



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DIOGO CORRÊA SANTOS

**MAPEAMENTO DE AMBIENTES DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE
(ILHA DE MARAJÓ) A PARTIR DE IMAGENS IKONOS: UMA
ABORDAGEM DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM - PARÁ

JANEIRO - 2010

DIOGO CORRÊA SANTOS

**MAPEAMENTO DE AMBIENTES DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE
(ILHA DE MARAJÓ) A PARTIR DE IMAGENS IKONOS: UMA
ABORDAGEM DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho.

**Belém-Pa
2010**

FICHA CATALOGRAFICA

DIOGO CORRÊA SANTOS

**MAPEAMENTO DE AMBIENTES DA PLANÍCIE COSTEIRA DE SOURE
(ILHA DE MARAJÓ) A PARTIR DE IMAGENS IKONOS: UMA
ABORDAGEM DE CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará - UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

Data de Aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Pedro Walfir Martins e Souza Filho – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Márcia Valadares – Relator
Mestre em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Mario Ivan Cardoso de Lima – Membro
Doutor em Geociências
Universidade Federal do Pará

A Deus, aos meus pais, José Santos e Célia Santos e aos meus irmãos, Leonardo Santos e Leopoldo Santos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da inteligência e sabedoria, pelos momentos de superação e por mais uma graça alcançada em minha vida.

Aos meus pais e primeiros professores da minha vida Célia Santos e José Santos por me ensinarem a dar os primeiros passos no caminho da vida e da escolaridade e por me ensinarem a ser um homem digno e honesto, a vocês minha eterna gratidão.

Aos meus irmãos Leonardo Santos e Leopoldo Santos que sempre me apoiaram e me ajudaram a medida do possível, obrigado meus irmãos.

A Universidade Federal do Pará – UFPA, pelo acolhimento e pelo certo conforto em termos de infra-estrutura e qualidade de ensino oferecido.

Ao Instituto de Geociências – IG, pela excelente administração e por oferecer um quadro de professores qualificados e prontos para formar verdadeiros profissionais das Geociências.

Ao meu orientador, Prof.Dr. Pedro Walfir, pela oportunidade de ser um membro do Laboratório de Análise de Imagem do Trópico Úmido – LAIT, pela oportunidade de aprendizado na área das Geotecnologias e estudos marinhos e costeiros, além da atenção e sugestões ao longo deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Análise de Imagem do Trópico Úmido – LAIT, em especial ao Geógrafo Wilson Nascimento “Comandante” e ao Geólogo Paulo José, pela atenção e paciência ao me ensinarem a manipular o *Software* Definiens Developer 7.0 e pelas sugestões ao longo da pesquisa.

A turma de Geologia 2005, em especial aos amigos da “Diretoria” Patrick, Neto, Jeremias, Eduardo, Bruno e Fabrício pela amizade e momentos de descontração ao longo do curso.

***“Uma das melhores satisfações da minha vida
foi me tornar um profissional responsável
por cuidar e preservar daquilo de mais belo que
Deus criou, o Planeta Terra, ou seja, agora sou um
Geólogo de uma empresa, cujo
meu patrão é Deus”***

Diogo Corrêa Santos.

RESUMO

Uma imagem Ikonos II adquirida na planície costeira de Soure (Marajó) revelou inúmeras feições costeiras sobre o planalto e a planície costeiras. O objetivo principal deste estudo é avaliar o mapeamento das feições costeiras a partir de técnicas de segmentação e classificação. Neste trabalho, é apresentado um método semi-automático, orientado ao objeto para classificação de imagens Ikonos multiespectrais, que enfatiza as informações de contexto. A área de estudo é compartimentada em duas unidades geomorfológicas: i) planaltos costeiros, com as subunidades estradas de areia, áreas construídas, área desmatada com gramíneas e vegetação urbana; e ii) a planície costeira, com subunidades campo natural, cordão arenoso antigo, praia, manguezal, terraço de manguezal, área inundada e água. A validação da classificação de imagens Ikonos mostra que o método proposto pode delinear feições costeiras com acurácia de produtor e usuário acima de 90%. A precisão na classificação geral dos recursos costeiros apresenta índice Kappa de 94% e acurácia global de 95%. A análise mostra um aumento de precisão de classificação devido integrar atributos espectral e espacial dos objetos (feições costeiras) a serem classificados.

Palavras-Chaves: Sensoriamento remoto. Resolução espacial. Classificação orientada a objeto. Planície costeira. Ikonos II.

ABSTRACT

An Ikonos II image carried out at the Soure Coastal Plain (Marajó Island) revealed numerous coastal features over coastal plateaus and coastal plain. The principal goal of this study is to assess the coastal features mapping from segmentation and classification techniques. In this paper we present a semi-automated, object-based method for Ikonos multispectral image classification, which emphasizes context information. The study site is compartmentalized in two geomorphologic units: i) coastal plateaus, with subunits sand roads, built áreas, deforested área with grasses and urban vegetation ; and ii) coastal plain, with subunits freshmarshesm old Sandy ridge, beach, mangrove, mangrove scarp, flooded área, water. The validation of Ikonos image classification shows that the proposed method can delineate coastal features with more than 90% producer's and user's accuracy. The Kappa index is 94% and the global classification accuracy is 95%. The analysis shows an increase in classification accuracy due to integrate espectral and spatial attributes of the objects (coastal features) to be classified.

Key Words: remote sensing, spatial resolution, Object-based classification, coastal plain, Ikonos II.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo	14
FIGURA 2 – Arcabouço tectônico simplificado da costa norte do Brasil.	16
FIGURA 3 – Principais estruturas do Quaternário da região nordeste do Estado do Pará.....	17
FIGURA 4 – Planície lamosa de supramaré recoberta por vegetação campestre. Ao fundo, contato abrupto com o Planalto costeiro	19
FIGURA 5 – Característica morfológica de um cordão arenoso antigo.....	21
FIGURA 6 – Perfil morfológico da praia do Pesqueiro (Soure.....	22
FIGURA 7 – Contato topográfico e vegetacional abrupto entre: A) o terraço arenoso (coberto pela vegetação de campo arenoso) e a planície de intermaré (coberta pela vegetação de mangue), no município de Soure. ; B) o planalto costeiro (cobertura vegetal de mata secundária ou capoeira) e a planície lamosa de supramaré, recoberta por campos inundáveis, em Soure.	23
FIGURA 8 - Padrão de resposta espectral dos principais alvos da superfície terrestre	29
FIGURA 9 – Formulação matemática de uma matriz de erro.....	34
FIGURA 10 – Mosaico das imagens Ikonos com a calibração radiométrica	41
FIGURA 11 – Zoom de uma parte da imagem segmentada. Em A, a imagem antes da segmentação; em B a imagem já segmentada; os polígonos em linhas pretas em B representam os objetos reconhecidos.	43
FIGURA 12 - Histograma exibindo características espectrais de duas classes	44
FIGURA 13 – Rede hierárquica de objetos extraída a partir de pixels da imagem ...	45
FIGURA 14 – Exemplo de amostras coletadas na imagem. Os polígonos azuis representam objetos coletados referente à classe massa d'água, enquanto que os polígonos em vermelho representam objetos da classe campos naturais.	50
FIGURA 15 – Função de pertinência da classe praia na banda NIR.	51
FIGURA 16 – “Janela” da edição de processos. Em azul, o algoritmo selecionado (<i>classification</i>); a seta preta mostra que todos os objetos foram selecionados; a elipse em vermelho mostra que todos os objetos serão classificados de acordo com o tema escolhido.	51
FIGURA 17 – “Janela” de edição dos processos. A seta preta mostra o objeto que sofrerá a condição; a seta vermelha mostra a condição estabelecida; a elipse em azul mostra o tema que os objetos da classe praia receberão.....	52

FIGURA 18 - Classificação da área urbana após utilização de atributos espaciais para melhorar a discriminação dos alvos. Na imagem à direita, o verde predominante representa a vegetação urbana, o cinza condiz à área construída e o laranja vias de areia.53

FIGURA 19 – Detalhe da imagem Ikonos ilustrando um cordão arenoso antigo a esquerda. A direita a imagem já classificada, ilustrando em branco o cordão arenoso antigo, em vermelho campos naturais rodeado por manguezal em verde54

FIGURA 20 – Mapa de ambientes da planície costeira de Soure (Ilha de Marajó). ..57

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	14
3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	15
3.3. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	17
3.4 VEGETAÇÃO	22
3.5 SOLOS	24
3.6 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICA.....	25
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
4.1 INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO.....	27
4.1.1 Definição	27
4.1.2 SR Como sistema de aquisição de dados	27
4.1.3 Elementos do SR	28
4.2 ABORDAGEM ORIENTADA A OBJETO	30
4.2.1 Procedimento de segmentação	30
4.2.2 Classificação de imagens	31
4.3 ANÁLISE DO ERRO DE CLASSIFICAÇÃO.....	33
4.3.1 Matriz de erro e índice de concordância Kappa.....	34
4.4 ABORDAGEM DO DEFINIES	36
4.5 SENSOR IKONOS II	37
5 MATERIAIS E MÉTODOS	40
5.1 MATERIAIS UTILIZADOS	40
5.1.1 softwares utilizados.....	40
5.2 METODOLOGIA.....	40
5.2.1 Calibração radiométrica e geração de mosaico.....	40
5.2.2 Segmentação	41
5.2.3 Definição das classes	43
5.2.4 Classificação	44
5.2.5 Acurácia da classificação.....	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
6.1 CLASSIFICAÇÃO.....	49
6.1.1 Acurácia da classificação.....	52
6.1.2 Avaliação da classificação	55
7 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, assistiu-se a uma notável evolução das tecnologias espaciais de observação da Terra. Dados obtidos a partir de sensores remotos orbitais encontram-se amplamente disponíveis no mercado, com diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais. Imagens obtidas por sensores de alta resolução espacial, como os transportados pelos satélites Ikonos II apresentam-se como uma importante alternativa para construção e atualização de bases cartográficas e cartas temáticas em escalas de detalhe (NISHIDA, 1998 apud HOFFMANN, 2001). Porém, aplicativos destinados a classificação de imagens continuou a utilizar o tradicional método de classificação *pixel-a-pixel*, desenvolvida na década de 70 (JENSEN, 1996), onde variantes geométricas e topológicas como distância, perímetro, área, forma, conexão e textura, são simplesmente desconsideradas em classificações que confiam apenas nos valores espectrais de cada *pixel* (HOFFMANN, A; VEGT, J.W.V. 2001).

Ao contrário do método tradicional de classificação *pixel-a-pixel*, na classificação orientada a objetos, a análise é realizada sobre objetos ou segmentos na imagem, que representam entidades que podem ser individualizadas, a partir de atributos próprios (DEFINIENS, 2008). Assim, o processamento de imagens aproxima-se mais dos processos cognitivos humanos, sendo mais fácil a incorporação de informações de contexto, referentes a objetos e segmentos, a partir da Abordagem de Evolução da Rede de Fractal (*"Fractal Net Evolution Approach"*). Isto quer dizer que cada segmento na imagem é estruturado em rede, e assim eles "reconhecem" seus vizinhos e subsegmentos (HOFMAN, 2000).

Diante disto, este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal a identificação e mapeamento de ambientes costeiros em imagens de alta resolução do sensor óptico Ikonos II, a partir da técnica de classificação orientada a objeto, técnica esta que foi desenvolvida no ambiente do software *Definies Developer 7.0*. Para a Threetek (2010), o *Definiens* é uma solução líder mundial para extração de informações geo-espaciais com máxima precisão e rapidez, a partir de qualquer tipo de imagem de sensor remoto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é avaliar a classificação de ambientes costeiros no município de Soure (Marajó/PA), a partir da técnica de segmentação e classificação orientada a objetos no ambiente do *software Definies Developer 7.0*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Reconhecer e cartografar com acurácia os diferentes ambientes sedimentares costeiros a partir de interpretação visual de imagens.

Analisar acurácia da segmentação e classificação das imagens do satélite Ikonos II, realizadas no ambiente do *software "Definies Developer 7.0"*.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A zona costeira da região de Soure-PA está localizada na margem leste da Ilha de Marajó, fazendo parte da região estuarina compreendida pela Baía de Marajó e adjacências. A distância em relação a Belém é de aproximadamente 86 Km, e o acesso se dá por via fluvial, aérea e rodoviária, mais precisamente a área de estudo em questão está situada entre as longitudes $48^{\circ} 31' 21''\text{W}$ / $48^{\circ} 28' 19''\text{W}$ e as latitudes $0^{\circ} 38' 34''\text{S}$ / $0^{\circ} 44' 56''\text{S}$ (FIGURA1).

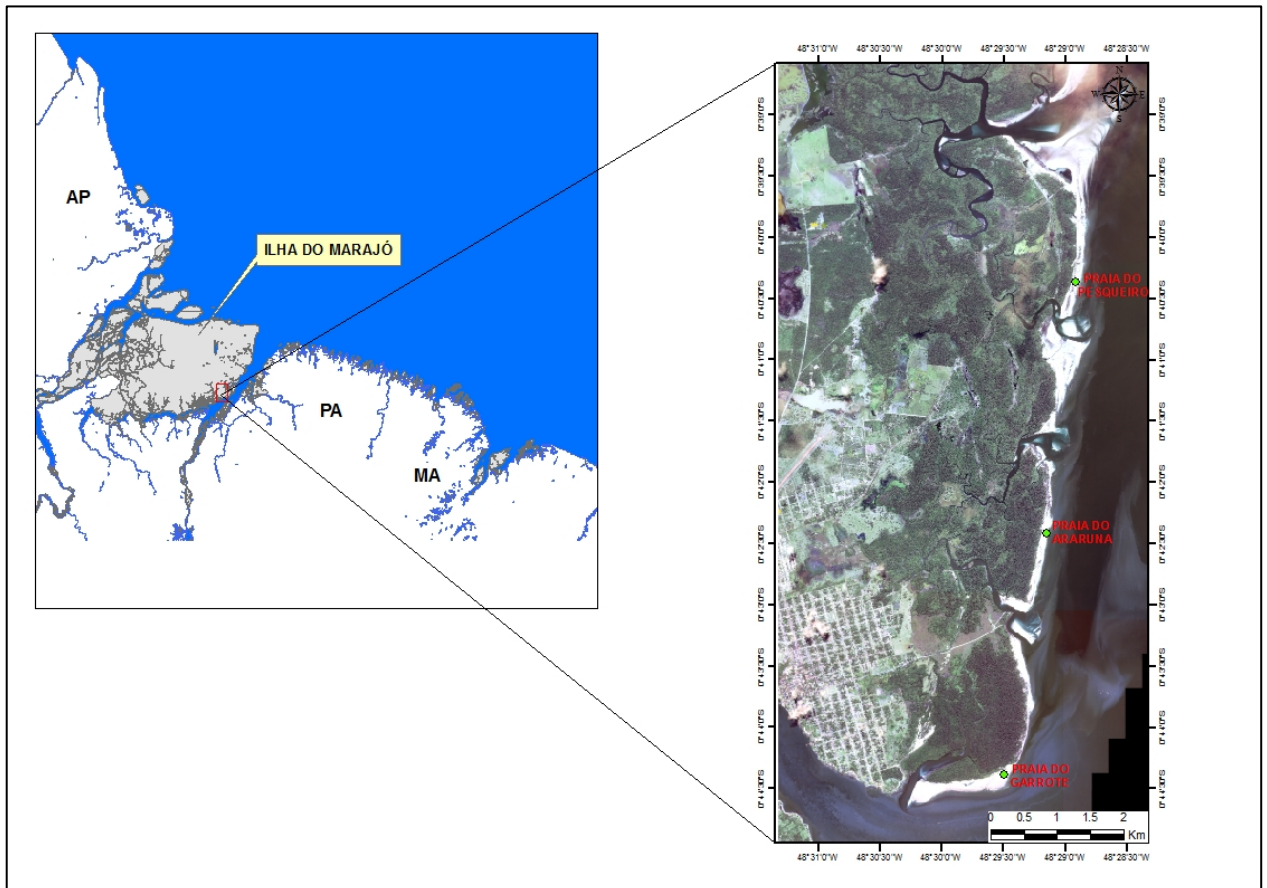


FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo

3.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A história geológica e geomorfológica da margem leste da Ilha de Marajó foi determinada por fatores neotectônicos e por flutuações relativas do nível do mar, que atuaram em escala regional durante o Cenozóico Superior, resultando numa morfologia estuarina e em seqüências sedimentares constituídas por depósitos fluviais, estuarinos e marinhos (FRANÇA, 2003).

