



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

TESE DE MESTRADO

ECOLOGIA DA PAISAGEM DA ILHA DO MOSQUEIRO, NE DO ESTADO DO PARÁ

Tese apresentada por:
GIL MENDES SALES

BELÉM
2005

*Dedico este trabalho a DEUS. Pois Dele,
por Ele e pra Ele são todas as coisas.
A Ele seja dada a glória! (Rm. 11:36)*

AGRADECIMENTOS

Sem dúvida, este trabalho foi uma somatória de grandes contribuições, as quais foram de fundamental importância para que ele pudesse alcançar seu objetivo. Neste sentido, gostaria de expor meus sinceros agradecimentos a todos que, ainda que com pequenas palavras, contribuíram no desenvolvimento deste trabalho. E deixar registrado a quem de fundamental importância não pode ser esquecido:

- à UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ e ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Centro de Geociências, pela oportunidade e confiança neste trabalho, além da infra-estrutura disponível e necessária.
- à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo crédito em conceder 24 meses de bolsa como suporte ao desenvolvimento deste trabalho.
- ao Instituto de Ensino Superiores da Amazônia (IESAM) pela viabilização de coleta de dados através de convênio institucional firmado junto à Companhia de Desenvolvimento e Administração Metropolitana de Belém (CODEM), a qual foi de fundamental importância para a condução desta pesquisa.
- à Companhia de Desenvolvimento e Administração Metropolitana de Belém (CODEM) pela gentileza e fornecimento da base de dados processados do levantamento aerofotogramétrico de Belém.
- ao Prof. Dr. Maurício da Silva Borges por sua orientação, incentivo, apoio e, sobretudo, oportunidade, confiança e amizade, sendo um instrumento da bondade de Deus na minha vida.
- aos grandes, quão grandes, amigos pesquisadores do Museu Emílio Goeldi, Jorge Pereira Gavina e Marcelo Thales, pela inestimável contribuição técnica, profissional e pessoal. Muitas foram às sugestões, discussões e aulas que tornaram os objetivos escritos neste trabalho reais.
- ao grande amigo Pedro Bernardo da Silva Neto (Eng^o Florestal) pelo apoio, sem precedentes, nas discussões e execução das análises sobre a evolução antrópica da Ilha do Mosqueiro.
- ao amigo Franciney Costa da Ponte, que, aos 45 minutos do segundo tempo, contribuiu significativamente na estruturação visual dos modelos digitais do terreno da Ilha do Mosqueiro.

- à minha esposa Raquel Brasil França, pela imensurável cumplicidade e incansável distribuição de Amor.
- ao meu grande irmão e amigo, Pr. Helder Eli da Silva Mendes, pelas orações, conselhos, perseverança e, sobretudo, apoio.
- a DEUS, POR TUDO!

*Quem está satisfeito despreza o mel,
mas para quem tem fome até o amargo é doce.*

(Pv. 27:7)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 - INTRODUÇÃO	5
1.1 - OBJETIVOS	6
2 - A ILHA DO MOSQUEIRO	7
2.1 - LOCALIZAÇÃO	7
2.2 – ASPECTOS HISTÓRICOS.....	8
2.3 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	9
2.3.1 – Hidrologia	9
2.3.2 – Solos	9
2.3.3 – Vegetação	10
2.3.4 – Condições Climáticas	10
2.4 – GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA	10
2.4.1 – Contexto Regional	10
2.4.1.1 – Aspectos Estratigráficos	12
2.4.2 – Contexto Local	14
2.4.2.1 – Aspectos Estratigráficos	15
2.4.2.2 – Características Sedimentológicas	16
2.4.2.3 – Composição Mineralógica.....	17
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 – ECOLOGIA DA PAISAGEM	18
3.2 – VULNERABILIDADE À EROÇÃO NATURAL	19
3.3 – TECTÔNICA	22
3.3.1 – Tectônica de Placas	22
3.3.2 – Características Gerais da Tectônica	23

3.3.3 – Neotectônica na Amazônia.....	24
3.4 – SENSORIAMENTO REMOTO	27
3.4.1 – Extração de Informações sobre o Ambiente Terrestre	28
3.4.1.1 – Abordagem Visual.....	30
3.4.1.2 – Abordagem Computacional (Processamento Digital de Imagens).....	31
3.5. – ASPECTOS DA CONFIABILIDADE DO MAPEAMENTO.....	36
3.5.1 - Método de Avaliação do Mapeamento	37
3.6 – GEOPROCESSAMENTO	38
4 –MANIPULAÇÃO DE DADOS DA PAISAGEM DA ILHA DO MOSQUEIRO	40
4.1 – MATERIAIS UTILIZADOS E SEU TRATAMENTO	40
4.1.1 – Carta Topográfica	40
4.1.2 – Dados Processados do Levantamento Aerofotogramétrico de Belém	40
4.1.3 – Análise Multitemporal de Dados do Satélite Landsat da Ilha do Mosqueiro	40
4.1.4 –Processamento de Informações Espaciais da Ilha do Mosqueiro utilizando o <i>Software</i> SPRING.....	41
4.1.5 – A Utilização do <i>Software</i> ARCVIEW para o Processamento de Dados Espaciais da Ilha do Mosqueiro.....	42
4.1.6 – A Utilização do <i>Software</i> SURFER para Geração de Produtos Casados com Modelo Digital do Terreno da Ilha do Mosqueiro.....	43
4.1.7 – A Utilização do <i>Software</i> FRAGSTATS para o Processamento das Métricas da Paisagem da Ilha do Mosqueiro	44
4.2 –APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	44
4.2.1 – Criação do Banco de Dados	44
4.2.2 – Tratamento dos Dados	45
4.2.2.1 – Pré-processamento (imagens TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7)	45
4.2.2.2 – Processamento Digital (imagens TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7)	45
4.2.3 – Geração dos Vários Temas da Região do Mosqueiro.....	54
4.2.3.1 – Cobertura Vegetal e Uso da Terra	55
4.2.3.2 – Geologia, Geomorfologia e Neotectônica	59
4.2.3.3 – Solos	64
4.2.4 – Integração dos Produtos Obtidos (Tanto Compilados Quanto Gerados) ...	65

5 – ECOLOGIA DA PAISAGEM DA ILHA DO MOSQUEIRO	73
5.1 – <i>LANDCOVER</i> E <i>LANDUSE</i>	73
5.2 – EVOLUÇÃO ANTRÓPICA	80
5.3 – VULNERABILIDADE À EROSÃO NATURAL	89
6 – CONCLUSÕES.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de localização da área de estudo	7
Figura 2 - Disposição das placas tectônicas no planeta	24
Figura 3 - Estruturas maiores do Neogeno e do Quaternário da região nordeste do Pará.	27
Figura 4 - Esquema de emissão e captação da radiação eletromagnética	28
Figura 5 - Grades retangular (A) e triangular (B) geradas a partir de isolinhas e pontos cotados	49
Figura 6 - Visualização da imagem nível de cinza (a), imagem sombreada (b) e imagem colorida (c)	51
Figura 7 - Fatiamento da elevação (m) da Ilha do Mosqueiro	53
Figura 8 - Aspecto da direção das rampas de elevação	54
Figura 9 - Mapa de cobertura vegetal e uso da terra do ano de 2003	56
Figura 10- Malha de amostragem realizada sobre as classes de cobertura vegetal e uso da terra do ano de 2003	57
Figura 11- Mapa de geologia e geomorfologia	60
Figura 12- Mapa de falhas tectônicas	62
Figura 13- Diferentes visualizações das falhas tectônicas associadas ao modelo digital do terreno da Ilha do Mosqueiro	63
Figura 14- Mapa de solos	64
Figura 15- Mapa de geologia reclassificado quanto à erosão	66
Figura 16- Mapa de solos reclassificado quanto à erosão	68
Figura 17- Mapa de amplitude altimétrica reclassificado quanto à erosão	69
Figura 18- Mapa de cobertura vegetal e uso da terra reclassificado quanto à erosão	71
Quadro 1 - Classes de vulnerabilidade à erosão natural	72
Figura 19- Imagem do satélite Landsat restaurada de <i>pixels</i> de 30 m (A) para 15 m (B)	73

Figura 20-	Imagem do satélite Landsat segmentada (A) e posteriormente classificada digitalmente (B)	74
Figura 21-	Classes reinterpretadas a partir da classificação digital de Battacharya	75
Figura 22-	Processo interpretativo para geração do mapa de evolução antrópica	76
Quadro 2 -	Correlação dos padrões espectrais da imagem com a ortofoto e o campo (verdade terrestre)	77
Figura 23-	Reclassificação das classes interpretadas em 2003 para categorização das informações	79
Figura 24-	Evolução antrópica ao longo de 17 anos	80
Gráfico 1-	Quantitativo de áreas das classes de cobertura vegetal e uso da terra	81
Gráfico 2-	Quantitativo das manchas de cada classe de cobertura vegetal e uso da terra	83
Gráfico 3-	Índice de conectividade das classes de cobertura vegetal e uso da terra	84
Gráfico 4-	Índice de contágio da paisagem da Ilha do Mosqueiro	86
Figura 25-	Impacto evolutivo antrópico ao longo de 17 anos	88
Figura 26-	Mapa do grau de estabilidade da paisagem ao processo de erosão natural (vulnerabilidade à erosão)	90
Figura 27-	Visualização da dinâmica deposicional e erosiva a leste da Ilha de Mosqueiro (Furo das Marinhas)	91
Figura 28-	Mapa final do grau de estabilidade da paisagem da Ilha do Mosqueiro ao processo de erosão natural	93
Figura 29-	Sobreposição dos graus de estabilidade da paisagem da Ilha do Mosqueiro ao processo de erosão natural ao Modelo Digital do Terreno	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dado cartográfico	40
Tabela 2 - Datas de obtenção das imagens TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat -7	41
Tabela 3 - Matriz de confusão obtida após a verificação de campo a partir do esquema de amostragem estabelecido	58
Tabela 4 - Qualidade da classificação associada aos valores da estatística kappa	59
Tabela 5 - Definição de cada componente físico da paisagem quanto à erosão	65
Tabela 6 - Aspectos para caracterização do mapa geológico para classificação quanto á erosão	66
Tabela 7 - Aspectos para caracterização do mapa de solos para classificação quanto á erosão	67
Tabela 8 - Aspectos para caracterização do mapa geomorfológico para classificação quanto á erosão	69
Tabela 9 - Aspectos para caracterização do mapa de cobertura vegetal e uso da terra para classificação quanto á erosão	70
Tabela 10- Valores de estabilidade de unidades de paisagem	72
Tabela 11- Avaliação e simulação quantitativa anual da evolução antrópica ao longo de 17 anos	87

RESUMO

Este trabalho investigou os parâmetros físicos do modelo de paisagem da Ilha do Mosqueiro, no nordeste do Estado do Pará, na região amazônica, utilizando estratégias investigativas que permitissem inserções no ordenamento ambiental. Nesta oportunidade foram privilegiadas as atividades na área do geoprocessamento.

No contexto ambiental, este trabalho apresenta produtos de integração e outros inéditos, cuja idéia é a de instrumentalizar as políticas governamentais locais, visando contribuir para melhoria da relação do modelo de ocupação antrópica da paisagem *versus* manutenção da qualidade e preservação ambiental, tendo em vista a necessidade de se estabelecer uma estrutura de desenvolvimento adequada nos cenários atuais.

A importância do Distrito de Mosqueiro para Belém é indiscutível. Sua história e potencial turístico são peculiares; além do que a ilha se estabelece como importante componente da vida social, artística, cultural e esportiva da maioria da população que compõe a grande Belém.

Ao longo do tempo, a Ilha do Mosqueiro foi cenário de muitas transformações paisagísticas. A atuação de fatores locais como aqueles de ordem litológica, pedológica, de relevo e, mais recentemente, antrópicos, são utilizados para explicar o arranjo atual da paisagem. Neste sentido, a ecologia da paisagem apresenta-se como importante abordagem integradora para a busca pelo entendimento da evolução neogênica.

Dentro das variadas vertentes de estudos sobre o modelado da paisagem, optou-se por avaliar multitemporalmente a evolução dos sistemas natural e construído (diversidade paisagística), assim como a aplicação inédita de métricas da paisagem para quantificar a situação paisagística atual e seus possíveis impactos ambientais futuros, diante das estratégias atuais de ocupação. Além disso, buscou-se a integração de diferentes variáveis como o solo, geologia, geomorfologia, neotectônica, a cobertura vegetal e uso da terra da Ilha do Mosqueiro, para a definição das áreas vulneráveis a processos que estão inseridos na dinâmica da mesma, a exemplo da erosão.

Assim, na condução desta pesquisa na Ilha do Mosqueiro as vertentes de aplicação envolveram: geoprocessamento, processamento digital de imagens, métricas da paisagem e estatística e álgebra de mapas. Os dados primordiais neste trabalho foram: imagens do satélite

Landsat, produtos cartográficos oriundos do levantamento aerofotogramétrico de Belém, mapa de levantamento detalhado de solos, mapa de geologia, e informações coletadas em campo.

Os aplicativos utilizados para a obtenção dos resultados foram os seguintes: *SPRING* (versão 4.0/Windows), *ARCVIEW* (versão 3.3/Windows), *FRAGSTATS* (versão 3.0), e *SURFER* (versão 8.0).

Dentre os principais resultados alcançados no estudo da paisagem da Ilha do Mosqueiro, destacam-se: mapas que retratam a dinâmica de ocupação (análise multitemporal), análise espacial da estrutura paisagística atual (aplicação de métricas da paisagem), avaliação de mudanças geomorfológicas, arcabouço atual do regime tectônico (falhas tectônicas), e, por fim, o mapa de vulnerabilidade à erosão.

ABSTRACT

This work investigated the physical parameters of the model of landscape of the Island of the Mosqueiro, in the Northeast of the State of Pará, in the Amazon region, using itself of investigative strategies that allowed insertions in the ambient order. In this chance the activities in the area of the geoprocessing.

In the ambient context had been privileged this work present products of integration and other unknown ones whose idea is of instrumentalizer the local governmental politics, aiming at to contribute for improvement of the relation of the model of antropic occupation of the landscape *versus* maintenance of the quality and ambient preservation, in view of the necessity of if establishing a structure of adequate development to the current scenes.

The importance of the District of Mosqueiro for Belém is unquestionable. Its history and tourist potential are peculiar; beyond the one that the island if establishes as important component to the social life, artistic, cultural and sporting of the majority of the population that composes the great Belém.

To the long one of the time, the Island of the Mosqueiro was scene of many landscapes transformations. The performance of litologies, pedologies local factors as to those of order, of relief and, more recently, antropics, is used to explain the current arrangement of the landscape. In this direction the ecology of the landscape is presented as important boarding integrator for the search for the agreement of the Neogenic evolution.

Inside of the flowing varied ones of studies on the shaped one of the landscape, it was opted to multitemporaly evaluating the evolution of the systems natural and constructed (landscape diversity), as well as the unknown application of metric of the landscape quantifying the current landscape situation and its possible future ambient impacts, ahead of the current strategies of occupation. Moreover, it searched integration of different variable as the ground, geology, geomorphology, neotectonic and the vegetal covering and use of the land of the Island of the Mosqueiro, for the attainment of the vulnerable areas the processes that are inserted in the dynamics of the same one, the example of the erosion.

Thus, in the conduction of this research in the Island of the Mosqueiro the application sources had involved: geoprocessing; digital processing of images; metric of the landscape; and statistics and algebra of maps. The primordial data to this work had been: images of the Landsat

satellite; deriving cartographic products of the aerophotogrammetry survey of Belém-PA; map of detailed ground survey; geology map; and information collected in field.

The applicatory ones used for the attainment of the results had been the following ones: SPRING (version 4.0/Windows); ARCVIEW (version 3.3/Windows); SURFER (version 8.0); and FRAGSTATS (version 3.0).

Amongst the main results reached in the study of the landscape of the Island of the Mosqueiro, they are distinguished: maps that portray the occupation dynamics (multitemporal analysis); space analysis of the current landscape structure (application of metric of the landscape); evaluation of geomorphology changes; framework current of the tectonic regimen (tectonics imperfections); and, finally, the map of vulnerability to the erosion.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia, com sua dimensão e seus recursos naturais abundantes, sempre despertou os olhos da cobiça desde o início da Colonização. No final do século XV, interesses de toda ordem se instalaram na dinâmica social de seu espaço, com objetivos espoliativos.

Ao longo do processo de expansão, as populações indígenas foram cada vez mais empurradas e, muitas vezes, dizimadas. Este fato marca claramente o fim da exploração equilibrada do ambiente amazônico e o início da exploração desenfreada por uma sociedade dirigida pela necessidade de lucro (UNAMAZ, 1992).

Se de um lado a região podia significar um potencial interminável para a ocupação e extração de seus recursos, de outro, a falta de planejamento, entre tantas outras coisas, fez com que a Amazônia tomasse a proporção de um enorme problema para o qual solução deve ser encontrada o mais breve possível (UNAMAZ, 1992).

É bem verdade que a idéia de se estabelecerem melhores estratégias de utilização da região amazônica e seus recursos naturais disponíveis, de forma sustentável, não é nova. Porém, constitui-se uma preocupação sempre atual e que deveria ser considerada com maior veemência pelas políticas governamentais, dada sua grande relevância ambiental, principalmente nas últimas décadas.

A ecologia da paisagem, no âmbito macro-regional, norteia uma ampla integração de dados compostos por variáveis diversas como o solo, as informações geológicas e geomorfológicas, vegetação, fauna, clima. A superposição de algumas dessas variáveis domina e delimita os ecossistemas. A atuação de fatores locais, entretanto, como aqueles de ordens litológica, pedológica, de relevo e antrópica, podem ser utilizados para explicar possíveis distúrbios no arranjo da paisagem, bem como o ordenamento das áreas vulneráveis a processos que estão inseridos na dinâmica da mesma, como é o caso da erosão, por exemplo.

Dessa maneira, a análise dos fatos, com vistas a representá-los dentro do contexto espacial, se faz necessária e constitui uma grande parcela do objetivo de estudos geomorfológicos para o entendimento do modelado paisagístico. Como tal, a Geomorfologia pode ser considerada uma ciência aplicada no ordenamento integrado do meio natural, onde sua aplicação variada leva a considerá-la pragmática e ambiental.

No planejamento urbano a aplicabilidade da Geomorfologia é direta, pois, com a crescente ocupação do meio físico, quase sempre de forma desordenada, ocorre um descontrole no ordenamento, contribuindo significativamente para a degradação do meio ambiente.

Portanto, a quantificação, análise e compreensão do ordenamento espacial da paisagem tornam-se de fundamental importância no processo de tomada de decisões relativas à organização racional da atividade humana, oferecendo subsídios para que as políticas de desenvolvimento local, não só superem os problemas de crescimento desordenado, como também possam impedir a deteriorização da qualidade ambiental.

1.1 – OBJETIVOS

Baseado nesses aspectos mencionados acima, este trabalho propõem-se avaliar alguns aspectos inerentes à ecologia da paisagem como subsídio ao ordenamento ambiental sustentável. Para tal, pretende responder as seguintes questões:

- 1) Como se apresenta a diversidade paisagística neste logradouro sob o ponto de vista espacial?
- 2) Quais modificações mapeáveis a paisagem apresenta ao longo tempo?
- 3) Qual o grau de estabilidade da paisagem ao processo natural de erosão (vulnerabilidade à erosão)?

Associados a essas questões definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Mapear a diversidade paisagística;
- b) Mapear a evolução paisagística da ilha ao longo de 17 anos;
- c) Integrar dados temáticos para avaliar o grau de estabilidade da ilha ao processo natural de erosão;
- d) Gerar produtos que possam vir a ser aproveitados por organismos governamentais, iniciativa privada ou mesmo o terceiro setor.

2. A ILHA DO MOSQUEIRO

2.1. LOCALIZAÇÃO

Parte integrante do município de Belém, a Ilha do Mosqueiro situa-se na porção direita do Estuário Guajarinó, contida na região nordeste do Estado do Pará. Localiza-se geograficamente entre as coordenadas $1^{\circ} 4' 11''$ a $1^{\circ} 13' 42''$ de latitude Sul e $48^{\circ} 19' 20''$ a $48^{\circ} 29' 14''$ de longitude Oeste de Greenwich, englobando uma superfície aproximada de 220 km^2 , com altitude média de 15 m acima do mar (Figura 1).

Distando cerca de 50 km da capital, seu principal acesso dá-se, saindo de Belém, pela rodovia BR-316 até o trevo que dá entrada à rodovia PA-391.

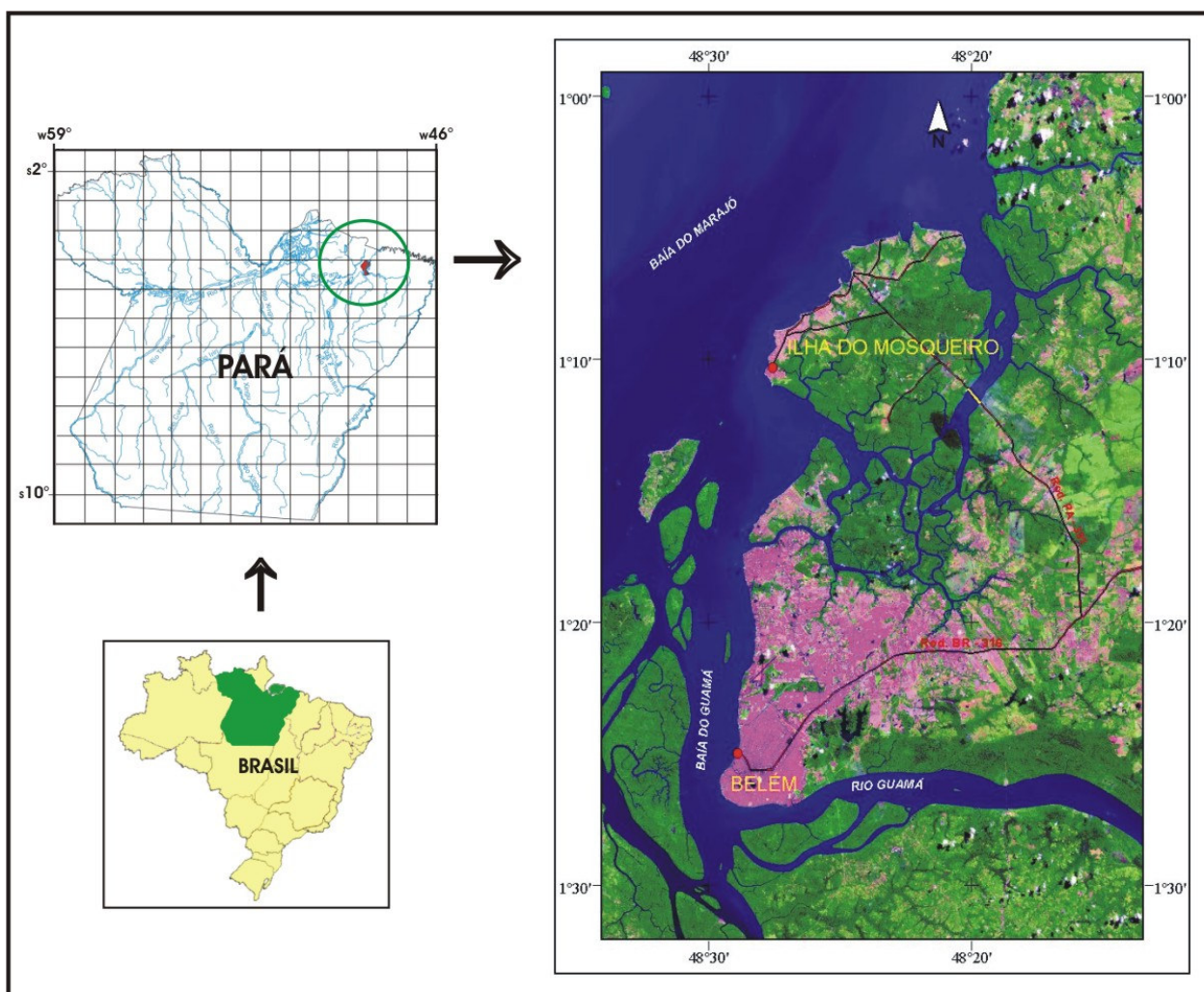


Fig. 1 - Esquema de localização da área de estudo.

2.2 – ASPECTOS HISTÓRICOS¹

Em 1627, a carta geral do Brasil, por João Teixeira Albernaz, já traz referência ao delta amazônico com inúmeras ilhas sem nome. Só em 1680 uma dessas ilhas recebe a denominação de Mosqueiro, e depois de algum tempo, juntamente com a Ilha de Colares, ser caracterizada como Província dos Tupinambás.

Os índios Tupinambás dessa região compunham a grande família que formava o maior contingente indígena nas regiões da costa brasileira e, também, pelo sertão. Esses índios proporcionaram o grande suporte ao desenvolvimento da Colônia como mão-de-obra especial e farta.

Foram os costumes indígenas que proporcionaram a origem do nome à ilha. Este nome advém de um processo de conservação primitivo de animais putrescíveis, denominado *moqueio*. Por meio do *moqueio*, as caças e peixes, sem as entranhas, eram colocados em fumeiro próprio de calor brando, sobre o *moquém*², para essa curiosa operação. Com o calor brando do fogo, o material era moqueado aos poucos, até findar por tostar, conservando-o perfeito por longo tempo, sem qualquer perigo de putrefação.

Naquela época o local mais adequado para realização deste processo e perto da fonte consumidora (Belém), eram as praias da *Ilha do Moqueio* por serem favoráveis aos ventos e às correntezas. Essas praias foram palco dessa manufatura curiosa e primitiva da grande parte do abastecimento de Belém em mais de dois séculos.

O passar dos anos, talvez, dos séculos, faria com que esse nome sofresse um processo de linguagem que modificaria a expressão *moqueio* de moquear, em *mosqueiro*.

Nas lutas pela posse da região e de iminente exploração de riquezas, que se realizaram logo após a chegada dos fundadores de Belém, em 1616, certamente Mosqueiro, possuía as mesmas possibilidades das outras regiões da Capitania em plena fase do período econômico de negociação das *drogas-do-sertão* em voga em toda parte da conquista lusitana, da qual Belém representava o pólo fundamental.

Anos mais tarde, quando Belém caíra em poder dos chefes cabanos, Mosqueiro tornou-se parte do cenário da reação nativa de mais alto significado da história paraense no período do

¹ MEIRA FILHO, A. 1978. *Mosqueiro: ilhas e vilas*. Belém, Grafisa. 579 p.

² *Moquém: Espécie de grade ou trempo própria*.

Império, ou seja, a famosa *Guerra dos Cabanos*.

Hoje, onde ficam a *Vila* e o *Chapéu-Virado*, as tropas legalistas do Marechal-Presidente Manoel Jorge Rodrigues combateram os rebeldes entrincheirados, à base de metralha.

Mosqueiro também já teve sua importância industrial. Na antiga *Praia do Areião*, hoje *Ponta-do-Bitar* existia uma usina de beneficiamento de borracha que exportava para o Sul do país e mais Argentina e Uruguai, e, também, extração e refinamento de óleos vegetais com vistas à exportação para a Europa, principalmente Alemanha e Inglaterra. Além disso, Mosqueiro também possuía indústria cerâmica, serrarias, fábrica de redes e de gelo.

Essa foi uma das muitas razões por que a rodovia e a ponte se justificaram, unindo os interesses naturais da ínsula aos do continente, a que ela serve.

De fato a importância de Mosqueiro em todo esse contexto histórico é indiscutível. Sua relevância como componente distrital de Belém é aumentada pelo seu potencial turístico, pois suas belezas naturais são peculiares; e também, pela sua grande contribuição à vida social, artística, cultural e esportiva da maioria da população que compõem a Grande Belém.

Não há dúvida que o estabelecimento do acesso rodoviário, em 1976, com a construção da ponte Sebastião R. de Oliveira sobre o Furo das Marinhas, alavancou o processo de desenvolvimento do balneário.

2.3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

2.3.1. Hidrologia

A Ilha do Mosqueiro é banhada: ao sul e sudeste, pelo Furo do Maguari; a sudoeste e noroeste pelas águas da Baía do Guajará; a norte, nordeste e parte do sudeste pelo Furo das Marinhas.

Os principais rios que drenam a ilha são Murubira, Pratiquera e Mari-Mari.

2.3.2. Solos

Os tipos característicos de solos presentes na ilha são de baixa a média fertilidade, com elevados valores de alumínio trocável. Os tipos são: Latossolo Amarelo Álico (e variações), Areia Quartzosa Álica Latossólica, Concrecionário Laterítico Álico, Podzólico Vermelho Amarelo Álico, Podzol Hidromófico, Gley Pouco Húmico (e variações) e Hidromóficos

Indiscriminados (Silva, 1975).

2.3.3. Vegetação

Com base em Silva (1975), os resquícios presentes de vegetação primária são definidos como de Floresta Tropical Perenifolia. As áreas onde foram derrubadas para cultivo, deram lugar a uma vegetação secundária denominada de capoeira. A vegetação primária apresenta divisões baseadas nas seções fisiográficas.

Presentes nos Terraços Aluviais Pleistocênicos aparece a floresta caracterizada por espécies arbóreas, de porte elevado, formando estratificações com espécies de menor porte. Apresentam ainda epífitas e cipós. Na Planície Aluvial de Inundação a floresta é caracterizada por espécies na sua maioria de porte médio, hidrófilas, apresentando raízes pneumatóforas e sapopemas.

Outro tipo de vegetação característica de áreas com influência salina estão presentes nos mangues. Suas espécies principais são: tamanqueiro (*Tagara rhoifolia*), mangue vermelho (*Thizophora mangle*), siriúba (*Avicenia nítida*), mangerana (*Conocarpus erecta*) e a mague-rama (*Laguncularia racemosa*).

2.3.4. Condições climáticas

Segundo o monitoramento de condições climáticas da Embrapa Amazônia Oriental, os elementos climáticos definem um clima característico quente e úmido, expresso pelo tipo climático Af de Koepen. Apresenta a temperatura anual média de 25,9 °C, com mínima de 21,9 °C e máxima de 31,4 °C. A condição normal da localidade é de elevada umidade relativa do ar, expressa em média anual de 84%, sendo a precipitação pluviométrica de 2.900 mm. O período mais chuvoso está entre os meses de março a maio e o de menor intensidade, de outubro a novembro.

