



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM PARA AVALIAÇÃO DA
VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DAS MARGENS DA BAÍA DE
MARAJÓ, ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

ULISSES SILVA GUIMARÃES

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)

**BELÉM
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

G963a Guimarães, Ulisses Silva

Análise integrada da paisagem para avaliação da vulnerabilidade à perda de solo das margens da Baía de Marajó, estado do Pará / Ulisses Silva Guimarães; Orientador: Marcelo Cancela Lisboa Cohen – 2011
xvi, 151 f.: il.

Dissertação (mestrado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.

1. Sensoriamento remoto. 2. Ambientes costeiros. 3. Análise espacial. 4. Paisagem. 5. Vulnerabilidade a perda de solo. I. Cohen, Marcelo Cancela Lisboa, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22º ed.: 621.3678



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM PARA AVALIAÇÃO DA
VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DAS MARGENS DA BAÍA DE
MARAJÓ, ESTADO DO PARÁ**


DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

ULISSES SILVA GUIMARÃES


Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOLOGIA

Data de aprovação: 30 / 11 / 2011

Banca Examinadora:


Prof. MARCELO CANCELA LISBOA COHEN
(Orientador - UFPA)


Prof. CLAUDIO FABIAN SZLAFSZTEIN
(Membro UFPA)


Prof. NILS EDVIN ASP NETO
(Membro UFPA)

Dedico ao Mestre Amigo Jesus, aos meus pais
Pedro Paulo e Teonice por todo amor e incentivo
e meus irmãos Fernando, Paulo e Safira.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial por seu amor e suas bênçãos em minha vida.

A minha família por ser minha base em todos os meus passos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Cohen que demonstrou confiança e amizade, e, sobretudo, dedicação e compromisso.

Ao Prof. Dr. Maurício Borges por seus ensinamentos e discussões que iniciaram esta pesquisa.

A Universidade Federal do Pará, em seu Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências pela estrutura e apoio fornecidos nas disciplinas internas e externas, nas participações de simpósios e congressos e no meu trabalho de campo.

Ao Sistema de Proteção da Amazônia que possibilitou meu aperfeiçoamento profissional e a realização desta dissertação com o apoio estrutural, técnico, em especial agradecimento aos gestores Edson Rocha e Carlos Alberto.

É inquestionável o quanto os meus amigos de trabalho e a academia influenciaram em minha vida e na conclusão desta dissertação.

Aos amigos do SIPAM pelas discussões técnicas em geotecnologias, ensinamentos e cooperação nas atividades desenvolvidas, entre eles: Marcus Fuckner, Orleno Marques, Cristian Nunes, Juliana Silva, Jamer Costa, Liliane Pirker, Jackeline Viana e Izabel Berg.

Ao INPE Amazônia por incentivar a pesquisa e apoiar a formação dos colaboradores, entre eles: César Diniz, Alessandra Gomes e Luís Sadeck.

Aos amigos do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido do Instituto de Geociências da UFPA por toda dedicação em repassar conhecimento, entre eles especialmente: Suzan Pequeno, Paulo José e Helenice Silva.

Aos amigos de mestrado, companheiros e verdadeiros, os quais dividiram momentos de cooperação, estudo e alegria, em especial Mariano Rocha e os demais, Jadson Queiroz, Marcelo Lima e Elany Martins.

Outra etapa árdua foi o trabalho de campo, foram fundamentais na logística e discussões do levantamento, os amigos: Gustavo Cardoso, César Cardoso e Lourival Gomes.

Aos amigos de todas as horas, sempre fiéis e incentivadores: Marília Mesquita, Rodolfo Gadelha, Rafael dos Reis e Heron David.

Em especial, agradeço a Thanan Pequeno por todo carinho, amizade, incentivo e apoio para essa importante etapa de minha vida.

RESUMO

A Baía de Marajó faz parte da Zona Costeira Amazônica constituindo um estuário em forma de “V”, com intensos processos de erosão e progradação. As margens desta baía são o objeto desse estudo, desde a costa ocidental, representada pelos municípios de Soure e Salvaterra, até a costa oriental dada pela Ilha de Mosqueiro. A proposta é analisar os ambientes costeiros adjacentes à Baía de Marajó, com uma abordagem sistêmica e integrada utilizando bases de dados temáticos (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia e Uso e Cobertura da Terra) e imagens de sensores remotos (Landsat TM 5 e MDE SRTM) para elaborar cartas sínteses de unidades de paisagem e vulnerabilidade a perda de solo como subsidio a gestão costeira. O método teve como principais etapas: i) correção atmosférica por subtração do pixel escuro, correção geométrica por ortorretificação e classificação supervisionada com algoritmo *Spectral Angle Mapper* (SAM) através de amostras de treinamento para mapear o Uso e Cobertura da Terra; ii) compilação, adaptação e classificação para elaboração de dados de Morfologia; iii) elaboração de derivadas geomorfométricas; e, iv) integração das bases temáticas por álgebra de mapas, com uma equação de sobreposição para a carta síntese de unidades de paisagem e outra equação de média aritmética para elaboração do mapa de vulnerabilidade a perda de solo. As margens da Baía de Marajó apresentam majoritariamente a unidade de Campos com 17,61% da área de estudo (50.483,16 ha), a altimetria máxima obteve 58 m, o relevo é plano suave e a forma preponderante foram as vertentes retilíneas e planares. Os dados integrados indicam que os processos pedogenéticos prevalecem em apenas 3,58% (10.231,38 ha) da área de estudo. As áreas em equilíbrio de processos pedogenéticos e morfogênicos correspondem a 3,75% (10.737,63 ha), enquanto que a morfogênese prevalece em 42,40% (121.317,39 ha). A superioridade no terreno de unidades com morfogênese demonstra o risco natural desses ambientes costeiros à perda de massa por mecanismos superficiais de desagregação e erosão do substrato por processos de escoamento superficial e deslocamento de massa.

Palavras chave: Sensoriamento Remoto. Ambientes Costeiros. Análise Espacial. Paisagem. Vulnerabilidade a Perda de Solo.

ABSTRACT

Marajó Bay is part of the Coastal Zone in the Amazon estuary, and it constitutes a form of "V" with intensive processes of erosion and progradation. The bay shores are the object of this study, from the west coast, represented by the west coast by Salvaterra and Soure municipalities, to the east coast of Mosqueiro Island. The purpose is to analyze the coastal environments adjacent to the Marajó Bay, with a systemic and integrated approach using thematic databases (geology, geomorphology, pedology, climatology and Use and Land Cover) and remote sensing images (Landsat TM 5 and MDE SRTM) to prepare maps syntheses of landscape units and vulnerability to loss of soil as a subsidy to coastal management. The main steps of this methodology are: i) atmospheric correction by dark-object subtraction, geometric correction by orthorectification, with supervised classification algorithm Spectral Angle Mapper (SAM) through training samples to map the Use and Land Cover; ii) compilation, adaptation and classification to improve data of morphology; iii) development of derivatives geomorphometric; and, iv) integration of the thematic basis for map algebra, with an overlap equation for synthesis of the landscape units maps and another equation for the preparation of the arithmetic average map of vulnerability to loss of soil. The Marajo Bay shores have mostly the unit of Fields with 17.61% of the study area (50,483.16 ha), maximum altimetry of 58 m, the topography is flat and smooth, the relief were overwhelmingly straight and planar. The integrated data indicate that the pedogenetic processes prevail in only 3.58% (10,231.38 ha) of the study area. The areas in balance between morphogenic and pedogenetic processes correspond to 3.75% (10,737.63 ha), while morphogenesis is prevalent in 42.40% (121,317.39 ha). The superiority of morphogenic units shows the hazard of coastal environments per surface mechanisms, how substrate desegregation and erosion by processes of runoff and mass displacement.

Keywords: Remote Sensing. Coastal Environments. Spatial Analysis. Landscape. and Vulnerability to Loss of Soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização dos setores estudados.....	6
Figura 2 – Quadro macrorregional neotectônico evidenciando principais falhas normais e transcorrentes para a Ilha do Marajó e Nordeste Paraense.....	9
Figura 3 – Mapa de unidades morfoestruturais da área de estudo delimitando o Planalto Rebaixado da Amazônia e a Planície Amazônica.	10
Figura 4 – Exemplo de perfil estratigráfico de um trecho da Baía do Sol, adaptado do trabalho de iniciação científica “Levantamento Geológico da Ilha de Mosqueiro – Estado do Pará”.	11
Figura 5 – Exemplos na área estudada de Formações Florestais e Campestres: (a) Floresta ombrófila Densa; (b) Restingas; (c) Floresta Aluvial e Manguezais; e, (d) Campos Inundáveis.	13
Figura 6 – Disposição das antenas de transmissão e recepção das bandas C e X no veículo espacial Shuttle Endeavour.	23
Equação 1 – Relação entre a radiância do satélite e a superfície refletora.....	26
Figura 7 – Utilização da geometria do sensor e MDE para ortorretificação da imagem.	28
Equação 2 - Coeficiente de Similaridade do SAM a partir de amostras espectrais.....	30
Figura 8 – Representação dos vetores do espectro de teste (t) e espectro de referência (r) para um espaço de atributos bidimensional.	31
Figura 9 – Concepção Geossistêmica de Bertrand.	40
Figura 10 – Esquema mostrando que a vulnerabilidade é resultado da inter-relação entre a ameaça e o grau de exposição do meio ambiente ou da sociedade.	42
Figura 11 – Procedimento para a elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solo.....	43
Figura 12 – Modelo de obtenção da vulnerabilidade para as UTB’s.....	44
Figura 13 – Escala de vulnerabilidade de unidades territoriais a perda do solo.....	45
Figura 14 – Fluxograma da pesquisa.	54
Figura 15 – Exemplo de assinaturas espectrais da água limpa (curva azul), vegetação (curva verde) e solo exposto (curva vermelha), registradas pelas bandas Landsat 5 TM em valores discretos de nível de cinza.	56
Figura 16 – Imagem para ortorretificação agregada ao MDE e visualizada em superfície 3D. ...	57
Figura 17 – Imagem Landsat 5 TM órbita-ponto 223-061 de 03/08/2008 com realce linear e composição R (5), G(4) e B (3).	58
Figura 18 – Mapa de localização dos pontos GPS rastreados em campo de navegação rastreados e sua densidade espacial.....	59
Figura 19 – Amostras de treinamento de Uso e Cobertura da Terra: a) no espaço de atributos tridimensional (scatter plot) para os pixels contidos nas bandas 5, 4 e 3 do sensor TM; e, b) curvas da média espectral das classes mapeadas no sensor TM.....	60

Figura 20 – Amostras de treinamento de Morfologia: a) no espaço de atributos tridimensional (scatter plot) para os pixels contidos nas bandas 5, 4 e 3 do sensor TM; e, b) curvas da média espectral das classes mapeadas no sensor TM.....	62
Figura 21 – Classes utilizadas para Forma de Terreno: (a) Relação entre a tipologia de vertentes vertical e horizontal resultando nas formas de terreno possíveis teoricamente; b) Sintaxe utilizada para cruzar as informações de curvatura vertical e horizontal.	63
Equação 3 – Sintaxe para interseção de dados temáticos.....	65
Equação 4 – Sintaxe de média aritmética para as variáveis de Geomorfologia.....	67
Equação 5 – Cálculo de intensidade pluviométrica.....	68
Equação 6 – Sintaxe de média aritmética dos temas relacionados a vulnerabilidade a perda de solo.....	70
Figura 22 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Campos no tema Uso e Cobertura da Terra.	72
Figura 23 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Capoeira Alta no tema Uso e Cobertura da Terra.	73
Figura 24 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Capoeira Baixa no tema Uso e Cobertura da Terra.	75
Figura 25 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Floresta Densa no tema Uso e Cobertura da Terra.	76
Figura 26 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Floresta Aluvial/Mangue no tema Uso e Cobertura da Terra.	77
Figura 27 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Hidrografia no tema Uso e Cobertura da Terra.	78
Figura 28 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Praias/Dunas no tema Uso e Cobertura da Terra.	79
Figura 29 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Savana no tema Uso e Cobertura da Terra.	80
Figura 30 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Solo Exposto no tema Uso e Cobertura da Terra.	81
Figura 31 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	85
Figura 32 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Cordão Arenoso Antigo no tema Morfologia.	87
Figura 33 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Cordão Arenoso Atual no tema Morfologia.	88
Figura 34 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Planalto Costeiro no tema Morfologia.....	89
Figura 35 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Planície Flúvio-Marinha no tema Morfologia.....	90

Figura 36 - Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Terraço Flúvio-Marinho no tema Morfologia.	92
Figura 37 – Mapa de Morfologia.	95
Figura 38 – Mapa de Hipsometria.	99
Figura 39 – Mapa de Declividade.	102
Figura 40 – Mapa de Orientação de Vertentes.	104
Figura 41 – Mapa de Curvatura Vertical.	106
Figura 42 – Mapa de Curvatura Horizontal.	108
Figura 43 – Mapa de Formas de Terreno.	110
Figura 44 – Mapa de Unidades de Paisagem.	112
Figura 45 – Mapa de Vulnerabilidade a Perda de Solo.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos parâmetros orbitais das plataformas Landsat 5 e 7.....	19
Tabela 2 – Características dos sensores abordos das plataformas Landsat 5 e 7.	20
Tabela 3 – Características do sensor OLI planejado para a plataforma Landsat 8.....	21
Tabela 4 – Características dos parâmetros orbitais da plataforma Space Shuttle Endeavour para aquisição de dados SRTM.....	22
Tabela 5 – Características dos sensores abordos da plataforma Space Shuttle Endeavour e formato dos dados de elevação SRTM.....	24
Tabela 6 – Estimador estatístico Kappa e sua qualificação dos resultados.....	32
Tabela 7 – Classificação das unidades de paisagem.....	39
Tabela 8 – Valores atribuídos a morfodinâmica das unidades.	43
Tabela 9 – Parâmetros de avaliação da vulnerabilidade à perda de solo.	44
Tabela 10 – Relação de dados matriciais de entrada utilizados.	52
Tabela 11 – Relação de aplicativos utilizados.....	53
Tabela 12 – Relação das bandas espectrais e os DN's de pixels escuros subtraídos.....	56
Tabela 13 – Pontos de campo coletados para as classes de Uso e Cobertura da Terra.	60
Tabela 14 - Pontos de campo coletados para as classes de Morfologia.....	62
Tabela 15 – Derivadas elaboradas e operadores utilizados.....	63
Tabela 16 – Matriz de Sobreposição para realizar a interseção de informações temáticas e delimitar as Unidades de Paisagem.....	65
Tabela 17 – Ponderação dos dados temáticos de Geologia para vulnerabilidade.	66
Tabela 18 – Ponderação dos dados temáticos de Geomorfologia para vulnerabilidade.....	67
Tabela 19 – Ponderação dos dados temáticos de Pedologia para vulnerabilidade.	68
Tabela 20 – Estações Pluviométricas utilizadas para área de estudo e ocorrência de dias de chuva e intensidade pluviométrica (mm/mês) na série histórica de 1998 à 2008.	69
Tabela 21 – Ponderação dos dados temáticos de Clima para vulnerabilidade.....	69
Tabela 22 – Ponderação dos dados temáticos de Uso e Cobertura da Terra para vulnerabilidade.	70
Tabela 23 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Campos.....	71
Tabela 24 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Capoeira Alta.	73
Tabela 25 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Capoeira Baixa.	74
Tabela 26 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Floresta Densa.	75

Tabela 27 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Floresta Aluvial/Mangue.	77
Tabela 28 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Hidrografia. ...	78
Tabela 29 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Praias/Dunas. .	79
Tabela 30 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Savana.	80
Tabela 31 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Solo Exposto..	81
Tabela 32 – Matriz de Confusão para o mapeamento de Uso e Cobertura da Terra.	82
Tabela 33 – Quantificação das unidades de Uso e Cobertura da Terra nos três setores estudados.	83
Tabela 34 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Cordão Arenoso Antigo.....	87
Tabela 35 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Cordão Arenoso Atual.....	88
Tabela 36 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Planalto Costeiro..	89
Tabela 37 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral da Planície Flúvio-Marinha.	91
Tabela 38 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Terraço Flúvio-Marinho.	92
Tabela 39 – Matriz de Confusão para o mapeamento de Morfologia.....	93
Tabela 40 – Quantificação das unidades de Morfologia nos três setores estudados	94
Tabela 41 – Análise de correlação entre as coordenadas z do DGPS obtidas em campo e os dados altimétricos do MDE SRTM.	96
Tabela 42 – Análise descritiva entre as diferenças das coordenadas x, y e z do DGPS obtidas em campo e os dados altimétricos do MDE SRTM.	96
Tabela 43 – Estatística descritiva de altimetria para as unidades morfológicas dos setores estudados.....	97
Tabela 44 – Estatística descritiva de declividade para as unidades morfológicas dos setores estudados.....	101
Tabela 45 – Estatística descritiva de curvatura vertical para as unidades morfológicas dos setores estudados.....	105
Tabela 46 – Estatística descritiva de curvatura horizontal para as unidades morfológicas dos setores estudados.....	107
Tabela 47 – Quantificação das formas de terreno encontradas para os setores estudados.	109
Tabela 48 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Áreas de Transição.	113
Tabela 49 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Campos.	114

Tabela 50 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Cordões Arenosos.....	115
Tabela 51 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Hidrografia.	116
Tabela 52 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Savana.....	116
Tabela 53 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Terra Firme.	117
Tabela 54 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Áreas de Transição.	118
Tabela 55 – Quantificação de áreas vulneráveis a perda de solo por setor estudado.	119

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVOS GERAIS	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 ÁREA DE ESTUDO	5
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	5
3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	7
3.2.1 Geologia e Geomorfologia.....	7
3.2.2 Solos	11
3.2.3 Cobertura Vegetal.....	12
3.2.4 Clima e Circulação Atmosférica	15
3.2.5 Caracterização Costeira e Hidrográfica	16
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
4.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS	18
4.1.1 Sistema Landsat	18
4.1.2 Modelo Digital de Elevação – SRTM	21
4.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS ORBITAIS	24
4.2.1 Pré-Processamento.....	25
4.2.1.1 Correção Atmosférica.....	25
4.2.1.2 Correção Geométrica.....	27
4.2.2 Realce	28
4.2.3 Classificação	29
4.2.4 Avaliação de Classificação para Mapeamentos Temáticos	31
4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO.....	33
4.4 GEOMORFOLOGIA E AMBIENTES COSTEIROS	36
4.4.1 Unidades de Paisagem.....	37
4.4.2 Vulnerabilidade à Perda de Solo	41
4.4.3 Ambientes Costeiros	45
4.5 GERENCIAMENTO INTEGRADO EM ZONAS COSTEIRAS	48
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
5.1 MATERIAL	52
5.2 MÉTODOS.....	53
5.2.1 Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra.....	55
5.2.1.1 Correção Atmosférica de Imagens Landsat 5 TM	55
5.2.1.2 Ortorectificação de Imagens Landsat 5 TM.....	56
5.2.1.3 Realce e Composições Ternárias	57
5.2.1.4 Classificação de Imagens Landsat 5 TM com Spectral Angle Mapper (SAM).....	58
5.2.1.5 Avaliação de Acurácia para Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra	61

5.2.2 Mapeamento Morfológico e Geomorfométrico	61
5.2.2.1 Morfologia.....	61
5.2.2.2 Morfometria.....	62
5.2.3 Vulnerabilidade à Perda de Solo das Unidades de Paisagem.....	64
5.2.4.1 Carta Síntese de Unidades de Paisagem.....	64
5.2.4.2 Reclassificação e Ponderação de Dados Temáticos	66
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
6.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA	71
6.1.1 Campos.....	71
6.1.2 Capoeira Alta	72
6.1.3 Capoeira Baixa.....	73
6.1.4 Floresta Densa.....	75
6.1.5 Floresta Aluvial/Mangue.....	76
6.1.6 Hidrografia	77
6.1.7 Praias/Dunas	78
6.1.8 Savana	79
6.1.9 Solo Exposto	80
6.1.10 Avaliação do Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra	81
6.1.11 Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	83
6.2 MAPEAMENTO MORFOLÓGICO E GEOMORFOMÉTRICO	86
6.2.1 Cordão Arenoso Antigo	86
6.2.2 Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras.....	87
6.2.3 Planalto Costeiro.....	88
6.2.4 Planície Flúvio-Marinha	90
6.2.5 Terraço Flúvio-Marinho.....	91
6.2.6 Avaliação do Mapeamento de Morfológico	92
6.2.7 Mapa Morfológico.....	93
6.2.8 Avaliação do Mapeamento Geomorfométrico.....	96
6.2.9 Mapas Geomorfométricos.....	97
6.3 VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DE UNIDADES DE PAISAGEM.....	111
6.3.1 Unidades de Paisagem.....	111
6.3.1.1 Áreas de Transição.....	113
6.3.1.2 Campos.....	114
6.3.1.3 Cordões Arenosos	114
6.3.1.4 Hidrografia	115
6.3.1.5 Savana	116
6.3.1.6 Terra Firme.....	117
6.3.1.7 Várzeas e Mangues.....	118
6.3.2 Mapa de Vulnerabilidade a Perda de Solo	119
7. CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

A interface ar, terra e mar designada como Zona Costeira é um dos ambientes sob maior estresse ecológico em todo o mundo, devido à convergência de atividades humanas e pela própria dinâmica física do sistema costeiro representado por ondas, correntes de marés e aporte sedimentar (French, 1997; Kay & Alder, 2005).

Atualmente, dados da Comissão Oceanográfica Internacional consideram que 2/3 da população mundial estão alocados na faixa de 1 km da Zona Costeira e as estimativas apontam um incremento populacional sob a taxa de 1,5% para os próximos 10 anos (IOC/UNESCO, 2010). Os cenários mundiais para até o final do século XXI apontam uma elevação de temperatura entre 1,8°C e 4,0°C e uma flutuação do nível do mar entre 18 cm e 59 cm acima dos níveis atuais por consequência do aquecimento global (IPCC, 2007).

O Brasil destaca-se com aproximadamente 8.500 Km de linha de costa, e estes abrigam cerca de 40,6 milhões de pessoas (24% da população) com uma média de 105 habitantes por km² (IBGE, 2000). Dentre as seis maiores metrópoles brasileiras, cinco encontram-se na Zona Costeira (Belém, Fortaleza, Recife, Salvador e Rio de Janeiro). O grande contraste existe na concentração de atividades econômicas (serviços, produção mineral, pesca e portos) que perfazem cerca de 73% do produto interno bruto brasileiro e, em contrapartida, há uma precariedade no sistema de saneamento básico com déficit de 80% da população urbana litorânea (Asmus & Kitzmann, 2004; Asmus *et al.*, 2006; Jablonsjki & Filet, 2008).

A exposição de elementos humanos e as modificações físicas nos sistemas costeiros propiciam indícios de vulnerabilidade ambiental, enfatizando a necessidade de gestão territorial e ambiental que poderá evitar eventos desastrosos às pessoas e aos bens naturais (Pethick, 2001; Dwyer *et al.*, 2004).

Para delimitar espacialmente a Zona Costeira, recorre-se às convenções estabelecidas por Inman & Brush (1973), e a visão estendida por Dalrymple *et al.* (1992). Portanto, a Zona Costeira corresponde à extensão dos processos costeiros (rios, marés e ondas) durante os últimos 1,8 milhões de anos até o presente, incluindo as formas terrestres de planícies costeiras, antepraias e a plataforma continental (Masselink & Hughes, 2003). Em direção ao limite continental, os sistemas costeiros incluem ambientes marinhos deposicionais e erosionais, e em direção ao mar abrange a borda da plataforma continental em sua quebra com profundidades entre 100 e 200 m (Muehe, 1996).

A área de estudo encontra-se inserida na Zona Costeira Amazônica (ZCA). A faixa litorânea da ZCA estende-se desde o Cabo Orange no Amapá até a Ponta de Tubarão no Maranhão. Ela é caracterizada por condições tropicais úmidas, macromarés semi-diurnas em uma extensa plataforma continental que recebe descargas do Rio Amazonas da ordem de 6,3 trilhões de m³/ano e o segundo maior aporte sedimentar do mundo com 1,2 bilhões de ton/ano, e quando consideradas as contribuições dos demais rios que deságuam no Amapá, Pará e Maranhão adiciona-se 30 ton/ano.km² de aporte sedimentar destinando-se à planície costeira e à plataforma continental. (Oltman, 1968; Meade *et al.*, 1985; Geyer *et al.*, 1996; Kjerfve *et al.*, 2002; Souza Filho *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2009).

Considerando a área de estudo, esta se encontra na desembocadura sul do rio Amazonas, através da trama de furos e canais que constituem um estuário em forma de “V” chamado Baía de Marajó, o qual seu principal contribuinte a desaguar é o Rio Pará. Este amplo ambiente flúvio-marinho sob expressiva influência de mesomarés semi-diurnas sugere um corpo hídrico de passagem de sedimentos predominando argilas (72%) com ocorrência de areias nos locais de forte corrente e presença de ondas (Corrêa, 2005; Gregório & Mendes, 2009). Este estuário divide três setores fisiográficos da costa paraense que são Costa Atlântica do Salgado Paraense, Insular Estuarino e Estuarino Continental (El-Robrini *et al.*, 2006)

O grande desafio na Zona Costeira Paraense está no Gerenciamento Costeiro Integrado o qual considera o espaço gradual entre continente e mar como uma unidade de gestão, e por meio de instrumentos políticos mobiliza diferentes esferas de governo para equalizar questões ambientais e socioeconômicas (Rodríguez *et al.*, 2009). Contudo, o Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro-GERCO/PA, instituído pela lei estadual 5.587/95 referente à política ambiental, tem alcançado pouco sucesso na eficácia de sua execução, devido às questões relacionadas com informações técnico-científicas e recursos financeiros (Szlafsztein, 2009).

A minimização desta situação pode ser obtida pela elaboração de produtos concretos e de alta aplicabilidade e visibilidade regional atendendo as peculiaridades e necessidades da sociedade civil e dos tomadores de decisão (Szlafsztein, 2009). Dentre os diversos objetos de análises da gestão costeira integrada, esta dissertação se propõe a subsidiar informações relacionadas ao meio físico, principalmente no tocante à delimitação de ambientes com vulnerabilidade à perda de solo. Estes seriam potenciais cenários de risco a médios e longo prazo. Como referência territorial é utilizada unidades de paisagem, delimitando-as por meio da

abordagem de Bertrand (1971), para tanto, os aspectos mais enfatizados são o uso e cobertura da terra e a descrição de derivadas locais de terreno.

Atualmente, a alternativa tecnicamente consistente e financeiramente viável é voltada para uma abordagem integrada através das ciências de mapeamento segundo Jensen (1996; 2000) como Cartografia, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica, aliados à análise paramétrica multispectral com dados de campo e informações colaterais para maior conhecimento dos ambientes costeiros. Seus produtos e métodos indicativos devem ser considerados no desenvolvimento de um modelo de gestão adequado e factível. No caso de ilhas do baixo estuário do rio Amazonas, a ação é necessária e urgente, em função do pouco ordenamento do litoral e insuficiente preparo para enfrentar danos provenientes do alto adensamento urbano, falta de saneamento básico e degradação ambiental, além de processos erosivos continentais e costeiros, que tornam a situação do litoral amazônico ainda mais preocupante.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Estimar a vulnerabilidade à perda de solo para unidades de paisagem como subsídio à gestão costeira das margens da Baía de Marajó, Estado do Pará.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar cartas temáticas (Geologia, Geomorfologia, Solo, Vegetação e Clima);
- Descrever o Uso e Cobertura da Terra a partir de dados LANDSAT 5 TM;
- Descrever derivadas morfométricas de terreno a partir de dados SRTM;
- Elaborar carta síntese de Vulnerabilidade à Perda de Solo para unidades de paisagem;
- Criar um banco de dados geográfico;

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Baía de Marajó está inserida na Zona Costeira Amazônica, no litoral do Estado do Pará, Brasil. Este ambiente estuarino banha 12 municípios do Estado, desde a confluência dos rios Pará e Tocantins até a quebra da plataforma interna, e nesta extensão são encontrados aproximadamente 490 km de linha de costa (sem contabilizar todas as reentrâncias e ilhas estuarinas).

A delimitação da área de estudo é um recorte da Baía de Marajó, definido geograficamente no seu limite superior esquerdo pelas coordenadas 0°29'45,89" de Latitude Sul e 48°42'31,95" de Longitude Oeste, e no limite inferior direito pelas coordenadas 1°19'43,79" de Latitude Sul e 48°14'16,89" de Longitude Oeste. A margem ocidental da Baía de Marajó é composta pelos limites municipais de Soure (Setor 1) e Salvaterra (Setor 2), e a margem oriental está representada pela Ilha de Mosqueiro (Setor 3) que pertence ao município de Belém. Estes trechos de ambas as margens correspondem a uma área de 1.468,16 km² (9,91% dos municípios adjacentes à Baía de Marajó) e possuem cerca de 170 km de linha de costa (ver Figura 1).

Partindo-se de Belém, o acesso para porção leste da Ilha de Marajó é possível principalmente por embarcações e rodovias. A travessia da Baía de Marajó é feita entre os portos de Icoaraci (Belém) e Camará (Salvaterra) que distam cerca de 42 km em linha reta. O percurso entre Salvaterra e Soure é feito pela rodovia PA-154 e com a travessia do Rio Paracauari. A Ilha de Mosqueiro tem como principal via de acesso a rodovia BR-316 até o trevo onde inicia a rodovia PA-391, percorrendo deste modo aproximadamente 45 km desde Belém.

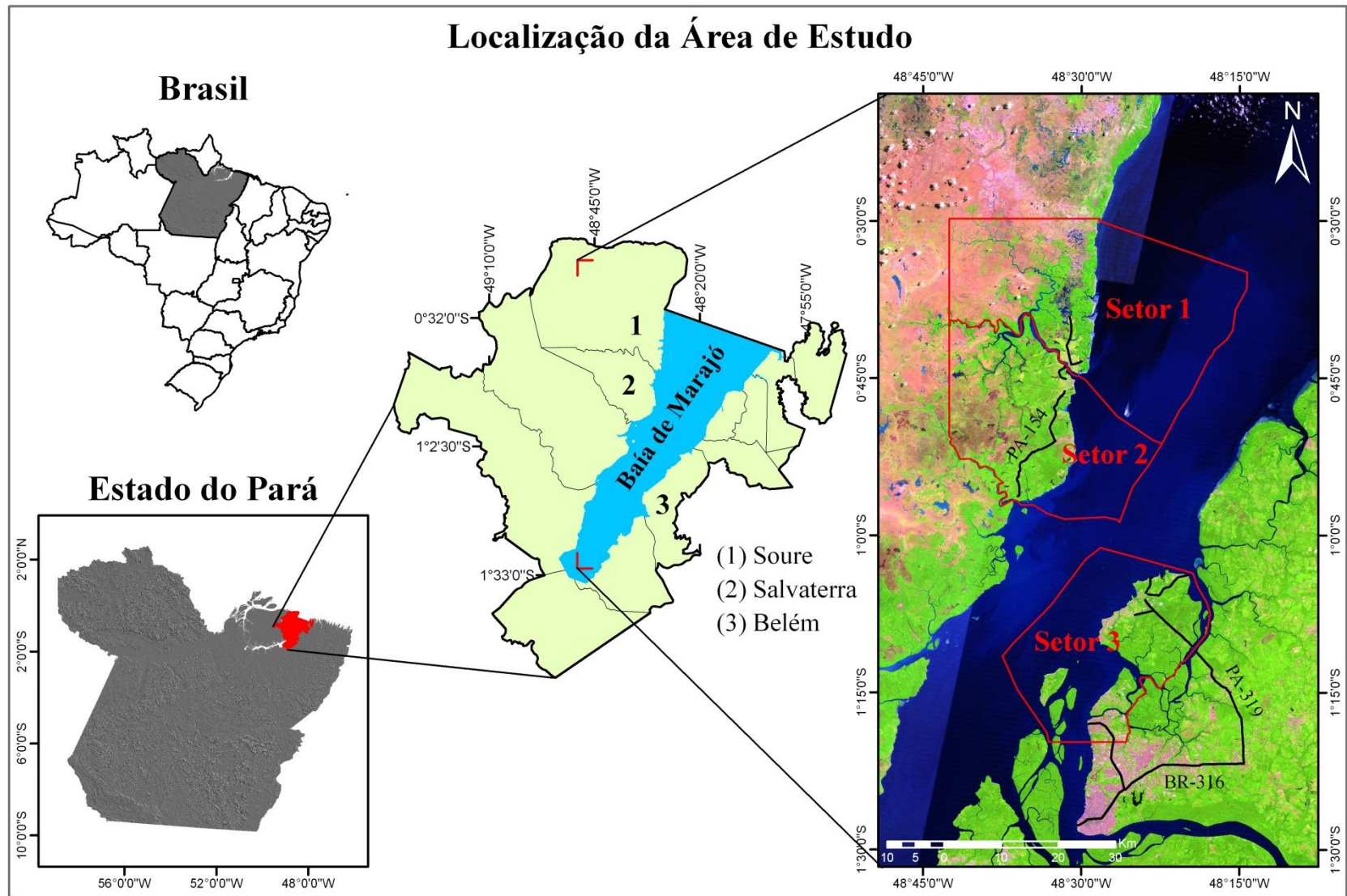


Figura 1 – Mapa de localização dos setores estudados.

3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.2.1 Geologia e Geomorfologia

O Litoral Norte do Brasil têm características genéticas intimamente relacionadas à formação do Oceano Atlântico, resultado de processos geológicos de reativação tectônica Pós-Paleozóica (Almeida & Carneiro, 1987). Os eventos tectono-magmáticos fragmentaram o bloco Gondwânico, assim, propiciaram extrusão de magma alcalino e formação de bacias na margem continental e adjacências. Consequentemente, as redes de drenagens e a orientação da linha de costa obtiveram controle estrutural por falhas e fraturas, perceptíveis ao longo do litoral norte brasileiro, desde o Cabo Calcanhar (RN) até Oiapoque (AP), com direção predominante noroeste/sudeste (Tessler & Goya, 2005).

As unidades lito-estratigráficas de interesse ao estudo estão relacionadas aos processos deposicionais/erosivos ocorridos no Terciário Superior e Quaternário. Assim, incluem-se a Formação Barreiras e Grupo Pós-Barreiras. Estão presentes coberturas lateríticas e sequências sedimentares do Quaternário, como unidades fundamentais ao substrato norte brasileiro (Costa *et al.*, 1996).

King¹ (1956) *apud* Cavalcante (2000) analisa o contexto geológico/geomorfológico regional das áreas entre a confluência dos rios Tocantins/Araguaia e o litoral (incluindo a Ilha de Marajó), resultado de ciclos morfológicos pretéritos os quais foram responsáveis pela paisagem atual. Estes ciclos morfológicos foram descritos como:

- *Sul Americano* é caracterizado por intensa denudação no Paleógeno, em consequência de um soerguimento continental que a partir de áreas mais elevadas fomentou material detrítico para bacias sedimentares adjacentes resultando em extensas áreas aplainadas. Costa *et al.* (1997) descreve que sobre as superfícies dos topos das serras e mesas residuais ocorreram processos de lixiviação e laterização, em função de oscilações do clima semi e sub árido para quente e úmido, gerando perfis lateríticos maduros;
- *Velhas* resulta em uma superfície Pleistocênica que passou por um soerguimento continental e retomou processos erosivos de aplainamento em diferentes rochas.

¹ King, L. C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro. 18 (92): 147-265.

Camadas de rochas menos resistentes foram expostas às sucessivas erosões até chegar aos níveis atuais de substrato. Para camadas de rochas mais resistentes, restaram os aplainamentos do ciclo anterior. Esse período erosional formou laterítos imaturos que sustentam o relevo mais recente e delimitam paleosuperfícies (Costa *et al.*, 1997).

- *Paraguaçu* é o ciclo morfológico mais recente, tem início no Holoceno e resultou na dissecação das superfícies aplainadas, erodindo sedimentos do Terciário Superior. Estes materiais deram origem aos terraços atuais.

Estudos da década de 1990 de Borges (1993), Costa *et al.* (1996) e Bemerguy (1997) contribuíram para o entendimento do quadro neotectônico na Amazônia, para o último autor este quadro é fruto de um binário E-W decorrente da rotação da placa Sul Americana para Oeste. Entretanto, Costa & Hasui (1997) defendem que o quadro neotectônico amazônico é resultado de movimentos translacionais e rotacionais do continente. Durante a evolução do Terciário na Calha do Rio Amazonas (Ilha de Marajó e Nordeste Paraense), Bemerguy *op. cit.* analisa as falhas normais e transcorrentes nestas áreas, observando os movimentos transtensivos presentes relacionados às transcorrências dextrais E-W que estão instaladas nas sequências das formações Barreiras e Pirabas. Estas características personificam o domínio neotectônico macrorregional do Baixo Amazonas por aspectos litoestratigráficos, estruturais, tectônicos e geomorfológicos (ver Figura 2).

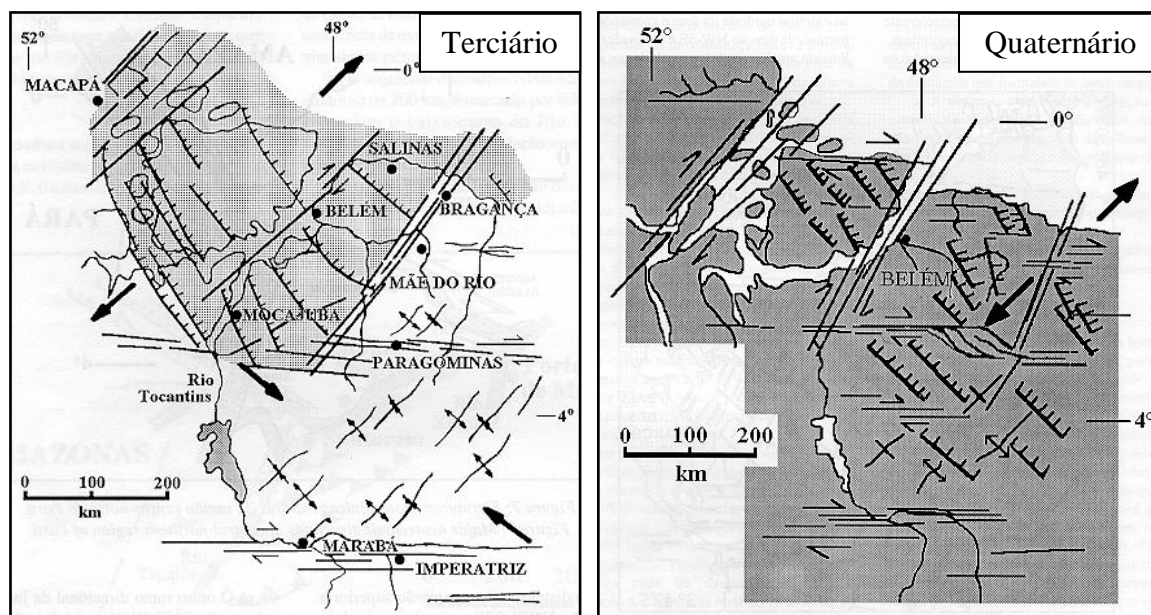


Figura 2 – Quadro macrorregional neotectônico evidenciando principais falhas normais e transcorrentes para a Ilha do Marajó e Nordeste Paraense.
 Fonte: Costa *et al.* (1996).

Observando neste quadro macrorregional a Ilha de Marajó, tem-se a composição por sub-bacias de Limoeiro, Mexiana, e pela plataforma continental rasa do Pará. Por outro lado, a Ilha de Mosqueiro se localiza na borda mais ocidental da Plataforma Bragantina que é bem arrasada e aplainada. O conjunto de bacias sedimentares, plataformas e arcos tectônicos compõem o cenário geológico do norte equatorial paraense e são resultados dos ciclos erosivos e reativações tectônicas no Neógeno (Rossetti, 2004; Rossetti & Goés, 2004).

No contexto geológico/geomorfológico local, França (2003) caracteriza o litoral ocidental da Ilha de Marajó, dividindo-o em duas unidades básicas de relevo: (i) Planalto Costeiro, este relevo de degradação sustentado por sedimentos da Formação Barreiras e do Grupo Pós-Barreiras, formado por camadas de arenitos e argilitos, ocorrem na maioria das vezes em cotas altimétricas acima de 5 metros; (ii) Planície Costeira, este relevo de agradação caracterizado por camadas argilosas e arenosas de origem flúvio-marinha, ocorrem em cotas altimétricas em grande parte abaixo de 5 metros.

Borges & Angélica (1986) levantaram as características geológico-geomorfológicas referentes à porção insular do município de Belém (Ilha de Mosqueiro), estes identificaram duas unidades geomorfológicas correlatas aos demais estudos adjacentes: (i) o Planalto Rebaixado da Amazônia e (ii) a Planície Amazônica. A topografia é classificada de plano a suave ondulado,

com altitudes mais expressivas em torno de 38 metros e mais baixas por volta de 2 metros. Percebe-se ao longo do litoral, costas altas e planícies de inundação, a linha de costa conta com extensas praias e falésias, alternando-se em pontões e enseadas (ver Figura 3).

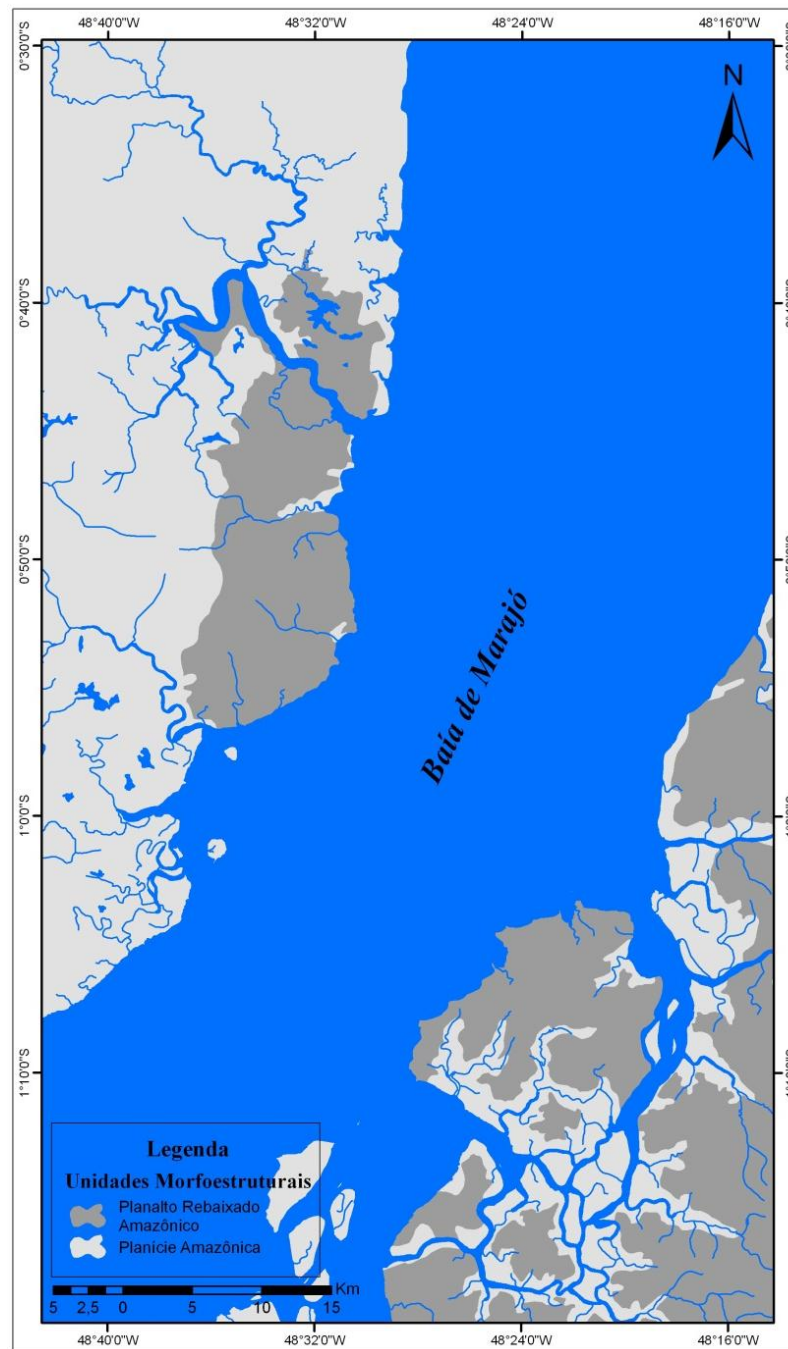


Figura 3 – Mapa de unidades morfoestruturais da área de estudo delimitando o Planalto Rebaixado da Amazônia e a Planície Amazônica.
Fonte: adaptado de RADAMBRASIL (1973-1987).

