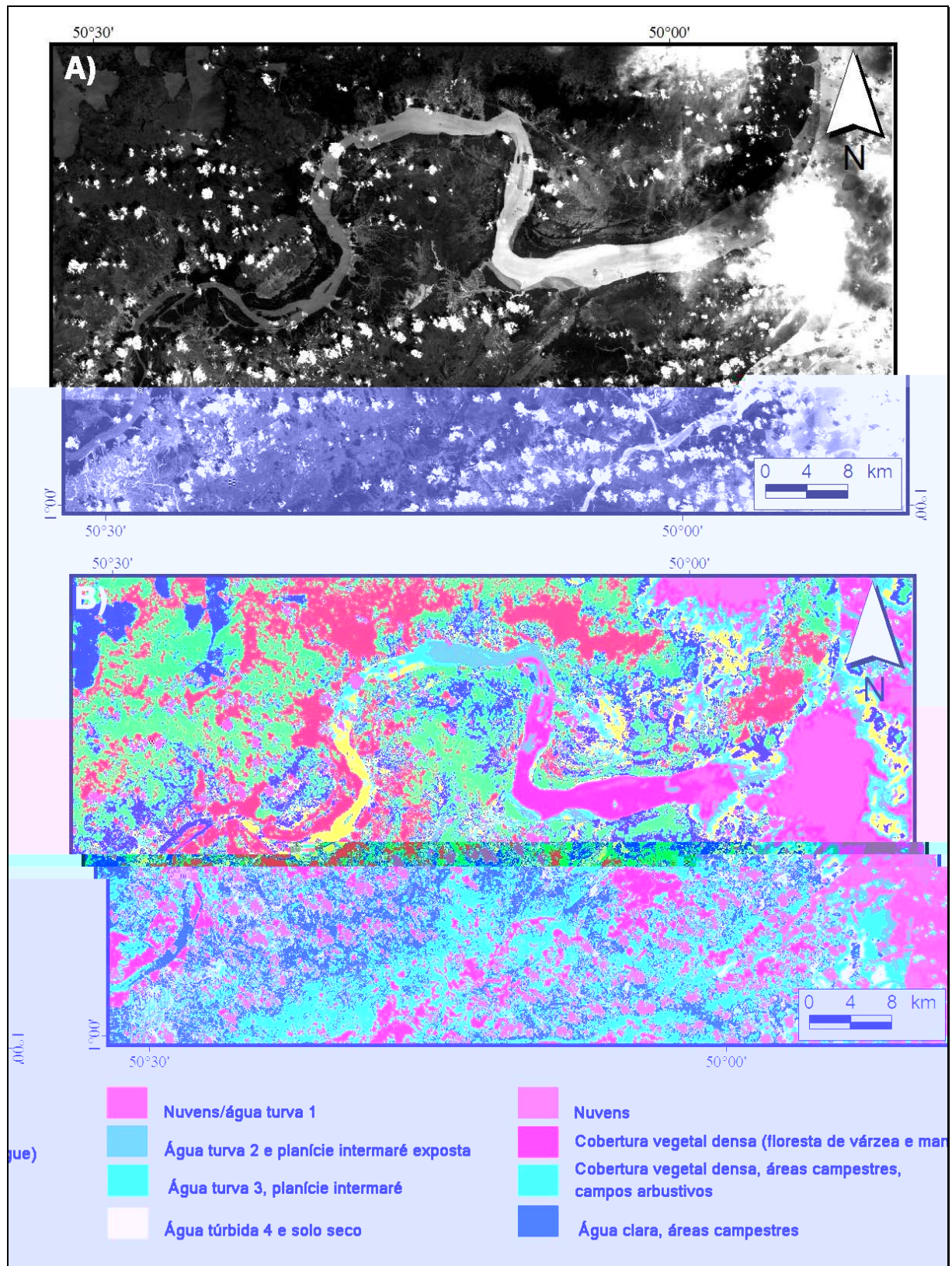


Figura 11.5: A) Imagem da PC1 do subgrupo I (bandas 1, 2 e 3) do sensor ETM+. B) Classificação da PC1 da respectiva imagem.

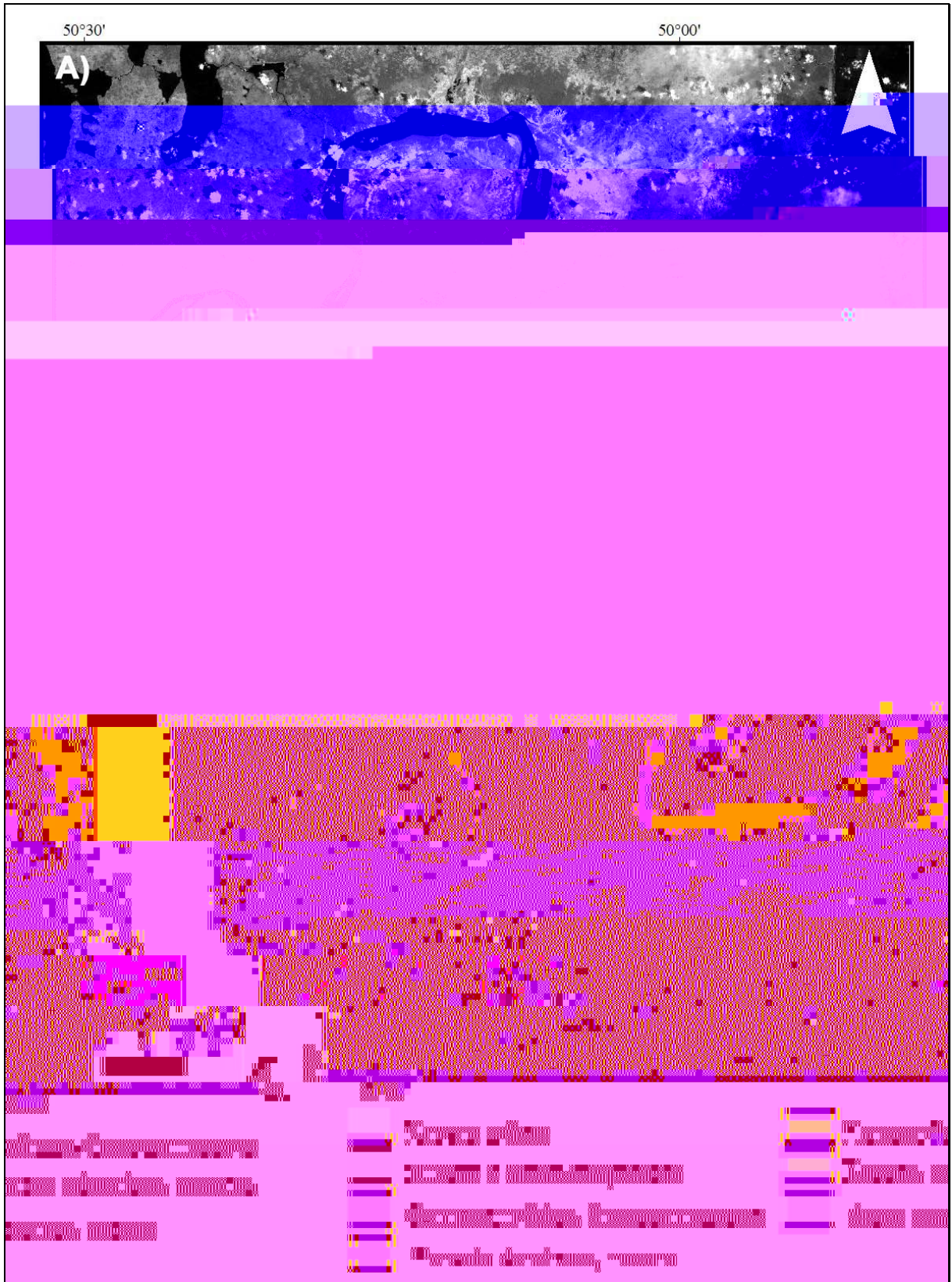


Figura 11.6: Produto da classificação não supervisionada aplicada em imagem do sensor ETM+. A) imagem da PC1 do subgrupo III; B) Classificação da PC1 do subgrupo em A.

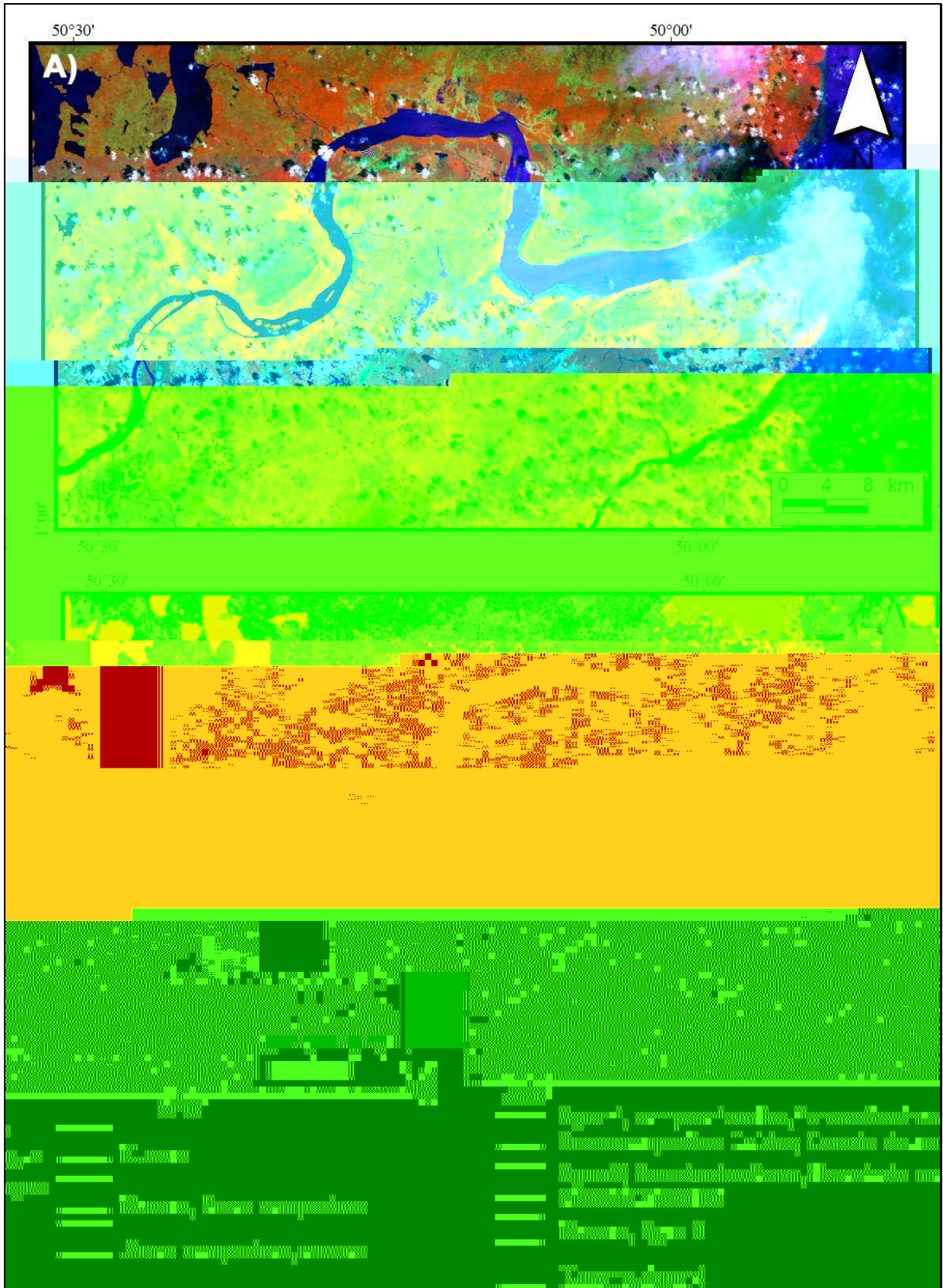


Figura 11.7: A) Imagem do sensor ETM+ para a composição colorida resultante da PC1 do subgrupo I (bandas 1, 2, 3) em B, banda 4 em R e PC1 do subgrupo III (bandas 5 e 7) em G. B) produto da classificação colorida aplicada na imagem em A.