As estruturas neotectônicas regionais, representadas principalmente por sistemas de falhas transcorrentes NE-SW e de falhas normais NW-SE, controlaram o preenchimento sedimentar da Bacia de Marajó, a direção das desembocaduras do rio Amazonas, rio Pará e Baía de Marajó, a distribuição das unidades de relevo e o traçado retilíneo ou anguloso da costa (França, op.cit.).

Os processos neotectônicos, as flutuações relativas do nível do mar, no Cenozóico Superior, e a dinâmica costeira atual respondem pela divisão em dois tipos de costas, fisiograficamente distintos, na margem leste da Ilha de Marajó: a costa alta de Salvaterra e a costa baixa de Soure (FRANÇA, op.cit.).

A evolução geológica da Ilha de Marajó está ligada aos movimentos extensionais que separaram os continentes da América do Sul e África, a partir do final do Mesozóico, às oscilações do nível do mar e aos processos neotectônicos que, do Terciário ao Holoceno, controlaram a deposição das seqüências estratigráficas Pirabas e Barreiras/Pós-Barreiras (ROSSETTI 2001; COSTA et al. 2002).

Para França (2003), o arranjo estratigráfico e a constituição litológica da Ilha de Marajó está ligada à história sedimentar da Bacia da Foz do Rio Amazonas e à influência dos estuários do Amazonas, a oeste, e do Pará-Tocantins, a leste.

No arcabouço estrutural da Ilha de Marajó e áreas adjacentes, destacam-se: (1) um sistema de *grabens* (Mexiana, Limoeiro, Cametá e Mocajuba), que constitui a Bacia de Marajó; e (2) as ombreiras sudoeste (Arco de Gurupá) e nordeste (Marajó Setentrional) (FIGURA 2), (VILLEGAS 1994; BEMERGUY et al. 1995; SOARES JÚNIOR 2002 in FRANÇA 2003).

A Bacia de Marajó corresponde a um segmento transtensivo do nordeste do Estado do Pará, ligado aos movimentos extensionais crustais do final do Mesozóico, que formaram o oceano Atlântico Equatorial. O sistema de *grabens* é formado por

falhas normais lítricas do Terciário que foram reativadas, controlando a deposição das Formações Pirabas e Barreiras (BEMERGUY 1997 in FRANÇA 2003).

As estruturas neotectônicas da Bacia de Marajó (Terciário Superior e Quaternário) são representadas por um sistema de falhas normais na direção NNW-SSE e NW-SE, e por feixes de falhas transcorrentes de orientação preferencial NE-SW e ENE-WSW, sub-paralelas ao tensor extensional (FIGURA 3), (COSTA et al. 1991; e COSTA et al. 2002 in França 2003).

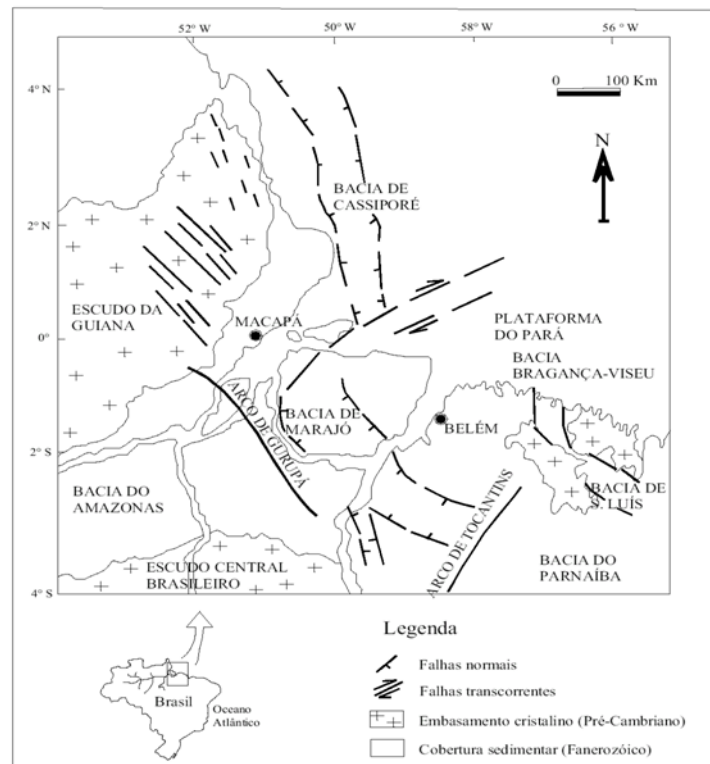


FIGURA 2 – Arcabouço tectônico simplificado da costa norte do Brasil.
Fonte: Adaptado de Costa et al., (2002) in França (2003).

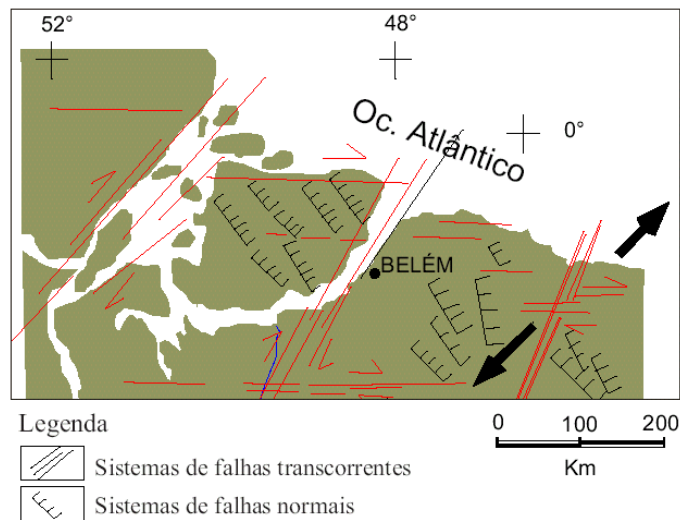


FIGURA 3 – Principais estruturas do Quaternário da região nordeste do Estado do Pará.
Fonte: Adaptado de Costa et al., (1996) in França (2003).

3.3. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A compartimentação do relevo costeiro apresenta duas principais unidades: o Planalto e a Planície Costeira. O Planalto Costeiro faz parte da unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado da Amazônia, constituído por depósitos terciários da Formação Barreiras e pelos sedimentos quaternários Pós-Barreiras. Caracteriza-se por um relevo aplainado com suaves ondulações, representando uma superfície de baixos platôs cujas cotas topográficas variam entre 5 e 15 m. A cobertura vegetal é formada por matas secundárias e campos (FRANÇA, op.cit.).

A margem leste da Ilha de Marajó apresenta uma diversidade de feições, resultante da atuação de processos geomorfológicos ligados às mudanças relativas do nível do mar, a neotectônica e à dinâmica costeira, durante o Cenozóico Superior (FRANÇA, 2003). A compartimentação fisiográfica evidenciam dois tipos de costas: (1) a costa alta de Salvaterra, caracteriza-se pela presença das falésias esculpidas nos sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras e por praias estreitas e íngremes de areias médias a grossa, moderadamente selecionadas; e (2) a costa baixa de Soure, que possui uma planície costeira, resultante de uma fase progradacional desse trecho da costa de Marajó, no Holoceno, onde se desenvolvem manguezais, bordejados por praias-barreiras de baixo gradiente e areias finas bem selecionadas. Entre Soure e Salvaterra, o rio Paracauari representa uma fronteira natural na delimitação dos dois tipos de costa. (FRANÇA & SOUZA FILHO, 2006)

O modelo de sedimentação da planície costeira de Soure é representado por duas sucessões estratigráficas. A Sucessão Progradacional, constituída pelas associações de planície de maré, barra de canal e manguezal, é correlacionável à Seqüência Regressiva ou de Mar Estável (S2), do modelo de sedimentação proposto para as planícies costeiras de Salinópolis, Bragança e São João de Pirabas. A Sucessão Retrogradacional constitui-se pelas associações de praia e de duna, e corresponde à Sucessão Transgressiva Atual (S3) do modelo deposicional acima citado (FRANÇA, SOUZA FILHO, EL-ROBRINI, 2007).

A dinâmica costeira atual constitui-se de processos erosionais e deposicionais, que influenciam nas variações da linha de costa e mudanças morfológicas costeiras. Submetida a processos naturais e antrópicos, a planície costeira de Soure é constituída pelos seguintes ambientes deposicionais:

- **Campos naturais ou Planície lamosa de supramaré**

São constituídos por sedimentos clásticos quaternários, cuja origem está relacionada aos processos de afogamento e colmatção de paleocanais, que ligavam o interior da Ilha de Marajó à Baía de Marajó ao Oceano Atlântico, entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno (BEMERGUY 1981; VITAL 1988; COSTA et al. 2002, FRANÇA & SOUZA FILHO, 2006; ROSSETTI et al., 2007).

Localiza-se no interior da área de estudo, formando estreitas faixas de larguras entre 200 e 2.300 m, com disposição N-S (em Soure), entre o planalto costeiro e a planície lamosa de intermaré.

No período de dezembro a maio, o regime é controlado pela pluviosidade, sendo secundária a influência das marés. Entre junho e novembro, a redução das chuvas favorece a maior penetração das marés, tornando salobra a água superficial (FRANÇA, 2003).

De acordo com França (2003), a planície lamosa de supramaré apresenta cotas topográficas inferiores a 5m, é coberta por vegetação aluvial campestre, onde ocorrem espécies tais como: *Eleocharis interstincta* R. Br. (“junco poque-poque”), *Eleocharis mutata* R. et Sch. (“junco triângulo”), *Fimbristylis capillaris* (L.) Kunth., *Xyris jupicai* L.C.Rich., *Borreria laevis* (Lam.) Gris., *Tonina fluviatilis* Aubl., *Nymphoides indica* O. Kuntze, *Panicum* sp. e *Hidrolea spinosa* L.. São espécies

características de brejo herbáceo, de várzea e solos areno-argilosos úmidos (FIGURA 4).

Os contatos com a planície de intermaré se dá pela gradação suave no sentido topográfico e, com o planalto costeiro, se dá com pequeno desnível (falésias “mortas”) e com mudança vegetal abrupta (da mata secundária ou capoeira para a vegetação campestre) (FIGURA 4).



FIGURA 4 – Planície lamosa de supramaré recoberta por vegetação campestre. Ao fundo, contato abrupto com o Planalto costeiro.
Fonte: Adaptado de França (2003).

- **Manguezais (Planície lamosa de intermaré)**

Na área de estudo, as planícies lamosas de intermaré estendem-se longitudinalmente a linha de costa, alargando-se em direção ao norte. Ocupam , aproximadamente 155,95 km² e apresentam larguras que variam de 1 a 3,8 km. Limitam-se a oeste com o planalto costeiro e com a planície lamosa de supramaré, a leste com os cordões de dunas e praias, e ao sul com o rio Paracauari (FRANÇA, 2003).

A cobertura vegetal é representada pelos mangues. Na extremidade leste da planície costeira de Soure, em contato com os cordões arenosos de praias e dunas atuais, sob a ação das ondas e correntes de maré, os manguezais de intermaré apresentam feições erosivas, como terraços lamosos, soterramento e destruição das árvores adultas, refletindo a migração dos cordões praias sobre os depósitos lamosos e a retrogradação da linha de costa. Na parte interna, nos setores protegidos da costa, atrás da praia-barreira do Garrote e nas margens deposicionais dos canais de maré, desenvolvem-se formas acrecionais que respondem pela progradação da linha de costa, com instalação de espécies vegetais pioneiras e mangues jovens (FRANÇA, SOUZA FILHO, EL-ROBRINI, 2007).

Na orla da Baía de Marajó, em Soure, os manguezais adultos estendem-se desde os limites da praia do Garrote até os limites com a praia do Cajuúna, predominando a espécie *Rhizophora mangle* L. (“mangue vermelho”). Nos setores internos da planície de maré, nas margens do canal do Pesqueiro e nas zonas de progradação, em Soure (FRANÇA, 2003).

- **Cordões arenosos antigos (*cheniers*)**

Os cordões arenosos antigos formam cristas lineares situadas no interior dos manguezais de intermaré, representando depósitos de antigas praias que ficaram preservadas em meio aos sedimentos siltosos/argilosos das planícies de maré progradantes (SOUZA FILHO 1995).

Segundo Reineck e Singh (1980), a variação do suprimento sedimentar é fator fundamental para a formação dos *cheniers*. Quando o suprimento de sedimentos finos é interrompido, durante fase erosiva ou de rápida subida do nível do mar, as ondas retrabalham os sedimentos existentes na costa, dando origem a uma flecha arenosa que se forma à frente do mangue. À medida que o suprimento de finos cresce, com o retorno das condições acrecionais, uma nova zona lamosa se forma na frente da flecha arenosa, abandonando-a em meio à planície de lama. Como tal processo se repete, várias cristas arenosas alongadas podem ocorrer.

Para Augustinus (1989), os principais fatores que influenciam a formação dos *cheniers* e que determinam mudanças ambientais são: deslocamento de desembocaduras fluviais, flutuações do nível do mar, flutuações climáticas e freqüência de tempestades.