2.4. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

2.4.1. Contexto Regional

A porção referente a este contexto regional situa-se na região nordeste do estado do Pará. Essa região compreende uma área delimitada entre o Bico do Papagaio (confluência entre os rios Araguaia e Tocantins) e o litoral, incluindo a Ilha do Marajó. As unidades geomorfológicas presentes são o resultado de inúmeras transformações ocorridas nos chamados ciclos

geomorfológicos que consolidaram o cenário atual. Os ciclos, segundo King³ *apud* Cavalcante (2000), são definidos como Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu.

No ciclo Sul-Americano ocorreu uma intensa denudação no Paleogeno, por ocasião de um soerguimento continental que possibilitou deposição de grande quantidade de materiais detríticos nas bacias sedimentares a partir da erosão das áreas mais elevadas. O resultante do processo, foi uma extensa área aplainada. Sobre essa superfície que representa os topos das serras da região e das mesas residuais desenvolveu-se um processo de lixiviação e laterização marcantes (Costa, 1991), a partir de oscilações climáticas entre o semi e sub-árido para úmidos e quentes, dando origem ao perfil laterítico maturo marcante.

A retomada erosional dá-se novamente por soerguimento do continente que permitiu abater diferentes formações rochosas, dando origem à superfície pleistocênica (Ciclo Velhas). Costa et al.⁴ *apud* Cavalcante 2000, comentam as camadas menos resistentes do Grupo Barreiras foram expostas a sucessivas erosões que aplainaram essas camadas e as reduziram aos níveis atuais. Para o caso das camadas mais resistentes, restaram os extensos aplainamentos do ciclo anterior. O fato marcante desse período erosional seria a formação dos lateritos imaturos que sustentam o relevo mais recente e delimitam as paleosuperfícies preservadas, por ocasião do retrabalhamento dos lateritos maturos e da superfície pliocênica (Kotschoubey & Truckenbrodt⁵ *apud* Cavalcante, 2000).

O mais recente ciclo é o Paraguaçu que tem seu início marcado no Holoceno e é responsável pela dissecação dos aplainamentos anteriores e erosão dos sedimentos do Grupo Barreiras, dando origem aos terraços em alguns rios da região.

A partir dessa visão evolutiva pôde-se então descrever as unidades geomorfológicas presentes na região, a saber: Planície Amazônica, Litoral de Rias e Lençóis Maranhenses, Planalto Setentrional Pará-Maranhão e Planalto Rebaixado da Amazônia. Essa descrição terá por base Barbosa et al. (1974).

³ KING, L. C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro. 18 (92): 147-265.

⁴ COSTA, M. L.; HORBE, A. M. C.; MORAES, E. L. 1997. Laterização imatura sobreposta a lateritos maturos em Mãe do Rio – Pará. In: COSTA, M. L. & ANGÉLICA, R. S., (Coords). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, p. 339 – 357.

⁵ KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. 1981. *Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas – Açailândia (Estados do Pará e Maranhão)*. *Revista Brasileira de Geociências*, 11 (3): 193 – 202.

a) Planície Amazônica, Litoral de Rias e Lençóis Maranhenses

Unidade que representa uma zona de sedimentos recentes ao longo da linha de costa englobando as ilhas, bacias e canais, e que possui elementos característicos como cordões arenosos, dunas, mangues e falésias.

Apresenta-se dentro do contexto das rias e costas recortadas com ocorrência próxima a regiões de terras altas; costas recortadas por manguezais que adentram vales afogados; costas baixas com manguezais, canais, furos, lagoas, cordões litorâneos, ilhas e vales restritos; faixas costeiras baixas associadas a manguezais, canais, ilhas e dunas, que avançam para o continente.

b) Planalto Setentrional Pará-Maranhão

É caracterizado por apresentar um conjunto de relevo tabular rebaixado, fazendo parte do domínio morfoclimático dos planaltos amazônicos rebaixados ou dissecados das áreas colinosas e planícies revestidas por floresta densa, constituindo uma área de relevo fortemente dissecado, englobando sedimentos do Grupo Barreiras e Itapecuru.

c) Planalto Rebaixado da Amazônia

Situa-se em uma área de transição entre a linha de costa e o Planalto Setentrional Pará-Maranhão, constituindo-se de uma extensa superfície do pediplano pleistocênico sustentada por rochas do Grupo Barreiras.

2.4.1.1. Aspectos estratigráficos

A estratigrafia do nordeste do Estado do Pará está representada pelas unidades que se remetem ao Pré-Cambriano (Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Grupo Gurupi, Granito Cantão e Formação Piriá), ao Terciário Superior (Formação Pirabas e Grupo Barreiras) e ao Quaternário (Pós-Barreiras, dunas e mangues).

O Pré-Cambriano refere-se ao embasamento, o qual é caracterizado por uma série de rochas que vão desde granitos a xistos diversificados. Detalhadamente têm-se:

a) Complexo Maracaçumé: é constituído por uma associação metamórfica de rochas arqueanas e migmatitos de vários tipos, tendo composição que varia de granítica a tonalítica (Costa et al., 1977);

- b) Formação Santa Luzia: é constituída de biotita xistos, muscovita xistos, xistos granatíferos, quartzo xistos com estauroлита e xistos grafitosos com xistosidade fortemente dobrada (Abreu et al., 1980);
- c) Grupo Gurupi: é constituída de sericita-filonitos, filonitos carbonosos, quartzitos miloníticos, filonitos bandados e xistos miloníticos, todos aleitados tectonicamente de modo concordante e metamorfizados no fácies xisto verde (Costa et al., 1977);
- d) Granito Cantão: é constituído por biotita-monzogranito, com textura variando de porfírica a heterogranular intrudidos nos filonitos do Grupo Gurupi (Costa et al., 1977);
- e) Formação Piriá: é constituída de arcóseos, sub-arcóseos e subordinadamente por pelitos. São encontradas em áreas abatidas do tipo gráben e apresentam estruturas tectônicas de inversão fraca a incipiente (Abreu et al. 1980);

O Terciário Superior é representado pela sedimentação fossilífera carbonática da Formação Pirabas e sedimentos do Grupo Barreiras. Detalhadamente têm-se:

- a) Formação Pirabas: é constituída por rochas carbonáticas depositadas por transgressão marinha durante o Mioceno Inferior (Ferreira & Francisco, 1988);
- b) Grupo Barreiras: correspondem a depósitos continentais sobrepondo rochas do embasamento cristalino, sedimentos cretáceos e terciários marinhos, sendo constituído por argilas, silte e areia, podendo apresentar leitos de areias e conglomerados. Os sedimentos desse grupo apresentam um baixo grau de compactação, cores variadas (vermelho, amarelo e tonalidade esbranquiçada), nódulos e concreções de ferro formados *in situ*, responsáveis pelo aspecto mosqueado típico. Podem ser observados arenitos ferruginosos denominados *Grês do Pará, in situ*, e níveis de microconglomerados quartzosos formados nas camadas altas do Grupo Barreiras em que posteriormente houve migração do ferro para a superfície do solo (Araí et al., 1988).

Do Quaternário ocorrem característicos depósitos aluvionares siliciclásticos, com ocorrência nos rios e dunas, e pela sedimentação areno-argilosa da unidade Pós-Barreiras. Detalhadamente, têm-se sedimentos de frações areno-argilosa com cores geralmente amareladas e com tons avermelhados nas porções inferiores (Sá, 1969).

2.4.2. Contexto Local

As observações dos registros a respeito da geomorfologia da Ilha do Mosqueiro, realizados por Borges et al. (1997), apontam para duas unidades regionais. Uma caracterizada pelo Projeto RADAM, denominada de Planalto Rebaixado da Amazônia ou, segundo a denominação do IBGE, Tabuleiros Paraenses, e a outra caracterizada pela Planície Amazônica.

Numa descrição mais refinada observa-se que o entorno da ilha é caracterizada por pontões e enseadas, onde ocorre intensa ação erosiva do estuário com a formação de falésias ativas e acumulação de formas agradativas de relevo. Essa forma de relevo baseia-se em superfícies topográficas de acumulação relativamente planas e/ou inclinadas, desenvolvidas em cotas inferiores a 5 m, onde são freqüentes os bancos arenosos com estratificação cruzada de baixo ângulo e de formatos semilunares ao longo da praia. É possível destacar-se ainda registros de paleomangues parcialmente degradados e soterrados pelos depósitos arenosos por ocasião da baixa-mar.

O avanço das barras arenosas na zona pré-litorânea ou sublitorânea evidencia-se em elevações centimétricas, periódicas ou permanentemente submersas, de caráter migratório, podendo, eventualmente, se fixar.

Ao longo dos igarapés, nas áreas internas mais protegidas e ladeadas por pontões rochosos, evidenciam-se os mangues e as planícies de inundação.

Os terraços rochosos de provável evolução pleistocênica e intensa dissecação por combinação da movimentação neotectônica e os processos de onda, maré e pluviais, são marcantes do relevo de degradação da ilha sustentados pelos sedimentos dos grupos Barreiras e Pós-Barreiras. Apresenta-se com um sistema colinoso amplo, de topo aplainado, com altitudes médias de 10 m e declives muito suaves que não ultrapassam a 10%, à exceção das áreas de falésias.

O controle morfoestrutural é forte, com orientações preferencialmente nas direções NW-SE e secundárias nas direções NE-SW e algumas N-S, definindo interflúvios circundados por igarapés encaixados em falhas, algumas ainda ativas, sendo, portanto, freqüentemente dissecados por pequenos canais periódicos e/ou intermitentes originários basicamente por maré.

O quadro de evolução é sustentado por dissecações originárias das atividades do estuário

e extremamente controladas por atividades neotectônicas ativas que remontam ao Pleistoceno.

2.4.2.1. Aspectos estratigráficos

Toma-se aqui por base o estudo dos sedimentos cenozóicos da ilha, realizadas por Borges e Angélica (1986), que a partir de perfis detalhados apontaram as seguintes camadas do topo para base:

a) Camada Arenosa

Ocorre sobreposta a camada areno-argilosa a areno-conglomerática, representada por sedimentos arenosos, por vezes argilo-arenosos e até microconglomeráticos, apresentando coloração amarelada marcante com níveis mais esbranquiçados. Não apresenta estruturas sedimentares relacionadas.

Existe gradação no topo desta camada, variando de 5 a 40 cm, devido a grande quantidade de húmus, mostrando um solo pedogenético de coloração escura a amarronzada por ocasião de elevada concentração de vegetação.

Nesta camada não foram observadas concreções ferruginosas formadas *in situ*, mas apenas pequenos fragmentos de origem detrítica, possivelmente provenientes da segunda camada. No entanto, em porções mais argilosas, foram observadas feições que lembram mosqueamento.

b) Camada Areno-argilosa e Areno-conglomerática

Esta camada é conglomerática na base, gradando até níveis areno-argilosos no topo, ocorrendo estratigraficamente acima do argilito goethitizado ou diretamente sobre a camada argilo-arenosa.

O processo de laterização é intenso e evidenciado por blocos métricos de concreções ferruginosas, ou faixas contínuas na forma de horizontes lateríticos, ocorrendo também na forma de concreções colunares subverticais, geralmente de coloração clara, com porções mais esbranquiçadas e friáveis quando pouco laterizadas.

Fragmentos centimétricos de rochas pelíticas são encontrados nas concreções, possivelmente originários da camada argilo-arenosa. Estes fragmentos foram resultantes das rápidas exposições subaéreas desta camada, que, devido a sucessivos fluxos aquosos, remobilizou este material a curta distância, depositando-o junto com os sedimentos que iriam dar origem aos depósitos desta unidade.

c) Camada Argilo-arenosa

Camada predominantemente argilo-arenosa, de coloração esbranquiçada, com manchas avermelhadas, amareladas e violetas, ocasionadas pelos processos de intemperismo, muito comuns na região.

O topo dessa camada apresenta-se com variações granulométricas muito grandes, com porções bastante arenosas, até microconglomeráticas, porém, na base dos perfis a granulometria é predominantemente argilosa.

Sobreposto à camada argilo-arenosa ocorre um nível pelítico, de coloração amarelo-amarronzada, litificado pela laterização, o qual foi denominado argilito goethitizado. Geralmente está associado a uma interface areia-argila, não sendo constante ao longo dos perfis, mas podendo ocorrer intercalado em outras camadas.

Apresenta-se estruturado com laminação plano-paralela e laminação convoluta bem marcadas pela diferença de coloração entre as lâminas mais amarronzadas e as lâminas mais amareladas.

Por todas as praias esta camada aparece exposta. Onde ela não aflora há a deposição de areia, caracterizando as praias resultantes do retrabalhamento das falésias.

Por ocasião da preamar esta camada absorve água, dilatando a rocha, e na baixa-mar, há contração devido à exposição do sol. Esse fenômeno dá origem às feições características dessa camada, que são as fendas de dissecação.

Um afloramento de rochas frescas desta unidade foi encontrado na Praia do Paraíso. Apresenta coloração cinza-clara, aspecto maciço, argiloso e sem mosqueamento.

2.4.2.2. Características Sedimentológicas

Em relação à granulometria, os autores observam que devido a grande quantidade de argila nas camadas inferiores, apenas a camada arenosa e uma amostra da camada areno-argilosa a areno-conglomerática foram analisadas.

Os sedimentos apresentam-se com assimetria variando de muito negativas a aproximadamente simétrica, com curva predominantemente leptocúrtica. O diâmetro médio é aproximadamente areia média, porém devido a grande variação lateral das características sedimentológicas, não muito raramente encontra-se areias muito finas e porções até microconglomeráticas isoladas.

Como estruturas sedimentares predominantes foram encontradas estratificações cruzadas de pequeno e médio porte, além de laminação plano-paralela na camada argilo-arenosa, ambos acentuados pela laterização.

Na fração arenosa identificam-se grãos de quartzo em abundância (cerca de 75%) e fragmentos milimétricos de laterita (cerca de 25%). Os primeiros são em sua maioria foscos, sub-angulosos a angulosos e predominantemente alongados.

Devido à proporção seixos, areia e argila/silte os sedimentos são caracterizados em quartzo-grauvácuos.

2.4.2.3. Composição Mineralógica

Nas análises mineralógicas o objeto de estudo se voltou principalmente para a camada argilo-arenosa, a interface (argilto goethizado) e a camada areno-argilosa a areno-conglomerática.

Observou-se abundância de quartzo, caolinita, goethita aluminosa, além de ileta e feldspatos como acessórios. Desses minerais, a goethita, hematita e em parte a caolinita são resultantes da laterização.

Em termos de espécies de minerais os autores observaram, a partir das análises, que não há diferença entre as camadas analisadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. ECOLOGIA DA PAISAGEM

Pode-se dizer que a superfície terrestre está disposta num arranjo heterogêneo de variadas formas, quase sempre em definição natural e, em menor proporção, auxiliada pela presença humana. Ambos os casos constituem a forma que a paisagem está definida ou se apresenta.

Na verdade, a estrutura, as inter-relações e a dinâmica que ocorrem numa determinada superfície exprimem a feição, a fisionomia daquele espaço, que é a própria paisagem vista como um sistema ou como uma unidade real e integrada.

Essa avaliação não permite que o termo paisagem assuma apenas o retrato de elementos geográficos específicos para caracterizá-la qualitativamente (e.g., paisagem vegetal), mas compor o resultado advindo de uma série de combinações e interações entre elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto representativo em constante evolução.

Basicamente, segundo Forman (1995), os padrões que definem as várias paisagens que contemplam o mosaico de paisagens constituintes da superfície terrestre, podem ser definidos por três mecanismos: heterogeneidade do substrato (tais como o relevo, lugares com muita umidade e tipos de solos); distúrbios naturais (incluindo o fogo, tempestades e pragas); e atividades humanas (tais como cultivar os campos, cortar florestas e construir estradas).

Existe ainda um aspecto relevante para a compreensão da paisagem e refere-se ao entendimento do que é tipo paisagístico e unidade paisagística. O tipo paisagístico representa uma porção fisionômica homogênea caracterizada pela semelhança de seus constituintes que são formadores de sua estrutura no espaço. A unidade paisagística exprime a ocupação espacial de um tipo paisagístico (Venturieri, 2003). Pode ser entendida como as *manchas* que modelam a paisagem.

Dentro desse cenário, surge a chamada Ecologia da Paisagem. O referido termo foi empregado, pela primeira vez pelo biógrafo Carl Troll em 1938. Este ramo da Ecologia é definido como o estudo dos efeitos dos modelos da paisagem e suas mudanças ao longo do tempo sobre os processos ecológicos (Frohn, 1999).

A inferência inicial para a análise da ecologia da paisagem, baseia-se na premissa de que as unidades paisagísticas influenciam os processos ecológicos. E, desta maneira, a capacidade de

quantificar a estrutura (modelo) da paisagem é primordial para o estudo da função e mudança da paisagem ocorrida ao longo do tempo (Pereira et al., 2001).

A base para a avaliação das influências das unidades paisagísticas passa pela aplicação de métricas para representar padrões espaciais e tentar inferir os processos ecológicos que ocorrem no contexto local da paisagem. Os instrumentos para a viabilização de utilização das métricas são o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica.

3.2. VULNERABILIDADE À EROSÃO NATURAL

O fenômeno da erosão pode ser resultante de dois processos distintos: o primeiro é conhecido como processo geológico, ou natural, resultante da atividade normal da água e do vento que independem da ação do homem; e um segundo processo, chamado de erosão anormal, ou acelerada, resultante dos distúrbios causados pelas atividades humanas sobre as condições naturais da superfície do solo que facilitam a ação impetuosa das águas pluviais e do vento.

Em regiões tropicais, um dos principais efeitos do clima na degradação do meio ambiente parece estar aliado ao fenômeno da precipitação e sua capacidade de causar erosão. A ação da chuva no fenômeno de erosão depende da sua intensidade, duração e frequência (Larios, 2004). O potencial das chuvas em provocar erosão é denominado erosividade.

De maneira simplificada a erosividade, ocorre da seguinte forma: as gotas de chuva que golpeiam o solo desprendem as partículas de solo no local que sofrem o seu impacto e transportam por salpicamento as partículas desprendidas. Além disso, a energia do arraste da água sobre a superfície do terreno, principalmente nos minutos iniciais, exerce ação transportadora e erosiva.

Para Larios (2004), diversos são os fatores que influenciam a erosão, dentre os principais pode-se citar:

a) chuva: é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva, sendo a sua intensidade talvez o mais importante. Este fator é considerado através do índice de erosividade das chuvas;

b) infiltração: é o movimento da água dentro da superfície do solo. Quanto maior sua velocidade, menor a intensidade de enxurrada na superfície e, conseqüentemente, a erosão;

c) topografia do terreno: é representada pela declividade e pelo comprimento do declive; exerce acentuada influência sobre a erosão. O tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, e essa velocidade é função do comprimento do declive e da inclinação do terreno;

d) cobertura vegetal: é a defesa natural contra a erosão. Os efeitos da vegetação no fenômeno são:

- proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumenta a infiltração da água;
- melhor estruturação do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água;
- diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície;

e) natureza do solo: as propriedades físicas, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como as características químicas e biológicas do solo exercem diferentes influências na erosão. Suas condições físicas e químicas, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas, caracterizam o comportamento de cada solo exposto a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal.

Em 1996, o governo brasileiro, por intermédio da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - SAE e do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, definiu a metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico, direcionada aos estados da Amazônia Legal.

De acordo com essa metodologia, o zoneamento ecológico-econômico é entendido como um instrumento de planejamento para o desenvolvimento regional sustentável, pois oferece, à sociedade e ao poder público, um conjunto de informações dos meios físico, biológico e socioeconômico, espacializadas em uma base geográfica. O zoneamento ecológico-econômico é "*um dos instrumentos para racionalização da ocupação dos espaços e de redirecionamento de atividades*" (Brasil, 1997). A finalidade do zoneamento ecológico-econômico "... é otimizar o

uso do espaço e as políticas públicas", e não dividir o espaço territorial em zonas, embora estas sejam identificadas e classificadas pelos estudos do zoneamento.

A metodologia de zoneamento ecológico-econômico definida pelo governo brasileiro para os estados da Amazônia Legal prevê a elaboração de três produtos: carta de vulnerabilidade natural à erosão, carta de potencialidade social e carta síntese de subsídio para gestão do território.

O objetivo das cartas de vulnerabilidade natural à erosão é representar o conhecimento do comportamento atual do terreno, em relação às repostas dos processos erosivos. Com a carta é possível conhecer áreas que apresentam alto risco de erosão, assim como áreas potencialmente estáveis para fins de melhor tratamento para um uso e ocupação atual e futura.

O ponto de partida para a elaboração da carta de vulnerabilidade natural é a identificação das unidades de paisagem natural e polígonos de ação antrópica, a partir de imagens de satélites, identificados pelas variações de cores e elementos de textura de drenagem e relevo. Os polígonos de ação antrópica correspondem às feições decorrentes da intervenção humana na paisagem, manifestada na forma de alterações nos matizes de cores, dentro de padrões característicos (Crepani et. al., 1996).

A avaliação das potencialidades socioeconômicas das unidades territoriais é feita a partir dos estudos do potencial natural, exploração mineral, aptidão agrícola, cobertura florestal, acesso aos recursos naturais; do potencial humano, níveis de urbanização, escolaridade e renda e acesso aos serviços coletivos; potencial produtivo, rentabilidade da produção no setor primário, dinâmica do setor industrial, capacidade financeira e transporte; potencial institucional, autonomia político-administrativa, nível de consenso social e acesso à representação política. A potencialidade socioeconômica das unidades territoriais é calculada com base na média ponderada dos valores atribuídos a esses elementos (Brasil, 1997).

A carta síntese de gestão do território é elaborada a partir da sobreposição das cartas temáticas de vulnerabilidade natural e de potencialidade social, através do uso do sistema de informações geográficas definindo os níveis de sustentabilidade de uso do território. Nesta integração devem ser utilizados, também, os produtos de cada área temática (mapas, cartas e relatórios).

3.3. TECTÔNICA

3.3.1. Tectônica de Placas⁶

O termo Tectônica, do grego, significa edifício e refere-se a estruturas que resultam de movimentos de placas crustais. Esses movimentos incluem-se dentro de categorias de processos que cooperam para alterar a superfície da terra, a saber: os processos destrutivos e os processos construtivos. O primeiro refere-se a efeitos de desgaste da terra como o intemperismo e erosão, que estão continuamente alterando a paisagem. Já o segundo, trata dos processos ligados ao vulcanismo e formação de montanhas (orogenia) que aumentam a elevação média das terras em oposição à gravidade. E é neste que a idéia ou teoria de movimentação de placas se insere.

Na verdade, por muitos séculos acreditou-se que os continentes e bacias oceânicas eram feições permanentes e estacionárias da Terra. Porém, o meteorologista alemão Alfred Lothar Wegener, no início do século, lançou formalmente a hipótese da Deriva Continental juntando algumas evidências ao reconstruir os climas passados da terra. Surgiram alguns questionamentos como: por que existiriam samambaias tropicais em Londres, Paris e mesmo na Groenlândia e geleiras cobrindo parte do Brasil e do Congo?

Para Wegener a simples observação da topografia da terra dava indícios de dois planos ou altitudes em lugar de uma variação contínua de altura, isto é, tratava-se de duas camadas superpostas por diferença de densidade. A mais leve corresponderia aos continentes, superpondo a outra mais densa, composta de pesadas rochas ferromagnesianas, as quais formavam também o assoalho oceânico.

A partir da isostasia, Wegener sustentou seu questionamento, pois que motivo levaria blocos continentais a afundar ou levantar dentro da camada inferior composta de magma, em sucessivos movimentos verticais? Por que não poderiam movimentar-se em sentido horizontal, já que essas forças eram facilmente observadas nas camadas de rochas dobradas dos Alpes, Andes ou Himalaia?

A suposição era de que a camada inferior (manto de material basáltico) aos continentes deveria estar em estado semilíquido e isto faria com que os blocos continentais deslizassem. Este fato foi comprovado através da descoberta, em 1920, de que o embasamento dos oceanos era

⁶ Descrição baseada em material didático ministrado na disciplina Geologia Geral e Estrutural em 2003 (pós-graduação / mestrado).

constituído de rochas basálticas e não de granitos como os continentes. Pairava ainda a dúvida aos seus contemporâneos: como os continentes poderiam se movimentar? Qual seria a força e o mecanismo?

A resposta vem entre 1927 e 1929 por meio de Arthur Holmes, pois propunha a presença de correntes de convecção no manto, movidas pelo calor gerado pela desintegração radioativa de elementos radioativos das rochas como responsável pela Deriva Continental. Entretanto, também não foram aceitas suas idéias.

Somente no final da década de 50 e durante a década de 60 que novas evidências importantes baseadas na constituição geológica dos oceanos; descoberta de semelhança na coluna sedimentar entre continentes, indicando sedimentação de mesma época; estudos na área de paleomagnetismo e de sismologia indicaram que a superfície da terra era composta por placas tectônicas que flutuavam sobre material plástico abaixo delas e que se convergiram para as posições atuais desde 180 milhões de anos, quando da separação do gigantesco continente chamado Pangea.

3.3.2. Características Gerais da Tectônica⁷

A partir do modelo da tectônica de placas houve um melhor entendimento dos processos geológicos que operam na terra, pois ao se movimentarem as placas geram: terremotos, atividade vulcânica, formação de montanhas, agregação e desagregação de continentes e mudanças climáticas e biológicas globais.

A resposta aos movimentos continentais das placas tectônicas pode ser facilmente observada nos limites interplacas, devido ser característico a presença de vulcões e terremotos (Figura 2). Entretanto existe ainda um arranjo complexo presente no registro das regiões intraplaca em consequência de ações pretéritas, podendo apresentar disposição inativa, através de fraturas, ou mesmo ativa, por meio de falhas.

⁷ Descrição baseada em material didático ministrado na disciplina Geologia Geral e Estrutural em 2003 (pós-graduação / mestrado).

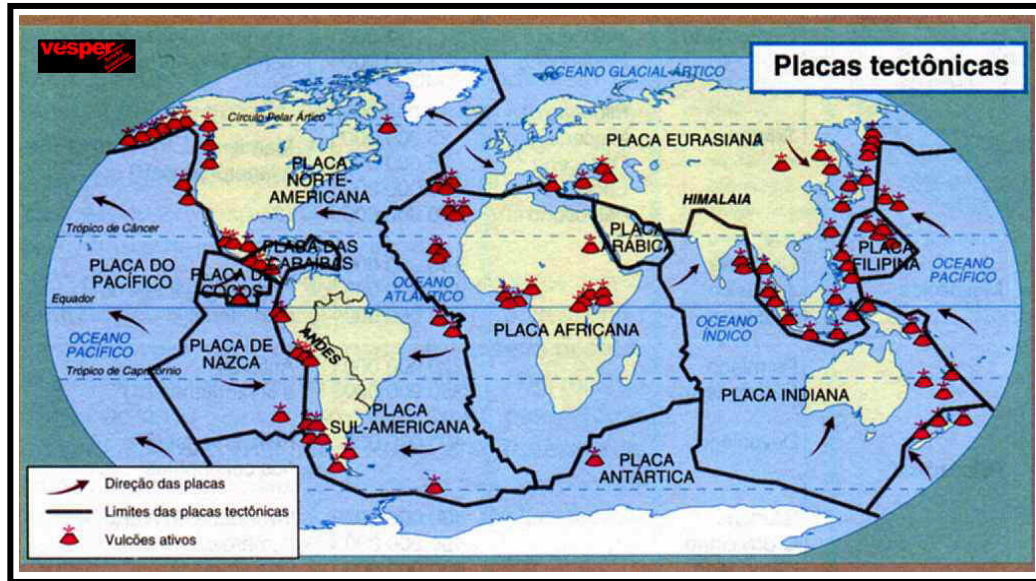


Fig. 2 – Disposição das placas tectônicas no planeta.
 FONTE: VÉSPER (2004).

Os movimentos que as placas realizam podem ser identificados a partir dos limites entre as placas. Estes limites podem ser:

- a) divergentes: exprimem zonas em que as placas se separaram, possibilitando o preenchimento desse espaço por rochas básicas.
- b) convergentes: exprimem zonas em que as placas avançam uma por baixo da outra, provocando, em escala global, encurtamento crustal, com formação de montanhas, e compressão.
- c) conservativos ou transformantes: exprimem zonas em que as placas deslizam uma ao lado da outra, provocando deformações nessa zona de contato. A margem da placa conservativa é limitada por uma falha transformante, a qual liga feições tectônicas distintas.

3.3.3. - Neotectônica na Amazônia

A Região Amazônica é marcada por estruturas, seqüências sedimentares, padrões de rede de drenagem e sistemas de relevo que definem um quadro neotectônico da região (Costa et al. 1996).

O termo Neotectônica aponta para a definição dos últimos movimentos tectônicos incidentes em uma determinada região. No entanto, torna-se importante o estabelecimento do entendimento do regime tectônico e que tempo estaria envolvendo o prefixo *Neo*.

Esse panorama pode ser esclarecido por Hasui (1990), pois o autor comenta que o desenvolvimento de estruturas neotectônicas depende do quadro estrutural preexistente de uma região (orientação e geometria) e o tipo de regime tectônico envolvido. Outra menção pode ser obtida por Mörner⁸ *apud* Cavalcante (2000), pois enfatiza que a neotectônica atua em locais e regimes diferentes não havendo necessidade de utilizar um termo que vincule a ação tectônica ao tempo (e.g. Tectônica Holocênica).

Segundo a Comissão de Estudos Neotectônicos da INQUA, a neotectônica é qualquer movimento ou deformação do nível geodésico de referência, seus mecanismos, sua origem geológica, suas aplicações para vários propósitos e suas futuras extrapolações, não existindo um marco temporal que indique o início da neotectônica (Saadi⁹ *apud* Cavalcante, 2000).

No Brasil, Hasui (1990) destaca as duas possibilidades para o tempo de duração da neotectônica. O primeiro considerando como origem todos os processos ligados à abertura do Oceano Atlântico e seu posterior retrabalhamento até o Triássico ou Permiano. E para o segundo caso, considera-a a partir dos processos pós-clímax dessa abertura a começar do Mioceno ou Oligoceno-Mioceno. Mas, pesquisas recentes na área da geofísica, sedimentologia e geomorfologia, apontaram como sendo esta última consideração a mais correta para o território brasileiro, pois existem movimentações ainda presentes com manifestações de ambiente intraplaca.