11.2.4 Análise Multitemporal

Dentre as principais vantagens da utilização dos dados apresentados para a análise das variações temporais nas imagens e deste modo identificação das mudanças, cita-se:

- para as imagens JERS-1, as análises multidas permitiram identificar as áreas mais susceptíveis a inundações na planície estudada (Figs. 8.2, p.178 e 8.15, p.204). De certa forma, observou-se também a existência de uma correlação dessas áreas, com aquelas mais pressionadas pelo rebanho bubalino, evidenciado pelo destaque dos padrões de drenagens com interferência antrópica.
- para as imagens de RADARSAT-1, estas análises evidenciaram as modificações de cobertura vegetal na planície de inundações, relacionada com as áreas campestres. Na planície estuarina, permitiu diferenciar as áreas em diferentes situações de marés (Fig. 11.8).

As variações na coloração desta figura multitemporal ressaltam as áreas que apresentam instabilidade nos padrões detectados (ver item 8.2.3, p.201). Por outro se tornam mais evidentes os limites entre os padrões das áreas de cobertura vegetal densa daqueles relacionados as áreas campestres e arbustivas.

As comparações entre as imagens de Landsat forneceram elementos úteis para a identificação nas modificações principalmente na rede hidrográfica na planície de inundações seja em tempos históricos (séculos) ou recente (1973-2000). No entanto, nesta análise o registro entre imagens mais antigas e recentes apresenta maiores dificuldades devido à baixa qualidade das imagens mais antigas do Landsat, em termos de resolução espacial e espectral.

Na análise multitemporal, a resolução espacial das imagens se tornou uma dificuldade para a correção geométrica das fotografias aéreas com as imagens do Landsat, tomando-se muito tempo nesse registro, em consequência, também, desse registro ter sido realizado entre imagens multisensor, tornando o processo mais difícil.

Deve-se considerar, entretanto, que o acesso a imagens de acordo com o ritmo da dinâmica de modificações em função dos processos dinâmicos da região, se coloca como um problema para as análises multitemporais. Um exemplo é a falta de acesso a imagens com períodos intermediários entre as imagens analisadas e em épocas indicadas nas entrevistas, como períodos de modificações na rede de drenagem (ver Capítulo 10).

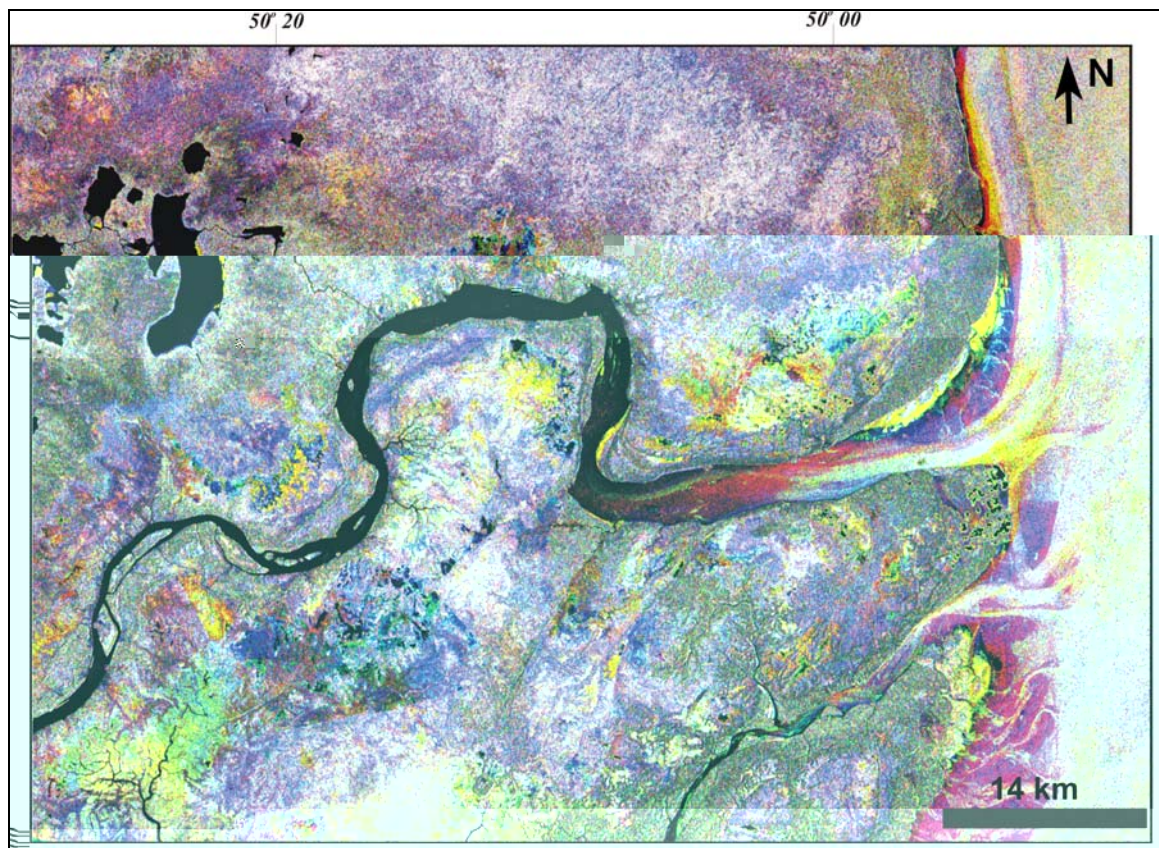


Figura 11.8: Composição colorida de imagens multidas do sensor RADARSAT-1. Imagens de 06 (R) e 30 de setembro de 2004 (G) e, de 08 de fevereiro de 2003 (B). Notar as maiores variações para a planície estuarina e áreas campestres. Em cinza escuro as áreas de florestas sem aparentar mudanças no padrão identificado no sensor, porém essas áreas deveriam estar inundadas para a aquisição da cena de 08 de fevereiro. Em magenta as áreas da planície de intermaré expostas na imagem de 30 de setembro e dentro da planície de inundação. Esta cor destaca as diferenças de umidade nas áreas campestres. Em amarelo as variações entre as imagens de 08 de fevereiro de 2003 e de 06 de setembro de 2004 refletem às mudanças na situação de inundação por marés na planície de intermaré e pela precipitação, dentro da planície de inundação influenciada por marés.

Na análise multitemporal, a necessidade de se ter imagens em mesmas condições de observação em relação aos parâmetros do sensor e condições ambientais é importante para evidenciar as mudanças.

11.2.5 Fusão de Imagens Multisensor

Duas vantagens podem ser citadas em relação ao produto da fusão multisensor: a) ressalto de padrões e feições geomórficas, pouco nítidas nas imagens RADARSAT-1; b) diminuição da interferência de nuvens visualizadas nas imagens do sensor ETM+, resgatando parte das informações mascaradas (Fig. 11.9).

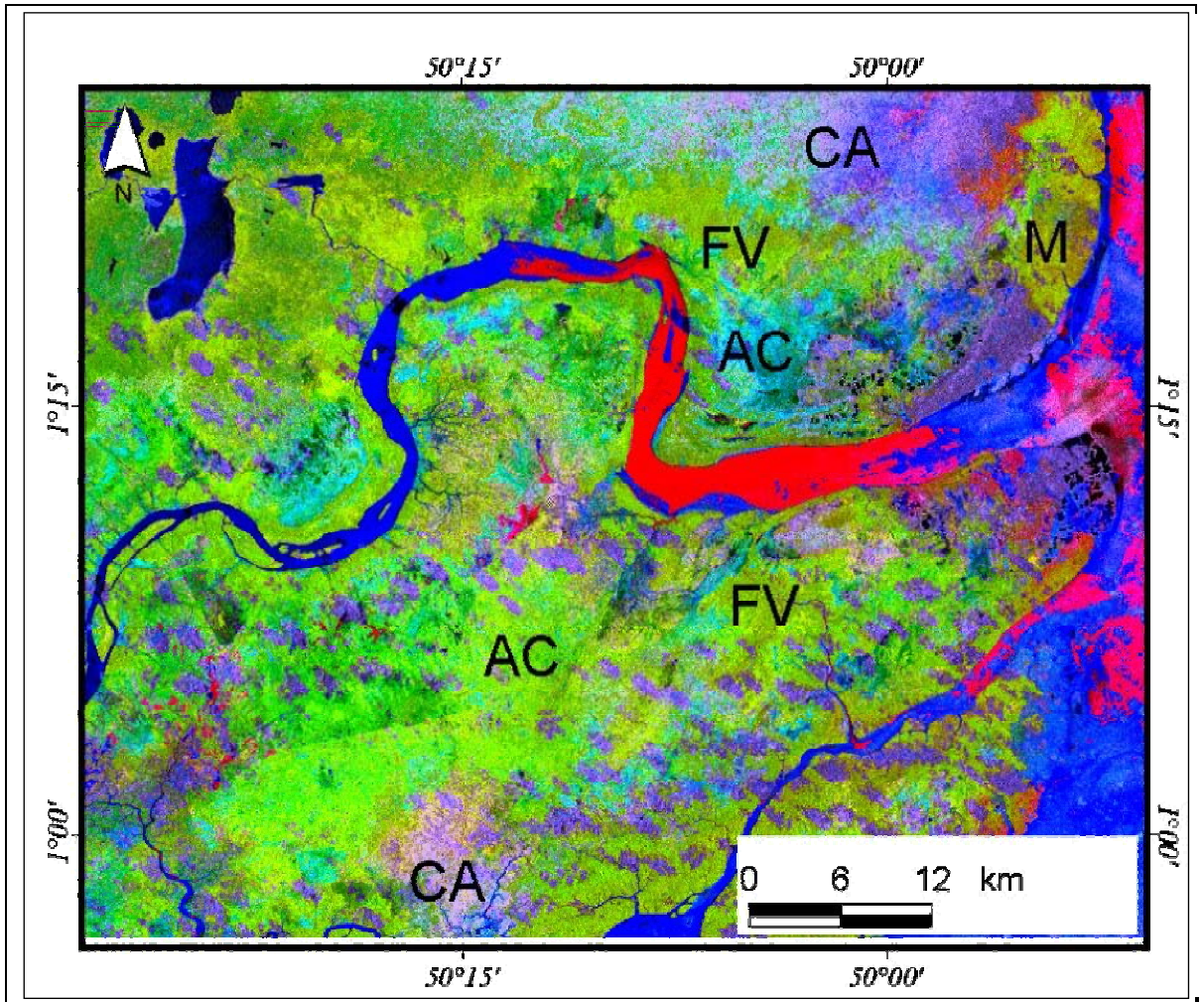


Figura 11.9: Produto híbrido proveniente da fusão de imagens RADARSAT de 08 de fevereiro de 2003 e composição colorida do sensor ETM+ proveniente da análise de principal componente seletiva. FV (floresta de várzea), M (mangue), CA (campos arbustivos) e AC (áreas campestres).

No geral, o produto resultante, apresenta pouca variação de cor. No detalhe, este produto permitiu distinguir as áreas de floresta de várzea daquelas dos campos arbustivos, do que simplesmente as imagens de RADARSAT-1. As diferenças entre as florestas de várzea e mangue se tornaram mais evidentes, bem como a rede de drenagem secundária. No canal estuarino, nota-se nitidamente o limite da influência de águas turvas coincidente com o limite de ação da pororoca no estuário. No entanto, a fusão de dados de sensores óticos e radar pode ser uma prática limitada para a área estudada, não só pela falta de imagens com pouca incidência de nuvens, como também pela variação nas condições de inundação do terreno (ver Capítulo 5). Isto remete a necessidade de que esses produtos devam ser elaborados pelo menos com imagens de mesmas condições de marés, mesmo ano e período sazonal.