De acordo com Souza Filho (1995; 2000), os cordões arenosos antigos ou *cheniers* são também constituídos por cordões de duna/praias e os leques de lavagem podem lhes conferir uma forma irregular. Sua origem está ligada ao retrabalhamento de sedimentos areno-lamosos mal selecionados e que são transportados para a costa como barras longitudinais. São feições morfológicas importantes por fornecerem um registro do nível do mar pretérito e das mudanças ambientais, durante o Holoceno, por estarem relacionados à retrogradação da linha de costa, em condições transgressivas, seguida de fase progradacional das planícies de maré e desenvolvimento de manguezais.

Na planície costeira de Soure, os cordões arenosos dispõem-se paralela ou quase paralelamente à linha de costa atual, distando entre 0,2 a 1,5 km da mesma, e possuem comprimentos variados e formas lineares ou curvadas. Apresentam direção preferencial N-S e NW-SE, e ocupam uma área de 5,2 km².

O perfil topográfico de um cordão arenoso (FIGURA 5), distante cerca de 1 km da praia da Barra Velha (Soure), mostrou gradiente de 1:29 a oeste da crista (lado interno), e de 1:7 a leste da crista (lado externo). Isso indica uma morfologia característica, ligada ao transporte de sedimentos para o interior da planície de maré, quando da formação do cordão arenoso, gerando um lado externo mais curto e mais íngreme, e um lado interno mais extenso e suave (FRANÇA, 2003).

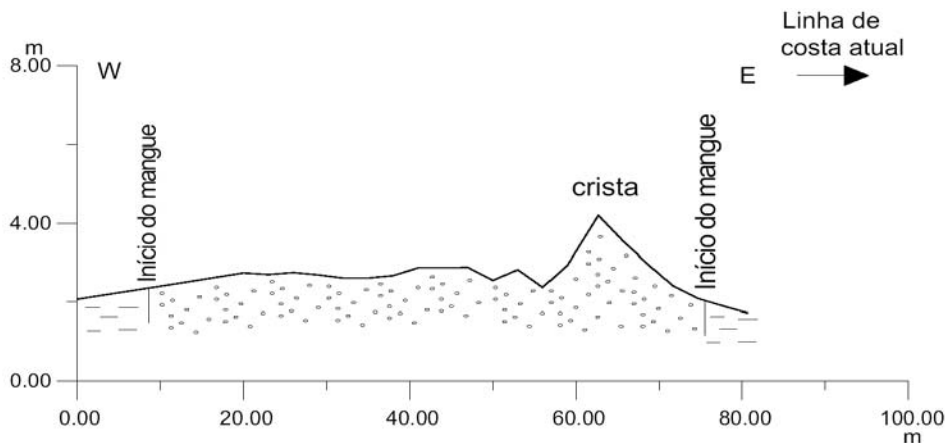


FIGURA 5 – Característica morfológica de um cordão arenoso antigo. Adaptado de França (2003).

• Praias

As praias formam cristas arenosas que se estendem desde o nível da maré alta de sizígia, limitando-se com a base das dunas ou falésias, até o nível da maré baixa de sizígia (SOUZA FILHO et al. 2003). Em Soure, ocorre o desenvolvimento de praias-barreiras, que limitam a progradação das planícies de maré lamosas cobertas por manguezais. Segundo Silva (1996), os sistemas de barreiras evoluem através do crescimento e progradação de flechas arenosas a partir de extremidades da costa, e do crescimento e emergência de barras arenosas de *offshore*, que migram na direção do continente. Esses cordões arenosos geram setores protegidos, favorecendo a sedimentação lamosa e o crescimento de manguezais entre a barreira e o continente.

Segundo França e Souza Filho (2007), a zona de *foreshore* ou de inter-maré, também chamada de zona de estirâncio das praias, estende-se da linha de maré alta média até a linha de maré baixa média. As correntes longitudinais podem originar uma ou mais barras e calhas, constituídas de areia média a fina, que ficam expostas durante a maré baixa. Podem ser destruídas durante as tempestades e reconstruídas durante os períodos de mar calmo. Em função da exposição sub-aérea, na maré baixa, e conforme a intensidade e direção do vento, areias podem ser deslocadas para a zona de *backshore* ou para as extremidades laterais, contribuindo, neste último caso, para o crescimento do arco praial.

As principais praias de Soure, como Cajuúna, Pesqueiro, Araruna (com orientação espacial N-S), Barra Velha (orientação NNW-SSE) e Garrote (orientação E-W), formam extensos cordões entre 1,7 a 4,5 km, apresentando forma retilínea a convexa. São praias-barreiras que permitem o desenvolvimento de zonas protegidas no litoral e extensos manguezais. Pertencem a uma costa de baixo gradiente, seccionada por grandes canais de maré (FIGURA 6).

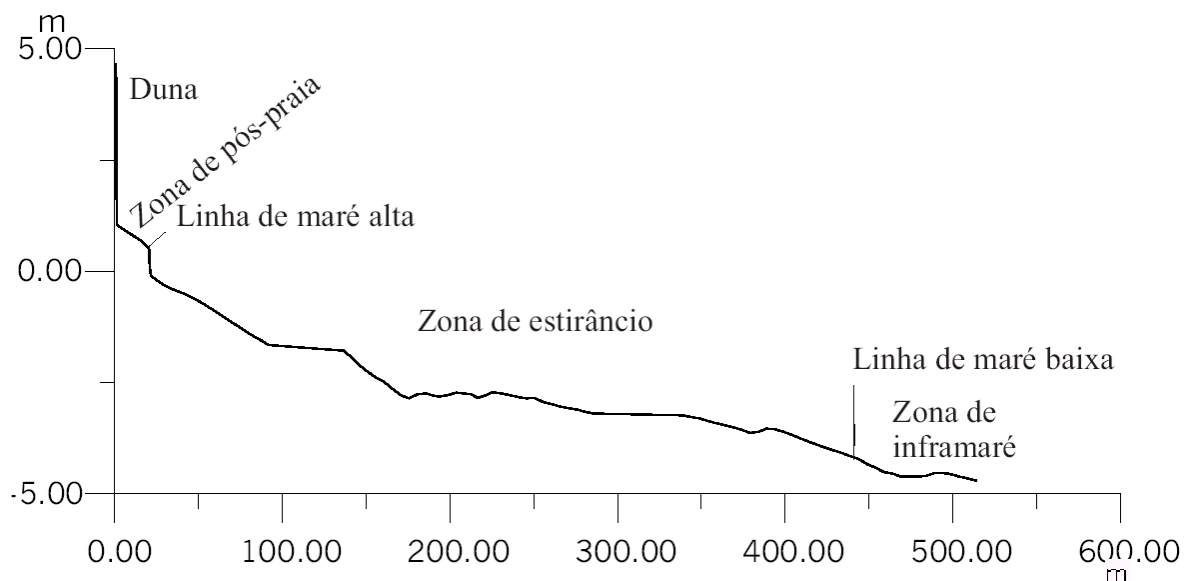


FIGURA 6 – Perfil morfológico da praia do Pesqueiro (Soure).
Fonte: Adaptado de França (2003).

3.4 VEGETAÇÃO

No planalto costeiro, mais precisamente na margem esquerda do rio Paracauari (município de Soure) o topo é recoberto por vegetação rasteira ou

arbustiva (capoeira), de cerca de 3m de altura e, em alguns trechos, por manchas de cerrado e mata secundária (SOUZA FILHO e FRANÇA, 2006).

Os limites dos terraços arenosos com o planalto costeiro são gradacionais, do ponto de vista vegetacional. A mata secundária ou a capoeira do planalto é substituída por uma vegetação de duna ou campo arenoso. Ocorrem espécies, tais como: *Paspalum vaginatum* Sw. (“capim-de-praia”), *Cyperus* SP., *Syngonanthus tenuis* (H.B.K.) Ruhl. e *Rynchospora riparia* (Nees) Boeck (SOUZA FILHO e FRANÇA, 2006).

Para França e Souza Filho (2006), a transição para a planície lamosa de intermaré é abrupta, nos aspectos topográficos e vegetacional. A vegetação de duna ou campo arenoso é substituída bruscamente pelo manguezal, que ocupa um nível topográfico inferior (FIGURA 7).

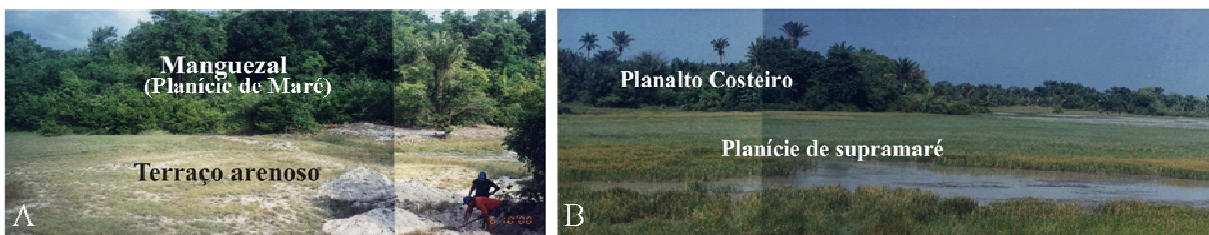


FIGURA 7 – Contato topográfico e vegetacional abrupto entre: A) o terraço arenoso (coberto pela vegetação de campo arenoso) e a planície de intermaré (coberta pela vegetação de mangue), no município de Soure. ; B) o planalto costeiro (cobertura vegetal de mata secundária ou capoeira) e a planície lamosa de supramaré, recoberta por campos inundáveis, em Soure.

Fonte: Adaptado de França (2003), fotografia realizada em outubro/2000.

França e Souza Filho (2006), a planície lamosa de supramaré apresenta cotas topográficas inferior a 5m, é coberta por vegetação campestre, onde ocorrem espécies tais como: *Eleocharis interstincta* R. Br. (“junco poque-poque”), *Eleocharis mutata* R. et Sch. (“Junco triângulo”), *Fimbristylis capillaris* (L.) Kunth., *Xyris jupicai* L.C.Rich., *Borreria laevis* O. Kuntze, *Panicum* sp. e *Hidrolea spinosa* L.. São espécies características de brejo herbáceo, de várzea e solos areno-argilosos úmidos (FIGURA 7).

Na planície lamosa de intermaré a cobertura vegetal é representada pelos mangues. Na orla da baía de Marajó, em Soure, os manguezais adultos estendem-se desde os limites da praia do Garrote até os limites com a praia do Cajuúna, predominando a espécie *Rhizophora mangle* L. (“mangue vermelho”). Nos setores

internos da planície de maré, nas margens do canal do Pesqueiro e nas zonas de progradação, em Soure, e no vale dos canais do jubim, em Salvaterra, encontram-se as espécies: *Rhizophora mangle* L. (“mangue vermelho”), *Avicennia schaweriana* Stapf & Leech. (“siriúba preta”), *Laguncularia racemosa* Gaertn. (“tinteira”), *Fimbristylis apadicea* (L.) Vahl, *Machaerium ferox* Mart. ex Benth. (“aturiá”), *Stismaphyllon bannisterioides* (L.) C. And., *Spartina* sp., *Alisma macrophyllum* Kunth. e *Hippeastrum equestre* Herb (FRANÇA e SOUZA FILHO, 2006).

Os coqueirais, onde ocorre a espécie *Cocus nucifera* Mart., ocorrem nas áreas internas e ao longo das margens de alguns canais de maré, onde a topografia é mais elevada, e coexistem com os mangues. A presença dos coqueirais deve-se à ação antrópica e posterior disseminação de brotos pelas correntes de maré (FRANÇA e SOUZA FILHO, 2006).

De acordo com França e Souza Filho (2006), nos Cordões arenosos antigos ou *cheniers* a cobertura vegetal é representada por vegetação herbácea e arbustiva aberta, e espécies como: *Borreria* sp., *Cyperus laxus* Vahl., *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K. (“muruci-do-campo”), na zona arenosa, e *Eleocharis caribea* (Rot.) Blake, *Avicennia schaweriana* Stapf & Leech. (“siriúba preta”), *Fimbristylis spadicea* (L.) Vahl e *Paspalum vaginatum* Sw. (“capim-de-praia”), na zona de transição para o mangue.

Já nos Cordões arenosos de dunas e praias atuais França e Souza Filho (2006), afirmam que ocorrem dunas baixas, longitudinais e são cobertas por vegetação predominantemente arbustiva (vegetação de restinga), abrangendo uma área de 3,29 Km². Ocorrem espécies como: *Paspalum vaginatum* Sw. (“capim-de-praia”), *Ipomea pes-caprae* Rott., *Psidium guajava* L. (“goiabeira”), *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K. (“muruci-do-campo”) e *Chrysobalanus icaco* L. (“ajuru”).

Com relação aos Canais de maré, nas margens deposicionais, dependendo da taxa de sedimentação, favorece a colonização por mangues, preferencialmente pela *Avicennia* sp., *Laguncularia* sp. e *Rhizophora* sp..

3.5 SOLOS

A fonte original de matéria orgânica do solo é o tecido vegetal. Sob condições naturais, copas e raízes de árvores, arbustos, gramíneas e outras plantas nativas fornecem anualmente grandes quantidades de resíduos orgânicos (BRUCKMAN e

BRAD, 1974 in FRANÇA, M. et al., 2007). Os animais são considerados como fontes secundárias de matéria orgânica. À medida que atacam os tecidos originais das plantas, contribuem com os produtos residuais e deixam seus próprios corpos, quando se consumam os seus desenvolvimentos cíclicos. Certas formas de vida animal, principalmente minhocas, centopéias e formigas desempenham também papel importante na mudança de localização dos resíduos vegetais (FRANÇA, M. et al., 2007).

Os solos que ocorrem com maior expressão são classificados na ilha são classificados como Hidromórficos Indiscriminados e solos Hidromórficos Gleyzados (CORRÊA et al., 1974 in FRANÇA, M. et al., 2007). Os primeiros apresentam perfis com horizonte superficial orgânico e orgânico-mineral, com grande variação em espessura, nos quais a matéria está total ou parcialmente decomposta ou em ambas as formas, este agrupamento é constituído de solos pouco evoluídos, medianamente profundos, muito pouco porosos, muito ácido com baixa capacidade de troca de cátions e saturação de bases; e, os últimos são constituídos por solos desenvolvidos sobre sedimento relativamente recente, em geral, fortemente ácidos, podendo apresentar-se neutros e alcalinos de textura argilosa e às vezes com considerável conteúdo de silte. No litoral da ilha ocorrem os solos Halomórficos com pouca expressão representada por solos indiscriminados de mangues (FRANÇA, M. et al., 2007).

De acordo com Zoneamento Ecológico Econômico e Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Arquipélago do Marajó, os solos que caracterizam a região na qual se localizam o município de Soure são solos Podzolissolo Amarelo Álico (Kandiuduta) e Gleissolo Órtico Eutrófico (Eutropepts) respectivamente (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 1998 apud FRANÇA, M. et al., 2007).