Para o caso da Amazônia, Campos & Teixeira¹⁰ *apud* Costa et al. (2001), através de estudos sismológicos, observaram a presença de quatro fases principais de evolução tectônica da Bacia do Amazonas durante as Eras Mesosóica e Cenozóica: (1) corte extensional em forma de cunha E-W durante o Jurássico-Triássico, acompanhado por magmatismo máfico; (2) um regime compressivo E-W no final do Cretáceo e seguido por uma elevação de larga escala; (3) subsidência *flexural* no fim do Cretáceo com o relaxamento da compressão; e (4) retrabalhamento no Terciário após os efeitos transpressivos e transtensivos da área.

Costa et al. (1996) enfatizam de forma mais clara dois eventos tectônicos na Amazônia. O primeiro é representado por manifestações do Evento Sul-Atlântico (Formação do Oceano

⁸ MÖRNER, N. A. 1990. *Neotectonics and structural geology: general introduction*. Bull Int Quat. Ass. Neotect. Comm. 13, 87 p.

⁹ SAADI, A. 1991. *Ensaios sobre morfotectônica de Minas Gerais.*, IGC/UFGM, 300 p., 06 mapas morfotectônicos. (Tese para admissão a cargo de professor titular)

¹⁰ CAMPOS, J. N. P. & TEIXEIRA, L. B. 1988. Estilo tectônico da bacia do baixo Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 35., Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v.2, p 2161-2172.

Atlântico) ou Reativação Wealdeniana do Mesozóico/Paleogeno por Almeida (1967), expressos nos registros do Paleogeno, sobretudo na Formação Alter do Chão (Bacia do Amazonas); parte da seqüência *pós-rifte* (Bacia do Marajó) e Formação Ipixuna (Bacia do Parnaíba). Observa-se inclusive, nessas e outras mais antigas, o estabelecimento de um perfil laterítico maturo, atribuição ao Eoceno-Oligoceno, caracterizando um período importante de estabilidade tectônica conforme Truckenbrodt et al. (1991) e Costa (1991).

Após este evento instala-se o segundo a partir de processos de estruturação, morfogênese e sedimentação até hoje em vigor, característicos da presença da neotectônica, cujo regime tectônico é do tipo transcorrente. Segundo o autor são reconhecidos dois pulsos de movimentação transcorrente: do Mioceno/Plioceno e do Pleistoceno Superior/Recente. Para os dois casos estão associados os deslocamentos ao longo dos feixes de falhas, geração de depósitos sedimentares e controle de padrões de drenagem e sistemas de relevo.

Dentro do contexto amazônico, Costa et al.¹¹ *apud* Costa et al. (2001), sugerem divisão em Bacia Amazônica e Bacia do Marajó, devido estabelecerem diferenças geométricas e cinemáticas extensionais associadas com tensões ENE-WSW e NW-SE, respectivamente.

Para Wanderley Filho & Costa (1991), quatro são os eventos que envolvem a evolução da Bacia do Amazonas: (1) extensão no final do Jurássico acompanhado por grandes volumes de rochas ígneas, modelando diques e soleiras; (2) de falhas tipo *strike-slip*; (3) extensão no Cretáceo intermediário até próximo do Terciário Inferior, com marcas de seqüências de deposição fluvial (Formação Alter do Chão); e (4) regime de *strike-slip* formando domínios compressivos no baixo-Amazonas no Mioceno.

Na Bacia do Marajó, Villegas et al. (1992) indicam que sua evolução consiste de duas fases tectônicas seguidas: (1) falha normal NW-SE e falhas *strike-slip* NE-SW e ENE-WSW; (2) propagação de uma segunda geração de falhas normais em direção nordeste e deslocadas ao longo de outras falhas normais; (3) desenvolvimento de sistemas de falhas normais antitéticas; e (4) intensificação do deslocamento ao longo de falhas *strike-slip* NE-SW durante o Cenozóico.

Segundo Bemerguy (1997), a calha do Amazonas é dividida em seis domínios neotectônicos, com base em características litoestratigráficas, estruturais, tectônicas e

¹¹ COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S.; HASUI, Y. 1991. O quadro tectônico regional do mesozóico na região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. p 166-178.

geomorfológicas. A Figura 3 demonstra o limite espacial referente ao sexto domínio, o qual compreende a Ilha do Marajó e o nordeste do estado do Pará, sendo, portanto, a porção representativa macro regional para os estudos da Ilha do Mosqueiro.

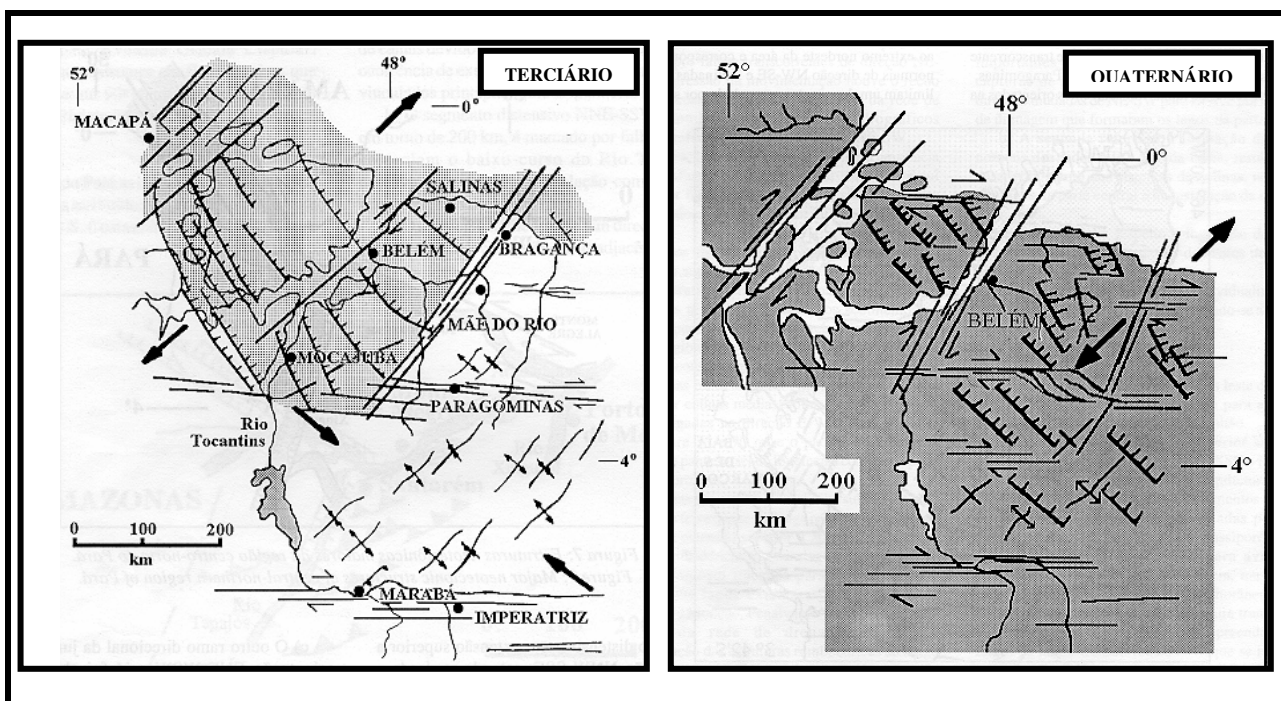


Fig. 3 – Estruturas maiores do Neogeno e do Quaternário da região nordeste do Pará.
FONTE: Adaptado de Costa et al. (1996).

3.4. SENSORIAMENTO REMOTO

De modo geral, o processo de extração de informações, por sensoriamento remoto, a respeito de alvos terrestres pode ser entendido através do conhecimento dos mecanismos de interação da radiação eletromagnética, particularmente nos comprimentos de onda do visível, infravermelho próximo e médio.

Entende-se como radiação eletromagnética, a energia que se propaga a partir de uma fonte que tem uma temperatura absoluta acima de 0°K e que, ao atingir um alvo em uma superfície, pode ser refletida, transmitida ou absorvida (Novo, 1992). Neste caso, pode-se considerar que o Sol representa nossa principal fonte de energia disponível, sendo esta captada pelos sensores depois de haver interagido com a superfície da terra e a atmosfera. Na Figura 4 podemos visualizar, de forma simplificada, a relação entre a radiação eletromagnética com os diversos alvos presentes na superfície terrestre e sua aquisição.

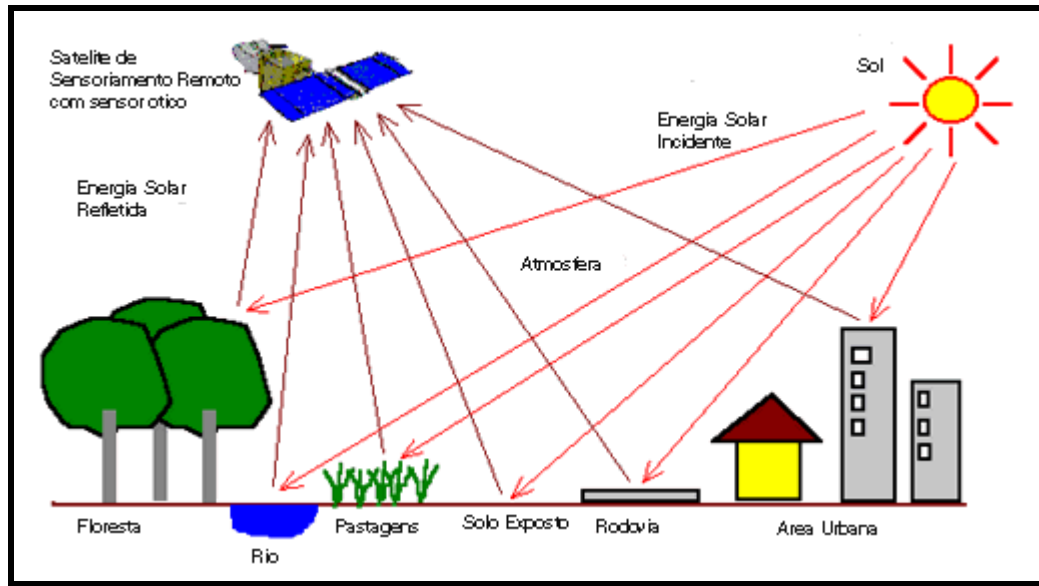


Fig. 4 - Esquema de emissão e captação da radiação eletromagnética.
 FONTE: INTERSAT (2003).

Em sensoriamento remoto a reflexão é o fenômeno mais importante, uma vez que se considera a radiação eletromagnética refletida pelos alvos existentes na superfície terrestre (Ponzoni & Disperati, 1995). Para estudos de caracterização de áreas vegetadas há de se ressaltar que a qualidade e intensidade da reflectância dependem de alguns fatores relacionados à morfologia da folha e pigmentação, geometria do dossel, maturidade da cultura, solo de fundo, práticas culturais e intempéries referentes às condições climáticas.

Além destes fatores citados, pode-se, ainda, adicionar os fatores inerentes ao processo de aquisição de uma cena pelo sensor, como ângulos (zenital, azimutal e visada), disposições (orientação das fileiras das culturas, sazonalidade, relevo etc.), percentagens (vegetação/solo) e componentes (estruturas, teor de umidade, composições etc.), os quais constituem implicações importantes para a análise da resposta espectral de um dossel agrícola ou florestal.

3.4.1. Extração de Informações sobre o Ambiente Terrestre

Com base nos aspectos apresentados até o presente momento, surge a necessidade de se esclarecer como os dados a respeito do comportamento espectral dos alvos sobre a superfície da terra podem ser traduzidos em informações úteis. É a partir dessa premissa que o Sensoriamento Remoto pode ser entendido, pois, como tecnologia, fundamenta-se na utilização de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise

das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (Novo, 1992).

Em geral, os estudos de avaliação, entendimento e caracterização do ambiente terrestre, com suas variadas inter-relações, têm como ponto de partida a utilização de produtos provenientes de plataforma aerotransportadas (câmaras fotográficas e radares) ou mesmo imagens digitais ou analógicas da superfície terrestre produzidas pelos sensores em plataformas orbitais (satélites), através do registro do fluxo radiante que deixa a superfície em direção ao sistema sensor.

Uma imagem é uma representação bidimensional (2-D) do espaço através de uma malha ou grade (matriz). Cada ponto ou célula dessa grade 2-D é chamado de *pixel* (*picture element*) e representa, em um primeiro momento, a Irradiância (fluxo radiante incidente, proveniente do Sol, na superfície terrestre, pela área desta superfície) correspondente em uma posição da grade, sendo discretizado radiometricamente, em um segundo momento, por níveis de cinza ou DN (*Digital Number*), através da medida da Radiância (fluxo radiante por unidade ângulo que deixa uma fonte de energia numa dada direção por unidade de área perpendicular àquela direção) dos alvos contidos na área do *pixel*.

Os elementos que formam o ambiente terrestre são percebidos ou retratados em uma imagem caracterizados pela sua natureza temática (solo, vegetação, água etc.), através da disposição geométrica (posição, forma e tamanho) que os *pixels* semelhantes (i.e, com mesmo comportamento espectral) são arranjados. Portanto, a extração de informações a respeito destes temas baseia-se no reconhecimento desses arranjos ou padrões.

A extração de informações de uma imagem pode ser executada através de duas abordagens: procedimento visual - intérprete e procedimento computacional - processamento digital de imagens (Richards, 1995). Entretanto, apenas o procedimento visual não é capaz de elucidar todo volume de dados presentes em uma imagem. Então, a partir desse fato, o recurso computacional se estabelece como ferramenta de auxílio à extração de informações, permitindo a eliminação de algumas barreiras (por exemplo, processo de aquisição, transmissão e visualização das imagens) que limitam a capacidade visual do homem (Crosta, 1992).

A escolha de uma ou outra abordagem está intrinsecamente relacionada à finalidade do estudo, bem como a disponibilidade de equipamentos. Apesar de, em muitos casos, terem sido empregadas ambas abordagens para obtenção de resultados.

3.4.1.1. Abordagem Visual

Os dados resultantes do sensoriamento remoto apresentam uma combinação de formas facilmente identificáveis, com outras não tão facilmente identificáveis, e esta facilidade depende da experiência do intérprete. Antes da interpretação visual, temos apenas *dados de sensores remotos*. Após a interpretação, esses dados são transformados em *informação útil* (Lillesand & Kiefer, 1994).

Basicamente, a interpretação visual de imagens envolve três fases distintas: leitura, análise e interpretação. A leitura consiste na identificação das feições e/ou objetos de interesse na imagem. Na análise, o intérprete estuda o relacionamento entre as feições e/ou objetos contidas em uma imagem ou várias imagens e na associação e ordenamento das partes que apresentam propriedades comuns. Finalmente, faz a interpretação, que utiliza o raciocínio lógico, dedutivo, ou indutivo, para compreender, ou tornar compreensível os princípios e meios que deram origem à associação e ordenamento das feições e/ou objetos identificados na imagem.

A partir dessa descrição, o processo de interpretação de imagens no formato analógico (produto fotográfico) ou digital poderá envolver vários níveis de complexidade, desde um simples reconhecimento direto de feições e/ou objetos, até a influência de condições do lugar. Desse modo, para alcançar seu objetivo final, ou seja, extrair informações úteis, o intérprete poderá utilizar certos princípios de análise (e.g., convergência de evidências), técnicas de detecção e identificação (e.g., modelos de percepção, material colateral e visão estereoscópica) e elementos (e.g., tonalidade/cor, tamanho, forma) como subsídios a todo processo interpretativo (Novo, 1992).

Os intérpretes mais eficientes, de modo geral, têm conseguido duplicar os poderes de interpretação pelo uso de imaginação e uma grande parcela de paciência. Sendo necessário também um entendimento minucioso do fenômeno estudado e o conhecimento da região geográfica em estudo (Lillesand & Kiefer, 1994).

3.4.1.2. Abordagem Computacional (Processamento Digital de Imagens)

O processo de interpretação visual, apesar de envolver, muitas vezes, uma avaliação genérica satisfatória das formas geométricas dispostas em uma imagem de satélite, esbarra na necessidade de ampliar sua eficácia, através de uma avaliação mais profunda do *pixel* para tentar não só melhorar o procedimento de extração de informações como também, com o intuito de agilizá-lo. É neste contexto que se insere a colocação adequada feita por Crosta (1992), que diz: “*A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens digitais, para posterior interpretação*”.

O procedimento computacional refere-se a uma análise quantitativa, baseada nas propriedades numéricas do *pixel* (DN), que acopla a habilidade de rastrear, agrupar e contar *pixels* semelhantes em uma imagem, visando caracterizar, de forma automática, as várias feições e/ou objetos presentes na área de estudo (Richards, 1995). A partir desse princípio, o processamento digital de imagens pode ser dividido em: pré-processamento e processamento.

a) Pré-processamento

Esta etapa tem como objetivo melhorar a qualidade da imagem digital bruta, através da eliminação de possíveis defeitos geométricos, radiométricos, atmosféricos e inerentes ao processo de aquisição e armazenamento do sinal, para facilitar a análise do intérprete. Dentre as técnicas de pré-processamento pode-se citar, como exemplo, a correção geométrica, conversão dos números digitais para reflectância aparente, retificação radiométrica e remoção de ruído. A seguir será discutida apenas a técnica necessária aos objetivos propostos nesta pesquisa.

a.1) *Correção Geométrica e Registro*

Freqüentemente, informações extraídas de imagens de sensoriamento remoto não possuem precisão cartográfica nenhuma, havendo, dessa maneira, a necessidade de serem integradas com mapas num SIG¹². Essa integração ou, podemos dizer, transformação da imagem para uma propriedade de escala e projeção de mapa é denominado correção geométrica.

¹² Sistema de Informações Geográficas.

A correção geométrica visa compensar ou eliminar erros causados pelo movimento do satélite (varredura) e da terra, curvatura da terra, variações na plataforma (altitude, movimentos horizontais e verticais e velocidade) e efeitos panorâmicos (efeitos causados nos tamanhos dos *pixels* coletados em varredura fora do nadir) (Showengerdt, 1983).

Basicamente, a correção pode ser feita de forma específica, isto é, aplicação de modelos matemáticos para correção específica do tipo de fonte de erro; ou pode ser feita através do relacionamento matemático entre a localização do *pixel* na imagem e sua correspondente coordenada na superfície da terra, através de pontos de controle no terreno (Richards, 1995).

Os pontos de controle são feições e/ou objetos (e.g., interseção de estradas e drenagens) bem definidos e facilmente identificáveis tanto no mapa quanto na imagem. Após uma análise cautelosa dos pontos de controle, pode-se aplicar a uma transformação, denominada de *Transformação Afim*, que irá corrigir distorções de escala, deslocamento e rotação existentes entre a imagem e o mapa, no qual resultará numa nova imagem com os valores de DN reescalados através de um processo denominado de reamostragem por interpolação (Crosta, 1992). Os métodos de interpolação mais comumente utilizados são: vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

Outro procedimento bastante utilizado em sensoriamento remoto é o registro de imagens. O registro é uma correção geométrica baseada em pontos de controle, sendo bastante utilizada para possibilitar estudos em uma ou várias datas diferentes, construção de mosaicos, bem como a integração de imagens de diferentes sensores. A única diferença para o caso de diferentes datas, sensores e cenas, é que ao invés de registrar as coordenadas em *pixel/linha* de uma imagem às coordenadas geográficas de um mapa, registram-se duas coordenadas do tipo *pixel/linhas* entre si (Crosta, 1992).

Townshend et al. (1992) mostraram que, em duas imagens digitais do sensor MSS/Landsat, um erro de registro de um *pixel* gerou um erro de mais de 50% de diferença aos valores de estimativa da biomassa em áreas densamente florestadas, dados esses que levaram os autores a concluir que para alcançar um erro menor (10%), ou seja, um melhor registro, seria necessário uma exatidão mínima de 0,2 *pixel* para áreas densamente florestadas e de 0,5 - 1 *pixel* para áreas menos florestadas.

b) Processamento

b.1) *Realce das Imagens*

O realce de imagens digitais consiste num conjunto de procedimentos que tendem a resultar na melhoria da qualidade visual da imagem, ou seja, alteração da sua aparência para que os aspectos inerentes ao processo de interpretação visual (leitura, análise e interpretação) fiquem mais evidentes. Nesse contexto, o tipo de realce mais comumente utilizado é a ampliação do contraste da imagem.

Esta função representa uma transformação digital que expande os valores originais de cinza de cada *pixel*, ao máximo possível, dentro de um espaço numérico de 0 a 255 geralmente, para se melhorar a percepção visual entre as feições e/ou objetos da cena (Richards, 1995).

b.2) *Segmentação de Imagem*

A classificação digital por *pixel* define um procedimento convencional de análise digital de imagens, que pode, muitas vezes, apresentar limitação por ser unicamente baseada em atributos espectrais das imagens (SPRING, 2003). Analisando esta consideração, têm-se sugerido ou utilizado um procedimento denominado de segmentação de imagem, antes da classificação, com o objetivo de superar a limitação imposta pelo tipo de análise de *pixels* de forma isolada, principalmente, na que diz respeito a forma do treinamento.

A segmentação, inicialmente, rotula cada *pixel* como uma região distinta e, em seguida, segundo um critério de similaridade para cada par de regiões espacialmente adjacentes, baseada em um teste de hipótese estatístico das médias entre as regiões, as subimagens (regiões) são unidas (Shimabukuro et al., 1997).

A divisão em porções consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões, de detecção de bordas ou de detecção de bacias. Para o contexto deste trabalho optou-se pelo crescimento de regiões, por ser mais comum aos objetivos do estudo pretendidos aqui.

▪ **Crescimento de Regiões**

É uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas.

O algoritmo de segmentação baseia-se em dois limiares: a) limiar de similaridade, limiar

mínimo, abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região; e b) o limiar de área, valor de área mínimo, dado em número de *pixels*, para que uma região seja individualizada.

Para a união de duas regiões A e B vizinhas, o algoritmo adota o seguinte critério:

- A e B são similares (teste das médias);
- a similaridade satisfaz o limiar estabelecido; e
- A e B são mutuamente próximas (dentro dos vizinhos de A, B é a mais próxima, e dentro dos vizinhos de B, A é a mais próxima).

Se A e B satisfazem os critérios acima, estas regiões são agregadas, caso contrário, o sistema reinicia o processo de teste de agregação.

b.3) *Classificação Digital de Imagens*

Entende-se como classificação digital de imagens de satélite o processo de análise quantitativa para identificação automática das feições e/ou objetos que constituem a cena, envolvendo, normalmente, análises multiespectrais e a aplicação de estatística para determinar a cobertura da superfície, com base nos atributos espectrais de cada *pixel* - conjunto de informações espectrais representados por nível de cinza (Lillesand & Kiefer, 1994).

Os algoritmos de classificação podem utilizar apenas a informação espectral de cada *pixel* independentemente (classificadores *pixel a pixel*) para identificar regiões homogêneas, através de métodos estatísticos (baseados em regras da teoria de probabilidade) ou determinísticos (que não o fazem); ou utilizar, além da informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação entre os *pixels* vizinhos (classificadores por regiões) (SPRING, 2003).

A obtenção de um mapa de *pixels* classificados pode ser realizada a partir de dois esquemas de classificação digital: supervisionado e não-supervisionado. Estes esquemas, na verdade, são definidos pelo tipo de treinamento que é dado ao classificador para caracterizar as classes presentes na imagem digital. Nos próximos parágrafos será descrito com mais detalhe o esquema de classificação abordado pela presente pesquisa, a saber, classificação supervisionada por regiões.

De maneira simples, a classificação digital é dita supervisionada quando o usuário oferece ao classificador informações sobre os atributos espectrais de cada *pixel* ou de regiões (*cluster* de *pixels*), a partir de um treinamento que identifica alguns *pixels* ou *regiões* pertencentes às classes de interesse, com base no conhecimento prévio das classes que compõem a área de estudo, para então, posteriormente, o classificador realizar a identificação dos demais *pixels* ou regiões da imagem, com base em uma regra estatística pré-estabelecida (Crosta, 1992).

Os classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação entre os *pixels* e seus vizinhos. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura (SPRING, 2003).

A estratégia de classificação digital supervisionada adotada nesta pesquisa prevê a utilização do classificador multiespectral que norteia este esquema de classificação por regiões, chamado Battacharya.

A medida da distância de Battacharya é usada neste classificador por regiões, para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. O classificador Battacharya, ao contrário do Isoseg, que é automático, requer interação do usuário, através do treinamento. Neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens.

b.4) *Modelo Digital do Terreno* (MDT)

Segundo Ebert et al. (1999), a modelagem digital de terreno, mediante recursos de computação gráfica tridimensional, tem constituído uma valorosa ferramenta para investigações geológicas e geomorfológicas.

Esta ferramenta visa a modelagem de um tipo de dado sobre uma superfície real, através da representação matemática de sua distribuição espacial. A modelagem pode ser realizada por meio de equações analíticas ou por uma rede de pontos na forma de uma grade de pontos regulares e/ou irregulares.

São inúmeras as formas de emprego dos MDTs. Pode-se destacar, como exemplo, a

viabilização do cálculo de volume e áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, mapas de declividade e exposição, fatiamentos, perspectivas tridimensionais e também, oferece a oportunidade de sobreposição de outros dados, como de drenagens, estradas, unidades geológicas e lineamentos estruturais. Todos esses mecanismos possibilitam que a análise da representação integrada dos dados seja substancialmente aprimorada.

Basicamente, o processo de construção de MDTs envolve três fases: aquisição de dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas.

Borges et al. (1997) utilizaram o MDT na parte noroeste da Ilha do Mosqueiro e puderam observar a grande contribuição para as inferências morfoestruturais e morfotectônicas da região, visto que possibilitou as leituras dos processos morfotectônicos que controlam a evolução da paisagem, a influência da morfogênese litorânea nas feições de erosão e deposição do Estuário Guajarinó.

Outro exemplo desse tipo de aplicabilidade foi o trabalho realizado por Ebert et al. (1999), onde os autores levantaram vários pontos em relação às vantagens do MDT. Um exemplo é a visualização simultânea de diferentes informações geológicas e fisiográficas sobre superfícies topográficas sombreadas, que aprimoram a capacidade de representação e análise dos dados.

3.5. ASPECTOS DA CONFIABILIDADE DO MAPEAMENTO

O estabelecimento de critérios de qualidade para os produtos extraídos com o uso de técnicas de sensoriamento remoto é bastante relevante, principalmente quando da sua potencialidade e necessidade de obter a verdade terrestre. Esses critérios devem ser cuidadosamente considerados à medida que o uso e cobertura da terra acentuam-se, pois o aumento e confusão de classes são evidentes.

O mapeamento temático, quer seja de forma analógica ou digital, tenta representar o universo real. Segundo Dicks & Lo (1990), este mapeamento pode ser limitado por alguns fatores como, por exemplo, a experiência dos analistas, a escala de trabalho, a qualidade das imagens e o esquema de classificação. Desta maneira, a ocorrência e aumento dos erros de mapeamento podem ser explicados, muitas vezes, pela falta de coerência nas análises ou disponibilidade de material, ou, ainda, do estabelecimento de critérios na análise.

Torna-se necessário, então, que a quantificação dos erros de mapeamento sejam realizadas através de técnicas e unidades de amostragem adequadas aos fins do estudo, à comparação dos dados amostrados com os dados de um mapa temático ou com os dados do levantamento de campo e, por último, à utilização de estatísticas para a determinação da exatidão do mapeamento. A validação da exatidão de mapeamento é a última etapa dos procedimentos da interpretação visual e classificação digital dos dados obtidos por sensores remotos.

O processo de determinação da exatidão do mapeamento descreve um procedimento criterioso de execução que envolve a definição, *a priori*, das unidades de amostragem, tamanho da amostra, das técnicas de amostragem e métodos estatísticos quantitativos da avaliação da exatidão do mapeamento, que serão traçados para proporcionar maior confiabilidade ao processo obtido pelo mapeamento.

A unidade de amostragem define a área da amostra que será considerada em campo. O tamanho da amostra define a quantidade de unidades amostrais que serão visitadas em campo. As técnicas de amostragem representam a forma como serão distribuídas as amostras que serão averiguadas em campo

3.5.1 - Método de Avaliação do Mapeamento

A maioria das técnicas usadas na avaliação quantitativa da exatidão de mapeamento tem como ponto de partida a construção de uma matriz de erro. Essa matriz refere-se a avaliação de dois dados que apresentam a distribuição de percentagem de *pixels* classificados correta e erroneamente em relação à verdade terrestre, tida como referência (Ma & Redmond, 1995).

Hay (1988) define três objetivos na utilização da matriz de erro: (a) oferecer dados que permitem o ajuste das áreas das classes obtidas por algum tipo de classificação; (b) cálculo de parâmetros de exatidão geral da classificação e (c) identificação de erros específicos que afetam cada uma das categorias. Existem vários métodos estatísticos de quantificação da exatidão de um mapa temático, porém neste trabalho será abordado apenas o índice kappa.

O índice kappa é um coeficiente de concordância para escalas nominais que mede o relacionamento entre a concordância, além da casualidade e a discordância esperada (Rosenfield & Fitzpatrick-Lins, 1986).

3.6. GEOPROCESSAMENTO

O termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratamento da informação geográfica (Câmara Neto & Medeiros, 1996). Desta maneira, ferramentas computacionais desenvolvidas, chamadas Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), oferecem um poderoso conjunto de procedimentos para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais referentes à realidade terrestre.

Um SIG utiliza dados e informações abstratas para representar o mundo real e seus eventos, englobando para tal aspectos como tema, tempo e localização. Numa visão geral, pode-se considerar um SIG com os seguintes componentes (Câmara Neto & Medeiros, 1996):

a) entrada de dados: procedimento de entrada de dados no sistema, podendo ser via teclado do computador, processo de digitalização, através do *Scanner* ou por meio de fitas magnéticas e CD-ROM.

b) armazenamento de dados: consiste na forma com que os dados poderão ser armazenados dentro do sistema, podendo ser estruturados da seguinte forma:

- Formato vetorial - representa entidades (por exemplo, rios, isolinas, lineamentos e estradas) como um conjunto de pontos num espaço bidimensional, definidas por coordenadas (x, y) associadas a um atributo.
- Formato matricial - representa uma área da superfície terrestre em uma matriz de pontos (*pixels*) discretizados em forma de DN, sendo regularmente distribuídos num espaço bidimensional, podendo discretizar reflectância, nível de declividade, teor geoquímico, entre outros.
- Formato tridimensional - representa amostras do comportamento de uma variável z dentro de uma região bidimensional (x, y), como pontos definidos no espaço (x, y, z).
- Formato de grade - representa um conjunto de pontos definidos em um arranjo de celas (*raster*), definidas por linhas e colunas, sendo o atributo a ser mapeado representado por um número.

c) manipulação e análise dos dados: esta etapa consiste em na remoção de dados e manipulação de dados.

d) saída dos dados: descreve a forma que os resultados serão representados, ou seja, mapas, figuras, tabelas ou modelos digitais de terreno.