11.3 POTENCIALIDADE DOS MAPAS E IMAGENS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS

A análise da integração multidos e multisensores para detecção de modificações na área estudada permite considerar que os mapas antigos e as imagens dos sensores remotos possuem um bom potencial para detecção de mudanças no estuário estudado (Tab. 11.2).

Este potencial varia em função da dimensão da feição identificada, também passa pela capacidade das imagens de sensores remotos em identificar as feições procuradas (ver capítulos 6, 8 a 10).

Tabela 11.2: Potencial dos mapas históricos e imagens de sensores remotos para detecção dos elementos que registram mudanças na área estudada. Comparar com a Tab. 9.1, p.231.

	paleo-drenagens	drenagens atuais (planície de inundação)	de valas	massas florestais residuais	linhas de vegetação	sedimentação/ erosão-variação laterais na planície estuarina	cercas	turbidez da água	toponímia
mapas históricos	E	-	-	E	P	-	-	-	E
fotografias aéreas verticais e 35 mm	E	E	E	E	E	-	E	E	-
imagens de radar GEMS 1000	E	M ¹	-	E	E	E	-	-	-
mosaico JERS-1	E ¹	M ¹	P	M	M	M	P	-	-
imagens RADARSAT-1	P	P ¹	P	P	P	E	E	-	-
imagens de satélite Landsat	E	E ¹	E	E	E	E	M	E	-

E = excelente

M = médio

P = pobre

¹ – dependendo das dimensões da drenagens.

Por outro lado, há de se considerar que as imagens de sensores remotos atuais não são capazes de mostrar todas as informações relacionadas às cicatrizes da história de modificações de curto período na área estudada. A superposição de eventos naturais resulta no mascaramento de registros e o uso da planície para a pecuária vem destruindo os registros geológicos-geomorfológicos (ver Capítulo 5).

Na utilização dos dados de referência como os mapas históricos e as fotografias aéreas, deve-se considerar que, a inexistência de arquivos que preservem a história de confecção desses mapas e dos recobrimentos aéreos, é um fator limitante para que os mesmos sejam utilizados com maior precisão.

11.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

De um modo geral, pode-se afirmar que a utilização dos dados de sensores remotos e técnicas utilizadas nesta tese, para reconhecimento das características da área estudada e suas modificações foram satisfatórios. No entanto, uma dificuldade se refere à disponibilidade de imagens. Esta limitação tendeu a desaparecer no ano 2000, com o recobrimento mais contínuo da região por outros sensores.

Os dados de radares apresentaram complementaridade, pois enquanto o JERS-1 permitiu uma avaliação regional, as imagens de RADARSAT-1 permitiram uma análise mais sub-regional e pode-se considerar até a nível local, uma vez que, foram detectadas pequenas variações na cobertura vegetal, devido à sensibilidade do comprimento de onda deste sensor. No entanto, para comparações referentes às décadas anteriores, no sentido de resgatar situações onde a planície costeira estudada deveria estar mais preservada, os dados originais das imagens JERS-1 são importantes.

O resultado da aplicação das técnicas para a análise multitemporal, nas imagens JERS-

correlacionar a interpretação aqui apresentada e a resposta do radar para imagens de sensores SAR em outras condições de observações.

Os produtos resultantes das técnicas aplicadas aos sensores óticos foram os que melhor permitiram a análise de modificações ambientais, entre a década de 1950 e ano de 2000, tanto pelo fator de disponibilidade dos dados, quanto em função das características espectrais dos sensores analisados. Porém, com pobreza na análise para os dados de Landsat do sensor MSS tanto por sua resolução espectral, quanto por sua resolução espacial e incidência de nuvens sobre as áreas avaliadas. A resolução espacial das imagens deste sensor não permitiu adquirir informações para verificar a situação da área antes da maior influência da bubalinocultura. Tal dificuldade poderia ser sanada utilizando os dados de recobrimento de fotografias aéreas da década de 1970. Entretanto, a maioria destes dados não foi encontrada para a avaliação dessa situação.

Os fatores climáticos relacionados à cobertura de nuvens, em função da ZCIT são elementos restritivos para utilização de imagens de sensores óticos, porém podem ser potenciais, no caso da ocorrência do fenômeno El-Niño, permitindo a aquisição de imagens com menor cobertura de nuvens e assim, com melhor potencial para observação da planície estudada. Isto se refletiu, por exemplo, na escolha da imagem de 2000, como base utilizada na pesquisa. Além do fato de ser uma imagem com boa geometria.

Os produtos derivados do processamento e análise das imagens deste sensor ajudaram tanto a entender o alcance dos processos sedimentares relacionados à ação da pororoca dentro do estuário do Araguari. Permitiram também identificar as áreas sujeitas a influência antrópica através do mapeamento dos padrões de drenagem e turbidez da água.

Os resultados da análise por principal componente mostraram ser este, um método eficaz para ressaltar os padrões e feições na planície costeira estudada, como também para aumentar a área útil da imagem para as análises, minimizando, a interferência de algumas nuvens restritivas para estas análises. Acredita-se que este tipo de análise deva ser mais aplicado, não apenas para condensação de informações das bandas de sensores óticos multiespectrais, com a finalidade de fusão com outros sensores, como o radar, mas também para análise do conteúdo das informações.

Vale ressaltar, que afora as potencialidades e limitações dos dados de sensores remotos analisadas, a área estudada apresentou uma problemática inicial que foi a delimitação da área de pesquisa. Isto se deve ao fato de que, a abordagem estratégica nas diferentes

escalas e, a dimensão dos ambientes envolvidos, não permitiria uma delimitação de área preliminar para os estudos locais. Deste modo, buscando definir as áreas onde as transformações poderiam ser evidentes nas imagens, as entrevistas, aliadas às informações de campo foram providenciais para um primeiro momento na identificação das áreas susceptíveis às modificações ambientais.

Acredita-se que a área, cuja dimensão não favorece um campo exaustivo, só foi possível de ser avaliada, com melhor propriedade para os diferentes produtos de sensores remotos, em virtude das informações adquiridas nas várias campanhas de campo e adquiridas no âmbito de outros projetos executados na área. Pois, isto permitiu selecionar e delimitar os alvos, tanto dentro da planície de inundação e quanto do estuário. No entanto, o problema relativo com as interpretações e comparações entre os padrões e feições analisadas, só foram solucionados à medida que a área foi sendo investigada em campo, com as integrações das informações provenientes das imagens e dados colaterais. Isto reafirma que para a região, a aplicação de dados de sensores remotos para o estudo de modificações, deve ainda primar pelo conhecimento da dinâmica natural e da dinâmica antrópica em campo.

Ressalta-se ainda que estudos relacionados a modificações ambientais utilizando os dados e técnicas aplicadas nesta pesquisa, devem verificar sempre as condições de observação dos alvos, devido às características dos sensores e da dinâmica natural e antrópica a que a área está submetida.

PARTE VI

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Capítulo 12

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

12.1 CONCLUSÕES

A análise dos dados permitiu confirmar as hipóteses propostas nesta pesquisa.

Hipótese 1: existem modificações ambientais na planície costeira amapaense.

A hipótese foi confirmada. Os resultados apontaram modificações tanto dentro da planície de inundação quanto na área da planície de maré.

Hipótese 2: se refere à origem das modificações, se naturais ou antrópicas.

Os dois tipos de modificações foram confirmadas. As forçantes naturais regem principalmente a dinâmica de inundação da região, resultando em uma paisagem dinâmica. Estas forçantes estão relacionadas aos eventos ENSO, variação da ZCIT, influência do rio Amazonas, variação na descarga do rio Araguari e à maré. As principais modificações estão associadas a colmatação e abertura de drenagens, dentro da planície costeira. Variações nas taxas de erosão e sedimentação e na concentração de sedimentos em suspensão ocorrem na planície estuarina refletindo-se em mudanças morfológicas. A bubalinocultura como processo antrópico responsável por modificações, traz mudanças na paisagem e nos parâmetros da qualidade de água (turbidez). Na paisagem, as mudanças estão associadas com a morfologia do terreno a partir de criação de trilhas, rampas, ravinas e valas, e modificação da cobertura vegetal. Essas modificações são mais efetivas na planície costeira e foram intensificadas em tempos recentes (desde a década de 1970).

Hipóteses 3 e 4: os dados de sensores remotos podem identificar os produtos dessas modificações e as forçantes responsáveis pelas modificações.

Ambas as hipóteses foram confirmadas através da aplicação dos dados de sensores

remotos óticos (Landsat MSS, TM e ETM+), de radares (RADAR GEMS 1000, RADARSAT-1 e mosaico de imagens do JERS-1) e das fotografias aéreas. Os dados foram úteis para auxiliar tanto no reconhecimento dos ambientes quanto na identificação dos produtos das modificações e processos associados.

Os resultados das modificações foram observados nos dados de sensores remotos utilizados, nas mais diversas escalas, como também em trabalhos de campo e se refletem nos padrões de uso e cobertura do solo e nas feições identificadas. De um modo geral, as imagens RADARSAT-1 permitiram identificar as modificações associadas à área de cobertura vegetal menos densa (áreas campestres e campos arbustivos) e na planície estuarina. O mosaico de imagens JERS-1 e dados de SRTM foram úteis para auxiliar na identificação dos padrões e feições associadas aos ambientes existentes na área, sendo que as imagens do JERS-1 também permitiram identificar a dinâmica de inundação da planície costeira. As fotografias aéreas e os dados de sensores óticos (Landsat MSS, TM e ETM+) forneceram elementos para identificar as mudanças desde a década de 1950. No entanto, a imagem do sensor ETM+ apresentou o melhor resultado para o mapeamento dos ambientes, apesar das limitações dos sensores óticos em função da cobertura de nuvens.

A análise dos padrões e feições, tanto nas imagens de sensores remotos como a partir dos trabalhos de campo e de análise de dados históricos, permitiu identificar indicadores de modificações que podem ser utilizados para avaliar as mudanças. Estes indicadores permitiram reconstituir parte da evolução do estuário do rio Araguari e da planície de inundação desde o século XVII e demonstraram que esta área apresenta uma complexidade em sua evolução, que deve ser considerada à luz da evolução dos ambientes adjacentes que se formaram na planície costeira do Amapá.

12.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As modificações estudadas no âmbito do estuário do rio Araguari são muito dinâmicas e de grandes proporções. Isto leva a considerar a região costeira do Amapá como uma área onde os processos geológicos-geomorfológicos modificam a paisagem em curto espaço de tempo. Além disso, trata-se de uma região onde os processos antrópicos estão imprimindo modificações na paisagem em curto espaço de tempo, trazendo ambigüidades para o estudo das modificações por sensores remotos.

Apesar de na linha de costa encontrarem-se áreas sob a influência de fortes processos erosivos, os registros avaliados dentro da planície de inundação apontam para um contínuo processo agradacional nos últimos séculos, registrados pelo preenchimento de canais e desativação de drenagens, o qual pode estar sendo influenciado por possíveis processos tectônicos locais e variações do nível do mar, necessitando de maiores investigações para determinar a influência dominante.

No contexto do uso das ferramentas como a cartografia histórica, os resultados evidenciaram que mapas antigos podem fornecer elementos para entender a dinâmica de evolução de costas sujeitas a rápidas modificações e como tal devem ser conservados. Por outro lado, ajudam a avaliar as tendências de modificações sobre a região costeira, permitindo também auxiliar programas de gerenciamento costeiro. Os mapas históricos podem ser utilizados como mais uma ferramenta para os geocientistas estudarem as modificações em áreas costeiras. Entretanto, há de se considerar que em virtude de serem peças históricas o acesso aos mapas é restrito, o que dificulta seu uso em estudos mais acurados e o avanço no conhecimento das modificações em ambientes costeiros atuais.

Os relatos das entrevistas, apesar de apontarem algumas divergências de poucos anos entre os acontecimentos, foram úteis para identificar as transformações que ocorreram na área, as quais foram confirmadas, a partir do uso dos dados de sensores remotos e avaliações de campo. Isto permite concluir que as observações dos processos de modificações pelos moradores locais, podem servir como uma ferramenta na busca da história de modificações em ambientes costeiros sujeitos as rápidas mudanças como o estudado. Este foi um passo inicial neste trabalho que se mostrou muito proveitoso e eficiente.