3.6 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICA

O clima da margem leste da Ilha de Marajó é classificado como Am1 (adaptado do método de Köppen), apresentando temperatura média anual de 27,3° C e pluviosidade anual superior a 3.000 mm (MARTORANO et al., 1993). Divide-se em dois períodos sazonais: (1) o período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, com precipitação média de 2.566 mm, representando 86 % do total anual

precipitado, e velocidade média do vento de 6,2 m/s, sendo o período de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e (2) o período menos chuvoso de junho a novembro, com média de 414,3 mm de chuvas, equivalentes a 14 % do total pluviométrico anual, e velocidade média do vento de 7,0 m/s (FERREIRA 2001; LIMA 2002).

A planície costeira de Soure é dominada por um regime de meso a macromarés, sob a dinâmica da baía de Marajó (FRANÇA et al., 2007). Os setores Insular Estuarino do rio Amazonas e Continental Estuarino do rio Pará/Baía do Marajó sofrem influência da mesomaré, que representa amplitudes de até 3,65 m durante as marés de sizígia, no período, chuvoso, em janeiro. As menores amplitudes de marés são registradas em abril (0,5 m), durante a maré de Quadratura. De acordo com Nordstrom (1980), as mudanças de curto período referem-se a flutuações cíclicas, que ocorrem numa escala de tempo de dias a um ano, conforme a sazonalidade. Nesse caso, as mudanças podem estar relacionadas aos padrões cíclicos de frequência e intensidade de tempestades, de alternância entre períodos úmidos e secos, de direção e intensidade dos ventos, de regime de ondas, de ocorrência de marés de sizígia, de transporte sedimentar e de balanço local de sedimentos. Tais registros podem ocorrer nas praias da Ilha de Marajó, como encontrados por França (2003) onde observou também que, no período menos chuvoso as águas ficam salobras devido à maior influência das marés oceânicas sobre essas águas que apresentam um regime de meso e macromarés, cuja amplitude das marés de sizígia está entre 3,6 e 4,7 m (DHN, 2003). Devido sua grande amplitude na região, as marés assumem um papel de grande relevância para as variações morfológicas rápidas das praias.

Segundo FONSECA, C.A.; PATTI, J.R.; CAMPOS, E.J.D. e SILVEIRA, I.C.A. (2000), a Corrente Costeira Norte Brasileira (CCNB) é a maior corrente de contorno oeste nas latitudes tropicais do Oceano Atlântico. Esta fecha o giro equatorial dirigido pelo vento, sustentando um sistema zonal de contracorrentes, e transporta águas do Atlântico Sul através do Equador. A região norte é altamente influenciada pela CCNB, que transporta as águas da plataforma continental externa e do talude na direção noroeste, com uma velocidade que chega até 1,2 m.s (RICHARDSON et al., 1994).

As principais correntes que atuam no litoral paraense são as correntes de maré, e, secundariamente, as correntes litorâneas resultante das chegadas das

ondas à costa, que são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral (ALVES, 2001).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO

4.1.1 Definição

O sensoriamento remoto é definido por Lillesand e Kiefer (1987) como “... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno”. Para se obter estas informações, usa-se um meio que, neste caso, é a radiação eletromagnética, supondo que esta possa chegar diretamente ao sensor. Isto, no entanto, não é possível em todas as partes do espectro eletromagnético, porque a transmissividade atmosférica é variável para os diversos comprimentos de onda.

4.1.2 SR Como sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de informações por sensoriamento remoto pode ser considerado um conjunto de subsistemas que atuam simultaneamente para coletar e analisar informações sobre a superfície terrestre (AFFONSO, 2002). Este sistema é composto por:

- **Sistemas sensores:** são equipamentos que focalizam e registram a radiação eletromagnética proveniente de um objeto;
- **Sistemas de Processamento de dados:** convertem o dado bruto produzido pelo sensor em produtos possíveis de serem interpretados e convertidos em informações;
- **Sistemas de análise:** incluem todas as ferramentas que permitem integrar as informações derivadas de sensoriamento remoto a outras informações ambientais, dentre as quais se destacam os sistemas de geoprocessamento, com ênfase nos sistemas de informação geográfica – SIG.

Para que os sistemas sensores atinjam seu objetivo (coleta de dados) certas condições devem ser satisfeitas:

- Existência de uma fonte de radiação;
- Propagação da radiação pela atmosfera;
- Incidência da radiação eletromagnética sobre a terra;
- Interações com objetos, substâncias, feições ou fenômenos;
- Retorno da energia em forma de onda refletida;
- Captação e registro da energia refletida pelos detectores dos sensores.

4.1.3 Elementos do SR

4.1.3.1 Radiação eletromagnética

A energia eletromagnética é o meio através do qual a informação é transmitida do objeto ao sensor. A informação pode ser codificada em termos da frequência, intensidade e polarização da onda eletromagnética. Como a radiação eletromagnética se propaga à velocidade da luz, quanto maior a sua frequência, portanto, as interações entre a radiação eletromagnética e os objetos variam ao longo do espectro eletromagnético (AFFONSO, 2002).

A radiação eletromagnética pode ser caracterizada pelo comprimento de onda (ou frequência da radiação), pela intensidade da radiação e por sua polarização. O comprimento de onda representa a distância entre dois pontos de igual intensidade do campo elétrico (ou magnético) ao longo da direção de propagação (AFFONSO. op.cit.).

O espectro eletromagnético corresponde a um intervalo contínuo de energia, em comprimento de onda que variam de angstroms (raios gama, x e ultravioleta) a quilômetros (ondas de rádio), a velocidade da luz. O sol é a principal fonte de energia eletromagnética disponível para o sensoriamento remoto da superfície terrestre. Seu pico de emissão de energia eletromagnética está entre 0,4 e 0,7 μm , que é a porção visível do espectro eletromagnético (FIGURA 8), (AFFONSO. op.cit.).

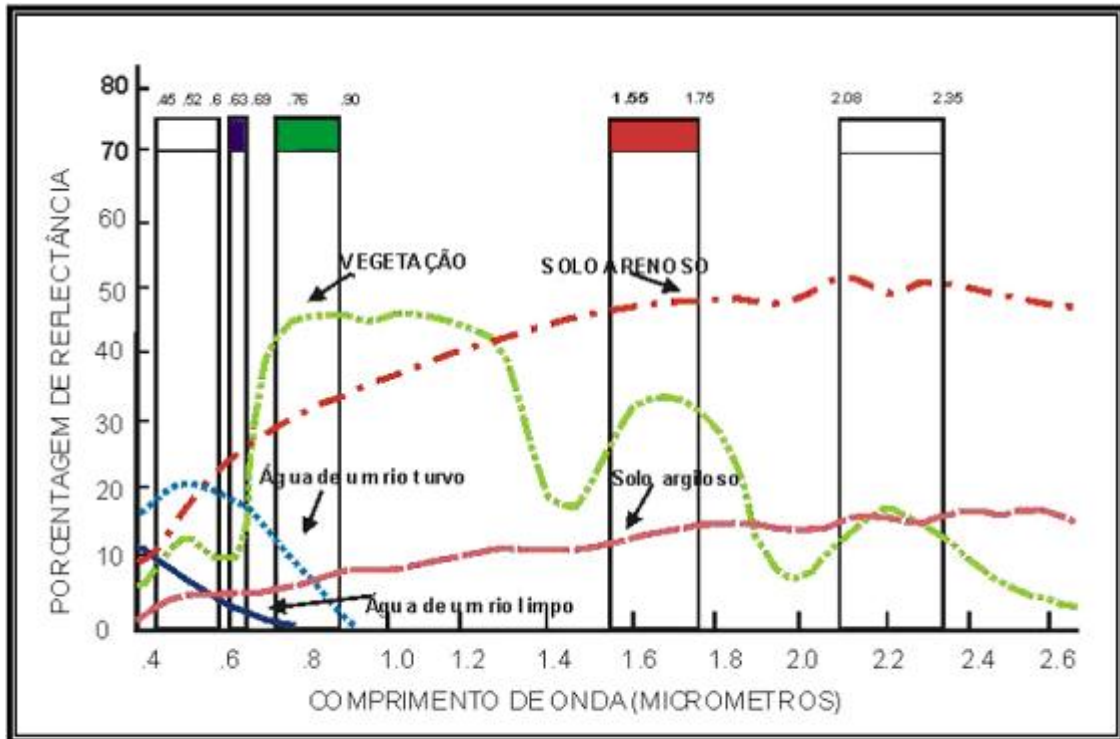


FIGURA 8 - Padrão de resposta espectral dos principais alvos da superfície terrestre
 Fonte: Modificado de Lillesand & Kiefer (1986, p.17) apud Crepani *et al.*, (2001).

A atmosfera é opaca em diversas regiões do espectro eletromagnético. A radiação com comprimento de onda inferior a $0,3 \mu\text{m}$, praticamente não ultrapassam a atmosfera. Características de transmissão atmosférica fazem com que raramente se usem sensores que operam em faixas de comprimento de onda inferior a $0,4 \mu\text{m}$. Para comprimento de onda entre $0,4 \mu\text{m}$ e $2,4 \mu\text{m}$, a energia usada para o sensoriamento remoto dos recursos terrestres é o solar refletido (regiões do visível e infravermelho) e para comprimento de onda maiores que $6 \mu\text{m}$, a energia utilizada é o fluxo termal (região do termal) emitido pela superfície terrestre. Na região das microondas, os sistemas sensores operam com radiação própria emitida e refletida pela superfície terrestre. Na região das microondas, os sistemas sensores operam com radiação própria emitida e refletida pela superfície terrestre (radiação produzida por circuitos eletrônicos) (AFFONSO, 2002).

4.2 ABORDAGEM ORIENTADA A OBJETO

4.2.1 Procedimento de segmentação

A segmentação é um importante processo na análise de dados de sensoriamento remoto. Tal processo consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas e não sobrepostas, considerando algumas de suas características intrínsecas, como, por exemplo, o nível de cinza dos *pixels* e a textura, ambos representativos dos objetos presentes na cena (MACOMBER et al., 1994). Existem diversos algoritmos de segmentação de imagens, os quais podem ser divididos em três grupos: Segmentação por Descontinuidade, Segmentação por Similaridade e Segmentação Multi-Resolução (MEINEL e NEUBORT apud VASCONCELOS, 2009).

4.2.1.1 Segmentação por descontinuidade

Os algoritmos baseada na descontinuidade dividem a imagem em segmentos, levando em consideração as mudanças bruscas nos níveis de cinza, permitindo a identificação de bordas e limites (GONZALEZ et al., 1987). Entretanto, para que isso seja possível, é necessário que se defina um limiar. Assim, ao se encontrar um pixel com um valor superior ao mesmo, tem o início a detecção da borda. Dentro desta ótica, uma imagem binária é gerada com valores 1, referente à borda, e 0, correspondete às regiões que nteão constituem bordas. Esta imagem binária, por sua vez, é rotulada de forma que as regiões com valores 0 sejam limitadas pelas regiões com valores 1 (NASCIMENTO et al., 2005 apud VASCONCELOS 2009).

4.2.1.2 Segmentação por similaridade

A técnica de segmentação baseada no método de similaridade ou crescimento de regiões é uma das mais utilizadas, pois permite extrair um conjunto mais rico de atributos e de selecionar amostras mais representativas de cada classe (KAI e MULLER, 1991).

De acordo com Kai e Muller (1991), esta segmentação particiona as imagens em regiões homogêneas, onde cada uma contém um único rótulo. Esta técnica é desenvolvida a partir de um "*pixel segmento*" que agrupa os *pixels* vizinhos com

características semelhantes, e que satisfazem a um certo critério de similaridade. O crescimento continuo até que são encontrados *pixels* que não se adaptam ao critério de similaridade. Uma nova região então se inicia, cuja medida inicial é o valor do novo “*pixel semente*”.

4.2.1.3 Segmentação multi-resolução (*Multiresolution Segmentation*)

A segmentação Multi-Resolução (*Multiresolution Segmentation*) é um algoritmo desenvolvido para extrair segmentos com base, tanto no valor do pixel, como no formato do objeto. Ela permite a extração de segmentos homogeneamente primário em qualquer resolução escolhida, principalmente no caso de contrastes locais estarem sendo considerados (THREETEK, 2009).

Segmentação Multi-Resolução é uma técnica de união de regiões em pares. Este procedimento se inicia com objetos do tamanho de um único pixel que são agrupados em circuitos fechados, repetidamente, pareados a módulos maiores até que um limiar superior de heterogeneidade, definido através de um parâmetro de escala, não seja localmente excedido. Em cada circuito, todos os objetos no nível de objeto serão manipulados uma vez. Os ciclos cessam, quando nenhuma outra união é possível. Conseqüentemente, valores mais altos de parâmetro de escala resultam em objetos maiores, e valores menores em segmentos pequenos (THREETEK. op.cit.).

A Segmentação Multi-resolução é um procedimento de otimização que minimiza a média de heterogeneidade para qualquer quantidade de segmentos, conseqüentemente maximizando a homogeneidade (THREETEK.op. Cit.).

4.2.2 Classificação de imagens

Um dos principais objetivos das técnicas de sensoriamento remoto é conseguir distinguir e identificar as feições correspondentes aos diferentes materiais que compõe a superfície da terra. Tal tarefa pode ser realizada a partir de algoritmos de classificação de imagens digitais, cujo objetivo é associar seus elementos (*pixels*) a classes que contenham características semelhantes ou comuns (LIMA, 2008 apud VASCONCELOS 2009).

Segundo Schiewe et al, (2001), estes algoritmos podem ser divididos em três grupos: o da classificação “*pixel a pixel*”, o da classificação baseada em segmentos e o da classificação orientada a objeto.

4.2.2.1 Classificação “*pixel a pixel*”

A classificação “*pixel a pixel*” utiliza informação espectral de cada *pixel* para achar regiões homogêneas (SPRING, 2010). Neste tipo de classificação, é utilizada a informação espectral de cada *pixel* isolado para associá-lo a uma classe. Desta forma, a informação espectral do *pixel* é comparada com o valor espectral médio de cada classe, sendo o *pixel* associado a classe que possuir o valor espectral mais próximo do seu, segundo determinados critérios estatísticos ou determinísticos (SCHIEWE et al., 2001). Cada *pixel*, de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro *pixel*, em todas as outras bandas, ou seja, para uma imagem de K bandas, existem k níveis de cinza associados a cada *pixel*, sendo um para cada banda espectral (CURRAN, 1995).

Com o aparecimento de sensores remotos de alta resolução, a tradicional classificação “*pixel a pixel*”, não se mostrou eficaz, pois o alto grau de detalhe destas imagens realça variações espectrais entre os objetos que antes, com resolução espacial menor, não são observadas (CENTENO et al., 2003 apud VASCONCELOS 2009).