Detalhando os estudos locais na Ilha de Mosqueiro, Borges & Angélica (1986) descrevem o relevo de dissecado sustentado pelos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras, assim como sua estratigrafia, considerando as camadas do topo para base como camadas arenosas, areno-argilosas e areno-conglomeráticas e argilo-arenosas (ver Figura 4).

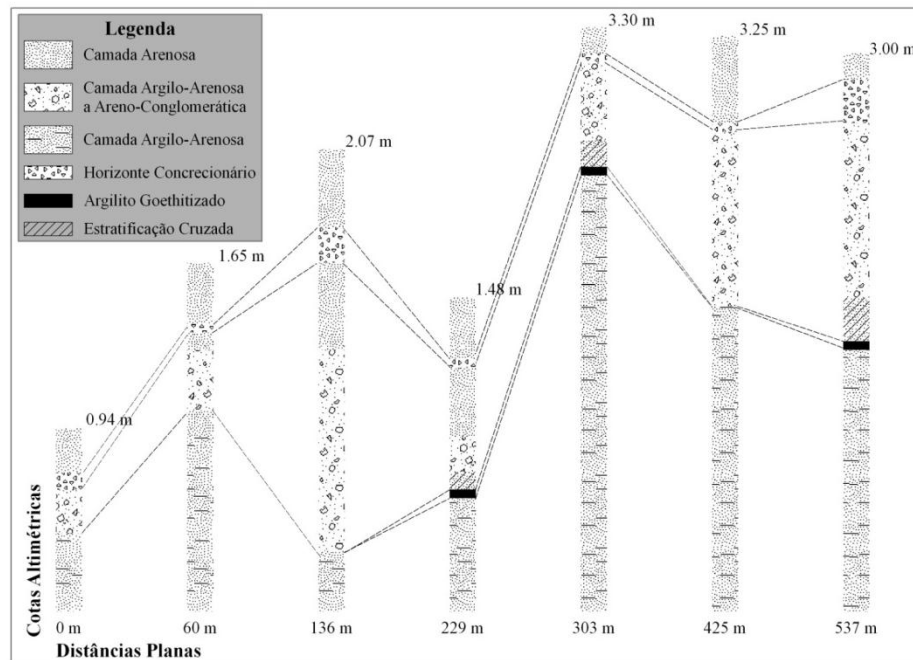


Figura 4 – Exemplo de perfil estratigráfico de um trecho da Baía do Sol, adaptado do trabalho de iniciação científica “Levantamento Geológico da Ilha de Mosqueiro – Estado do Pará”.

Fonte: adaptado de Borges & Angélica (1986).

3.2.2 Solos

Na área de estudo, as principais associações pedológicas são: Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos e Plintossolos.

Bastante frequentes no Planalto Costeiro (Pediaplano Pleistocênico), os Latossolos Amarelos são produtos da transformação (desagregação e decomposição) da Formação Barreiras. Estes solos são bem drenados, profundos, maduros, álicos de aspecto maciço e textura média à argilosa, normalmente estão presentes em substratos planos à suavemente ondulados (Vieira, 1967; Silva, 1975; Silva, 1999; Bemerguy *et al.*, 2001; Furtado *et al.*, 2009).

Presentes ainda no Planalto Costeiro ocorrem os Espodossolos e Plintossolos. Esta primeira tipologia é composta por solos minerais, menos profundos à profundos, moderadamente drenados, com perfil pedogênico apresentando horizonte espódico o qual está bem diferenciado

em função do processo de queluviação (migração de ferro, alumínio e matéria orgânica do horizonte A para acúmulo no horizonte B). Por sua vez, a segunda tipologia compreende solos minerais, com dificuldades de percolação da água, sujeitos à excesso de umidade (mal drenados), apresentando horizonte plintíco ou concrecionário com alto teor de argila, quartzo, ferro e alumínio (EMBRAPA, 2006).

Na unidade geomorfológica da Planície Costeira, caracterizada por depósitos Holocênicos, encontram-se diversos ambientes como planícies de inundação e maré, terraços flúvio-lacustres e cordões arenosos. Estes compreendem associações de Neossolos e Gleissolos influenciados por águas continentais e estuarinas. Analisando os ambientes com predominância fluvial (igapós e várzeas), são encontradas as tipologias: (i) Neossolos Flúvicos, que são derivados de sedimentos aluviais e constituem-se por ter um horizonte glei de coloração pálida ou mosqueados, são geralmente mal drenados; (ii) e, Gleissolos, caracterizam-se por serem hidromórficos, ter material mineral e horizonte glei dentro de 150 cm. Ambientes caracterizados por maior influência de ondas, maré e salinidade apresentam: (i) os Gleissolos Tiomórficos, estes possuem horizonte glei com materiais sulfídricos em até 100 cm da superfície; (ii) e, Neossolos Quartzarênicos, estes são solos de pequena expressão de processos pedogenéticos, pouco desenvolvidos, não possuem contato lítico dentro de 50 cm, preferencialmente possuem textura arenosa franca e são essencialmente quartzosos (EMBRAPA, *op. cit.*).

3.2.3 Cobertura Vegetal

A Vegetação na Região Norte está inserida na Zona Neotropical, possui um ecossistema altamente diversificado e adaptado às temperaturas médias de 25° C e grandes volumes pluviométricos bem distribuídos ao longo do ano, deste modo não apresentam grandes períodos em déficit hídrico (IBGE, 1993).

Na foz do rio Amazonas, segundo as definições do IBGE (2002), é considerada majoritariamente duas composições vegetacionais: (1) Formações Florestais, compreendida por tipologias de Floresta Ombrófila (Densa e Aberta), Florestas Secundárias, Florestas Aluviais e Manguezais; (2) Formações Campestres (ou Não-Florestais), representando Formações Pioneiras, Campos, Savanas/Cerrado e Restingas (ver Figura 5).



Figura 5 – Exemplos na área estudada de Formações Florestais e Campestres: (a) Floresta ombrófila Densa; (b) Restingas; (c) Floresta Aluvial e Manguezais; e, (d) Campos Inundáveis.

A cobertura vegetal na borda leste do Marajó, de acordo com França (2003), é correlata com o Planalto Costeiro tal qual com a Planície Costeira. Apresenta para o planalto, antes da ocupação antrópica, uma maior cobertura por matas de terra-firme e campos/savanas. Para a planície ocorre a colonização por espécies pioneiras, mangues e restinga.

Silva (1975) relaciona as unidades geomorfológicas da Ilha de Mosqueiro com as respectivas formações vegetacionais. No Planalto Rebaixado da Amazônia ocorrem espécies primárias (Floresta Ombrófila) e secundárias (Capoeira). Para as planícies/terraços aluviais pleistocênicos observam-se florestas arbóreas de porte elevado e para as planícies aluviais de inundação encontram-se espécies de médio porte e hidrófilas. Em ambientes estuarinos são encontradas espécies próprias de mangue e restinga.

As Formações florestais ombrófilas possuem dossel uniforme e emergente, compostas por árvores altas e grossas (florestas primárias). Na área de estudo a tipologia presente é ombrófila densa de terras baixas caracterizadas por ser perenifólia e adaptada às temperaturas quentes com umidade elevada praticamente o ano todo. Os indivíduos emergentes, aqueles que mais se desenvolvem em altura, pois são exigentes para a luz, possuem como representantes: *Tachigalea*

mirmecofila, *Tetragastris altíssima*, *Caryocar villosum* e *Hymensae oblongifolium*. Os indivíduos que formam a abóbada estão distribuídos nas seguintes famílias botânicas: *Lecytidaceae*; *Sapotaceae*; *Busseraceae* e; *Leguminoseae* (Vieira, 1967; Venturieri *et al.*, 1998; MZEE, 2005).

Estudos paisagísticos na parte ocidental da Ilha de Marajó e no Nordeste Paraense, como os de Watrin *et al.* (1996), Venturieri *et al.* (1998), Azevedo *et al.* (2000), Bemerguy *et al.* (2001), Lima *et al.* (2005) e Sales (2005), evidenciam modificações na cobertura vegetal de espécies naturais para solo exposto e floresta secundária ao longo do processo de ocupação humana, em torno de mais de 50% das áreas avaliadas.

Após um longo e intenso processo de ocupação na Amazônia Oriental, a utilização e manejo do solo foram determinantes para apresentar diferentes estágios sucessionais, em decorrência da substituição da mata primária, estas formações são aqui chamadas de Capoeira (Brondízio *et al.*, 1993; Morán *et al.*, 1994).

Vieira (1967) descreve as florestas aluviais localizadas no relevo de agradação (margeiam os rios com extensões variáveis) relacionadas ao processo de sedimentação, podendo ser de várzeas (alta e baixa) e igapó. No igapó encontra estrutura complexa de espécies típicas como: o açai (*Euterpe oleracea*), o anani (*Sumphonta globurifera* L.), ucuúba (*Virola surinamensis* Warb.), mututi (*Pterocarpus amazonicus* Huber) e palmeiras marajá (*Bacthis* sp.) e caraná; na várzea baixa dominam várias espécies de palmeiras e; na várzea alta ocorre andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), pracaúba (*Mora paraensis* Ducke), açacú (*Heira cripitus* L.) e taperebá (*Spordias lutea* L.)

Os mangues são formações arbóreas importantes como fonte alimento e reprodução de diversas espécies que são especializadas em nichos de influência de maré na transição do ambiente marinho e fluvial. A estrutura vegetal pode passar dos 30 metros e raízes emergentes até 8 metros. As principais formações são dos gêneros *Rhizophora*, *Lagunculária* e *Avicennia* (Lisboa *et al.* 1993; Mendes, 2003, Amaral *et al.*, 2008).

As áreas de savanas e cerrados ocorrem como manchas dispersas correspondendo a um consórcio de espécies gramíneas-herbáceas e gramíneas-arbóreas. Estas formações são mais suscetíveis e estão sempre relacionadas às áreas de capoeira. Exemplos desta composição florística têm-se: *Hancornia speciosa* Gom, *Curatella americana* L., *Hirtella ciliata* (Mart ex Zucc) e *Salvertia convallariaeodora* A. St. Hill., *Trachypogon plumosus* (Nees) Kunth, *Cassia hispidula*

Vahl, *Borreriaverticillata* G.F.W. Mey e *Bulbotylis junciformis* C.B. Clarke (Bastos *et al.*, 1995, Rosseti, 2006).

Os campos são áreas extensas na planície amazônica, inundáveis durante o período chuvoso, constituídos predominantemente por Poaceae (gramíneas), Cyperaceae, e Marantaceae (Rosseti, 2004; 2006).

Formações Pioneiras são representadas pelas restingas, e constituídas por *Chrysobalanus icaco* L., *Anacardium occidentale* L. e *Byrsonima crassifolia* L. (Lisboa *et al* 1993.; Amaral *et al.*, 2008).

3.2.4 Clima e Circulação Atmosférica

A física atmosférica é representada no litoral amazônico principalmente pelos movimentos de massa de ar e pela expansão/contração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT caracteriza-se por ser uma zona de depressão barométrica causando uma linha de instabilidade que se desloca sazonalmente e provoca chuvas intensas e rápidas, determinando o regime pluviométrico da região (IBGE, 1993).

Os ventos deslocam-se a partir da porção oriental do litoral amazônico, em trajetória Leste (E) e predominantemente Nordeste (NE), soprando por influência do Anticiclone Tropical Atlântico e Anticiclone Tropical Atlântico Norte. O encontro destes alísios resulta na ZCIT. A intensidade dos ventos varia entre 5,03 m/s até 7,9 m/s (EL-Robrini *et al.*, 2006).

Para porção leste do Marajó, segundo Martorano *et al.* (1993), é classificada de acordo com o método de Köppen, caracterizando o tipo climático Am1, chamado de clima de monção com temperaturas médias anuais em torno de 27,3° C, enquanto a pluviosidade divide-se em dois regimes: o chuvoso com precipitações médias em torno de 2.566 mm (alta influência da ZCIT) e no regime menos chuvoso com precipitações em torno de 414 mm e ventos de 7,0 m/s (menor influência da ZCIT).

Na Ilha de Mosqueiro, de acordo com Sales (2005), o clima é classificado como Af (método de Köppen), sem estação seca caracterizada e elevada precipitação. Analisando os dados de monitoramento da EMBRAPA Amazônia Oriental, este clima quente úmido se manifesta com temperaturas médias de 25,9° C e precipitações em torno de 2.990 mm de média anual. Os períodos mais intensos de chuvas ocorrem nos meses de março a maio, enquanto os períodos secos estão por volta de outubro e novembro.

3.2.5 Caracterização Costeira e Hidrográfica

A Zona Costeira Amazônica é caracterizada por forte descarga de sedimentos ($1,2 \times 10^9$ ton./ano) e água doce (220.000 m³/s em maio e 100.000 m³/s em novembro) em função da desembocadura do Rio Amazonas. Esta zona estende-se desde o Delta do Orenoco (Venezuela) até o Golfão Maranhense (Brasil) (Mead² *et al.*, 1985; Geyer³ *et al.*, 1996 *apud* Pereira 2007). O litoral amazônico brasileiro possui aproximadamente 2.250 km de extensão, isto sem considerar ilhas costeiras e reentrâncias de inúmeros estuários ao longo da linha de costa (Souza Filho *et al.*, 2005).

Analisando a porção norte do Brasil, é possível caracterizá-la quanto aos aspectos geomorfológicos, oceanográficos e climatológicos. Silveira (1964) compartimentou a zona costeira. Esta costa tem por característica uma plataforma continental extremamente larga, com planícies extensas que são periodicamente inundáveis, existe também a presença de platôs sedimentares de rochas mais antigas, que em contato com o oceano formam falésias (Silveira, *op. cit.*).

O Estuário da Baía de Marajó faz parte da foz do Rio Amazonas em sua desembocadura sul através da trama de furos e canais que constituem um exutório em forma de “V”. Ao longo do mesmo atuam intensos processos hidrodinâmicos costeiros (ondas, ventos, marés, correntes e elevadas precipitações).

A zona costeira estuarina do Pará é estendida até a Plataforma Continental Interna (largura de 90 km, gradiente suave de 3,5° e profundidades de até 30 m) e está conectada aos processos de transporte de sedimentos e movimentos das águas costeiras, contribuindo para formação de praias arenosas, zonas de surfe e estuários (El-Robrini *et al.*, 2003). Nas regiões estuarinas da Ilha de Mosqueiro e Marajó, a linha de costa recorta os sedimentos do Grupo Barreiras e depósitos inconsolidados do Holoceno. As condições hidrodinâmicas são influenciadas pelo fluxo e refluxo de macromarés (5,2 metros) e mesomarés (3,65 metros) semi-diurnas. As correntes durante a preamar estão entre 2,1 e 1,9 nós, enquanto a altura das ondas varia entre 0,3 e 1,5 metros. A dinâmica da região aponta formas de recuos e progradação (El-Robrini *et al.*, 2006). Este

² Meade, R. H.; Dune, T.; Richey, R. E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*. 228: 488-490.

³ Geyer, W.R.; Beardsley, R.C.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W. E.; Castro, B. M.; Soares, I. D.; 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*. 16: 575-616.

dinâmico estuário recebe a descarga de inúmeros rios, e estes são controlados basicamente pela precipitação e maré. O planalto costeiro possui uma rede de drenagens esparsa, ocorrendo cursos temporários e lagos. Os rios de pequeno porte que deságuam na Baía de Marajó são retilíneos e meandrantos e têm orientação preferencial NNE-SSW e E-W. Na planície costeira, a rede de drenagem é composta por canais de maré (drenagens com correntes de fluxo e refluxo) que favorecem processos erosivos e o aporte sedimentar das praias, orientações preferenciais são de E-W e S-N (Bemerguy, 1997).

Na Ilha de Marajó, a porção superior esquerda da área de estudo é delimitada pelo canal do Cajuúna e na porção inferior esquerda pelo rio Camará. A drenagem mais importante é o rio Paracauari que separa os municípios de Soure e Salvaterra. A Ilha de Mosqueiro, por sua vez, tem como principais drenagens os rios Murubira, Pratiquera e Mari-Mari, e seus limites são banhados, a oeste, noroeste e norte pela Baía de Marajó; a sudoeste pela Baía de Guajará; a sul e sudeste pelo Furo do Maguari; e, a leste e nordeste pelo Furo das Marinhas.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 DADOS DE SENSORES REMOTOS

O estudo em geociências obteve grande aprimoramento com a aplicação de produtos de sensoriamento remoto, em função da capacidade de investigar diferentes paisagens da superfície terrestre com faixas discriminadas do espectro eletromagnético.

Na Zona Costeira Amazônica, inúmeros são os trabalhos que utilizam dados de sensoriamento remoto (Venturieri *et al.*, 1998; Souza Filho, 2000; Souza Filho & Paradella, 2003; Sales, 2005; Gonçalves & Souza Filho, 2005; França & Souza Filho, 2006; França *et al.*, 2007) com o propósito de mapeamento temático (geológico, geomorfológico e cobertura vegetal) e identificação de mudanças nas paisagens ao longo dos anos, com a intensificação dos processos erosivos, climáticos, oceanográficos e a própria ocupação humana.

4.1.1 Sistema Landsat

Em 1967, iniciou o programa *Earth Resource Technology Satellite* (ERTS), este gerenciado majoritariamente pela *National Aeronautics & Space Administration* (NASA) e pelo *United States Geological Survey* (USGS). O programa resultou no lançamento de 7 satélites que possuíam diversificados sistemas sensores capazes de adquirir informações dos recursos terrestres. Segundo Jensen (2000), os sensores mais marcantes do programa são os de varredura multiespectral (*Landsat Multispectral Scanner*) e os mapeadores temáticos (*Landsat Thematic Mappers*).

O programa Landsat opera desde 1972 até os dias atuais e representa a fonte de dados em sensoriamento remoto de maior continuidade temporal (Novo, 1992). As primeiras plataformas, os satélites Landsat 1, 2 e 3, tinham abordo os instrumentos RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*), estes tiveram sucessivos lançamentos e finalização de operações no período de 1972 à 1983. O Landsat 4 foi lançado em 1982 e teve o fim de suas operações em 1993, este possuía o instrumento MSS, e como diferencial, foi adicionado o sensor *Thematic Mapper* (TM), melhorando o suporte aos estudos dos recursos naturais em diversas áreas temáticas (USGS, 2008a).

O Landsat 5, lançado em 01 de março de 1984, incrivelmente superou o seu período de vida útil, chegando a adquirir imagens até os dias atuais. Esta plataforma foi contemplada com os

mesmos instrumentos sensores do Landsat 4, entretanto seu sensor MSS parou de funcionar em 1995, operando de maneira satisfatória até então apenas com o sensor TM (USGS, 2008a). O sensor TM é um sensor óptico-mecânico *whiskbroom* (espelho de varredura e arranjos lineares), que registra o visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas (médio) e infravermelho termal. Este coleta imagens multiespectrais, apresentando melhorias espaciais, espectrais, temporais e radiométricas em relação ao sensor MSS (Jensen, 2000).

O sexto satélite da série Landsat foi projetado com o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), inovando na resolução espacial que acrescentou a banda pancromática de 15 m. Infelizmente o Landsat 6 não chegou a entrar em órbita por apresentar falhas no seu lançamento (USGS, *op. cit.*).

Os avanços no programa Landsat prosseguiram e materializaram-se no Landsat 7. Esta plataforma foi lançada em 15 de abril de 1999 e contou com o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM⁺). O Landsat 7 implementou versatilidade e eficiência ao sistema de navegação (por exemplo, posicionamento, orientação, velocidade). O sensor manteve os intervalos espectrais anteriores e tornou funcional a banda pancromática com 15 m de resolução espacial. Além destas importantes características, outro diferencial esteve na faixa do termal a qual aumentou a resolução espacial de 120 para 60 m, e dividiu a mesma em alto e baixo ganho. Em 31 de maio 2003, o *Scan Line Corrector* do ETM⁺ teve avarias, resultando na significativa perda de dados e necessidades de correções prévias de posicionamento e calibração (USGS, *op. cit.*).

As principais características pertinentes às plataformas Landsat 5 e Landsat 7 são apresentados na Tabelas 1:

Tabela 1 – Características dos parâmetros orbitais das plataformas Landsat 5 e 7.

Parâmetros Orbitais	Landsat 5	Landsat 7
Lançamento	01/03/1984	15/04/1999
Altitude	705 Km	705 Km
Inclinação	98,2°	98,2°
Órbita	Aproximadamente Polar Solsíncrona	Aproximadamente Polar Solsíncrona
Período	98,2 min/órbita	98,9 min/órbita
Passagem Equatorial	9h e 45 min (+/- 15 min)	10 h (+/- 15 min)
Ciclo de Cobertura	16 dias	16 dias
Recobrimento entre Órbitas	Varia da Latitude de 0° com 7,3 % à Latitude 80° com 83,9%	

Fonte: USGS (2008a).

As bandas espectrais, seus intervalos e resolução espacial nominal são apresentados na Tabela 2, bem como a profundidade radiométrica e a faixa imageada.

Tabela 2 – Características dos sensores abordos das plataformas Landsat 5 e 7.

Landsat TM 5	Banda	Faixa	λ (μm)	Resolução (m)
Bandas Espectrais	1	Azul	0,45-0,52	30
	2	Verde	0,52-0,60	30
	3	Vermelho	0,63-0,69	30
	4	Infravermelho Próximo	0,76-0,90	30
	5	Infravermelho Médio	1,55-1,75	30
	6	Infravermelho Termal	10,40-12,50	120
	7	Infravermelho Médio	2,08-2,35	30
Landsat ETM+ 7	Banda	Faixa	λ (μm)	Resolução (m)
Bandas Espectrais	1	Azul	0,45-0,52	28,5
	2	Verde	0,52-0,60	28,5
	3	Vermelho	0,63-0,69	28,5
	4	Infravermelho Próximo	0,77-0,90	28,5
	5	Infravermelho Médio	1,55-1,75	28,5
	6	Infravermelho Termal (Alto e Baixo Ganho)	10,40-12,50	57
	7	Infravermelho Médio	2,09-2,35	28,5
	8	Pancromática	0,52-0,90	14,25

Fonte: USGS (2008a).

O uso de imagens Landsat se faz presente por ser um sensor eletro-óptico de estudos terrestres com a maior série temporal já registrada, 38 anos (Wulder *et al.*, 2008; 2010). Sua capacidade de mapear feições distintas na superfície terrestre, bem como detectar mudanças na cobertura é comprovada por diversos estudos (Van Leeuwen *et al.*, 2006; Powell, 2007; Johnson, 2008; Lindquist *et al.*, 2008).

O fator mais preponderante para novos estudos ambientais é a confirmação da continuidade do programa Landsat, chamado de LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*) sob responsabilidade da USGS e lançamento da NASA. Este inclui o lançamento em 2012 da plataforma Landsat 8 com o sensor OLI (*Operational Land Imager*) de 11 bandas espectrais (ver Tabela 3). As principais melhorias estão relacionadas ao estreitamento das faixas espectrais com inclusão de duas novas bandas com aplicações meteorológicas, e, aperfeiçoamento nos sistema de posicionamento e correção geométrica de terreno, com imagens ortorretificadas e acurácia mínima de 12 metros (Cullen, 2010).

Tabela 3 – Características do sensor OLI planejado para a plataforma Landsat 8.

LDCM OLI	Banda	Faixa	λ (μm)	Resolução (m)
Bandas Espectrais	1	Azul Profundo	0.433-0.453	30
	2	Azul	0.450-0.515	30
	3	Verde	0.525-0.600	30
	4	Vermelho	0.630-0.680	30
	5	Infravermelho Próximo	0.845-0.885	30
	9	Cirrus	1.360-1.390	30
	6	Infravermelho Médio	1.550-1.750	30
	7	Infravermelho Médio	2.09-2.35	30
	10	Infravermelho Termal	10.30-11.30	120
	11	Infravermelho Termal	11.50-12.50	120
	8	Pancromática	0.50-0.680	15

Fonte: USGS (2010).

4.1.2 Modelo Digital de Elevação – SRTM

Buscando representar fenômenos espaciais em ambientes matemático-computacionais, é imprescindível à determinação do modelado terrestre, este representado por grades regulares ou equações analíticas (Câmara *et al.*, 2001). Para compreensão do MDE e suas principais características, segue algumas definições:

- Arquivos de dados com informação cartográfica em representação *raster*. A matriz consiste em amostrar elevações do terreno em intervalos horizontais espaçados regularmente (USGS, 2008b);
- Representação *raster* de elevações de terreno para as posições da superfície geográfica, o qual as elevações de superfície e dos objetos, tais como construções e árvores, são caracterizados em valores de pixel numa imagem (PCI GEOMATICS, 2004).
- Representação digital de uma seção da superfície por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y), o qual os valores destes pixels correspondem à elevação de terreno (Paradella *et al.*, 2001).

A construção do MDE está vinculada basicamente à entrada de dados, à edição e geração do modelo. As principais formas de aquisição de dados são o levantamento de campo, a restituição fotogramétrica e o sensoriamento remoto (SPRING, 2008). O MDE é atualmente um dado de grande importância para o estudo de fenômenos geográficos por representar de forma discreta a forma da superfície terrestre, e deste modo, pode-se realizar quantificações (Zaloti Junior, 2007).

Portanto, os dados mais apropriados para a utilização neste estudo foram os provenientes da missão orbital *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) que foi realizada no ônibus espacial *Endeavour* (Tabela 4).

Tabela 4 – Características dos parâmetros orbitais da plataforma Space Shuttle Endeavour para aquisição de dados SRTM.

Parâmetros Orbitais	Space Shuttle Endeavour
Altitude	233 km
Inclinação	57 °
Período	89,56 min/órbita
Tempo de Mapeamento	222,4 horas
Nº de Órbitas para Mapeamento	176

Fonte: NASA (2008).

Esta missão foi possível através da cooperação da agência espacial norte americana (NASA), centro aeroespacial alemão (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR*) e agência espacial italiana (*Agenzia Spaziale Italiana, ASI*). O sensor a bordo do ônibus espacial *Endeavour* utilizou um mastro de antena com 60 metros, neste ainda encontrava-se dois instrumentos operando no espectro das microondas idênticos aos utilizados pelo programa *Spaceborne Imaging Radar – C* (SIR-C, desenvolvido pelos Estados Unidos) e *X – Band Synthetic Aperture Radar* (X-SAR, desenvolvido pela Alemanha/Itália) (ver Figura 6). O período do imageamento ocorreu entre 11 e 22 de fevereiro de 2000, cobrindo cerca de 80% da superfície terrestre com exceção dos seus polos (Rabus *et al.*, 2003; NASA, 2008).

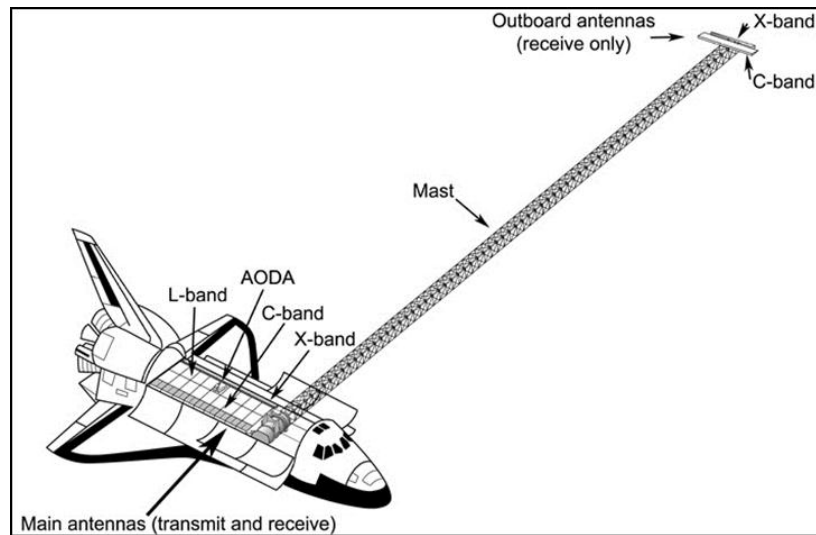


Figura 6 – Disposição das antenas de transmissão e recepção das bandas C e X no veículo espacial Shuttle Endeavour.
Fonte: NASA (2008).

Os dados SRTM3 são advindos do site da *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), em <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, disponibilizados gratuitamente para *download* no formato compactado *hgt*. As cenas são espaçadas por um 1° de latitude por 1° de longitude, localizadas por sua coordenada de canto superior esquerdo e resolução espacial de 3 arcos de segundo ou aproximadamente 90 metros (RABUS *et al.*, 2003; NASA, 2008).

A avaliação dos dados SRTM (Tabela 5) demonstra uma exatidão vertical com erro absoluto de ± 16 metros e relativa ± 6 metros, para a exatidão horizontal o erro de posicionamento está em ± 20 metros, todas estas análises com o nível de confiança de 90% dos dados (Rodriguez *et al.*, 2005). Diversos estudos de validação da precisão altimétrica do SRTM, mostram que este tem resultados melhores do que o esperado, exemplo disto é relatado por Rodriguez *et al.* (2006), que constatou na avaliação realizada pela NASA o erro vertical absoluto de $\pm 6,2$ metros para dados disponibilizados para a América do Sul. Os dados SRTM representam as altitudes da superfície topográfica e objetos não topográficos (construções/edificações e dossel das árvores), para conclusões mais significativas sobre a acurácia vertical dos dados SRTM, deve-se aplicar testes de exatidão locais.

Tabela 5 – Características dos sensores abordados da plataforma Space Shuttle Endeavour e formato dos dados de elevação SRTM.

SRTM	Banda	λ (cm)
Interferometria	X	3,1
	C	5,66
Resolução Espacial Horizontal	3" (arcos de segundo)	
Resolução Vertical	1 m	
Quantização	16 bits	
Erro Vertical Absoluto para América do Sul	$\pm 6,2$ m	
Projeção	Sem Projeção (Geográfica)	
Datum e Elipsóide	WGS-84	
Modelo Geoidal	EGM96 Geoid	
Faixa Imageada	225 km entre 60° de Latitude Norte e 56° de Latitude Sul	

Fonte: NASA (2008).

De forma aplicada o MDE possui grandes possibilidades de revelar conhecimento morfométrico da superfície terrestre, descrevendo quantitativamente o relevo através de um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais.

Exemplo deste uso aplicado está na iniciativa TOPODATA do autor Valeriano (2008). Ele elaborou um banco de dados geomorfométricos em condições uniformes e revisados para os processos de derivação, estas variáveis foram elaboradas a partir de dados SRTM refinados para todo território nacional e estão disponíveis livremente em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso>.

4.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS ORBITAIS

O Processamento Digital de Imagens (PDI) consiste em todas as técnicas aplicadas através de sistemas computacionais em imagens, manipulando, identificando e extraindo informações úteis que colaboram para otimização do trabalho do analista.

Jensen (1996) enfatiza que os procedimentos técnicos usados frequentemente para a extração de informações de dados de sensoriamento remoto precisam ser condizentes com: (i) a declaração do problema, a lógica empregada (indutiva, dedutiva e tecnológica) e a formulação de hipóteses; (ii) a coleção de dados *in situ* (campo, laboratório e correlatos) e sensores remotos (passivos e ativos); (iii) análises dos dados analógicos e digitais, utilizando interpretação de imagens, estatística, sistemas especialistas e modelagem; (iv) e apresentação da informação

através de imagens, mapas temáticos, banco de dados espaciais, relatório de erro, estatísticas e gráficos.

Construindo o modelo conceitual da pesquisa, o próximo passo está na análise dos dados e suas aplicações, sendo estas multitemporais, multiespectrais, multiescalares ou multidisciplinares, as quais resultaram no conjunto de tarefas para detecção, mensuração e solução do problema (Jensen, 1996).

Novo (1992) organiza as técnicas de PDI em três conjuntos: Pré-Processamento, referente ao tratamento de dados brutos de modo que estes sejam retificados em distorções e degradações, incluem-se neste procedimento a correção radiométrica, correção dos efeitos atmosféricos e correção geométrica (Lillensand & Kiefer, 1994); Realce, utilizado para modificar o histograma original de uma imagem por funções matemáticas, a fim de melhorar a visualização de feições específicas (Crósta, 1992; Lillensand & Kiefer, *op. cit.*); e a Classificação, que consiste no processo automático de extração de informações temáticas de imagens de sensores quando estes detectam na superfície objetos, fenômenos ou feições com comportamento espectral similar/homogêneo. Os pixels são analisados por funções estatísticas em seus aspectos espaciais e espectrais, e desta forma se atribui uma classe (Crósta, *op. cit.*; Liu, 2007).

4.2.1 Pré-Processamento

4.2.1.1 Correção Atmosférica

O fluxo de radiação registrado por um sistema sensor em várias bandas espectrais é exatamente representado pelo fluxo de radiação que partiu da feição de interesse na superfície terrestre (solo, vegetação, água ou áreas urbanas) adicionado aos ruídos, comprometendo a coleção de dados em diversos pontos. Estes ruídos podem ocorrer por um erro radiométrico, quando o sistema sensor tem uma disfunção na detecção ou não-calibração com a radiância da cena, ou por intervenção da atmosfera, atenuando a energia refletida entre a superfície de interesse e o detector (Jensen, 1996).

A correção atmosférica objetiva atenuar o efeito de componentes atmosféricos (vapores, gases e aerossóis) sobre os níveis de cinza registrados em uma cena, assim modificando o histograma original da imagem por um ajustado com valores digitais mais próximos das respostas da superfície terrestre (Novo, 1992).

A atmosfera pode influir na resposta espectral de um sensor até um determinado alvo de dois modos: (1) pela absorção ou (2) pelo espalhamento da radiação (Liu, 2007). A mais simples e eficiente técnica para minimizar os efeitos da atmosfera é a Subtração de Pixels Escuros do autor Chavez (1988), pois esta técnica requer somente informações contidas na própria imagem digital.

Kaufman & Sendra⁴ (1988) *apud* Song *et al.* (2001), avaliando a relação entre a radiância de retorno ao satélite e a superfície refletora de comportamento Lambertiano (superfície difusa que reflete igualmente em todas as direções) e com influência de nebulosidade, perceberam que estes poderiam ser escritos segundo a Equação 1.

Equação 1 – Relação entre a radiância do satélite e a superfície refletora.

$$L_{\lambda} = L_o + p \left[\frac{F_d T_o}{\pi(1-sp)} \right] \quad (1)$$

Onde: L_{λ} = radiância de retorno ao sensor;

L_o = radiância espalhada pela atmosfera na direção do sensor;

p = reflectância da superfície;

F_d = fluxo radiante descendente;

T_o = transmitância da atmosfera refletida pela superfície;

s = coeficiente de retroespalhamento da radiação ascendente pela atmosfera.

As bandas espectrais 1, 2, 3 e 4 do sensor TM e ETM⁺ são as mais influenciadas por efeitos da atmosfera, de acordo com Chavez (1988). Este autor parte da premissa de que há na imagem alguns poucos pixels escuros, decorrentes de sombras da topografia ou nuvens, e corpos hídricos límpidos que são erros adicionados à radiometria da imagem. Desta forma, é suposto que estes pixels escuros deveriam ter valor de DN (*Digital Number*) igual a zero, ou seja, apresentariam reflectância nula. Este processamento consiste na retirada de valores de cinza que se adicionam no alvo estudado, por efeito dos gases, aerossóis e vapores, portanto as assinaturas espectrais do alvo em superfície têm seus valores alterados para as bandas do visível e infravermelho próximo, pelo fato destes elementos atmosféricos retroespalharem ou absorverem a onda eletromagnética em sua trajetória (Crippen, 1987; Chavez, 1988).

⁴ Kaufman, Y. J. & Sendra, C. 1988. Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery. *Int. J. Remote Sensing*. 9: 1357-1381.

4.2.1.2 Correção Geométrica

Erros geométricos contidos em dados de sensoriamento remoto podem ser divididos em duas classes: (1) distorções que podem ser corrigidas com base nas informações das efemérides da plataforma e conhecimento dos erros internos do sensor; (2) e, distorções que necessitam para uma exatidão aceitável um número suficiente de *ground control points* (GCP) (Jensen, 1996).

As principais distorções geométricas encontradas em dados de sensores remotos são atribuídas: (i) à rotação, curvatura e topografia da Terra; (ii) ao sensor relacionadas a geometria de imageamento, campo de visada instantâneo, distorções panorâmicas e erros de instrumentação; (iii) à plataforma por variações de posição, velocidade e orientação; (iv) e o sistema de referência (relações geóide e elipsoide) e a projeção cartográfica (relações do plano tangente e elipsoide). Compreendendo a diversidade de erros geométricos intrínsecos a uma imagem orbital, é imprescindível para aplicações de mapeamento a correção geométrica (Crósta, 1992; Toutin, 2004; Liu, 2007).

A correção geométrica é o processo que visa corrigir distorções espaciais através da transformação dos dados de uma imagem para que estes assumam propriedades cartográficas (escala e projeção) e um sistema de referência (Moreira, 2003).

Buscando o adequado tratamento geométrico de imagens TM e ETM⁺ para mensurar variações planas com exatidão em torno de um pixel, uma opção bastante satisfatória é a ortorretificação a partir do modelo de Toutin (1995). Este modelo matemático rígido de correção geométrica baseia-se no ajuste da matriz de dados por algoritmos que consideram para seu cômputo:

- A coleta de pontos de controle no terreno (GCP);
- Dados das efemérides do satélite (altitude, atitude, velocidade) e distorções do sensor (campo de visada instantâneo, ângulo de orientação e tempo de detecção do sinal);
- Distorções relativas à Terra (Geóide-Elipsóide) incluindo distorções de terreno e geometria levando em consideração o MDE;
- Distorções relativas à projeção cartográfica (elipsoide-plano cartográfico).

Este modelo físico/determinístico 3D reveste-se de maior importância por ser um método que utiliza pontos de controle no terreno para retificação de distorções locais, e considera também as elevações do terreno contidas em Modelos Digitais de Elevação, que são as maiores fontes de

distorções em uma imagem (Toutin, 1995; 2004). A Figura 7 exemplifica as inconsistências resultantes num processo de aquisição de imagens por um sistema orbital e como as informações altimétricas podem melhorar sua precisão.

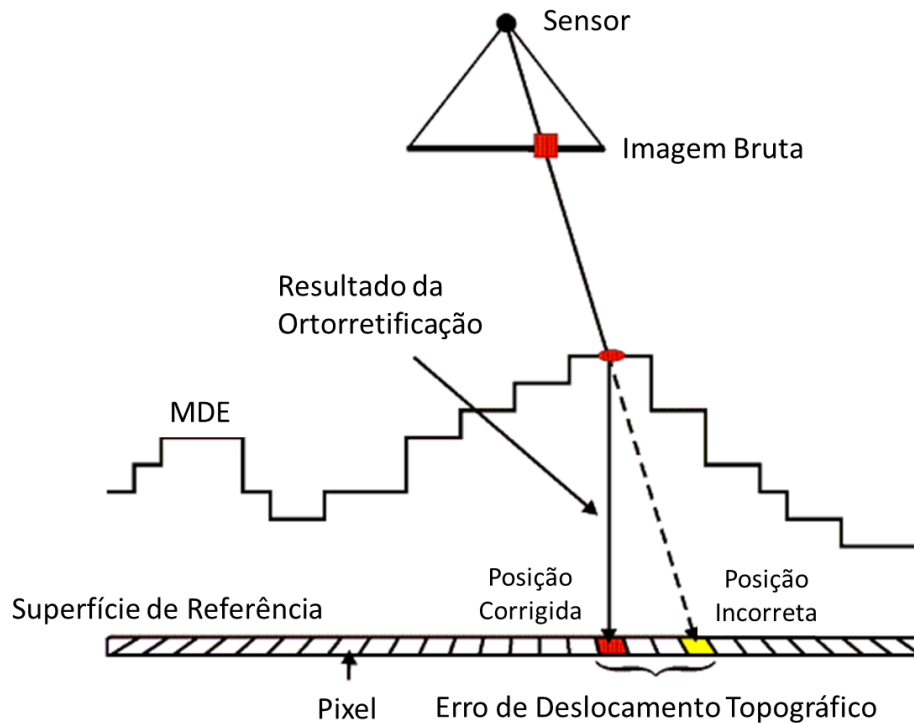


Figura 7 – Utilização da geometria do sensor e MDE para ortorretificação da imagem.
Fonte: PCI GEOMATICS (2004).

4.2.2 Realce

Sensores remotos registram a radiação refletida ou emitida de materiais existentes na superfície terrestre. Em condições ideais, um material deveria refletir uma enorme quantidade de energia em certo comprimento de onda, enquanto outro material deveria refletir muito menos energia para o mesmo comprimento de onda (Jensen, 1996). Estes dois tipos de materiais avaliados pelo sensor deveriam apresentar um contraste registrado radiometricamente pelo sistema sensor, no caso dos sensores TM e ETM⁺ entre os níveis digitais de 0 a 255.

Crósta (1992) afirma que diferentes materiais refletem frequentemente um grande fluxo de energia por todas as porções do espectro eletromagnético do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, resultando em baixa de contraste na imagem.

As causas associadas ao baixo contraste são as características biofísicas dos materiais, a sensibilidade dos detectores, a atenuação na atmosfera, má iluminação solar e a própria configuração da cena (Jensen, 1996).