Com essa capacidade, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais (Câmara Neto & Medeiros, 1996).

4. MANIPULAÇÃO DE DADOS DA PAISAGEM DA ILHA DO MOSQUEIRO

4.1. MATERIAIS UTILIZADOS E SEU TRATAMENTO

4.1.1. Carta Topográfica

A área de estudo está contida na carta topográfica elaborada pela Divisão do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG), na escala 1:50.000 e na projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM). Esta carta (Tabela 1) auxiliou a confecção dos mapas de falhas tectônicas e geomorfológico, além de servir de subsídios às informações iniciais como a projeção cartográfica, datum, fuso e escala.

TABELA 1 – DADO CARTOGRÁFICO

Identificação da carta	Nome da Carta
SA-22-X-D-III-1 (MI-384-1)	Mosqueiro

Elaborada a partir do mapa DSG (1982).

4.1.2. Dados Processados do Levantamento Aerofotogramétrico de Belém

Foram cedidos pela Companhia de Desenvolvimento e Administração Metropolitana de Belém (CODEM), por meio do Convênio com o Instituto de Estudos Superiores da Amazônia (IESAM), os seguintes materiais em formato digital, os quais foram processados com vista à geração dos mapas de *landcovers* exibidos ao longo do texto:

- Base cartográfica – 1999 de Belém, na escala 1:10.000, com limites de bairros e distrito;
- *Layer* de vegetação, extraído da cartografia – 1999;
- Mosaico de fotografias aéreas – 1999 da Ilha do Mosqueiro; e
- Base cartográfica – 1977 de Mosqueiro, contendo curvas de nível e os limites de bairros e distrito.

4.1.3. Análise Multitemporal de Dados do Satélite Landsat da Ilha do Mosqueiro

Para a avaliação da evolução das características paisagísticas em termos de fragmentação, contágio de fragmentos e evolução da diversidade paisagística da Ilha do Mosqueiro foram selecionadas as imagens do sensor TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7 correspondentes à órbita 223 e ponto 61, bandas 3, 4 e 5, que contêm a área da Ilha do Mosqueiro, perfazendo um total de três cenas, começando pelo ano de 1986 (Tabela 2). Esta seleção levou em consideração a

percentagem de cobertura de nuvens e disponibilidade de imagens para a avaliação multitemporal. Estas imagens foram cedidas pelo Museu Paraense Emílio Goeldi, mais especificadamente pelos pesquisadores Jorge Luiz Gavina Pereira e Marcelo Cordeiro Thales, responsáveis pela Unidade de Análises por Sensoriamento Remoto (UAS).

TABELA 2. DATAS DE OBTENÇÃO DAS IMAGENS TM/LANDSAT-5 E ETM+/LANDSAT-7.

SATÉLITE	IMAGENS		
	Dia	Mês	Ano
Landast-5 ^(TM)	17	7	1986
	8	6	1995
Landast-7 ^(ETM+)	21	5	2003

Elaborada a partir das imagens da UAS

4.1.4. Processamento de Informações Espaciais da Ilha do Mosqueiro utilizando o *Software SPRING*

O processamento dos dados digitais da Ilha do Mosqueiro utilizou basicamente o *software SPRING* (versão 4.0/Windows).

Os mapas de *Landcovers* paisagísticos da Ilha do Mosqueiro só foram possíveis em função do SPRING tratar-se de um banco de dados geográfico, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows, o qual utiliza modelos de dados orientados a objetos, dos quais são derivadas interfaces de *menus* e a linguagem espacial LEGAL. As principais vantagens obtidas com o uso deste *software* nesta dissertação foram:

- Operar todos os dados temáticos da Ilha do Mosqueiro como um banco de dados geográfico sem fronteiras, que pode suportar grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de toda estrutura.
- Administrar tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*), e realizar a integração de dados de análise multitemporal das imagens TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7 da ilha em um ambiente SIG.
- Mostrou-se um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas, para o processamento de dados do Estuário Guajarino, com uma

linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra), apresentando-se, assim, muito apropriado à avaliação deste tipo de ambiente.

- Permitiu escalonabilidade completa, isto é, foi capaz de operar com toda sua funcionalidade dentro de ambientes que variam desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho, permitindo assim que seja aplicado ao COMAP-DGL, uma vez que sua base pode ser dada por estações SPARCSTATION 10 em plataforma SOLARIS (Unix).
- Emprego de algoritmos inovadores como àqueles utilizados na indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantiram o desempenho adequado para as mais variadas operações de gerações de produtos e álgebras de mapas deste segmento do estuário.

4.1.5. A Utilização do *Software* ARCVIEW para o Processamento de Dados Espaciais da Ilha do Mosqueiro

Este trabalho utilizou o *software* ARCVIEW (versão 3.3/Windows), objetivando a geração de vários mapas temáticos da ilha, além do que foi importante na manipulação dos dados vetoriais, com vista à apresentação dos resultados, e também no ordenamento dos dados para as análises estatísticas da paisagem (métricas da paisagem).

O ARCVIEW é um produto da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) e foi escolhido para este trabalho em função de apresentar-se como poderoso *software* com ferramentas de fácil uso para utilização como Sistema de Informações Geográficas (SIG), as quais nesta dissertação, possibilitou a visualização, exploração e análises dos dados espacializados da Ilha do Mosqueiro.

Os recursos do ARCVIEW possibilitaram amplo espectro de utilização de dados para leitura e manipulação de dados, contando com acesso de suporte a todos o tipos de recursos, incluindo vetores, mapas, grades e imagens. Nesta dissertação, para a obtenção dos produtos apresentados foram explorados os seguintes ambientes do ARCVIEW:

- *Working spatially* – usada na geração de produtos espaciais. Imprimiu facilidade na manipulação dos dados tabulares, tipo arquivos *dBASE* e dados provindos de serviços

database. Permitiu a visualização, geração de perguntas, sumarização e organização dos dados paisagísticos geograficamente.

- *View* – foi utilizado para trabalhar os dados geográficos no contexto de mapas interativos. As características manipuláveis na *View* estão dispostas numa “Tabela de Conteúdos”, marcando o fácil entendimento e controle dos dados litológicos, antrópicos e bióticos na visualização combinada de atributos da Ilha do Mosqueiro. Comumente os demais SIGs não são tão simples assim.
- *Tables* – permitiu a manipulação, entendimento e controle dos atributos referentes aos dados, operando por um sumário de estatísticas, classificações e perguntas.
- *Layouts* – possibilitaram alta qualidade visual de mapas, com uma grande quantidade de elementos gráficos. Os produtos gerados no *layout* puderam ser impressos em amplo espectro de impressoras e *plotters*. Possibilitam *links* ativos com os dados na *View*, fazendo com que os produtos manipulados sejam automaticamente atualizados no *Layout*.
- *Scripts* – neste trabalho foram escritos macros em linguagem de programação (*Avenue*) para o desenvolvimento de ambiente, em colaboração com o Sr. Carlos Simões Pereira. Assim, pôde-se personalizar ferramentas e buscar os amplos recursos oferecidos pelo *software* durante a fase de investigação dos dados da Ilha do Mosqueiro.
- *Projects* – através desta rotina todas as *views*, *tables*, *layouts* e *scripts* foram convenientemente armazenados em um arquivo chamado *Projeto Ilha do Mosqueiro*.

4.1.6. A Utilização do *Software* SURFER para Geração de Produtos Casados com Modelo Digital do Terreno da Ilha do Mosqueiro

A utilização do *software* SURFER (versão 8.0) objetivou a geração do Modelo Digital do Terreno da ilha. Além da junção, com este modelo, de outros temas gerados neste trabalho, como as falhas tectônicas e vulnerabilidade à erosão, de modo a potencializar os mecanismos atuais de entendimento da paisagem, abrindo portas para vertentes instrumentais de visualização do modelado paisagístico que possam fazer inferências aos processos interpretativos e de tomada de decisões.

O SURFER é um programa para modelagem de dados de superfície, com grande potencial para representações tridimensionais, funcionando em plataforma *Microsoft Windows*. É uma

ferramenta de conversão de dados rápida e fácil, possibilitando as mais variadas formas de produtos como: superfícies em 3D, grades, vetores, imagens, representação de relevo, e isolinhas, além de ter ampla possibilidade de sobreposição de dados em formato vetorial e *raster* em um único mapa de saída.

4.1.7. A Utilização do Software FRAGSTATS para o Processamento das Métricas da Paisagem da Ilha do Mosqueiro

A utilização do *software* FRAGSTATS (versão 3.0) objetivou a realização de análises estatísticas da paisagem (métricas da paisagem) da ilha para avaliação da evolução antrópica ocorrida ao longo de 17 anos. Este programa está disponível na *Internet*.

O FRAGSTATS é um programa de análise de padrão espacial para mapas categóricos. Este *software* simplesmente quantifica a extensão da área e a configuração espacial de manchas dentro de uma paisagem, sendo atribuído ao operador estabelecer uma base definida pela escala da paisagem (incluindo a extensão e porção da paisagem) e o esquema sobre o qual as manchas são classificadas e delineadas. Processa informações baseadas em imagens (formato matricial) numa variedade de formatos, incluindo *ArcGrid*, *ASCII*, *ERDAS BINÁRIO*, e arquivos de imagem do *IDRISI* (McGarigal & Marks, 1994).

Os cálculos das métricas pelo FRAGSTATS podem ser realizados sobre o mosaico de manchas na paisagem, o mosaico de classes na paisagem e a paisagem como um todo. Categoricamente podem ser agrupadas em: métricas de área/perímetro, de forma, de área central, de isolamento/proximidade, de contraste, de densidade, de borda, de contágio/interseção, de conectividade e de diversidade.

4.2. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Neste item serão descritos os procedimentos adotados para atender os objetivos propostos nesta dissertação, ou seja: criação do banco de dados da Ilha do Mosqueiro no *SPRING*; tratamento destes mesmos dados, bem como a geração de mapas temáticos e a integração dos produtos tanto compilados quanto os gerados de forma inédita.

4.2.1. Criação do Banco de Dados

O início do processo começou com a criação do banco de dados no *SPRING*, onde foram inseridos e armazenados dados orbitais referentes as três datas de passagem do satélite Landsat

sobre a ilha (Tabela 2), dados do levantamento aerofotogramétrico de Belém; e informações temáticas diversas oriundas de trabalhos de pesquisa conduzidos na região de Mosqueiro. A partir disso, procedeu-se à geração de produtos interpretativos, bem como a integração do conjunto de dados para a obtenção dos resultados esperados, a saber, aqueles referentes à ecologia da paisagem da ilha do Mosqueiro.

4.2.2. Tratamento dos Dados

4.2.2.1. Pré-processamento (Imagens TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7)

Esta etapa foi responsável pela parte de manipulação inicial dos dados digitais brutos para viabilizar os procedimentos da análise multitemporal e integração de dados. O pré-processamento basicamente voltou-se para correção geométrica e registro de imagens recortadas que continham a Ilha do Mosqueiro.

a) Correção Geométrica e Registro

A correção geométrica deu-se pela determinação matemática da relação entre as coordenadas da base cartográfica digital da CODEM, transformando-as em um sistema de referência (projeção cartográfica UTM), e as coordenadas da imagem (linhas e colunas) para um número de pontos de controle facilmente identificáveis na imagem e na cartografia digital. Esta relação matemática foi realizada tomando-se como base uma transformação polinomial de primeiro grau (que requer um mínimo de três pontos de controle), utilizando nove pontos de controle, coletados na primeira fase de campo (abril de 2003). Estes foram ajustados por reamostragem do vizinho mais próximo. Procedeu-se assim com a finalidade de preservar a radiometria da imagem original, seguindo as determinações de Richards (1995).

Com a amarração dos pontos de controle imagem/cartografia digital, foi realizado o registro imagem/imagem das demais datas restantes, em relação à imagem anteriormente georreferenciada, assegurando dessa maneira condições para um padrão georreferencial de todos os produtos gerados para a ilha.

4.2.2.2. Processamento Digital (Imagens TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7)

As imagens da ilha do Mosqueiro foram analisadas digital e multitemporalmente, de acordo com as seguintes etapas:

a) Realce Digital das Imagens da Ilha

O realce de imagens consistiu de um conjunto de procedimentos que resultou na alteração da qualidade visual da imagem na tela do computador, ou seja, melhorou a qualidade de aspectos inerentes à análise/interpretação visual. Neste contexto, o realce deu-se pela **ampliação de contraste**. Foi efetivada uma transformação digital de cada *pixel* nas várias imagens, objetivando a discriminação de alvos da cena, devido o baixo contraste existente nas imagens originais. Assim, expandiram-se os valores de cinza originais ao máximo possível dentro de um espaço numérico de 0 a 255 (TM e ETM+/Landsat), gerando com isso uma melhor visualização da imagem, adotando as recomendações de Richards (1995).

b) Segmentação das Imagens de Mosqueiro

Neste processo, as imagens foram divididas em regiões de interesse das aplicações da ecologia da paisagem. A divisão em porções consistiu basicamente em um processo de crescimento de regiões, cujo agrupamento utilizou àquelas adjacentes espacialmente.

Inicialmente, este processo de segmentação rotulou cada *pixel* como uma região distinta. Depois calculou o critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente na ilha. A seguir, dividiu a imagem em um conjunto de subimagens e então realizou a união entre elas, segundo um limiar de agregação (área) definido.

Para a utilização desta técnica, adotaram-se os seguintes critérios:

- Similaridade: 8;
- Área (pixels): 10; e
- Suavização de Arcos: sim.

c) Classificação por Regiões

A classificação das imagens segmentadas na Ilha do Mosqueiro foi executada no SPRING através da seguinte maneira:

- criação do arquivo de Contexto - este arquivo armazenou as bandas 3, 4 e 5 das imagens Landsat utilizadas (Tabela 2), visando o processo de classificação por regiões;
- treinamento - aquisição das amostras;

- análise das amostras - permitiu verificar a validade das amostras coletadas;
- extração das regiões - neste procedimento o algoritmo extraiu as informações estatísticas de média e variável de cada região, considerando as bandas indicadas no contexto;
- classificação por Battacharya – aplicou-se esta classificação depois de vários testes com outros classificadores. O limiar de aceitação que mais se adequou a este trabalho foi de 99.9%; e
- execução do mapeamento das classes da Ilha do Mosqueiro – foi um procedimento adotado para transformar a imagem classificada (categoria Imagem) em um mapa temático (categoria Temática).

c) MDT Macro-regional da Ilha do Mosqueiro

A despeito da existência de outros modelos digitais de terreno publicados para a região de Mosqueiro (Borges et al., 1997), estes se mostraram apenas parciais, relacionados a algumas praias, existindo por tanto a necessidade da geração de um modelo global que permitisse sua correlação com as outras elevações paisagísticas, como também com toda a diversidade de *landcovers*.

O modelo regional utilizou uma grade retangular regularizada, uma vez que é o modelo digital que mais aproxima as superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros foram os próprios pontos amostrados, pois foram adquiridos nas mesmas localizações xy que definiram a grade desejada para esta região do Estuário.

A geração da grade retangular foi efetuada em função dos dados amostrados na superfície não apresentarem espaçamento regular. Assim, a partir das informações contidas nas isolinhas ou nos pontos amostrados na base de dados da CODEM do ano de 1977, foi gerada uma grade que representou de maneira mais fiel a superfície da Ilha do Mosqueiro na sua totalidade. Os valores gerados correspondem aos espaçamentos nas direções x e y de forma que puderam representar os valores próximos aos pontos da grade em regiões com grande variação. Ao mesmo tempo, reduziram redundâncias em regiões quase planas, as quais são comuns neste segmento insular do Planalto Rebaixado da Amazônia.

Uma vez definida a grade retangular da Ilha do Mosqueiro, pôde-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da elevação. Foram testados neste

trabalho os seguintes interpoladores: vizinho mais próximo, média simples, média ponderada, média ponderada por quadrante e média ponderada por cota e por quadrante.

O processo de modelagem numérica de terreno da Ilha do Mosqueiro envolveu três fases:

- Aquisição dos dados – os dados para análise são da classe de amostragem por isolinhas, os quais foram importados e ajustados no SPRING.
- Geração das grades retangular e triangular - para a geração de grade retangular a partir de amostra (pontos e isolinhas), o método de interpolação utilizado foi o de Média Ponderada. Este tipo de interpolação faz com que o valor de cota de cada ponto da grade seja calculado a partir da média ponderada das cotas dos 8 vizinhos mais próximos a este ponto, atribuindo-se pesos variados para cada ponto amostrado através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade. Este interpolador produz resultados intermediários entre o interpolador de média simples e os outros interpoladores mais sofisticados, com tempo de processamento menor. Para o caso da grade triangular optou-se por seguir a proposição de Borges et al. (1997) para a geração de modelagem de costa baixa, utilizando-se da *triangulação de Delaunay*. Nesta dissertação grades retangulares também foram testadas a partir de um TIN (*Triangular Irregular Network*). Abaixo estão os resultados alcançados na Ilha do Mosqueiro (Figura 5).

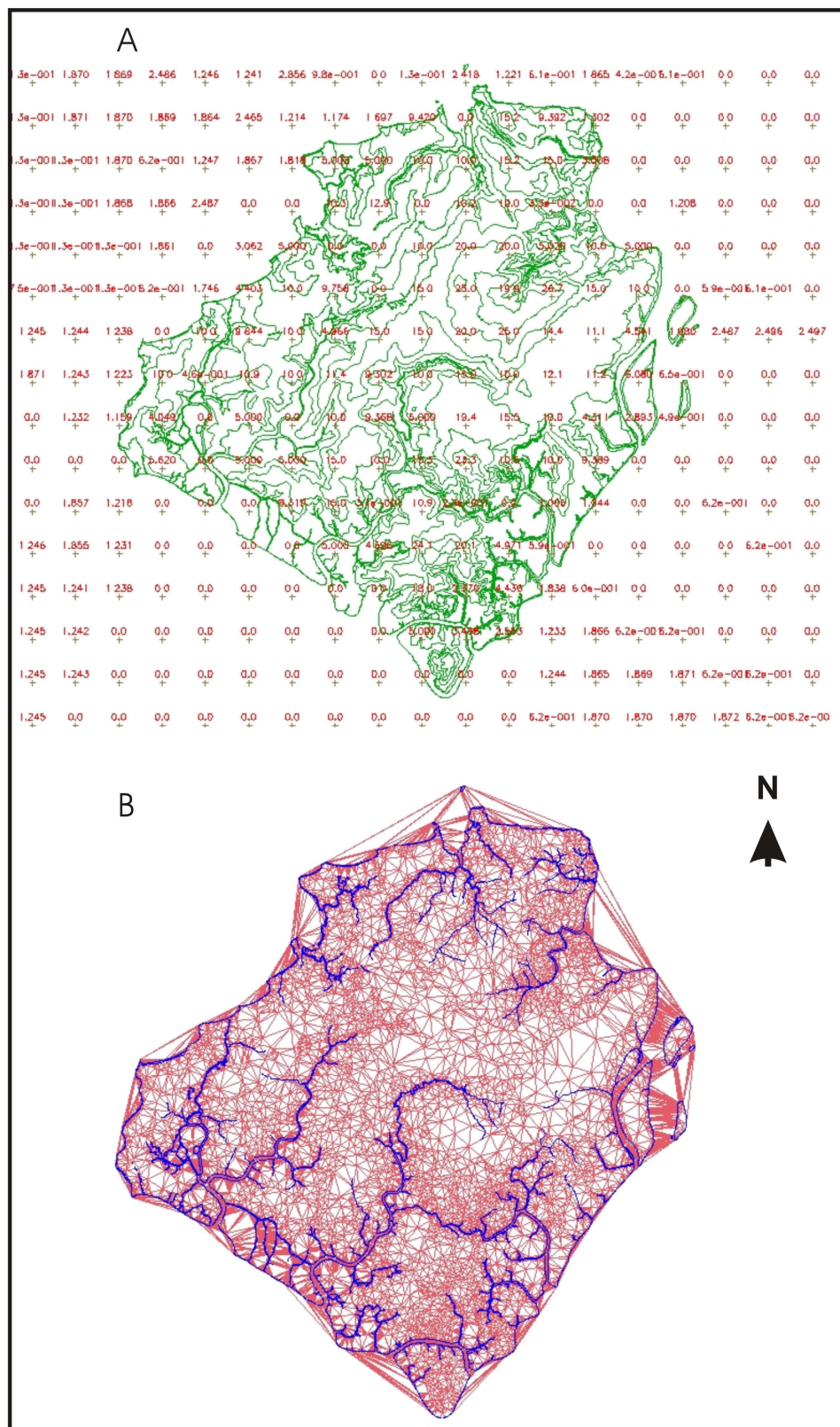


Fig. 5 – Grades retangular (A) e triangular (B) geradas a partir de isolinhas e pontos cotados.

- Elaboração de produtos - esta etapa consistiu na geração dos produtos insulares apresentados, a partir da grade retangular e triangular, inerentes às análises de dados e obtenção de resultados, como: imagens em nível de cinza, sombreada e colorida (visualização 3D); declividade e fatiamento.
 - *Imagens em nível de cinza, sombreada e colorida:* são imagens baseadas em um MDT. As imagens em níveis de cinza (NC), considera o intervalo entre 0 (preto) e 255 (branco), isto é, números reais da grade são transformados em valores inteiros, dentro do intervalo de NC. Os demais produtos são originários do sombreamento e de uma sobreposição de cores, considerando-se alguns fatores como, por exemplo, ângulo azimutal e de elevação de uma fonte luminosa (Figura 6). Estes produtos abrem a poderosa possibilidade de filtrar as estruturas de movimentação neotectônica particularmente orientadas e que controlam as morfoestruturas, bem como a rede de drenagem.

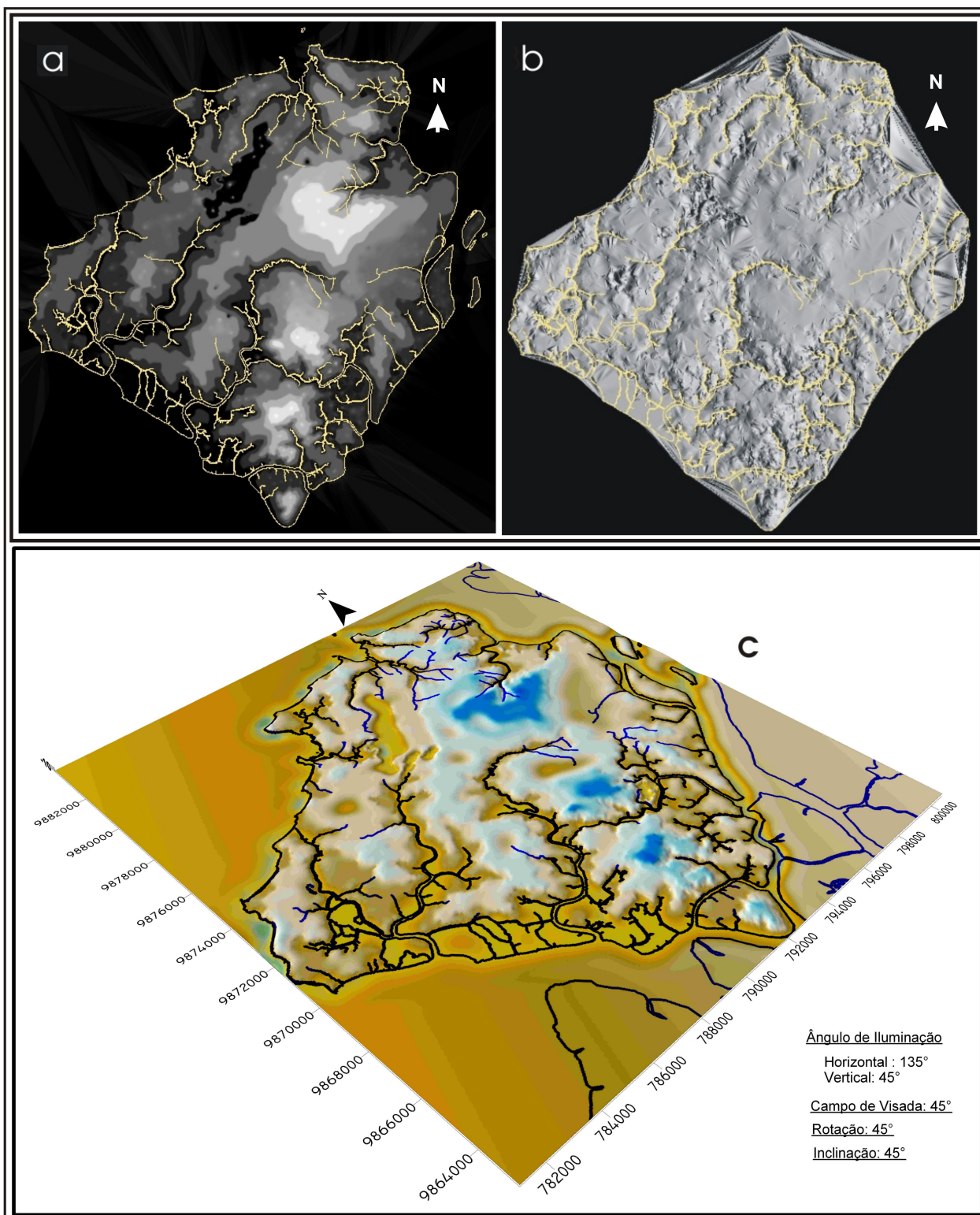


Fig. 6 – Visualização da imagem nível de cinza (a), imagem sombreada (b) e imagem colorida (c).

Os produtos apresentados nas Figuras 6 são extremamente relevantes. As figuras exibem a disposição dos valores altimétricos ao longo da superfície da Ilha do Mosqueiro. É notório o realce digital, via simulação numérica de *Landforms Tectônicos Primários* dispostos com orientação N-S. A distribuição espacial destes *landforms* indica a presença de descontinuidades neotectônicas orientadas segundo esta posição, até então não descritas na região de Mosqueiro. Estas descontinuidades têm representatividade em campo e foram evidenciadas durante as investigações no extremo norte da área. É provável que estas estruturas N-S que afetam a evolução morfogenética podem estar relacionadas a uma tectônica de reativação de estruturas profundas e mais antigas, retomadas durante a evolução cenozóica neste segmento crustal.

- *Fatiamento*: esta etapa consistiu em gerar uma imagem temática da Ilha do Mosqueiro a partir da grade retangular. Os temas da imagem resultante corresponderam a intervalos de valores de cotas (fatias). Desta forma, um Plano de Informação da categoria numérica originou um Plano de Informação de categoria temática representando um aspecto particular do modelo digital do terreno. Como a morfoestruturação é imperativa no controle da diversidade paisagística, optou-se por apresentar também produtos que mostrassem a distribuição dos índices morfométricos, o que pode ser visualizado na Figura 7.

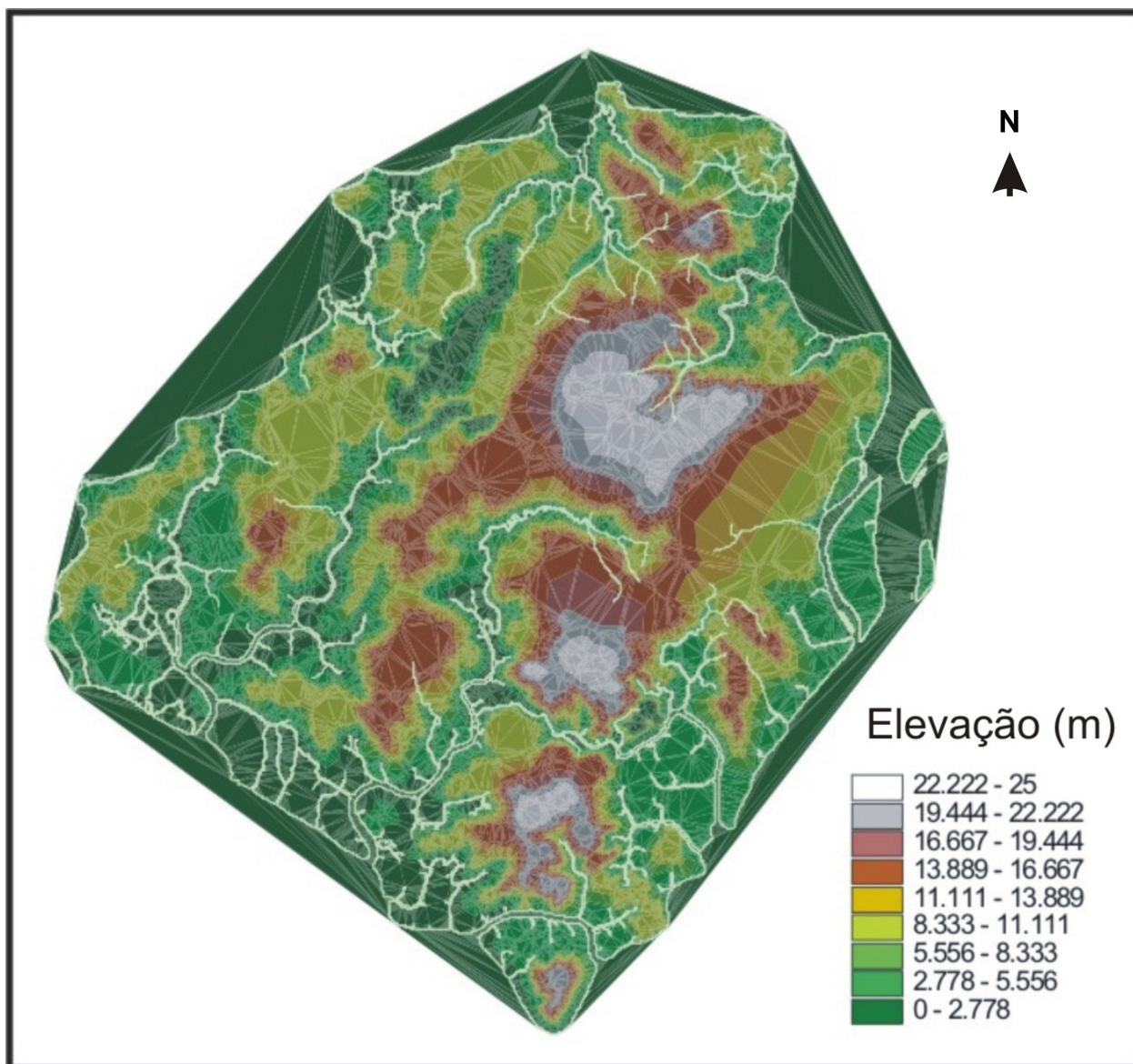


Fig. 7 – Fatiamento da elevação (m) da Ilha do Mosqueiro.