4.2.2.2 Classificação baseada em segmentos

A classificação baseada em segmentos, também conhecida como classificação por regiões, utiliza, além da informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Essa abordagem, procura simular o comportamento de um fotointérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, considerando suas propriedades espectrais e espaciais. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões; as propriedades espaciais e espectrais unem áreas com mesma textura (SPRING, 2010).

4.2.2.3 Classificação orientada a objeto

Para Blaschke e Kux (2007) apud VASCONCELOS (2009), uma grande revolução no processamento digital de dados de sensoriamento remoto vem ocorrendo, principalmente devido às elevadas revoluções espaciais, que existem um novo tipo de processamento, além da observação centrada nos *pixels*. Ao invés de classificar os *pixels* individualmente quanto às suas características espectrais, os novos procedimentos consideram a delimitação de objetos com características espectrais (ou radiométricas) homogêneas como base para o processamento posterior. A classificação passa a considerar informações extraídas desses objetos, como resposta espectral média, variância, dimensões, forma e textura.

Para se trabalhar com este tipo de classificação, é necessário que, primeiramente, a imagem seja segmentada, onde cada segmento representará um objeto a ser classificado. Neste ponto, esta técnica em nada difere da classificação baseada em segmentos descrita anteriormente (MEDINA, 2007).

Todavia, no caso da classificação orientada a objetos, a estratégia básica é a construção de uma rede hierárquica através da segmentação multi-resolução. Assim, é possível representar a informação contida na imagem em diferentes resoluções. Tal rede hierárquica de objetos torna viável, então, associar a cada um dos segmentos uma informação de contexto (BAATZ et al., 2000 apud VASCONCELOS 2009).

4.3 ANÁLISE DO ERRO DE CLASSIFICAÇÃO

Segundo Foody (2002), em classificações temáticas obtidas por sensoriamento remoto, o termo acurácia (ou previsão) é utilização tipicamente para expressar o grau de acerto desta classificação quando comparada com a realidade. Um mapa temático derivado de uma classificação deve ser considerado acurado se ele fornece uma representação não tendenciosa da cobertura terrestre nele expressa. Por outro lado, o erro obtido na classificação corresponde à discrepância entre a situação representada no mapa temático e a realidade (CONGALTON e GREEN, 1999; VASCONCELOS, 2009).

Vários métodos de avaliação da acurácia de uma classificação temática de dados de sensoriamento remoto podem ser empregados, porém os predominantes

correspondem aos valores obtidos a partir da “matriz de erro” ou “matriz de confusão” e do Índice *Kappa* (FOODY, 2002; CONGALTON et al., 1999).

4.3.1 Matriz de erro e índice de concordância *Kappa*

Normalmente, a matriz de erro é quadrada, onde as colunas indicam os dados de referência obtidos pelas amostras de verdade terrestre e as linhas correspondem às informações obtidas pela classificação temática de determinada imagem. A forma mais simples e comumente utilizada destes números é a representação por porcentagem dos casos (*pixels*) em que as amostras correspondem às classes de referência (Cohen, 1960).

Na matriz de erro (FIGURA 9), as células destacadas em cinza claro representam a diagonal principal, que contém os casos onde os dados de amostragem concordam com a classificação temática. Os outros elementos marginais estão localizados fora da diagonal principal e incluem os casos onde não há concordância da classificação com os dados amostrais.

		Reference Data			
		1	2	k	$\sum n_{i+}$
Classified Data	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
	$\sum n_{+j}$	n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

FIGURA 9 – Formulação matemática de uma matriz de erro.
Fonte: Congalton e Green (1999) in Vasconcelos (2009).

A matriz de erro consiste em um método efetivo para conferir tanto os erros de comissão, quanto os erros de omissão presentes em uma classificação. No primeiro caso, o erro ocorre quando há inclusão de uma amostra em uma categoria da qual ela não faz parte. Já o erro de omissão é o oposto, ou seja, ocorre quando há exclusão de uma amostra de uma classe da qual ela realmente faz parte. Ou

seja, erro é resultado ou da exclusão da categoria correta ou da inclusão em uma categoria errada (CONGALTON et al., 1999).

Uma outra forma de verificar a acurácia de uma classificação com base em uma matriz de dados é através do índice *Kappa* (COHEN, 1960). Ao contrário da acurácia global, que assume o documento de referência como totalmente verdadeiro, o método utilizado para o cálculo do índice *Kappa* considera que o produto gerado e o documento de referência possuem o mesmo grau de veracidade (BRITES et al., 1996; LOBÃO et al., 2005). Esta técnica de análise é utilizada pela sociologia e psicologia há vários anos. Em sensoriamento remoto, a primeira referência descrevendo a utilização do método foi Congalton e Green (1999). Desde então, vários artigos recomendando o uso de tal abordagem têm sido publicados, como por exemplo Congalton e Green (1999).

O coeficiente *Kappa* é obtido a partir da matriz de erro e quantifica a acurácia da classificação. Isso é verificado através da concordância entre o resultado do processamento e o dado de referência das amostras, conforme indicado na diagonal principal da matriz. Além disso, o método determina qual a magnitude da acurácia pode ter sido obtida ao acaso, utilizando um valor que varia entre 0 e 1.

Os resultados da acurácia global e do coeficiente *Kappa* indicam se uma classificação atingiu um nível aceitável. Para isto, Congalton e Green (1999) estabeleceram em 85% o limiar da acurácia global. Os autores descrevem que este limite foi obtido empiricamente, a partir de diversas observações de dados classificados e a realidade a eles correspondente.

Para definir o quanto a classificação está correta, Landis e Koch (1977) *apud* Congalton e Green (1999) caracterizaram seis níveis de qualidade, de acordo com o valor do índice *Kappa* (TABELA 1).

TABELA 1 – Níveis de qualidade da classificação de acordo com o índice *Kappa*.

Concordância	<i>Kappa (K)</i>
Muito Forte	$K > 0,80$
Substancial	$0,60 < K < 0,79$
Moderado	$0,40 < K < 0,59$
Leve	$0,20 < K < 0,39$
Pobre	$0,00 < K < 0,19$
Sem Concordância	$K = 0$

4.4 ABORDAGEM DO DEFINIES

Dos mais variados tipos de sensores remotos, todos os dias, são fornecidos milhares de diferentes tipos de imagens – desde as simples fotografias em preto e branco até as imagens hiperespectrais com diferentes canais. As imagens variam em escala, resolução, área de abrangência, entre outros (THREETEK, 2010).

O desafio da classificação e análise de imagens de sensores remotos está em extrair o máximo de informação com máxima eficiência. Há décadas, são desenvolvidos métodos de classificação automática de imagens. Mas apesar dos avanços da computação dos dados de sensores remotos, os avanços em classificação de imagens são limitados (THREETEK, op. cit.).

Ao observar uma imagem de satélite de alta resolução, um usuário comum facilmente consegue diferenciar, por exemplo, um Rio de um Lago. No entanto, os métodos tradicionais de classificação automática de imagens falham em reconhecer objetos obviamente diferentes. Por quê? Porque simplesmente utilizam as informações contidas nos valores individuais dos *pixels* e seus vizinhos imediatos (THREETEK, op. cit.).

Na perspectiva de um analista de imagens, existem muito mais informações do que somente cor e intensidade dos *pixels*. Existem também informações de forma, textura, área, escala e os relacionamentos dos objetos (THREETEK, op. cit.).

Nesse contexto, a tecnologia *Definiens* analisa o *pixel* baseado no seu contexto, e não isoladamente, reconhecendo os grupos de pixels como objetos. Exatamente como a mente humana, o *Definiens* utiliza a cor, forma, textura e tamanho do objeto, bem como o seu contexto e relacionamentos para alcançar as

mesmas conclusões e inferências alcançadas por um experiente analista de imagens (THREETEK, 2010).

O *Definiens* auxilia a correlacionar a classificação de imagens com outros sistemas de informações geo-espaciais, permitindo aos usuários a tomada de decisões em três áreas essenciais:

- **Recursos Naturais:** o mapeamento atualizado e preciso de informações de uso e cobertura dos solos e da superfície dos oceanos são essenciais para a saúde do planeta. Essas informações são usadas para medir os impactos das mudanças climáticas, avaliação de biodiversidade em habitats naturais e suporte a agricultura sustentável e gerenciamento de recursos florestais. A tecnologia é também utilizada para a seleção e exploração de recursos naturais de campos de óleo e gás.
- **Planejamento de infra-estrutura:** o mapeamento preciso e a detecção de mudanças são essenciais ferramentas para o planejamento sustentável de infra-estrutura urbana e gerenciamento de tráfego de corredores. A tecnologia *Definiens* auxilia redução de gastos com construção, operação e manutenção para novos dutos de óleo e gás e infra-estrutura de telecomunicação. Isto suporta planejamento urbano de longo prazo, assegurando o apropriado uso do solo e o aprimoramento da qualidade de vida através da redução de ruídos e poluição nas cidades.
- **Segurança e Resposta a Emergências:** a facilidade de mapeamento e a aplicação de fusão de dados permitem um mapeamento preciso de qualquer região geográfica. A classificação de imagens baseado no contexto liga a detecção de objetos com a extração de feições. Os alvos podem ser identificados e relacionados para conhecimento da situação retratada. Essa capacidade permite a otimização do tempo e uma melhor capacidade para a tomada de decisões para uma ampla gama de aplicações de defesa e medidas de segurança, como controle de fronteiras e gerências de desastres.

4.5 SENSOR IKONOS II

O Ikonos é um satélite de alta resolução espacial operado pela Empresa GeoEye. O primeiro satélite da série (Ikonos-I) não obteve sucesso no lançamento

em abril de 1999 e com isso, o projeto do Ikonos-II foi adiantado para entrar em órbita em setembro de 1999 (EMBRAPA, 2010).

Em janeiro de 2000 o Ikonos tornou-se o primeiro Satélite de Observação da Terra a oferecer imagens de alta resolução para uso comercial e além das aplicações comerciais, possui uma ampla aplicabilidade em trabalhos científicos que necessitam de dados e informações detalhadas da superfície terrestre (EMBRAPA, op. cit.).

Segundo Embrapa (2010), o Ikonos possui sensores que operam no visível e infravermelho próximo e obtém imagens pancromáticas e multiespectrais com resolução espacial de 1 metro e 4 metros respectivamente. Podem ser programados para adquirir imagens stereo visando a elaboração de Modelos de Elevação Digital (DEM) ou Modelos Digitais de Superfície (MDS), (TABELA 2).

Os sensores a bordo do Ikonos operam no modo pancromático e multiespectral. Adicionalmente, há a possibilidade de fusão de imagens preto e branco com dados multiespectrais para a geração de imagens coloridas, o que pode facilitar a interpretação visual e substituir em muitos casos, o uso de fotografias aéreas. O período máximo de revisita oferecido pelo sensor é de três dias para latitudes próximas a 40°, mas o período de revisita pode ser menor em latitudes superiores. O sensor também é capaz de realizar visadas inclinadas e laterais para obter imagens de forma mais ágil e também possibilitar a geração de pares estereoscópicos (TABELA 3), (Embrapa, op. cit.).

TABELA 2 - Características dos satélites Ikonos.

Instituições Responsáveis	GeoEye	
País/Região	Estados Unidos	
Satélite	IKONOS-I	IKONOS-II
Lançamento	27/4/1999	24/09/1999
Local de Lançamento	Base da Força Aérea de Vandenberg	
Veículo Lançador	Athena	Athena
Situação Atual	Falha no Lançamento	ativo
Órbita	Polar, circular, heliossíncrona	
Altitude	681 km	
Inclinação	98,1°	
Tempo de Duração da Órbita	98 min	
Horário de Passagem	10:30 A.M.	
Período de Revisita	3 dias	
Tempo de Vida Projetado	8,5 anos	
Instrumentos Sensores	PAN e MS	

Fonte: de Embrapa (2010).

TABELA 3 – Principais sistemas sensores - Sensores Orbitais.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
(PAN) PANCROMÁTICO	PAN	0,45 - 0,90 μ m	1 metro	2,9 dias	11 bits	11 x 11 km
(MS) MULTIESPECTRAL	AZUL	0,45 - 0,52 μ m	4 metros	1,5 dia		
	VERDE	0,52 - 0,60 μ m				
	VERMELHO	0,63 - 0,69 μ m				
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,76 - 0,90 μ m				

Fonte: de Embrapa (2010)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A seguir é apresentada a descrição dos materiais utilizados no desenvolvimento da metodologia:

- Duas cenas do satélite Ikonos II, referentes ao ano de 2007, com 4 bandas espectrais cada cena;
- Computador com Sistema Operacional Windows 7 Ultimate (64 bits); processador Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7400 @ 2.80GHz 2.80GHz; memória 2.00 GB; monitor Samsung 17'.

5.1.1 *softwares* utilizados

- O programa Image Linker para calibração radiométrica e geração de mosaico das imagens Ikonos;
- O *software* Definies Developer 7.0, foi usado para a segmentação multiresolução orientada a objeto; para classificação dos objetos da imagem e acurácia da classificação;
- O ArcGis 9.3 foi utilizado para confecção do mapa temático com todas as classes aqui definidas.

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 Calibração radiométrica e geração de mosaico

A resolução radiométrica é dada pelo número de valores digitais representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de valores, maior é a resolução radiométrica (CARTOGRAFIA, 2010).

Com o uso do programa Image Linker inicialmente foi realizado a calibração radiométrica das imagens Ikonos (duas cenas), para o ajuste dos valores digitais que correspondem a níveis de cinza. Posteriormente foi gerado o mosaico entre as cenas para dar início ao tratamento dos dados FIGURA 10.