O realce é possível a partir da relação de histogramas da imagem original e imagem resultante por aplicação de uma função de transferência de contraste entre dois eixos (x, y), estes representados pelo nível digital inicial e final. A função linear de aumento de contraste expande o histograma original realocando os níveis de cinza em espaços regulares e idênticos no formato (exceção para valor médio e espalhamento), uma vez que a função é uma reta parametrizada pelo ponto de interseção no eixo x (controla a intensidade média final) e pela inclinação (controla a expansão dos dados originais) (Moreira, 2003).

Os limites de contraste para a imagem de interesse devem ser avaliados de modo que não ocorra uma inclinação exagerada, pois tal exagero promoverá uma expansão dos pixels que anteriormente apresentavam um determinado valor e após o realce podem ser fundidas as colunas das extremidades de preto e branco (DN de 0 e 255 no caso de dados TM e ETM⁺) caracterizando *overflow* (Crósta, 1992; Jensen, *op. cit.*).

4.2.3 Classificação

Dados de sensoriamento remoto têm como objetivo principal distinguir materiais na superfície terrestre por meio de técnicas de análise que podem extrair informação temática útil para uso da terra, vegetação, geomorfologia e outras aplicações.

A classificação multiespectral é o procedimento de extração de informações, que assume para uma específica área geográfica uma função de coleta de múltiplas regiões do espectro eletromagnético detectados pelo sensor. Essa atribuição corresponde à análise estatística de decisão, cujo um certo conjunto de elementos de imagem (pixels) é agrupado em determinada classe, observando os valores de intensidade espectral, suas relações de vizinhança e a satisfação de uma série de critérios (Novo, 1992, Crósta, 1992).

Jensen (1996) descreve os métodos de análise multiespectral compreendidos essencialmente em três abordagens: (1) classificadores rígidos usando avaliações supervisionadas e não-supervisionadas; (2) classificadores por lógica *fuzzy*; (3) classificadores com avaliações híbridas envolvendo informações colaterais.

Há diversas abordagens metodológicas para imagens multiespectrais, neste trabalho se optou pelo método de classificação supervisionada, visando à localização e identificação de diferentes coberturas no terreno, a priori com conhecimento de campo, interpretação visual e experiência por parte do analista. A análise supervisionada combina critérios estatísticos para um conjunto de dados na imagem reconhecidos previamente por amostras de treinamento homogêneas (classes com comportamentos espectrais similares definidos pelo analista). Estas amostras representativas possuem individualidade espectral para posterior mapeamento temático (ENVI, 2008). Jensen (2000) relata que a performance do classificador supervisionado para determinar uma classe de interesse depende do pré-processamento (correções anteriores), informações radiométricas e espectrais das bandas utilizadas, e feições escolhidas nas amostras de treinamento.

Existem diversos algoritmos que aplicam funções estatísticas aos pixels considerando os padrões espaciais e espectrais delineados pelo método supervisionado e como resultados agrupam novos pixels nas classes finais (Liu, 2007).

O algoritmo de Mapeamento por Ângulo Espectral (em inglês, *Spectral Angle Mapper – SAM*) baseia-se fisicamente no espectro dos dados de maneira que as amostras de treinamento e as classes das imagens tenham similaridade angular. Dentro do *feature space* (espaço de atributos) com dimensões equivalentes ao número de bandas do sensor, o objeto é comparado em distância angular com a assinatura de referência em cada banda, eliminando influências de iluminação provocadas pela orientação da vertente, plataforma orbital e a inclinação solar no momento de aquisição das imagens (Sohn & Rebello, 2002; ENVI, 2008).

O algoritmo SAM determina o grau de similaridade de vetores espectrais em um espaço de atributos n-dimensional, e este é calculado segundo a Equação 2.

Equação 2 – Coeficiente de similaridade do SAM a partir de amostras espectrais.

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left[\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (2)$$

Onde: ***nb*** = número de bandas;
t = espectro de teste;
r = espectro de referência;
 α = grau de similaridade.

A comparação espectral é determinada pelo ângulo α , este pode variar de 0 a 1, o qual valores próximos de 1 representam vetores mais separados, enquanto que valores próximos de zero sugerem espectros pouco dissimilares (Kruse *et al.*, 1993). Ao implementar o classificador SAM, é possível estabelecer limites de variabilidade angular entre os vetores, e assim os critérios para uma amostra pertencer ou não a uma classe de interesse (Dennison *et al.*, 2007).

Grande parte dos algoritmos supervisionados apresenta a desvantagem no momento de enquadrar cada pixel da imagem a uma amostra de treinamento e rotulá-los a uma classe fechada que se assemelha digitalmente. As principais dificuldades de avaliações supervisionadas estão na avaliação rígida do conjunto amostral de referência. Diferentemente dos demais algoritmos, o SAM tem um procedimento eficiente de discriminação de alvos a partir das informações espectrais de referência que podem ser de bibliotecas espectrais, radiômetros ou selecionados na imagem, e por seu princípio de distância angular possibilita assinaturas testes em diferentes condições de intensidade de brilho (Figura 8). O algoritmo SAM apresenta como desvantagens a ausência de informação ao nível de sub-pixel. Visando solucionar este problema, é recomendado o uso do modelo de mistura espectral (Carvalho & Meneses, 2000; Girouard *et al.* 2004).

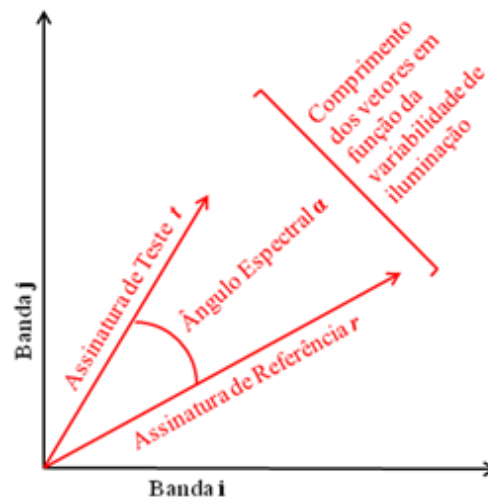


Figura 8 – Representação dos vetores do espectro de teste (t) e espectro de referência (r) para um espaço de atributos bidimensional.

Fonte: adaptado de Sohn & Rebello (2002).

4.2.4 Avaliação de Classificação para Mapeamentos Temáticos

Diversas técnicas estatísticas para avaliação de precisão de classificadores são utilizadas para estimar a concordância dos dados de sensores remotos e seus correspondentes produtos

temáticos. Erros podem ser acumulados desde o sistema sensor, pré-processamentos empregados e na implementação do algoritmo de classificação, resultando em informações pouco representativas da realidade terrestre mapeada.

Congalton (1991) divide as análises de precisão de classificadores em dois grandes grupos: (i) análise de variância; e (ii) análise multivariada discreta. O coeficiente de concordância *Kappa* é um estimador de precisão para classificações e pertence ao conjunto de análise multivariada discreta (Rosenfield & Fitzpatrick-Lins, 1986).

O primeiro conjunto para revelar informações de acurácia para classificações temáticas é a Matriz de Erros. Esta matriz faz referência ao conjunto de pixels classificados no produto temático (corretos e errôneos contidos nas linhas) e a um conjunto de amostras de referência representando a realidade terrestre (dados de campo ou outras imagens contidos em coluna). É avaliada a precisão individual para cada classe, por meio de erros de comissão (ocorre uma inclusão equivocada de uma área em determinada categoria) e erros de omissão (ocorre uma exclusão de uma área para uma determinada categoria) (Congalton & Green, 1999).

A Matriz de Erros sumariza os erros de comissão e omissão permitindo obter: (i) a acurácia global que representa o total de acertos divididos pelo total de amostras; (ii) acurácia do produtor que confere para determinada classe o conjunto de amostras corretas divididas pelas amostras de referência na classe avaliada; e (iii) acurácia do usuário que representa as amostras corretamente classificadas dividida pelo total de elementos classificados na categoria avaliada.

A Matriz de Erros subsidia o coeficiente de *Kappa*, o qual mede a probabilidade de concordância e expectativa de discordância com a verdade terrestre. Necessariamente o estimador obtém o coeficiente pela diferença entre a concordância (diagonal principal) e avalia as chances de concordância (somatório de linhas e colunas) (Landis & Koch, 1977), ver Tabela 6.

Tabela 6 – Estimador estatístico Kappa e sua qualificação dos resultados.

Índice de <i>Kappa</i>	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssimo
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: adaptado de Landis e Koch (1977).

4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO

Atualmente o mapeamento é o processo produtivo principal de muitos trabalhos técnico-científicos que tenha como objeto o espaço geográfico, e entende-se por este, segundo Martinelli (1991), como a aplicação do processo cartográfico sobre uma coleção de dados com vistas à representação gráfica da realidade. A Cartográfica, como ciência e operações técnicas, está inserida neste processo apresentando um modelo de representação para o espaço geográfico, e assim possuindo íntima relação interdisciplinar com o Geoprocessamento, que através de técnicas matemáticas e computacionais, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), faz a análise dos dados espaciais (Câmara *et al.*, 2001).

No mundo real ocorrem diversos fenômenos na superfície terrestre, para seu estudo em ambiente SIG, é imprescindível definir os mecanismos de análise geográfica e os seus padrões de inter-relação, tais quais relacionados por Dolfus (1991) como:

- Espaciais que analisam os fenômenos em sua topografia e nas relações de localização/proximidade;
- Temáticas que compreendem aspectos e características geográficas em determinada área de conhecimento (por exemplo, formações geológicas, unidades geomorfológicas, tipologias climáticas e outras) correspondendo a uma totalidade inter-relacionada;
- Temporais que se preocupam com a dinâmica dos ambientes, representados por eventos cíclicos ou transformações ao longo de uma série histórica;
- Topológicas que são relacionamentos espaciais próprios de sistemas computacionais, referindo-se à adjacência, pertinência, e interseção de objetos geográficos invariantes a rotação, translação e escala.

O termo SIG se refere ao tratamento computacional para dados geográficos, permitindo realizar análises completas (armazenamento, consultas e edições), integração de diversas fontes e gerenciamento por banco de dados com dualidade alfanumérica (relacional) e geométrica (Burrough, 1986; Smith *et al.*, 1987; Dantas & Fernandez, 2004).

De modo conceitual, a modelagem de dados geográficos em SIG da realidade terrestre para o ambiente computacional segue as seguintes abordagens: (i) Nível do Mundo Real – contém os elementos da realidade geográfica a serem modelados; (ii) Nível Conceitual – comporta as ferramentas de modelagem dos dados, determinando quais classes serão criadas no

Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD); (iii) Nível de Representação – associa os dados geográficos identificados no nível conceitual às classes de representações, que variam conforme a escala, projeção e data de aquisição dos dados; (iv) Nível de Implementação – define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar as diferentes representações (Câmara *et al.*, 2001).

A principal funcionalidade de um SIG está na capacidade de relacionar registros tabulares em consórcio com formas geométricas na superfície terrestre como linhas, pontos, polígonos e matrizes. Harvey (2008) descreve a composição dos sistemas básicos de um SIG:

- Entrada de Dados que é composto por produtos de sensoriamento remoto tratados por PDI, digitalização de mapas, dados de GPS, dados tabulares (planilhas eletrônicas) e dados estatísticos;
- Armazenamento de Dados que agrega informações espaciais (mapas digitais) e atributos (alfanuméricos) no SGBD;
- Análise de Dados que compreende análises espaciais, funções estatísticas, manipulação do SGBD (consultas, seleções e junções);
- Saída de Dados que objetiva a exibição cartográfica (saída de mapas para a tela, impressora, plotter e arquivos digitais).

O banco de dados é um dos principais componentes de um SIG, isto pela capacidade armazenamento de dados em formato de estruturas usadas em computador. Dentre as possibilidades de bancos de dados existentes, o relacional trás consigo a vantagem em representações cartográficas, contribuindo para a integridade topológica dos dados e hábil capacidade de consultas alfanuméricas através do uso da linguagem *Structured Query Language* – SQL. Além destas vantagens, é possível definir em bancos relacionais diferentes visualizações do mesmo dado (*views*) em diferentes tabelas do banco de dados resultante das consultas implementadas (Times & Salgado, 1997).

O *geodatabase* possui algumas facetas que aprimoram a tecnologia de banco de dados por: (1) representar dados geográficos em quatro manifestações (objetos discretos, fenômenos contínuos, superfícies e referência para locais); (2) possuir uma estrutura para definir e administrar conjunto de dados de sistemas de coordenadas espaciais e armazenar *shapes* promovendo operações espaciais; (3) poder definir relações gerais e arbitrárias entre objetos e características; (3) e poder promover ligações naturais de tabelas para características armazenadas

(Zeiler, 1999). O *personal geodatabase* é implementado como um *Microsoft Access database*, sendo construído no aplicativo ArcGis – ArcInfo e apropriado para projetos SIG (ESRI, 2006).

Dentre as possibilidades de interoperabilidade de dados e aplicações de geoprocessamento, é comum a utilização de modelo conceitual de Geo-Campos. Ele é caracterizado por ter variáveis distribuídas espacialmente em todos os pontos de uma determinada área geográfica para um certo instante (Tomlin⁵, 1990 *apud* Câmara *et al.*, 2001).

A Álgebra de Mapas é o conjunto robusto de ferramentas de análise espacial própria a aplicações de Geo-Campos. Berry⁶ (1993) *apud* Sales (2005) descreve a Álgebra de Mapas como uma extensão da álgebra tradicional, de modo que as variáveis contempladas são campos geográficos com atributos passíveis às operações e solução algébrica. Funcionalmente, a Álgebra de Mapas é implementada por uma linguagem que através de uma sintaxe são declaradas variáveis e regras, construindo-se blocos utilizados individualmente ou em conjunto para a solução do problema (ESRI, 2008).

As operações de modelagem espacial para Geo-Campos compreendem: Operações Pontuais, Operações de Vizinhança e Operações Zonais.

As Operações Pontuais são análises em Geo-Campo que os operadores consideram apenas um atributo de entrada e sua localização correspondente para a geração de um novo Geo-Campo. São destacáveis a estas análises: (i) a Ponderação objetiva uma conversão dos atributos temáticos para um equivalente numérico; (ii) o Fatiamento pressupõe também uma conversão, de atributos numéricos (intervalo quantitativo) para uma determinada classe (alfanumérica); (iii) os Operadores Booleanos são funções lógicas aplicadas a diversos planos de informação permitindo interseções associadas aos critérios combinados com consistência topológica; (iv) e Operações Matemáticas são expressões entre os planos de informação cuja a informação de atributos (campo numérico) é submetido a uma equação aritmética, logarítmica, trigonométrica e outras (Câmara *et al.*, 2001).

As Operações de Vizinhança correspondem ao cômputo de um Geo-Campo de saída em função da informação de entorno (dimensão, forma e atributo) de cada localização do Geo-

⁵ Tomlin, C. D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

⁶ Berry, J. K., 1993. *Cartographic Modeling: the analytical Capabilities of GIS*. In: Goodchild, M.; Parks, B. O.; Steyaert, L. T. (eds.). *Environmental modeling with GIS*. Oxford: Oxford University Press, 58-74 p.

Campo de entrada. Destacam-se os valores de estatística descritiva da vizinhança (filtros) e métodos de interpolação (Ruhoff, 2004).

Os Operadores Zonais realizam análises sobre regiões geográficas específicas em um Geo-Campo, e define restrições por parte de outro Geo-Campo. As principais aplicações de operações zonais permitem materializar conceitos de unidades resgatando dados de diferentes fontes temáticas e inter-relacionando suas características (Ruhoff, *op. cit.*)

4.4 GEOMORFOLOGIA E AMBIENTES COSTEIROS

A Geomorfologia estuda a expressão espacial da superfície, configurada por ações regulares e contínuas, incluindo-se as formas e processos que interagem para compor o aspecto visual da paisagem atual (Cristofolletti, 1980). As formas de relevo recentes, compreendidas em grande parte no Terciário Superior (menores que 23 milhões de anos) e Quaternário (1,8 milhões de anos ao recente), são resultantes da interação entre forças exógenas e endógenas, que procuram estabilidade entre processos e formas, estes variando e em escala temporal e espacial (Guerra & Cunha, 1994).

Os eventos físicos formadores da superfície terrestre são produtos dinâmicos de atividades tectônicas, estruturais, biológicas (ecossistemas) e climáticas (ação da água, ventos, temperatura). O relevo atual, conjuntamente com suas tipologias de rochas, respondem ao efeito: (i) dos sistemas tectônicos, responsáveis por rearranjos inter e intraplacas (por exemplo, soerguimentos, neotectônica, orogenias); e, (ii) dos processos denudacionais, conjunto de agentes naturais (por exemplo, água, temperatura e gravidade) responsáveis pelo arrasamento em superfície de formas elevadas e consequente aplainamento dos relevos (Guerra & Cunha, 1996).

O principal processo de desintegração do embasamento rochoso (relevo de degradação) é ocasionado pelo intemperismo, que é uma alteração física, química e biológica na constituição de rochas em superfície. Os constituintes de rochas alteradas (materiais inconsolidados e intemperizados) através da erosão (evento mecânico de remoção posterior ao intemperismo) e deposição contribuem para a formação dos solos (Guerra & Cunha, 1994).

Objetivando estudar os elementos físicos naturais que compõe a paisagem terrestre em sua geometria, gênese e idade, se faz necessário uma ampla abordagem do ambiente, adquirindo entradas dos sistemas climáticos, biogeográficos, geológicos e antrópicos (Ross, 2003). Em consonância com os eventos naturais, a interferência humana tem contribuído para modificações

significativas no quadro paisagístico dos ambientes terrestres, por conta da intensa relação entre modelo de desenvolvimento humano e os recursos ambientais requeridos para sua manutenção.

O modelo de ocupação territorial da Amazônia ocorreu em função da necessidade de se proteger terras de colonização portuguesa e pela implementação de diversas atividades de exploração de recursos naturais como: drogas do sertão; ciclo da borracha; e, extração madeireira e mineral (Mendonça *et al.*, 2004). No século XX, em especial na década de 1970, houve mudanças significativas na fronteira econômica e demográfica da Amazônia, sobretudo na depredação dos recursos naturais em consequência de incentivos fiscais e migração generalizada, além da construção de estradas e atividades de usos do solo intenso como madeiras, pecuária e soja (Becker, 2008).

A Zona Costeira Amazônica no Brasil está inserida nos estados do Amapá, Pará e Maranhão. Somente as populações metropolitanas destes estados correspondem a 2,8 milhões de pessoas, e é perceptível nestas áreas costeiras o incremento demográfico, a ocupação desordenada e problemas socioambientais acarretando em áreas de risco, desmatamento, sobre pesca, contaminação do lençol freático, contaminação dos rios e estuários e outros (Pereira, 2007). Estudos de monitoramento ambiental como Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) do INPE e Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) do IMAZON constata que a região costeira amazônica concentra áreas de intensa pressão humana com processo de desflorestamento consolidado, concomitantemente existem áreas não-florestais, aluviais e manguezais mais preservadas, e por vezes habitadas por populações tradicionais (Barreto *et al.*, 2005; PRODES, 2009).

Os eventos pretéritos e atuais mostram algumas consequências da intervenção antrópica na paisagem amazônica, onde os processos naturais, antes preponderantes, somaram-se à expansão urbana e suas atividades socioeconômicas. Daí a necessidade de estudos sistêmicos para o meio físico atual, contemplando vasta gama de variáveis e processos. Para a construção da base conceitual se recorre à geomorfologia e seu objeto paisagem.

4.4.1 Unidades de Paisagem

Os estudos paisagísticos possuem inúmeras abordagens e diferentes níveis de complexidade para sua aplicabilidade. A preocupação com a temática é antiga e está vinculada à

dimensão de percepção, envolvendo o cenário observado e capacidade sensorial do observador (Santos, 1996).

Analisando etimologicamente os termos paisagem (origem latina) e *landscape* (origem germânica), observa-se um entendimento semelhante e complementar para os componentes das palavras, os quais as raízes *pais* e *land* são similares (se referem à “região”, “terra” e “território”), e uma diferenciação para os sufixos *agem* (coleção, classes, ação ou resultado de ação) e *cape* (cobertura, o que cobre, descrição e o que descreve). De toda forma, os significados correspondem a uma área geográfica e suas descrições estáticas e dinâmicas inter-relacionadas (Martins *et al.*, 2002).

A base conceitual de paisagem envolve as ciências Geografia e Ecologia e teve suas principais colaborações das escolas Alemã, Russa e Francesa, destacam-se as proposições de Ecologia da Paisagem de Troll (1971), Geossistemas de Sotchava (1977), Ecodinâmica de Tricart (1977), e Paisagem e Geografia Física Global de Bertrand (1971).

Para Metzger (2001), o ponto de partida da Ecologia da Paisagem está próximo ao dos estudos de ecossistemas, e ocorre nas inter-relações da biota (incluindo os seres humanos) e o ambiente como um todo. Deste princípio ecológico, o biogeógrafo Carl Troll agrega a concepção de espacialidade, onde a paisagem é a entidade visual e espacial total da região vivido pelo homem, conseqüentemente um produto heterogêneo e, portanto, seu estudo se preocupa em identificar e entender as heterogeneidades espaciais em sua estrutura, função e dinâmica.

Diferenciando-se do caráter estritamente biológico de estudos de ecossistemas, Sotchava propôs o conceito de geossistema, derivado da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy⁷, esta ideia veio a facilitar e incentivar estudos integrados de paisagens. Sotchava⁸ (1977) *apud* Nascimento & Sampaio (2005) definiu geossistemas como uma unidade dinâmica no espaço com organização geográfica própria e capacidade de repartição dos seus componentes, assegurando sua integridade funcional. Segundo o mesmo autor, é destacável o enfoque físico-geográfico nas múltiplas interações e transformações, desde o transporte gravitacional a circulação biogênica.

Em meio às concepções anteriores sobre paisagem, Tricart (*op. cit.*) elaborou uma metodologia para estudos paisagísticos. A proposta metodológica é baseada em estudos de regiões regulares para condições ambientais, faunísticas e florísticas, ou também, parcela de um

⁷ Bertalanffy, L. V. 1973. Teoria Geral dos Sistemas. Tradução Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes.

⁸ Sotchava, V.B. 1977. O estudo de geossistemas. *Métodos em Questão*, (16): 1-52.

habitat discernido geograficamente (ecótopo). Tricart (1977) utilizou o termo Ecodinâmica para abordagens relacionadas com os ecossistemas e suas respectivas relações espaciais, e nestes incluem-se a dinâmica dos fluxos de matéria e energia com as comunidades biológicas e suas relações mútuas (biota) (Medeiros, 1999). Tricart (1977) também contribuiu para a classificação taxonômica dos ambientes, partindo do princípio de que a paisagem natural apresenta diferentes categorias morfodinâmicas, e estas são determinadas em função principalmente dos processos de morfogênese e pedogênese. A morfogênese corresponderia aos processos erosivos ou resistáticos modificadores das formas de relevo, e a pedogênese é relativa aos processos formadores de solo ou bioestasia.

Com uma visão global, Bertrand (1971) focou suas ideias em uma abordagem metodológica, e considerou a paisagem como produto dinâmico, e por consequência instável e mutável, constituído por componentes físicos, biológicos e antrópicos. Este autor deixou claro que para estudos paisagísticos é imprescindível a noção de escala espacial e temporal, e somente desta normalização cabe uma própria classificação dos ambientes, de maneira que a totalidade dos fenômenos geográficos seja representada (ver Tabela 7).

Tabela 7 – Classificação das unidades de paisagem

Unidade De Paisagem	Escala Espaço-Temporal	Exemplos	Relevo	Elementos Fundamentais
Zona	Grandeza I + de 1.000.000 km ²	Intertropical	-	
Domínio	Grandeza II 1.000.000 a 100.000 km ²	Amazônico Tropical Úmido	Domínio Estrutural	Climáticos e Estruturais
Região Natural	Grandeza III-IV 100.000 a 1.000 km ²	Golfão Amazônico	Região Estrutural	
Geossistema	Grandeza IV-V 10 a 1 Km ²	Planície Costeira Amazônica	Unidade Estrutural	
Geofácies	Grandeza VI	Planície Flúvio-Marinha do Rio Paracauari		Biogeográficos e Antrópicos
Geótopo	Grandeza VII	Falésias, Plataforma de Abrasão, Cordão Arenoso, Interflúvio e etc.		

Fonte: adaptado de Bertrand (1971) com referência aos critérios de classificação de fatos geomorfológicos de Cailleux & Tricart (1956).

Nesse novo arcabouço metodológico, Bertrand (1971) definiu seis categorias taxonômicas: Zona, Domínio, Região Natural, Geossistemas, Geofácies e Geótopo. A unidade geossistêmica obteve conotação mais precisa com forte tipologia espaço-temporal, enfocados no diálogo de fatores socioeconômicos e biogeográficos. Estas unidades de paisagem são espaços geográficos com particularidades climáticas, geológicas, geomorfológicas, vegetacionais, de uso da terra e socioeconômicas (Medeiros, 1999).

Bertrand (1971) aprofunda a concepção de geossistema por ser um sistema aberto, não necessariamente homogêneo, ligado a um território e caracterizado por certa morfologia (estruturas espaciais, verticais e horizontais), funcionamento (energia solar, potencial gravitacional, ciclos biogeoquímicos, processos morfogenéticos e pedogenéticos) e comportamento específico (mudanças em uma série temporal), ver Figura 9:

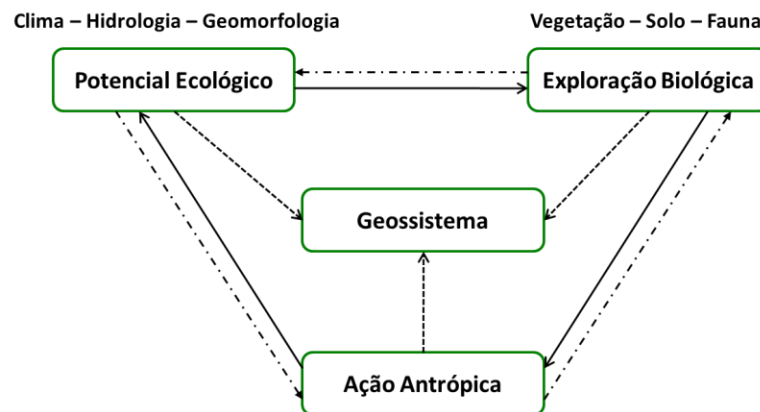


Figura 9 – Concepção Geossistêmica de Bertrand.

De fato, os estudos paisagísticos têm contribuído significativamente na análise ambiental integrada de certas áreas, isto por ter uma base interdisciplinar e sistêmica preocupada com a identificação de componentes nestes espaços e suas interconexões.

Ross (1992) afirma que para a identificação de regiões no espaço geográfico pode-se recorrer a procedimentos metodológico-operacionais do grupo dos *land-systems*. Estes sistemas utilizam como padrões de diferenciação aspectos fisionômicos do terreno (unidades de paisagem ou *land units*) que são correlacionados espacialmente com produtos temáticos analítico-sintéticos. Florenzano (1986), ao analisar sistemas de classificação de terreno, destaca o sistema *land systems approach* desenvolvido pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, na Austrália. Este sistema tem ênfase no ordenamento territorial e se baseia em

análises de fotografias aéreas e imagens de sistemas sensores, compatibilizando uma segmentação da paisagem em três níveis hierárquicos: sítio, unidade de terra, e o sistema de terra.

Ross (1992; 1996) desenvolveu uma metodologia de classificação do relevo como orientação ao planejamento ambiental. Este sistema classifica a paisagem de ordem crescente em uma escala de detalhamento, são 6 níveis taxonômicos e seus critérios são morfoestruturais, morfoesculturais, padrões de formas semelhantes, formas individualizadas, formas de vertentes e fatos localizados (ravinas, voçorocas e outras).

Para Crepani *et al.* (2001) as unidades de paisagem são tratadas como unidades territoriais básicas advindas de uma imagem de sensoriamento remoto âncora e delimitadas por padrões de fotointerpretação (forma, textura, cor, padrão e outros), logo estas são porções do terreno georreferenciados resultantes de eventos e interações visíveis e invisíveis como um elo entre os componentes geográficos e ecológicos.

A análise de unidades de paisagem é significativa por revelar conhecimento do equilíbrio dinâmico de certa região, contrapondo os componentes naturais em seu potencial ecológico para exploração humana de recursos naturais.

4.4.2 Vulnerabilidade à Perda de Solo

O termo “*vulnerare*” derivado do Latim significa a capacidade de sofrer danos e reações adversas (Kates *et al.*, 1985). Dwyer *et al.* (2004) discute o termo vulnerabilidade relacionado ao grau de exposição de um sistema a uma determinada ameaça. E, Castro (1998), entende o termo ameaça como acontecimentos naturais e/ou antrópicos que proporcionam um indício de evento desastroso às pessoas e bens naturais.

Dutrieux *et al.* (2000) em suas pesquisas para UNESCO/IOC considera que os princípios metodológicos para mapeamentos de vulnerabilidade em ambientes costeiros em resposta às atividades humanas são relacionados à sensibilidade ambiental e fatores de risco. A sensibilidade ambiental depende de características intrínsecas e especificidades do ecossistema para resistir à degradação como biodiversidade (riqueza natural biológica) e resiliência (capacidade de resistência ao *stress*). Os fatores de risco estão mais relacionados aos tipos de atividades humanas desenvolvidas em certa área, correlacionando estes riscos às condições socioeconômicas como população, demanda por recursos naturais, crescimento urbano, industrialização e outros (ver Figura 10).

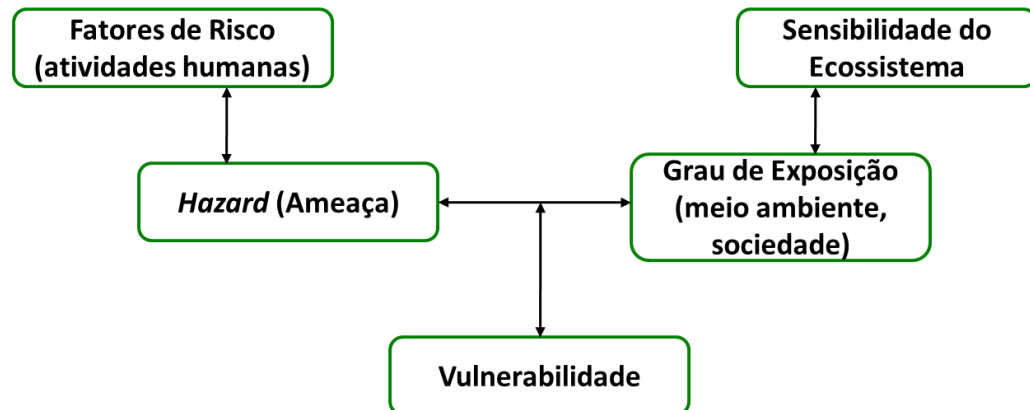


Figura 10 – Esquema mostrando que a vulnerabilidade é resultado da inter-relação entre a ameaça e o grau de exposição do meio ambiente ou da sociedade.

Fonte: adaptado de Dutrieux (2000).

A vulnerabilidade à perda de solos das unidades de paisagem aborda o desequilíbrio natural do meio ambiente, por meio da análise dinâmica e integrada dos componentes da paisagem, como Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Clima e a incluindo também a intervenção antrópica (Palmeira, 2005).

Crepani *et al.* (1996) desenvolveram uma metodologia para a geração de cartas de vulnerabilidade natural da paisagem à perda de solos a partir do conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), baseado nas relações de morfogênese/pedogênese e na potencialidade das imagens Landsat TM, uma vez que permitem uma visão sinótica e holística da paisagem. Visando assim, colaborar na capacitação de técnicos para o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia Legal.

O início deste procedimento compõe a seleção das imagens, posteriormente, por meio da análise visual baseada nas técnicas de fotointerpretação, permitindo a delimitação das Unidades Territoriais Básicas – UTB's (Florenzano, 2008). A etapa seguinte é constituída da relação entre as UTB's e os dados sistemáticos como cobertura e uso da terra, sentido do fluxo dado pelos relevos, condições edáficas, precipitação e materiais de origem (Crepani *et al.*, *op. cit.*, 1998, 2001). O processo para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade à Perda de Solos pode ser visualizado na Figura 11.

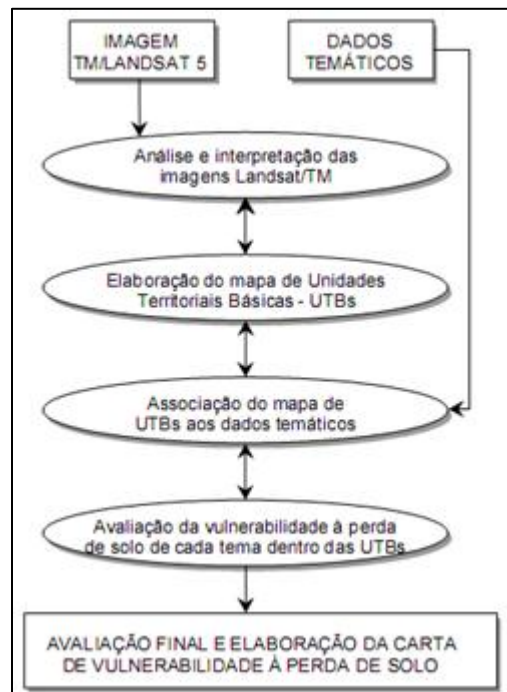


Figura 11 – Procedimento para a elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solo.
Fonte: Pereira (2005).

Posteriormente, para as UTB's analisa-se o valor relativo de vulnerabilidade em vários componentes da paisagem segundo os princípios de Tricart (1977) adaptados por Crepani (1996), como visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores atribuídos a morfodinâmica das unidades.

Unidade	Relação pedogênese/morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1
Intermediária	Equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese	2
Instável	Prevalece a morfogênese	3

Fonte: Crepani *et al.* (1998).

Cada um dos temas integrantes da paisagem varia entre valores de 1 a 3, associado à ideia de estabilidade e instabilidade. A Tabela 9 descreve os parâmetros temáticos analisados para a avaliação da vulnerabilidade natural à perda de solos e a Figura 12 exemplifica o modelo de obtenção destes valores para cada UTB.

Tabela 9 – Parâmetros de avaliação da vulnerabilidade à perda de solo.

Temas	Parâmetros
Geologia	História e evolução do ambiente geológico;
	Tipo de Rocha;
	Grau de coesão entre partículas; Resistência ao intemperismo
Geomorfologia	Declividade;
	Grau de dissecação horizontal; Amplitude altimétrica
Pedologia	Maturidade dos solos
Vegetação	Densidade da cobertura vegetal
Clima	Intensidade pluviométrica

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (1998).

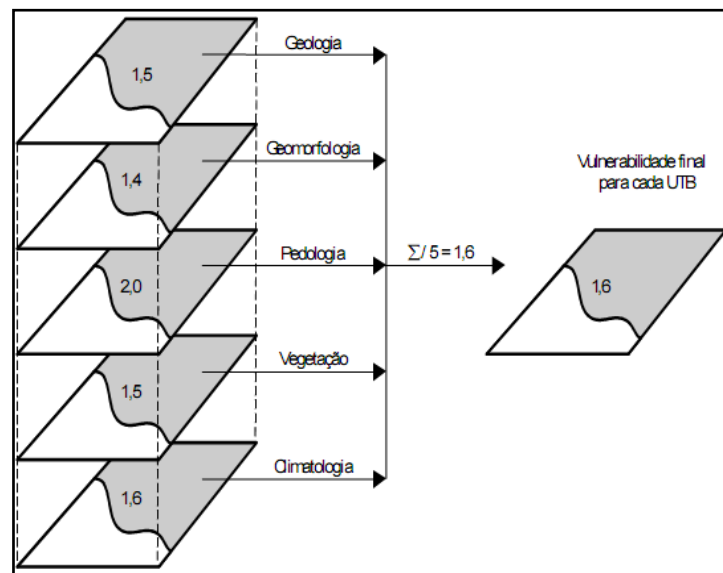


Figura 12 – Modelo de obtenção da vulnerabilidade para as UTB's.

Fonte: Pereira (2005) apud Souza⁹ (1999).

Por fim, o modelo é aplicado para todas as UTB's permitindo obter a vulnerabilidade à perda de solos para uma área, representada de acordo com a Figura 13 e esta contém a combinação de cores no sistema RGB convencionadas por Crepani (1996) para uma melhor visualização da variação da vulnerabilidade das áreas analisadas.

⁹ Souza, C. J. S. 1999. Carta de vulnerabilidade a erosão como subsídio ao zoneamento econômico-ecológico em área intensamente antropizada. São José dos Campos. 172p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto). INPE.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5		255	255	0	
U7	N	2,4		204	255	0	
U8	E	2,3		153	255	0	
U9	R	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1		51	255	0	
U11	B	2,0		0	255	0	
U12	I	1,9		0	255	51	
U13	L	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7		0	255	153	
U15	D	1,6		0	255	204	
U16	A	1,5		0	255	255	
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

Figura 13 – Escala de vulnerabilidade de unidades territoriais a perda do solo.
Fonte: Crepani *et al.* (2001).

4.4.3 Ambientes Costeiros

Os ambientes costeiros perfazem um mosaico de ecossistemas de alta diversidade e relevância ambiental, representado por áreas de transição terrestres e marinhas, portanto muito frágeis às atividades socioeconômicas de impacto como adensamento urbano, atividades predatórias, industrialização e outras. Estudos geomorfológicos específicos são imprescindíveis para caracterização física destes ambientes, possibilitando reconhecer na paisagem costeira áreas mais susceptíveis ou resistentes às ameaças naturais e antrópicas.

O estudo geomorfológico costeiro tem obtido significativos resultados com a utilização de dados de sistemas de sensores para monitorar e diagnosticar impactos ambientais em escala decadal para zona costeira amazônica, isto pela capacidade de investigação da dinâmica da paisagem (por exemplo, Souza Filho, 2000; Gonçalves, 2005; Sales, 2005), reconhecimento espectral de alvos (por exemplo, Guimarães, 2007; Queiroz, 2009), mensuração espacial de sistemas erosivos e deposicionais (por exemplo, França, 2003; Souza Filho, 2003; 2006; Batista *et al.*, 2007).

É imprescindível para estudos de ambientes costeiros, no entendimento da geomorfologia, identificar espacialmente a zona costeira e seus componentes específicos, considerando aspectos do meio físico, seus processos dominantes, formas características e sua evolução geológica.

A zona costeira é um ambiente transicional extremamente dinâmico, caracterizando-se pela integração de sistemas fluviais, estuarinos, praias e oceanográficos, onde os processos continentais, marinhos e atmosféricos convergem para uma mesma área (Prost & Mendes, 2001).

A zona costeira tem seu limite espacial correspondendo à extensão dos processos costeiros durante o período geológico do Quaternário, neste período o nível do mar flutuou por consequência dos ciclos de expansão e contração das calotas polares (Masselink & Hughes, 2003). Logo o arcabouço geológico para atual linha de costa se configurou nos últimos 21.500 anos (Suguio, 1999).

Com a intenção de implementar o uso sustentável dos recursos costeiros, bem como o planejamento integrado visando o ordenamento dos espaços litorâneos, o governo federal brasileiro instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Este foi normatizado pela Lei 7.661 de 16/05/1988, o qual obteve detalhamentos e melhorias com a resolução nº 01/90 da Comissão Interministerial dos Recursos do Mar (CIRM), aprovada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). O PNGC considera a delimitação da zona costeira como a faixa de 12 milhas marítimas em direção do mar a partir da linha de base convencionalizada no acordo das Nações Unidas sobre Direitos do Mar, e os municípios que na faixa terrestre apresentam influência da zona costeira (BRASIL, 1988).

Os municípios de Belém, Soure e Salvaterra, áreas de estudo desta dissertação, estão inclusos, em anexo do PNGC como municípios pertencentes à zona costeira, por critérios mais socioeconômicos do que físicos. Entretanto, estes municípios têm em comum o sistema flúvio-marinho da Baía de Marajó que banha os mesmos. A Baía do Marajó se apresenta como um sistema estuarino entre as confluências do Rio Pará e Rio Tocantins e o Oceano Atlântico necessitando de uma maior compreensão de sua dinâmica.

O ambiente costeiro denominado estuário é definido por Darymple *et al.* (1992) como a porção do mar formada por um sistema de vales afogados que recebem sedimentos de origem marinha e fluvial com fácies influenciada por processos de maré, onda e fluviais. Os estuários modernos se desenvolveram a partir do último período pós-glacial, no qual os vales fluviais foram afogados pela transgressão marinha. O nível do mar atual se estabilizou cerca de 6.000 anos antes do presente (Masselink & Hughes, 2003).

Os estuários são ambientes de transição entre o oceano e o continente, extremamente dinâmicos pela atuação de forçantes naturais. São bastante frequentes na desembocadura de rios

no momento que encontram o mar, assim chamada de foz litorânea (Pond & Pickard, 1992). Por estarem vinculados aos intensos processos de movimento e mistura de massas d'água, envolvendo água doce, salgada, sedimentos em suspensão e nutrientes, tornam-se áreas de significativa valia para a biodiversidade.

As taxas de sedimentos para o fornecimento do estuário, ao contrário dos deltas, são inferiores a sua capacidade de retrabalhamento. A formação do ambiente estuarino envolve o processo de afogamento ou inundação de vales fluviais, em referência ao aumento relativo do nível do mar. As águas destes ambientes são de salinidade mista (salobra), na sua porção central e basicamente se classificam em dominados por onda ou maré (Rosseti, 2008). As fontes de sedimento do estuário são continentais com influência fluvial e marinhos influenciados por ondas e marés com uma tendência de fluxo de transporte continente à dentro, apresentado costas embaixadas (Florenzano, 2008).

Os processos de regime de energia, os processos fluviais, tipo de sedimento e morfologia são mais atuantes na zona interior (cabeceira do estuário). Em direção ao estuário externo, os processos marinhos são mais presentes, sobretudo na entrada do estuário e diminuem em direção da zona interior (Muehe, 1996).

Outra referência que marca eventos dinâmicos em um ambiente costeiro é sua linha de costa. Ela é caracterizada por uma interseção do nível de mar com o continente. Supondo uma elevação do nível do mar, a linha de costa em resposta se desloca continente à dentro, enquanto que durante a descida do nível do mar, a linha de costa é deslocada para o mar (Masselink & Hughes, *op. cit.*). De maneira simplificada o nível do mar implica diretamente nas feições costeiras resultantes, colaborando para eventos retrogradantes ou progradacionais.

Os níveis de mar, e conseqüentemente as linhas de costa, quando considerados na escala de tempo geológica, possuem mudanças mais frequentes causadas por variações reais dos níveis de oceanos e continentes, conhecidas por:

- Movimentos Eustáticos que se caracterizam por flutuações nos volume das bacias e águas oceânicas (função dos ciclos de radiação solar incidente, clima terrestre e dos períodos glaciais e interglaciais);
- Movimentos Isostáticos que se caracterizam por uma condição de equilíbrio de massas litosféricas sobre a astenosfera (por exemplo, movimentos tectônicos

horizontais/verticais e deformações superficiais de sobrecargas por retirada ou deposição resultando em expansão/retração crustal (Suguio, 1999).