De um modo geral, pode-se considerar que os dados de sensores remotos e as técnicas aplicadas, mesmo aqueles com baixa qualidade espectral e baixa resolução espacial, podem fornecer informações importantes sobre a dinâmica dos processos na planície estudada e as transformações que nela ocorreram, devido às dimensões dos ambientes nessa região e o contexto em que eles se encontram.

As imagens de radares e de sensores óticos possuem informações complementares para o estudo de modificações, porém, em virtude das características peculiares da área e a superposição de eventos antrópicos e naturais, devem ser utilizadas com cuidado. Tendo-se em mente que as condições de observação (características dos sensores e condições

ambientais) podem trazer complicações na aplicação destas ferramentas.

As modificações de curto período puderam ser reconstituídas desde o século XVII, através de mapas cartográficos em comparação com imagens de sensores remotos permitindo uma análise diacrônica com multisensores e multidados em escalas temporais seculares, anuais e sazonais.

12.3 RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS

Em virtude dos resultados terem indicado que fenômenos globais como o El-Niño e La-Niña serem forçantes que potencializam as modificações na área de estudo, deve-se, aprimorar os estudos das modificações nesta área, por meio de análise de séries mais contínuas de imagens, visando compreender também a influência desses fenômenos na descarga de água e sedimentos do rio Araguari através de medições.

A pororoca, enquanto forçante local que imprime rápidas modificações dentro do estuário, deve ser melhor estudada, a fim de encontrar elementos indicadores desse processo que permitam avaliar melhor os registros sedimentares na área estudada. Para isso é necessário partir da reconstrução de eventos de transformação da planície, a fim de localizar os melhores pontos para avaliações dos registros sedimentares deixados por esse fenômeno. Os modelos teóricos desenvolvidos para a descrição do fenômeno da pororoca no estuário estudado poderiam ser aplicados em outras áreas a fim de verificar a dinâmica do fenômeno.

Em relação à utilização dos dados de sensores remotos, sugere-se o resgate dos dados originais dos recobrimentos por radares em banda L, para avaliar a situação da planície de inundação, em momento onde a atividade de pecuária não era tão intensa na área, uma vez que as imagens antigas dos sensores óticos apresentaram problemas em relação a sua baixa resolução espacial e espectral para avaliar os elementos dentro da planície de inundação. Isto permitiria melhorar a reconstituição da história de modificações. Aliás, o uso de radar em banda L, seria uma boa opção para estudar a dinâmica natural da planície de inundação da área trabalhada e, portanto, seria promissora a aplicação de novos sensores, nessa banda e/ou outras polarizações como o ALOS/PALSAR e o SAR aerotransportado do SIPAM.

As imagens de radar em banda C devem continuar sendo aplicadas, principalmente para reconhecer as variações superficiais sobre as áreas de campos inundáveis sob a influência

da pecuária e as transformações dentro da planície estuarina. Nesse contexto, sugere-se a aplicação de imagens ENVISAT e RADARSAT-2 para estudo da problemática. No entanto, devem ser analisadas também em outros sítios da planície costeira amazônica a fim de correlacionar os padrões detectados na área de estudo, porém nas mesmas condições de observação.

Na análise das modificações, comparações quantitativas a partir da possibilidade de correções geométricas dos mapas históricos e de aquisição de dados para correção das fotografias aéreas deveriam ser realizadas no futuro, possibilitando medir a velocidade dos processos detectados neste trabalho. Estas quantificações deveriam seguir de estudos morfoestratigráficos com datações absolutas. Entretanto, deve-se lembrar que a alta taxa de sedimentação e o constante retrabalhamento do material nessa planície pelos processos já discutidos nesta tese pode ser impedimento para medições precisas. Taxas de Pb210, por exemplo, poderiam ser utilizadas para analisar as taxas de sedimentação, no entanto, elas supõem eventos de deposição progressivos sem variações, o que parece não ser o caso do estuário estudado.

Estudos sobre a hidrodinâmica do estuário devem ser realizados a fim de se poder compreender o papel das marés, incluindo a pororoca, e das cheias nos processos sedimentares, bem como identificar a abrangência espacial desses fenômenos e melhorar a classificação deste ambiente.

Acredita-se que este estuário é um bom laboratório para estudar tanto os processos de modificações naturais quanto antrópicas, em função da pecuária, na costa amazônica. Esta atividade tende a se expandir nos próximos séculos em virtude da necessidade de alimentação da população, conforme discutido amplamente em documentos da FAO (*Food and Agriculture Organization*). Deste modo, identificar e aprofundar os estudos sobre o impacto desta atividade sobre o ambiente é importante para aplicação na gestão das áreas costeiras.

Capítulo 13

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abkar, A.-A.; Sharif, M.A. & Mulde, N.J. 2000. Likelihood-based image segmentation and classification: a framework for the integration of expert knowledge in image classification procedures. *JAG*, 2(2):104-119.
- Adonias, I. 1963. *A Cartografia da Região Amazônica: catálogo descritivo (1500-1961)*, II. INPA, Rio de Janeiro, 712 pp.
- Alexandrino, P.; 1749. Mapa da desembocadura do Rio Amazonas. Acervo do Museu Paraense Emílio Goeldi, Doação n. 256.
- Allison, M. A.; Nittrouer, C. A.; Faria, L. E. C.; Silveira, O. M.; Mendes, A. C. 1996. Sources and sinks of sediment to the Amazon margin: the Amapa coast. *Geo-Marine Letters*:16 36-40
- Allison, M.A. & Lee, M.T. 2004. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. *Marine Geology*, 208(2-4): 169-190.
- Allison, M.A.; Nittrouer, C.A.; Kineke, G.C.; Sternberg, R. 1994. Use of an instrumented tripod system to examine sediment dynamics and fine-scale strata formation in muddy surfzone and nearshore environments. *J. Coastal Res.*, 10:488-496.
- Allison, M.A.; Nittrouer, C.A. e Faria Jr., L.E.C. 1995. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. *Marine Geology*, 125(3-4): 373-392.
- Alsdorf, D.; Lettenmaier, D.; Vörösmarty, C.; NASA, 2003. The need for global, satellite-based observations of terrestrial surface waters. *EOS, TRANSACTIONS*, 84(29): 274, 275.
- Amarasekera, K.N.; Lee, R.F.; Williams, E.R. & Eltahir, E.A.B. 1997. ENSO and the natural variability in the flow of tropical rivers. *Journal of Hydrology*, 200: 24-39.
- AmasSeds Research Group. 1990. A multidisciplinary Amazon shelf sediment study. *EOS*, 71(45): 1771-1777.
- Anthony, E. J. & Orford, J. D. 2002. Between wave- and tide-dominated coasts: the middle ground revisited. *Journal of Coastal Research*, SI 36: 8-15.
- Anthony, E.J. & Dolique, F. 2004. The influence of Amazon-derived mud banks on the morphology of sandy headland-bound beaches in Cayenne, French Guiana: a short- to long-term perspective. *Marine Geology*, 208(2-4): 249-264.

- Araújo, E. P.; Parente Jr.; J. W. C. & Espig., S. A. 2005. Estudo das Unidades de Paisagem da Ilha do Maranhão: delimitação e dinâmica. In XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, pp. 2607-2609.
- Augustinus, P. G. E. F.; Hazelhoff, L.; Kroon, A. 1989. The chenier coast of Suriname: Modern and geological development. *Marine Geology*. 90: 269-281.
- Azevedo, L.H.A. 1971. Radar in the Amazon. In: A. Arbor (ed), 7 th Int. Symp. on Remote Sensing of the Environment. Univ. Michigan, pp. 2303-2306.
- Baghdadi, N.; Gratiot, N.; Lefebvre, J.-P.; Oliveros, C. & Bourguignon, A. 2004. Coastline and mudbank monitoring in French Guiana: contributions of radar and optical satellite imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(2): 109-122.
- Barros, R.S.d.; Cruz, C.B.M.; Medeiros, A.F.F.d. & Seabra, V.d.S. 2003. Estimativa de turbidez e temperatura da água a partir de dados dos sensores TM e ETM+ para a baía de Guanabara. In: XI SBSR. Belo Horizonte, INPE, pp. 2435 - 2442.
- Batista, E. M.; Souza Filho, P. W. M. & Silveira, O. F. M. 2005. Fusão de dados SRTM com dados Landsat TM 5 para estudo geomorfológico: Região dos Cabos Orange e Cassiporé, Amapá. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE. Cd-Rom.
- Beardsley, R. J.; Candela, R. L.; Geyer, W. R.; Lentz, S.; Castro, B.; Cacchione, D.; Carneiro, N. 1995. The M2 tide on the Amazon shelf. *J. Geophys. Research* 100, 2283-2320.
- Berger, A. R. The geoinicator concept and its application: an introduction. In: A. R. Berger & W. J. Iams (eds.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema. pp.1-14.
- Bird, M.; Chua, S.; Fifield, L. K.; Teh, T. S. & Lai, J. 2004. Evolution of the Sungei Buloh-Kranji mangrove coast, Singapore. *Applied Geography*, 24(3): 181-198.
- Birkett, C. M.; Mertes, L. A. K.; Dunne, T.; Costa, M. H.; Jasinski, M. J. 2002. Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry. *Journal of Geophysical Research*. 107: 26-1 - 26-21.
- Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J. H.; Baars, F. J.; Delgado, I. d. M.; Abram, M. B.; Neto, R. L.; Matos, G. M. M. d.; Santos, J. O. S. 2001. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapas na escala 1:2.500.000*. Brasília, CPRM.
- Blasco, F. 2001. Depletion of the mangroves of Continental Asia. *Wetlands Ecology and Management*. 9: 245-256.
- Blasco, F.; Bellan, M.F. & Chaudhury, M.U. 1992. Estimating the extent of floods in Bangladesh using SPOT data. *Remote Sensing of Environment*, 39(3): 167-178.
- Boaventura, F. M. C. & Narita, C. 1974. Geomorfologia. Folha Na/NB.22-Macapá. In: Projeto Radam, Levantamento de Recursos Naturais, v.6. Rio de Janeiro, MME/DNPM. pp. II/1-II/27.
- Bouchard, V.; M. Tessier, F. Digaire, J.-P. Vivier, L. Valery, J.-C. Gloaguen & J.-C. Lefevre. 2003. Sheep grazing as management tool in Western European saltmarshes. *Comptes Rendus Biologies*, 326 (Supplement 1): 148-157.
- Boyd, R.; Dalrymple, R. & Zaitlin, B.A. 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80(3-4): 139-150.