- *Declividade*: a declividade é outro fator paisagístico fundamental para a definição dos sistemas de relevo e controle dos *landforms* tectônicos primários (falhas neotectônicas). Tem implicações na estabilidade das formas, migração de fluxos gravitacionais e controle de parte da drenagem. Na sua geração utilizou-se dos valores amplitude altimétrica, combinado os mesmos com os dados do fatiamento, buscando a distribuição das rampas de elevação no âmbito da ilha (Figura 8). A geração do fatiamento e da declividade foram processados no ARCVIEW.

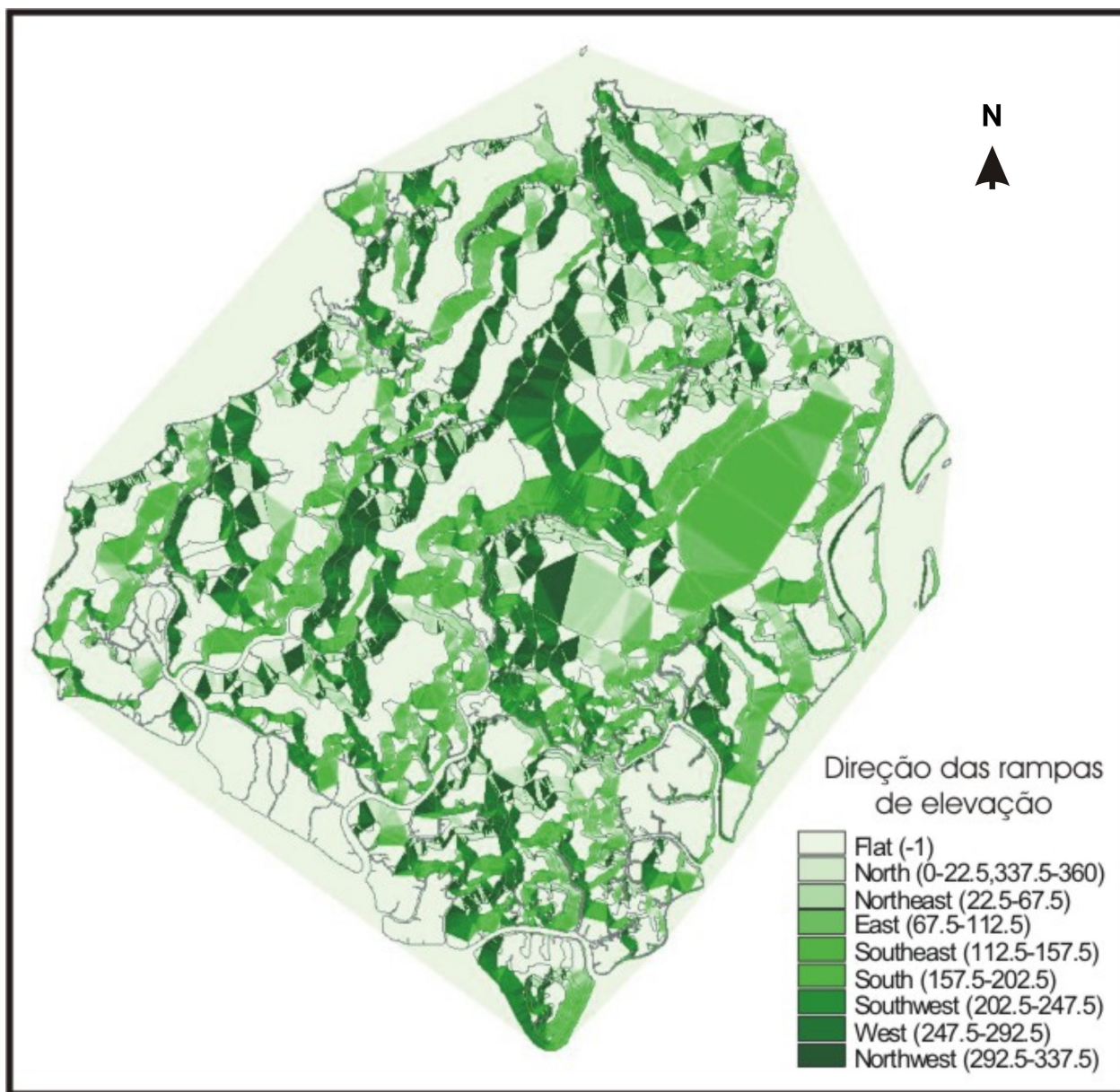


Fig. 8 – Aspecto da direção das rampas de elevação.

4.2.3. Geração dos Vários Temas da Região de Mosqueiro

Após a criação do banco de dados e a realização de parte do tratamento dos mesmos, a etapa seguinte foi a geração de mapas temáticos, a saber: cobertura vegetal e uso do terra, solos, geomorfologia, geologia, e tectônica.

Deve-se destacar que esta etapa foi seguida de trabalhos de campo (quatro etapas) com vistas à validação dos produtos gerados. Essas missões serviram para auxiliar a fase de ajustes (reinterpretação) de produtos.

4.2.3.1. Cobertura Vegetal e Uso da Terra

A partir da classificação digital sobre a imagem do ano 1986, foi confeccionado um mapa que contém a distribuição espacial das diferentes classes temáticas a partir da reinterpretação das unidades (classes) geradas pelo classificador Battacharya. Este mapa serviu de referência para a análise multitemporal, sobre as demais imagens do ano de 1995 e 2003, a título de se avaliar os efeitos do avanço antrópico na paisagem e também, como norteador na integração de dados para avaliar o grau de estabilidade da paisagem à erosão natural. À geração dos mapas de cobertura vegetal e uso da terra sobre as demais imagens (Figura 9) seguiram os procedimentos de interpretação visual no computador.

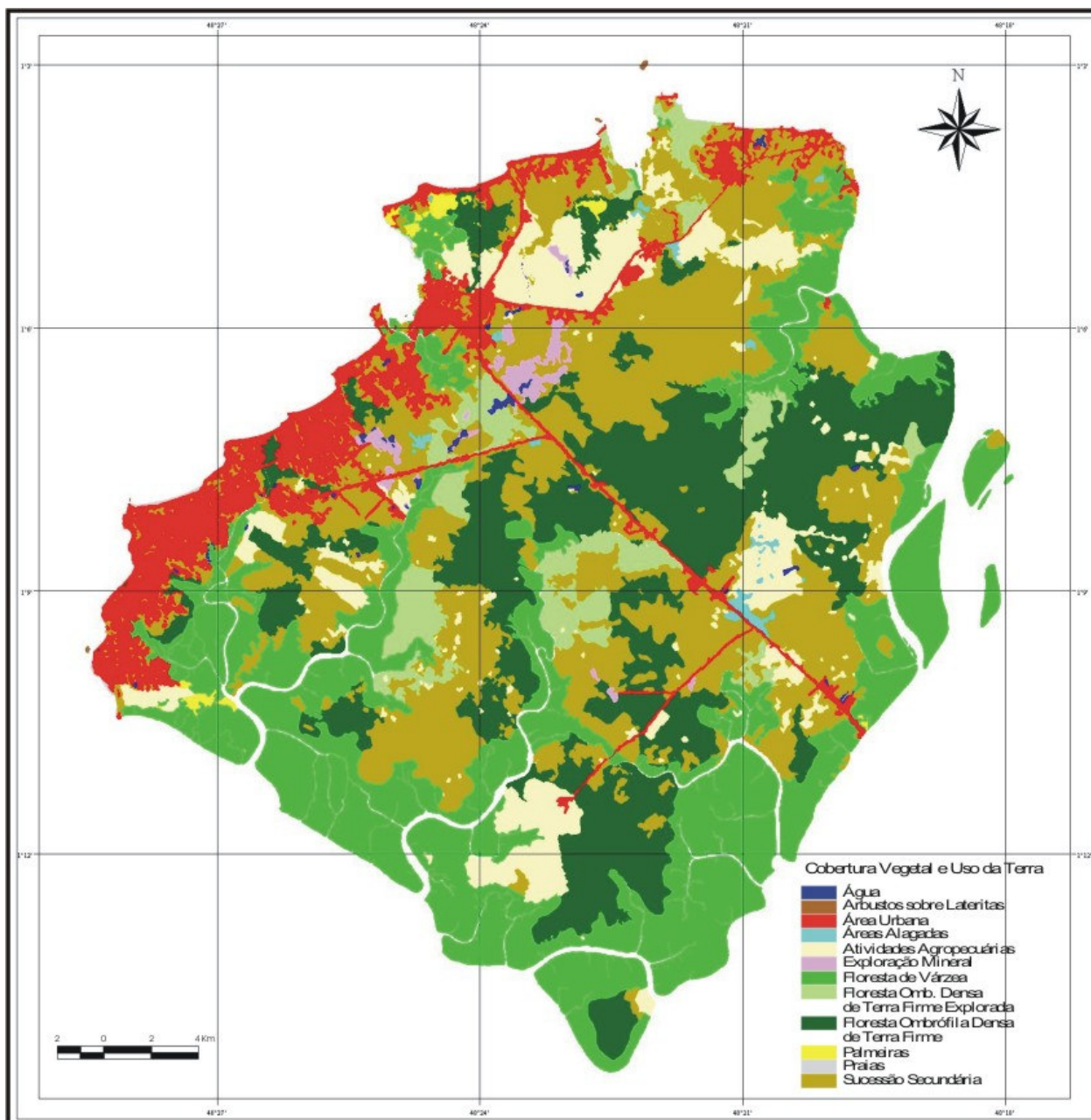


Fig. 9 – Mapa de cobertura vegetal e uso da terra do ano de 2003.

Para a avaliação do comportamento espacial das diferentes classes de cobertura vegetal e uso da terra foram utilizadas métricas para elucidação do contexto evolutivo presente na paisagem e possíveis impactos ao ambiente. Tal procedimento constitui outra abordagem da ecologia da paisagem, diferente da geomorfologia clássica e, portanto, mais tecnologicamente avançada que esta (Frohn, 1999). Esta abordagem foi à temática básica por trás desta dissertação.

a) Avaliação do Mapeamento

Para validação da referida diversidade paisagística foi estabelecida uma amostragem aleatória sobre a área de estudo (Figura 10), num total 150 células amostradas e verificadas. O procedimento foi apoiado por coleta de pontos através do GPS¹³ e informações adicionais de campo sobre as várias classes temáticas determinadas.

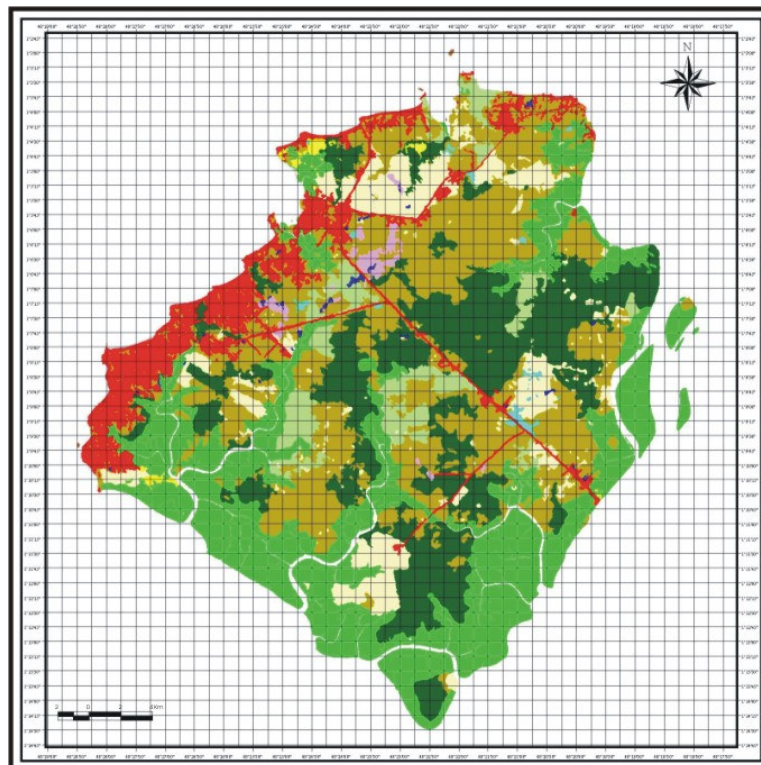


Fig. 10 – Malha de amostragem realizada sobre as classes de cobertura vegetal e uso da terra do ano de 2003.

Com o resultado da coleta dos pontos, as classes foram avaliadas por meio de uma matriz de erro (Congalton, 1991). Sobre os dados desta matriz de erro, utilizou-se a técnica de análise multivariada denominada de estatística Kappa (K), para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e os resultados obtidos pela classificação digital. Os resultados desta etapa estão descritos na Tabela 3.

¹³ *Global Posicion System*

TABELA 3 – MATRIZ DE CONFUSÃO OBTIDA APÓS A VERIFICAÇÃO DE CAMPO A PARTIR DO ESQUEMA DE AMOSTRAGEM ESTABELECIDO.

		C L A S S E S O B S E R V A D A S E M C A M P O											TOTAL	% INCLUSÃO	
		Ag	Al	Au	Aa	Aag	Em	Fv	Fe	F	P	Pr	Ss		
C	Ag	3												3	0
L	Al		1											1	0
A	Au			17		1							1	19	0,105263158
S	Aa				1	1							2	4	0,75
E	Aag					17							3	20	0,15
S	Em					1	2							3	0
M	Fv							31						31	0
A	Fe								7				2	9	0,222222222
P	F									25			1	26	0,038461538
E	P										5			5	0
A	Pr											6		6	0
D	Ss								1				22	23	0,956521739
A	Ss														
TOTAL		3	1	17	1	20	2	31	8	25	5	6	31	150	
% OMISSÃO		0	0	0	0	0,05	0	0	0,125	0	0	0	0,71		

Ag – Água; Al – Arbustos sobre Lateritas; Au – Área Urbana; Aa – Áreas Alagadas; Aag – Atividades Agropecuárias; Em - Exploração Mineral; Fv – Floresta de Várzea; Fe – Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme Explorada; F - Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme; P – Palmeiras; Pr – Praias; e Ss – Sucessão Secundária

Estimador Kappa

53,07%

O estimador da estatística Kappa (K) foi calculado através da seguinte equação:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^m n_{ii} - \sum_{i=1}^m (n_{i+} * n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^m (n_{i+} * n_{+i})}$$

onde:

m representou a dimensão da matriz quadrada (número de classes); **n_{ii}** representou o número de observações na linha **i** e coluna **i**; **n_{i+}** e **n_{+i}** são os totais marginais da linha **i** e da coluna **i**, respectivamente; e **N** refere-se ao número total de observações obtidas durante os trabalhos de campo na região da ilha.

A avaliação do desempenho do coeficiente Kappa pode ser vista na Tabela 4, de Landis & Koch (1977). Apresenta intervalos de \hat{K} associados a critérios de concordância; porém, sua utilização para dados de sensoriamento remoto está restrita à divisão arbitrária dos valores do coeficiente Kappa e pelo fato dela ter sido desenvolvida para a análise de diagnósticos clínicos. Contudo tal utilização tem sido freqüente na avaliação de elementos paisagísticos (Sales et al., 2000). Desta forma, esta dissertação segue as mesmas diretrizes, sendo o resultado final alcançado sobre a validação estatística do Mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra do ano de 2003, dentro de uma qualidade de classificação Boa (53,07%).

TABELA 4. QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO ASSOCIADA AOS VALORES DA ESTATÍSTICA KAPPA.

Valor de \hat{K}	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
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

Adaptada de Landis & Koch (1977, p.65).

4.2.3.2. Geologia, Geomorfologia e Neotectônica

O mapa de geologia e geomorfologia foram obtidos a partir de Monteiro et al. (1992), os quais foram digitalizados e ajustados para fins de integração de dados temáticos (Figura 11).

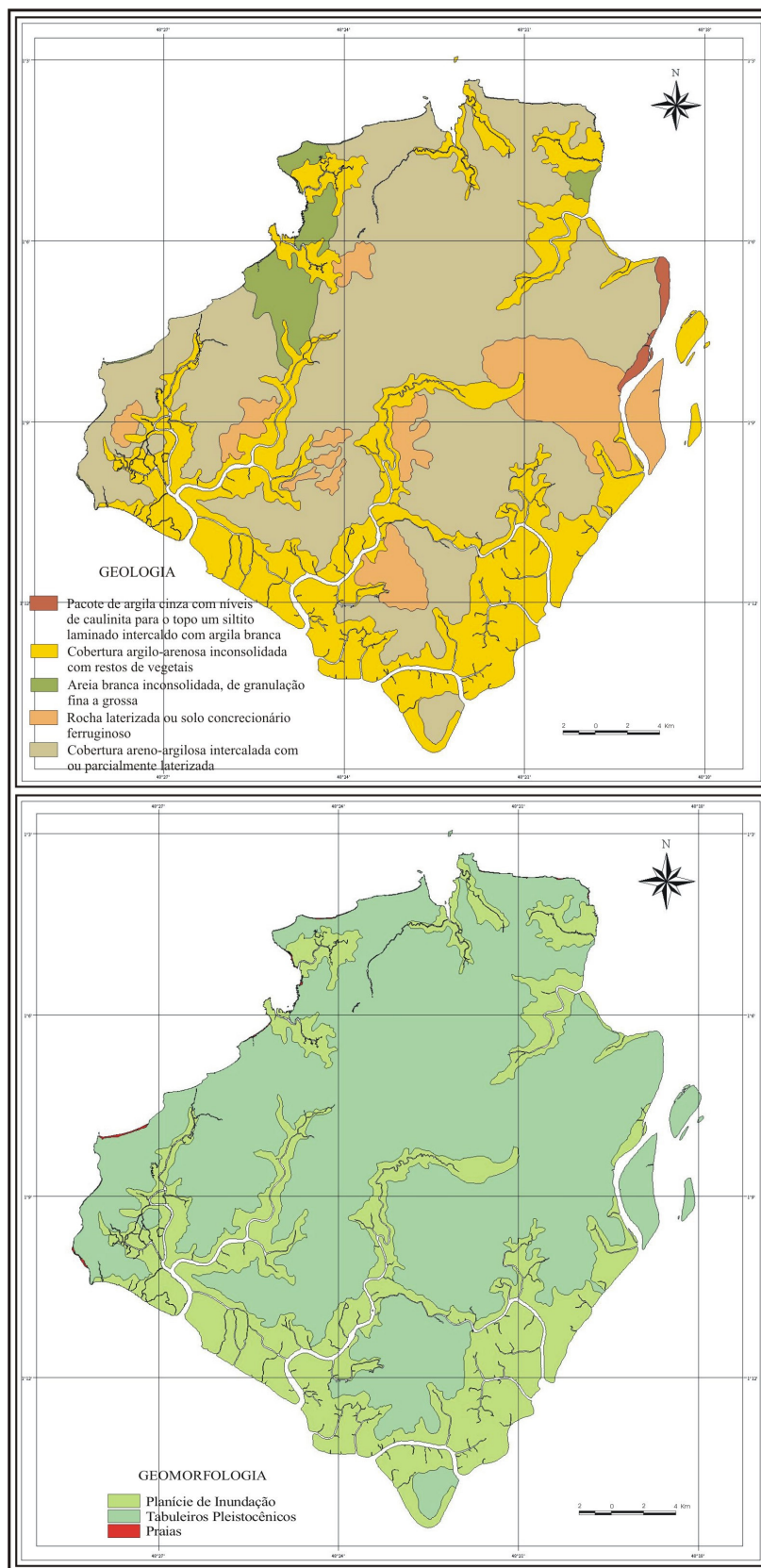


Fig. 11 – Mapa de geologia e geomorfologia.

O mapa de falhas (Neotectônica) é inédito, e foi gerado neste trabalho com base na análise dos padrões de drenagem da ilha, os quais foram posteriormente digitalizados e incorporados ao banco de dados. Deve-se ressaltar que se buscou uma interpretação diferente daquela apresentada por Igreja et al. (1990), uma vez que estes autores não consideraram a importância das zonas de direção E-W, bem como os modelos neotectônicos da placa Sul-Americana, propostos por Hasui (1990), Costa et al. (1996), Borges et al. (1997) e Bemerguy (1997) (Figura 12).

O descritivo de ocorrências das falhas na Ilha do Mosqueiro se dá por três feixes dispostos com orientação NE-SW, cortados por direções seqüências de falhas com orientações NW-SE. Existe ainda uma compartimentação direcional marcante que está situada em porção central, repetida ao sul da ilha, com orientação E-W.

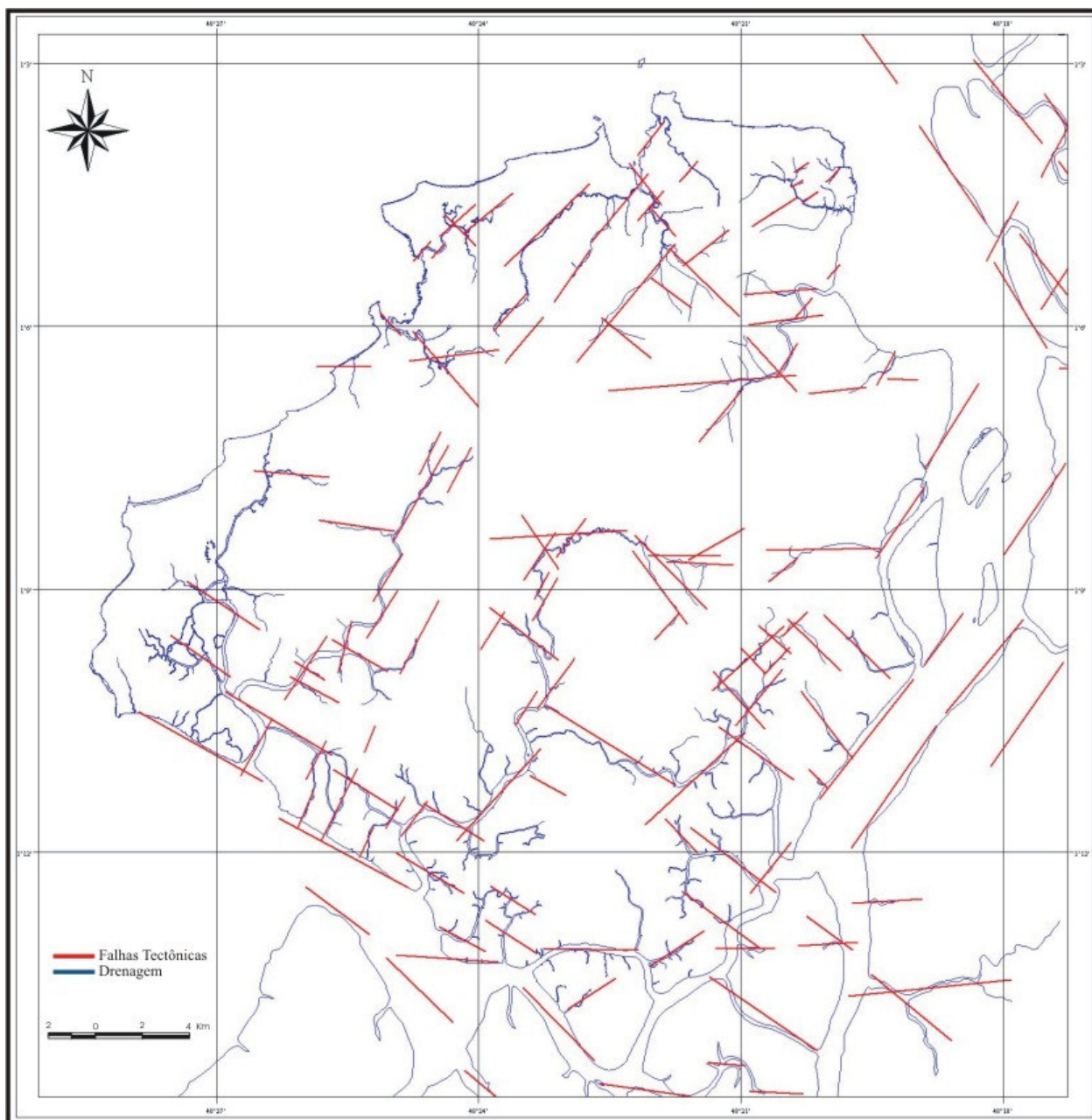


Fig. 12 – Mapa de falhas tectônicas.

Buscando uma melhor visualização estruturas neotectônicas no contexto da ilha, bem como potencializar os mecanismos atuais de entendimento da paisagem, sobrepôs-se as falhas tectônicas ao Modelado Digital da Ilha do Mosqueiro (Figura 13). Esta integração de dados abre portas para vertentes instrumentais de visualização do modelado paisagístico que permitiram fazer inferências aos processos interpretativos e de tomada de decisões.

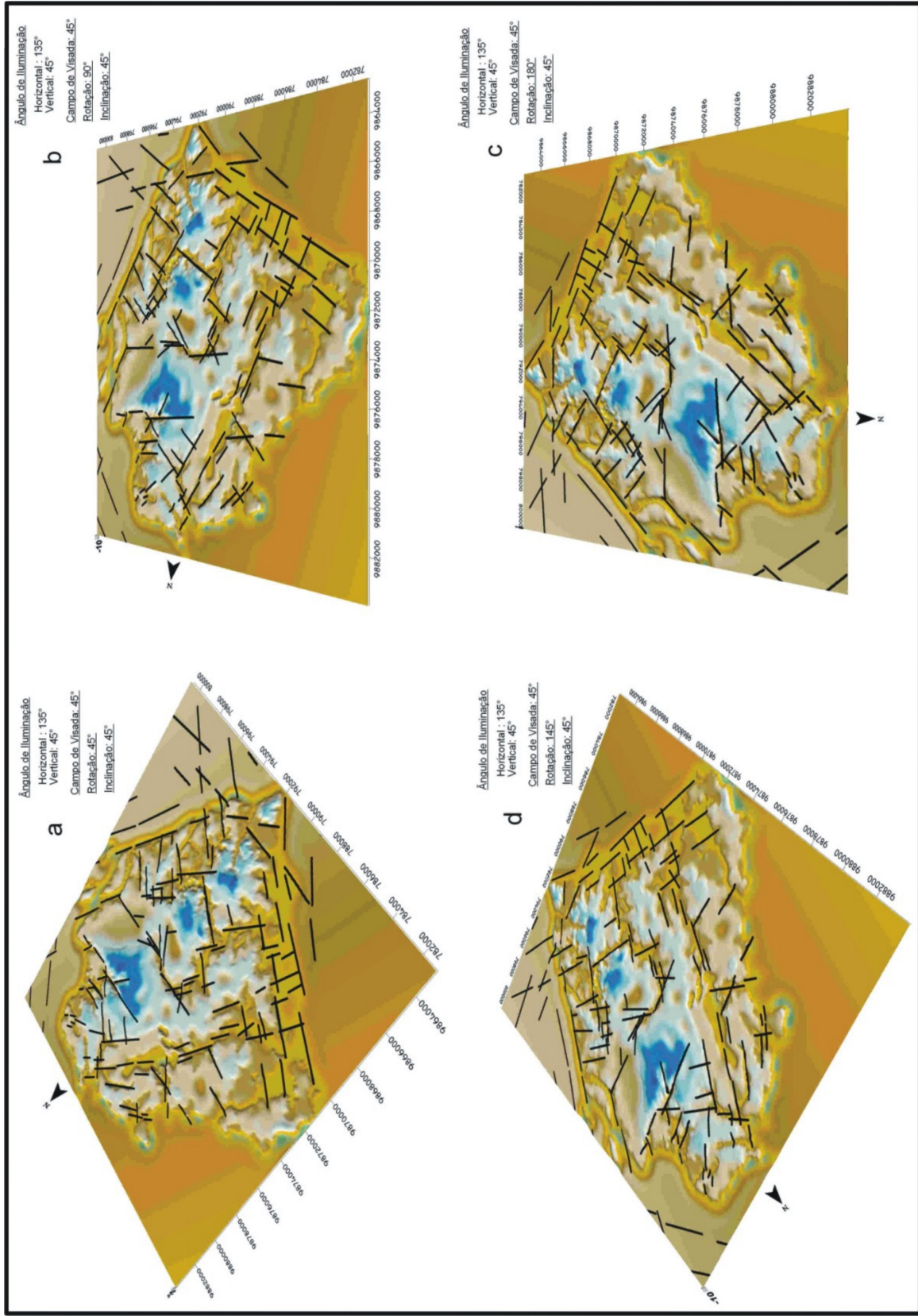


Fig. 13 - Diferentes visualizações das falhas tectônicas associadas ao Modelo Digital do Terreno da Ilha do Mosqueiro

4.2.3.3. Solos

O mapa de solos foi gerado a partir da digitalização e ajustado para fins de integração de dados temáticos dentro do banco de dados no SPRING (Figura 14). Este mapa é produto oriundo do levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da ilha, com auxílio de fotointerpretação, de Silva (1975). É importante ressaltar que o sistema de classificação de solos empregado segue as mesmas estabelecidas pelo o autor.