Na escala de tempo instantânea à eventual, mudanças frequentes deslocam a linha de costa por conta da força gravitacional exercida entre Terra, Lua e Sol provocando as marés, correntes litorâneas, ondas e ventos, assim como eventos climáticos de curto período que ocasionam tempestades, variações na descarga fluvial de rios adjacentes e ciclos como *El Niño* e *La Niña* (Rosseti, 2008). Estas forçantes climáticas e oceanográficas condicionam as mudanças morfológicas nos ambientes costeiros. Em síntese a linha de costa pode estar em processo de erosão ou acreção costeira, e estes são relacionados à retirada e deposição de sedimentos causados pela variação do nível do mar, variações no suprimento de sedimentos (plataforma continental e descarga fluvial adjacente), modificações no regime de energias das ondas, ou resposta morfodinâmica às atividades antrópicas (Muehe, 1996).

Além da alta dinamicidade, os ambientes estuarinos sofrem à ação antrópica por inúmeros interesses, principalmente no que se refere a sua localização geográfica, bem como a construção de vias de acesso, portos, assentamentos urbanos e implementação de diversas atividades socioeconômicas (Pond & Pickard, 1992).

Estudos aplicados à zona costeira amazônica contribuem maciçamente para a compreensão deste complexo ambiente. Entretanto, a ausência de informações, coleta de dados incipiente, monitoramento e atualização de instrumentos e mecanismos de investigação impossibilitam um avanço consistente das pesquisas e o retorno deste conhecimento na forma de melhorias em aspectos socioeconômicos e ambientais.

4.5 GERENCIAMENTO INTEGRADO EM ZONAS COSTEIRAS

O homem tem no seu processo histórico-civilizatório a predominância da ocupação de áreas costeiras, atualmente segundo Gruber *et al.* (2003) estimam-se que para o século XXI 80% das atividades humanas serão concentradas nesta áreas. Na zona costeira vivem cerca de 2/3 da população mundial e para esta porcentagem tem-se uma expectativa de incremento para 75% no ano de 2020. (UNEP¹⁰, 1992; Hanson & Lindh¹¹, 1993 apud Nwilo, 2001).

¹⁰UNEP. 1992. The World Environment 1972 - 1992, *edited by Tolba, M.K. and El-Kholy O.A.*, (London: Chapman & Hall).

¹¹ Hanson, H. & Lindh, G. 1993. Coastal Erosion - An Escalating Environmental Threat. *Ambio*, 22, (1), pp. 189-195.

As zonas costeiras possuem grande atrativo comercial, industrial e turístico. Por esta razão, o desgaste dos recursos naturais é evidenciado em vários aspectos, como o aumento da população urbana e industrial (face ao aglomerado populacional), pesca predatória, exploração maciça de recursos minerais, entre outros problemas igualmente relevantes (Asmus *et al.*, 2006).

No Brasil a ocupação territorial não foi diferente, atualmente a integridade ecológica da costa brasileira está pressionada pelos grandes centros urbanos (mais da metade da população vive nestas áreas) e, conseqüentemente, pela poluição, pela especulação imobiliária e pelo enorme fluxo de turistas (WWF, 2009).

Em face às demandas e pressões que ocorrem no bioma costeiro à alternativa política e administrativa de maior êxito é o gerenciamento costeiro integrado. Esta é uma atividade baseada em ciência e tecnologia, demandando um conhecimento que surge de sua aplicação prática e de um desenvolvimento conceitual e metodológico crítico que pode ser construído em instituições de pesquisa brasileiras (Asmus *et al.*, *op. cit.*).

O gerenciamento costeiro integrado surgiu da necessidade de se administrar os recursos naturais da zona costeira de forma sustentável. Podendo ser definido como fruto do trabalho coletivo, e se refere a qualquer programa governamental com o propósito de utilizar ou conservar um recurso costeiro, ou um ambiente específico ali localizado. De forma mais ampla, é entendido de modo a incluir todos os tipos de instituições governamentais, bem como a sociedade. O uso do termo implica que uma unidade governamental administre o programa, e distingue a região costeira como uma unidade geográfica aparte entre o domínio do oceano e o domínio terrestre. Os recursos, e os ambientes que são gerenciados definirão, portanto, uma extensão geográfica da área costeira (SORENSEN¹², 1990 *apud* Polette & Silva, 2000).

Os principais objetivos do gerenciamento costeiro integrado são (1) preservar e proteger a produtividade e a biodiversidade dos ecossistemas costeiros, prevenindo a destruição de habitats, poluição e sobre-exploração; (2) reforçar a gestão integrada através de treinamento, legislação e formação de pessoal; e, (3) promover o desenvolvimento racional e sustentável dos recursos costeiros (ASMUS *et al.*, *op. cit.*).

Para atingir estes objetivos existem alguns instrumentos de planejamento e gestão como os Planos de Gestão da Zona Costeira – PGZC; o Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro –

¹² Sorensen, J. 1990. Coasts institutional arrangement for managing coastal resources and Environment. Coastal Management Publication N.1. National Park Service. 194p.

ZEEC; o Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro – SIGERCO; o Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira – SMA-ZC; o Relatório da Qualidade Ambiental da Zona Costeira – RQA-ZC; o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro – PEGC e; o Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro – PMGC.

Outra condição importante para atingir os objetivos da gestão costeira é a interação e o estabelecimento de parcerias entre os órgãos de gestão e instituições de produção de conhecimento como as universidades e institutos de pesquisa. (Belfiore, 2002).

Um grande exemplo entre parcerias deste tipo na zona costeira norte do Brasil foi o Projeto PIATAM mar I que estabeleceu a parceria entre a Petrobras e instituições de ensino e pesquisa na Amazônia como a UFPA, objetivando estruturar e consolidar, em meio digital, informações ambientais disponíveis na área de influência do transporte de petróleo e derivados na zona costeira amazônica, de modo a efetuar a análise integrada desse acervo. Possibilitando através desta análise a confecção de mapas de sensibilidade adequados ao litoral amazônico, além da geração de bases conceituais para o monitoramento das atividades da Petrobras na Amazônia Oriental, visando à redução de danos à natureza e à sociedade provocados por eventuais acidentes com derramamento de óleo como exposto por Cunha *et al.*, (2004) na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004*.

A prática efetiva do planejamento e gerenciamento costeiro necessita da compreensão da conectividade entre os ambientes naturais e antrópicos. Aspectos chaves inclusos nesta compreensão estão nos temas:

- i. Biológico: Este inclui tipos e tamanhos de ecossistemas, produtividade primária, diversidade de espécies e, nichos e o ciclo de vida das espécies;
- ii. Físico: Este inclui a topografia, geologia, geomorfologia, temperatura, salinidade, nutrientes, marés, nível do mar e correntes marinhas, meteorologia, distribuição e tipos de sedimento, inundações e erosões/acreções;
- iii. Socioeconômico: Este inclui o crescimento e a distribuição da população humana, atividades econômicas e o uso da terra;

iv. Legal e Institucional: Sistemas de regulação de terras, manejo de recursos, leis e regulamentações relevantes, agências responsáveis e fomentadoras de recursos financeiros e humanos (Borrego¹³, 1994 apud Nwilo, 2001).

Cabe destacar como afirmam Pereira *et al.* (2009) que o conhecimento científico em relação aos processos costeiros naturais, sociais e de gestão de costas ao longo da zona costeira amazônica brasileira ainda são escassos. Intensificando esta problemática, nos estados do Pará e Maranhão os setores públicos responsáveis pela gestão costeira não estão atuando de forma satisfatória e este fato vem afetando o funcionamento dos Programas Estaduais de Gerenciamento Costeiro, projetos ORLA e ainda na inserção efetiva dos Planos Diretores Municipais.

Como afirma Szlafsztein (2009) o Estado do Pará tem mostrado um escasso a quase nulo sucesso na implementação do Programa Estadual de Gerenciamento da Zona Costeira – GERCO/PA, justificando-se no pobre suporte da sociedade e das comunidades locais, a falta de coordenação institucional e a carência de disponibilidade de informações e recursos financeiros. Outros fatores que obstruem o desenvolvimento do GERCO/PA são as indefinições existentes a respeito dos limites da zona costeira; dos conceitos de gerenciamento costeiro a serem implementados; dos atores responsáveis pelo gerenciamento costeiro e; a falta de interesse governamental pela região.

Algumas medidas para minimizar o insucesso da implementação do GERCO/PA propostas por Szlafsztein (2009) constituem na aceitação unicamente dos limites municipais definidos na legislação vigente; definição de um horizonte temporal maior para o gerenciamento das atividades costeiras no Pará; e elaboração de produtos concretos e de alta aplicabilidade e visibilidade por parte da sociedade e dos tomadores de decisão.

¹³ Borrego, C. 1994. Sustainable Development of Coastal Environment: Why is it Important? *In: Littoral 94, edited by de Cavellio, S. and Gomes, V.*, pp 11-23.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

Os materiais utilizados são: (i) dados matriciais correspondentes às imagens multiespectrais Landsat 5 TM e 7 ETM⁺, e o Modelo Digital de Elevação SRTM; (ii) dados vetoriais de bases cartográficas digitais de instituições pesquisadas, tais como SIPAM e IBGE; (iii) dados tabulares de precipitação fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA); e (iv) coordenadas planas (E e N) de 190 pontos de GPS de navegação e coordenadas (x, y e z) de 63 pontos de DGPS coletados em campo.

A imagem Landsat 5 TM foi a principal fonte de informação temática nesta pesquisa, sendo obtida livremente através dos sites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. A Landsat 7 ETM⁺ com a função de ser utilizada como referência geométrica foi adquirida por meio da Universidade de *Maryland*, no endereço eletrônico <http://glcf.umiacs.umd.edu/> da *Global Land Cover Facility* – GLCF. Os dados de elevação do terreno foram obtidos da missão SRTM, disponíveis no site da NASA em <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> e contribuíram para o processamento das imagens Landsat e obtenção de derivadas geomorfométricas (ver Tabela 10).

Tabela 10 – Relação de dados matriciais de entrada utilizados.

Dado Matricial	Cena	Data da Imagem	Horário de Aquisição	Fonte
Landsat 5 TM	223/061	13/07/2008	10h 9 min	INPE
Landsat 7 ETM⁺	223/061	03/08/2001*	10h 7 min	USGS
SRTM	s01w049; s02w049; s01w50; s02w50	Fev/2000	-	NASA

A base cartográfica utilizada é a referente ao SIPAM/IBGE (2004). Esta é composta de dados temáticos como geologia, geomorfologia, pedologia, planimétricos (localidades, estradas, sedes e limites políticos) e altimétricos (pontos cotados e curvas de nível). Estes dados se encontram em escala original de 1:250.000 no sistema de coordenadas geográficas com referência ao Datum SAD-69 e projeção de Albers.

Os dados de precipitação e dias de ocorrência de chuva por mês foram pesquisados para as estações pluviométricas situadas na área de estudo e acessados pela plataforma HIDROWEB da ANA no endereço eletrônico <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Os pontos de campo foram rastreados por um receptor GARMIN GPSMAP 76. Os diferentes ambientes encontrados foram amostrados e procuraram-se alvos significativos para a campanha de campo, esta ocorreu nos dias 07 e 09 de Novembro de 2008, mapeando a Ilha de Mosqueiro, e posteriormente, de 07 à 10 de Dezembro de 2008 percorrendo as áreas de Salvaterra e Soure na Ilha de Marajó.

Com relação aos aplicativos, esta pesquisa teve apoio material e laboratorial do SIPAM e do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) inserido no Instituto de Geociências da UFPA (ver Tabela 11).

Tabela 11 – Relação de aplicativos utilizados.

Aplicativos	Plataformas	Desenvolvedor
ENVI 4.7	- ENVI - ENVI Zoom	ITT Visual Information Solutions
PCI Geomatica 10.0.3	- Geomatica Focus - OrthoEngine	PCI Geomatics
ArcGis 9.3	- ArcInfo (Survey Analyst, Spatial Analyst)	Environmental Systems Research Institute
ASHTECH	-	Ashtech Tehnology

A base de dados geográfica elaborada foi projetada para o sistema de coordenadas planas com referência do Datum WGS-84 e projeção UTM, hemisfério Sul e zona 22 (meridiano central 51° w Gr).

5.2 MÉTODOS

Com o objetivo de gerar produtos descritivos do meio físico das margens da Baía de Marajó no Estado do Pará, foram abordados três elementos da paisagem: (1) O mapeamento do Uso e Cobertura da Terra, adaptando as abordagens de Watrin *et al.* (1996), Venturieri (1998), Azevedo *et al.* (2000), Lima *et al.* (2005) e Sales (2005); (2) a elaboração de mapas morfológicos e geomorfométricos por meio da compilação e adaptação dos autores Bermeguy (1997, 2001), França & Souza Filho (2006), França *et al.* (2007), Gonçalves & Souza Filho (2005), Silva (1975), Borges & Angélica (1986) e RADAMBRASIL (1973-1987); e (3) elaboração de carta síntese de vulnerabilidade à perda de solo para unidades de paisagem, baseado nos autores Bertrand (1971), Tricart (1977) e Crepani *et al.* (1996; 2001).

Os procedimentos realizados para tratar os dados matriciais, vetoriais e tabulares desta pesquisa estão organizados no fluxograma abaixo (Figura 14).

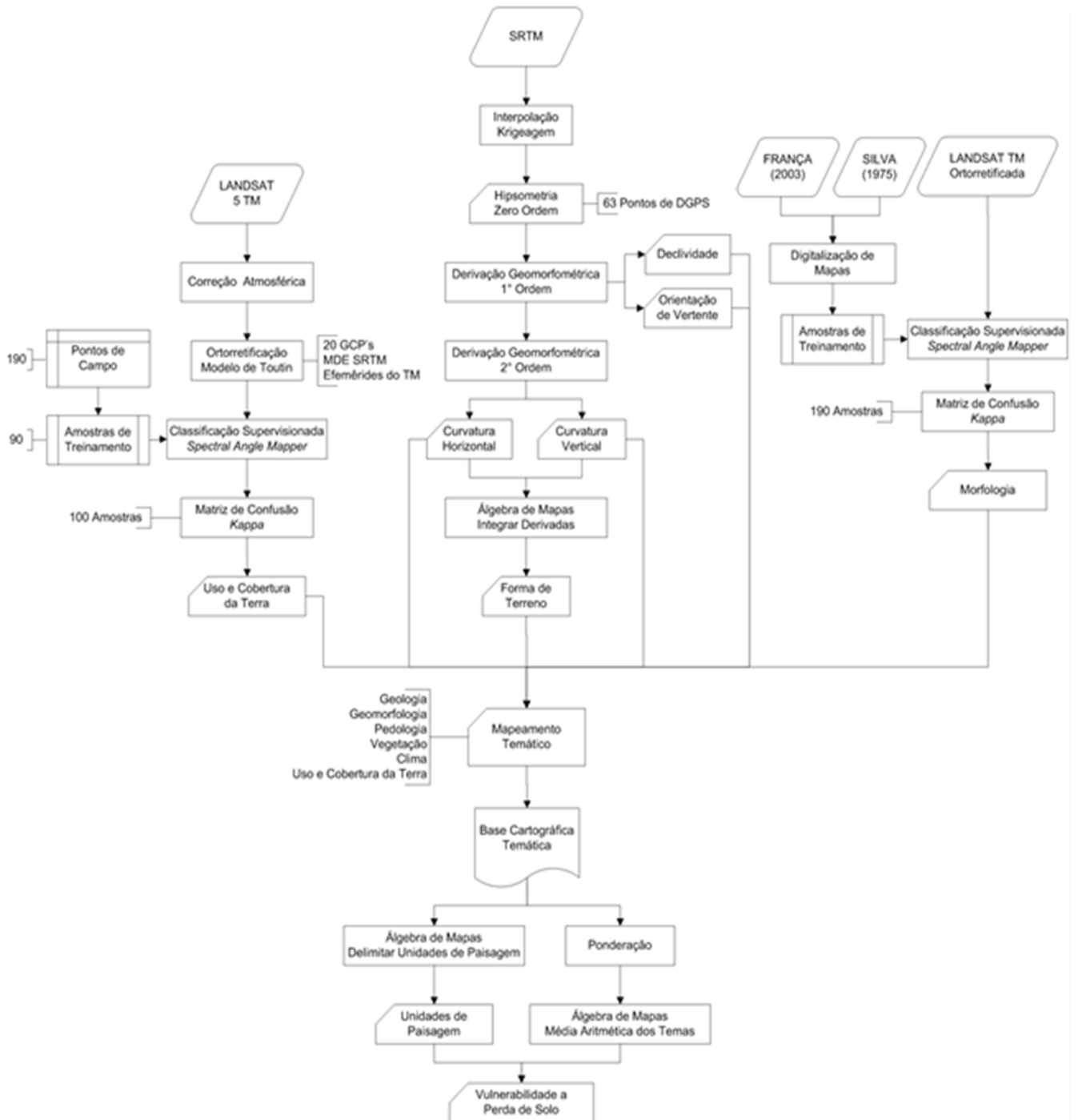


Figura 14 – Fluxograma da pesquisa.

5.2.1 Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra

Dados de Uso e Cobertura da Terra demonstram a pressão antrópica exercida em ambientes naturais, o qual cada ambiente possui sua paisagem atual em função da interação dinâmica dos fatores físicos e bióticos. Para cada unidade de paisagem a intervenção humana causa um impacto, maior ou menor de acordo com a resistência e resiliência do ambiente (Crepani *et al.*, 2001).

A primeira atividade impactante a ser investigada é a remoção da cobertura vegetal, que consiste na retirada de matéria orgânica por exploração seletiva, desflorestamento e queimadas. Deste modo o equilíbrio dinâmico daquele ambiente é alterado e tem consequências nos processos que deverão atuar naquele substrato exposto. Buscou-se de mesmo modo, perceber áreas de uso da terra com fins consolidados como áreas de pecuária, agricultura e ocupação humana.

Para tanto, esta pesquisa se baseou em dados do sensor Landsat 5 TM para área de estudo no ano de 2008. E, partiu-se para confecção do mapa temático de Uso e Cobertura da Terra aplicando técnicas de PDI, especificamente com classificador supervisionado SAM, dependendo de alto conhecimento de campo e amostras homogêneas.

5.2.1.1 Correção Atmosférica de Imagens Landsat 5 TM

Para corrigir os efeitos de retroespalhamento e absorção de gases e aerossóis da atmosfera sobre as imagens Landsat, aplicou-se o método de subtração do pixel escuro de Chavez (1988). Foi necessário consultar o histograma de cada banda multiespectral para avaliar os valores radiométricos adicionados às imagens por efeito atmosférico.

Song & Curtise (2001) estudou o método de subtração do pixel escuro em imagens Landsat TM e concluiu que os fatores mais significativos a eficácia da técnica estão relacionados à transmitância e ângulo zenital solar, e a partir do infravermelho próximo a influência de uma camada atmosférica de 23 km às médias latitudes é invariante com transmitância de 100%.

Portanto, optou-se para a área de estudo aplicar a subtração de pixel escuro apenas nas bandas do visível e infravermelho próximo, com o cuidado de coletar níveis digitais anteriores a inflexão da primeira curva modal, pois se trata de uma avaliação empírica com a possibilidade de ocorrer superestimativas (ver Tabela 12).

Tabela 12 – Relação das bandas espectrais e os DN's de pixels escuros subtraídos.

Landsat 5 TM 223/061 de 13/07/2008	DN
Azul	48,00
Verde	19,00
Vermelho	13,00
Infravermelho Próximo	7,00

A imagem tem significativa mudança na resposta espectral dos alvos em função da remoção dos valores radiométricos adicionados, é perceptível a modificação da intensidade dos valores de reflectância e não a alteração do comportamento da curva para as bandas 1, 2, 3 e 4 (ver Figura 15).

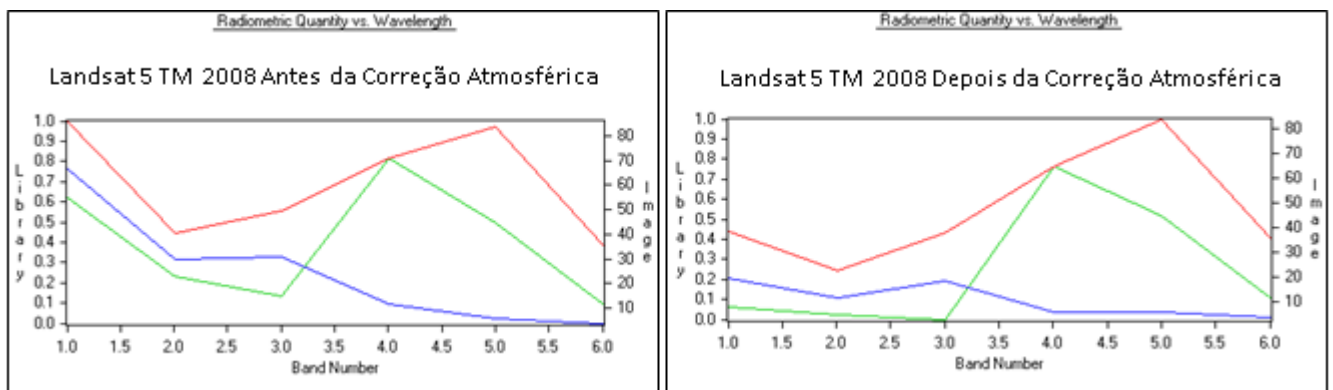


Figura 15 – Exemplo de assinaturas espectrais da água limpa (curva azul), vegetação (curva verde) e solo exposto (curva vermelha), registradas pelas bandas Landsat 5 TM em valores discretos de nível de cinza.

5.2.1.2 Ortorretificação de Imagens Landsat 5 TM

A correção geométrica por ortorretificação tem o objetivo de transformar dados de sensoriamento remoto em fonte direta de informação geográfica, e isto significa que disparidades causadas pela diferença de elevação entre os pontos de terreno em uma visada ortogonal serão retificadas usando princípios de fotogrametria (Rocchini & Di Rita, 2005).

Previamente a correção geométrica, foi necessária a aquisição e tratamento dos dados SRTM que apresenta pequenas imperfeições no seu arquivo matricial (vórtices altimétricos que são áreas escuras sem dado de elevação). Para tanto, utilizou-se o filtro *SRTMFill* que suaviza imperfeições do MDE, fornecendo um dado de elevação contínuo. Em seguida, realizou-se a reprojeção dos dados conforme os parâmetros cartográficos deste trabalho, reamostragem do pixel para 90 metros e a exportação destes dados no formato de elevação, com quantização de 16 bits e extensão *geotiff*.

Para a ortorretificação das imagens, foi necessário: (1) a definição do sistema de referência e projeção de saída para ortoimagem; (2) os parâmetros de sensor e plataforma, reconhecidos previamente pelo aplicativo para dados Landsat TM, adicionadas as informações de cabeçalho de cada imagem (cálculo de efemérides); (3) a coleta de pontos homólogos (20 GCP's) entre imagem bruta e uma imagem de referência previamente ortorretificada, neste caso se utilizou as imagens geocover distribuídas pelo GLCF (Landsat ETM⁺ de 2001); (4) a inserção nos GCP's de valores de altimetria oriundos do MDE SRTM (ver Figura 16).

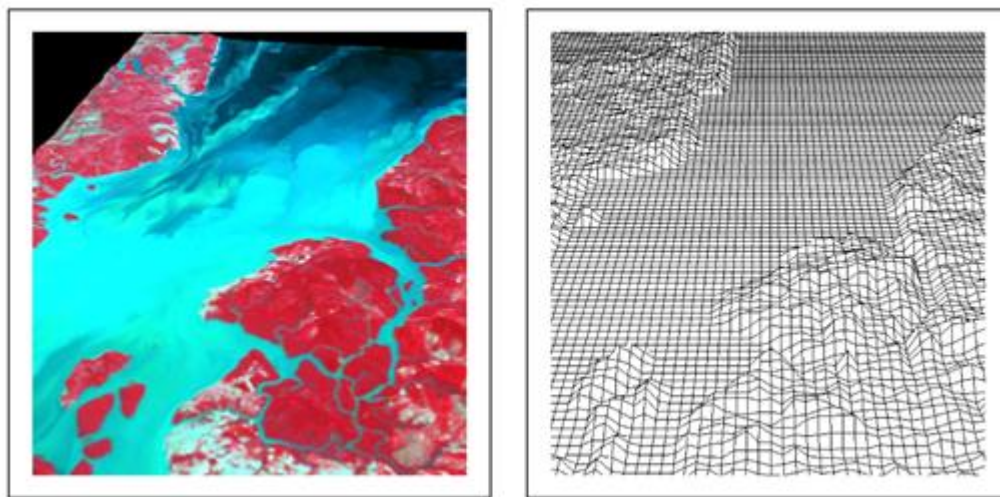


Figura 16 – Imagem para ortorretificação agregada ao MDE e visualizada em superfície 3D.

O controle de Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square-RMS*) foi estabelecido abaixo de 1 pixel, desse modo os deslocamentos planimétricos não ultrapassaram a resolução espacial nominal do sensor TM. Foi obtido na coleta de GCP's 0,36 de RMS, o que representa uma variação linear de no máximo 10,8 m e/ou 324 m² em área. O reamostrador utilizado foi o vizinho mais próximo com o propósito de conservar as informações espectrais originais da imagem.

5.2.1.3 Realce e Composições Ternárias

Posteriormente as correções atmosféricas e geométricas, houve a necessidade de um melhoramento visual para a interpretação de feições de Uso e Cobertura da Terra. Mediante isto, para classificação e pós-classificação foi utilizado realce linear com equalização manual dos histogramas na composição ternária aditiva R (5), G (4), e B (3), conforme a Figura 17:

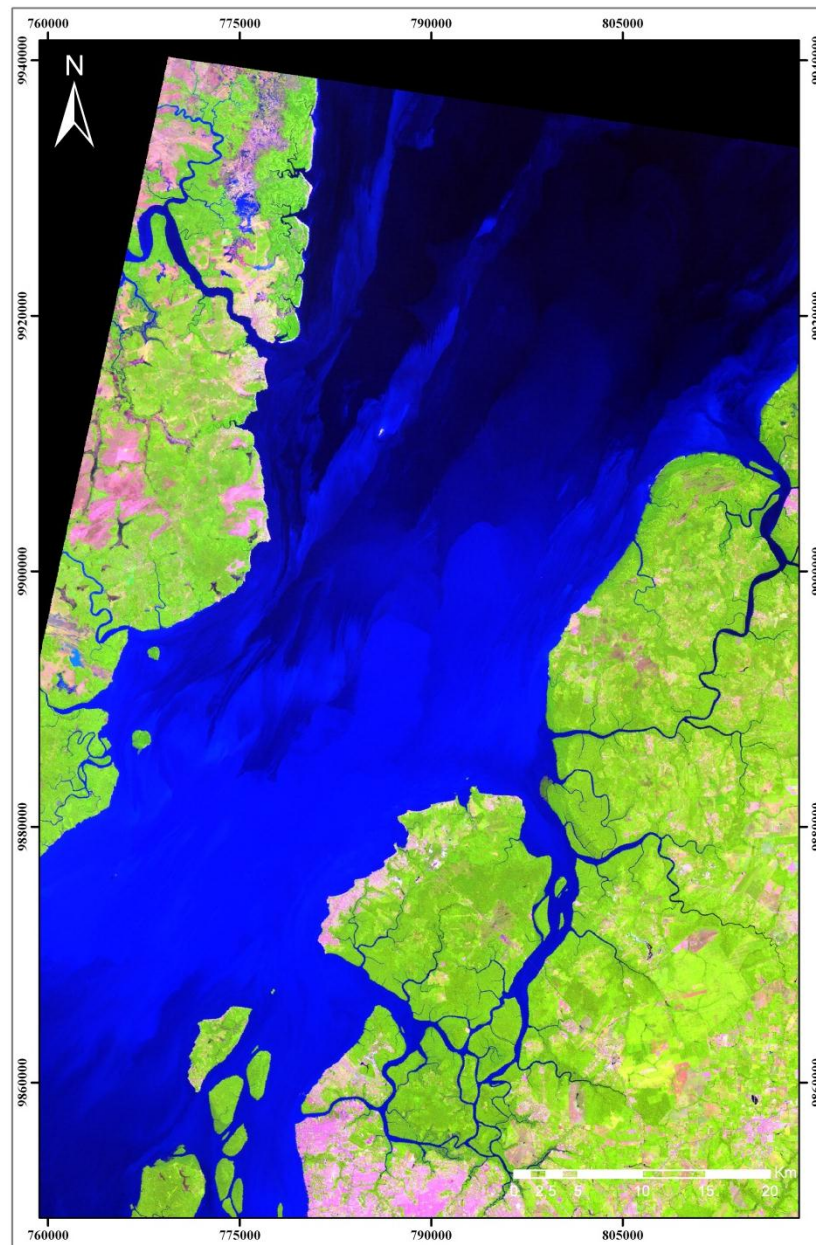


Figura 17 – Imagem Landsat 5 TM órbita-ponto 223-061 de 03/08/2008 com realce linear e composição R (5), G(4) e B (3).

5.2.1.4 Classificação de Imagens Landsat 5 TM com Spectral Angle Mapper (SAM)

Dennison *et al.* (2004) afirma que o algoritmo SAM se encontra bastante difundido na comunidade de sensoriamento remoto para determinação de similaridade espectral com amplas aplicações, incluindo identificação de minerais (Kruse *et al.*, 2003), monitoramento de mudanças de cobertura da terra (Sohn *et al.*, 1999) e na discriminação de tipologias vegetais (Lass *et al.*, 2002; Silvestri *et al.*, 2003).

Baseado em princípios físicos de diferença angular espectral entre as assinaturas dos alvos mapeados na imagem e a assinatura de uma fonte de referência (biblioteca espectral), o algoritmo SAM necessita de imagens calibradas espectralmente e um alto nível de conhecimento da área de interesse. E, isto é praticado no momento de seleção das amostras de treinamento, que devem representar grande parte da imagem a ser classificada e obter amostrar homogêneas para os ambientes mapeados.

Para o reconhecimento da área mapeada, ocorreram duas campanhas de coletas de dados de campo, as quais possibilitaram a aquisição de 190 pontos com GPS de navegação (ver Figura 18). Os pontos de GPS apresentaram erro geométrico planimétrico estimado em torno de 8,7 metros (média do EPE¹⁴), que seria compatível ao tamanho do IFOV das imagens Landsat 5 TM e do RMS proporcionado no processo de ortorretificação (no terreno 10,8 m).

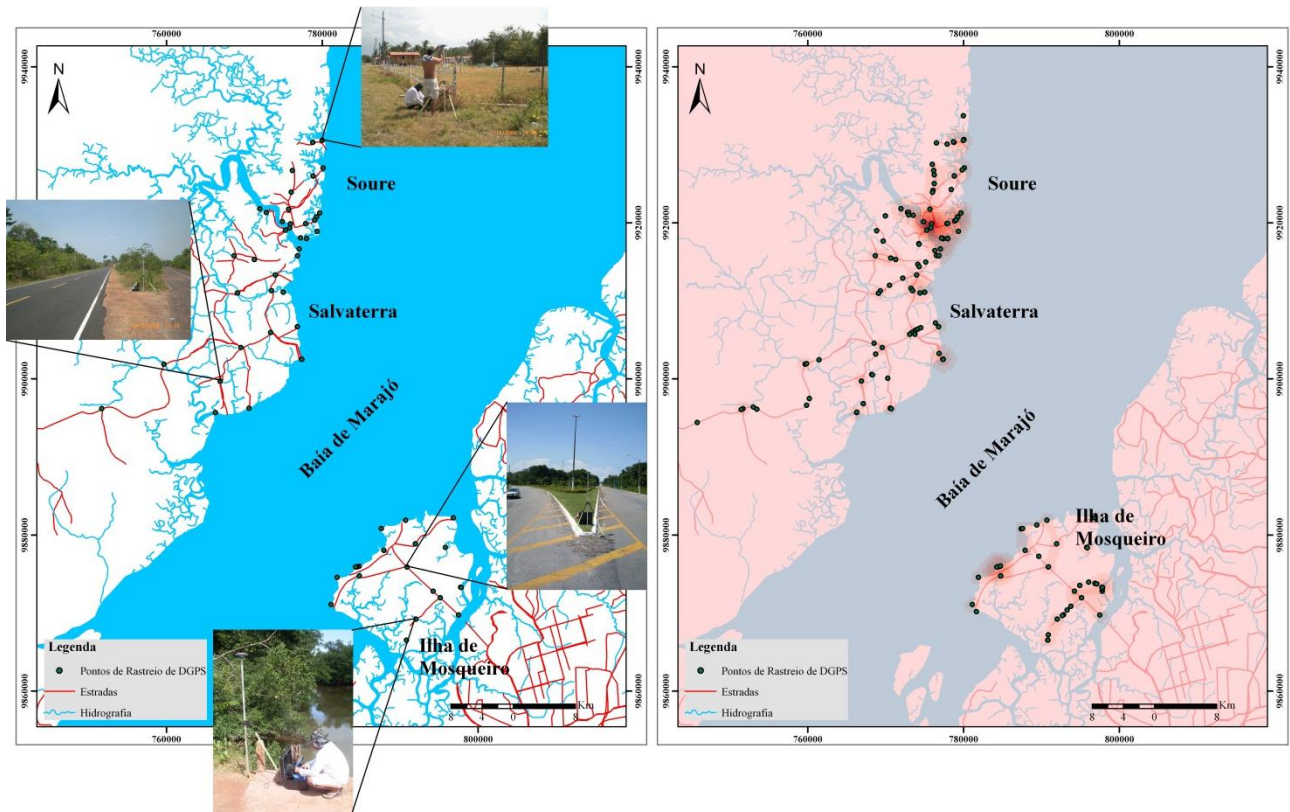


Figura 18 – Mapa de localização dos pontos GPS rastreados em campo de navegação rastreados e sua densidade espacial.

¹⁴ EPE (*Estimated Position Error*) - É uma medida de erro de posição horizontal em pés ou metros com base em uma variedade de fatores, incluindo Diluição de Precisão (DOP) e qualidade do sinal de satélite (GARMIM, 2010).

A construção da biblioteca espectral de referência foi possível com os pontos de campo para as classes de Uso e Cobertura da Terra. Para isto, os pontos de GPS foram alocados na imagem ortorretificada e apontavam regiões de interesse, as quais se criaram poligonais com as amostras de pixels, utilizando o aplicativo ENVI 4.7 com a ferramenta *Endmember Collection* (ver Tabela 13 e Figura 19).

Tabela 13 – Pontos de campo coletados para as classes de Uso e Cobertura da Terra.

USO E COBERTURADA TERRA	Pontos de Campo
Campos	19
Capoeira Alta	19
Capoeira Baixa	16
Floresta Densa	14
Floresta Aluvial/Mangue	12
Hidrografia	20
Praias/Dunas	22
Savana	12
Solo Exposto	56

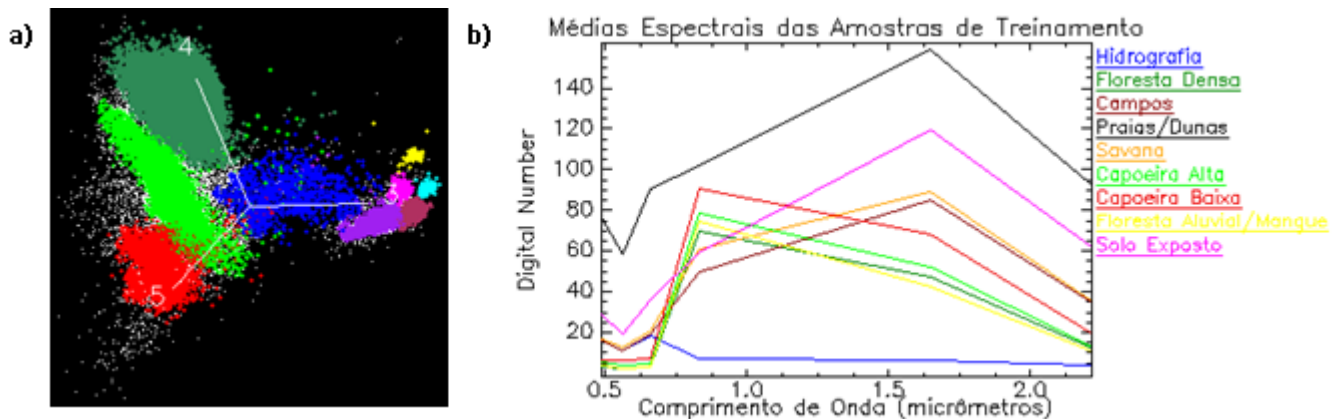


Figura 19 – Amostras de treinamento de Uso e Cobertura da Terra: a) no espaço de atributos tridimensional (scatter plot) para os pixels contidos nas bandas 5, 4 e 3 do sensor TM; e, b) curvas da média espectral das classes mapeadas no sensor TM.

Como contribuição final para o mapeamento de Uso e Cobertura da Terra foi necessário refinar os dados classificados com correções de áreas mal segregadas. Para isto, executou-se o procedimento de Pós-Classificação com a aplicação de um filtro de majoração 3x3 e *Sieve*, ambos possuem a função de remoção de pixels isolados ou não classificados em uma análise de vizinhança de 3 a 8 pixels.

5.2.1.5 Avaliação de Acurácia para Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra

Para construir a matriz de confusão e estimar o índice Kappa foi utilizado o produto classificado de Uso e Cobertura da Terra e os dados de verdade de campo coletados por GPS de navegação. No aplicativo ENVI 4.7, a partir destes pontos um novo conjunto de regiões de interesse (*Regions of Interest* – ROI) foi construído com a seleção de áreas adjacentes às classes mapeadas. Após esta seleção, foram geradas todas as estatísticas de acurácia global, produtor e usuário, e então construída a matriz de confusão com a sumarização de erros de omissão e comissão.

5.2.2 Mapeamento Morfológico e Geomorfométrico

Dentre os objetos da Geomorfologia, o mais significativo a esta pesquisa é a Morfologia e sua subtemática Morfometria com aplicação na descrição de unidades de paisagem e na avaliação do substrato com relação à morfogênese/pedogênese.

A Morfologia tem como ponto de partida o entendimento de aspectos de relevo que englobam a forma, constituição do substrato e precedentes da evolução da paisagem (Ross, 1992). A aplicação desta temática está na identificação das principais formas de relevo encontradas na área de estudo, em uma escala tempo-espacial geossistêmica, para a interface sedimentar litorânea.

A Morfometria é caracterizada por utilizar derivadas quantitativas para fins de entendimento dos aspectos do relevo como forma, declividade, orientação e curvatura de vertentes, estas variáveis morfológicas condicionam a intensidade dos processos denudacionais (Florenzano, 2008). As derivadas geomorfométricas em questão são geradas a partir do MDE, este é analisado pontualmente por operadores em janelas móveis. Assim é possível determinar para o relevo em estudo a sua amplitude, declividade, orientação, forma, curvatura horizontal e vertical (Valeriano, 2008).

5.2.2.1 Morfologia

Para a elaboração da carta de Morfologia, compilaram-se os dados geomorfológicos de França (2003) para Soure e Salvaterra, e Silva (1975) para Ilha de Mosqueiro, elaborados a partir de fotografias aéreas, imagens Landsat e trabalho de campo.

No levantamento de campo, foi possível reconhecer as feições que compunham a paisagem estudada. Desse modo, utilizando GPS de navegação, foram classificados 190 pontos, os quais serviram para a análise de acurácia do mapeamento morfológico (ver Tabela 14).

Tabela 14 - Pontos de campo coletados para as classes de Morfologia.

MORFOLOGIA	Pontos de Campo
Cordão Arenoso Antigo	14
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras	29
Hidrografia	20
Planalto Costeiro	78
Planície Flúvio-Marinha	23
Terraço Flúvio-Marinho	26

Estes dados cartográficos foram digitalizados em SIG e serviram para delimitar amostras de treinamento que posteriormente foram utilizadas no algoritmo SAM (ver Figura 20).

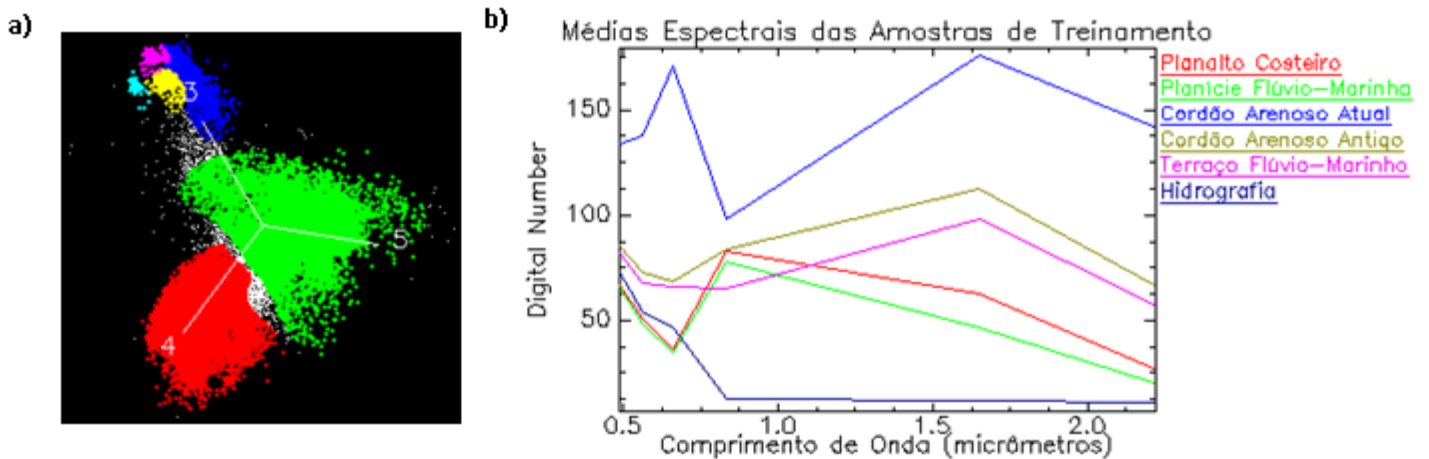


Figura 20 – Amostras de treinamento de Morfologia: a) no espaço de atributos tridimensional (scatter plot) para os pixels contidos nas bandas 5, 4 e 3 do sensor TM; e, b) curvas da média espectral das classes mapeadas no sensor TM.

5.2.2.2 Morfometria

Após o tratamento prévio do MDE SRTM, a partir das coordenadas x, y e z, aplicou-se o processo de krigagem, esta modelagem espacial se fundamenta na análise exploratória e correlação espacial de modo que seja considerado o número de amostras, a posição das amostras, a distância das amostras e a continuidade espacial (Liu, 2007; Andriotti, 2009). Este interpolador inexato permite melhorar a resolução espacial do MDE de 90 m para 30 m, com eficiente

performance para formas de relevo e ligeiro detrimento da amplitude altimétrica (Valeriano, 2004).