- Braga, C.Z.F. 1988. Utilização de imagens dos satélites LANDSAT-5 e NOAA-9 na identificação de parâmetros físico-químicos da água na Baía de Guanabara. Dissertação (Mestrado)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Brakel, W.H. 2003. Seasonal dynamics of suspended-sediment plumes from the Tana and Sabaki rivers, Kenya: Analysis of landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 16(2): 167-173.
- Brandalize, M.C.B. & Phillips, J. 2004. Técnicas e sistemas compreendidos pela tecnologia LIDAR. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis-SC, UFSC, pp. 7.
- Braz de Aguiar, 1923. Carta Geográfica do Território Federal do Amapá, Acervo Mapoteca #855a, Belém.
- Brekke, C. & Solberg, A.H.S. 2005. Oil spill detection by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 95(1): 1-13.
- Brisco, B. & Pultz, T. 1998. Wetland Mapping and Monitoring with RADARSAT. In: 20th Canadian Symposium on Remote Sensing, Calgary, AB., Canada, p.107-109.
- Brondizio, E.; Moran, E.; Mausel, P.; WU, Y. 1996. Land cover in the Amazon estuary : Linking of the Thematic Mapper with botanical and historical data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62 (8), 921-929.
- Camfield, F.E. & Morang, A. 1996. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean & Coastal Management*, 32(3): 129-151.
- Castro Filho, B. M.; Brandini, F. P.; Martins, L.R.; Castello, J. P.; Leão, Z.; Estefen, S. F.; Herms, F.; Lorenzetti, J.A.; Gurgel, I.; Waki, P.S.; Gonçalves, P.R.; Albuquerque, M.G. 2001. Documento Básico para uma Política Nacional de Ciência e Tecnologia do Mar. MCT, 52p.
- Cavalcante, M.F.A.B. 1896. Mapa Geográfico da Comissão Brèsilienne d'exploration du Haut Araguay, Acervo do Museu de Mineralogia do Centro de Geociências/UFPA.
- CCRS. 1997. Conceitos fundamentais do radar imageador. Nível básico. Projeto ProRADAR. Manual de Curso. CCRS.
- CCRS. 2001. Introdução ao Sensoriamento por RADAR, Globe SAR Program.. Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario. Cd-Rom.
- Chanson, H. 2001. Flow field in a tidal bore: a physical model. *In: 29th IAHR Congress*. Beijing, China, pp. 365-373.
- Chanson, H. 2003. Mixing and dispersion in tidal bores: a review. *In: Intl Conf. on Estuaries & Coasts*, Hangzhou, China, pp. 8.
- Chanson, H. 2004. Coastal Observations: The Tidal Bore of the Sélune River, Mont Saint Michel Bay, France. *Shore & Beach*, 72(4): 14-16.
- Chanson, H. 2005. Mascaret, Aegir, Pororoca, Tidal Bore. Quid ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ? *La Houille Blanche*, 3: 103-114.
- Charron, C.; Lointier, M.; Prost, M.T. & Rudant, J.-P. 1990. Etude Multitemporelle du littoral et des estuaires guyanais utilisant l'imagerie SPOT e Landsat. *In: M.T. Prost (ed.), Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire. Colloques et séminaires*. Cayenne (Guyane), ORSTOM Editions, pp. 61-71.

- Charron, C.; Panechou, K.; Huynh, F. & Gardel, A. 2001. La gestion du Milieu Côtier: approche spatiale et multidisciplinaire de l'environnement littoral amazonien. In: M.T. Prost & A.C. Mendes (eds.). *Ecosistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, MPEG, pp. 15-27.
- Chavez Jr., P.S. & Kwarteng, A. 1989. Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using Selective Principal Component Analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55(3): 339-348
- Chen, S.-S.; Chen, L.-F.; Liu, Q.-H.; Li, X. & Tan, Q. 2005. Remote sensing and GIS-based integrated analysis of coastal changes and their environmental impacts in Lingding Bay, Pearl River Estuary, South China. *Ocean & Coastal Management*, 48: 65-83.
- Clark, C.; Ripley, H.; Green, E.; Alasdair, E.; & Mumby, P. 1997. Mapping and measurement of tropical coastal environments with hyperspectral and high spatial resolution data. A.J.Edwards. www.ncl.ac.uk/tcmweb/remote.ijrscasi.htm. Acessado em 2002.
- Cluzeau, D.; F. Binet, F. Vertes, J. C. Simon, J. M. Riviere & P. Trehen. 1992. Effects of intensive cattle trampling on soil-plant-earthworms system in two grassland types. *Soil Biology & Biochemistry*, 24(12): 1661-1665.
- Coltrinari, L. 1996. Natural and Anthropogenic interactions in the Brazilian tropics.

- Crutzen, P.J. & Stoermer, E.F. 2000. The "Anthropocene". IGBP Newsletter, 41: 17-18.
- Cuong, P.V.; Cllau, N.H. & Hlen, T.M. 1989. Application of Remote Sensing imagery for investigation in the Haiphong estuarine and costal zone. *In: A.A.R.S, 10th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia.*
- Cuq, F. 1983. Remote sensing of sea surface and coastal features in the area of the Golfe d'Arguin, Mauritania. *Hydrobiologia*, 258(1-3): 33 - 40.
- Dahdouh-Guebas, F. 2002. The Use of Remote Sensing and GIS in the Sustainable Management of Tropical Coastal Ecosystems. *Environment, Development and Sustainability*, 4(2): 93 - 112.
- Daniel, J. R. K. 1989. The chenier plain coastal system of Guyana. *Marine Geology*. 90: 283-287.
- Deng, M.; Li, Y.; Yang, J.; Li, J. & Li, S. 1999. A New Approach on Operational Offshore Suspended Sediment Algorithm for Satellite Image. *In: 20th Asian Conference on Remote Sensing. Hong Kong, China, AARS.*
- Desnos, Y.-L.; Mayer, T. & Sardar, A.M. 1996. Multitemporal ERS-1 SAR images of the Brahmaputra flood plains in Northern Bangladesh. *ESA. EOQ Nr. 51.*
- DHN. 2000. Dados de previsões de marés para a costa amapaense. *Marinha do Brasil.*
- Diaz de Gamero, M.L. 1996. The changing course of the orinoco river during the neogene: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123: 385-402.
- Dias, G. T. M.; J. Rine, C. A. Nittrouer, M. A. Allison, S. A. Kuehl, C. J. Sucasas; & A. G. Figueiredo Jr. 1990. Geomorphologie Cotiere de L´Amapá - Bresil: Considerations sur la dynamique sedimentaire actuelle. *In: Prost, M.T. (ed.), Évolution des Littoraux de Guyana et de la Zona Caraïbe Méridionale Pendant le Quaternaire, Cayenne (Guyane), ORSTOM. pp. 151-170.*
- Donnelly, C. & Chanson, H. 2002. Environmental impact of a tidal bore on tropical rivers. *In: 5th Intl River Management Symp, Brisbane, Australia, pp. 9.*
- ENCARTA 2005. Disponível em encarta.msn.com. Acesso em dezembro de 2005.
- Estes, J.E. & Senger, L.W. 1971. The multispectral concept as applied to marine oil spills. *Remote Sensing of Environment*, 2: 141-163.
- Fairbridge, R. 1980. The estuary: it´s definition and geodynamic cycle. *In: E. Olausson, & I. Cato (eds.), Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Chichester, John Wiley & Sons pp. 1-35.*
- FAO. 2000. Water Buffalo: an asset undervalued, Bangkok, Thailand.
- Faria, M. M. 2005. A dinâmica das ilhas na desembocadura norte do rio Amazonas. *In: X Congresso ABEQUA. Guarapari-ES, ABEQUA, Cd-Rom.*
- Faure, J.-F. 2000. Análise por Sensoriamento Remoto da Expansão Urbana e de seus efeitos sobre os Ecossistemas na Região de Belém. Primeiros Resultados Cartográficos. *In: V Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos, Macapá, GEA/IRD/MPEG. pp. 325-332.*

- Faure, J.-F. 2001. Multitemporal analysis of mangrove spatial dynamics in São Caetano de Odivelas, Pará, Brazil. *In: M. T. Prost & A. C. Mendes (eds.), Ecosystemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, MPEG. pp. 39-49.
- Faure, J.-F.; Prost, M. T. & Mendes, A. C. 2002. Cartografia de Recursos Costeiros no Nordeste Paraense: Indicadores para um Uso Sustentável do Litoral Amazônico. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecosystemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Faure, J.-F.; Tran, A.; Gardel, A. & Polidori, L. 2003. Sensoriamento Remoto das Formas de Urbanização em Aglomerações do Litoral Amazônico: Elaboração de um Índice de Densidade Populacional. *In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte, INPE. Cd-Rom.
- Fensham, R.J. & Cowie, I.D. 1998. Alien plant invasions on the tiwi islands. Extent, implications and priorities for control. *Biological Conservation*, 83(1): 55-68
- Ferreira, N.S. 2002. Zona de Convergencia Intertropical. C & T Brasil: Convencion Sobre El Cambio Climático. Disponível em http://www.mct.gov.br/clima/espan/comunic_old/cinpe04.htm. Acessado em 29/04/2002.
- Figueiredo Jr., A. G.; C. A. Nittrouer & E. A. Costa. 1996. Gas-charged sediment in the Amazon submarine delta. *Geo-Marine Letters*, 16: 31-35.
- Fingas, M.F. & Brown, C.E. 1997. Review of oil spill remote sensing. *Spill Science & Technology Bulletin*, 4(4): 199-208.
- Fonseca, W. 1987. Búfalo: Estudo e Comportamento. São Paulo, Icone Editora Ltda. 213 pp.
- França, C.F. & Souza Filho, P.W.M. 2002. Mudanças morfológicas da zona costeira de Soure, ilha de Marajó (PA), através de imagens multitemporais de satélite Landsat. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecosystemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Franco, A.S. 1997. Marés: fundamentos, análise e previsão. Rio de Janeiro, DHN, 267 pp.
- Friedman, G.M. & Sanders, J.E. 1978. *Principles of Sedimentology*. John Willey & Sons, 792 p.
- Froidefond, J.M.; Lahet, D. Doxaran, d. Guiral, M. T. Prost & J.-F. Ternon. 2002. Les sediments en suspension des eaux cotieres de la Guyana Française observes à partir de donnees satellites Spot. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecosystemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Froidefond, J.M.; Lahet, C. Hu, D. Doxaran, D. Guiral, M. T. Prost & J.-F. Ternon. 2004. Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana. *Marine Geology*, 208(2-4): 153-168.
- Froidefond, J.-M.; Pujos, M. & Andre, X. 1988. Migration of mud banks and changing coastline in French Guiana. *Marine Geology*, 84(1-2): 19-30.
- Fromard, F.; Vega, C. & Proisy, C. 2004. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology*, 208(2-4): 265-280.
- Galisson, L. 2000. *Aquisição e Processamento de Imagens de Videografia Digital Aerotransportada*. Macapá, IEPA: 43p.

- Galisson, L.; Huynh, D. Lechevalier, M.-A. Marmoret, J.-F. Orru, K. Panechou, L. Polidori, F. Timouk & M. Tsayem. 1999. Caractérisation de l'occupation du sol par télédétection sur quelques sites ruraux de Guyane Française, Cayenne, IRD. 13p.
- Gardel, A. & Anthony, E.J. 2002. Aerial videographic monitoring of short-term beach morphological change, Mont Joly Beach, French Guiana. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecosistemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Gardel, A. 2000. Suivi de l'urbanisation en contexte tropical par télédétection: Exemple de l'île de Cayenne, Guyane. *In: V Workshop ECOLAB: Ecosistemas Costeiros Amazônicos*, Macapá, GEA/IRD/MPEG.
- GERCO. 2002. Compêndio das sínteses do I Ciclo de Seminários do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. Setor Costeiro Estuarino. IEPA/GERCO, Macapá-AP.
- GERCO. 2004. Diagnóstico Ambiental Participativo do Setor Costeiro Estuarino. Macapá, IEPA/GERCO. CD-Rom.
- Geyer, W. R. & Kineke, G. C. 1995. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. *Journal of Geophysical Research*, 100: 2321-2339.
- Gonçalves, F.D. & Souza Filho, P.W.M. 2005. Integração digital de imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará (Belém-PA). *In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Brasil, INPE, pp. 1789-1796.
- Gratiot, N.; Gardel, A. & Polidori, L. 2005. Remote sensing based bathymetry on the highly dynamic amazonian coast. *In: IX International Coastal Symposium*. Iceland, ICS. Disponível em <http://www.hornafjordur.is/icecoast/ics2005/>. Acessado em janeiro de 2006.
- Green, E.P, Mumby, P.J.; Edwards, A.J.; Clark, C.D. 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. *Costal management sourcebooks 3*. Paris, UNESCO. 316p.
- Green, E.P.; Clark, C.D.; Mumby, P.J.; Edwards, A.J. & Ellis, A.C. 1998. Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5): 935-956
- Hayes, M. O. 1975. Morphology of sand accumulation in estuaries: an introduction to the symposium. *In: L.E. Cronin (ed.), Estuarine Research*. Academic Press, pp. 3-22.
- Hayes, M. O. 1976. Transitional - coastal depositional environments. *In: M.O. Hayes & T.W. Kana (eds.), Terrigenous clastic depositional environments - some modern examples*. Coastal Res. Div., Univ. South Caroline, South Caroline, pp. I-32.
- Herz, R. 1990. Processus de dispersion des sédiments en suspension transportés para les eaux cotières de Barra Norte fleuve Amazone, Bresil. *In: Prost, M.T. (ed.), Évolution des littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale pendant le Quaternaire*, Cayenne (Guyane), ORSTOM Editions. pp. 265-280.
- Herz, R. 1991. Manguezais do Brasil. São Paulo, USP.
- Hesselmans, G.H.F.M.; Wensink, G.J.; Calkoen, C.J. & Argoss, P.O. 1997. Possibilities of remote sensing technologies in coastal studies. *GeoJournal*, 42(1): 65-72.