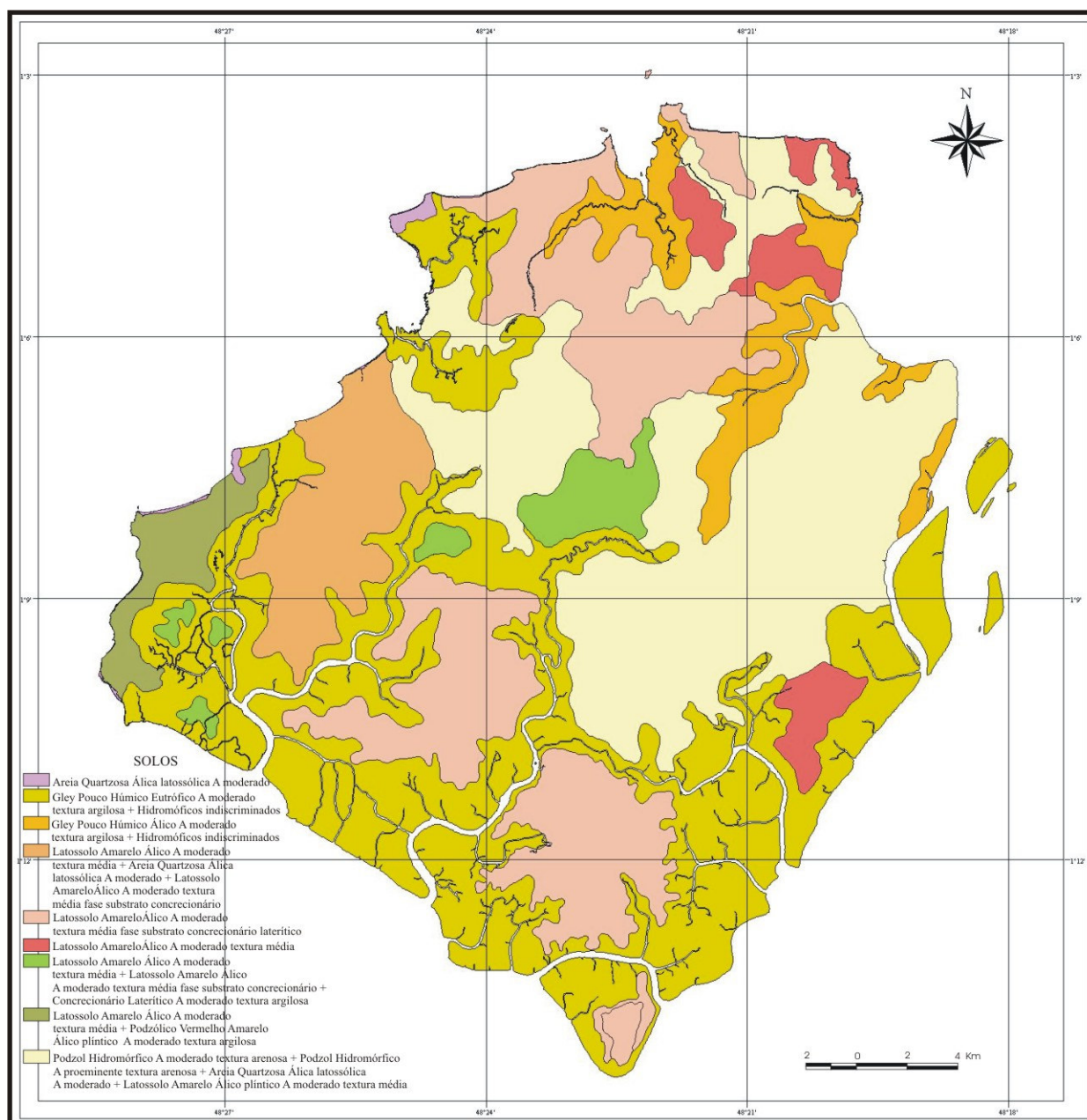


Fig. 14 – Mapa de solos.

4.2.4. Integração dos Produtos Obtidos (Tanto Compilados Quanto Gerados)

A estrutura de cruzamento das informações deu-se por meio de uma interface programável do SPRING, denominada LEGAL. Por meio dessa interface os diversos temas levantados (geologia, geomorfologia, solos e cobertura vegetal e uso da terra) foram cruzados tomando-se por base suas respectivas classes e/ou parâmetros, pré-estabelecidos, para se obter o grau de estabilidade da paisagem ao processo de erosão natural (vulnerabilidade à erosão), com base em Crepani et al. (1996). Foram atribuídos valores de ponderação para os vários constituintes paisagísticos, em particular àqueles litosféricos, os quais são apresentados na (Tabela 5).

TABELA 5. DEFINIÇÃO DE CADA COMPONENTE FÍSICO DA PAISAGEM QUANTO À EROSÃO.

Componentes	Classificação quanto à erosão		
	0	1	2
Rocha	Muito Resistente	Moderado	Pouco Resistente
Solo	Muito Resistente	Moderado	Pouco Resistente
Relevo	Não Favorece	Moderado	Favorece
Vegetação	Não Favorece	Moderado	Favorece

Adaptada de Voll (2001, p.4).

Segundo as determinações de Crepani et al. (1996), os aspectos que foram considerados para a caracterização das unidades homogêneas de estabilidade e vulnerabilidade foram as seguintes:

- Unidades Geológicas

A resistência à erosão das rochas que compõem uma unidade de paisagem natural é consequência do grau de coesão destas rochas. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. Dessa maneira, a reclassificação do mapa geológico (Figura 15) está baseada na Tabela 6.

TABELA 6. ASPECTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO PARA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À EROSÃO.

Classes	Aspectos para caracterização	Classificação quanto à erosão
Pacote de argila cinza com níveis de caulinita, para o topo um siltito laminado intercalado com argila branca.	Depósitos Quaternários	1,5
Cobertura argilo-arenosa inconsolidada com restos de vegetais.	Depósitos de Várzeas recentes	1,5
Areia branca inconsolidada, de granulação fina a grossa.	Depósitos de areias brancas do Pós-Barreiras	2,0
Rocha laterizada ou solo concrecionário ferruginoso.	Grupo Barreiras/ <i>StoneLines</i> Lateríticas	0,5
Cobertura areno-argilosa intercalada com ou parcialmente laterizada.	Depósitos Areno-Argilosos (quartzo grauvacas) ligados ao Pós-Barreiras	1,0

Adaptada de Borges & Angélica, 1986; e Monteiro et al., 1992.

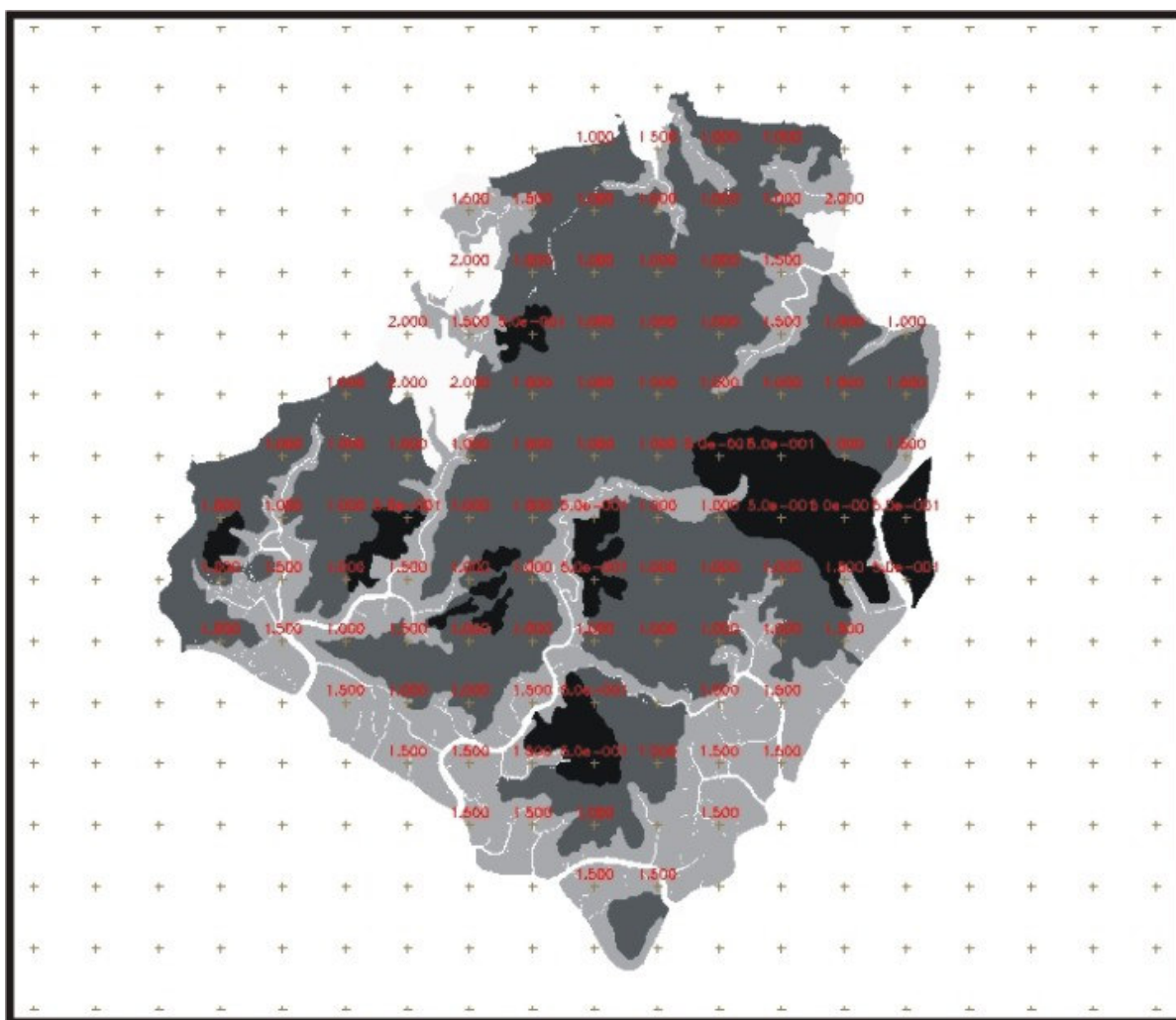


Fig. 15 – Mapa de geologia reclassificado quanto à erosão.

- Solos

A resistência dos solos ao processo de erosão é consequência da sua tipologia, bem como das suas características físicas, tais como, textura, estrutura, porosidade, permeabilidade, profundidade, e pedregosidade. Dessa maneira, a reclassificação do mapa de solos (Figura 16) está baseada na Tabela 7.

TABELA 7. ASPECTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO MAPA DE SOLOS PARA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À EROSÃO.

Simbologia	Classificação dos Solos	Classificação quanto à erosão
LA1	Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média fase substrato concrecionário laterítico	0,0
LA2	Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média	0,0
AQ	Areia Quartzosa Álica latossólica A moderado	2,0
LC	Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média + Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média fase substrato concrecionário + Concrecionário Laterítico A moderado textura argilosa	0,0
LP	Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média + Podólico Vermelho Amarelo Álico plíntico A moderado textura argilosa	1,0
LA	Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média + Areia Quartzosa Álica latossólica A moderado + Latossolo Amarelo Álico A moderado textura média fase substrato concrecionário	1,0
GH1	Gley Pouco Húmico Eutrófico A moderado textura argilosa + Hidromórficos indiscriminados	2,0
GH2	Gley Pouco Húmico Álico A moderado textura argilosa + Hidromórficos indiscriminados	2,0
PAL	Podzol Hidromórfico A moderado textura arenosa + Podzol Hidromórfico A proeminente textura arenosa + Areia Quartzosa Álica latossólica A moderado + Latossolo Amarelo Álico plíntico A moderado textura média	2,0

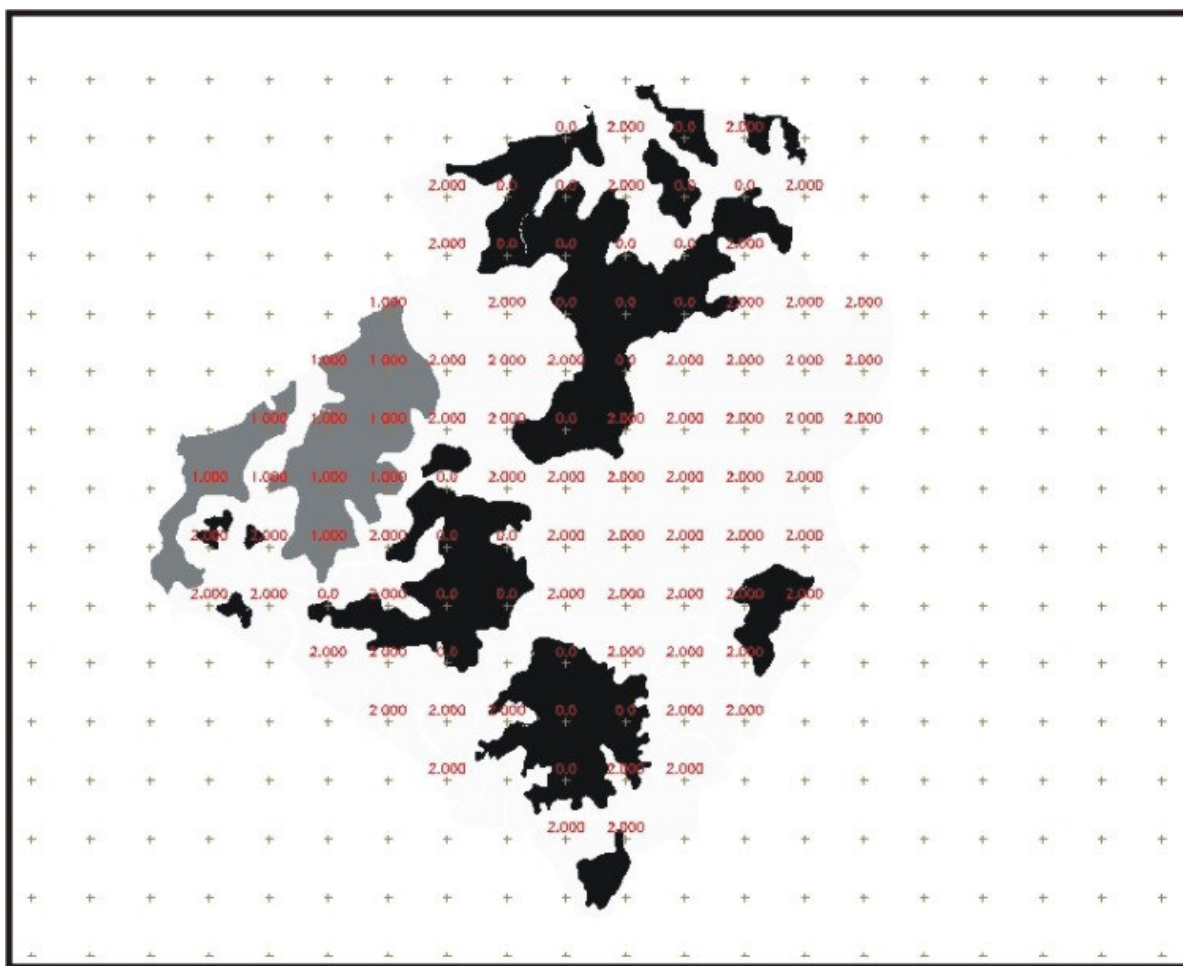


Fig. 16 – Mapa de solos reclassificado quanto à erosão.

- Relevo

A influência do relevo no processo de erosão é consequência da sua morfologia que se subdivide em morfografia, aspectos descritivos do terreno como sua aparência, e em morfometria, aspectos quantitativos do relevo como altitude, amplitude altimétrica, declividade e intensidade de dissecação pela drenagem. Dessa maneira, a reclassificação do mapa geomorfológico (Figura 17) está baseada na Tabela 8.

TABELA 8. ASPECTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO MAPA GEOMORFOLÓGICO PARA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À EROSIÃO.

Classes Morfométricas	Aspectos para caracterização		Classificação quanto à erosão
	Amplitude Altimétrica (m)	Declividade (%)	
Muito Baixa	0 – 10	< 2	0,0
Baixa	10 – 20	2 – 5	1,0
Baixa a Média	20 – 30	5 – 10	2,0

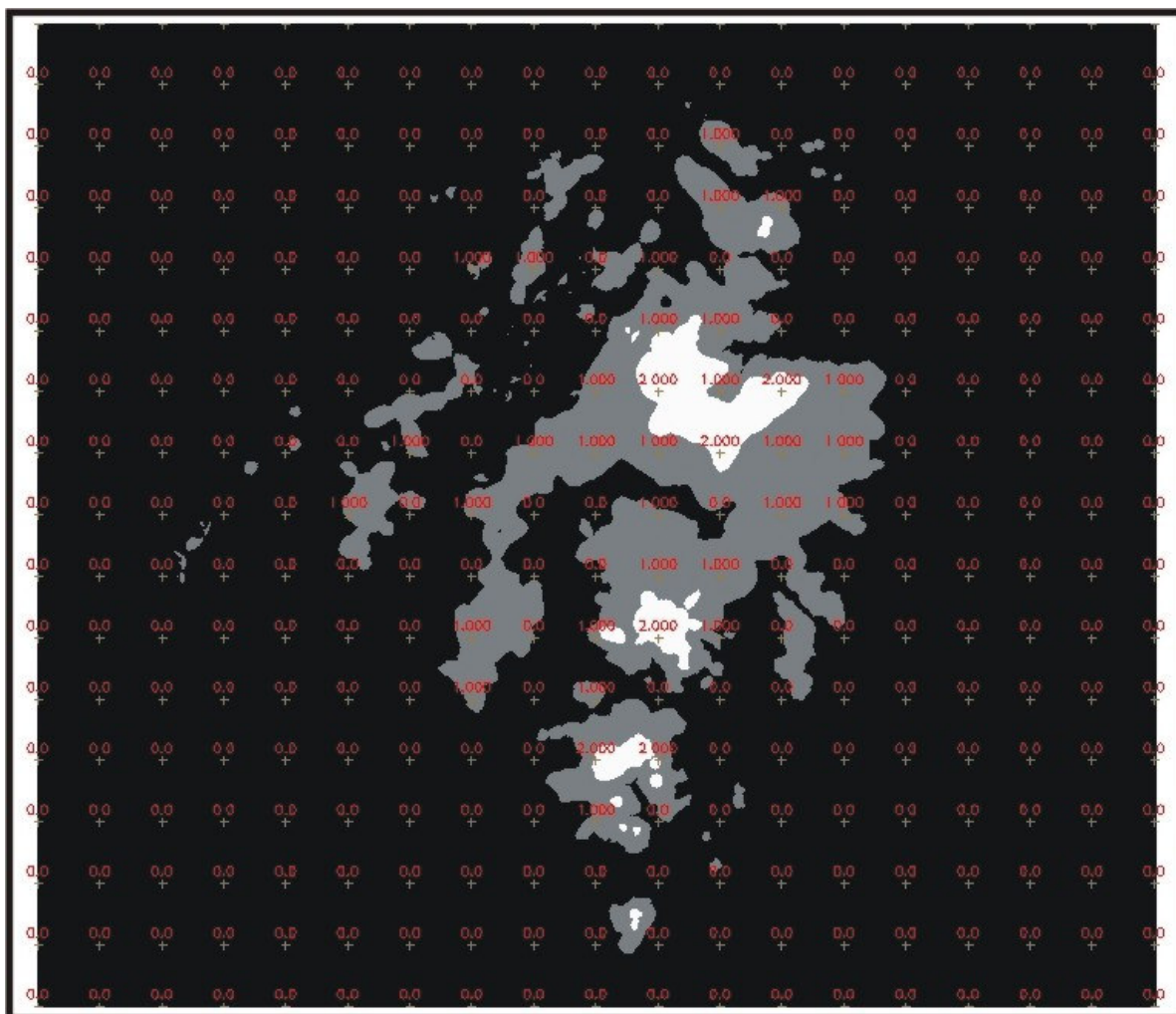


Fig. 17 – Mapa de amplitude altimétrica reclassificado quanto à erosão.

- Vegetação

A cobertura vegetal representa a defesa da unidade de paisagem contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo. A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras: evita o impacto direto contra o terreno das gotas de chuva

que promovem a desagregação das partículas; impede a compactação do solo que diminui a capacidade de absorção de água; e aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água. A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem determina o fator de proteção da unidade. Dessa maneira, a reclassificação do mapa de cobertura vegetal e uso da terra (Figura 18) está baseada na Tabela 9.

TABELA 9. ASPECTOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO MAPA DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA PARA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À EROSIÃO.

Classes	Classificação quanto à erosão
Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme	0,5
Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme Explorada	0,5
Floresta de Várzea	0,5
Sucessão Secundária	1,0
Palmeiras	1,0
Pasto	1,5
Plantio	1,5
Áreas Alagadas	0,0
Solo Exposto	2,0
Área Urbana	0,0
Praias	2,0
Água	0,0

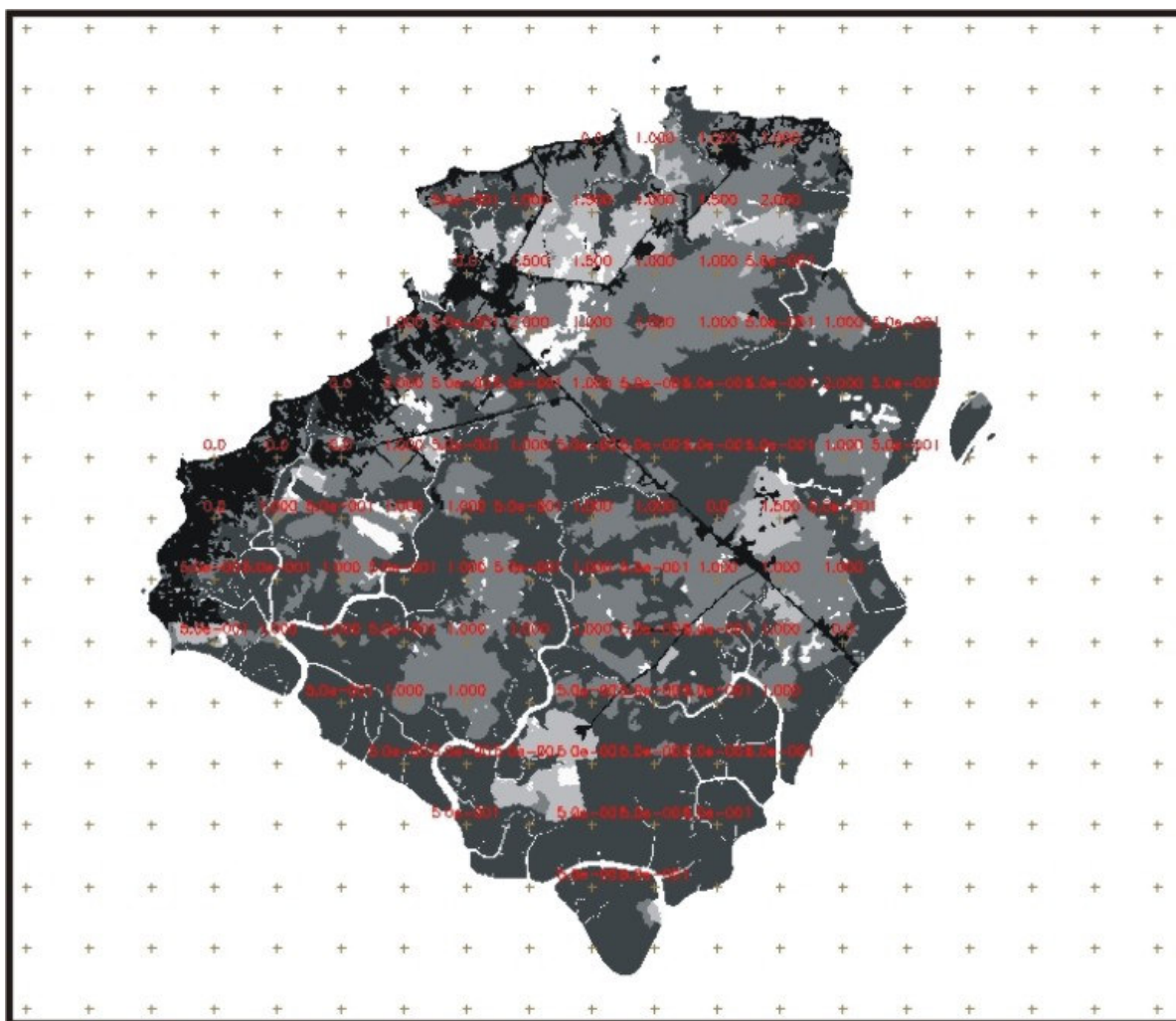


Fig. 18 – Mapa de cobertura vegetal e uso da terra reclassificado quanto à erosão.

A integração destes dados temáticos, que estão em escala de medida nominal, é feita segundo um modelo que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à erosão, distribuídas entre as situações de predomínio dos processos de pedogênese (às quais foram atribuídos valores próximos de 0,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuíram valores ao redor de 1,0) e situações de predomínio dos processos erosivos modificadores das formas de relevo, morfogênese (às quais se atribuíram valores próximos de 2,0) (Crepani et al., 1996).

O mapa integrado expressa a vulnerabilidade natural à erosão da paisagem pela atribuição de valores de estabilidade para cada unidade homogênea considerando o conceito de análise ecodinâmica de Tricart (1977). Assim, a estabilidade foi classificada conforme o observado na Tabela 10.

TABELA 10. VALORES DE ESTABILIDADE DE UNIDADES DE PAISAGEM.

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	0,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	1,0
Instável	Prevalece a morfogênese	2,0

Adaptada de Crepani et al. (1996, p.7).

O Quadro abaixo resume as 21 classes de vulnerabilidade/estabilidade usadas pelo modelo para integrar os dados temáticos. A representação destas classes em um mapa temático é feita por meio de cores e nomes, também mostradas na tabela.

Classes de Vulnerabilidade	Escala de Vulnerabilidade		Grau de Vulnerabilidade	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERMELHO	VERDE	AZUL	CORES
C1	↑ V U L N E R A B I L I D A D E ↓	2,0	VULNERÁVEL (Morfogênese)	255	0	0	
C2		1,9		255	51	0	
C3		1,8		255	102	0	
C4		1,7		255	153	0	
C5		1,6		255	204	0	
C6		1,5	MODERAMENTE VULNERÁVEL	255	255	0	
C7		1,4		204	255	0	
C8		1,3		153	255	0	
C9		1,2	MEDIANAMENTE VULNERÁVEL/ESTÁVEL (Morfogênese/Pedogênese)	102	255	0	
C10		1,1		51	255	0	
C11		1,0		0	255	0	
C12		0,9		0	255	51	
C13		0,8	MODERAMENTE ESTÁVEL	0	255	102	
C14		0,7		0	255	153	
C15		0,6		0	255	204	
C16		0,5		0	255	255	
C17		0,4		0	204	255	
C18		0,3	ESTÁVEL (Pedogênese)	0	153	255	
C19		0,2		0	102	255	
C20		0,1		0	51	255	
C21		0,0		0	0	255	

QUADRO 1. CLASSES DE VULNERABILIDADE À EROÇÃO NATURAL
(Adaptado de Crepani et al., 1996).

5. ECOLOGIA DA PAISAGEM DA ILHA DO MOSQUEIRO

5.1. LANDCOVER E LANDUSE

Ao longo do processo de interpretação visual das imagens Landsat, foi possível levantar alguns pontos importantes em relação ao início do processo, bem como os aspectos relacionados à identificação das classes do Mapa de Evolução Antrópica.

O início do processo interpretativo começou com a definição da imagem que seria tida como referência (imagem TM/Landsat-5 de 17/07/1986) e do esquema de classificação. A definição da imagem seguiu um critério de análise minuciosa, com base em dados informativos de campo e padrões espectrais extraídos multitemporalmente. Para se alcançar o resultado esperado optou-se aqui por lançar mão dos recursos computacionais (processamento digital de imagens) para agilizar o processo interpretativo sobre as imagens. O primeiro passo foi a restauração da imagem original com *pixels* de 30 m para 15 m (Figura 19). Este procedimento foi importante para auxiliar o processo interpretativo.

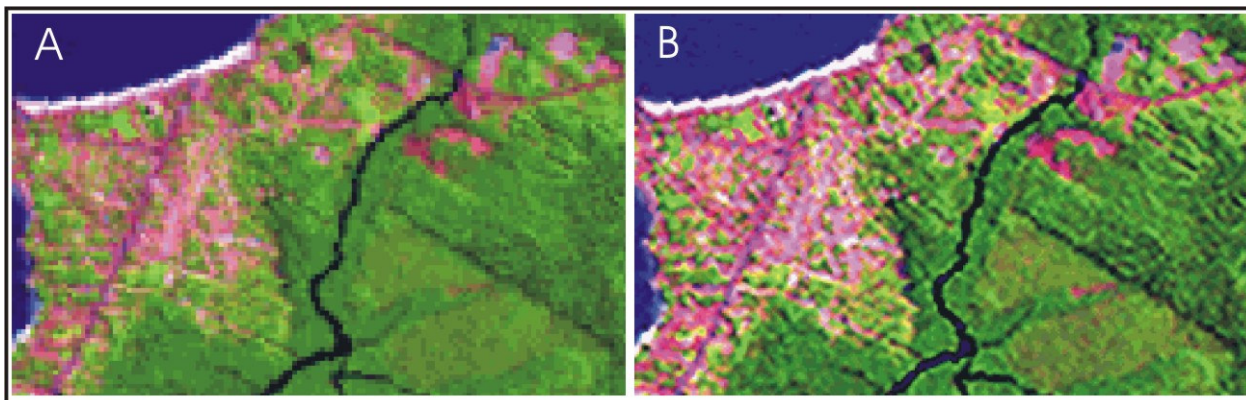


Fig. 19 – Imagem do satélite Landsat restaurada de *pixels* de 30 m (A) para 15 m (B).

Em seguida, aplicou-se uma segmentação para se definir padrões espectrais iniciais para, posteriormente, realizar-se a coleta das amostras de cada classe representada na imagem para que o classificador adotado (Battacharya) efetivasse a classificação sobre a imagem (Figura 20).

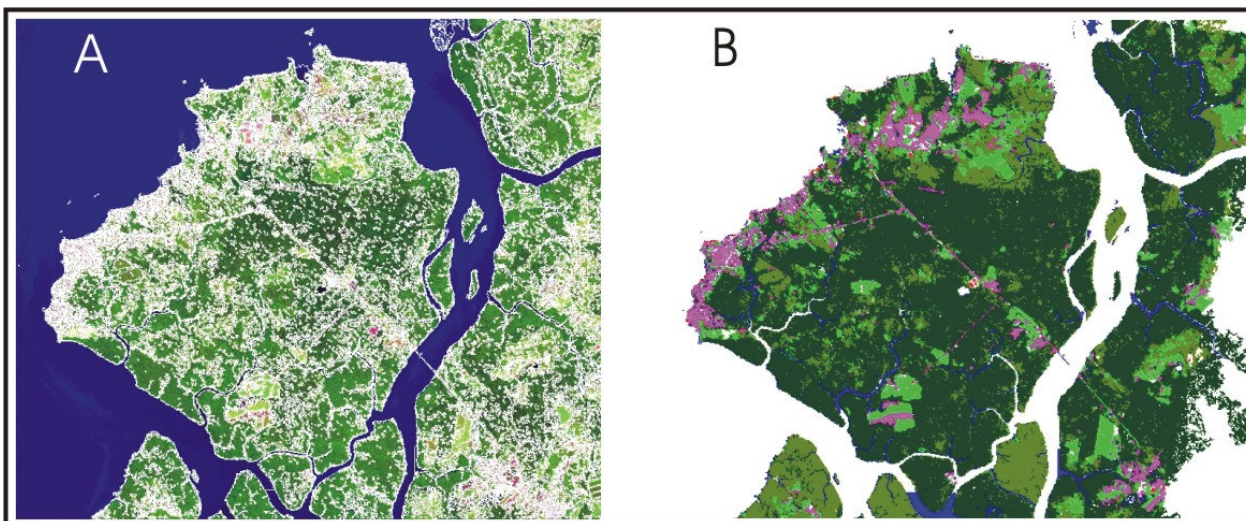


Fig. 20 – Imagem do satélite Landsat segmentada (A) e posteriormente classificada digitalmente (B).