Foram aplicados os operadores matemáticos por janelas móveis dentro do aplicativo ArcGis 9.3 para gerar as derivadas locais a partir da altimetria, segundo os procedimentos realizados por Valeriano (2008) (ver Tabela 16):

Tabela 15 – Derivadas elaboradas e operadores utilizados.

Hierarquia	Derivadas	Operador
Ordem Zero	Hipsometria	<i>Reclassify</i>
1º Ordem	Declividade	<i>Slope</i>
	Orientação de Vertentes	<i>Aspect</i>
2º Ordem	Curvatura Vertical	<i>Profile Curve</i>
	Curvatura Horizontal	<i>Plan Curve</i>
Integração de Derivadas	Formas de Terreno	<i>Reclassify; Raster Calculator</i>

Para Formas de Terreno foi necessária uma reclassificação e a interseção dos dados raster de Curvatura Vertical e Curvatura Horizontal gerando novas classes em total de 9, conforme o modelo empírico de apresentado por Dikau (1990), através de Álgebra de Mapas (ver Figura 21).

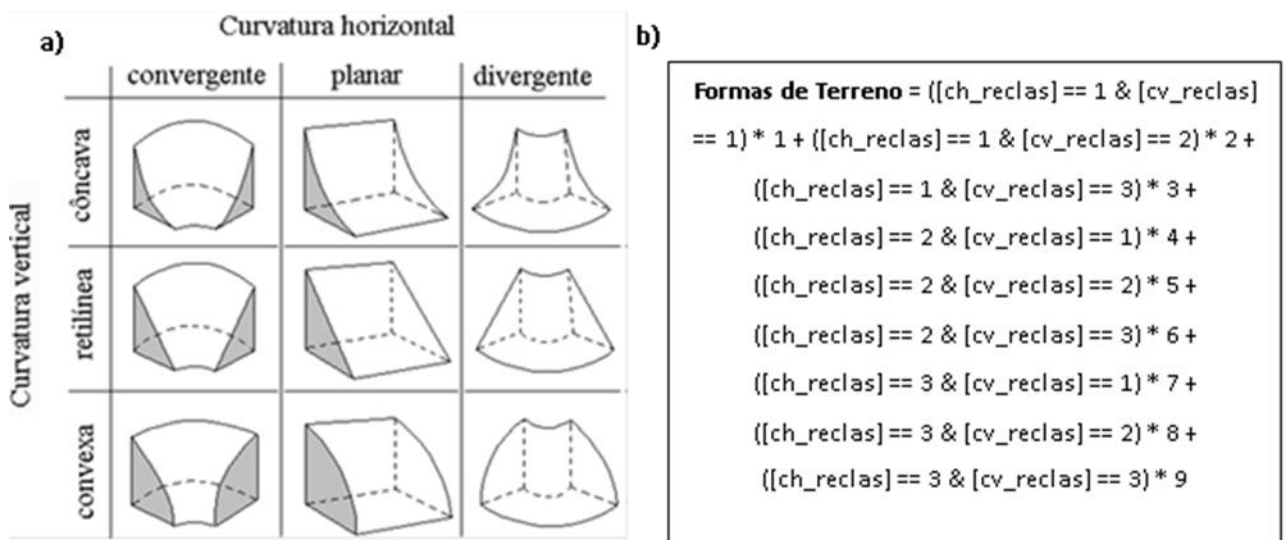


Figura 21 – Classes utilizadas para Forma de Terreno: (a) Relação entre a tipologia de vertentes vertical e horizontal resultando nas formas de terreno possíveis teoricamente; b) Sintaxe utilizada para cruzar as informações de curvatura vertical e horizontal.

Com objetivo de avaliar a derivada de ordem zero elaborada através dos dados SRTM, utilizou-se pontos de DGPS e matriz de correlação. Foram rastreados 63 coordenadas (x, y e z),

destas 5 foram bases fixas com tempo mínimo de rastreamento de 240 minutos e 58 foram pontos mobilizados com tempo mínimo de rastreamento de 30 minutos o que levou a um PDOP¹⁵ médio menor que 4.

O método de rastreamento foi o estático, baseado em pós-processamento dos dados com utilização do modelo geoidal EGM-96 e apoio de coordenadas exatas e conhecidas para triangulação, dados estes disponíveis pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE. Estes dados de entrada possibilitaram a obtenção da altitude ortométrica fonte de informação inequívoca para comparação com MDE elaborado.

5.2.3 Vulnerabilidade à Perda de Solo das Unidades de Paisagem

Para aplicar a metodologia de Crepani *et al.* (2001) e elaborar a carta síntese de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem é necessário: (i) delimitar as unidades de paisagem a partir das características físicas intrínsecas da área estudada; (ii) analisar dados do ambiente físico devidamente tratados para ponderar valores de vulnerabilidade a perda de solo, incluindo os temas Geologia, Geomorfologia (Dissecação do Relevo, Morfologia e Morfometria), Pedologia, Clima (Intensidade Pluviométrica) e Uso e Cobertura da Terra; (iii) e, aplicar média aritmética entre os temas por meio de álgebra de mapas.

5.2.4.1 Carta Síntese de Unidades de Paisagem

A carta síntese de Unidades de Paisagem foi baseada nos conceitos de ecodinâmica de Tricart (1977) e paisagem de Bertrand (1971), estabelecidos na escala tempo-espacial de geossistemas.

Foi construída uma matriz de sobreposição, a qual identifica unidades de paisagens pela correspondência de características físicas preponderantes de geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra (ver Tabela 17).

¹⁵ PDOP (*Position Dilution of Precision*) - É um coeficiente de erro de posição tridimensional não-diferencial, valores de PDOP maiores que 7 são considerados pouco fixos e valores em torno de 3 são considerados bem fixos (GARMIM, 2010).

Tabela 16 – Matriz de Sobreposição para realizar a interseção de informações temáticas e delimitar as Unidades de Paisagem.

Unidades de Paisagem	Geologia	Geomorfologia	Pedologia	Cobertura e Uso da Terra
Áreas de Transição	-	-	-	-
Cordões Arenosos	Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos	Cordão Arenoso Atual/Antigo; Dunas Costeiras	Neossolos Quartzarênicos Sálícos; Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos; Gleissolos Tiomórficos; Latossolo Amarelo; Plintossolos Petrícos	Praias/Dunas
Campos	Terraços Fluviomarinhos Holocênicos; Aluviões Flúviolacustres	Terraços Flúvio-Marinhos	Neossolos Quartzarênicos; Neossolo Flúvico; Gleissolos Sálícos	Campos
Savanas	Grupo Barreiras; Sedimentos Pós-Barreiras	Planalto Costeiro	Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos	Savana
Hidrografia	Hidrografia	Hidrografia	Hidrografia	Hidrografia
Terra Firme	Grupo Barreiras; Sedimentos Pós-Barreiras	Planalto Costeiro	Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos; Latossolo Amarelo; Plintossolos Petrícos;	Floresta Densa Solo Exposto; Capoeira Alta; Capoeira Baixa
Mangues e Várzeas	Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos	Planície Flúvio-Marinha	Neossolos Quartzarênicos Sálícos; Areia Quartzosa; Gleissolo; Gleissolos Tiomórficos; Gleissolos Sálícos	Floresta Aluvial/Mangue

A partir das características físicas relacionadas para as unidades de paisagem, foi realizada a interseção de dados matriciais temáticos por álgebra de mapas se obtendo 7 (6 unidades de paisagem e uma área de transição), conforme a Equação 3:

Equação 3 – Sintaxe para interseção de dados temáticos

$$\begin{aligned}
 \text{Paisagem} = & (([\text{geologia}] == 2 \mid [\text{geologia}] == 9 \mid [\text{geologia}] == 6) \& ([\text{geomorfo}] == 2 \mid [\text{geomorfo}] == 3) \& \\
 & ([\text{pedologia}] == 5 \mid [\text{pedologia}] == 7 \mid [\text{pedologia}] == 2 \mid [\text{pedologia}] == 9 \mid [\text{pedologia}] == 10 \mid [\text{pedologia}] == 6) \\
 & \& [\text{uso_terra}] == 5) * 1 + (([\text{geologia}] == 1 \mid [\text{geologia}] == 5 \mid [\text{geologia}] == 4 \mid [\text{geologia}] == 3) \& [\text{geomorfo}] == \\
 & 3 \& ([\text{pedologia}] == 3 \mid [\text{pedologia}] == 4 \mid [\text{pedologia}] == 1) \& [\text{uso_terra}] == 4) * 2 + ([\text{geologia}] == 8 \& \\
 & [\text{geomorfo}] == 1 \& [\text{pedologia}] == 12 \& [\text{uso_terra}] == 2) * 3 + (([\text{geologia}] == 9 \mid [\text{geologia}] == 6) \& \\
 & [\text{geomorfo}] == 2 \& [\text{pedologia}] == 7 \& [\text{uso_terra}] == 6) * 4 + (([\text{geologia}] == 9 \mid [\text{geologia}] == 6) \& [\text{geomorfo}] \\
 & == 2 \& ([\text{pedologia}] == 7 \mid [\text{pedologia}] == 8 \mid [\text{pedologia}] == 9 \mid [\text{pedologia}] == 10) \& [\text{uso_terra}] == 3) * 5 + \\
 & (([\text{geologia}] == 9 \mid [\text{geologia}] == 6) \& [\text{geomorfo}] == 2 \& ([\text{pedologia}] == 7 \mid [\text{pedologia}] == 8 \mid [\text{pedologia}] == 9 \\
 & \mid [\text{pedologia}] == 10) \& ([\text{uso_terra}] == 7 \mid [\text{uso_terra}] == 8 \mid [\text{uso_terra}] == 10)) * 6 + (([\text{geologia}] == 6 \mid \\
 & [\text{geologia}] == 4 \mid [\text{geologia}] == 2) \& [\text{geomorfo}] == 3 \& [\text{uso_terra}] == 9 \& ([\text{pedologia}] == 1 \mid [\text{pedologia}] == 2 \mid \\
 & [\text{pedologia}] == 3 \mid [\text{pedologia}] == 4 \mid [\text{pedologia}] == 5 \mid [\text{pedologia}] == 6 \mid [\text{pedologia}] == 11)) * 7
 \end{aligned}$$

5.2.4.2 Reclassificação e Ponderação de Dados Temáticos

A carta síntese de Vulnerabilidade à Perda de Solo das Unidades de Paisagem foi produzida com os dados temáticos compilados, atualizados e elaborados. A base de dados disponível e gerada foi padronizada cartograficamente e inserida no banco de dados geográfico *Personal Geodatabase (.mdb)*.

Os primeiros procedimentos a serem realizados com os dados temáticos são a reclassificação e ponderação, executados no aplicativo ArcGis – ArcInfo (*Spatial Analyst/Reclassify*). Nesta etapa as informações categóricas ou numéricas são relacionadas aos valores empíricos de vulnerabilidade à perda de solo, segundo as relações de morfogênese/pedogênese da metodologia de Crepani *et al.* (2001).

Os dados de Geologia para a área estudada caracterizam um ambiente costeiro formado por rochas sedimentares as quais mais antigas são do Terciário Superior, e avaliando estes fatos foram ponderados com base na história geológica dos ambientes, grau de coesão e na resistência das rochas, conforme a Tabela 18 abaixo:

Tabela 17 – Ponderação dos dados temáticos de Geologia para vulnerabilidade.

Dado Temático	Classes Temáticas	Grau de Vulnerabilidade
Geologia	Aluviões Flúvio-lacustres Holocênicos	3,0
	Aluviões Holocênicos	3,0
	Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica	2,7
	Depósitos Flúvio-Marinheiros Holocênicos	3,0
	Grupo Barreiras	2,5
	Sedimentos Pós-Barreiras	2,5
	Terraços Flúvio-Marinheiros Holocênicos	2,9
	Terraços Holocênicos	2,9

Dentre os temas utilizados para a confecção da carta de vulnerabilidade à perda de solo, o tema geomorfologia é determinante na caracterização de unidades de paisagem e depende previamente de outras entradas de dados.

Para Geomorfologia são utilizados aspectos morfográficos e morfométricos, os quais se subdividiram nos temas dissecação de relevo (amplitude altimétrica e densidade de drenagem), declividade, forma de terreno (curvatura horizontal e vertical) e morfologia, e deste modo necessitam de avaliação por média aritmética para que se obtenha apenas um único valor representativo do tema, ver Equação 4 e Tabela 19:

Equação 4 – Sintaxe de média aritmética para as variáveis de Geomorfologia.

$$\text{Geomorfologia} = ([\text{ampl_alt_vul}] + [\text{den_dren_rvul}] + [\text{slope_vul}] + [\text{morfo_vul}])/4$$

Tabela 18 – Ponderação dos dados temáticos de Geomorfologia para vulnerabilidade.

Dado Temático	Classes Temáticas	Grau de Vulnerabilidade	
Geomorfologia	<20	1,0	
	Amplitude Altimétrica (m)	20-29,5	1,1
		29,5-39	1,2
		39-48,5	1,3
		48,5-58	1,4
		58-67,5	1,5
	Densidade de Drenagens (km/km²)	<0,5	1,0
		0,5-1,0	1,5
		1,0-3,0	2,0
	Declividade	Plano;	1,0
		Suave Ondulado;	1,5
		Ondulado;	2,0
		Forte Ondulado;	2,5
		Hiperconcentrador;	1,0
		Hipoconcentrador;	1,5
	Forma de Terreno	Transição;	2,0
		Hipodispersor;	2,5
		Hiperdispersor;	3,0
		Cordão Arenoso Antigo;	3,0
Cordão Arenoso Atual/ Dunas Costeiras;		3,0	
Morfologia	Planalto Costeiro;	2,0	
	Planície Flúvio-Marinha;	3,0	
	Terraço Flúvio-Marinho;	2,8	

A partir da base cartográfica de Pedologia foi possível encontrar para área de estudo 12 tipologias de solos, e estas necessitaram de atualizações quanto a nomenclatura de acordo com a publicação da EMBRAPA (2006), ver Tabela 20.

Tabela 19 – Ponderação dos dados temáticos de Pedologia para vulnerabilidade.

Dado Temático	Classes Temáticas	Grau de Vulnerabilidade
Pedologia	Espodossolos Hidromórficos	2,3
	Gleissolo	3,0
	Gleissolo Sáfico	2,8
	Gleissolos Tiomórficos	3,0
	Latossolo Amarelo	1,0
	Neossolos Quartzarênicos	3,0
	Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos	2,5
	Neossolos Quartzarênicos Sáficos	3,0
	Nessolo Flúvicos	3,0
	Plintossolos Petrícios	2,2
	Solos Hidromórficos Indiscriminados	2,8

O clima controla diretamente os processos de intemperismo por meio da temperatura e precipitação. A faixa de temperatura para área de estudo é única considerada como Af e Am1 de acordo com a classificação de Köppen, logo não possui variabilidade espacial. Entretanto, para a avaliação de precipitação existe variabilidade espacial para área estudada.

A partir de dados de precipitação de estações da ANA e INMET foi possível selecionar uma série histórica de 1998 a 2008. Os dados utilizados para o mapa de intensidade pluviométrica foram precipitação total (mm), e número de dias com ocorrência de chuva (Palmeira, 2005), conforme a Equação 5:

Equação 5 – Cálculo de intensidade pluviométrica.

$$\text{Intensidade Pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação Média Anual}}{\text{N}^\circ \text{ de Dias com Precipitação}/30}$$

Para cada estação pluviométrica foi estimado a intensidade pluviométrica e agregado a sua respectiva localização geográfica, e assim foi possível aplicar o interpolador (krigagem) e gerar o dado matricial para área estudada, ver tabela 21:

Tabela 20 – Estações Pluviométricas utilizadas para área de estudo e ocorrência de dias de chuva e intensidade pluviométrica (mm/mês) na série histórica de 1998 à 2008.

Código	Localidade	Latitude	Longitude	Dias com Precipitação por mês	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)
47003	Curuçá	-0,737500	-47,853611	5,19	494,828635
48000	Soure	-0,733333	-48,516667	6,10	473,810730
48006	Vigia	-0,86806	-48,110278	6,89	395,578233
49011	Santa Cruz do Ararí	-1,41639	-48,959167	5,93	454,859791
147017	Terra Alta	-1,03861	-47,913333	6,11	449,904167
148003	Santa Izabel do Pará	-1,29639	-48,170833	6,85	392,712865
148012	Mosqueiro	-1,09417	-48,398611	7,94	370,048569

Com a elaboração do dado matricial de intensidade pluviométrico, foi possível estabelecer os valores de ponderação para as faixas de precipitação encontradas, conforme a Tabela 22:

Tabela 21 – Ponderação dos dados temáticos de Clima para vulnerabilidade.

Dado Temático	Classes Temáticas	Grau de Vulnerabilidade	
Clima	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)		
		350-375	2,3
		375-400	2,4
		400-425	2,5
		425-450	2,6
		450-475	2,7
		475-500	2,8
		500-525	2,9
	>525	3,0	

O uso e cobertura da terra foi um fator de avaliação de proteção do ambiente ou identificação dos agentes de degradação. Foi possível mapear 8 classes com o uso de imagens Landsat, ver Tabela 23.

Tabela 22 – Ponderação dos dados temáticos de Uso e Cobertura da Terra para vulnerabilidade.

Dado Temático	Classes Temáticas	Grau de Vulnerabilidade
Uso e Cobertura da Terra	Campos;	2,2
	Capoeira Alta;	2,4
	Capoeira Baixa;	2,6
	Floresta Aluvial/Mangue;	3,0
	Floresta Densa;	1,0
	Praias/Dunas;	3,0
	Savana;	2,0
	Solo Exposto;	3,0

Após o tratamento e ponderação dos dados temáticos referentes à área estudada se partiu para a confecção final da carta síntese de Vulnerabilidade à Perda de Solo das unidades de paisagem. Desta forma, criou-se a sintaxe de média aritmética entre os dados de entrada matriciais, delimitando áreas vulneráveis através de suas informações alfanuméricas e suas relações de sobreposição, ver Equação 6:

Equação 6 – Sintaxe de média Aritmética dos temas relacionados a vulnerabilidade a perda de solo.

$$\text{Vulnerabilidade} = ([\text{geologia_vul}] + [\text{geomorfo_vul}] + [\text{pedo_vul}] + [\text{pluvio_vul}] + [\text{uso_cober_vul}])/5$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA

Os procedimentos de subtração de pixel escuro, ortorretificação e classificação com algoritmo SAM, utilizados para a imagem Landsat 5 TM órbita-ponto 223/061 de 13/07/2008, propiciaram a extração adequada dos dados de Uso e Cobertura da Terra.

A partir de dados Landsat houve a distinção de 9 classes (campos, capoeira alta, capoeira baixa, floresta aluvial/mangue, floresta densa, hidrografia, praias/dunas, savana e solo exposto) e a construção das respectivas bibliotecas espectrais.

6.1.1 Campos

Os campos identificados apresentaram tons desde magenta claro e escuro com formas irregulares e presença de canais de drenagem. O comportamento espectral nas 6 bandas foi mais confuso com as classes Solo Exposto e Savana, este é apresentado na Tabela 24 e Figura 22:

Tabela 23 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Campos.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	7	48	19,20	3,94
Banda 2	5	36	13,31	2,70
Banda 3	10	60	23,23	5,16
Banda 4	20	95	57,23	10,02
Banda 5	11	139	99,73	23,40
Banda 6	4	78	41,75	12,52
Separabilidade Espectral¹⁶ de Campos (Cp)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada		
Capoeira Alta (Ca)	1,9986	2,0000		
Capoeira Baixa (Cb)	1,9323	1,9993		
Floresta Densa (Fd)	1,9998	2,0000		
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	1,9986	2,0000		
Hidrografia (Hi)	1,9999	2,0000		
Praia/Dunas (PD)	1,9469	2,0000		
Savana (Sa)	1,2201	1,7772		
Solo Exposto (Se)	1,2121	1,3805		

¹⁶ A **separabilidade espectral** é estimada pelos coeficientes de Jeffries-Matusita e Divergência Transformada, ambos variam de 0,00 a 2,00 os quais valores maiores que 1,9 são bastante distintos e valores abaixo de 1,0 devem ser desconsiderados ou agrupados em uma única classe (Richards, 1999).

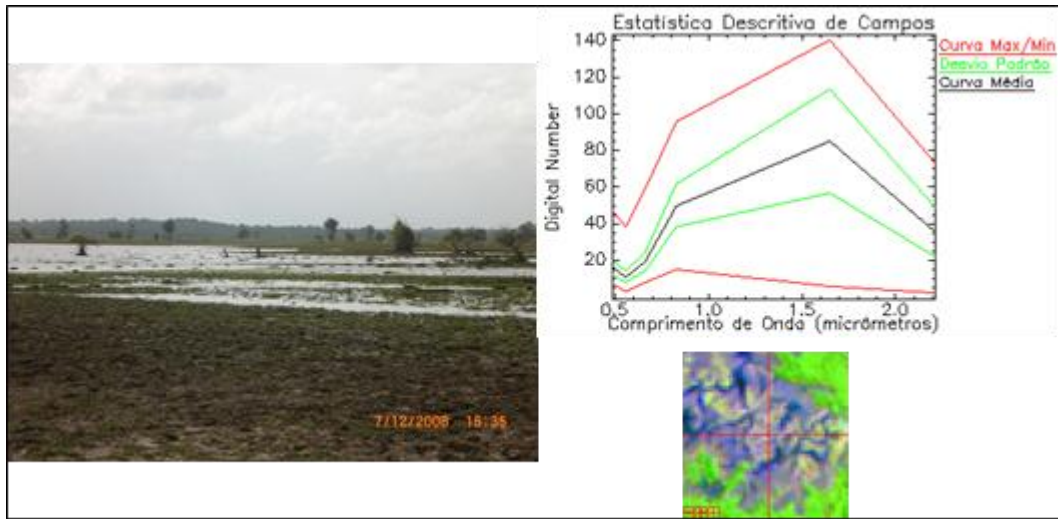


Figura 22 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Campos no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.2 Capoeira Alta

A Capoeira Alta foi identificada como feições de cobertura florestal de dossel heterogêneo que sofrem ou sofreram com o processo de desflorestamento (remoção da floresta primária original). Podendo ocorrer por exploração seletiva ou degradação ambiental culminando na remoção total da floresta (corte raso), ou o fluxo inverso no qual havia um ambiente totalmente degradado (solo exposto) que recupera funções ecológicas (ambiente em regeneração). Foram coletadas amostras de feições em tons de verde claro a escuro, com rugosidade em formas regulares e irregulares. O comportamento espectral tem maior confusão com Floresta Aluviais/Manguezais e é apresentado na Tabela 25 e Figura 23:

Tabela 24 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Capoeira Alta.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	0,00	11,00	5,25	1,78
Banda 2	1,00	9,00	4,14	1,20
Banda 3	1,00	9,00	4,55	1,14
Banda 4	64,00	104,00	78,49	6,07
Banda 5	39,00	64,00	51,91	4,02
Banda 6	8,00	20,00	13,90	1,69

Separabilidade Espectral de Capoeira Alta (Ca)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada
Campos (Cp)	1,9958	2,0000
Capoeira Baixa (Cb)	1,5533	1,8495
Floresta Densa (Fd)	1,3828	1,4779
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	1,3392	1,3907
Hidrografia (Hi)	2,0000	2,0000
Praia/Dunas (PD)	1,9999	2,0000
Savana (Sa)	1,9979	2,0000
Solo Exposto (Se)	2,0000	2,0000

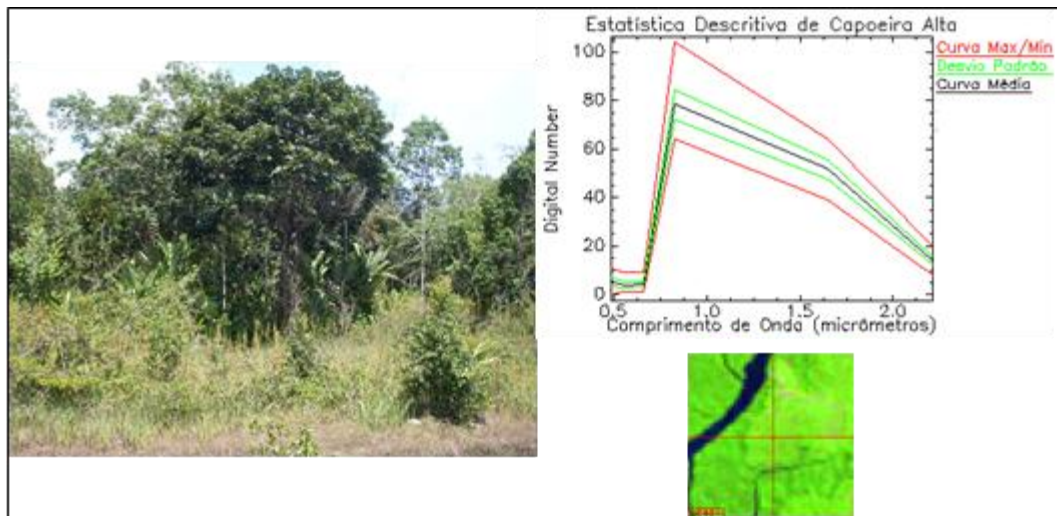


Figura 23 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Capoeira Alta no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.3 Capoeira Baixa

A classe Capoeira Baixa se caracterizou por uma cobertura gramínea e arbustiva de dossel homogêneo a heterogêneo, englobando ambientes de regeneração inicial (por exemplo, pastos ou cultivos agrícolas abandonados) ou áreas agropastoris em pleno desenvolvimento. As áreas classificadas como Capoeira Baixa estão relacionadas ao processo de intervenção humana,

resultado de uma maior remoção da cobertura vegetal do que na Capoeira Alta ou menor tempo de resiliência do ambiente, logo nestas áreas se constata menor biomassa e vegetação mais esparsa (o solo tem maior contribuição na resposta espectral). Sua presença foi identificada com verdes claros e se aproximando de magenta em áreas geralmente de forma regular. O comportamento espectral foi mais confuso com a Capoeira Alta, e é apresentado na Tabela 26 e Figura 24:

Tabela 25 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Capoeira Baixa.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	0,00	17,00	6,62	3,03
Banda 2	1,00	14,00	6,05	2,56
Banda 3	0,00	17,00	7,06	3,12
Banda 4	68,00	112,00	90,39	7,71
Banda 5	50,00	99,00	68,53	8,64
Banda 6	13,00	33,00	19,71	3,51
Separabilidade Espectral de Capoeira Baixa (Cb)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada		
Campos (Cp)	1,9873	1,9999		
Capoeira Alta (Ca)	1,5533	1,8495		
Floresta Densa (Fd)	1,8680	1,9965		
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	1,9247	1,9955		
Hidrografia (Hi)	2,0000	2,0000		
Praia/Dunas (PD)	1,9998	2,0000		
Savana (Sa)	1,9947	2,0000		
Solo Exposto (Se)	1,9998	2,0000		

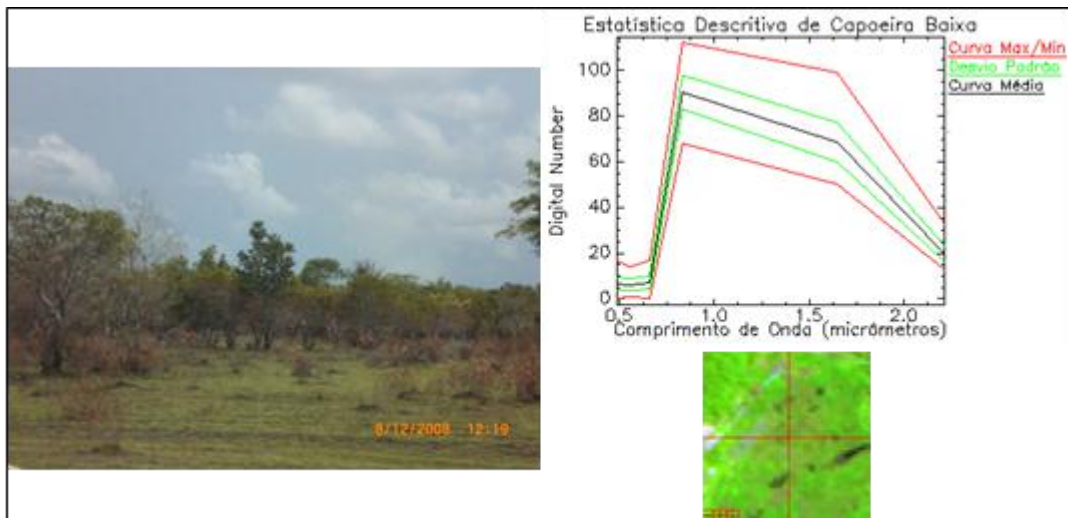


Figura 24 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Capoeira Baixa no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.4 Floresta Densa

Composta por formações florestais ombrófilas, apresentou feições em tons de verde escuro a cinza escuro (em função de sombra de dosséis, topografia ou alta umidade), formas irregulares e bastante rugosidade. Há maior confusão espectral com Florestas Aluviais/Mangues, e é apresentada na Tabela 27 e Figura 25:

Tabela 26 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Floresta Densa.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	0,00	8,00	3,18	1,45
Banda 2	0,00	5,00	2,04	0,84
Banda 3	0,00	6,00	3,01	0,93
Banda 4	51,00	91,00	70,16	5,14
Banda 5	37,00	58,00	47,47	3,11
Banda 6	9,00	19,00	12,93	1,23
Separabilidade Espectral de Floresta Densa (Fd)	Jeffries-Matusita		Divergência Transformada	
Campos (Cp)	1,9986		2,0000	
Capoeira Alta (Ca)	1,3828		1,4779	
Capoeira Baixa (Cb)	1,8680		1,9965	
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	0,9337		1,0389	
Hidrografia (Hi)	2,0000		2,0000	
Praia/Dunas (PD)	1,9999		2,0000	
Savana (Sa)	1,9993		2,0000	
Solo Exposto (Se)	2,0000		2,0000	

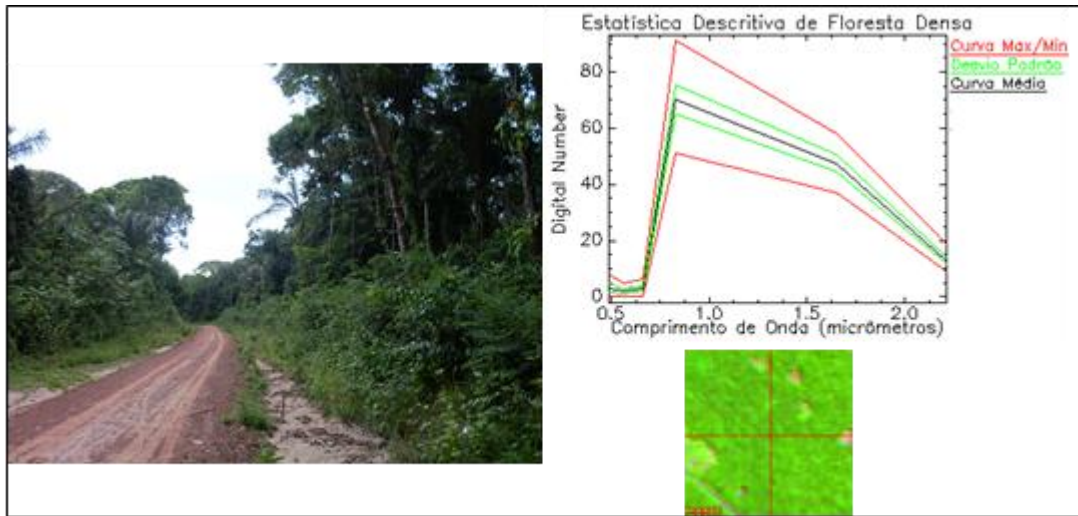


Figura 25 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Floresta Densa no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.5 Floresta Aluvial/Mangue

A classe Floresta Aluvial/Mangue agregou duas formações florestais próprias de planícies holocênicas: a primeira formação é ombrófila aluvial caracterizada por ser arbórea e adjacente às drenagens, por vezes com presença de palmeiras; e, a segunda formação são os manguezais, obtendo como os espécimes mais comuns a *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans*. As feições identificadas apresentaram tons de verde claro a escuro (sombra de dosséis e alta umidade), com delimitação irregular definida topograficamente e adjacentes a corpos hídricos. O comportamento espectral foi mais confundido com Floresta Densa, seguido de Capoeira Alta, e é apresentado na Tabela 28 e Figura 26:

Tabela 27 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Floresta Aluvial/Mangue.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	0,00	9,00	3,94	1,48
Banda 2	0,00	8,00	2,61	1,04
Banda 3	0,00	7,00	3,36	0,98
Banda 4	55,00	105,00	74,41	6,48
Banda 5	32,00	55,00	42,14	3,51
Banda 6	7,00	16,00	11,13	1,36

Separabilidade Espectral de Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada
Campos (Cp)	1,9989	2,0000
Capoeira Alta (Ca)	1,3392	1,3907
Capoeira Baixa (Cb)	1,9247	1,9955
Floresta Densa (Fd)	0,9337	1,0389
Hidrografia (Hi)	2,0000	2,0000
Praia/Dunas (PD)	1,9999	2,0000
Savana (Sa)	1,9995	2,0000
Solo Exposto (Se)	2,0000	2,0000

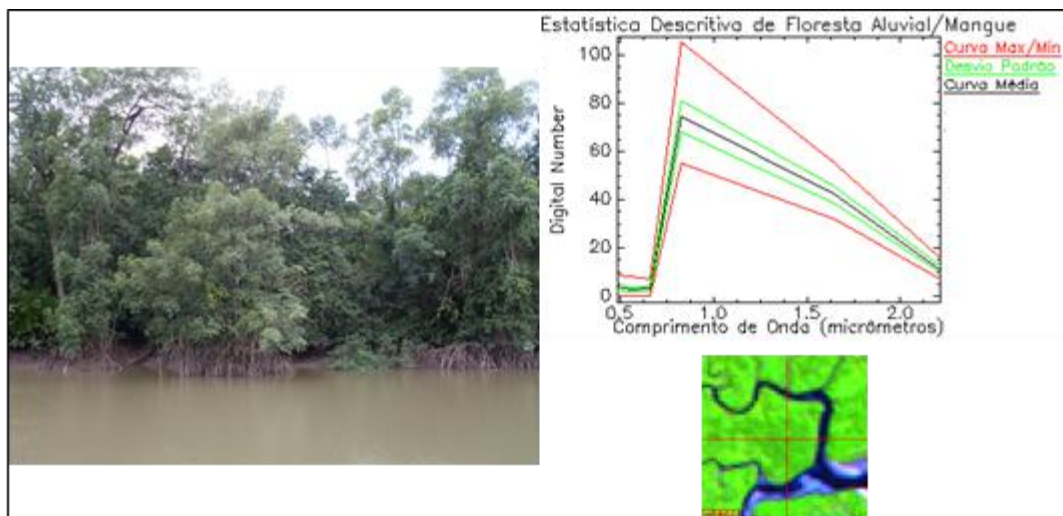


Figura 26 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Floresta Aluvial/Mangue no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.6 Hidrografia

A classe Hidrografia apresentou comportamento singular, a qual suas feições apresentaram geralmente tons de azul escuro à claro em áreas de maior influência fluvial e tons preto em áreas de maior influência oceânica com forma irregular e padrões geralmente dendríticos. O comportamento espectral é apresentado na Tabela 29 e Figura 27:

Tabela 28 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Hidrografia.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	1,00	36,00	15,83	5,75
Banda 2	0,00	28,00	11,51	4,70
Banda 3	1,00	43,00	18,21	7,71
Banda 4	0,00	43,00	6,86	4,43
Banda 5	0,00	36,00	6,48	3,26
Banda 6	0,00	14,00	3,87	1,94

Separabilidade Espectral de Hidrografia (Hi)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada
Campos (Cp)	1,9976	2,0000
Capoeira Alta (Ca)	2,0000	2,0000
Capoeira Baixa (Cb)	2,0000	2,0000
Floresta Densa (Fd)	2,0000	2,0000
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	2,0000	2,0000
Praia/Dunas (PD)	2,0000	2,0000
Savana (Sa)	2,0000	2,0000
Solo Exposto (Se)	2,0000	2,0000

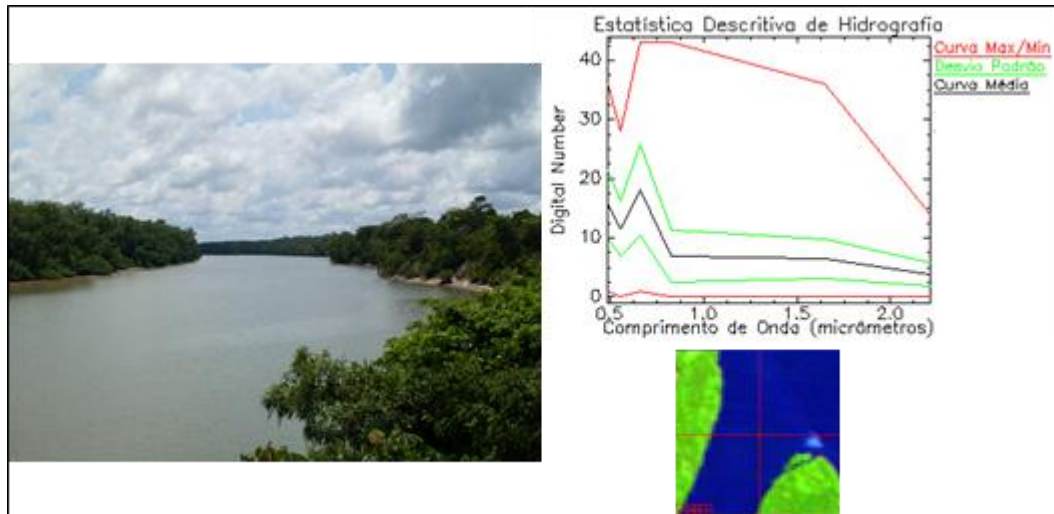


Figura 27 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Hidrografia no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.7 Praias/Dunas

A classe Praias/Dunas é caracterizada por ser a área de acumulação arenosa litorânea proveniente de sedimentos transportados por ação das ondas e ventos, geralmente paralelos a linha de costa. O comportamento espectral foi mais confuso com a classe Solo Exposto, e é apresentado na Tabela 30 e Figura 28:

Tabela 29 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Praias/Dunas.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	0	124	76,55	24,64
Banda 2	6	89	58,17	14,33
Banda 3	7	131	90,58	20,18
Banda 4	46	127	101,81	11,68
Banda 5	50	221	158,58	28,96
Banda 6	27	145	93,28	21,92

Separabilidade Espectral de Praias/Dunas (PD)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada
Campos (Cp)	1,9943	2,0000
Capoeira Alta (Ca)	1,9999	2,0000
Capoeira Baixa (Cb)	1,9998	2,0000
Floresta Densa (Fd)	1,9999	2,0000
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	1,9999	2,0000
Hidrografia (Hi)	2,0000	2,0000
Savana (Sa)	1,9957	2,0000
Solo Exposto (Se)	1,9390	1,9948

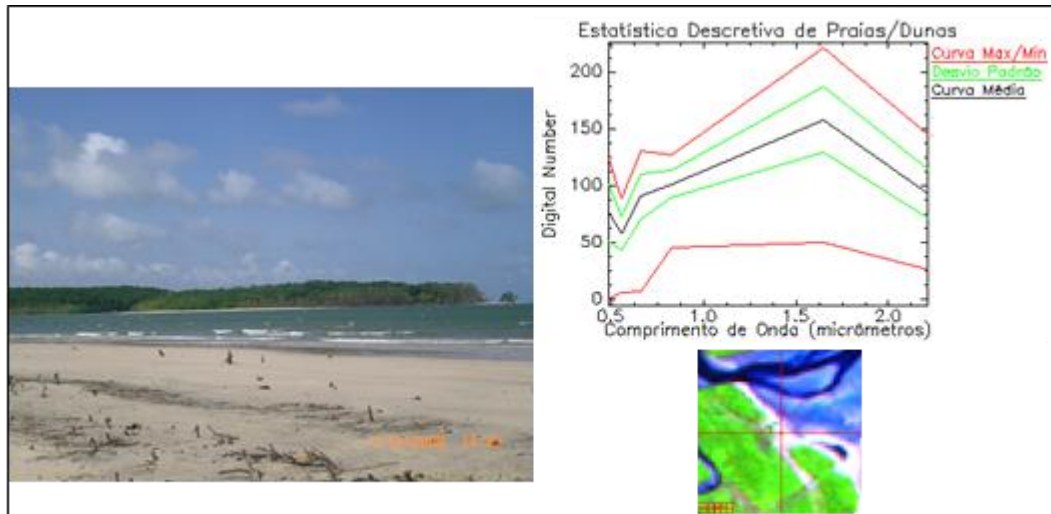


Figura 28 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Praias/Dunas no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.8 Savana

Apresenta uma cobertura vegetal gramíneo-lenhosa, serpenteada por florestas de galeria, com árvores baixas e tortuosas, isoladas ou agrupadas por um tapete gramíneo, os solos destas áreas são geralmente deficientes, profundos e aluminizados. A maior confusão espectral foi com Campos, e é apresentado na Tabela 31 e Figura 29:

Tabela 30 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Savana.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	7	28	16,83	3,34
Banda 2	5	23	12,62	2,90
Banda 3	8	38	20,85	4,58
Banda 4	51	75	61,33	4,16
Banda 5	60	125	89,46	10,08
Banda 6	18	55	35,84	5,71

Separabilidade Espectral de Savana (Sa)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada
Campos (Cp)	1,4823	1,9658
Capoeira Alta (Ca)	1,9979	2,0000
Capoeira Baixa (Cb)	1,9947	2,0000
Floresta Densa (Fd)	1,9993	2,0000
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	1,9995	2,0000
Hidrografia (Hi)	2,0000	2,0000
Praia/Dunas (PD)	1,9957	2,0000
Solo Exposto (Se)	1,9337	1,9981

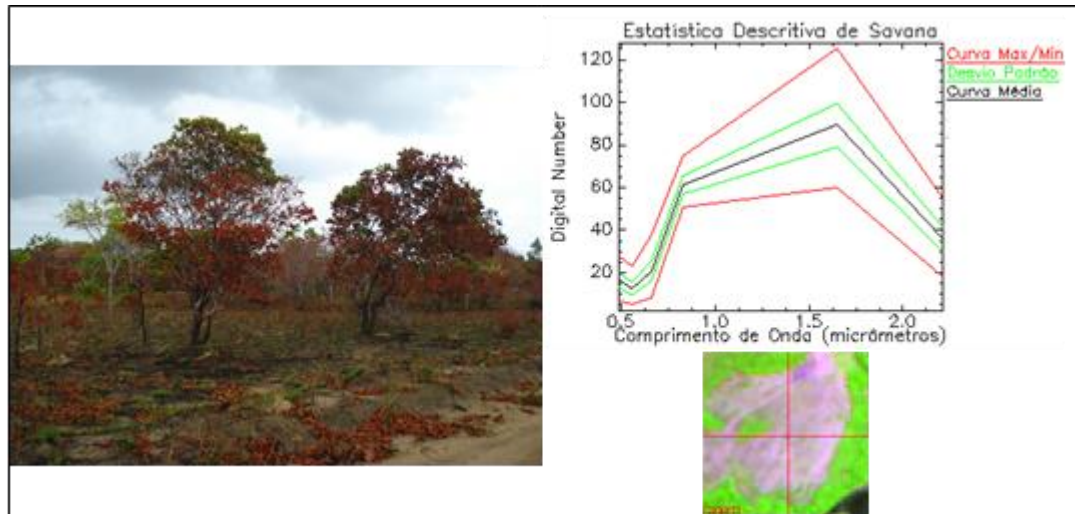


Figura 29 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Savana no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.9 Solo Exposto

Constitui-se por usos e ocupações que removem toda a cobertura vegetal da terra, como construções relacionadas às atividades habitacional, industrial, comercial, agropecuárias, exploração mineral e entre outras formas de uso. O comportamento espectral foi mais confuso com Campos, e é apresentado na Tabela 32 e Figura 30:

Tabela 31 – Características da biblioteca espectral e separabilidade espectral de Solo Exposto.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Banda 1	9	107	28,93	9,26
Banda 2	7	74	19,53	6,12
Banda 3	14	104	35,96	10,84
Banda 4	33	97	59,68	8,40
Banda 5	66	197	119,77	15,74
Banda 6	24	122	62,76	8,88
Separabilidade Espectral de Solo Exposto (Se)	Jeffries-Matusita	Divergência Transformada		
Campos (Cp)	1,7782	1,9070		
Capoeira Alta (Ca)	2,0000	2,0000		
Capoeira Baixa (Cb)	1,9998	2,0000		
Floresta Densa (Fd)	2,0000	2,0000		
Fl. Aluvial/Mangue (FaM)	2,0000	2,0000		
Hidrografia (Hi)	2,0000	2,0000		
Praia/Dunas (PD)	1,9390	1,9948		
Savana (Sa)	1,9337	1,9981		

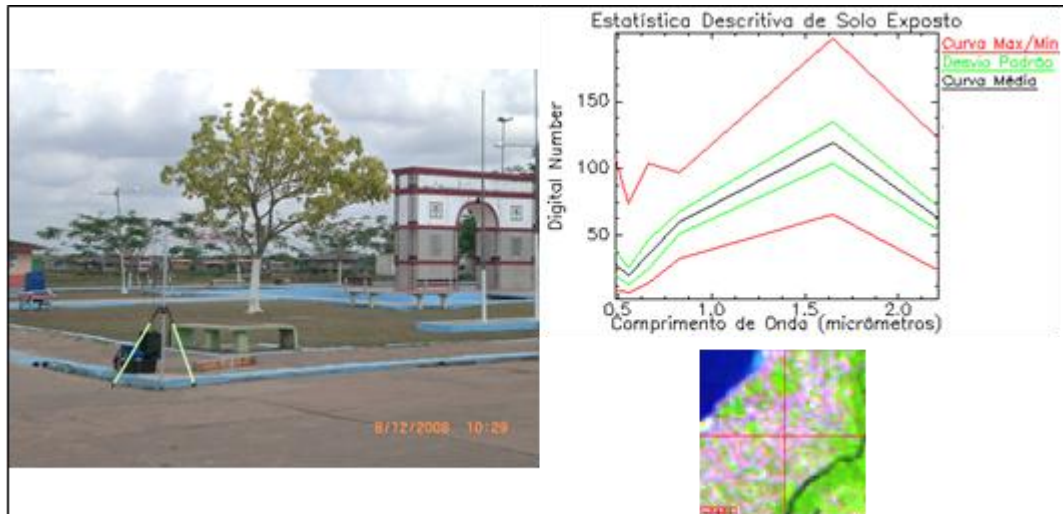


Figura 30 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Solo Exposto no tema Uso e Cobertura da Terra.