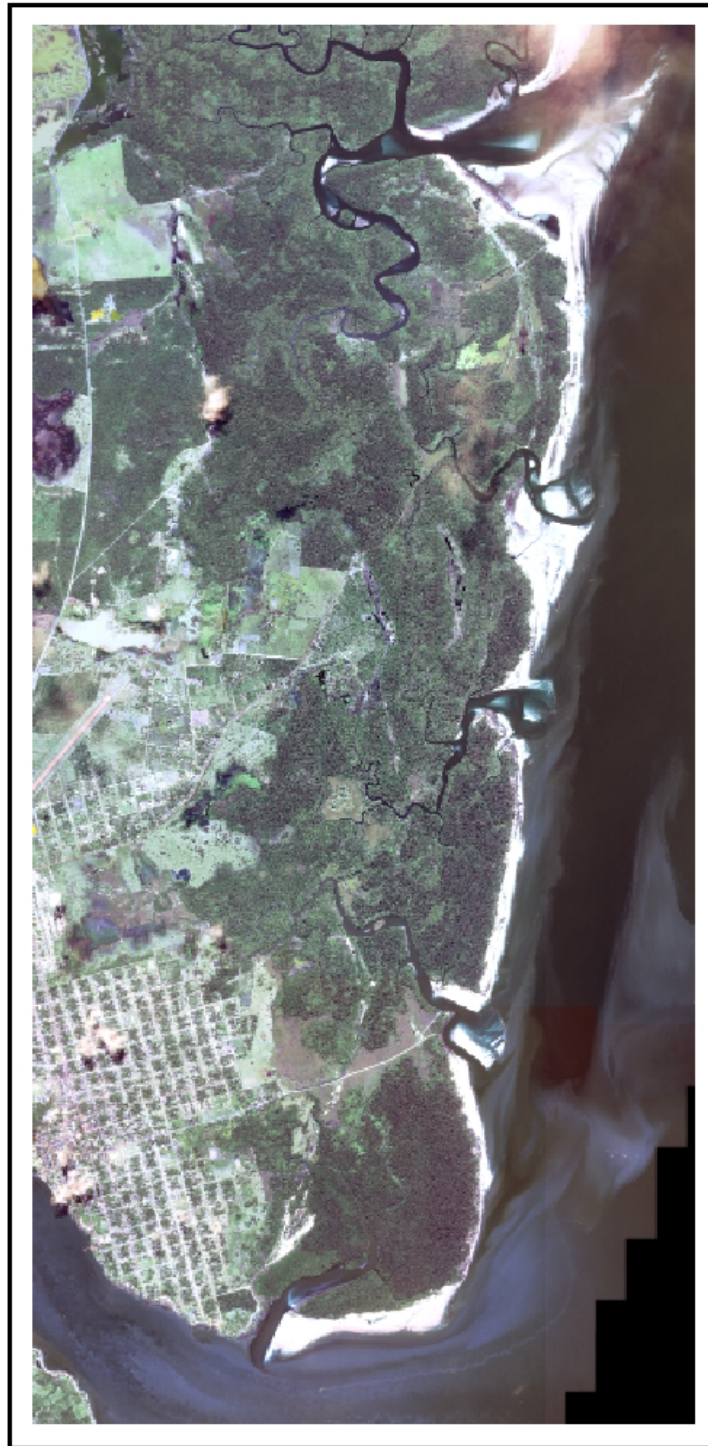


FIGURA 10 – Mosaico das imagens Ikonos com a calibração radiométrica.

5.2.2 Segmentação

A segmentação foi utilizada para dividir a imagem em partes que correspondem a objetos reais. O método empregado nesta etapa foi a segmentação por multiresolução com base em características espaciais e espectrais.

Primeiramente, ocorreu a escolha dos parâmetros de segmentação, bem como, cor, forma, compacidade, suavidade e escala, que permitem um agrupamento de objetos conforme a resolução mais detalhada possível.

Para realização deste processo inicialmente foram determinados parâmetros de segmentação com base nas características da imagem, por se tratar de uma imagem de alta resolução, utilizou-se um valor de escala de parâmetro igual a quinze, sendo que a escala de parâmetro consiste no refinamento da segmentação, pois quanto menor o valor maior o detalhe da segmentação, ou seja, maior número de objetos serão reconhecidos na imagem. Em seguida, determinou-se valores para forma e brilho. Devido à alta variação de respostas espectrais que a imagem fornece, foi determinado um valor maior para o brilho em relação à forma. Outros valores inseridos foram o de compacidade e suavidade, em virtude das formas sinuosas da massa d'água de modo geral (rios, lagos, etc.) e da vegetação predominante. Foi empregado um valor maior para a suavidade em relação à compacidade. A imagem foi segmentada com quatro bandas espectrais (Red, Green, Blue e NIR) na qual foram atribuídos pesos 1 para cada banda (TABELA 4).

Com o uso do algoritmo *multiresolution segmentation*, a segmentação foi executada. Este processo gerou objetos, os quais variam de acordo com as propriedades espaciais das feições que se desejou identificar (FIGURA 11).

TABELA 4 – Tabela com os parâmetros de segmentação utilizados

Parâmetros			
Escala	15	Bandas espectrais	Peso
Atributos		Red	1
<i>Brilho</i>	0.7	Green	1
<i>Forma</i>	0.3	Blue	1
<i>Compacidade</i>	0.4	NIR	1
<i>Suavidade</i>	0.6		

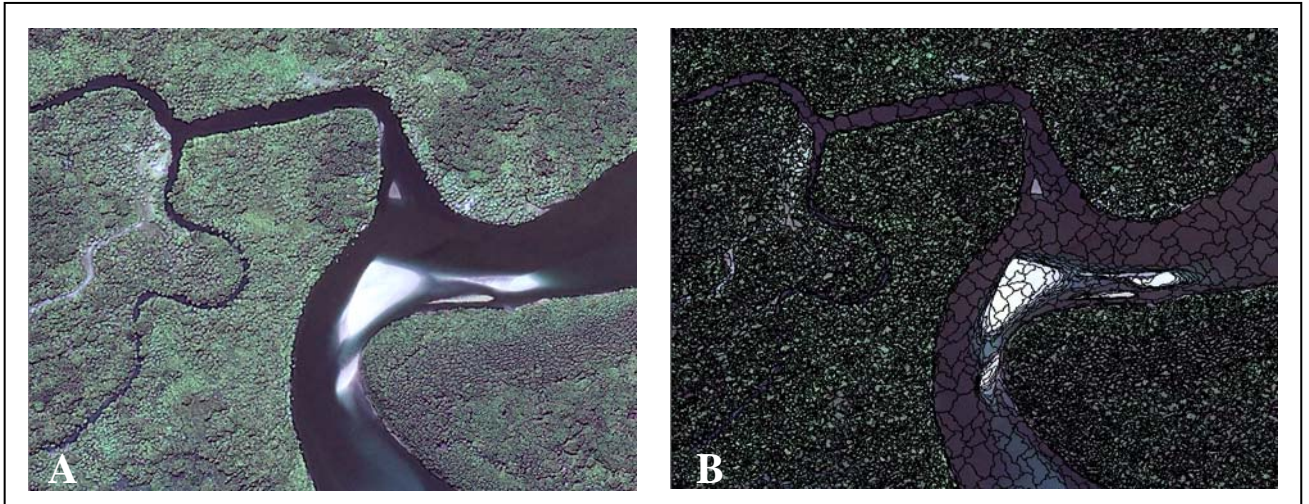


FIGURA 11 – Zoom de uma parte da imagem segmentada. Em A, a imagem antes da segmentação; em B a imagem já segmentada; os polígonos em linhas pretas em B representam os objetos reconhecidos.

5.2.3 Definição das classes

Nesta etapa foi realizada a definição das classes a partir de critérios e técnicas de interpretação visual de imagens, assim como análise de dados bibliográficos. Em seguida iniciou-se o método de coleta de amostras (objetos) manual, de forma a permitir a extração das medidas dos descritores através de análise de histogramas, de acordo com a FIGURA 12. Este procedimento permite uma compreensão do comportamento das classes de objetos criados pela segmentação (ROCHA, 2007 apud VASCONCELOS 2009).

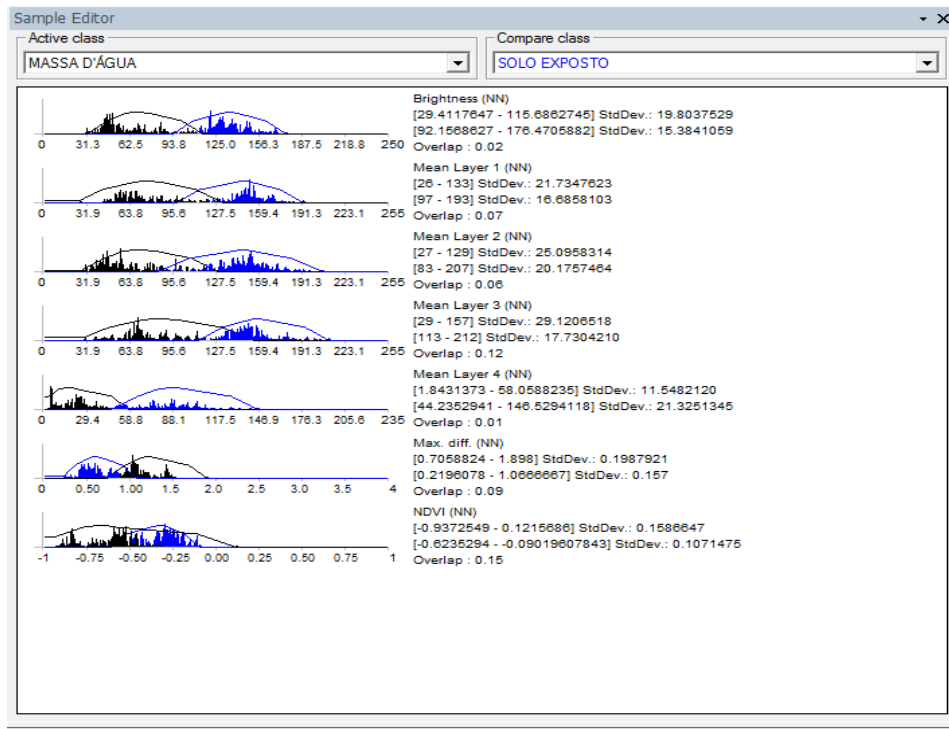


FIGURA 12 - Histograma exibindo características espectrais de duas classes
 Fonte: *Software Definies Developer 7.0* (2009).

5.2.4 Classificação

Após a coleta de amostras de diferentes classes e computação dos dados foi realizada a classificação orientada a objeto, este procedimento consiste em um processo que associa segmentos a uma classe. Uma classe descreve o significado semântico do objeto na rede. As classes formam uma sub-rede estruturada dentro da rede de cognição chamada hierarquia de classes (FIGURA 13).

Em seguida realizou-se a avaliação da classificação a partir de uma matriz de erros ou matriz de “confusão” que compara os dados classificados com os dados de referência.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir das técnicas de segmentação e classificação orientada a objeto das imagens Ikonos, além da análise da matriz de erro ou matriz de “confusão” e o índice de concordância *Kappa*.

Como mencionado no Capítulo 2, área de estudo é compartimentada em duas unidades geomorfológicas: i) planalto costeiro e ii) planície costeira. Na unidade planalto costeiro foram consideradas 4 subunidades, a saber:

- **Vias de areia:** representa as vias de tráfego, tais como ruas, caminhos, estradas entre outros, em geral coberto por areia quartzosa.
- **Área construída:** consistem nas construções, como casas, igreja, praças, hospital, posto, etc. Se concentram predominantemente no canto inferior esquerdo da imagem.
- **Área desmatada com gramínea:** são as áreas cuja vegetação ombrofila foi cortada e por grama e pasto.
- **Vegetação urbana:** compreende a vegetação arbórea de grande porte e vegetação rasteira presente na área urbana.

Na unidade planície costeira foram reconhecidas 7 subunidades, descritas a seguir:

- **Campos naturais:** áreas naturalmente cobertas por vegetação rasteira, de campo.
- **Cordão arenoso antigo:** formam cristas lineares situadas no interior dos manguezais, representando depósitos de antigas praias arenosas.
- **Praia:** formam extensos cordões arenosos com forma retilínea a convexa orientada na direção N-S, compreendendo as praias do Garrote, Araruna e Pesqueiro. Limita-se a leste pela Baía de Marajó e a oeste pelos manguezais.
- **Manguezal:** é representada pela vegetação de mangue, ocorrendo por trás das praias arenosas, alargando-se em direção ao norte. Limita-se a oeste com o planalto costeiro e a planície lamosa de supramaré, a leste com os cordões de praias, e ao sul com o rio Paracauari.

- **Terraço de manguezal:** depósito lamoso, com resto de vegetação de mangue, formando terraços de abrasão ao longo da zona de intermaré das praias.
- **Área alagada:** áreas inundadas devido a ação de maré e represada pela construção de estradas.
- **Massa d' água:** representa toda a porção de água presente na imagem, como lagos, canais de marés e baía de Marajó.

As duas tabelas a seguir exibem um sumario das características das unidades e subunidades reconhecidas neste trabalho, bem como suas respectivas descrições e amostras utilizadas.

TABELA 5 - Características das subunidades do planalto costeiro.


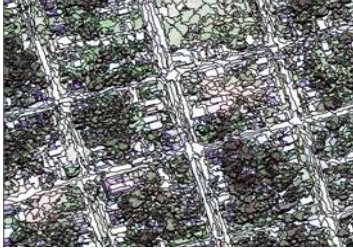





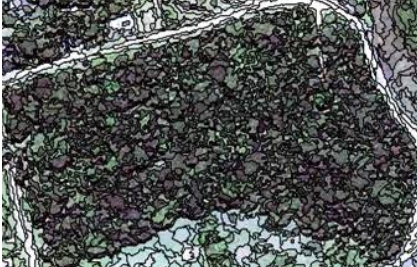

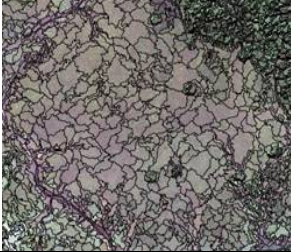



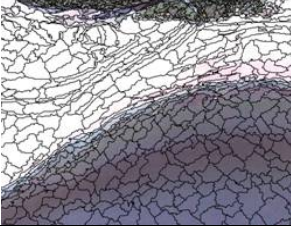



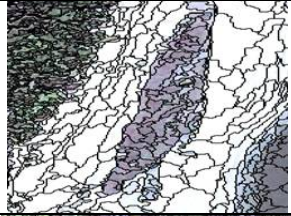
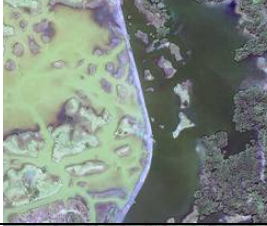
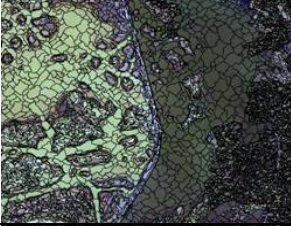

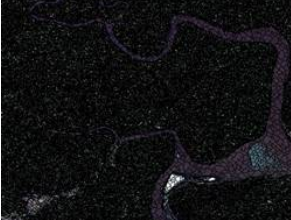
Subunidades	Descrição da subunidade	Amostra da imagem	Amostra segmentada
Vias de areia	representa as vias de trafego observadas na imagem tais como ruas, caminhos, estradas entre outros, em geral cobertas por areia quartzosa.		
Área construída	Compreende as construções, como casas, igreja, praças, hospital, posto, etc.		
Área desmatada com gramíneas	áreas de vegetação nativa devastada, apresentando-se atualmente coberta por gramíneas e pastos.		
Vegetação Urbana	vegetação arbórea de grande porte e vegetação rasteira presente na área urbana.		

TABELA 6 – Características das subunidades da planície costeira.