Notou-se que com esse procedimento o tempo para se classificar as três imagens foi substancialmente reduzido. Este aspecto pode ser analisado com base na redução dos processos de edição vetoriais para a definição das classes, além de ter um importante fator que é reduzir o acúmulo de distorções espaciais, que é comum quando se interpreta analogicamente, digitaliza-se e edita-se, posteriormente.

De qualquer maneira, é importante frisar que a aplicação do recurso de algoritmos (classificadores) para a geração de um mapa não condiciona o resultado ao produto final. Essa observação é relevante e mostra a necessidade do processo interpretativo, onde o homem é condição indispensável, ser mantido. A informação contextualizada da paisagem, fruto de uma somatória de elementos que a compõem, não pode ser abortada, haja vista que os classificadores digitais trabalham com a informação espectral registrada na imagem. Isto pode ser observado quando se compara o resultado da classificação com o produto final (Figura 21).

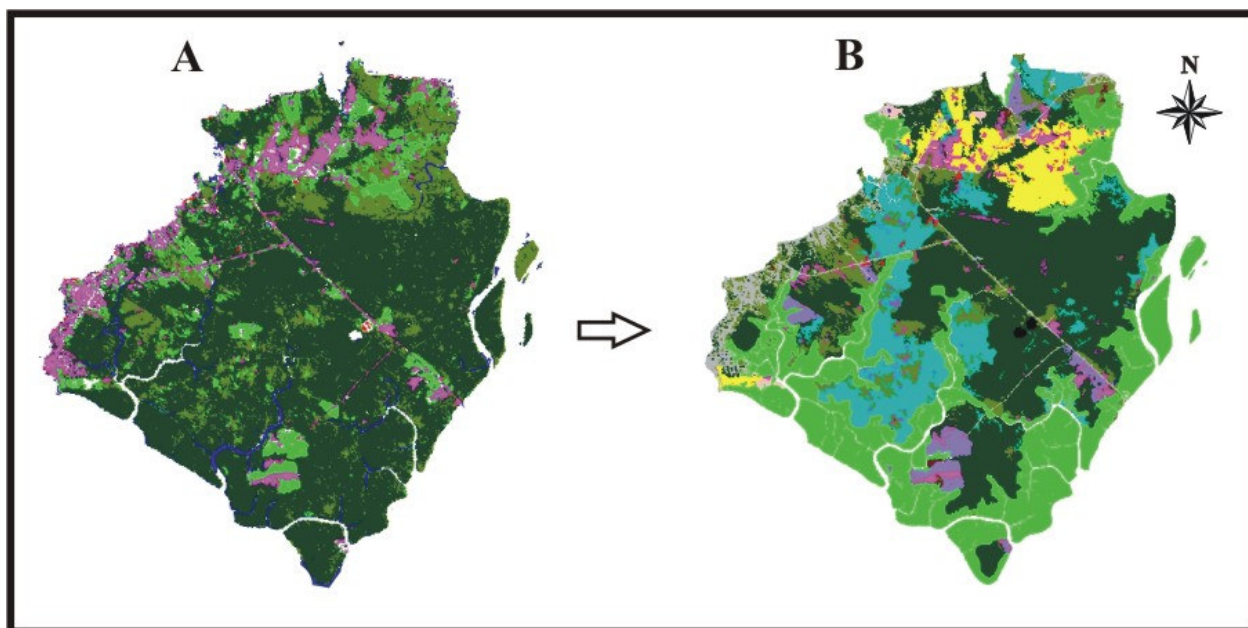


Fig. 21 – Classes reinterpretadas a partir da classificação digital de Battacharya.

Na comparação dos resultados fica clara a necessidade de se inferir informações descritivas de reconhecimento temático, as quais o classificador não considerou. Neste caso, as áreas consideradas Floresta de Várzea não foram separadas pelo classificador, por considerar ter a mesma resposta espectral, além de outras áreas que foram consideradas, depois do processo interpretativo, como Floresta Explorada.

A partir da interpretação finalizada sobre a imagem de 1986, manteve-se a base e realizaram-se as sobreposições avançando no tempo e no processo interpretativo (edição vetorial) para dimensionar a evolução antrópica (Figura 22).

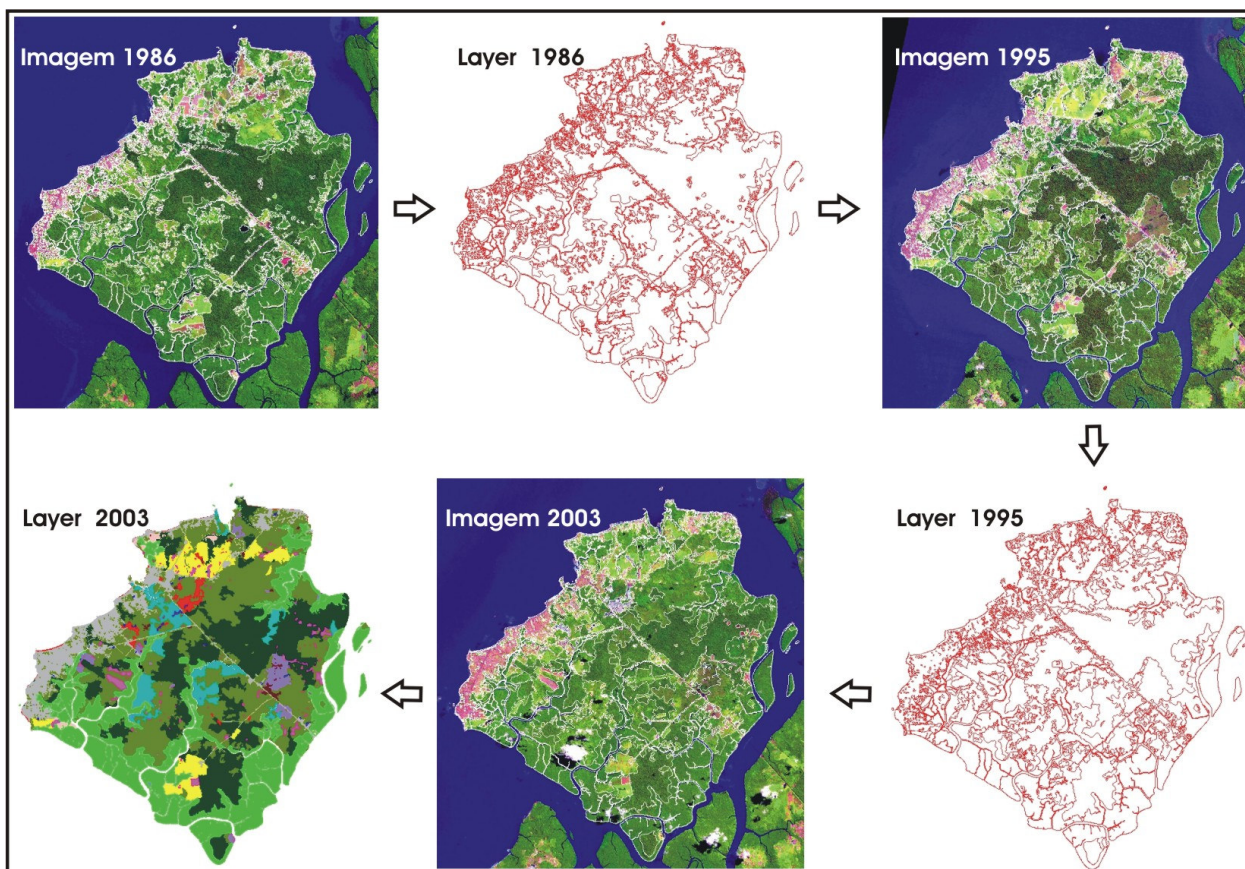


Fig. 22 – Processo interpretativo para geração do mapa de evolução antrópica.

As classes previamente definidas para a geração do produto interpretativo final foram: Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme Explorada, Sucessão Secundária, Palmeiras, Plantio, Pasto, Áreas Alagadas, Solo Exposto, Área Urbana, Extração Mineral, Praias, e Água. Com os trabalhos de campo foi possível identificar os diversos padrões espectrais registrados na imagem com a verdade terrestre. A correlação pode ser visualizada no Quadro 2.

CLASSES TEMÁTICAS	IMAGEM	ORTOFOTO	CAMPO
Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme			
Floresta Omb. Densa de Terra Firme Explorada			
Floresta de Várzea			
Sucessão Secundária			
Plantio - Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)			
Plantio - Côco (<i>Cocos nucifera</i>)			
Solo Exposto			
Pasto			
Palmeira - Açai (<i>Euterpe Oleracea</i>)			
Áreas Alagadas			
Extração Mineral			
Área Urbana			
Praias			
Água			
Arbustos sobre Palmeiras			

QUADRO 2. CORRELAÇÃO DOS PADRÕES ESPECTRAIS DA IMAGEM COM A ORTOFOTO E O CAMPO (VERDADE TERRESTRE).

Estas classes, posteriormente, foram reclassificadas com o objetivo de se obter os padrões das atividades impostas na ilha e reduzir assim a quantidade de classes para a avaliação do quadro de evolução antrópica da Ilha do Mosqueiro (Figura 23).

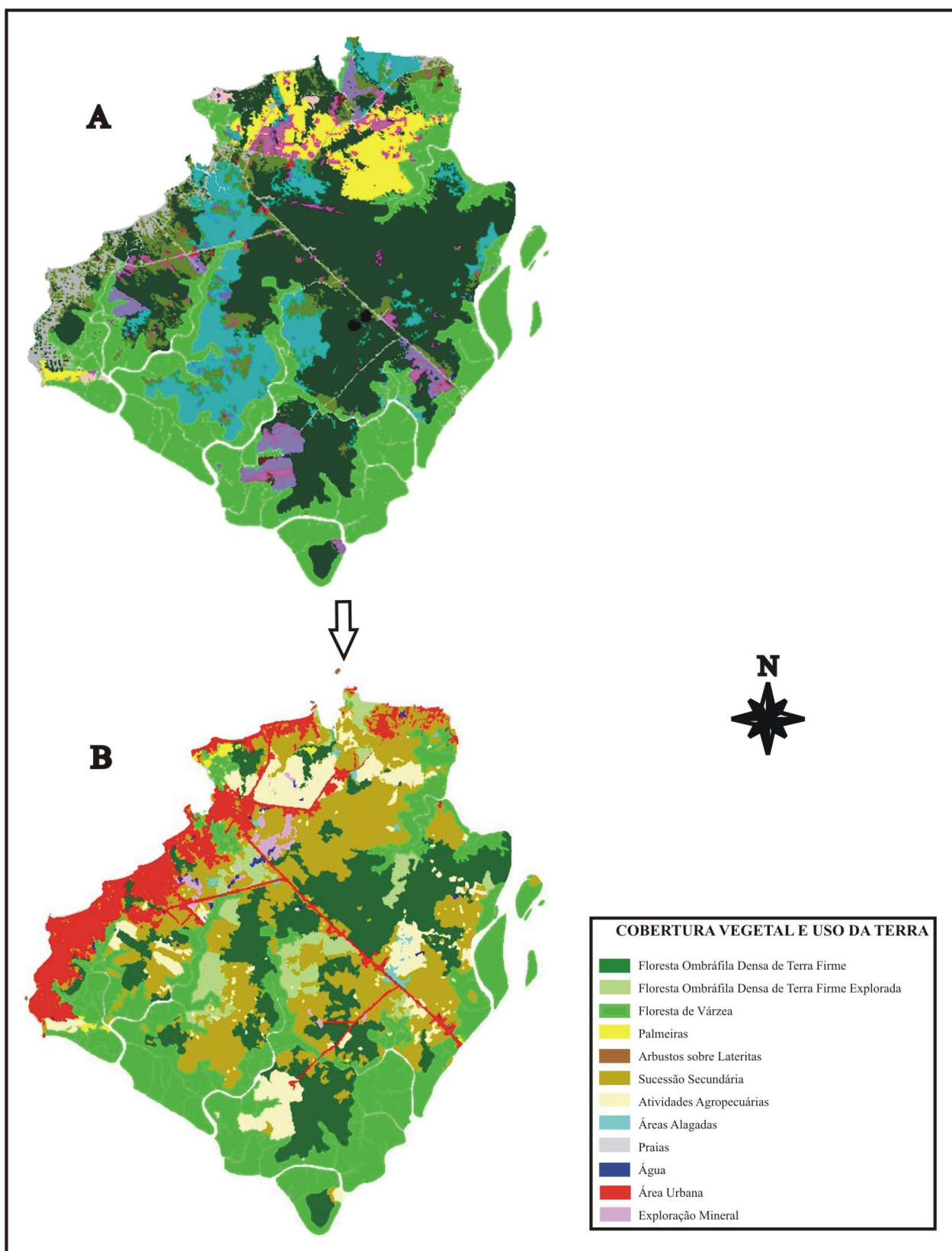


Fig. 23 – Reclassificação das classes interpretadas em 2003 para categorização das informações.

5.2. EVOLUÇÃO ANTRÓPICA

A seguir será mostrado a evolução antrópica da Ilha do Mosqueiro, com base nos mapas temáticos de cobertura vegetal e uso da terra, obtidos sobre as imagens do satélite Landsat nos anos de 1986, 1995 e 2003 (Figura 24). Ressalvas são importantes para este item, tendo em vista a aplicação de métricas da paisagem como suporte qualitativo à análise dos parâmetros paisagem, substancialmente relevantes aos estudos sobre a Ecologia da Paisagem. É a primeira tentativa de utilização de métricas voltadas para este fim na Ilha do Mosqueiro, assim como faz parte de um grupo muito reduzido de trabalhos no Estado do Pará, dentre os quais destaca-se o de Pereira et al. (2001).

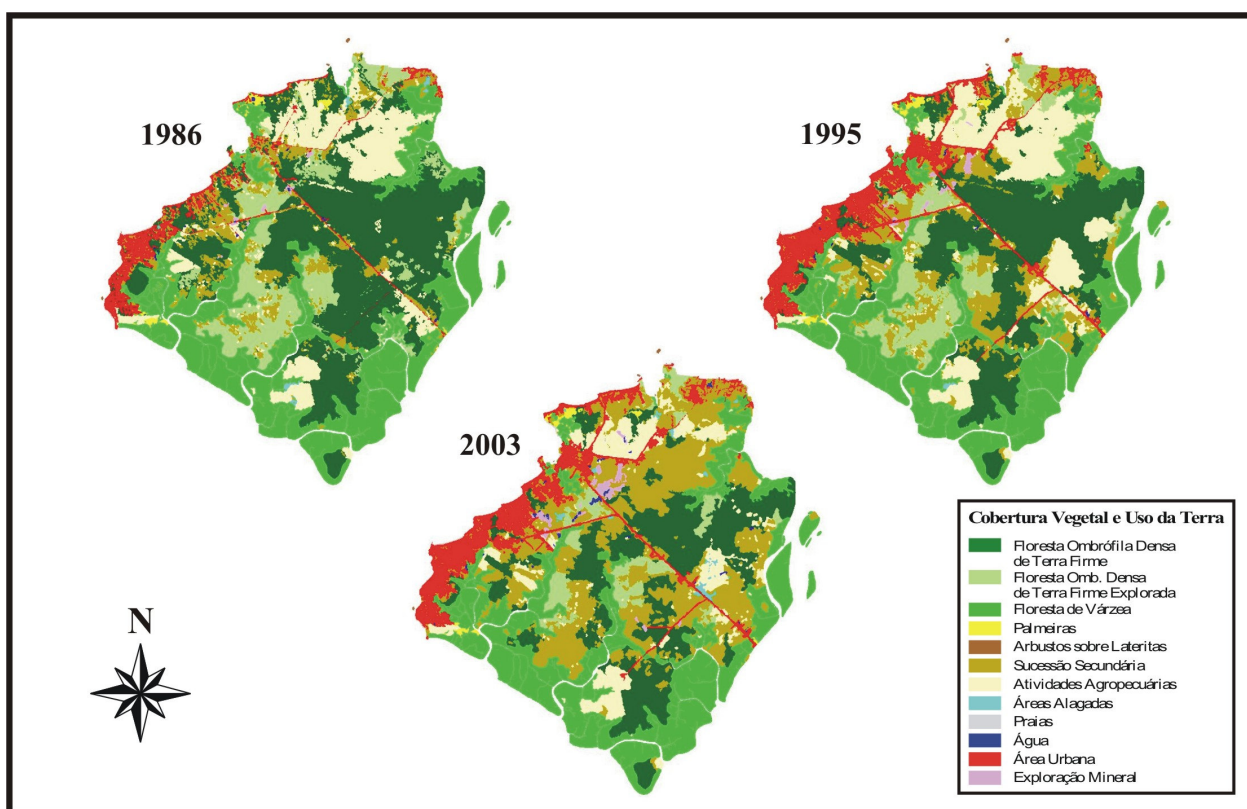


Fig. 24 – Evolução antrópica ao longo de 17 anos.

Ao se obter o resultado final demonstrando a evolução antrópica logo se percebe que a classe Área Urbana, que não envolve somente a área construída, mais também áreas em expansão, caracterizadas por áreas abertas (solo exposto) marginalmente às áreas construídas, avançou ao longo de 17 anos. Os quantitativos desse avanço podem ser visualizados no gráfico abaixo.

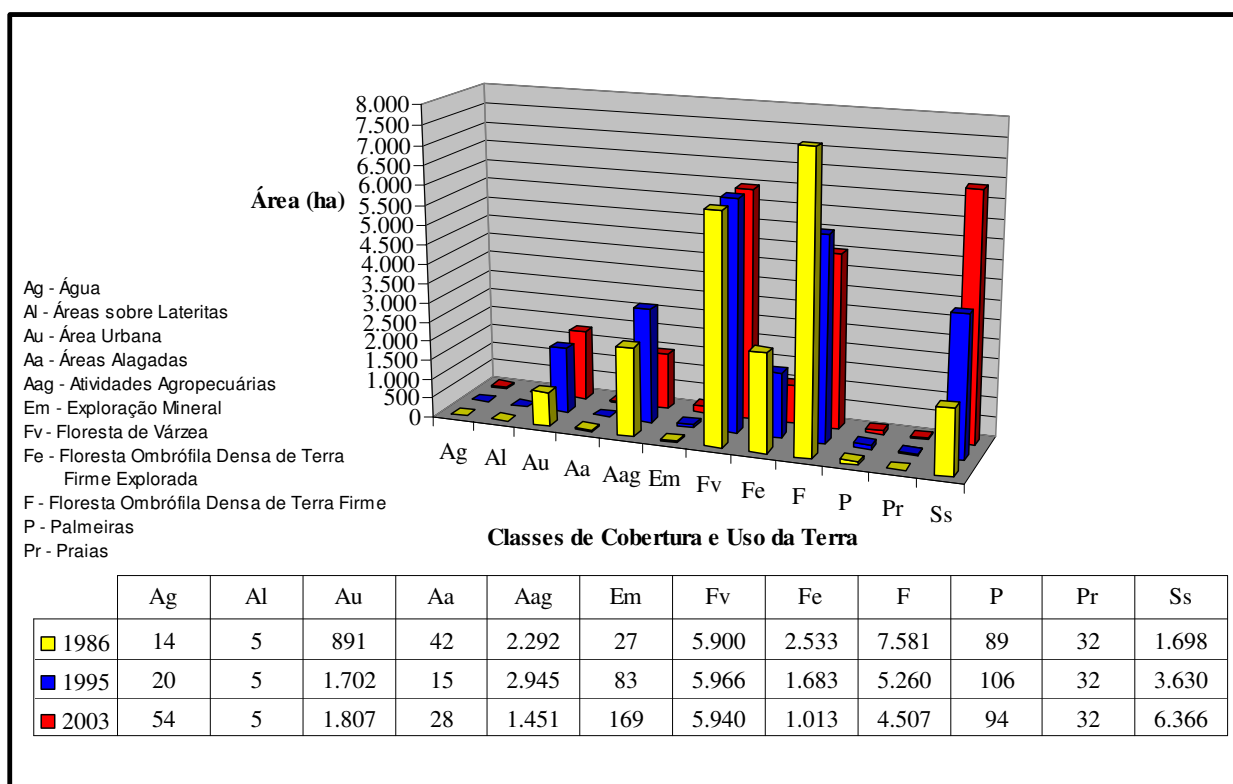


GRÁFICO 1. QUANTITATIVOS DE ÁREAS DAS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.

Ao se analisar o Gráfico 1 percebe-se que a Área Urbana mais que dobrou em área. A Exploração Mineral (extração de areia, barro e piçarra) aumentou seis vezes em área. Houve redução de 40,5% da vegetação original de terra firme (Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme) em relação ao ano de 1986.

Os resultados refletem um ordenamento de ocupação e exploração da paisagem sem precedentes e estabelece um paralelo com o modelo macro de ocupação da Amazônia. Fica clara então a necessidade de remontar uma análise mais criteriosa e veemente na avaliação das políticas de desenvolvimento para a Ilha do Mosqueiro.

Quando se considera a Floresta de Várzea, salienta-se sua preservação ao longo dos 17 anos e, por conseqüência, desde sua última origem de formação paisagística que remonta ao Pleistoceno. Diante desta avaliação, é mister destacar que uma boa contribuição deste trabalho seria a de se estimular os poderes públicos e aqueles do terceiro setor a propor políticas que conduzissem essas regiões de coberturas preservadas a categoria de APA (Área de Proteção

Ambiental).

Em oposição a este perfil vegetativo, ganha-se destaque quando se analisa a degradação da Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, onde observa-se que o sistema adotado para se chegar a este quadro atual passa por duas fases. A primeira delas é a atividade econômica imposta na classe, isto é, as áreas de floresta são primeiramente atingidas pela exploração madeireira, principalmente por corte seletivo das árvores de valor econômico. A segunda fase envolve a transformação desta fitofisionomia para atividades agropecuárias, aqui representadas por um sistema que engloba a derrubada, queima e, posteriormente, a constituição de pasto ou plantio de culturas.

A análise degradacional desta classe leva à sugestão de que é preciso se adotar medidas para preservação dos remanescentes desta classe como critério da manutenção da biota característica da Ilha do Mosqueiro. Outro aspecto a se considerar é que tipologicamente os solos, que são o substrato de grande parte dessas áreas de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, são resultado da associação de Podzólicos Hidromórficos mais Areia Quartzosa Álica latossólica mais Latossolo Amarelo Álico plúntico, o que as torna de inestimável valor a sua manutenção, pois o processo de reconstituição da vegetação é extremamente dificultado por se tratar de solos sujeitos a processos de lixiviação impactantes, além do que têm restrições para a condução de atividades agrícolas.

O aumento das áreas de Sucessão Secundária (capoeira) foi caracterizado pela expansão urbana, abandono das áreas destinadas a pasto e plantações, e retomada de crescimento vegetativo em áreas de solo exposto de extração de areia, barro e piçarra.

O aspecto área não é o único a ser considerado. Uma análise no contexto distributivo das classes mostra outras vertentes analíticas. A espacialização das classes e fragmentação da paisagem é de extrema importância como constituinte qualitativo aos dados quantitativos.

A configuração dos elementos espaciais que compõem a paisagem definem-na em sua particularidade (padrão). Um modelo popular conveniente para conceituar e representar os elementos num padrão categórico de um mapa é sabido como uma matriz cujo modelo se baseia em manchas e corredores (Forman, 1995).

Dentro de uma perspectiva ecológica, as manchas representam áreas relativamente discretas (território espacial) ou períodos (território temporal) de condições de ambiente

relativamente homogêneos, onde os limites das manchas são distribuídos por descontinuidades e cujos ambientes levam em consideração seus arredores e magnitudes que são relevantes aos organismos ou fenômenos ecológicos em apreciação (Fragstats, 2005). Neste contexto conceitual, pôde-se avaliar como as manchas de cada classe, definida na paisagem da Ilha do Mosqueiro, se apresentam.

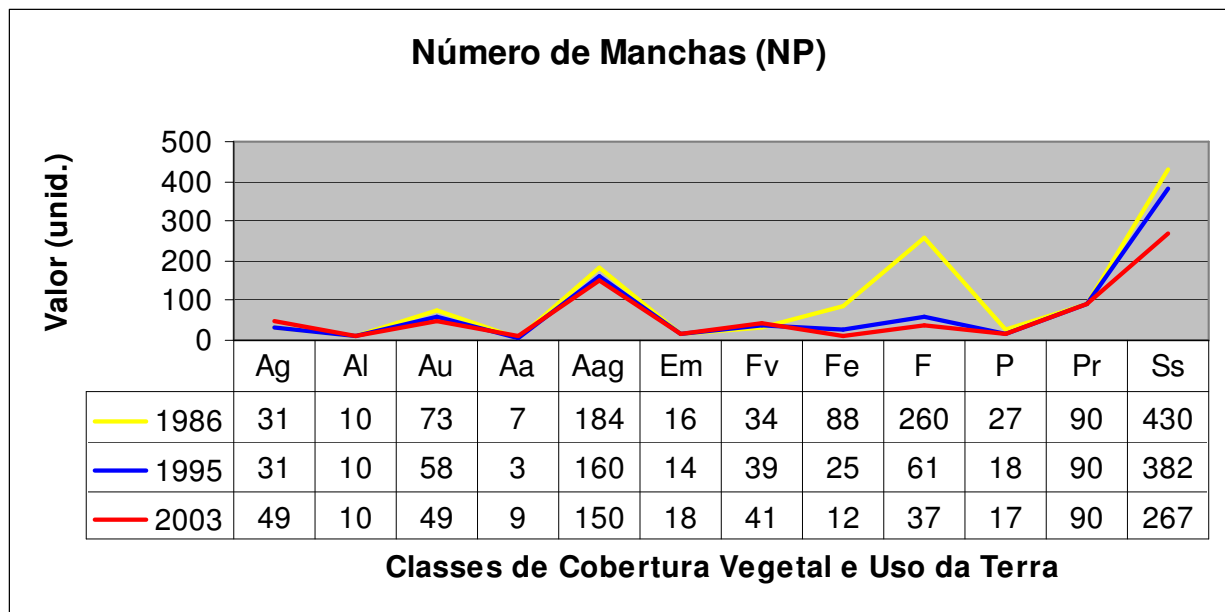


GRÁFICO 2. QUANTITATIVOS DAS MANCHAS DE CADA CLASSE DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.

O gráfico demonstra que a Área Urbana evolui espacialmente de uma condição mais fragmentada e dispersa (73 manchas), que mantinha alguns habitats naturais remanescentes da vegetação natural, para um quadro urbano bem compactado (49 manchas) e seguramente de impactos ambientais ainda não conhecidos ou descritos.

A classe Sucessão Secundária chama atenção nas mesmas condições na análise da classe anterior, pois a redução do quantitativo de manchas está inversamente ligada ao aumento de área da classe e diretamente proporcional à compactação da classe.

O oposto acontece com a classe Floreta Ombrófila Densa de Terra Firme, onde a análise quantitativa de área soma-se a condição de compactação da mancha e evolui decrescentemente de uma situação de 260 manchas em 1986 para redução de 61 manchas em 1995 (na ordem de 76,5%) e de 37 manchas em 2003 (na ordem de 85,7%). Estes resultados levam a uma avaliação

sobre o Índice de Conectividade (CONNECT) da classe, reforçando a idéia de fragmentação e trazendo à tona a necessidade de manutenção de corredores ecológicos, pois a forma e contexto desses corredores estruturais podem funcionar como habitat, condutos de dispersão, ou barreiras ao avanço antrópico imposto. O Gráfico 3 traz uma noção desse tipo de análise.

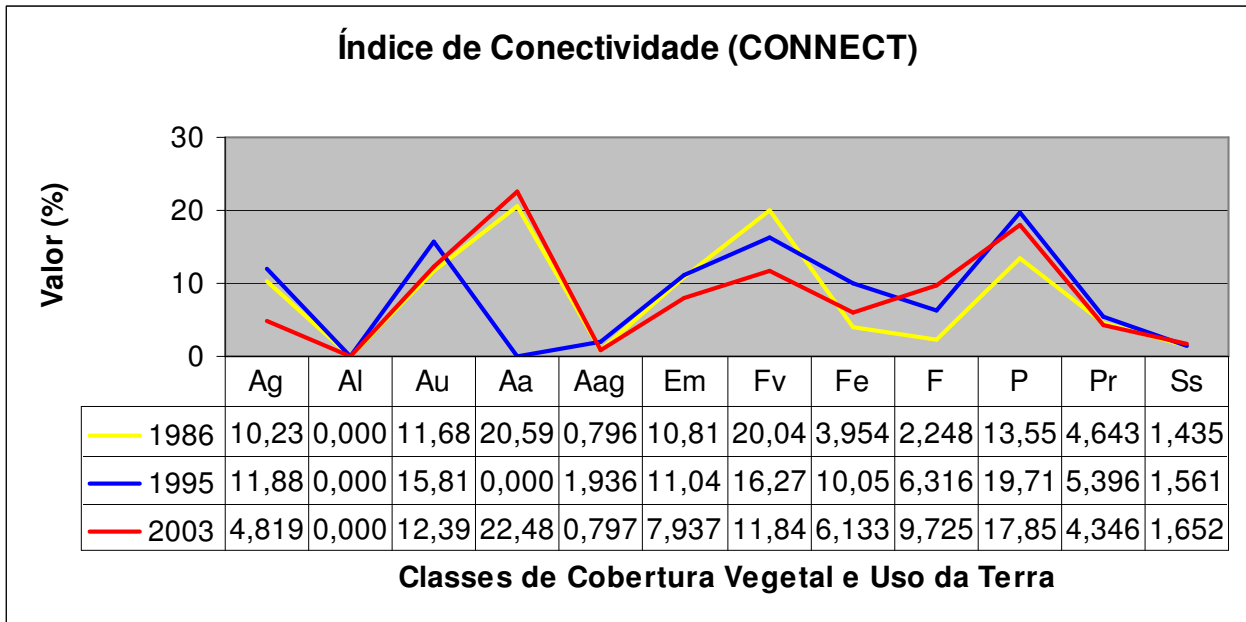


GRÁFICO 3. ÍNDICE DE CONECTIVIDADE DAS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA.