6.1.10 Avaliação do Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra

É importante enfatizar três aspectos para o resultado da classificação supervisionada aplicado: (i) o classificador SAM conseguiu distinguir diferentes estágios sucessionais com algumas confusões entre as classes Floresta Densas, Capoeira Alta e Capoeira Baixa; (ii) o levantamento de campo contribui para a definição das bibliotecas espectrais das classes mapeadas

melhorando a fase de análise e avaliação do classificador; e (iii) o processo de edição matricial eliminou pequenas inconformidades e áreas não-classificadas.

A partir das bibliotecas espectrais das classes de Uso e Cobertura da Terra foi possível obter um desempenho excelente, com Exatidão Global de 95,47% e coeficiente de *Kappa* 0,92 (ver Tabela 33), mediante a comparação com o levantamento de campo.

Tabela 32 – Matriz de Confusão para o mapeamento de Uso e Cobertura da Terra.

Landsat TM 5 x Levantamento de Campo										
Matriz de Confusão (%)	Cp	Ca	Cb	Fd	FaM	Hi	PD	Sa	Se	Σ Linha
Campos (Cp)	99,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,28	0,00	0,00	100,03
Capoeira Alta (Ca)	0,00	49,86	11,26	2,09	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	63,40
Capoeira Baixa (Cb)	0,00	24,11	77,49	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36	103,00
Floresta Densa (Fd)	0,00	20,28	0,21	95,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,04
Fl, Aluvial/Mangue (FaM)	0,03	5,00	0,46	2,12	99,81	0,00	1,68	0,00	0,00	109,10
Hidrografia (Hi)	0,23	0,10	0,00	0,00	0,00	99,99	0,00	0,00	0,62	100,94
Praia/Dunas (PD)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,35	0,00	0,37	96,72
Savana (Sa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	100,00
Solo Exposto (Se)	0,00	0,65	10,58	0,20	0,00	0,00	1,69	0,00	97,65	110,77
Σ Coluna	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Omissão	0,26	50,14	22,51	4,45	0,19	0,01	3,65	0,00	2,35	
Comissão	0,09	16,08	32,94	17,37	17,67	0,07	1,72	0,00	12,84	
Acurácia do Produtor	99,74	49,86	77,49	95,55	99,81	99,99	96,35	100,00	97,65	
Acurácia do Usuário	99,91	83,92	67,06	82,63	82,33	99,93	98,28	100,00	87,16	
Exatidão Global	0,95									
Coeficiente Kappa	0,92									

Apesar do bom desempenho do classificador, percebe-se uma significativa perda de desempenho ao se tratar das classes de Capoeira Alta (Acurácia do Produtor de 49,86) e Capoeira Baixa (Acurácia do Produtor de 77,49). Apenas com informações multiespectrais é difícil a separabilidade destas feições entre si e com as demais composições vegetacionais de Floresta Densa, Floresta Aluvial/Mangue e Savana, isto provavelmente está relacionado a questões de iluminação da cena e as faixas espectrais do sensor Landsat TM 5 que são muito largas no infravermelho.

6.1.11 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

O mapeamento do Uso e Cobertura da Terra nas margens da Baía de Marajó contribuiu para mensurar os diferentes tipos de cobertura e relacionar como estas áreas estão sujeitas às atividades humanas em detrimento da conservação de ambientes costeiros susceptíveis aos fenômenos erosivos de perda de solo (ver Tabela 34).

Tabela 33 – Quantificação das unidades de Uso e Cobertura da Terra nos três setores estudados.

Uso e Cobertura da Terra	Soure		Salvaterra		Ilha de Mosqueiro	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Campos	33.800,76	27,28	21.520,26	25,60	7,02	0,01
Capoeira Alta	684,81	0,55	6.453,36	7,68	4.513,86	5,75
Capoeira Baixa	1.490,94	1,20	3.781,17	4,50	2.506,77	3,19
Floresta Aluvial/Mangue	12.839,13	10,36	13.107,51	15,59	8.211,06	10,46
Floresta Densa	955,08	0,77	3.849,84	4,58	8.794,89	11,20
Hidrografia	72.404,91	58,44	29.997,45	35,69	46.644,84	59,41
Praias/Dunas	889,02	0,72	519,12	0,62	461,70	0,59
Savana	5,76	0,00	1.097,46	1,31	14,76	0,02
Solo Exposto	820,98	0,66	3.727,08	4,43	7.364,34	9,38
Total	123.891,39	100,00	84.053,25	100,00	78.519,24	100,00

Em Soure foi possível quantificar 33.800,76 ha de Campos correspondendo a 27,28 % da área do setor. A identificação de cobertura por campos não remete simultaneamente áreas conservadas visto que há intenso uso agropecuário nestas áreas de campo. A segunda tipologia mais presente de cobertura, também de ocorrência natural, com poucas áreas degradadas é a Floresta Aluvial/Mangue, contabilizando 12.839,13 ha (correspondendo a 10,36% da área do setor), de fato os mangues ocupam extensas áreas na planície costeira e são ambientes de proteção permanente, entretanto observa-se a extração de madeira, extrativismo e algumas estradas.

Em Salvaterra prevalecem as ocorrências naturais de Campos com 21.520,26 ha (correspondendo a 25,60% da área do setor) com intensa utilização agropecuária e Floresta Aluvial/Mangue com 13.107,51 (correspondendo a 15,59% da área do setor), neste caso majoritariamente representado por florestas aluviais. É perceptível o incremento em relação à Soure de áreas com mudança na cobertura vegetal original, constatado com os 6.453,36 ha de Capoeira Alta (correspondendo a 7,68% da área do setor). É constatada de forma singular a

presença de áreas de Savana (1.097,46 ha, cerca de 1,31 % do setor) com que possuem uso voltado a agropecuária.

A Ilha de Mosqueiro teve um comportamento bem diferenciado da margem oeste da Baía de Marajó, o qual apresentou 8.794,89 ha para Floresta Densa (correspondendo a 11,20% da área do setor) e 8.211,06 ha para Floresta Aluvial/Mangue (correspondendo a 10,46%). Por outro lado, a Ilha de Mosqueiro apresenta a maior quantificação de Solo Exposto com 7.364,34 ha (correspondendo a 9,38% da área estudada).

O mapa de Uso e Cobertura da Terra com a distribuição das classes para área estudada é apresentado na Figura 31:

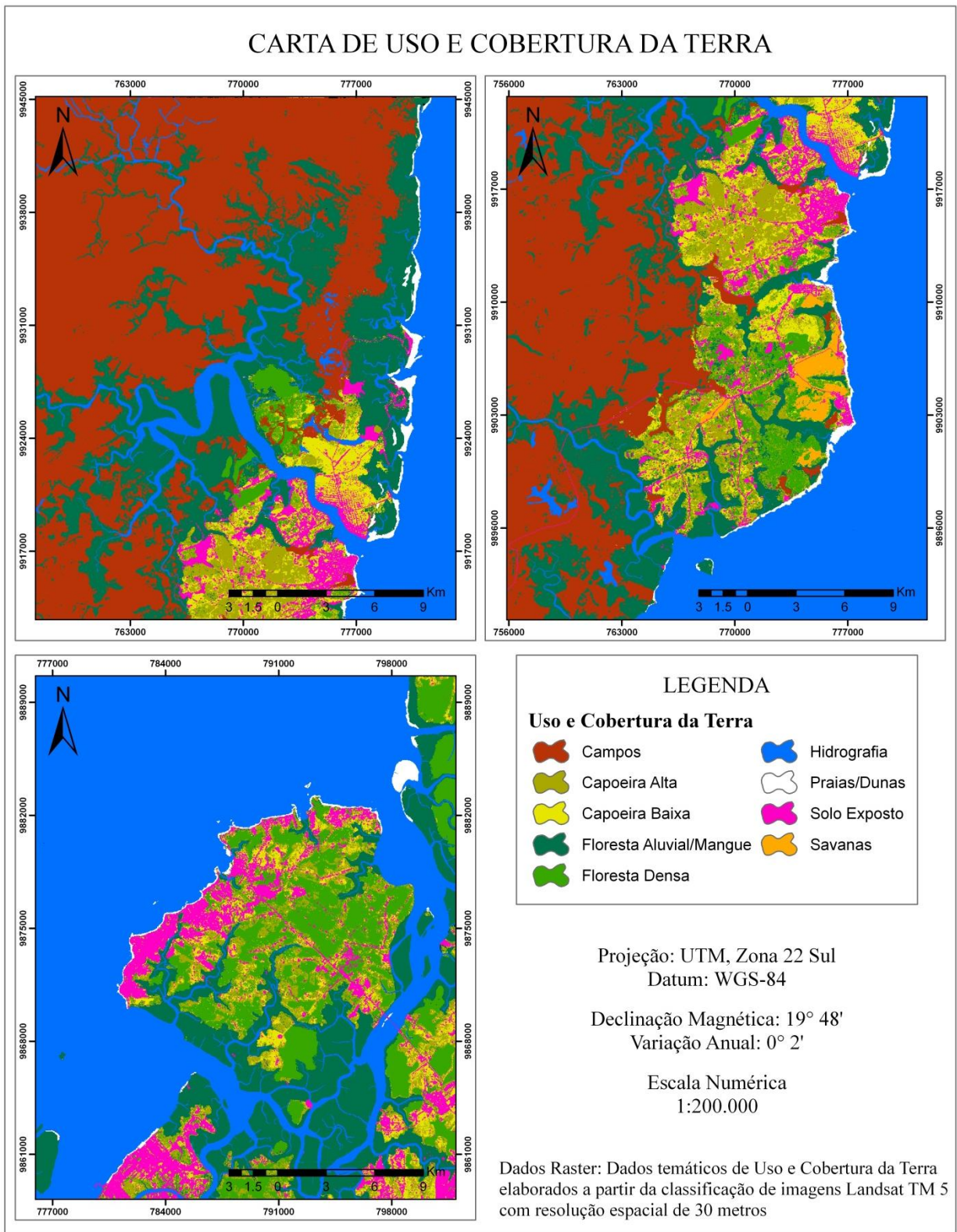


Figura 31 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra.

6.2 MAPEAMENTO MORFOLÓGICO E GEOMORFOMÉTRICO

O mapeamento morfológico e geomorfométrico permitiu uma melhor delimitação das unidades geomorfológicas presentes na área de estudo, e por consequência um melhor reconhecimento dos componentes físicos da paisagem (Geologia, Pedologia e Vegetação). Tais informações possibilitaram entender a extensão e a localização das formas de relevo e quais são suas principais características topográficas.

6.2.1 Cordão Arenoso Antigo

Esta unidade ocorre na planície costeira, e é representada por cristas arenosas no interior de planície de maré (manguezais). Em um momento pretérito, submetidos às condições de acreção por sedimentos finos (siltes e argilas), ocorre repentinamente uma interrupção no aporte sedimentar em consequência de uma fase erosiva (por exemplo, abrupta subida do nível do mar), assim formando os cordões arenosos antigos ou *cheniers* por retrabalhamento de ondas, após este evento, retornam as condições transgressivas com deposição lamosa (Muehe, 2006; França, 2006).

O reconhecimento destas feições ocorreu pela identificação de cristas arenosas no interior da planície costeira onde não existe atual contato com a linha de costa. Este relevo se caracterizou por altimetria média de 7,27 m, suave ondulado (declividade média de $2,57^\circ$), orientação preferencialmente sudoeste, perfil côncavo (média de curvatura vertical $-0,04^\circ/\text{m}$) e plano horizontal divergente (média de curvatura horizontal $1,01^\circ/\text{m}$). O comportamento espectral é apresentado na Figura 32 e as características geomorfométricas são apresentadas na Tabela 35.

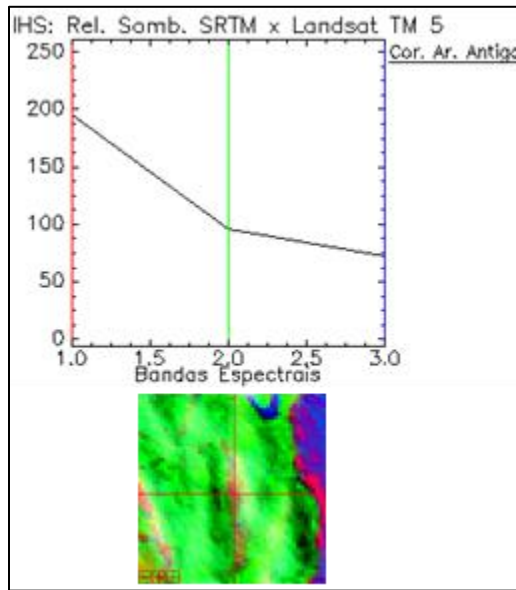


Figura 32 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Cordão Arenoso Antigo no tema Morfologia.

Tabela 34 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Cordão Arenoso Antigo.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Altimetria (m)	0,00	16,00	7,27	3,70
Declividade (°)	0,00	6,92	2,57	1,66
Orientação (°)	11,31	360,00	206,82	96,66
Curvatura Vertical (°/m)	-0,23	0,16	-0,04	0,07
Curvatura Horizontal (°/m)	-6,96	27,11	1,01	4,05
Separabilidade Espectral do Cordão Ar. Antigo (CAn)	Jeffries-Matusita		Divergência Transformada	
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras (CA _t)	1,8776		1,9601	
Hidrografia (Hi)	2,0000		2,0000	
Planalto Costeiro (PC)	1,3605		1,7654	
Planície Flúvio-Marinha (P _{fm})	1,9567		2,0000	
Terraço Flúvio-Marinho (T _{fm})	1,5752		1,8553	

6.2.2 Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras

Esta unidade é constituída por praias e dunas formadas em consequência do aporte sedimentar arenoso e retrabalhamento por ondas e ventos, estendem-se desde a linha média de maré baixa de sizígia até as cristas vegetadas das dunas ou falésias ativas (Muehe, 2006; França, 2006). Foram mapeadas cristas arenosas na interface da Planície Costeira e água. Este relevo é caracterizado por altimetria média de 2,99 m, suave ondulado (declividade média de 2,39°), orientação preferencialmente sudeste, perfil côncavo (média de curvatura vertical -0,04°/m) e

plano horizontal retilíneo (média de curvatura horizontal $-0,03^\circ/\text{m}$). O comportamento espectral é apresentado na Figura 33 e as características geomorfométricas são apresentadas na Tabela 36.

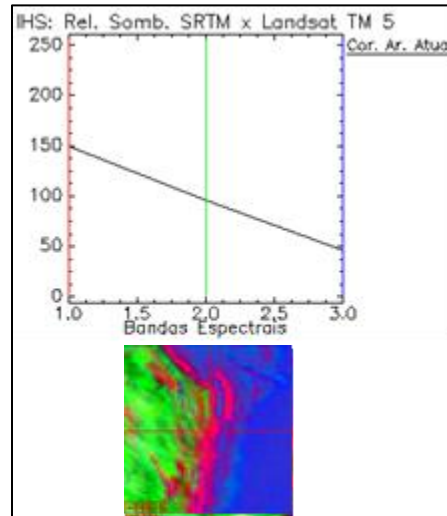


Figura 33 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Cordão Arenoso Atual no tema Morfologia.

Tabela 35 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Cordão Arenoso Atual.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Altimetria (m)	0,00	18,00	2,99	3,57
Declividade ($^\circ$)	0,00	8,23	2,39	2,04
Orientação ($^\circ$)	3,81	360,00	153,30	89,36
Curvatura Vertical ($^\circ/\text{m}$)	-0,26	0,24	-0,04	0,07
Curvatura Horizontal ($^\circ/\text{m}$)	-13,33	6,67	-0,03	1,53
Separabilidade Espectral do Cordão Ar. Atual/Dunas Costeiras (CA_t)	Jeffries-Matusita		Divergência Transformada	
Cordão Arenoso Antigo (CA _n)	1,8776		1,9601	
Hidrografia (Hi)	2,0000		2,0000	
Planalto Costeiro (PC)	1,9957		2,0000	
Planície Flúvio-Marinha (Pfm)	1,9998		2,0000	
Terraço Flúvio-Marinho (Tfm)	1,9914		2,0000	

6.2.3 Planalto Costeiro

Esta forma de relevo, quando comparada a planaltos das demais regiões do Brasil é caracterizado como rebaixado de plano a ondulado (altimetria máxima na Bacia Amazônica chega a 200 metros e possui aparência suave e tabular). O Planalto Costeiro possui cobertura

sedimentar pleistocênica aplainada embasada pela formação Barreiras e grupo Pós-Barreiras (rochas mais consolidadas dos setores estudados).

As feições de terra firme incluem áreas de floresta densa à solo exposto. Este relevo possui altimetria média de 21,77 m, plano (declividade média de 1,19°), orientação preferencialmente sudeste, perfil côncavo (média de curvatura vertical -0,04°/m) e plano horizontal retilíneo (média de curvatura horizontal -0,03°/m). O comportamento espectral é apresentado na Figura 34 e as características geomorfométricas são apresentadas na Tabela 37.

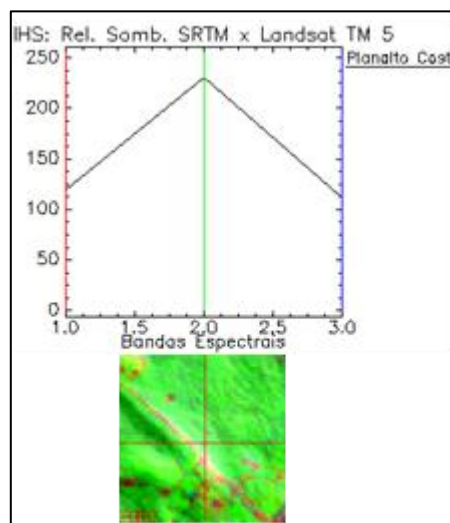


Figura 34 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Planalto Costeiro no tema Morfologia.

Tabela 36 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Planalto Costeiro.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Altimetria (m)	5,00	45,00	21,77	9,95
Declividade (°)	0,00	8,63	1,19	0,97
Orientação (°)	3,81	360,00	196,75	97,19
Curvatura Vertical (°/m)	-0,32	0,37	0,00	0,06
Curvatura Horizontal (°/m)	-27,11	27,11	0,02	3,31
Separabilidade Espectral do Planalto Costeiro (PC)	Jeffries-Matusita		Divergência Transformada	
Cordão Arenoso Antigo (CA _n)	1,3605		1,7654	
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras (CA _t)	1,9957		2,0000	
Hidrografia (Hi)	2,0000		2,0000	
Planície Flúvio-Marinha (Pfm)	1,4893		1,9962	
Terraço Flúvio-Marinho (Tfm)	1,7298		1,9134	

6.2.4 Planície Flúvio-Marinha

São formas de evolução morfológica recente, advinda de processos de agradação predominantemente fluvial e marinha, formado por materiais silto-arenosos e eventuais lentes argilosas, sua característica hidrodinâmica e seu patamar topográfico baixo e gradual podem ser compartimentados em planícies aluviais, canais fluviais, planícies estuarinas, canais estuarinos, planícies costeiras (*cheniers*, dunas e praias) e planícies de maré (manguezais) (Muehe, 2006).

Este relevo é caracterizado por altimetria média de 18,60 m (altimetria não topográfica, provavelmente influenciada pelo efeito dossel no MDE), plano (declividade média de $1,87^\circ$), orientação preferencialmente sudeste, perfil convexo (média de curvatura vertical $0,01^\circ/\text{m}$) e plano horizontal convergente (média de curvatura horizontal $-0,48^\circ/\text{m}$). O comportamento espectral é apresentado na Figura 35 e as características geomorfométricas são apresentadas na Tabela 38.

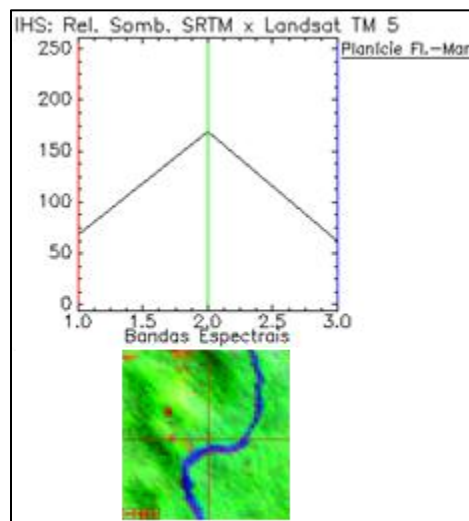


Figura 35 – Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Planície Flúvio-Marinha no tema Morfologia.

Tabela 37 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral da Planície Flúvio-Marinha.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Altimetria (m)	7,00	33,00	18,60	5,30
Declividade (°)	0,00	10,92	1,87	1,51
Orientação (°)	4,09	360,00	191,37	94,53
Curvatura Vertical (°/m)	-0,26	0,33	0,01	0,07
Curvatura Horizontal (°/m)	-40,00	15,32	-0,48	3,20
Separabilidade Espectral da Planície Flúvio-Marinha (Pfm)		Jeffries-Matusita	Divergência Transformada	
Cordão Arenoso Antigo (CAn)		1,9567	2,0000	
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras (CAAt)		1,9998	2,0000	
Hidrografia (Hi)		2,0000	2,0000	
Planalto Costeiro (PC)		1,4893	1,9962	
Terraço Flúvio-Marinho (Tfm)		1,9989	2,0000	

6.2.5 Terraço Flúvio-Marinho

Esta unidade está localizada entre o planalto costeiro e a planície costeira, é topograficamente mais elevada que a planície, seu embasamento é constituído por sedimentos do quaternário e sua cobertura vegetal ocorre por espécies campestres. Durante a estação chuvosa sua influência é mais controlada pela precipitação e na estação seca é favorecida a influência de marés (Muehe, 2006; França, 2006).

Este relevo é caracterizado por altimetria média de 4,93 m, plano (declividade média de 0,64°), orientação preferencialmente sudeste, perfil convexo (média de curvatura vertical 0,00°/m) e plano horizontal convergente (média de curvatura horizontal 0,01°/m). O comportamento espectral é apresentado na Figura 36 e as características geomorfométricas são apresentadas na Tabela 39.

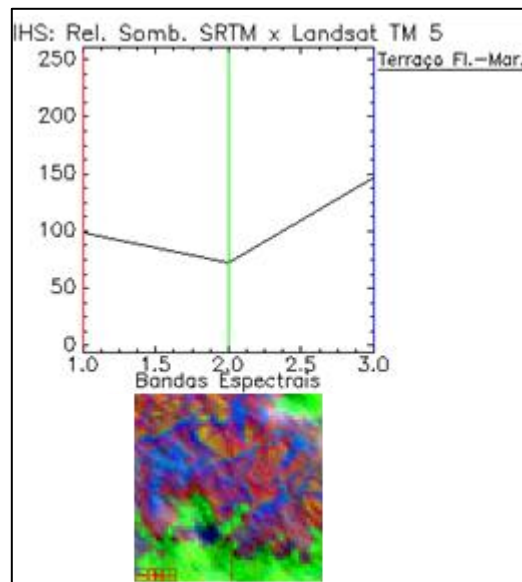


Figura 36 - Padrões fotointerpretativos e curva espectral para definição da classe Terraço Flúvio-Marinho no tema Morfologia.

Tabela 38 – Características geomorfométricas e separabilidade espectral do Terraço Flúvio-Marinho.

Estatística Descritiva	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Altimetria (m)	1,00	11,00	4,93	1,67
Declividade (°)	0,00	4,58	0,64	0,50
Orientação (°)	11,31	360,00	186,25	88,57
Curvatura Vertical (°/m)	-0,26	0,23	0,00	0,06
Curvatura Horizontal (°/m)	-26,67	40,00	0,01	3,71
Separabilidade Espectral do Terraço Flúvio-Marinho (Tfm)		Jeffries-Matusita	Divergência Transformada	
Cordão Arenoso Antigo (CAn)		1,5752	1,8553	
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras (CAt)		1,9914	2,0000	
Hidrografia (Hi)		2,0000	2,0000	
Planalto Costeiro (PC)		1,7298	1,9134	
Planície Flúvio-Marinha (Pfm)		1,9989	2,0000	

6.2.6 Avaliação do Mapeamento de Morfológico

O dado temático de morfologia descreve as formas de relevo qualitativamente por analogia aos mapeamentos geomorfológicos pré-existentes, este dado é o mais significativo para delimitar unidades de paisagem por agregar características do substrato e topográficas. Quanto a avaliação do mapeamento temático é importante esclarecer que: (i) a maioria dos dados morfológicos já foram mapeados por outros pesquisadores como França (2006) e Silva (1975) utilizando estas informações na determinação de amostras de treinamento; (ii) houve uma

atualização e compatibilização em termos de bases dados espacial, aperfeiçoando a localização e delimitação das unidades; (iii) a maior dificuldade está na delimitação inequívoca entre uma unidade e outra, isto provavelmente está relacionado a escala de mapeamento, necessidade de mais amostras de campo nas interfaces e a própria dinâmica da paisagem.

A avaliação de acurácia foi bastante proveitosa, obtendo desempenho excelente (*Kappa* 0,92). As classes de melhor desempenho para Acurácia do Produtor foram Planalto Costeiro (96,49) e Planície Flúvio-Marinha (91,50), e as classes de menor desempenho foram Cordão Arenoso Antigo (54,15) e Terraço Flúvio-Marinho (77,22), ver tabela 40:

Tabela 39 – Matriz de Confusão para o mapeamento de Morfologia.

Landsat TM 5 x Levantamento de Campo							
Matriz de Confusão (%)	CAn	CAt	Hi	PC	Pfm	Tfm	∑ Linha
Cordão Arenoso Antigo (CAn)	54,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,15
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras (CAt)	10,04	84,61	0,00	0,00	0,00	0,00	94,65
Hidrografia (Hi)	0,00	7,50	99,99	0,00	0,00	0,11	107,60
Planalto Costeiro (PC)	25,33	3,08	0,00	96,49	7,87	0,00	132,77
Planície Flúvio-Marinha (Pfm)	9,61	4,62	0,00	3,19	91,50	22,67	131,59
Terraço Flúvio-Marinho (Tfm)	0,87	0,19	0,01	0,32	0,63	77,22	79,24
∑ Coluna	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Omissão	45,85	15,39	0,01	3,51	8,50	22,78	
Comissão	0,00	4,97	0,15	2,47	45,81	1,04	
Acurácia do Produtor	54,15	84,61	99,99	96,49	91,50	77,22	
Acurácia do Usuário	100,00	95,03	99,85	97,53	54,19	98,96	
Exatidão Global	95,33						
Coefficiente Kappa	0,92						

6.2.7 Mapa Morfológico

No setor Soure a forma de maior extensão são os Terraços Flúvio-Marinhos, com 33.860,43 ha (27,35% da área municipal estudada). A segunda morfologia de maior extensão são as Planícies Flúvio-Marinhas com 12.902,13 ha (10,42% da área municipal estudada) (ver tabela 41). A planície costeira prevalece notadamente no setor em questão com 46.762,56 ha (37,77% da área municipal estudada).

No setor Salvaterra a morfologia de maior extensão são os Terraços Flúvio-Marinhos, assim como em Soure, possuindo uma área de 21.530,61 ha (24,16% da área municipal

estudada). Outra forma de relevo em destaque é o Planalto Costeiro que apresenta 19.324,80 ha (21,68% da área municipal estudada), e, portanto apresenta a maior extensão estável das morfologias quando comparado ao setor de Soure (ver tabela 41).

A Ilha de Mosqueiro possui majoritariamente áreas de Planalto Costeiro com 23.410,35 ha (29,81% da área municipal estudada), isto implica em uma paisagem composta de áreas mais estáveis do que os setores estudados na margem oeste da Baía de Marajó. As Planícies Flúvio-Marinhas possuem 7.921,08 ha (29,81% da área municipal estudada) e estão relacionadas principalmente aos processos aluviais, sempre adjacentes às drenagens (ver tabela 41).

Tabela 40 – Quantificação das unidades de Morfologia nos três setores estudados

Morfologia	Soure		Salvaterra		Ilha de Mosqueiro	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Cordão Arenoso Antigo	95,72	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Cordão Arenoso Atual/Dunas Costeiras	823,77	0,67	519,12	0,62	461,68	0,59
Hidrografia	72250,53	58,36	30085,63	35,73	46658,03	59,38
Planalto Costeiro	3981,55	3,22	18949,40	22,51	23237,72	29,58
Planície Flúvio-Marinha	12828,48	10,36	13114,41	15,58	8204,74	10,44
Terraço Flúvio-Marinho	33813,94	27,31	21522,82	25,56	7,02	0,01
Total	123.891,39	100,00	84.053,25	100,00	78.519,24	100,00

A espacialização das unidades morfológicas para os setores estudados é apresentada na Figura 37

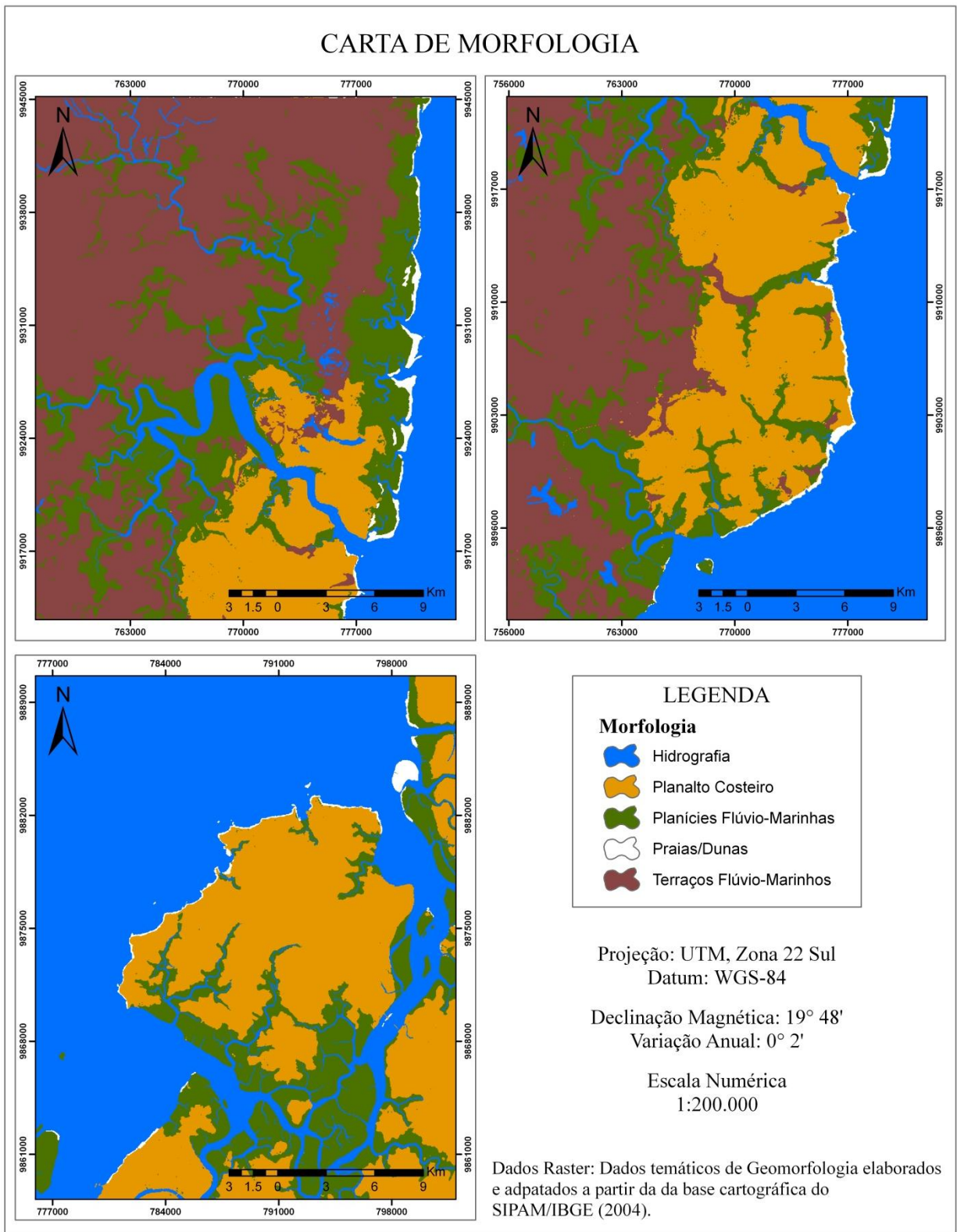


Figura 37 – Mapa de Morfologia.

6.2.8 Avaliação do Mapeamento Geomorfométrico

A avaliação de mapeamento geomorfométrico, por se tratar de variáveis numéricas, levou em consideração a análise de correlação entre as coordenadas z de pontos de campo adquiridas com DGPS e o MDE SRTM. Deste modo, aplicou-se o Coeficiente de Pearson sobre a derivada de ordem zero (altimetria) que é a fonte de informação espacial das demais derivadas.

Avaliando os dados, segundo Ayres *et al.* (2007), o Coeficiente de Pearson apontou moderada correlação positiva entre os dados (entre $\pm 0,3$ a $\pm 0,7$) (ver Tabela 42). Apresentando-se como variáveis totalmente independentes, porém estes dados estão relacionados uma vez que uma variável aumenta a outra tende a aumentar também da mesma forma em situação contrária.

Tabela 41 – Análise de correlação entre as coordenadas z do DGPS obtidas em campo e os dados altimétricos do MDE SRTM.

Coeficiente de Pearson	Coordenada Z DGPS/SRTM
n (pares) =	63
r (Pearson) =	0,5571
IC 95% =	0,36 a 0,71
IC 99% =	0,29 a 0,75
R² =	0,3103
t =	5,2389
GL =	61
(p) =	<0,0001
Poder 0.5	0,9994
Poder 0.01	0,9945

Por serem dados espacializados, houve a necessidade de avaliar a diferença geométrica em coordenadas x, y e z dos pontos de DGPS e os pontos de amostragem do MDE SRTM. Percebe-se consistência geométrica dos dados analisados, os quais a diferença média entre coordenadas x, y e z foi respectivamente de 13,58 m, -10,26 m e -2,52 m, se relacionados estas médias com a resolução planimétrica 30 m e resolução altimétrica de 1 m (ver Tabela 43).

Tabela 42 – Análise descritiva entre as diferenças das coordenadas x, y e z do DGPS obtidas em campo e os dados altimétricos do MDE SRTM.

Estatística Descritiva (m)	Min	Max	Média	Desvio Padrão
Xdgps - Xsrtm	-49,49	81,66	13,58	20,98
Ydgps - Ysrtm	-69,08	43,96	-10,26	19,82
Zdgps - Zsrtm	-36,00	2,82	-2,52	5,46

Os dados de DGPS são altamente precisos (precisão submétrica) e sua coleta é direta, ocorrendo na superfície topográfica. Contudo, o modelo SRTM é interferométrico, utilizando-se das bandas de microondas C e X o qual ocorre penetração parcial do dossel florestal, logo MDE mapeia objetos não topográficos (construções e dosséis florestais), e por este motivo a correlação vertical não foi maior do que 0,55.

6.2.9 Mapas Geomorfométricos

A altimetria, por ser a derivada de ordem zero, é o dado de maior relevância, pois através do mesmo foram geradas as demais derivadas geomorfométricas. Está apresentado na forma tabular por classes de morfologia na Tabela 44

Tabela 43 – Estatística descritiva de altimetria para as unidades morfológicas dos setores estudados.

Morfologia / Altimetria (m)	Soure				Salvaterra				Ilha de Mosqueiro			
	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.
CAn	1,00	24,00	8,80	4,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CAt	0,00	37,00	2,29	4,73	0,00	21,00	1,84	2,79	0,00	26,00	5,37	4,36
Hi	0,00	30,00	0,21	1,53	0,00	29,00	0,40	2,11	0,00	31,00	0,36	2,01
PC	0,00	37,00	10,87	4,76	0,00	36,00	13,16	5,01	0,00	46,00	18,82	8,15
Pfm	0,00	38,00	13,27	6,13	0,00	35,00	13,02	5,24	0,00	40,00	16,44	4,79
Tfm	0,00	26,00	4,28	1,63	0,00	26,00	5,85	2,28	5,00	23,00	14,04	4,16

Soure apresenta um relevo bastante arrasado e aplainado, o qual se destaca a média zonal da unidade Terraço Flúvio-Marinho com 4,28 m, justamente por ser uma grande extensão em Soure. No Planalto Costeiro a altimetria média não passou de 10,87 m. Na Planície Flúvio-Marinha, o desenvolvimento de manguezais propiciou efeito dossel (espalhamento volumétrico elevado destas fisionomias vegetais) registrando altimetrias não topográficas com média de 13,27 m e máximo de 38 m.

Salvaterra se apresentou topograficamente mais elevada do que o setor Soure, dado que sua extensão de áreas com embasamento rochoso é também superior. Isto é perceptível pela maior média zonal do Planalto Costeiro com 13,16 m. Na unidade de Terraço Flúvio-Marinho obteve-se 5,85 m que é representativo por sua extensão.

A Ilha de Mosqueiro apresentou a maior amplitude altimétrica se comparado com os setores da margem oeste da Baía de Marajó, com máximo de 46,00 m. A ilha de Mosqueiro é

sustentada em maior parte pela formação Barreiras e grupo Pós-Barreiras que agregou valores elevados na média zonal 18,82 m no Planalto Costeiro.

A espacialização das classes hipsométricas para os setores estudados é apresentada na Figura 38.

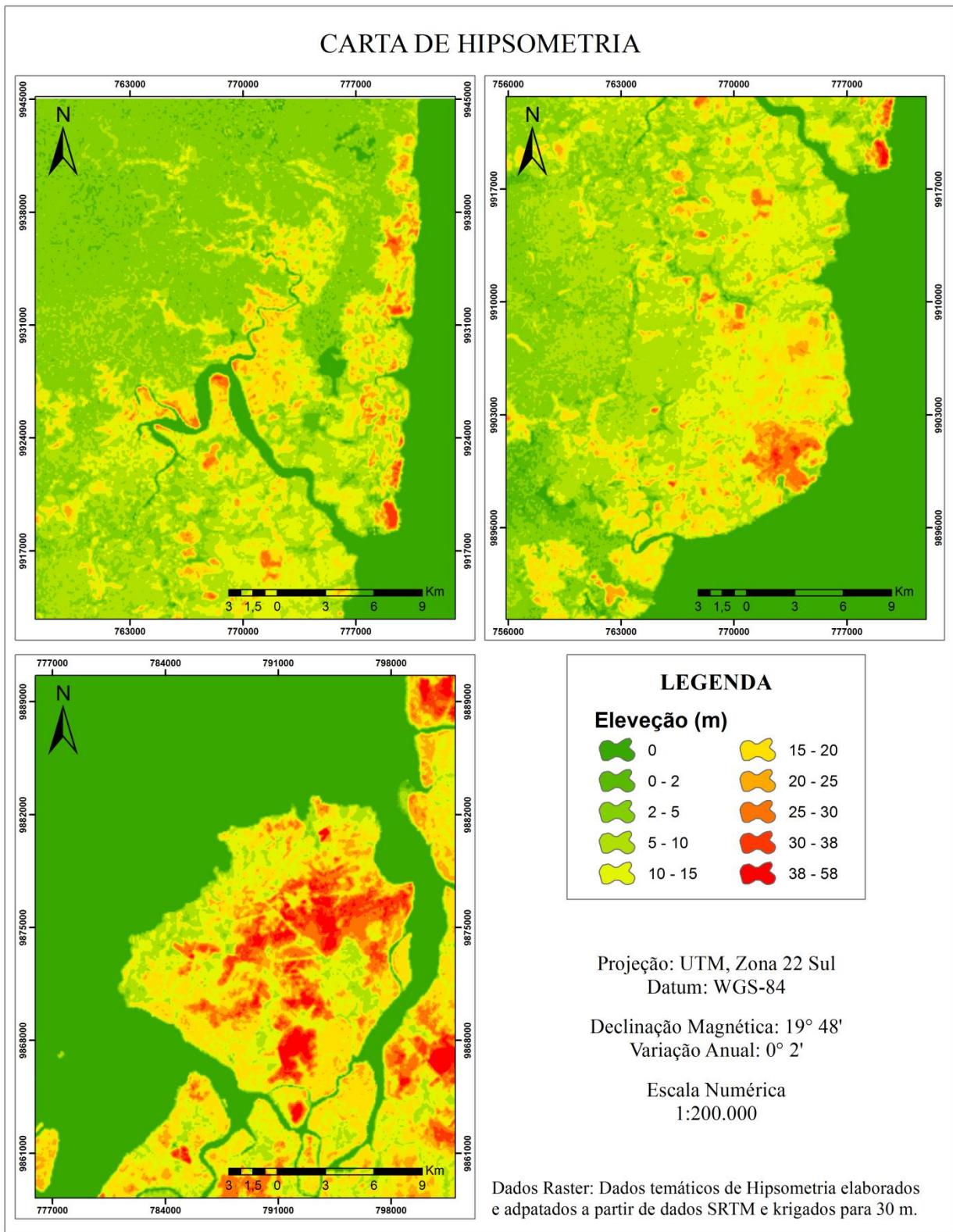


Figura 38 – Mapa de Hipsometria.