Subunidades	Descrição da subunidade	Amostra na imagem	Amostra segmentada
Campos naturais	áreas cobertas por vegetação rasteira.		
Cordão arenoso antigo	formam cristas lineares situadas no interior dos manguezais, representando depósitos de antigas praias.		
Praia	formam extensos cordões arenosos apresentando forma retilínea a convexa com orientação espacial N-S.		
Manguezal	Planície de maré lamosa densamente vegetada por árvores de mangue.		
Terraço de manguezal	porções da planície lamosa, com resto de vegetação de mangue, formando terraços de abrasão.		
Área alagada	áreas inundadas devido a ação de maré e construção de estradas.		
Massa d'água	representa toda a porção de água, como canais de marés, lagos e baías.		

6.1 CLASSIFICAÇÃO

Após o reconhecimento das subunidades e segmentação das mesmas, iniciou-se o processo de classificação, onde os objetos reconhecidos na imagem receberam um significado semântico ou temático, visto que com a imagem segmentada a classificação é facilitada.

Dentre as classes inicialmente definidas, todas elas foram reconhecidas no processo de classificação orientada a objetos, são elas: área alagada, área desmatada com gramíneas, massa d'água, manguezal, praia, campos naturais, terraço de manguezal, cordão arenosos antigo, área construída, vegetação urbana e vias de areia. Em seguida criou-se a expressão do índice de vegetação NDVI (Vegetação por diferença Normalizada). O NDVI é um indicador numérico simples que podem ser usados para analisar as medidas de sensoriamento remoto, normalmente, mas não necessariamente de uma plataforma espacial, e avaliar se o alvo a ser observado contém vegetação verde vivo ou não. Nesse contexto esta expressão foi extremamente importante na separação da vegetação predominante (manguezal) na imagem Ikonos. O NDVI é calculado da seguinte forma:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}).$$

Posteriormente, foram coletadas amostras (objetos) de todas as classes de acordo com a determinada resposta espectral do ambiente envolvido, sendo que esta coleta é realizada manualmente (FIGURA 14).

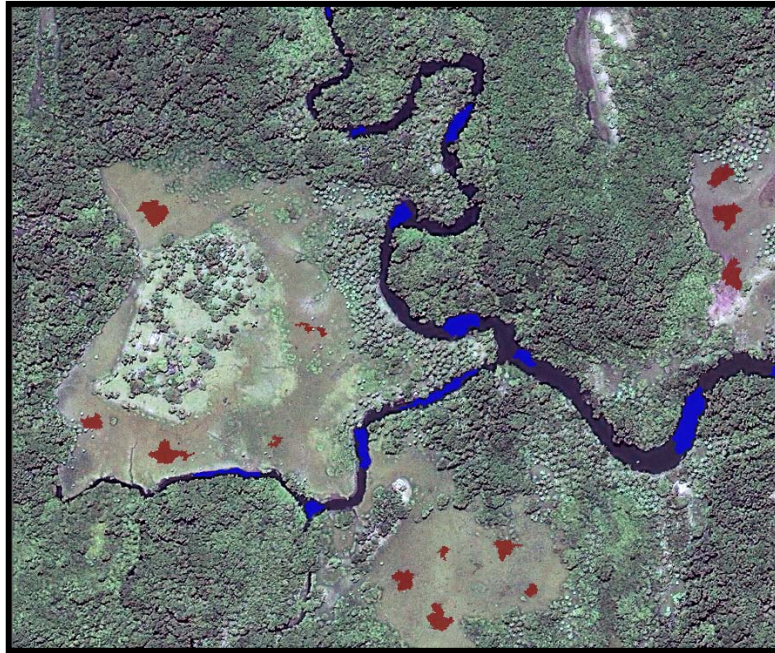


FIGURA 14 – Exemplo de amostras coletadas na imagem. Os polígonos azuis representam objetos coletados referente à classe massa d'água, enquanto que os polígonos em vermelho representam objetos da classe campos naturais.

Fonte: *Software Definies Developer 7.0*

Após as coletadas, os dados foram computados em valores de intervalo de modo a gerar uma função de pertinência, sendo que esta função permite definir o critério que um objeto deve atender para pertencer a uma classe. Estes valores foram computados para todas as bandas incluindo o NDVI (FIGURA 15).

Com o uso do algoritmo *classification* e com o auxílio do operador *mean (arithm)*, a classificação foi executada com todas as classes, visto que os objetos passaram a ter um significado temático (FIGURA 16).

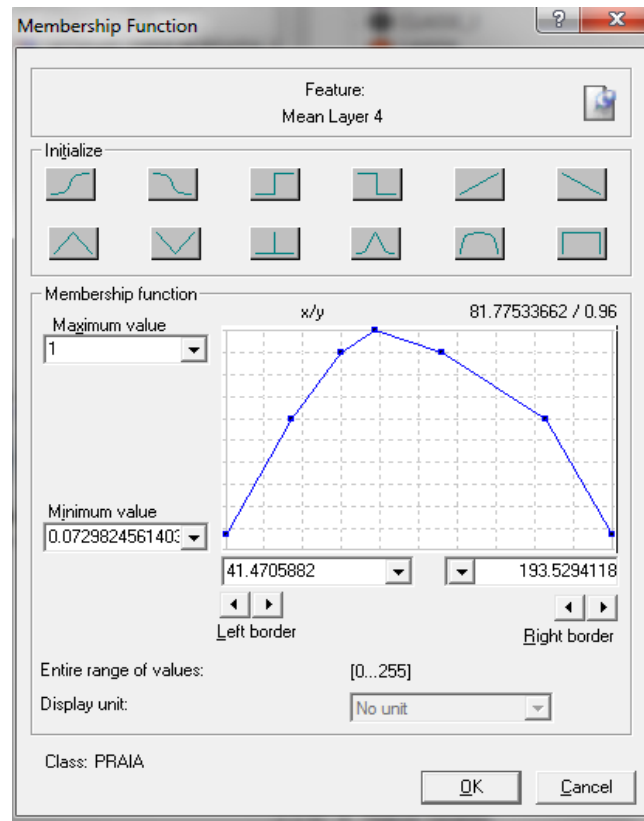


FIGURA 15 – Função de pertinência da classe praia na banda NIR.
Fonte: Software Definies Developer 7.0.

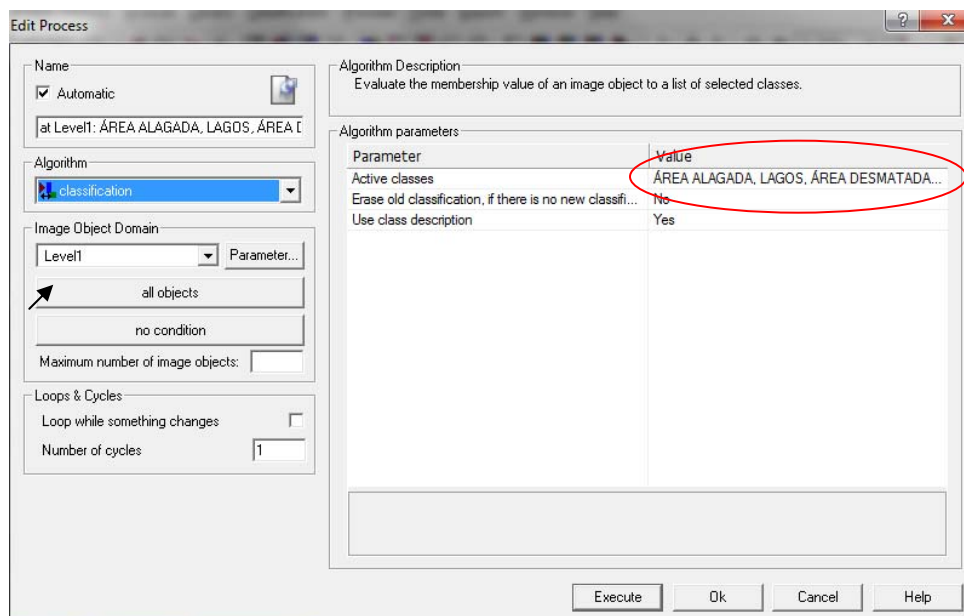


FIGURA 16 – “Janela” da edição de processos. Em azul, o algoritmo selecionado (*classification*); a seta preta mostra que todos os objetos foram selecionados; a elipse em vermelho mostra que todos os objetos serão classificados de acordo com o tema escolhido.
Fonte: Software Definies Developer 7.0.

6.1.1 Acurácia da classificação

Devido algumas “confusões” ocorridas na classificação orientada a objeto entre classes, em virtude da resposta espectral semelhante, foi preciso melhorar a classificação através de outros métodos, como relação de vizinhanças, área do objeto, relação de borda, posição do objeto em relação à imagem, entre outros. Os procedimentos serão explicados a seguir.

Para classificar as vias de areia foi utilizado principalmente à relação de compacidade, pois os valores de compacidade para esta classe eram bem maiores em relação às outras classes, devido à maior quantidade de formas retilíneas. Tendo em vista que os valores de compacidade para a classe vias de areia eram predominantemente maiores que cinco e que anteriormente alguns objetos foram confundidos com a classe praia, logo determinou-se uma condição, onde os objetos na classe praia com valores de compacidade maiores que cinco serão classificados como vias de areia (FIGURA 17).

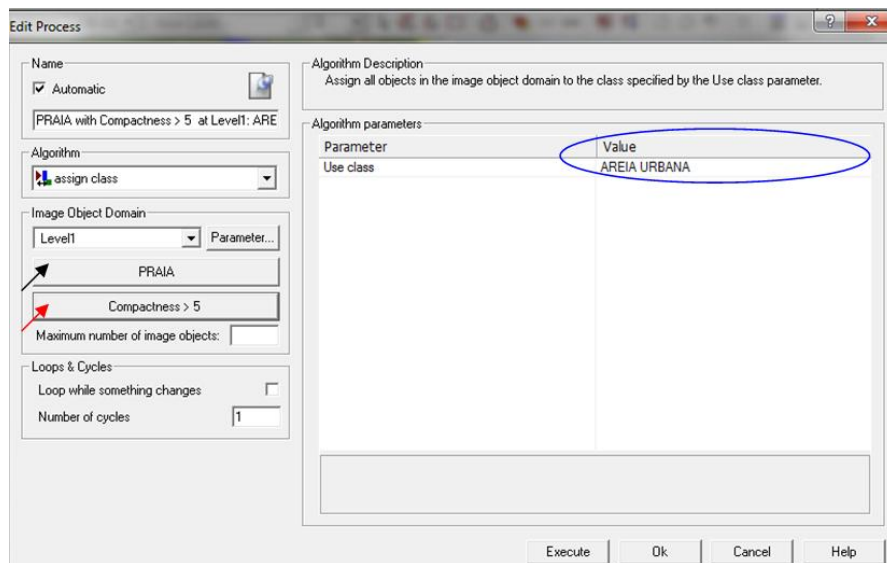


FIGURA 17 – “Janela” de edição dos processos. A seta preta mostra o objeto que sofrerá a condição; a seta vermelha mostra a condição estabelecida; a elipse em azul mostra o tema que os objetos da classe praia receberão

Fonte: *Software Definies Developer 7.0.*

A classe campos naturais e praia foram bastante confundidas com as áreas construídas na imagem. No entanto, para classificar a classe áreas construídas utilizou-se inicialmente uma relação de distância com a classe vias de areia, visto que alguns objetos da classe praia e campos naturais se encontravam nas proximidades desta classe. Além da distância para as vias de areia também foi levado em consideração à área destes objetos, pois as áreas construídas apresentavam áreas muito pequenas e quase que semelhantes, logo a condição se caracterizou da seguinte forma: objetos nas classes praia e campos naturais com distância menor/igual a 100m da classe vias de areia e área menor/igual a 500m² serão classificados como área construída.

Levando em consideração que a vegetação urbana foi bastante confundida com o manguezal, foi utilizada a posição dos objetos com relação às bordas da imagem para discriminá-los. Ou seja, determinou-se as distâncias destes objetos para as bordas esquerda (eixo X), direita (eixo X), da base (eixo Y) e do topo (eixo Y) em valores de intervalo, de modo a formar um quadrado localizado na vegetação urbana que se encontra predominantemente no canto inferior esquerdo da imagem. Definida esta condição, os objetos (manguezal) que antes eram confundidos com a vegetação urbana, passaram a ser facilmente discriminados (FIGURA 18).



FIGURA 18 - Classificação da área urbana após utilização de atributos espaciais para melhorar a discriminação dos alvos. Na imagem à direita, o verde predominante representa a vegetação urbana, o cinza condiz à área construída e o laranja vias de areia.

Fonte: *Software Definies Developer 7.0*

As classes cordão arenoso antigo, nuvem e terraço de manguezal foram separadas basicamente por relação de área, pois estas classes apresentaram polígonos bem definidos correlatos as suas respectivas formas. Assim, a condição determinada para estas classes foi: objetos em outras classes que sofre confusão com algumas destas classes aqui em questão, com um valor exato de área igual a X serão classificadas com uma das classes aqui envolvidas. Portanto, foram utilizados valores exatos para suas áreas (m²). Exemplo: objetos da classe campos naturais com área igual a 400m² classificar como cordão arenoso antigo (FIGURA 19).

Depois de concluída a classificação, o produto final consiste em um mapa com todos ambientes pré-definidos da planície costeira de Soure. De acordo com a FIGURA 20, observe que a técnica da classificação orientada a objeto mostrou ser extremamente eficaz, pois a delimitação dos ambientes costeiros na imagem classificada é quase perfeita.

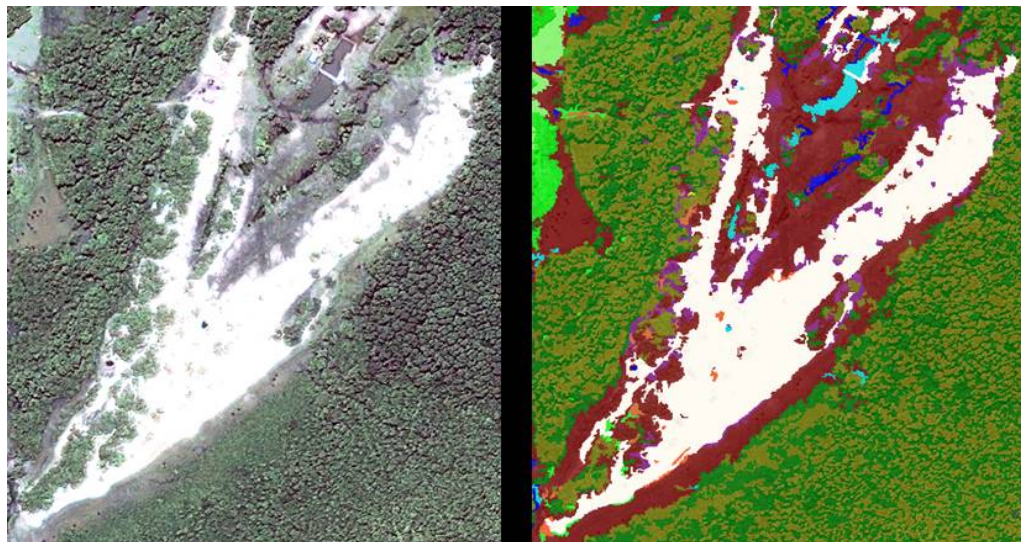


FIGURA 19 – Detalhe da imagem Ikonos ilustrando um cordão arenoso antigo a esquerda. A direita a imagem já classificada, ilustrando em branco o cordão arenoso antigo, em vermelho campos naturais rodeado por manguezal em verde

6.1.2 Avaliação da classificação

Depois de realizada a classificação, a avaliação é feita a partir da criação da matriz de confusão, onde cada classe pode ser avaliada individualmente ou podem ser avaliadas como um todo. Esta avaliação se dá através de índices de concordância, tais como acurácia do produtor, acurácia do usuário, acurácia global, *kappa* por classe e *kappa* global (Congalton e Green, 1999).