- Hoorn, C. 1993. Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: results of a palynostratigraphic study. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 105 (3-4): 267-309.
- Hoorn, C.; Guerrero, J.; Sarmiento, G.A.; Lorente, M.A. 1995. Andean Tectonics as a Cause for Changing Drainage Patterns in Miocene Northern South-America. *Geology* 23: 237–240.
- Hubbard, R.K.; Newton, G.L.; Hill, G.M. 2004. Water quality and the grazing animal. *Journal of Animal Science. J. Anim. Sci. (E. Suppl.)*: E-255-E263.
- Hydros. 1999. Estudos de Inventário Hidrelétrico, Bacia Hidrográfica do rio Araguari, Estado do Amapá. Hydros Engenharia Ltda. (Relatório Final, Textos).
- Ibañez, M. S. R.; Cavalcante, P. R. S.; Costa Neto, J. P.; Barbieri, R.; Pontes, J. P.; Santana, S. C. C.; Serra, C. L. M.; Nakamoto, N.; Mitamura, O. 2000. Limnological characteristics of three aquatic systems of the pre-amazonian floodplain, Baixada Maranhense (Maranhão, Brazil). *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 3: 521-531.
- Islam, A.; J. Gao, W. Ahmad, D. Neil & P. Bell. 2004. A composite DOP approach to excluding bottom reflectance in mapping water parameters of shallow coastal zones from TM imagery. *Remote Sensing of Environment* 92, 92: 40-51.
- Jensen, J. R. 1996. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. geographic information science*. Prentice-Hall, 316 pp.
- Jensen, J. R. 2000. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Prentice Hall.p.544, Upper Saddle River, NJ
- Kellndorfer, J.; W. Walker, L. Pierce, C. Dobson, J. A. Fites, C. Hunsaker, J. Vona & M. Clutter. 2004. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets. *Remote Sensing of Environment*, 93(3): 339-358.
- Kjerfve, B. & Ferreira, H.O. 1993. Tidal Bores: First Ever Measurements. *Ciência e Cultura*, 45(2): 135-138.
- Kineke, G.C. 1993. Fluid muds on the Amazon continental shelf. *Dissertação (Ph.D.) University of Washington, Seattle WA*, 249 p.
- Kohler, H.C. 2001. A Escala na Análise Geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1): 21-33.
- Kuehl, S. A.; Nittrouer, C. A.; Allison, M. A.; Faria Jr., L. E. C.; Dukat, D. A.; Jaeger, J. M.; Pacioni, T. D.; Figueiredo Jr., A. G.; Underkoffler, E. C. 1996. Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in an energetic fine-grained coastal environment. *Continental Shelf Research*, 16(5/6): 787-815.
- Kukal, Z. 1971. *Geology of recent sediments*. Academic Press London, Prague, 465 pp.
- Lahet, F.; Polidori, L & Petit, M. 2002. Apports de l'imagerie Spot-HRV pour le suivi de la zona cotiere sous l'influence de l'Amazone. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Latrubesse, E.M.; Stevaux, J.C. & Sinha, R. 2005. Tropical rivers. *Geomorphology*, 70: 187-206.
- Laut, L. L. M.; Carvalho, M. A.; Santos, V. F.; Figueiredo Jr., A. G.; Fontana, L. F.; Santos, P. S. T.; Laut, V. M.; Silveira, O. F. M. 2005. *Compartimentação do Baixo Curso do Rio*

- Araguari - AP com base nas Assembléias de Foraminíferos e Tecamebas. *In*: I Congresso Internacional PIATAM. Manaus: EDUA Editora da Universidade Federal do Amazonas, v.unico. p.87 - 87
- Le Tourneau, F.-M.; Chapuis, R.P. & Rudant, J.-P. 1999. Interprétation d'images radar sur l'île d'Algodal (Para-Brésil) en vue d'une cartographie des milieux naturels du littoral amazonien. *Télétection*, 1:1-18.
- Leeder, M.R. 1982. *Sedimentology*. London, George Allen & Unwin Ltda., 344 pp.
- Lefebvre, J.P. & Tran, A. 2000. Monitoring of coastal Swamp Areas bu difeferent types of airborne remote sensors. *In*: V Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos, Macapá, GEA/IRD/MPEG. CD-Rom.
- Lefebvre, J.P.; Dolique, F. & Gratiot, N. 2004. Geomorphic evolution of a coastal mudflat under oceanic influences: an example from the dynamic shoreline of French Guiana. *Marine Geology*, 208: 191– 205.
- Leite, P. F.; H. P. Veloso, Filho, L. G. 1974. Vegetação. Folha Na/NB.22-Macapá. *In*: Projeto Radam, Levantamento de Recursos Naturais, v.6. Rio de Janeiro, MME/DNPM. Cap. III.
- Ligda, D.J. 1996. The Water Buffalo. <http://ww2.netnitco.net/users/djligda/waterbuf.htm>. Acessado em setembro de 2005.
- Lima, M. I. C. 2002. Análise de Drenagem e seu significado Geológico-Geomorfológico. Belém: 166. (Apostila de Trabalho).
- Lointier, M. & Prost, M.T. 1988. Environnement cotier des Guyanes. Cayenne, ORSTOM. 41p.
- Lointier, M. & Rudant, J.P. 1994. Contribution du SAR de ERS1 à l'analyse hydrologique en milieu tropical humide : résultats du programme. *In*: X Journées Hydrologiques. Guyane, ORSTOM, pp. 651-669.
- Lointier, M. 1989. Constitution d'un atelier de traitement d'images satellite, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération. Cayenne, ORSTOM. 11p.
- Lointier, M. 1995. Apport de la télédétection à la connaissance hydrodynamique. *In*: L.-C.-. ENGREF-ORSTOM (eds.), *Télédétection et ressources en eau*. Montpellier, FAO.
- Lointier, M. 1996. Hydrologie des zones humides tropicales apport de l'information spatialisée aux problèmes de gestion intégrée: applications en Guyane. Tese (Doutorado) - Université Peirre et Marie Curie, Paris VI, Paris-França, 231 pp.
- Lopes, A.; Touzi, R. e Nezry, E. 1990. Adaptive speckle filters and scene heterogeneity. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 28(6): 992-1000.
- Lucas, R.M.; Mitchell, A. & Proisy, C. 2002. The use of Polarimetric AIRSAR (POLSAR) data for characterising mangrove communities. *In*: AIRSAR Workshop, Earth Science and Application. Pasadena, California, JPL, pp. 4-6 Março.
- Lynch, D.K. 1982. Tidal Bore. *Scientific American*, 247(4): 134-143.
- Magalhães, A. A. B. d. 1943. Do rio Amazonas e da pororoca. *Revista Brasileira de Geografia*: 87-97.

- Magilligana, F.J. & Nislow, K.H. 2005. Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71: 61–78.
- Magnanini, A. 1952. As regiões naturais do Amapá. *Revista Brasileira de Geografia*: 244-304.
- Maladain, J.-J. 1988. La Seine au Temps du Mascaret. *Le Chasse-Marée*, 34: 30-45.
- Meirelles, P. R. d. L. & Mochiutti, S. 2000. Impactos Ambientais da Bubalinocultura nos Campos Inundáveis do Amapá. *In: V ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*. Macapá, GEA/IRD/MPEG, pp. 57-61.
- Mendes, A. C. 1994. Estudo Sedimentológico e Estratigráfico dos Sedimentos Holocênicos da Região Costa do Amapá - Setor entre a Ilha de Maracá e Cabo Orange. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 274p.
- Mendes, A. C.; Silva, M. S. & Santos, V. F. 2001. Análise do Meio Físico para Gestão Ambiental das Ilhas de Algodoal e Atalaia (NE do Pará). *In: M. T. Prost & A. C. Mendes (eds.), Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, MPEG. pp. 103-111.
- Meybeck, M. & Vorosmarty, C. 2005. Fluvial filtering of land-to-ocean fluxes: from natural Holocene variations to Anthropocene. *C. R. Geoscience*, 337: 107–123.
- Milani, E. J. & Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary Basins of South America. *In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho & D. A. Campos (eds.), Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, IGC. pp. 389-449.
- MMA. 2002. Biodiversidade Brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, MMA/SBF. 404p.
- Mochel, F. T.; Cutrim, M. V. J.; Ferreira-Correia, M. M.; Ibañez, M. d. S. R.; Azevedo, A. C. G. d.; Oliveira, V. M. d.; Pessoa, C. R. D.; Maia, D. d. C.; Silveira, P. C. d.; Ibañez-Rojas, M. O. A.; Pacheco, C. d. M.; Costa, C. F. M.; Silva, L. M.; Puisseck, A. M. B. 2001. Degradação dos Manguezais na Ilha de São Luís (MA): processos naturais e impactos antrópicos. *In: M. T. Prost & A. C. Mendes (eds.), Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, MPEG. pp. 114-131.
- Mochel, F.R. 2000. Caracterização e Mapeamento de Marismas Associados aos Estuários e Manguezais da Baía de Turiaçu, Maranhão, Brasil, utilizando sensoriamento remoto. *In: V Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*, Macapá, GEA/IRD/MPEG. pp. 333-348.
- Moreira, M. A. 2003. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, Viçosa, UFV. 307p.
- Morton, R. A. 1996. Geoindicadores de zonas úmidas costeiras e linhas de costa. *In: A. R. Berger & W. J. Iams (eds.), Geoindicadores: avaliando mudanças ambientais rápidas em sistemas terrestres*. Rotterdam, A.A. Balkema. pp. 207-230.
- Mougin, E.; Proisy, C.; Marty, G.; Fromard, F.; Puig, H.; Betoulle, J. L.; Rudant, J. P. 1999. Multifrequency and multipolarization radar backscattering from mangrove forests. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 37(1): 94-102.