A declividade representa a variação do gradiente topográfico no terreno e tem alata aplicabilidade em estudos de movimentos gravitacionais bem como na definição da forma do relevo. Optou-se por dados em percentual variando de 0% a ∞ , o qual o padrão mais presente nos modelos gerados foi declividades baixíssimas (0-2 %, relevos planos).

Observa-se no setor Soure que as unidades morfológicas não apresentam declividade média acima 4,34. Entretanto, constata-se que a Planície Flúvio-Marinha (máximo de 25,89%) e Cordões Arenosos (máximo de 25,45%) possuem ocorrências mais escarpadas (relevos classificados como Forte Ondulado 20-45%) possivelmente relacionadas às áreas de contato do Planalto Costeiro/Planície Costeira na forma de falésias e pela quebra topográfica abrupta entre os espécimes de manguezais (sob efeito dossel no MDE) e os cordões praias (ver Tabela 45).

No setor Salvaterra, observa-se o padrão de terrenos plano à suave ondulado com maiores médias para a Planície Flúvio-Marinha (3,50%) e Cordão Arenoso Atual (3,10%), apresentando falésias ativas ao longo da linha de costa. As morfologias mais de gradiente topográfico mais forte foram a Planície Flúvio-Marinha (máximo de 28,53%) e o Terraço Flúvio-Marinho (máximo de 20,42%) (ver Tabela 45).

A Ilha de Mosqueiro manteve o comportamento topográfico gradual com feições planas e suavemente onduladas. Entretanto, comparando aos demais setores, possui o relevo mais acidentado apresentando quebras topográficas. A morfologia mais escarpada foi os Cordões Arenosos Atuais com média zonal de 6,23%, há a formação de falésias ativas na linha de costa da ilha, isto pelo contato Planalto Costeiro e Planície Costeira. Em certos pontos localizados entre as praias de enseada, as falésias chegam até 7 m. É destacável que o Planalto Costeiro obteve maiores declives se comparados com as áreas da margem oeste da Baía de Marajó, apresentando média zonal de 3,41% (ver Tabela 45).

Tabela 44 – Estatística descritiva de declividade para as unidades morfológicas dos setores estudados.

Morfologia / Declividade (%)	Soure				Salvaterra				Ilha de Mosqueiro			
	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.
CAn	0,00	12,13	4,34	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CAt	0,00	25,45	2,69	4,17	0,00	16,75	3,10	3,27	0,00	25,22	6,23	4,13
Hi	0,00	28,78	0,14	1,06	0,00	27,55	0,29	1,50	0,00	31,01	0,32	1,57
PC	0,00	17,01	2,70	2,03	0,00	19,19	2,45	2,00	0,00	25,44	3,41	2,54
Pfm	0,00	25,89	3,70	2,65	0,00	28,53	3,50	2,45	0,00	25,44	3,35	2,92
Tfm	0,00	15,81	1,37	1,35	0,00	20,42	1,70	1,60	0,00	7,07	2,23	1,45

A espacialização das classes de declividade para os setores estudados é apresentada na Figura 39.

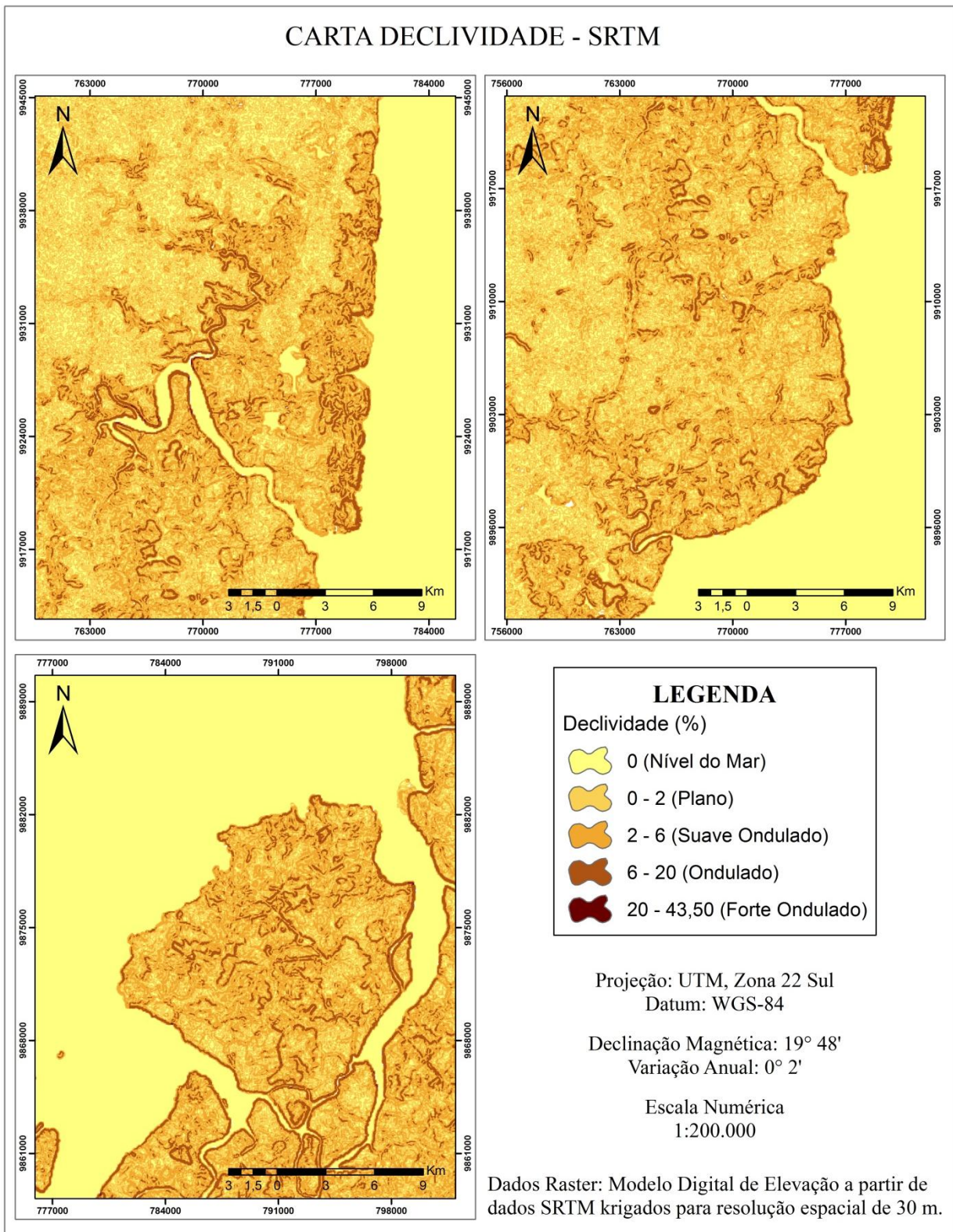


Figura 39 – Mapa de Declividade.

No sentido descendente da vertente, a face expressa está exposta a um azimute conhecido em relação ao norte geográfico, esta derivada é significativa para determinação do escoamento superficial e gradiente térmico. Nos modelos aferidos a disposição dos mesmos foi aleatória, com grande concentração em áreas planas (-1° , sem orientação azimutal definida), ver Figura 40.

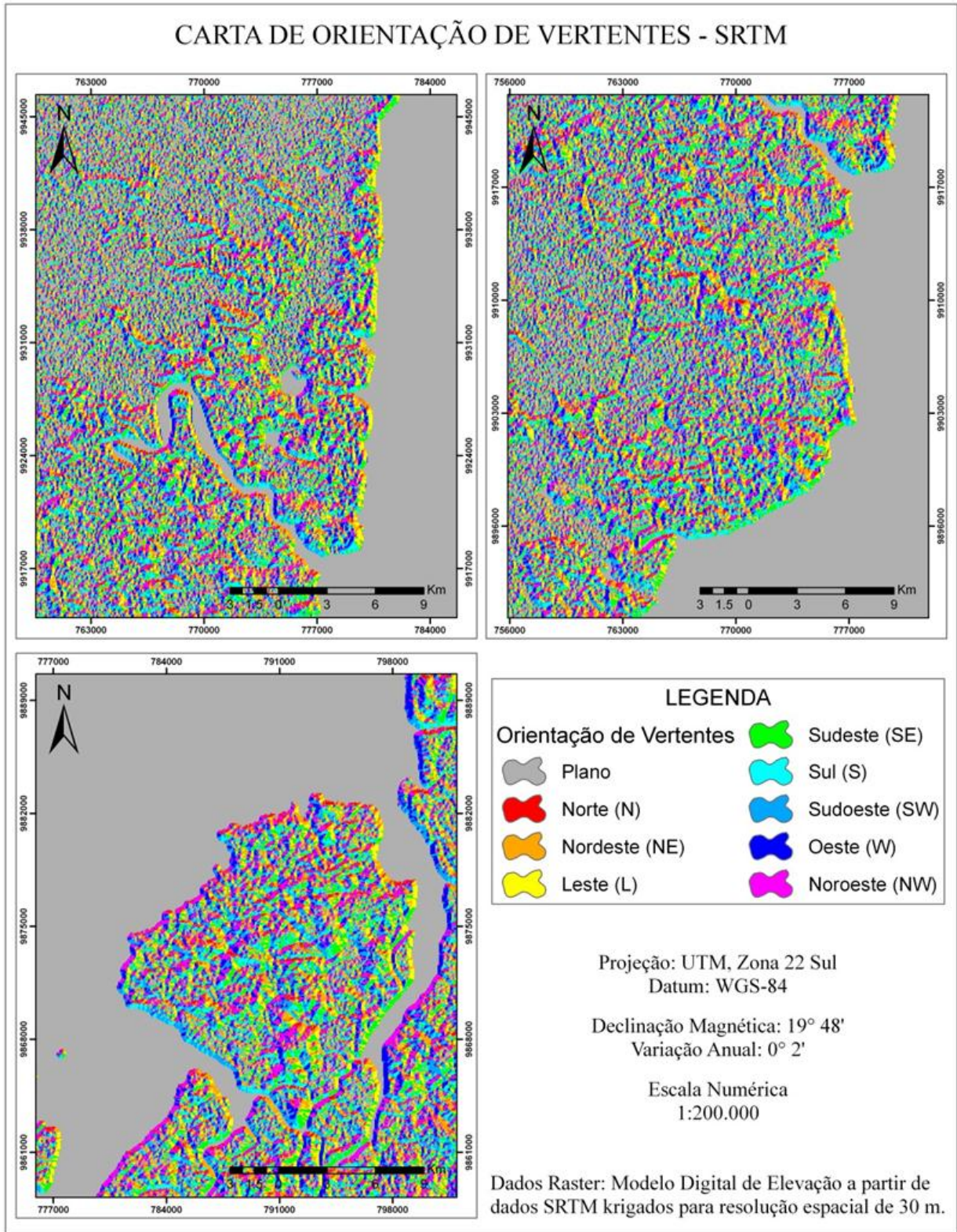


Figura 40 – Mapa de Orientação de Vertentes.

A derivada curvatura vertical de 2° ordem evidencia a forma da vertente avaliada em perfil, observando quanto à declividade, esta varia num comprimento orientado no sentido do desnível, e esta implica nos processos de transporte de matéria por gravidade. As curvaturas verticais encontradas na área estudada são geralmente retilíneas ($\pm 0,00125$ °/m), ocorrendo poucos casos de curvaturas côncavas ($< -0,00125$) e convexas ($> + 0,00125$) (ver Tabela 46).

Tabela 45 – Estatística descritiva de curvatura vertical para as unidades morfológicas dos setores estudados.

Morfologia / Curv. Vertical (°/m)	Soure				Salvaterra				Ilha de Mosqueiro			
	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.
CAn	-0,44	0,56	0,03	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CAt	-0,56	0,89	0,02	0,08	-0,75	0,55	0,03	0,09	-0,98	0,68	0,02	0,12
Hi	-1,11	1,00	0,00	0,02	-1,56	1,44	0,00	0,03	-1,53	0,89	0,00	0,03
PC	-0,77	0,63	0,00	0,09	-0,78	0,78	0,00	0,09	-1,16	0,99	0,00	0,10
Pfm	-0,99	1,22	-0,01	0,10	-0,93	1,00	-0,01	0,10	-1,07	0,84	-0,01	0,10
Tfm	-0,84	0,78	0,00	0,09	-0,80	0,78	0,00	0,09	-0,22	0,14	-0,01	0,09

Soure apresentou 73,12 % do sua área com feição de curvatura vertical retilínea, as vertentes mais singulares foram convexas localizadas no Cordão Arenoso Antigo (média de 0,0297 °/m). Salvaterra apresentou 55,16 % do sua área com feição de curvatura vertical retilínea, as vertentes mais singulares foram convexas localizadas no Cordão Arenoso Atual (média de 0,0304 °/m). A Ilha de Mosqueiro apresentou 67,34 % do sua área com feição de curvatura vertical retilínea, as vertentes mais singulares foram convexas localizadas no Cordão Arenoso Atual (média de 0,0168 °/m).

A espacialização das classes de Curvatura Vertical para os setores estudados é apresentada na Figura 41.

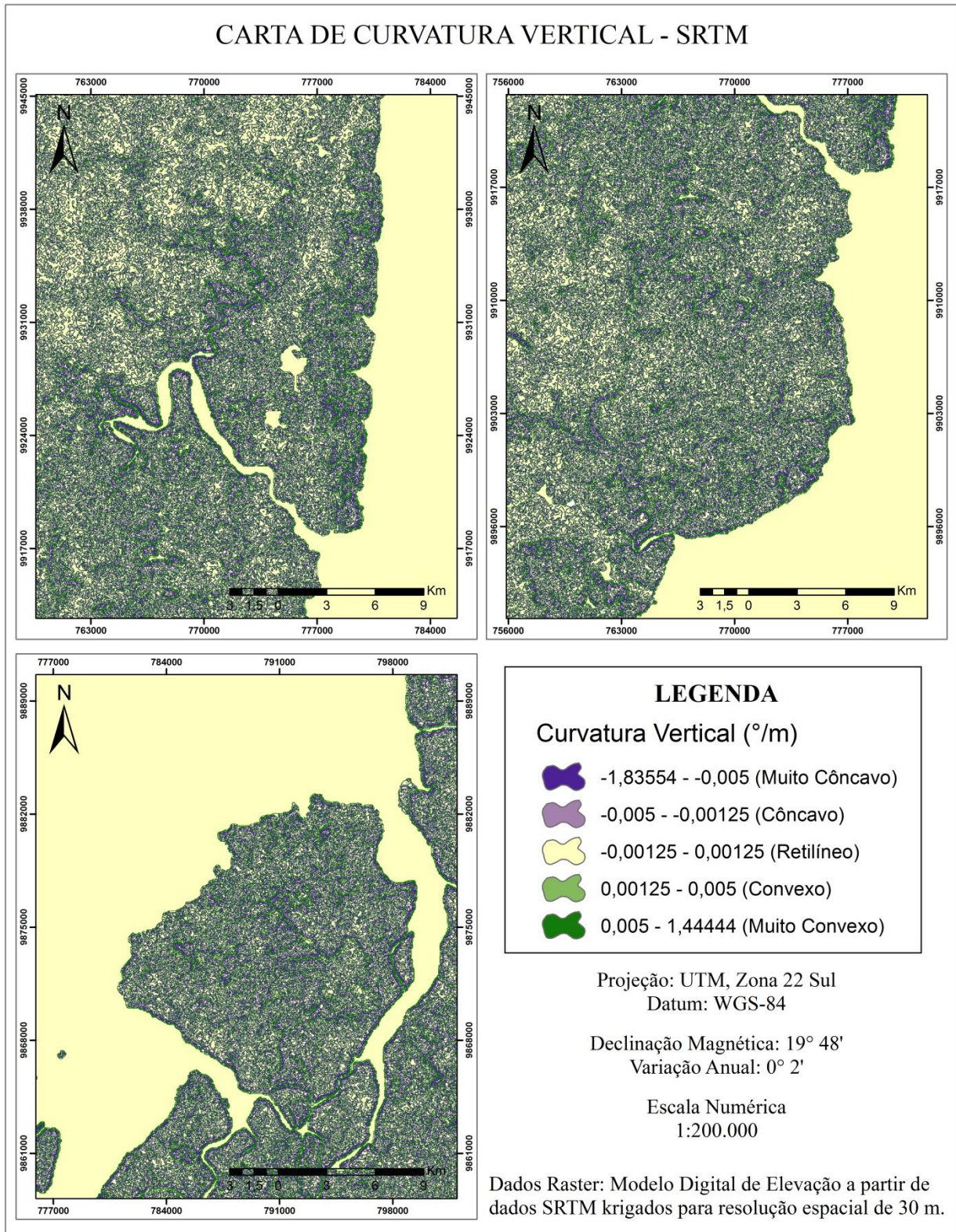


Figura 41 – Mapa de Curvatura Vertical.

A análise da vertente no seu aspecto horizontal é determinada pela avaliação das linhas de fluxo do terreno (direções de declives adjacentes), compatibilizando diferentes processos entre o transporte e acúmulo de materiais. As feições mais amplamente encontradas na área estudada foram curvaturas planares ($\pm 0,054$), e com feições singulares estão às vertentes convergentes ($< -0,054$) e divergentes ($> + 0,054$).

Soure apresentou 85,30 % do sua área com feição de curvatura horizontal planar, as vertentes mais singulares foram convergentes localizadas no Cordão Arenoso Antigo (média de 0,0096 °/m). Salvaterra apresentou 74,14 % do sua área com feição de curvatura horizontal planar, as vertentes mais singulares foram divergentes localizadas na Planície Flúvio-Marinha (média de 0,0076 °/m). A Ilha de Mosqueiro apresentou 79,07 % do sua área com feição de curvatura horizontal planar, as vertentes mais singulares foram divergentes localizadas no Cordão Arenoso Atual (média de 0,0058 °/m) (ver Tabela 47).

Tabela 46 – Estatística descritiva de curvatura horizontal para as unidades morfológicas dos setores estudados.

Morfologia / Curv. Horizontal (°/m)	Soure				Salvaterra				Ilha de Mosqueiro			
	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.	Min.	Max.	Med.	Std.
CAn	-0,44	0,33	-0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CAt	-0,67	0,67	0,00	0,06	-0,52	1,03	0,00	0,08	-0,55	1,02	0,01	0,10
Hi	-0,89	0,99	0,00	0,02	-1,44	1,33	0,00	0,03	-0,89	1,69	0,00	0,02
PC	-0,58	0,73	0,00	0,08	-0,89	0,76	0,00	0,08	-0,89	1,18	0,00	0,09
Pfm	-1,11	0,89	0,01	0,09	-0,80	1,11	0,01	0,09	-0,83	1,04	0,00	0,09
Tfm	-0,67	0,76	0,00	0,06	-0,56	0,70	0,00	0,07	-0,14	0,22	0,02	0,08

A espacialização das classes de Curvatura Horizontal para os setores estudados é apresentada na Figura 42.

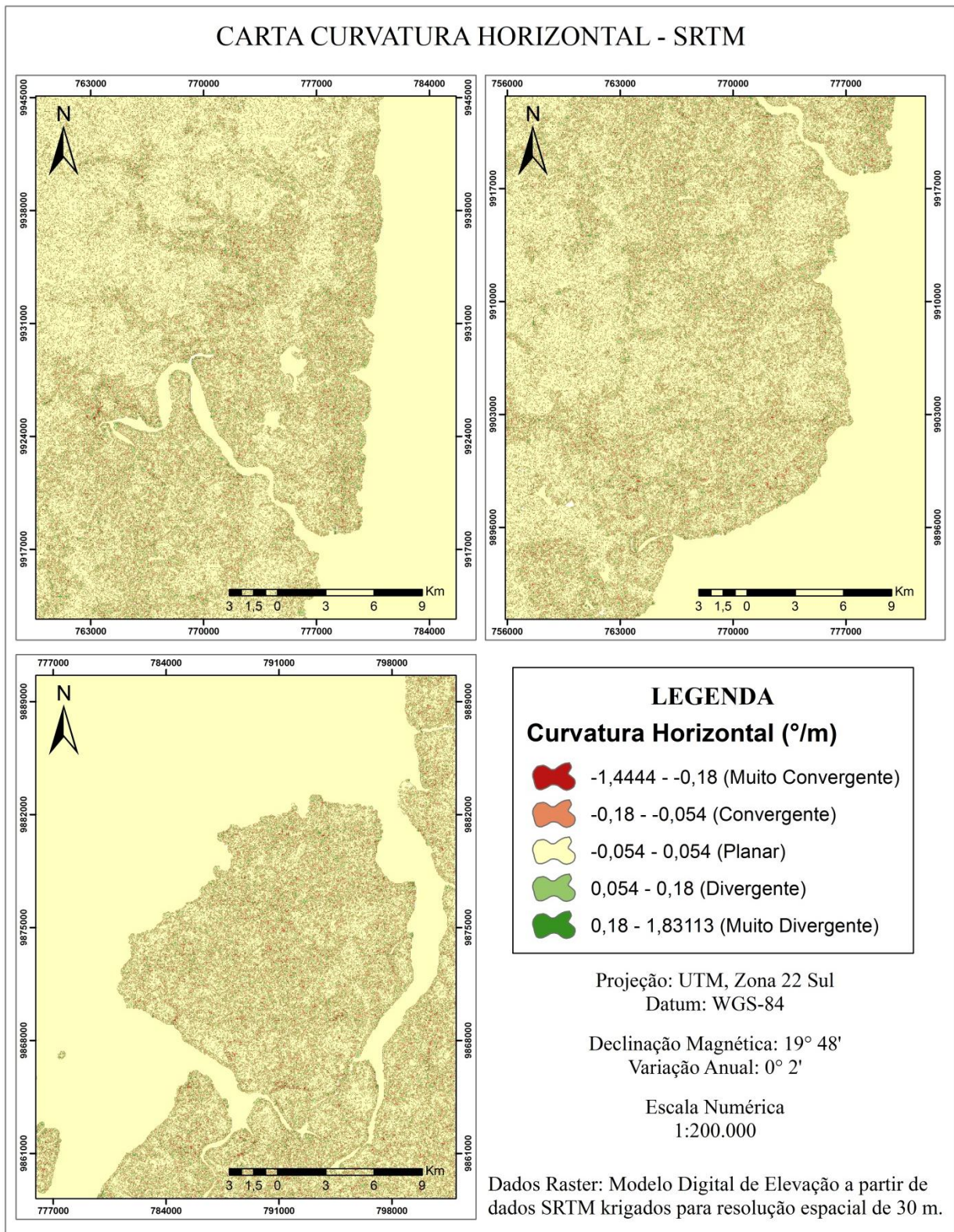


Figura 42 – Mapa de Curvatura Horizontal.

A Forma de Terreno é produto da combinação das derivadas de curvatura vertical e horizontal, gerando modelos teóricos de escoamento superficial entre o máximo acúmulo (terrenos pedogenéticos) e máxima dispersão (terrenos morfogenéticos).

As formas de terreno preponderante nos setores estudados foram as áreas de transição (vertentes retilíneas e planares). Para Soure, a segunda forma mais relevante foram as áreas mesoconcentradoras longitudinais (côncavo-planar) com 6,69% (8.263,23 ha). Para Salvaterra foram as áreas hipodispersoras (convexo-convergente) com 11,52% (9.675,46 ha), e a Ilha de Mosqueiro que apresentou 8,82% (6.928,65 ha) para áreas hipodispersoras (convexo-convergente) (ver Tabela 48).

Tabela 47 – Quantificação das formas de terreno encontradas para os setores estudados.

Forma de Terreno	Soure		Salvaterra		Ilha de Mosqueiro	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Hiperdispensor	476,77	0,39	519,62	0,62	762,77	0,97
Mesodispensor Longitudinal	7650,71	6,19	8145,16	9,69	4921,63	6,27
Hipodispensor	8121,94	6,57	9675,46	11,52	6928,65	8,82
Mesodispensor Radial	360,99	0,29	490,95	0,58	508,66	0,65
Transição	89469,65	72,42	45168,73	53,76	51829,63	65,98
Mesoconcentrador Radial	502,85	0,41	687,02	0,82	556,58	0,71
Hipoconcentrador	7995,51	6,47	9497,37	11,30	6750,82	8,59
Mesoconcentrador Longitudinal	8263,26	6,69	8978,28	10,69	5362,36	6,83
Hiperconcentrador	701,83	0,57	858,89	1,02	930,00	1,18
Total	123.891,39	100,00	84.053,25	100,00	78.519,24	100,00

A espacialização das classes de Forma de Terreno para os setores estudados é apresentada na Figura 43.

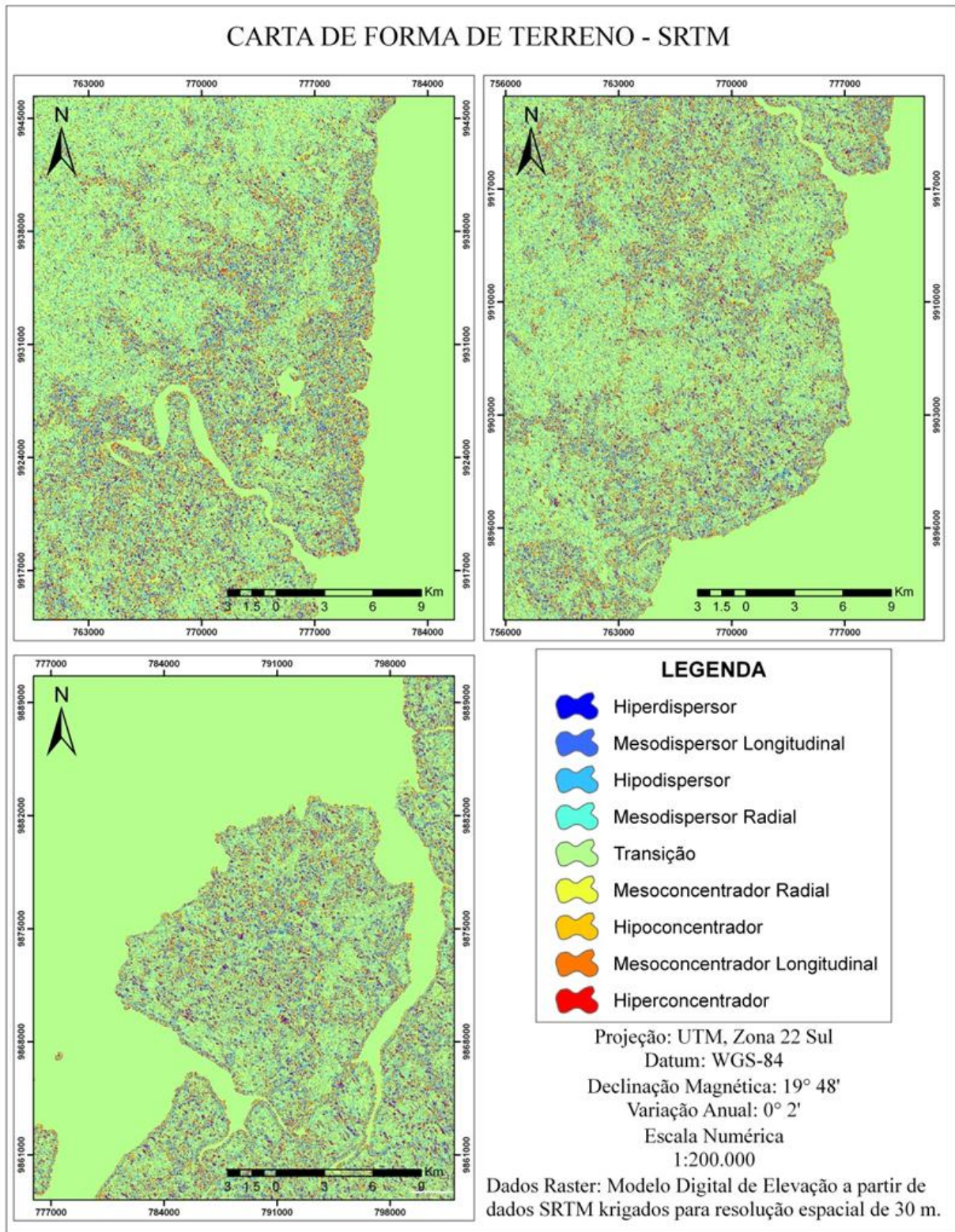


Figura 43 – Mapa de Formas de Terreno.

6.3 VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO DE UNIDADES DE PAISAGEM

6.3.1 Unidades de Paisagem

As unidades de paisagem representam regiões homogêneas pelas características físicas de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso e Cobertura de uma dada área de interesse com específica escala espacial e temporal. Para a delimitação das unidades foi imprescindível a compilação dos dados temáticos (escala original 1:250.000) e a elaboração de Uso e Cobertura e Geomorfométricos (escala original 1:150.000).

A atualização de dados a partir de informações de sensoriamento remoto são muito significantes para melhorias espaciais no detalhamento das unidades de paisagem e devem se comprometer com a dinâmica de zonas costeiras tropicais úmidas.

As unidades de paisagem delimitadas neste estudo são Áreas de Transição, Campos, Cordões Arenosos, Hidrografia, Savana, Terra Firme, e, Várzeas e Mangues. Sua principal aplicação nesta pesquisa foi para medir vulnerabilidade natural a perda de solo, entretanto a materialização de unidades homogêneas na superfície topográfica pode colaborar em iniciativas de zoneamento, parcelamento do solo ou demais intervenções institucionais na gestão do território. A espacialização das unidades de paisagem é tão fidedigna aos elementos *in locu* quanto às bases utilizadas para a confecção e os métodos de tratamento e integração utilizados, seus limites podem ser vistos na Figura 44:

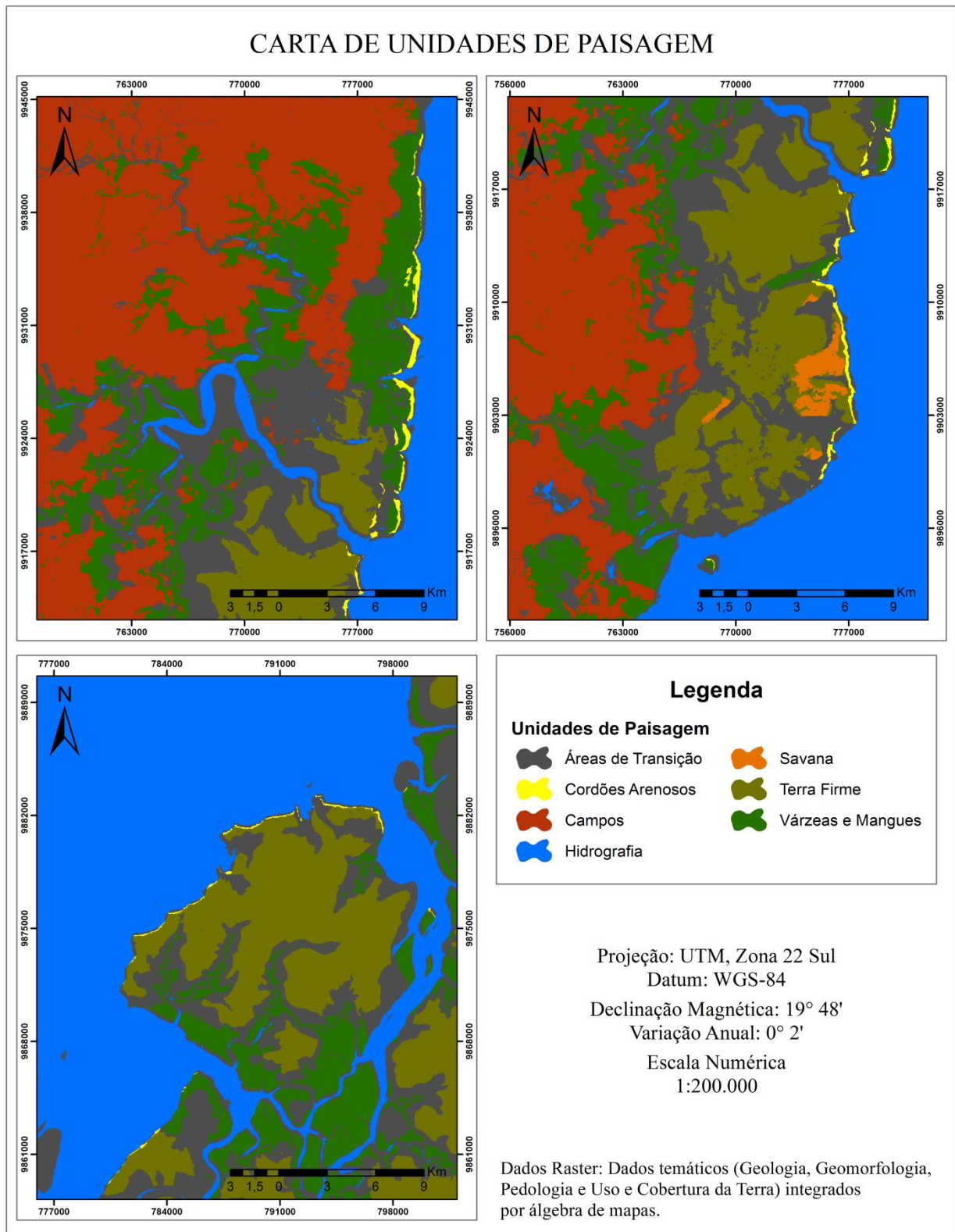


Figura 44 – Mapa de Unidades de Paisagem.

6.3.1.1 Áreas de Transição

As áreas de transição são caracterizadas por áreas de contato entre as unidades temáticas analisadas, isto significa que onde não houve sobreposição entre os temas relacionados para gerar uma unidade de paisagem esta área foi classificada como tal. No total da área de estudo foram mapeadas 36.144,96 ha como Áreas de Transição o que representa 12,61%. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 49.

Tabela 48 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Áreas de Transição.

Áreas de Transição	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	7633,33	15077,85	13433,78
Desflorestamento (ha) ¹⁷	1202,84	3662,15	4640,25
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	456,70	450,85	404,43
Altimetria (m)	8,61	10,70	15,31
Declividade (%)	3,11	3,04	3,94
Curvatura Vertical (°/m)	0,0065	0,0034	-0,0007
Curvatura Horizontal (°/m)	0,0019	0,0027	0,0027
Índice de Vulnerabilidade	2,02	2,23	2,10

Em Soure foi constatado o desflorestamento da ordem de 15,75% nas Áreas de Transição. A intensidade pluviométrica é alta (456,70 mm/mês) e o relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade foi considerado em equilíbrio entre a morfogênese e pedogênese com 2,02.

Em Salvaterra foi observado o desflorestamento da ordem de 24,29% nas Áreas de Transição. A intensidade pluviométrica é considerada alta (450,85 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui leve tendência de morfogênese com 2,23.

A Ilha de Mosqueiro apresenta o desflorestamento da ordem de 34,54% nas Áreas de Transição. A intensidade pluviométrica é moderadamente alta (404,43 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui leve tendência de morfogênese com 2,10.

¹⁷ O desflorestamento considerado neste estudo está relacionado a áreas de cobertura florestal que tiveram sua vegetação primária removida.

6.3.1.2 Campos

Os Campos são caracterizados por formações inconsolidadas Pleistocênicas resultante de processos coluviais e aluviais, com composição vegetal não florestal gramínea a arbustiva e presença ou não de palmeiras, e são periodicamente alagáveis em função de chuvas ou maré. No total da área de estudo foram mapeadas 50.483,16 ha como Campos o que representa 17,61%. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 50.

Tabela 49 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Campos.

Campos	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	32461,36	18021,80	-
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	448,38	448,47	-
Altimetria (m)	4,22	5,79	-
Declividade (%)	1,32	1,57	-
Curvatura Vertical (°/m)	0,0025	0,0035	-
Curvatura Horizontal (°/m)	-0,0001	0,0000	-
Índice de Vulnerabilidade	2,33	2,32	-

Em Soure, os Campos correspondem a 26,22% da área do limite municipal estudado. A intensidade pluviométrica é alta (448,38 mm/mês). O relevo é plano com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui moderada tendência de morfogênese com 2,33.

Salvaterra possui 21,40% da área do limite municipal estudado classificado como Campos. A intensidade pluviométrica é considerada alta (448,47 mm/mês). O relevo é plano com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui moderada tendência de morfogênese com 2,32.

6.3.1.3 Cordões Arenosos

Dentro da Planície Costeira, os Cordões Arenosos correspondem às cristas arenosas longitudinais à linha de costa, depositadas e retrabalhadas pela ação de ventos e ondas, com composição não florestal de espécies de gramíneas e arbustivas. No total da área de estudo foram mapeadas 1.031,22 ha como Cordões Arenosos o que representa 0,36%. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 50.

Tabela 50 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Cordões Arenosos.

Cordões Arenosos	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	525,78	293,22	212,22
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	456,63	450,11	392,42
Altimetria (m)	4,58	2,41	6,18
Declividade (%)	4,48	3,93	6,08
Curvatura Vertical (°/m)	0,0285	0,0360	0,0002
Curvatura Horizontal (°/m)	0,0016	0,0013	0,0028
Índice de Vulnerabilidade	2,53	2,42	2,26

Em Soure, os Cordões Arenosos correspondem a 0,42% da área do limite municipal estudado. A intensidade pluviométrica é alta (456,63 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes convexas e planares. O índice de vulnerabilidade possui alta tendência de morfogênese com 2,53.

Salvaterra possui 0,35% da área do limite municipal estudado classificado como Cordões Arenosos. A intensidade pluviométrica é considerada alta (450,11 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes convexas e planares. O índice de vulnerabilidade possui moderada tendência de morfogênese com 2,42.

Na Ilha de Mosqueiro, os Cordões Arenosos correspondem a 0,42% da área do limite municipal estudado. A intensidade pluviométrica é considerada moderada (392,42 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes convexas e planares. O índice de vulnerabilidade possui leve tendência de morfogênese com 2,26.

6.3.1.4 Hidrografia

Representado majoritariamente pela Baía de Marajó, a Hidrografia é a unidade de maior extensão total (143.516,86 ha, cerca de 50,14% da área de estudo), sua característica estuarina totalmente vinculada as descargas fluviais sazonais e o regime de marés e ondas, o que torna extremamente dinâmico. Os rios e lagos também correspondem a dinâmica estuarina da região submetidos a um período mais chuvoso e outro seco, influência da salinidade e do refluxo causado pelas marés. A vulnerabilidade nos corpos de água foi considerada como nula a morfogênese e pedogênese para não influenciar nas áreas continentais, apesar de ser o principal agente de modificação progradacional e retrogradacional da linha de costa conjuntamente com o

aporte sedimentar. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 51.

Tabela 51 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Hidrografia.

Hidrografia	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	70.103,95	28.371,06	45.041,84
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	445,47	436,36	408,31
Altimetria (m)	0,05	0,09	0,11
Declividade (%)	0,05	0,10	0,18
Curvatura Vertical (°/m)	0,0002	0,0008	0,0022
Curvatura Horizontal (°/m)	0,0000	0,0001	0,0001
Índice de Vulnerabilidade	0,20	0,68	0,28

6.3.1.5 Savana

Dentro do Planalto Costeiro, as Savanas correspondem às áreas de embasamento da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras, entretanto seu diferencial está nos processos pedogenéticos que prevaleceram sob o substrato, estes solos pouco desenvolvidos, lixiviados, arenosos e quartzosos propiciam o desenvolvimento de vegetações não florestais arbustivas. No total da área de estudo foram mapeadas 972,27 ha como Savanas o que representa 0,34%. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 52.

Tabela 52 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Savana.

Savana	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	1,17	971,10	-
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	462,63	445,68	-
Altimetria (m)	8,46	14,39	-
Declividade (%)	4,40	1,68	-
Curvatura Vertical (°/m)	-0,0367	0,0031	-
Curvatura Horizontal (°/m)	0,0146	-0,0010	-
Índice de Vulnerabilidade	2,20	2,18	-

Em Soure, as Savanas correspondem a menos de 0,01% da área do limite municipal estudado. A intensidade pluviométrica é alta (462,63 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes côncavas e planares. O índice de vulnerabilidade possui leve tendência de morfogênese com 2,20.

Salvaterra possui 1,15% da área do limite municipal estudado classificado como Savanas. A intensidade pluviométrica é considerada alta (445,68 mm/mês). O relevo é plano com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui leve tendência de morfogênese com 2,18.

6.3.1.6 Terra Firme

Dentro do Planalto Costeiro, a Terra Firme corresponde às áreas de embasamento da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras, entretanto seus processos pedogenéticos são bem desenvolvidos, horizontes espessos, granulometria variada e presença de matéria orgânica o que propiciam o desenvolvimento de vegetações florestais ombrófilas. No total da área de estudo foram mapeadas 29.986,20 ha como Terra Firme o que representa 10,46%. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 53.

Tabela 53 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Terra Firme.

Terra Firme	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	1838,61	13197,06	14950,53
Desflorestamento (ha)	1799,73	10306,89	9752,31
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	464,17	450,78	394,72
Altimetria (m)	10,42	13,70	19,98
Declividade (%)	2,23	2,37	3,25
Curvatura Vertical (°/m)	0,0014	0,0016	0,0000
Curvatura Horizontal (°/m)	0,0003	0,0011	0,0010
Índice de Vulnerabilidade	2,31	2,25	2,06

Em Soure, a Terra Firme corresponde a 1,48% da área do limite municipal estudado. As áreas desflorestadas na Terra Firme são da ordem de 97,89%. A intensidade pluviométrica é alta (464,17 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui moderada tendência de morfogênese com 2,31.