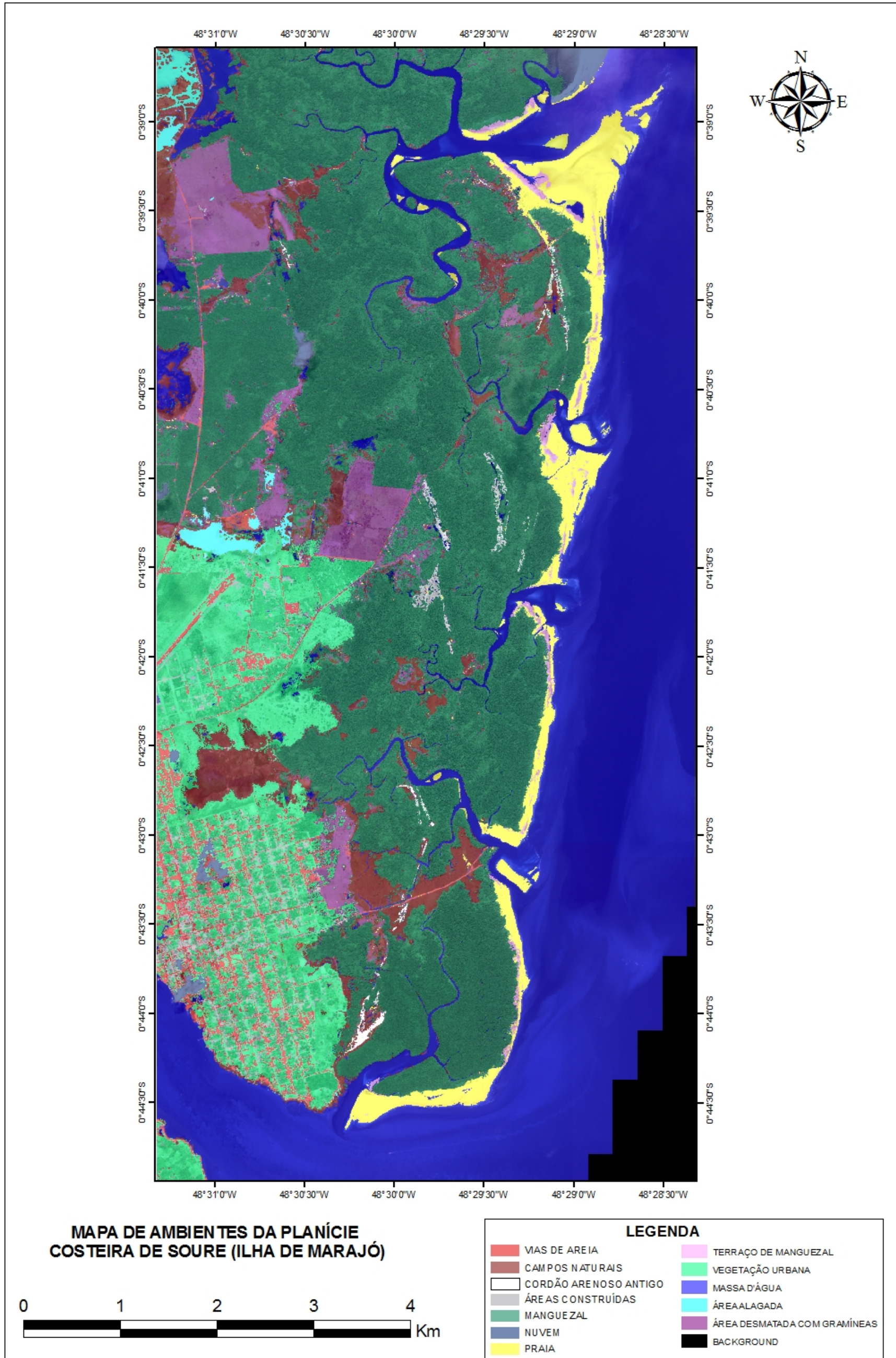
Conforme mencionado no item 4.3.1, os números que estão localizados as margens da diagonal principal incluem os casos onde não há concordância da classificação com os dados amostrais, ou seja, onde houve confusão. Diante disto, a classe que teve maior confusão foi a área desmatada com gramíneas, pois do total de 30 amostras coletadas 2 foram confundidas com vegetação urbana e 1 com manguezal e 27 foram classificadas coerentemente, obtendo ainda assim índice *kappa* satisfatório em relação às outras classes (TABELA 7).

Segundo Lands e Koch (1977) apud Vasconcelos (2010), o índice *kappa* com valores acima de 0.8 o índice indica concordância muito forte, logo a classe área desmatada com gramíneas apresentou um índice *kappa* igual a 0.89 indicando uma classificação muito forte, enquanto que as demais classes todas apresentaram índices maiores que 0.9, ou seja, indicaram também uma classificação muito forte (TABELA 7).

Os índices globais *kappa* e acurácia, indicaram concordância muito forte com valores iguais a 0.94 e 0.95 respectivamente, com base nesses números a classificação pode ser considerada muito boa, visto que estes índices são responsáveis pela qualidade da classificação de modo geral (TABELA 7).

	Massa d'água	Praia	Campos Naturais	Área alagada	Área desmatada com gramíneas	Vias de areia	Cordão arenosos antigo	Terraço de manguezal	Vegetação urbana	Área construída	Manguezal	Total linha
MATRIZ DE CONFUSÃO												
Massa d'água	32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	33
Praia	0	39	0	0	0	1	1	1	0	0	0	42
Campos naturais	1	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	41
Área alagada	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	14
Área desmatada com gramíneas	0	0	2	0	27	0	0	0	0	0	0	29
Vias de areia	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30
Cordão arenoso antigo	0	2	0	0	0	0	21	0	0	0	0	23
Terraço de manguezal	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	23
Vegetação urbana	0	0	0	0	2	0	0	0	39	1	1	43
Área construída	0	0	0	0	0	0	0	0	2	39	0	41
Manguezal	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	79	82
Total de amostras coletada	33	41	43	15	30	31	22	25	41	40	80	
ACURÁCIA												
Produtor	0.96	0.95	0.93	0.93	0.9	0.96	0.95	0.92	0.95	0.97	0.98	
Usuário	0.96	0.92	0.97	1	0.93	1	0.91	1	0.90	0.95	0.96	
Kappa por classe	0.96	0.94	0.92	0.93	0.89	0.96	0.95	0.91	0.94	0.97	0.98	
TOTAL												
Acurácia global	0.95											
Kappa global	0.94											

TABELA 7 – Matriz de confusão da classificação orientada a objeto da imagem Ikonos 2007.



7 CONCLUSÕES

Nas últimas três décadas assistiu-se a uma notável evolução das tecnologias espaciais de observação da Terra. Dados obtidos a partir de sensores remotos orbitais encontram-se amplamente disponíveis no mercado, com diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais. Imagens obtidas por sensores de alta resolução espacial, como os transportados pelos satélites Ikonos II apresentam-se como uma importante alternativa para construção e atualização de bases cartográficas e cartas temáticas em escalas de detalhe.

Ao contrário do método tradicional de classificação *pixel-a-pixel*, na classificação orientada a objetos, a análise é realizada sobre objetos ou segmentos na imagem, que representam entidades que podem ser individualizadas, a partir de atributos próprios. Assim, o processamento de imagens aproxima-se mais dos processos cognitivos humanos, sendo mais fácil a incorporação de informações de contexto, referentes a objetos e segmentos, a partir da Abordagem de Evolução da Rede de Fractal (*"Fractal Net Evolution Approach"*).

Os índices globais *kappa* e acurácia, indicaram concordância muito forte com valores iguais a 0.94 e 0.95 respectivamente. Com base nesses números, a classificação pode ser considerada muito boa, visto que estes índices são responsáveis pela qualidade da classificação de modo geral.

A técnica da classificação orientada a objeto mostrou-se ser extremamente eficaz, pois a delimitação dos ambientes costeiros na imagem classificada é muito próximo do mundo real.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, A. **Introdução ao geoprocessamento e ao sensoriamento remoto**. 2002. Estágio Docência. Universidade de Taubaté- UNITAU. São Paulo.
- ALVES, M.A.M.S. **Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Ajuruteua–NE do Pará**. 2001. 104f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- AUGUSTINUS, P.G.E.F.. **Cheniers and chenier plains: a general introduction**. Marine Geology, 90: 219-229. 1989.
- BRITES, R.S; SOARES, V.P e RIBEIRO, C. A. A. **Efeitos da estratégia de amostragem na exatidão reportada pelo índice kappa na classificação de imagens orbitais**. 1996. **Anais**. VIII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. p. 823-82.
- CARTOGRAFIA. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Disponível em <<http://www.cartografia.eng.br/artigos/senso02.asp>>. Acesso em janeiro de 2010.
- COHEN, J. **A coefficient of agreement for nominal scales**. Educational and Psychological Measurement 20. 37–46. 1960.
- CONGALTON, R. G; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remote sensed data: principle and pratices**. Boca Raton – FL. Lewis Publishers. 1999. p. 123.
- CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. 2001. São José dos Campos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (Relatorio)
- CUNHA, C. et al. **Prática oceanográfica Ilha do Marajó (Soure/Salvaterra)**. 2008. Belém PA. (Relatório de Campo).
- CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing; longman scientific e technical**. New York – EUA: [s. n.], 1995.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Tábua de Marés para 2003**. Disponível em: <<http://www.dhn.mar.mil.br/>> Acesso em: 15 Dez. 2009.
- EMBRAPA. **Sistemas orbitais de monitoramento e gestão territorial**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/ikonos.htm>>. Acesso em janeiro de 2010.
- FERREIRA, D. B. **Variação sazonal e intra-regional do vento em superfície nos ecossistemas de floresta, manguezal e campo**. 2001. UFPA. Institutor de Geociências - IG.

Foody, G.M. **Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment.** 80(1): 185-201. 2002.

FONSECA, C.A. et al. **Estudo numérico dos vórtices emitidos pela corrente norte do Brasil.** Universidade de São Paulo (IOUSP). Instituto Oceanográfico, Laboratório de Modelagem dos Oceanos, 2000.

FRANÇA, C. F. **Morfologia e mudanças costeiras da margem Leste da Ilha de Marajó (PA).** 2003. 144 f (Tese de Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2003.

FRANÇA, C. F. ; SOUZA FILHO, P. W. M. Compartimentação Morfológica da Margem Leste da Ilha de Marajó Soure e Salvaterra – Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7. n. 1, p. 33-42. 2006.

FRANÇA, M. et al. **Ilha de Marajó (Soure e Salvaterra).** Belém PA, 2007. (Relatório de Campo).

GONZALES, R. C.; WINTZ, P. **Digital image processing.** Prodding: Addison Wesley, 1987.p. 431.

HOFFMANN, A; VEGT, J.W.V. New Sensor systems and new Classification Methods: Laser-and Digital Camera-data meet object-oriented strategies. **Journal for Spatial Information and Decision Making**,n. 6/01. p. 18-23. June. 2001.

HOFFMANN, P. Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. **Journal for Spatial Information and Decision Making.** n. 6/01. p. 26-33. 2001.

JENSEN, J.R. 1996. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective.** Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2nd Ed., 316.

KAI, L.;MULLER, J.P. Segmentation satellite imagery: a region growing scheme. In: International Geoscience Remote Sensing Symposium. **Proceedings**, Helsink. v.2, p.1075-1078, 1991.

LIMA, K. **Variação sazonal da precipitação pluviométrica, temperatura do ar e umidade relativa do ar em ecossistemas de manguezal, floresta e pasto no leste da Amazônia, no período de agosto/2000 a dezembro/2001.** 2002. 43 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém PA.

MACONBER, S. A. ; WOODCOCK, C.E. 1994. **Mapping and monitoring conifer mortality using remote sensing in the Lake Tahoe Basin,** pp. 255 – 266.

MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CÉSAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.G. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (KÖPPEN) e deficiência hídrica (THORNTHWAITE, MATHER)**. 1993. Belém, Sudam/Embrapa. 53 p.

MEDINA, G. L. P. **Identificação de áreas de risco de transmissão de Leishmaniose Tegumentar através de imagens de satélite e análise espacial**. Instituto Militar de Engenharia. 2007. Rio de Janeiro.

NORDSTROM, K.F. Cyclic and seasonal beach response: a comparison of oceanside and bayside beaches. 1980. *Phys. Geography* (1-2) p.177-196.
REINECK, H-E. e SINGH, I.B.. **Depositional Sedimentary Environments**. 2. ed. New York, Springer-Verlag. 543 p. 1980.

RICHARDSON, P.L. et al. North Brazil Current retroflection eddies. **Journal Of Geophysical Research**, v. 99, n. 6, p.997- 1014. 1994.

Rossetti, D., Valeriano, M. and Thales, M., 2007. **An abandoned estuary within Marajó Island: Implications for late Quaternary paleogeography of northern Brazil**. *Estuaries and Coasts*. 30(5): 813-826.

SCHIEWE, J., TUFTE, L. ; EHLERS, M. **Potencial and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing**. *GIS* 6. 2001, pp. 28-33.

SOUZA FILHO, P.W.M. **A planície costeira bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno**. 1995. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências Belém, 1995.

SPRING. **classificação**. Disponível em: <<http://www.spacingimaging.com>>, Acesso em janeiro de 2010.

THRETEK. **Soluções em geomática**. Disponível em <<http://www.thretek.com.br/definiens.php>>. Acesso em: 23/01/2010.

THRETEK. **Treinamento definiens developer 7.0**. 2009. p. 65. Rio de Janeiro.

VASCONCELOS, A. O. **Análise Multitemporal da Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim Utilizando Técnicas da Segmentação e Classificação Orientada a Objeto de Imagens IKONOS II dos anos 2006 e 2008**. 2009. 139 f Tese (Mestrado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.