- Mumby, P. J. & Edwards, A. J. 2002. Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3): 248-257.
- Mumby, P. J.; Green, E. P.; Edwards, A. J. & Clark, C. D. 1999. The cost-effectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *Journal of Environmental Management*, 55(3): 157-166.
- Mwendera, E.J. & Saleem, M.A.M. 1997. Hydrologic response to cattle grazing in the Ethiopian highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 64(1): 33-41.
- Nichol, J.E. 1993. Remote sensing of water quality in the Singapore-Johor-Riau growth triangle. *Remote Sensing of Environment*, 43(2): 139-148.
- Nittrouer, C.A.; Kuehl, S.A.; Sternberg, R.W.; Figueiredo Jr., A.G.; Faria Jr., L.E.C. 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Mar. Geol.* 125: 177-192.
- Nittrouer, C. A. & D. J. DeMaster. 1996. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, 16(5/6): 553-573.
- Nittrouer, C. A.; Kuehl, S. A., Allison, M.A.; Sommerfield, C. K.; Rine, J. A.; Faria, L. E. C.; Silveira, O. M. 1996. The geological record preserved by Amazon shelf sedimentation. *Continental Shelf Research* 16(5-6): 817-841.
- Nittrouer, C. A.; Kuehl, S. A.; Rine, J.; Figueiredo Jr., A. G.; Faria Jr., L. E. C.; Dias, G. T. M.; Silva, M. A. M.; Allison, M. A.; Pacioni, T. D.; Segall, M. P.; Underkoffler, E. C.; Borges, H. V.; Silveira, O. F. M. d. 1991. Sedimentology and stratigraphy of the Amazon Continental Shelf. *Oceanography*, 4: 33-38.
- NOAA. 2006. El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Disponível em <www.cpc.ncep.noaa.gov>. Acessado em março de 2006.
- Paluszkiwicz, T.; Curtin, T. B. & Chao, S.-T. 1995. Wind-driven variability of the Amazon River plume on the continental shelf during the peak outflow season. *Geo-Marine Letters*, 15: 179-184.
- Palvadeau, E. 1999. Géodynamique Quaternaire de la Guyane Française." Tese (Doutorado) - Université de Bretagne Occidentale. 232p.
- Paradella, W. R.; Krug, T.; Landry, R.; Pietsch, R. W. 1997. GLOBESAR-2: o programa de avaliação de dados do RADARSAT nas Geociências. *Revista Brasileira de Geociências*, 27 (4): 403-406.
- Pasqualini V.; Iltis J.; Dessay N.; Lointier M.; Guelorget O. & Polidori L. 1999. Mangrove mapping in North-Western Madagascar using SPOT-XS and SIR-C radar data. *Hydrobiologia* 413:127-133.
- Pereira, I.C.B.; Rodrigues, T.E.; Gama, J.R.N.F. & Souza Filho, P.W.M. 2005. Reconhecimento da cobertura vegetal da várzea do Rio Guamá (Pará) a partir de imagens de sensores remotos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, 1(1): 209-220.
- Pereira, V. F. G. 1998. Spatial and Temporal analysis of floodplain ecosystem-Amapá, Brazil-using geographic information systems (GIS) and remote sensing, Thesis (Master) - University of New Hampshire, 114p.

- Peterson, L.C. & Haug, G.H. 2005. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*: in press.
- Pietola, L.; Horn, R. & Yli-Halla, M. 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil & Tillage Research*, 82: 99-108.
- Plaziat, J.-C. & Augustinus, P.G.E.F. 2004. Evolution of progradation/erosion along the French Guiana mangrove coast: a comparison of mapped shorelines since the 18th century with Holocene data. *Marine Geology*, 208(2-4): 127-143.
- Polidori, L. 1997. *Cartographie Radar. L'univers de la teledetection*, 1. Quebec, Gordon and Brach Science Publishers. 287p.
- Polidori, L.; Charron, C.; Faure, J-F, Gardel, A.; Guyot, P.; Mendes, A. C.; Proisy, C.; Santos, V. F.; Silva, C. A.; Souza Fo., P. W. M.; Szlafsztein, C. em preparação. Sensoriamento remoto e geoprocessamento para o gerenciamento da costa amazônica. In: Silveira, O. F. M.; Prost, M. T. & Polidori, L. *Ecossistemas Costeiros Amazônicos: da pesquisa à gestão*. Belém, MPEG.
- Potter, P.E. 1997. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. *J. South Am. Earth Sci.* 10: 331–344.
- Proisy, C.; Mougin, E.; Fromard, F. & Karam, M.A. 2000. Interpretation of Polarimetric Radar Signatures of Mangrove Forests. *Remote Sensing of Environment*, 71(1): 56-66.
- Proisy, C.; Mougin, E.; Fromard, F.; Trichon, V. & Karam, M.A. 2002. On the influence of canopy structure on the radar backscattering of mangrove forests. *Remote Sensing of Environment*, 23(20): 4197-4210.
- Prost, M. T. 1989a. Coastal Dynamics and Chenier Sands in French Guiana. *Marine Geology* 90: 259-267.
- Prost, M.T. 1989b. Changes in coastal sedimentary environments and remote sensing data in French Guiana. *Boletim IG-USP*, 8 (Publ. Especial): 189-200.
- PROVAM. 1990. Programa de Desenvolvimento Integrado do Vale do Araguari-Estado do Amapá. Estudos Básicos: recursos Naturais e Sócio-Economia, 1. Belém, SUDAM/OEA. 189 p.
- Pugh, D. 2004. *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*. United Kingdom at the University Press, Cambridge, 265 pp.
- Qingcheng, H. 2000. Integrated Approach of Remote Sensing and GIS to Monitor the Coastline Changes of the Yellow River Delta, *In: XXXI International Geological Congress*. IGC, Rio de Janeiro, Cd-Rom.
- Qinshang, Y.; Shiyuan, X. e Xusheng, S. 1989. Holocene Cheniers in the Tangtze Delta, China. *Marine Geology*, 90: 337-343.
- Quadro, M.F.L.d.; Machado, L.H.R.; Calbete, S.; Batista, N.N.M. & Oliveira, G.S.d. 1996. Climatologia de precipitação e temperatura. *Climanálise (Boletim de Monitoramento e Análise Climática)*, Esp. de 10 anos.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A. & Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogramm. Rem. Sens.*, 57: 241-262.

- Santos, V. F. , Andrade, A. C. d. S.; Silveira, O. F. M. d.; Abreu, M. H. M. d.; Monteiro, C. J. F. 2000. Modificações naturais e antrópicas na Planície costeira do Setor Estuarino do Estado do Amapá. *In: V ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*. Macapá, GEA/IRD/MPEG, pp. 195-199.
- Santos, V. F.; Costa, W. J. P. ; Silva, M. S.; Silva, A. Q. ; Torres, A. M.; Silveira, O. F. M.; Monteiro, C. J.; Braga, E. S. 2001. Geologia da Planície Costeira Estuarina, Amapá-Norte do Brasil. *In: VIII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém-Pa*. Cd-Rom.
- Santos, V.F.; Andrade, A.C. S.; Silveira, O.F.M. & Abreu, M.H.M. 2003a. Geomorfologia do Setor Costeiro Estuarino do Estado do Amapá. IEPA/GERCO, Macapá. (Relatório Técnico).
- Santos, V. F.; Figueiredo Jr., A. G.; Silveira, O. F. M. & Polidori, L. 2003b. Mecanismos de Modificações de Curto Período na Planície Costeira do Amapá. *In: IX Congr. da ABEQUA, Recife*, Cd-Rom.
- Santos, V. F.; Figueiredo Jr., A. G.; Silveira, O. F. M.; Polidori, L.; Oliveira, D. M.; Dias, M. B.; Santana, L. O. 2005a. Processos Sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela pororoca - estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. *In: X ABEQUA. Guarapari-ES, ABEQUA*. Cd-Rom.
- Santos, V. F.; Oliveira, D. M. & Abreu, M. H. 2005b. Levantamento e Avaliação dos Dados de Marés do Rio Araguari. Avaliação de processos dinâmicos no estuário do rio Araguari. Macapá, IEPA. 11p. (Relatório de Projeto, Convenio 610093/03-7 MCT/ CNPq).
- Santos, V. F. & Polidori, L. 2005. Suivi de

- Silveira, J.D. 1972. Morfologia do litoral. *In: Azevedo, A. (org.). Brasil, a terra e o homem*, v.1, 2 ed., São Paulo, Companhia Editora Nacional. pp. 253-305.
- Silveira, O. F. M. & Santos, V. F. 2003. Sources and sinks of sediments: the Amapá coast. *In: Workshop Internacional Dynamics of Fluid Mud Layers in Coastal Waters*, Rio de Janeiro-RJ, COPPE/UFRJ.
- Silveira, O. F. M. 1998. A Planície Costeira do Amapá. Dinâmica de Ambiente Influenciado por Grandes Fontes Fluviais Quaternárias. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências. Belém. 215p.
- Silveira, O. F. M.; Santos, V. F.; Martins, M. H. d. A.; Monteiro, C. J. F. 2002. Dinâmica Morfológica na Foz do Rio Amazonas através de análises Multitemporais de Imagens de Satélite. *In: VI WORKSHOP ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG. Cd-Rom.
- Silveira, O. F. M.; Santos, V. F.; Charron, C.; Timouk, F.; Panechou, K.; Polidori, L.; Galisson, L. 2000. Testes videográficos no Estado do Amapá: cooperação franco-brasileira. *In: V Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*, Macapá, GEA/IRD/MPEG. pp.. 357-362.
- Silveira, O.F.M.; Santos, V.F.; Martins, M.H.A. & Monteiro, C.J.F. 2002. Dinâmica morfológica na foz do rio Amazonas através de análises multitemporais de imagens de Satélite. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Simard, M.; Grandi, G.d.; Saatchi, S. & Mayaux, P. 2002. Mapping tropical coastal vegetation using JERS-1 e ERS-1 radar data with a decision tree classifier. *International Journal Remote Sensing*, 23(7): 1461-1474.
- Simonsen, H.J. 2003. Numerical modelling of tidal bores with emphasis on the Hangzhou bore. Thesis (Master) - DTU, Denmark, 151 pp.
- Simpson, J.E. 1997. Gravity currents in rivers lakes and the ocean, Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 88-104.
- Singhroy, V. 1996. Interpretation of SAR images for coastal zone mapping in Guyana. *Canadian Journal of Rem. Sens.* 22(3): 317-328.
- Soares, P.C. & Fiori, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfologica*, Campinas, 16 (32) : 71-104.
- Souza Filho, P. W. M. 1995. Influência das Variações do Nível do Mar na Morfoestratigrafia da Planície Costeira Bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 122p.
- Souza Filho, P. W. M. 2000. Avaliação e Aplicação de Dados de Sensores Remotos em Ambientes Costeiros Tropicais Úmidos, Bragança, Norte do Brasil. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 219p.
- Souza Filho, P. W. M. 2001. Impactos Naturais e Antrópicos na Planície costeira de Bragança (NE do Pará). *In: M. T. Prost & A. C. Mendes (eds.), Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, MPEG. pp. 134-144.
- Souza Filho, P. W. M. 2005. Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: Cenários Morfológicos, Mapeamento e Quantificação do Maior Cinturão Contínuo de Manguezais do Mundo. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(4): 427-435.

- Souza Filho, P. W. M. & El-Robrini, M. 2000. Geomorphology of the Bragança coastal zone, northeastern Pará State. *Revista Brasileira de Geociências* 30: 522-526.
- Souza Filho, P.W.M.; Mendes, A. C.; Prost, M. T. R. C.; Prost, K.; Bentes, B.; Santos, M. P. D.; Diniz, F. M.; Silva, M. G. L. & Gonçalves, F. D. 2003. Environmental sensitivity mapping on Amazon coast (Guajará Bay, Pará) by remote sensing and GIS. *In: International Conference Mangrove: Articulando pesquisa e gestão participativa de estuários e manguezais*. Salvador, UFBA, pp. 472.
- Souza Filho, P. W. M.; Miranda, F. P.; Beisl, C. H.; Almeida, E. F. & Gonçalves, F. D. 2004. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology. *In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Anchorage, Alaska, IGARSS. IEEE Geoscience and Remote Sensing*, pp.1565-1568
- Souza Filho, P. W. M. & Paradella, W.R. 2003. Use of synthetic aperture radar for recognition of coastal geomorphological features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75(3): 341-356.
- Souza Filho, P.W.M.; Paradella, W.R. & Silveira, O.F.M.d. 2000. Synthetic Aperture Radar for characterization of coastal features in the wet tropics: applications in the Amazon Coast of Brazil. *In: V Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*, Macapá, GEA/IRD/MPEG. pp. 349-355.
- Souza Filho, P.W.M. & Prost, M.T.R.C. 2002. Different Geomorphological settings of the Amazon Coastal Plain from Radar Eyes. *In: VI Workshop ECOLAB: Ecossistemas Costeiros Amazônicos*. Belém, MPEG, Cd-Rom.
- Souza Filho, P.W.M.; Miranda, F.P.d.; Beisl, C.H.; Almeida, E.F.d. & Gonçalves, F.D. 2004. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology, International Geoscience and Remote Sensing Symposium. *In: Anchorage, Alaska, IGARSS*, pp. 1565-1568.
- Souza Filho, P.W.M.; Paradella, W.R. 2005. Use of RADARSAT-1 Fine and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast, Amazon Region. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 31(3): 214-224.
- Spalding, M.; Blasco, F. & Field, C. 1997. World mangrove atlas. Japão, Okinawa, ISME.
- Tavares, M. M. & M. Savian 2003. Mapeamento das faixas de dutos e levantamentos ambientais formam SIG para a TRANSPETRO S.A.. ESTEIO. Disponível em <http://www.esteio.com.br/downloads/pdf/03-PEGASO.pdf>. Acessado em marco de 2006.
- TBRS. 2005. Documenting the worldwide tidal bore phenomena. Disponível em <http://www.tidalbore.info/catalogue.html>. Acessado em 23 de maio de 2005.
- Teixeira, S.G. & Souza Filho, P.W.M. 2005. Sensores Remotos ópticos e Modelo Digital de Elevação SRTM para Reconhecimento de Ambientes Costeiros Dominados por Marcromaré na Região de São Luís (MA). *In: X ABEQUA*. Guarapari-ES, ABEQUA. Cd-Rom.
- Terry, J. P.; Garimella, S. & Kostaschuk, R. A. 2002. Rates of floodplain accretion in a tropical island river system impacted by cyclones and large floods. *Geomorphology*, 42(3-4): 171-182.