Salvaterra possui 15,67% da área do limite municipal estudado classificado como Terra Firme. As áreas desflorestadas na Terra Firme são da ordem de 78,01%. A intensidade pluviométrica é considerada alta (450,78 mm/mês). O relevo é plano com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui leve tendência de morfogênese com 2,25.

Na Ilha de Mosqueiro, a Terra Firme corresponde a 19,02% da área do limite municipal estudado. As áreas desflorestadas na Terra Firme são da ordem de 65,23%. A intensidade

pluviométrica é moderada (394,72 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade foi considerado em equilíbrio entre a morfogênese e pedogênese com 2,06.

6.3.1.7 Várzeas e Mangues

Dentro da Planície Costeira, a unidade de Várzeas e Mangues corresponde aos ambientes de substrato inconsolidado recente com granulometria argilosa-arenosa, influenciado ou não por salinidade e maré. No total da área de estudo foram mapeadas 24.176,24 ha como Várzeas e Mangues o que representa 8,43%. As características temáticas quantitativas desta unidade são apresentadas na Tabela 54.

Tabela 54 – Características quantitativas dos temas e índice de vulnerabilidade para a unidade de paisagem Áreas de Transição.

Várzeas e Mangues	Soure	Salvaterra	Ilha de Mosqueiro
Extensão (ha)	11121,40	8164,78	4890,06
Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	452,70	451,93	397,49
Altimetria (m)	13,31	11,63	16,56
Declividade (%)	3,67	3,41	2,79
Curvatura Vertical (°/m)	-0,0064	-0,0059	-0,0048
Curvatura Horizontal (°/m)	0,0066	0,0080	0,0024
Índice de Vulnerabilidade	2,56	2,53	2,51

Em Soure, as Várzeas e Mangues correspondem a 8,98% da área do limite municipal estudado. A intensidade pluviométrica é alta (452,70 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui alta tendência de morfogênese com 2,56.

Salvaterra possui 9,70% da área do limite municipal estudado classificado como Várzeas e Mangues. A intensidade pluviométrica é considerada alta (451,93 mm/mês). O relevo é plano com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui alta tendência de morfogênese com 2,53.

Na Ilha de Mosqueiro, as Várzeas e Mangues correspondem a 6,22% da área do limite municipal estudado. A intensidade pluviométrica é moderada (397,49 mm/mês). O relevo é suavemente ondulado com vertentes retilíneas e planares. O índice de vulnerabilidade possui alta tendência de morfogênese com 2,51.

6.3.2 Mapa de Vulnerabilidade a Perda de Solo

O Mapa síntese de Vulnerabilidade a Perda de Solo é resultado da ponderação seguida da média aritmética das classes temáticas (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Climatologia, Uso e Cobertura da Terra), apresentando espacialmente quais ambientes dos setores estudados da Baía de Marajó possui maior potencial a processos de perda de solo em detrimento de processos formação de solo.

A principal informação do mapa de vulnerabilidade a perda de solo é identificar unidades homogêneas na superfície topográfica e qualificar empiricamente quais destas são mais ou menos susceptíveis a processos erosivos. Uma vez com estas quantificações e qualificações deve-se aplicar esse conhecimento na gestão do território, equalizando melhores formas de usos e técnicas de produção/ocupação com as características do substrato.

A área de estudo apresenta em totalidade 3,58% (10.231,38 ha) de áreas com prevalência de processos pedogenéticos, isto demonstra a tendência de perda de solo provavelmente para processos de escoamento superficial e deslocamento de massa. Áreas em equilíbrio de processos pedogenéticos e morfogênicos, isto é, ocorrem simultaneamente e em mesma intensidade, correspondem em totalidade 3,75% (10.737,63 ha). Para processos de prevalência de morfogênese, estes correspondem em totalidade a 42,40% (121.317,39 ha). Detalhes das sumarizações de vulnerabilidade a perda de solo por setor estudado são apresentados na Tabela 54:

Tabela 55 – Quantificação de áreas vulneráveis a perda de solo por setor estudado.

Vulnerabilidade a Perda de Solo	Soure		Salvaterra		Ilha de Mosqueiro	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Hidrografia	70205,31	56,81	28446,84	33,86	45156,15	57,53
Prevalece Pedogênese	2868,75	2,32	2610,63	3,11	4752,00	6,05
Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	470,61	0,38	3136,05	3,73	7130,97	9,08
Baixa Morfogênese	908,37	0,74	2300,85	2,74	6699,87	8,54
Moderada Morfogênese	36071,28	29,19	35840,79	42,66	7095,60	9,04
Alta Morfogênese	13055,13	10,56	11687,58	13,91	7657,92	9,76
Total	123.891,39	100,00	84.053,25	100,00	78.519,24	100,00

A majoração de áreas com prevalência de morfogênese mostra o risco natural desses ambientes costeiros à perda de massa por mecanismos superficiais, e isto é visível,

particularmente na Planície Costeira e no Planalto Costeiro sem cobertura florestal primária. A espacialização do índice de Vulnerabilidade a Perda de Solo é apresentado na Figura 43.

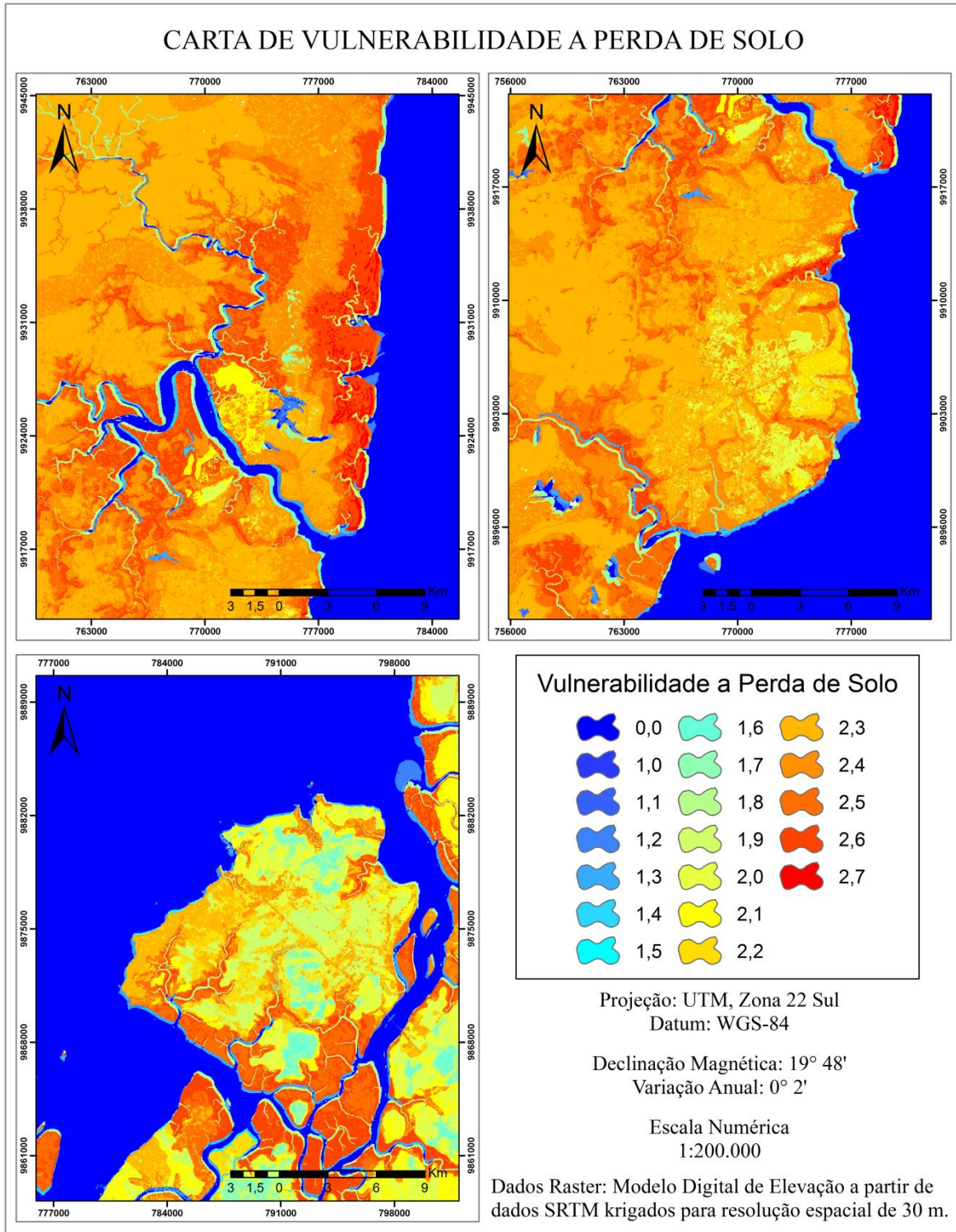


Figura 45 – Mapa de Vulnerabilidade a Perda de Solo.

7. CONCLUSÕES

Dentre as vertentes apresentadas para gerenciamento costeiro integrado, esta dissertação contribuiu na análise do meio físico. Os dados indicam que os processos pedogenéticos prevalecem em apenas 3,58% (10.231,38 ha) da área de estudo. As áreas em equilíbrio de processos pedogenéticos e morfogênicos correspondem a 3,75% (10.737,63 ha), enquanto que a morfogênese prevalece em 42,40% (121.317,39 ha). A prevalência de morfogênese mostra o risco natural desses ambientes costeiros à perda de massa por mecanismos superficiais, onde a desagregação e erosão do solo ocorrem através de processos de escoamento superficial e deslocamento de massa.

As unidades de paisagem delimitadas neste estudo são Áreas de Transição (36.144,96 ha, cerca de 12,61%), Campos (50.483,16 ha, cerca de 17,61%), Cordões Arenosos (1.031,22 ha, cerca de 0,36%), Hidrografia (143.516,86 ha, cerca de 50,14%), Savana (972,27 ha, cerca de 0,34%), Terra Firme (29.986,20 ha, cerca de 10,46%) e, Várzeas e Mangues (24.176,24 ha, cerca de 8,34%). Sua principal aplicação nesta pesquisa foi para medir vulnerabilidade natural a perda de solo, entretanto a materialização de unidades homogêneas na superfície topográfica pode colaborar em iniciativas de zoneamento, parcelamento do solo ou demais intervenções institucionais na gestão do território. Para continuidade dos estudos na temática poderão ser bem diagnosticadas o nível de implementação do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro (GERCO/PA) e outras, como o Sistema de Unidades de Conservação (SNUC) e o Código Florestal Brasileiro.

Do ponto de vista técnico, a utilização de dados multifonte com assinaturas espectrais, texturais, geométricas, modelagem topográfica e produtos integrados consolidaram uma ampla plataforma para o mapeamento de ambientes costeiros.

Os dados multiespectrais do sensor TM demonstraram alta aplicabilidade para avaliações em escala regional (1:250.000 a 1:100.000), e isto foi possível com os métodos de processamento de imagens utilizados de correção atmosférica e correção geométrica. A imagem Landsat 5 TM de 2008 propiciou informações relevantes quanto ao mapeamento de Uso e Cobertura da Terra e Morfologia, com aplicação do algoritmo supervisionado SAM, o qual apresentou desempenho excelente para as classes trabalhadas quando confrontado com os dados de campo.

O MDE krigado do SRTM obteve considerável performance altimétrica para o mapeamento de derivadas morfométricas, evidenciados nos teste de estatística descritiva e

correlação linear de Pearson. Isso demonstra o quanto os dados são significantes para mapeamento morfológico apesar da presença de artefatos (objetos não topográficos) e efeito dossel. Os dados de modelagem topográfica permitiram novos estudos aplicados às unidades de paisagem por fornecerem características texturais distintas.

Para estudos futuros com mapeamento geomorfológico costeiro, serão considerados principalmente aspectos morfológicos, morfogenéticos, morfodinâmicos e morfocronológicos com perspectivas de utilização de dados SAR, interferometria, DGPS (método dinâmico e estático), monitoramento com perfis (praias e estratigráficos), dados hidrodinâmicos (onda, maré, ventos, correntes e derivas) e processos erosivos (laminar, ravinamento e transporte de massa).

Portanto, o desenvolvimento de um modelo de gestão adequado e factível para as ilhas do baixo estuário do rio Amazonas é necessário e urgente. Muitas destas regiões não possuem estudos de ordenação do espaço litoral, e muito menos, estão preparadas para enfrentar danos provenientes do alto adensamento urbano e riscos ambientais relacionados ao aumento do nível do mar e a perda de solos por manejo inadequado, que tornaria a situação do litoral insular amazônico ainda mais preocupante.

Por fim, este trabalho mostrou a potencialidade da aplicação dos produtos e metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento em estudos paisagísticos, com uma abordagem complexa e integrada. É fundamental para gestão territorial de ambientes costeiros estudos como este, os quais caracterizam a sensibilidade dos recursos naturais frente a pressão das atividades humanas e possibilita ao final zonestar e identificar áreas com maior sustentabilidade ecológica e econômica.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. & Carneiro, C. D. R. 1987. Magmatic occurrences of post-permian age of South America platform. *Boletim IG-USP, Série Científica*, 20: 71-85.
- Amaral, D. D.; Prost, M. T.; Bastos, M. N. C.; Costa Neto, S. V.; Santos, J. U. M. 2008. Restingas do litoral amazônico, estados do Pará e Amapá, Brasil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, v. 3, n. 1, p. 35-67, jan.- abr.
- Asmus, M. L.; Kitzmann, D.; Laydner, C.; Tagliani, C. R. A. [2006]. *Gestão Costeira no Brasil: instrumentos, fragilidades e potencialidades*. (Apostila digital – CD ROM).
- Asmus, M. L., Kitzmann, D. 2004. *Gestão costeira no Brasil: estado atual e perspectivas*. Programa de Apoio a La Gestión Integrada em La Zona Costera Uruguay, EcoPlata, 63 p.
- Asmus, M. L., Kitzmann, D.; Laydner, C.; Tagliani, C. R. A.; *Gestão Costeira no Brasil: instrumentos, fragilidades e potencialidades*. *Gestão Costeira Integrada*, 5:52-7, 2006.
- Azevedo, G. P. C.; Camarão, A. P.; Mesquita, T. C. M. 2000. Características dos sistemas de produção pecuários dos municípios de Soure, Salvaterra e Cachoeira do Arari, Ilha de Marajó – Pará. *EMBRAPA Amazônia Oriental, Belém, Pará (Brasil)*. 35 p. n.53, p.23-33.
- Barreto, P.; Souza Júnior, C.; Anderson, A., Salomão, R.; Wiles, J. 2005. *O Estado da Amazônia: pressão humana no Bioma Amazônia*. IMAZON.
- Bastos, M. N. C. A importância das formações vegetais da restinga e do manguezal para as comunidades pesqueiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Antropologia* 11(1): 41-56.
- Batista, Edmilson M.; Souza Filho, Pedro W. M.; Silveira, Odete F. M. 1995. Monitoramento da linha de costa do Parque Nacional do Cabo Orange através da análise multi-temporal de imagens de sensores remotos. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis-SC, Brasil, 21-26 de abril 2007, INPE*, p. 6621-6628.
- Becker, Bertha K. 2008. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados, São Paulo*, v. 19, n. 53, Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000100005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04/06/2008.
- Belfiore, S. Using indicators for improve the performance of integrated coastal manegement programs: towards a common framework. *Technical document*. University of Delaware, 38 p. 2002.
- Bemerguy, R. L. 1997. *Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do Rio Amazonas*. Belém, Universidade Federal do Pará –Centro de Geociências. 201 p. (Tese de Doutorado).

- Bemerguy, R. L.; Chaves, R.; Costa, J.; Borges, M.; Silva Júnior, O. 2001. Cartografia digital aplicada à integração dos elementos geomorfológicos da Ilha de Marajó. *X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 1:42-43, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Bertrand, G. 1971. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. *Caderno de Ciências da Terra*, 13. São Paulo: IGEO/USP.
- Borges, Maurício S. 1993. Evolução Tectono-Estrutural da Região de Dianópolis-Almas, SE do Estado de Tocantins. Belém, Universidade Federal do Pará – Centro de Geociências. 365 p. (Tese de Doutorado).
- Borges, Maurício S. & Angélica, Rômulo S. 1986. Levantamento Geológico da Ilha do Mosqueiro – Estado do Pará, Belém, *Relatório de Campo* - Universidade Federal do Pará / Centro de Geociências.
- BRASIL. 1988. Decreto-Lei nº 7.661 de maio de 1988. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC.
- Brondízio, E. S.; Morán, E. F.; Mausel, P.; WU, Y. 1993. Dinâmica da Vegetação do Baixo Amazonas: Análise Temporal do Uso da Terra Integrando Imagens Landsat-TM, Levantamento Florístico e Etnográfico. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 7., Curitiba, 10-14 maio. *Anais*. São José dos Campos, INPE, 1993, v. 2, p. 38-46.
- Burrough, P. A.; *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*. Oxford, Oxford University Press, 1986.
- Cailleux, A. & Tricart, J. 1956. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. *Ann. De Géografia.*, 65: 162-186.
- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. 2001. Introdução à ciência da geoinformação. INPE. São José dos Campos - SP. INPE-10506-RPQ/249.
- Carvalho, O. A. & Meneses, P. R. 2000. Spectral Correlation Mapper (SCM); An Improvement on the Spectral Angle Mapper (SAM). Summaries of the 9th JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 00-18, 9 p.
- Castro, A. L. C. 1998. *Glossário de Defesa Civil – Estudos de Riscos e Medicinas de Desastres*. Imprensa Nacional: Brasília, 173 p.
- Cavalcante, L. M. 2000. *Neotectônica na área do Tiracambú (Ne do estado do Pará, NW do estado do Maranhão)*. Belém, Universidade Federal do Pará –Centro de Geociências. 147p. (Dissertação de Mestrado),
- Chavez, P. S. 1988. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scatteing Correction of Mulispectral Data. *Remote Sensing of Environment*.

- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L.G. Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. 1996. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico -econômico*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Crepani, E.; Medeiros, J.S.; Azevedo, L.G. Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V.; Barbosa, C.C.F. 1998. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico*. São José dos Campos: Instituto Nacional de pesquisas Espaciais.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S. ; Hernandez, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. 2001. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos. SAE/INPE.
- Crippen, R. E. 1987. The Regression Intersection Method of Adjusting Image Data for Band Ratioing. *International Journal of Remote Sensing* 8 (2): 137-155.
- Christofolletti, A. 1980. *Geomorfologia*; São Paulo: ed. Edgard Blucher, 2º edição,
- Crósta, A. P. 1992. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*, Campinas-SP: IG/UNICAMP.
- Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1): 35-46.
- Congalton, R. G. & Green, K. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton: Lewis Publishers, 137 p.
- Correa, I. C. S. 2005. Aplicação do Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó-PA. Porto Alegre – RS: *Pesquisas em Geociências*, 32 (2): 109 – 118,
- Costa, J. B. S.; Bemerguy, R. L.; Hasui, Y.; Borges, M. S.; Ferreira Júnior, C. R. P.; Bezerra, P. E. L.; Fernandes, J. M. G.; Costa, M. L.; 1996. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Revista de Geociências*, 4 (2): 23-43.
- Costa, J. B. S & Hasui, Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. In: COSTA, M. L. & ANGÉLICA, R. S., (Coords). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: FINEP/SBG, v. 2, p. 15-90.
- Costa, M. L.; Horbe, A. M. C.; Moraes, E. L. 1997. Laterização imatura sobreposta a lateritos maduros em Mãe do Rio –Pará. In: COSTA, M. L. & ANGÉLICA, R. S., (Coords). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: FINEP/SBG, v. 2, p. 339 – 357.
- Cullen, J. 2010. Status: Landsat & USGS Geography. Disponível em https://landsat.usgs.gov/documents/2_Cullen_Perspectives_on_the_future_of_Landsat.ppt. Acesso em 11 de Abril de 2010.

- Cunha, E. R. S. P. da; Souza Filho, P. W. M.; Miranda, F. P. de; Sales, Maria E. da C.; Landau, L. 2004. O Projeto Piatam Mar I e a Gestão Ambiental e Social da Zona Costeira Amazônica. *Rio Oil & Gas Expo and Conference*. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP
- Dalrymple, R. W.; Zaitlin, B. A.; Boyd, R. 1992. Estuary facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*. 62(2): 1130-1146.
- Dantas, V F. & Fernández, G. A. V. 2004. Implementação de um banco de dados para a gestão de bacias hidrográficas: comparação de sistemas de informações geográficas estruturado em arquivos e em geodatabase. *In: VI Encontro de Estudantes de Informática do Estado do Tocantins – ENCOINFO 2004 – 4 e 5 de novembro de 2004 CEULP/ULBRA – Curso de Sistemas de Informação – Palmas – TO.*
- Dennison, P. E.; Halligan, K. Q.; Roberts, D. A. 2007. Contaminant Classification of Poultry Hyperspectral Imagery using a Spectral Angle Mapper Algorithm. *Biosystems Engineering*, 96 (3), 323–333.
- Dikau, R. 1990. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v.80, p. 45-55.
- Dolfus, O. 1991. *O espaço geográfico*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil.
- Dutrieux, E.; Canovas, S.; Denis, J.; Hénocque, Y.; Quod, J. P.; Bigot, L. 2000. Guide méthodologique pour l'élaboration de cartes de vulnérabilité des zones côtières de Océan Indien Réalisé par Créocéan, Ifremer et Arvan pour le compte de l'UNESCO/IOC et l'ê PRE-COI/UE. *IOC Manuals and Guides*. N. 38.
- Dwyer, A.; Zoppou, C.; Nielsen, O.; Day, S.; Roberts, S. 2004. Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards. *Austrália: Geoscience Austrália Record*, v.14, 101p.
- El-Robrini, M.; Luis Ercílio Do. C. F. Jr.; Carvalho, C. A.; Costa, P. S. DA. Jr.; Alves, M. A. M. S. & El-Robrini, M. H. S. 2003. The Brazilian Northern Shelf: Physiography and Sedimentation. *VI Congreso de Ciencias del Mar, MarCuba'2003*. 1 al 5 de diciembre de 2003. La Habana, Cuba, bajo el lema: El mar y las costas: elementos fundamentales del desarrollo social.
- El-Robrini, M.; Silva, M. M. A.; Souza Filho, P. W. M.; El-Robrini, M. H.; Silva Jr., O. G. S.; França, C. F. 2006. Pará. *In: Erosão e progradação do litoral brasileiro*, (org. Dieter Muehe). Brasília, Ministério do Meio Ambiente. p. 46.
- EMBRAPA. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- ENVI. 2008. Environment Visualing Images. *User's Guide*. Versão 4.5,
- ESRI. 2006. Environmental Systems Research Institute. Building Geodatabases Tutorial. USA.
- ESRI. 2008. Environmental Systems Research Institute. *ArcGis Desktop Help*. USA.

- Ferreira, R. S. 2003. A sociedade da informação no Brasil: um ensaio sobre os desafios do Estado. *Ci. Inf.*, Brasília, v. 32, n. 1, p. 36-41, jan./abr.
- França, C. F. 2003. Morfologia e Mudanças Costeiras da Margem Leste da Ilha de Marajó (PA), Belém-PA: Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica – CG/UFPA.
- França, C. F.; Souza Filho, Pedro W. M. 2006. Compartimentação morfológica da margem leste da Ilha de Marajó: zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra – Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(1): 33-42.
- França, C. F.; Souza Filho, Pedro W. M.; El-Robrini, M. 2007. Análise faciológica e estratigráfica da planície costeira de Soure (margem leste da Ilha de Marajó-PA), no trecho compreendido entre o canal do Cajuúna e o estuário Paracauari. *Acta Amazônica*, 37(2): 261-268.
- French, P. W. 1997. *Coastal and Estuarine Management*. London: Routledge, 251 p.
- Florenzano, T. G. 1986. Avaliação de dados MSS-LANDSAT 4 para o mapeamento geomorfológico no semi-árido como suporte ao planejamento regional: uma abordagem integrada (área teste região de Juazeiro - BA). São José dos Campos. 197 p. (INPE-3984 – TDL/236). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Florenzano, T. G. 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo. Oficina de Textos.
- Furtado, A. M. M.; França, C. F.; Pimentel, M. A. S. 2009. Relações relevo-solo-vegetação da Ilha de Marajó-PA. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, Viçosa-MG, Brasil, 06-10 julho 2009, UFV.
- GARMIN. 2010. About GPS: Glossary. Disponível em <http://www8.garmin.com/aboutgps/glossary> Acesso em 12 de maio de 2010.
- Geyer, W. R.; Beardsley, R. C.; Lentz, S. J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W. E.; Castro, B. M.; Soares, I. D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*. 16: 575-616.
- Girouard, G.; Bannari, A.; Harti, A.; Desrochers, A. 2004. Validated spectral angle mapper algorithm for geological mapping: comparative study between quickbird and landsat-tm. In *The 20th International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress*, pp. 599-605, Istanbul, Turkey, July 2004.
- Gonçalves, F. D. & Souza Filho, P. W. M. 2005. Classificação de Imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o Mapeamento dos índices de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de óleo na Zona Costeira Amazônica. In: *3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, 2005, Salvador-BA. *3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, p. 475.

- Gregório, A. M. S. & Mendes, A. C. 2009. Batimetria e sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. *Amazônia: Ci. & Desenv.*, Belém, v. 5, n. 9, jul./dez.
- Guerra, A. J. T. (org.) & Cunha, S. B. (org.) 1994. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Guerra, A. J. T. & CUNHA, S. B. 1996. Geomorfologia e Meio Ambiente, Rio de Janeiro-RJ: Bertrand Brasil. 372p.
- Guimarães, J. T. F.; Cohen, M. C. L. ; França, M. C. ; Lara, R. J. 2007. Estudos da Reflectância Espectrofotométrica em Perfis Sedimentares do Litoral do Amapá. *In: XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 2007, Florianópolis. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar.*
- Harvey, F. A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic concepts. New York. *The Guilford Press*. 2008.
- Inman, D. L. & Brush, B. M.; 1973. The coastal challenge. *Science*, 181, 20-32.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2002. Atlas Nacional do Brasil. 4º Edição, IBGE.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2010. Censo 2000. Disponível em www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/ acesso em 12.10.2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Geografia do Brasil: Região Norte; Vol. 3. Rio de Janeiro, 1993.
- IOC/UNESCO. 2010. International Project on the Development and Application of Indicators for Integrated Coastal and Ocean Management. Disponível em <<http://ioc.unesco.org/icam/contents.php?id=10>>, acesso em 07.03.2010.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1032 pp.
- Jablonski, S. & Filet, M. 2008. Coastal management in Brazil – A political riddle. *Ocean e Coastal Management*, 51 (7):536-543.
- Jensen, J. R. 1996. Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective, *New Jersey: Prentice Hall*.
- Jensen, J. R. 2000. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 544 p.

- Johnson, D. M. 2008. A comparison of coincident Landsat-5 TM and Resourcesat-1 AWiFS imagery for classifying croplands. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74 (11), 1413-1423.
- Kates, R.; Ausubel, J.; Berberian, M. 1985. The interaction of climate and society. *In: Climate Impact Assessment SCOPE 27*, Wiley, New York, p. 3–36.
- Kjerfve, B.; Perillo, G. M. E.; Gardner, L. R.; Rine, J. M.; Dias, G. T. M.; Mochel, F. R. 2002. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. *In: T. R. Healy, Y. Wang, & J-A. Healy (Eds.), Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Functions*. Amsterdam. Elsevier Science. p. 479-532.
- Kruse, F. A.; Lefkoff, A. B.; Boardman, J. B.; Heidebrecht, K. B.; Shapiro, A. T., Barloon, P. J.; Goetz, A. F. H. 1993. The spectral image processing system (SIPS) – interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, v. 44, p. 145-163.
- Landis, J. R.; Koch, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-174,
- Lass, L. W.; Thill, D. C.; Shafii, B., Prather, T. S. 2002. Detecting spotted knapweed (*Centaurea maculosa*) with hyperspectral remote sensing technology. *Weed Technology*, 16, 426– 432.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R.W. 1994. Remote sensing and image interpretation. New York, *John Wiley*. 750 p.
- Lima, A. M. M.; Oliveira, L. L.; Fontinhas, R. L.; Lima, R. J. S. 2005. Ilha de Marajó: revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e proposta de gestão. *Holos Environment*, v. 5, nº 1, p. 65-80.
- Lindquist, E.; Hansen, H.; Roy, D. P.; Justice, C. O. 2008. The suitability of decadal image data sets for mapping tropical forest cover change in the Democratic Republic of Congo: Implications for the mid-decadal global land survey. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (24), 7269-7275.
- Lisboa, P. L. B.; Lisboa, R. C. L.; Rosa, N. A.; Santos, M. R. 1993. Padrões de diversidade florística na reserva ecológica do Bacurizal, em Salvaterra, ilha do Marajó, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, série Botânica 9(2): 223-248.
- Liu, W. T. H. 2007. Aplicações de Sensoriamento Remoto, Campo Grande: ed. UNIDERP, 908p.
- Martinelli, M. 1991. Curso de cartografia temática. São Paulo: Contexto. 180p.
- Martins E. S.; Reatto, A.; Carvalho Júnior, O. A.; Guimarães, R. F. 2002. Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil. *Série Documentos EMBRAPA - Cerrados*, 121: 1-35.

- Martorano, L. G.; Perreira, L. C.; César, E. G. M.; Pereira, I. C. B. 1993. Estudos climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (KÖPPEN) e Deficiência Hídrica (THORNHWHITE, MATHER). Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS. 53 p.
- Masselink, Gerhard; Hughes, Michael G. 2003. Introduction to coastal processes and geomorphology. New York: *Oxford University Press Inc.*
- Meade, R. H.; Dune, T.; Richey, J. E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*. 228: 488-490.
- Medeiros, J. S. 1999. Bancos de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão de território. São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Mendes, A. C. 2003. Geomorfologia e sedimentologia. In: FERNANDES, M. E. B. (org.). Os manguezais da costa norte brasileira. Belém-PA. Fundação Rio Bacanga, 165p.
- Mendonça, F. (org.) 2004. Impactos Socioambientais Urbanos. Curitiba: UFPR, 330 p.
- Metzger, J. P. 2001. O Que É Ecologia de Paisagens?, Campinas-SP: *Biota Neotropica*, vol. 1.
- Morán, E. F.; Brondízio, E. S.; Mausel, P. 1994. Secondary Succession. *Research & Exploration*, 10 (4): 458-476.
- Moreira, M. A. 2003. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, 2º ed – Viçosa-SP: UFV.
- Muehe, D. 1996. Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T.; *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 191-238.
- Nascimento, F. R. & Sampaio, J. L. F. 2005. Geografia Física, Geossistemas e Estudos Integrados da Paisagem. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, Sobral, v.6/7, n. 1, pg. 167-179, 2004/2005.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 01 de agosto de 2008.
- Novo, E. M. L. M. 1992. Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações, São Paulo: Edgar Blucher,
- Nwilo, P. C. 2001. GIS Applications. In Coastal Management: A View from the Developing World. In: GIS for coastal zone management. Edited by BARTLETT, Darius J. & SMITH, Jennifer L. *CRC Press*. Canada. 310p.
- Oltman, R. E. 1968. Reconnaissance investigation of discharge and water quality of the Amazon River. US. *Geological Survey*. Circular 552. Washington D.C: 16p.

- Palmeira, A. F. 2005. *Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicadas à Gestão do Território do Município de Paragominas (Estado do Pará)*. São José dos Campos. INPE. 270p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto).
- PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente – Pará. Macro-Zoneamento Ecológico Econômico - MZEE, 2005. Disponível em: <<http://www.sema.pa.gov.br>>. Acesso em: 02 abr. 2009.
- Paradella, W. R.; Cecarelli, I.C. F.; Luiz, S.; Morais, M.C.; Oliveira, C. G.; Cottini, C. 2001. A geração de modelos digitais de elevação pela estereoscopia de radar: conhecimento atual e resultados com imagens RADARSAT-1 na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu, PR Anais...São José dos Campos: INPE.
- PCI GEOMATICS. Geomatica: User Manual. PCI Geomatics, Version 9.1. Canadá, [s.n.], 2004.
- Pereira, E. Q. 2005. *Integração de Parâmetros Morfodinâmicos e Adequação de Uso das Terras para o Ordenamento Territorial da Bacia do Rio Muricizal – Tocantins*. São José dos Campos. INPE. 106p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto).
- Pereira, L. C. C. 2007. A zona costeira amazônica brasileira: limites e características. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 59, Belém-Pará. *Anais...* Belém-Pa.
- Pethick, J. 2001. Coastal management and sea-level rise. *Journal of Catena*, 42, 2-4, 307-322.
- Polette, M.; Silva, L. P. 2000. Gesamp, Icam e PNGC – Análise comparativa entre as metodologias de gerenciamento costeiro integrado. *Gestão das Águas/Artigos* p.27-31.
- Powell, S. L.; Pflugmacher, D.; Kirschbaum, A. A.; Kim, Y.; Cohen, W. B. 2007. Moderate resolution remote sensing alternatives: A review of Landsat like sensors and their applications. *Journal of Applied Remote Sensing*.
- Projeto RADAMBRASIL Rio de Janeiro, Levantamento de recursos naturais, v. 1-34, 1973-1987.
- Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. Acessado em <http://www.obt.inpe.br/prodes/>, 23 de maio de 2009.
- Prost, M. T. & Mendes, A. C. (orgs.); 2001. *Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: MPEG.
- 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. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 57, p. 241-262.
- Richards, J. A. 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
- Kates, R. W.; Ausebel, J. H.; Berberian, M. 1985. *Climate Impact Assessment*, John Wile and Sons. Chichester, UK, pp. 3-36.

- Kay, R.; Alder, J. 2005. Coastal Planning and Management. 2nd ed, London. *Taylor and Francis*, 380 pp.
- Kruse, F. A.; Boardman, J. W.; Huntington, J. F. 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 1388–1400.
- Queiroz, J. 2009. Estudo dos Índices de Reflectância Espectrofotométrica da Vegetação do Litoral Paraense. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará.
- Rocchini, D. & Di Rita, A. 2005. Relief effects on aerial photos geometric correction. *Applied Geography*, 25: 159-168.
- Rodriguez, E.; Morris, C. S.; Belz, J. E.; Chapin, E. C.; Martin, J. M.; Daffer, W.; Hensley, S. 2005. An assessment of the SRTM topographic products. *Technical Report*, JPL D-31639. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 p.
- Rodriguez, E.; Morris, C. S.; Belz. 2006. A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 72. 249-260.
- Rodríguez, I.; Montoya, I.; Sánchez, M. J.; Carreño, F. 2009. Geographic information systems applied to integrated coastal zone management. *Geomorphology*. 107, 100-105.
- Rosenfield, G. H. & Fitzpatrick-Lins, K. 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(2): 223-227.
- Ross, J. L. S. 1992. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, FFLCH-USP, n. 6, p. 17-29.
- Ross, J. L. S. 1996. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAS In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. (ed.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.291-336.
- Ross, J. L. S. 2003. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto.
- Rossetti, D. F. 2004. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. *Sedimentary Geology*, v. 169, p. 151-174.
- Rossetti, D. F. 2006. Integração de dados biológicos e geológicos no baixo Tocantins - Ilha do Marajó: chave na análise da biodiversidade. São Paulo, FAPESP, 140p.
- Rossetti, D. F. & GÓES, A. M. 2004. *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Belém: MPEG,
- Ruhoff, A. L. 2004. Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com simulação de cenários preservacionistas. Santa Maria – RS. Universidade Federal de Santa Maria. 93p. Dissertação (Mestrado em Geomática).

- Sales, G. M. 2005. Ecologia da Paisagem da Ilha de Mosqueiro, NE do Estado do Pará. Belém-PA: Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica – CG/UFGA,
- Santos, M. 1996. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 120p.
- Silva, Benedito N. R. 1975. Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da ilha de Mosqueiro (Pará) com auxílio de fotointerpretação. (Dissertação de Mestrado) – USP/ESALQ, Piracicaba, SP, 156 p.
- Silva, J. M. L.; Gama, J. R. N. F.; Valente, M. A.; Rego, R. S.; Rodrigues, T. E.; Santos, P. L.; Cardoso Júnior, E. Q.; Silva, P. R. O. 1999. Levantamento de Solos de Alta Intensidade e Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra do Município de Colares - Estado do Pará.. Belém - Pará: EMBRAPA-CPATU.
- Silveira, J. D. 1964. Morfologia do litoral. In: Azevedo, A. (ed). *Brasil: a terra e o homem*. Companhia Editora Nacional, São Paulo. Volume 1: 253-305.
- Silvestri, S.; Marani, M.; Marani, A. 2003. Hyperspectral remote sensing of salt marsh vegetation, morphology and soil topography. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 15– 25.
- Smith, T.; Peuquet, D.; Menon, S.; Agarwal, P. 1987. *KBGIS-II, a knowledge-based Geographical Information Systems*. vol. 1, n. 2, pp. 149-172.
- SPRING. 2008. Sistema de processamento de informações georreferenciadas. Tutorial de geoprocessamento. Divisão de Geoprocessamento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Acessado em: <<http://www.dpi.inpe.br/>>, 20 de Março de 2008.
- Sotchava, V.B. 1977. O estudo de geossistemas. *Métodos em Questão*, (16): 1-52.
- Sohn, Y. S.; Moran, E.; Gurri, F. 1999. Deforestation in north-central Yucatan (1985–1995): Mapping secondary succession of forest and agricultural land use in Sotuta using the cosine of the angle concept. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, 947–958.
- Sohn, Y. & Rebello, S. 2002. Supervised and unsupervised spectral angle classifiers. *Photogrammetric, Engineering and Remote Sensing*. v. 68, n.12, p. 1271-1280.
- Song, C.; Woodcok, C. E.; Seto, K. C.; Pax-Lenney, M.; Macomber, S. A. 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, New York, v.75, p.230-244.
- Souza Filho, P. W. M. 2000. Tectonic control on the coastal zone geomorphology of the northeastern Pará State. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 523-526.
- Souza Filho, P. W. M.; Gonçalves, F. D.; Beisl, C. H.; Miranda, F. P.; Almeida, E. F.; Cunha, E. R. 2005. Sistema de observação costeira e o papel dos sensores remotos no monitoramento da costa norte brasileira, amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, 57(02): 79-86.

- Souza Filho, P., W., M.; Sales, M. E. DA C.; Prost, M. T. R. DA C.; Costa, F. R.; Souza, L. F. M. DE O. 2005. Zona Costeira Amazônica: O cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T. *In*: Souza Filho, P., W., M.; Cunha, E. R. S. P. da; Sales M. E. da C.; Souza, L. F. M. de O.; Costa, F. R. (Org.). *Bibliografia da zona costeira Amazônica*. Museu Paraense Emílio Goeldi/Universidade Federal do Pará/Petrobras, Belém: 401 p.
- Souza Filho, P. & Paradella, W. R. 2003. Use of Synthetic Aperture Radar Images for Recognition of Coastal Geomorphological Features, Land-Use Assessment and Shoreline Changes in Bragança Coast, Pará, Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 75, n. 3, p. 341-356.
- Souza Filho, P. W. M.; Martins, E. S. F.; Costa, F. R. 2006. Using mangroves as geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: an approach from remote sensing data and GIS. *Ocean & Coastal Management*, Netherlands, v. 49, n. 7-8, p. 462-475.
- Suguio, K. 1999. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?). São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas.
- Szlafstein, C. F. 2009. Indefinições e Obstáculos no Gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9 (2): 47-58.
- Tessler, M. G. & Goya, S. C. 2005. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro, IG-USP, *Revista do Departamento de Geografia*, 17, 11-23.
- Times, V. C. & Salgado, A. C. 1994. Uma modelagem Orientada a Objetos para Aplicações Geográficas. *In*: *Simpósio Brasileiro de Banco de Dados*, 9., São Carlos-SP.
- Toutin, T. 1995. Intégration de Données Multi-Source: Comparasion de Méthodes Géométriques et Radiométriques. *International Journal of Remote Sensing*.
- Toutin, T. 2004. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, p. 1893-1924.
- Troll, C. 1971. Landscape ecology (geo-ecology) and biogeocenology: a terminological study. *Geoforum*, 8: 43-46.
- Tricart, J. J. L. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN. 91p.
- UNITED STATES GEOLOGY SURVEY. 2008a. Landsat Missions. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 de Julho de 2008.
- UNITED STATES GEOLOGY SURVEY. 2008b. Digital Elevation Models (DEMs). Disponível em: <<http://eros.usgs.gov/products/elevation/dem.php>>. Acesso em: 25 de Julho de 2008.
- UNITED STATES GEOLOGY SURVEY. 2010. Landsat Data Continuity Mission. Disponível em: <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 12 de Maio de 2010.

- Valeriano, M. M. 2004. Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Relatório técnico* (INPE – 9364-RPQ/7360).
- Valeriano, M. M. 2008. TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE.
- Van Leeuwen, W. J. D.; Orr, B. J.; Marsh, S. E.; Herman, S. M. 2006. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications, *Remote Sensing of Environment*, 100 (1), 67-81.
- Venturieri, A.; Waltrin, O. S.; Rocha, A. M. A.; Silva, B. N. R. 1998. Avaliação da dinâmica da paisagem da Ilha de Mosqueiro, município de Belém, Pará. *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 247-256.
- Vieira, L. S. 1967. Levantamento de reconhecimento dos solos da Região Bragantina, *Estado do Pará. Boletim Técnico do Instituto de Estudos e Experimentação Agropecuárias do Norte*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v2: 1-63.
- Wulder, M. A., White, J. C., Goward, S. N., Masek, J. G., Irons, J. R., Herold, M., Cohen, W. B., Loveland, T. R., Woodcock, C. E. 2008. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 112, 955–969.
- Wulder, M. A.; White, J. C.; Gillis, M. D.; Walseworth, N.; Hansen, M. C.; Potapov, P. 2010. Multi-scale satellite and spatial information and analysis framework in support of a large-area forest monitoring and inventory update. *Environment Monitoring and Assessment: Vol. 170*, nº 1-4 pp.417-433.
- Watrin, O. S.; Santos, J. R.; Valério Filho, M. 1996. Análise da Dinâmica na Paisagem do Nordeste Paraense Através de Técnicas de Geoprocessamento. In: *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 427-433.
- WORLD WILD FOREST DO BRASIL – WWF. 2009. Biomas Brasileiros, Zona Costeira. Disponível em <http://www.wwf.org.br/biomas/bioma_costeiro>. Acesso em 10 de abril de 2009.
- Zaloti Junior, O. D.; Corina, C. F.; Sant’anna, S. J. S.; Andrade, R. A. M. 2009. Avaliação do modelo digital do terreno extraído de dados do SRTM – uma abordagem baseada na declividade, aspecto e uso/cobertura do solo. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5043-5050.
- Zeiler, Michael. Modeling our World: *The ESRI guide to geodatabase design*. USA. ESRI. 1999.