Tessier, B. & Terwindt, J.H.J. 1994. An Example of Soft-Sediment Deformations in an intertidal Environment - The Effect of a Tidal Bore. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, Série II*, 319(2): 217-233.

THEMAG Engenharia. 1984. Estudo das soluções Possíveis para o Problema das Cheias. *In: THEMAG. Estudo sobre as cheias no baixo/TTruhar: fases dediagn7sticoa. 08p. .*

- Wolanski, E.; Williams, D.; Spagnol, S. & Chanson, H. 2004. Undular tidal bore dynamics in the Daly Estuary, Northern Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(4): 629-636.
- Wolanski, E.; Moore, K.; Spagnol, S.; D'Adamo, N. & Pattiaratchi, C. 2001. Rapid, human-induced siltation of the macro-tidal Ord River Estuary, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53: 717-732.
- Xiuwan, C. 2002. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International Journal of Remote Sensing*, 23(1): 107-124.
- Yang, S.-l.; Zhao, Q.-y. & Belkin, I.M. 2002. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of the human activities. *Journal of Hydrology*, 263: 56-71.
- Zarin, D.J.; Pereira, V. F. G.; Raffles, H.; Rabelo, F. G.; Pinerdo-Vasquez, M. & Congalton, R. G. 2001. Landscape change in tidal floodplain near the mouth of Amazon River. *Forest Ecology and Management*, 154: 383-393.

ANEXOS

Anexo I: Formulário de entrevista de campo

PROJETO: MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS EM ECOSISTEMAS COSTEIROS AMAZÔNICOS
DOUTORANDA: VALDENIRA FERREIRA DOS SANTOS
INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES: IEPA/IRD/UFF

PESQUISA DE CAMPO
FORMULÁRIO DE DIAGNÓSTICO DE MODIFICAÇÕES AMBIENTAIS¹

Comunidade/Localidade:	Região: Município:
Coordenadas do local da entrevista:	Data:
Tipo de GPS e Datum:	
Rio/Igarapé/Lago:	Hora:
Acesso:	Informante:

Entrevistador:	Término da entrevista:

I - DADOS GERAIS:

I.A - IDENTIFICAÇÃO DO PROPRIETÁRIO

- Nome do proprietário: _____
- Nome da propriedade: _____
- Natural de : _____ Rural Urbana
- Escolaridade do proprietário:
 Só assina o nome Alfabetizado Grau de estudo: _____ outro: _____
- Idade: _____ anos
- Local de domicílio:
 Na Sede do município No núcleo populacional da comunidade Na propriedade
 Outra condição : _____
- Tempo de existência da propriedade: _____ anos
- Tempo de residência do proprietário na região da entrevista: _____ anos
- Coordenadas da sede da propriedade: _____

I. B - IDENTIFICAÇÃO DO ENTREVISTADO

- Nome do entrevistado: _____
- Natural de : _____ Rural Urbana
- Escolaridade do entrevistado:
 Só assina o nome Alfabetizado Grau de estudo: _____ outro
- Idade: _____ anos
- Local de domicílio:
 Na Sede do município No núcleo populacional da comunidade Na propriedade
 Outra condição : _____
- Tempo de residência na região em estudo do entrevistado: _____ anos
- Atividade do entrevistado na propriedade: _____

II - IDENTIFICAÇÃO DA REGIÃO

II.A - Via de acesso ao local

¹ Questionário modificado da Matriz de Pesquisa de Campo do Produtor – ZEE e da matriz de questionários aplicados as comunidades no Setor Costeiro Estuarino – GERCO. Elaboração: Valdenira Santos e Dr. Alberto Figueiredo.
 Revisão: Dr. Laurent Polidori.

- Fluvial Tipo da embarcação: _____
 Quanto tempo para se chegar ao local: _____
 Período do ano do acesso: Todo o ano Cheias Estiagem
- Terrestre: Tipo do Transporte: _____
 Quanto tempo para se chegar ao local: _____
 Período do ano do acesso: Todo o ano Cheias Estiagem
- Outros Tipo: _____
 Quanto tempo para se chegar ao local: _____
 Período do ano do acesso: Todo o ano Cheias Estiagem

II.B - Tipologia do ambiente natural da propriedade

<input type="checkbox"/>	Terra firme (Floresta)
<input type="checkbox"/>	Cerrado
<input type="checkbox"/>	Campos inundáveis
<input type="checkbox"/>	Várzea
<input type="checkbox"/>	outros: terra firme (capoeira), etc.

III - CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE PRODUTIVA:

Área total da propriedade : _____ hectare

ATIVIDADE DE PECUÁRIA

1. Há quanto tempo começou a atividade de pecuária: _____ (anos) e _____ (meses)

3. Com que tipo de rebanho iniciou: bubalino bovino

4. Área de pastagens

Rebanho Bubalino

Ambiente de criação: campos naturais praias várzea

Pastagem	Quant. (cabeças)	Coordenadas (tirar na borda da atividade)
Área com pastagens nativa		
Área com pastagem formada		
Outras áreas		

Rebanho Bovino

Ambiente de criação: campos naturais praias várzea floresta de terra firme

Pastagem	Quant. (cabeças)	Coordenadas (tirar na borda da atividade)
Área com pastagens nativa		
Área com pastagem formada		
Outras áreas		

5. Desenho Esquemático da Localização do Ponto de GPS:

Outras atividades executadas na propriedade, no local e na região:

Relativo ao: (propriedade, local, região – escrever abaixo)	Atividade	Tamanho da área utilizada	Coordenadas (tirar na borda da atividade)

6. Desenho Esquemático da Localização do Ponto de GPS:

IV. MIGRAÇÃO (DENTRO OU FORA DA REGIÃO)

1. O(a) senhor(a) ou algum membro da família pretende sair desse local ?
sim não não sabe não respondeu
2. Se respondeu sim, qual o motivo?
3. Se imigrou, qual o motivo e local de origem:

MODIFICAÇÃO 2

1. Que tipo de mudança: _____
 2. Devido a qual fenômeno: _____
 3. Quando ocorreu: _____
 4. A que vocês atribuem esse fato? natureza ação do homem
-
5. Por quê? _____
 6. Detalhar a mudança: _____

MODIFICAÇÃO 3

1. Que tipo de mudança: _____
 2. Devido a qual fenômeno: _____
 3. Quando ocorreu: _____
 4. A que vocês atribuem esse fato? natureza ação do homem
-
5. Por quê? _____
 6. Detalhar a mudança: _____

MUDANÇAS NA REDE DE DRENAGEM

Você conhece algum curso d'água (rio, igarapé, furo) que foi aberto ou fechado: não sim

- 1 - Nome do Curso d'Água: _____
- 2 - O que ocorreu com o curso d'água: fechado aberto
- 3 - Quando isso aconteceu: _____
- 4 - Onde ele se localiza (localizava): _____
- 5 - Dimensão (antes e depois) : _____
- 6 - A que lugar ele leva (levava): _____
- 7 - Coordenadas (se possível): _____

- 1 - Nome do Curso d'Água: _____
- 2 - O que ocorreu com o curso d'água: fechado aberto
- 3 - Quando isso aconteceu: _____
- 4 - Onde ele se localiza (localizava): _____
- 5 - Dimensão (antes e depois) : _____
- 6 - A que lugar ele leva (levava): _____
- 7 - Coordenadas (se possível): _____

VI - OUTRAS INFORMAÇÕES:

1. Condição do dono segundo à propriedade e posse de terra:
 - Possheiro(posse não regularizada - sem processo de regularização);
 - Possheiro(em processo de regularização);

Onde: _____

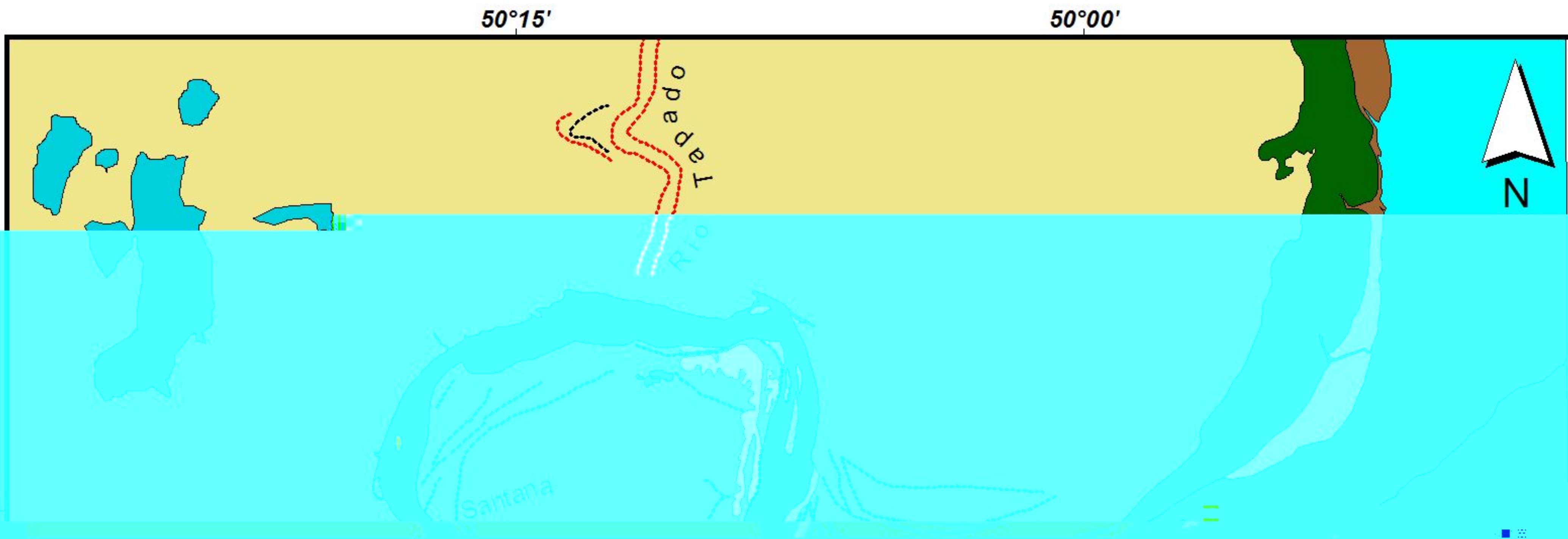
Início do processo: _____

título definitivo, emitido por: _____

Arrendatário Meeiro Outro

- 2 . Impressões do entrevistador sobre a propriedade e o a região:

ANEXO II - MAPA DE AMBIENTES DA REGIÃO DO ESTUÁRIO DO RIO ARAGUARI



LEGENDA

PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO INFLUENCIADA POR MARÉS

- planície de inundação
- barras antigas dentro do continente
- lagos
- linhas de acresção
- paleodrenagens

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)