A conectividade refere-se ao grau de como a paisagem facilita ou impede o fluxo ecológico (e.g., o movimento de organismos entre manchas de habitats com conseqüências na razão de movimento entre populações locais e metapopulações). Pode ser definida como o número funcional de ligação (probabilidade), onde cada par de manchas qualquer é ligado ou não. O cálculo de conectividade baseou-se em um limiar de distância específico de 100 m e resultou em um percentual máximo de possibilidade de conectividade dado o número de manchas da classe. Uma abrupta mudança na conectividade da paisagem indica perda de habitat e fragmentação da mesma. Isto traz forte viés ao declínio da dinâmica das populações e, em última análise, a extinção de populações típicas da paisagem.

A necessidade de corredores ecológicos salienta o entendimento de funções importantes na manutenção da diversidade da fauna e flora. Segundo Forman (1995), basicamente quatro tipos de funções importantes podem ser destacadas para os corredores ecológicos:

1) **Como habitat:** fornece sobrevivência, natalidade e movimento, podendo ser temporário ou permanente. Os corredores de habitat passivamente aumentam a conectividade da paisagem para um organismo foco.

2) **Como elemento facilitador da paisagem:** fornece sobrevivência e movimento, mas não necessariamente natalidade, entre outras manchas de habitat. Este tipo de corredor ativamente aumenta a conectividade da paisagem para um organismo foco.

3) **Como filtro:** proíbe ou impede o fluxo de energia, nutrientes minerais e espécies de e/ou do outro lado (fluxos perpendiculares ao comprimento do corredor). Os corredores filtros ativamente diminuem a conectividade da matriz (tipos de elementos dominantes da paisagem) para um processo focal.

4) **Como fonte abiótica e de efeitos bióticos no elemento matriz adjacente da paisagem:** modifica a entrada de energia, nutrientes minerais, espécies de e/ou à matriz adjacente e assim afeta o funcionamento da matriz adjacente.

Quando se faz uma análise dos pontos críticos das classes reinantes na paisagem da Ilha do Mosqueiro, pode-se expor uma avaliação das perspectivas ou possibilidades de contágio destas classes, a fim de buscar o cenário futuro desta paisagem. Neste sentido, julgou-se interessante analisar esta componente. O Gráfico 4 mostra esta análise.

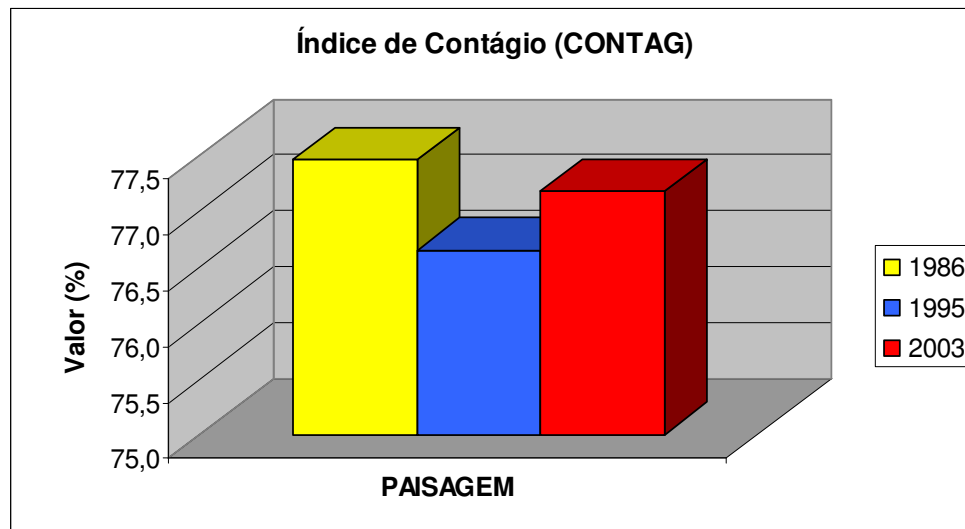


GRÁFICO 4. ÍNDICE DE CONTÁGIO DA PAISAGEM DA ILHA DO MOSQUEIRO.

O contágio refere à tendência de tipos de remendo espacialmente serem agregados, isto é, transformar-se em um grande agregado ou “contagiosa” distribuição. O contágio ignora manchas em si, e mede a extensão à qual manchas de classes semelhantes são agregadas.

Fica claro nesta análise um quadro invertido de avanço de determinada classe sobre a outra. Trata-se da crescente sobreposição da classe Sucessão Secundária em detrimento da classe Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme. Ou seja, inicia-se por uma condição reinante de contágio em relação à classe de floresta em 1986, passa por uma fase de equilíbrio em 1995 e chega a condição de inversão para domínio da paisagem em 2003. A Figura 24 ilustra bem esta situação, indicando que a paisagem pode caminhar para situações de descaracterização completa, o que seria lastimável para a importância que a Ilha do Mosqueiro exerce tanto no aspecto ambiental, como turístico. O que se pretende aqui não é equivaler o visível com o quantitativo, mas sim expor os resultados alarmantes da evolução antrópica (Tabela 11).

TABELA 11. AVALIAÇÃO E SIMULAÇÃO QUANTITATIVA ANUAL DA EVOLUÇÃO ANTRÓPICA AO LONGO DE 17 ANOS.

Classes de Cobertura e Uso da Terra	Área (ha) em 1986	Área (ha) em 2003	Avanço em ha/ano	Situação em 17 anos
Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme	7.581	4.507	180,8	Reduziu
Floresta Omb. Densa de Terra Firme Explorada	2.533	1.013	89,4	Reduziu
Floresta de Várzea	5.900	5.940	2,3	Aumentou
Palmeiras	89	94	0,2	Aumentou
Arbustos sobre Lateritas	05	05	0,0	Estável
Sucessão Secundária	1.698	6.366	272,8	Aumentou
Atividades Agropecuárias	2.292	1.451	49,4	Reduziu
Áreas Alagadas	48	28	0,8	Reduziu
Praias	32	32	0,0	Estável
Água	14	54	2,3	Aumentou
Área Urbana	891	1.807	53,9	Aumentou
Exploração Mineral	27	169	8,3	Aumentou

A partir dos resultados acima fica claro o alarmante processo de ocupação e utilização da paisagem. Nesse modelo de avanço, em aproximadamente 24 anos, a Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme estará totalmente devastada e a Área Urbana terá crescido de 1.807 ha para 3.100 ha, sem levar em consideração o possível impacto socioeconômico ao longo do tempo sobre a população. Numa análise visual (Figura 25) da expansão urbana pode-se ter uma idéia que bairros e locais são potencialmente ativos para a construção dos vetores expansivos desse cenário futuro.

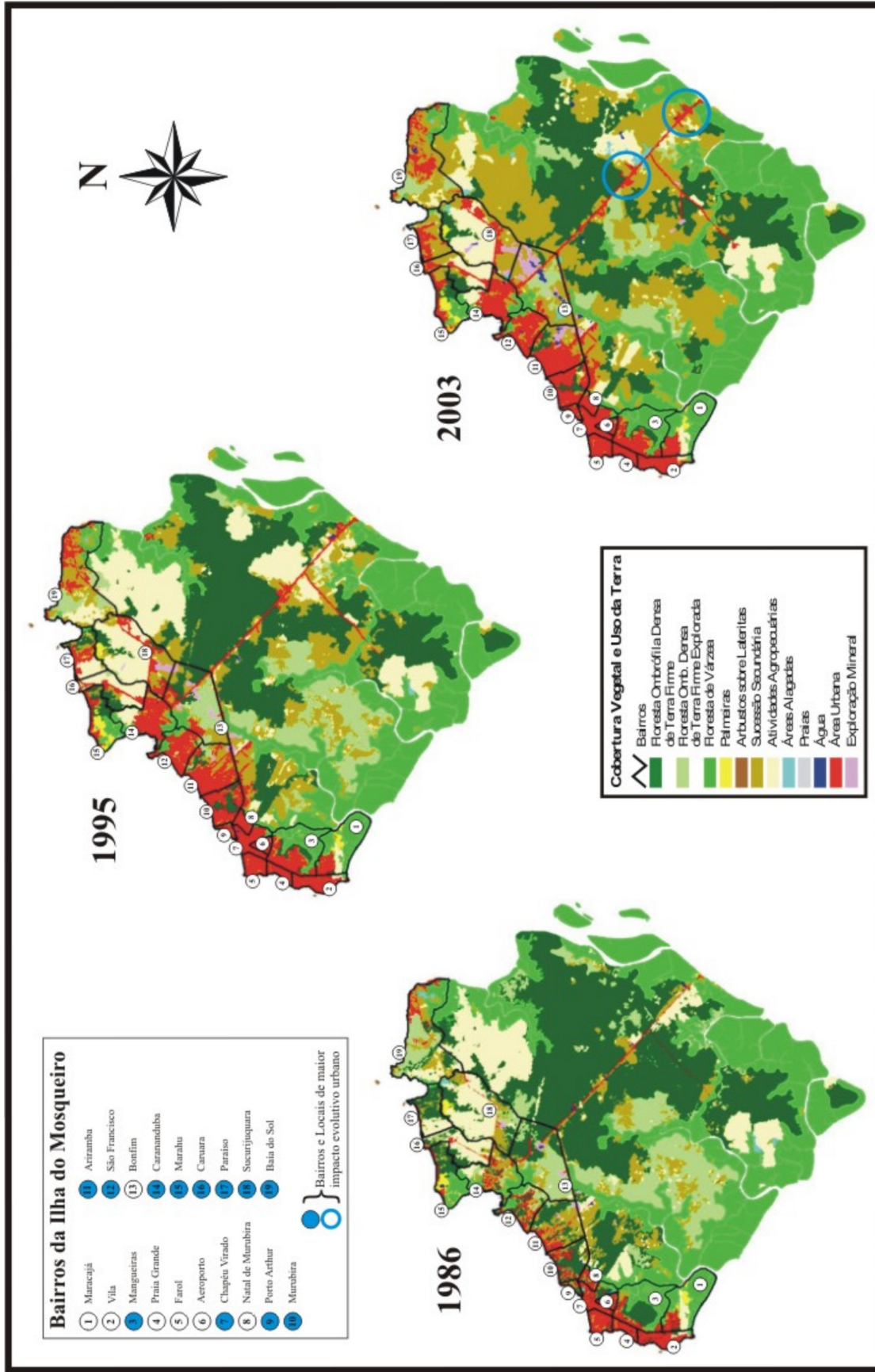


Fig. 25 - Impacto evolutivo antrópico ao longo de 17 anos.

5.3. VULNERABILIDADE À EROSÃO NATURAL

Do ponto de vista da análise do modelo de estabilidade da paisagem ao processo natural de erosão tem-se, em primeira instância, que o cruzamento dos dados de cobertura vegetal e uso da terra, juntamente com o tema morfométrico, foram os que mais interferiram no processo de geração do produto final.

Numa análise casada, esse aspecto pode ser visualizado através de uma avaliação sobre as áreas da Planície de Inundação. Nestas áreas encontram-se a Floresta de Várzea, amplitude altimétrica até 5 m, cobertura argilo-arenosas inconsolidadas com restos vegetais e solos Gley pouco Húmico Eutrófico e Álico mais Hidrómorficos indiscriminados (Figura 26). Os pesos da classe vegetal e altimétrica atribuídos a essas áreas mantiveram-na medianamente estáveis/vulneráveis.

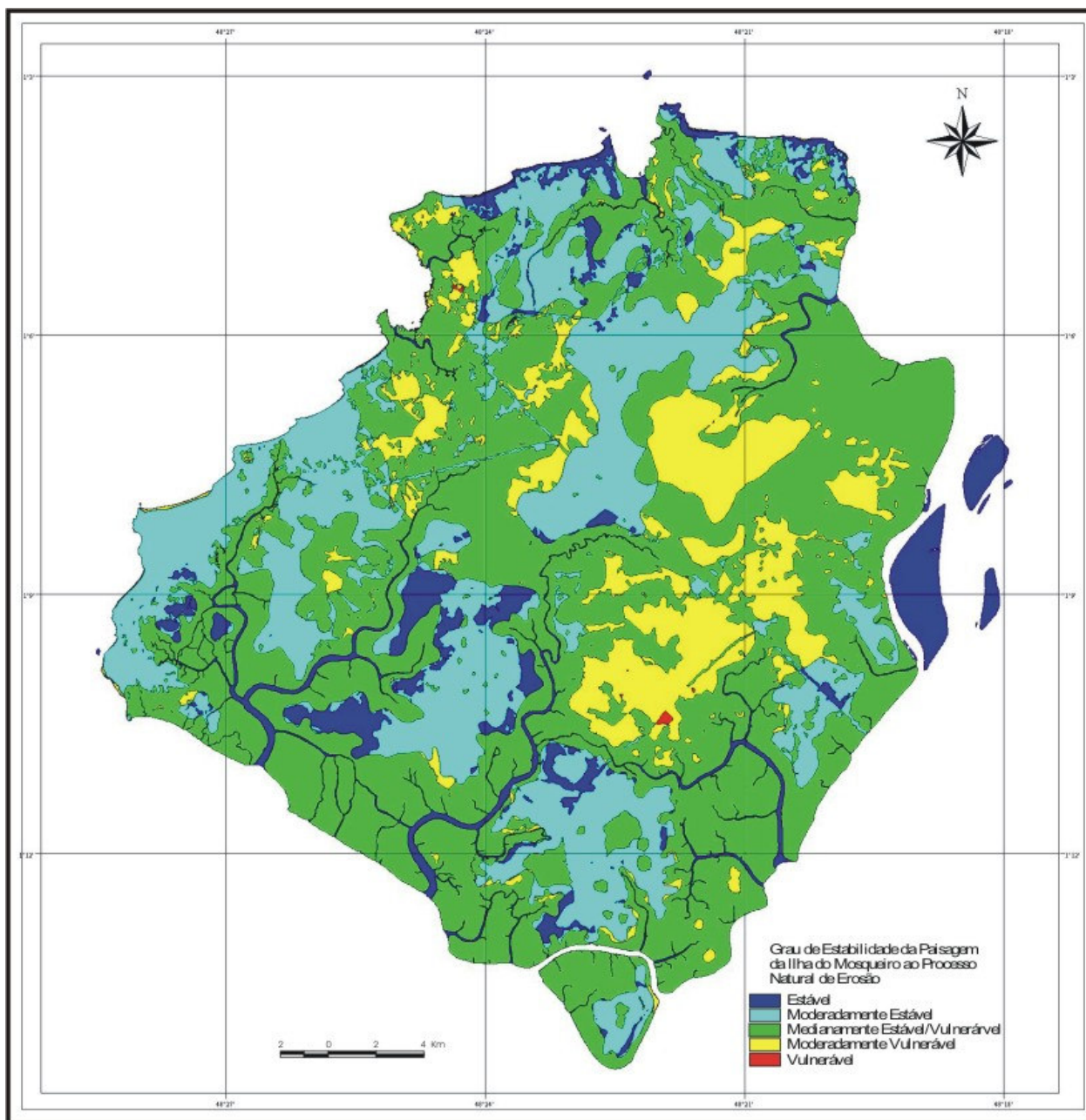


Fig. 26 – Mapa do grau de estabilidade da paisagem ao processo de erosão natural (vulnerabilidade à erosão).

Na análise da vulnerabilidade à erosão percebe-se a influência da cobertura vegetal, somado a uma condicionante altimétrica baixa, sobre o potencial erosivo fluvial que poderia ser imposto aos materiais geológicos e solos. Esta análise não só mostra, nesse caso de Mosqueiro, o equilíbrio da paisagem nessas áreas no momento atual como demonstra que as frentes erosivas dessas áreas são recentes e, portanto, insuficientes para uma avaliação espacial dos impactos erosivos para a escala de trabalho utilizada (1:50.000). Apenas em uma área pôde ser constatada

essa percepção espacial, a leste da Ilha do Mosqueiro, onde os condicionantes deposicionais/erosivos fluviais expõem esta realidade (Figura 27).

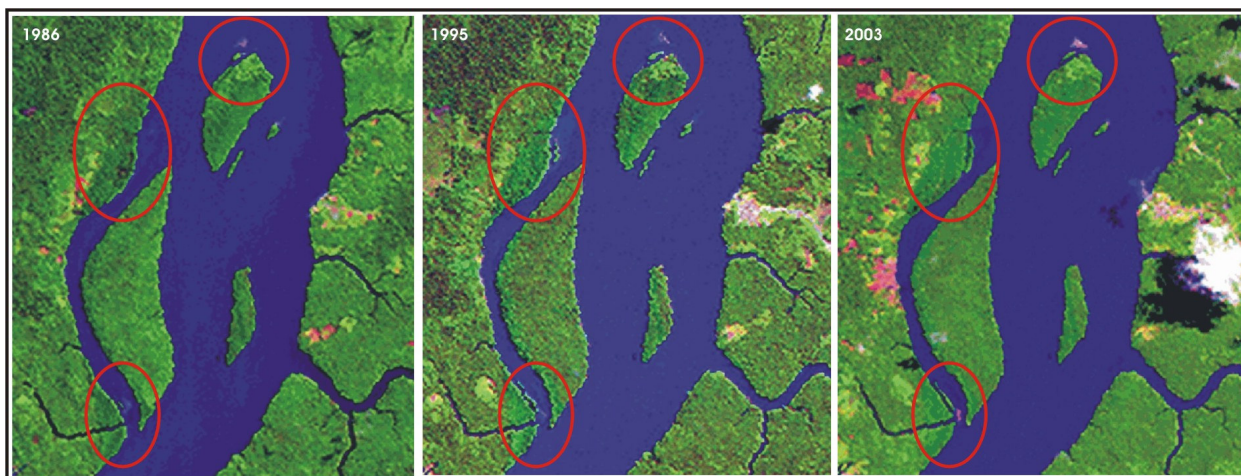


Fig. 27 – Visualização da dinâmica deposicional e erosiva a leste da Ilha de Mosqueiro (Furo das Marinhas).

Como o modelo leva em consideração os critérios de pesos numa avaliação que retrata a potencialização da erosão natural sobre a paisagem, faz-se necessário aqui estabelecer que os fatores relevantes do clima, como precipitação pluviométrica, temperatura, umidade e vento, são indiretamente correlacionados, além do que conclusivos, do ponto de vista da análise de modelo. Isso fica evidente quando se entende que cada tema está sujeito a ser mais favorável ou menos favorável à erosão natural, e que o resultado final é uma média das ponderações atribuídas a cada tema, ou seja, se todos forem mais favoráveis o resultado será vulnerável, se não, passará por resultados intermediários e também desfavoráveis, resultando em classes estáveis à erosão natural.

O mapa de vulnerabilidade apresentado nesse trabalho deve ter ressalvas. Os pesos atribuídos para o controle e definição das classes têm forte viés nas características paisagísticas, em particular naquelas morfométricas, especialmente no critério de amplitude, que segundo Ponçano et al. (1979), constitui uns dos critérios básicos para a avaliação de sistemas de relevo. Assim, amplitudes mais próximas do *datum* (onde no caso da ilha do Mosqueiro é nível médio das marés) são mais estáveis. Esta premissa fez com que fossem geradas classes de maior estabilidade que estão em franco contraste com o quadro evolutivo que se averigüa na região estuarina.

O mapa apresentado, utilizando-se destes critérios, é muito apropriado para representar uma realidade de vulnerabilidade em regiões nitidamente continentais, talvez não adequado ao momento atual do estuário.

Este produto cartográfico apresentado evidencia processos morfogenéticos vinculados a um período erosivo diferente do presente, devendo estar ligado particularmente ao período do Pleistoceno, sendo obliterados por um quadro atual de erosão.

O rápido avanço das águas ao longo das baías do Guajará e Marajó é um fenômeno novo, em grande parte influenciada por processos neotectônicos, criando uma nova frente erosiva, com processos morfogenéticos que hoje tendem a obliterar aqueles registros ligados a pediplanação plestocênicas.

No estado atual as zonas de maior estabilidade do Pleistoceno tendem a ser atacada pelas atividades das baías, transformando-se em zonas de maior vulnerabilidade, invertendo o modelo de estabilidade na região de seus limites. O modelo de vulnerabilidade para o presente, levando em conta os efeitos das baías, é apresentado na Figura 28.

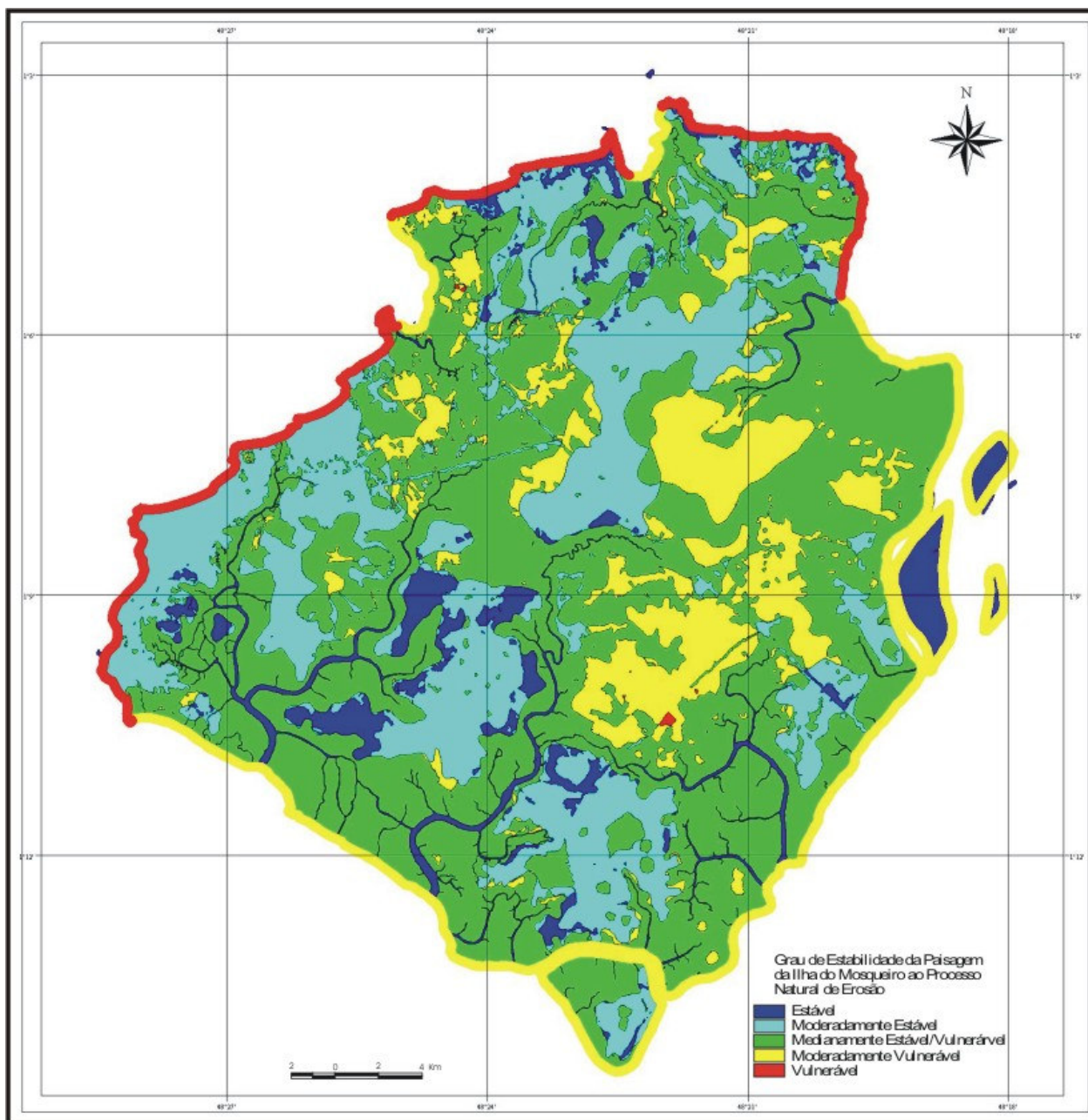


Fig. 28 – Mapa final do grau de estabilidade da paisagem da Ilha do Mosqueiro ao processo de erosão natural.

Dentro de uma visão estratégica que permita inserções ao ordenamento ambiental, julgou-se aqui importante fazer uma junção dos vários graus de estabilidade da paisagem da Ilha do Mosqueiro com o Modelo Digital do Terreno e a Estrutura Urbana (Figura 29).

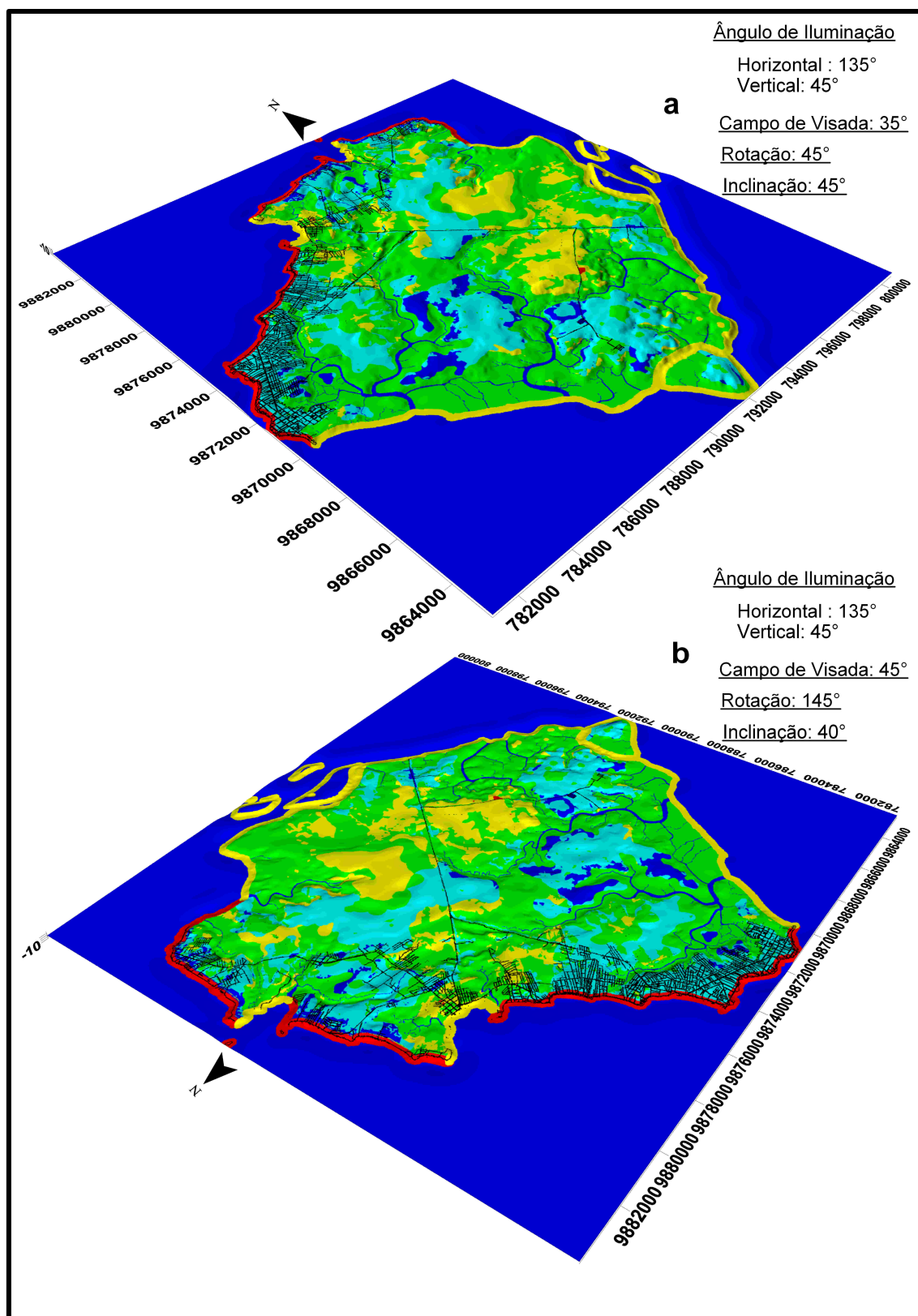


Fig. 29 – Sobreposição dos graus de estabilidade da paisagem da Ilha do Mosqueiro ao processo de erosão natural ao Modelo Digital do Terreno.

A integração dos dados para se obter os produtos pretendidos nesta dissertação mostrou que em termos de paisagem a área estudada se encontra em constante modificação, seja por modelos tectônicos, erosivos e/ou por ação antrópica.

6. CONCLUSÕES

Ao fim de uma ampla gama de análises e integrações que envolveram uma significativa parcela de ferramentas e dados, gerando diversos produtos, este trabalho pode contribuir com as seguintes conclusões:

- 1- A modelagem digital de terreno da Ilha do Mosqueiro mostrou-se uma poderosa ferramenta para realce de estruturas de movimentação neotectônica, particularmente orientadas, e que controlam as morfoestruturas, bem como a rede de drenagem. Através do realce digital, via simulação numérica de *Landforms Tectônicas Primárias*, foi possível identificar disposições com orientação N-S. A distribuição espacial destes *landforms* indica a presença de descontinuidades neotectônicas orientadas segundo esta posição, até então não descritas na região de Mosqueiro. Estas descontinuidades têm representatividade em campo e foram evidenciadas durante as investigações no extremo norte da área. É provável que estas estruturas N-S que afetam a evolução morfogenética possam estar relacionadas a uma tectônica de reativação de estruturas profundas e mais antigas, retomadas durante a evolução Cenozóica neste segmento crustal.
- 2- A partir da análise dos padrões de drenagem e realce digital do terreno, o mapa de falhas que foi gerado neste trabalho possibilitou uma interpretação diferente daquela apresentada por Igreja et al. (1990), uma vez que estes autores não consideraram a importância das zonas de direção E-W, bem como os modelos neotectônicos da placa Sul-Americana, propostos por Hasui (1990), Costa et al. (1996), Borges et al. (1997) e Bemerguy (1997).
- 3- Ao se optar por segmentar as imagens para definição dos padrões espectrais iniciais e, posteriormente, realizar a coleta das amostras de cada classe representada na imagem para que o classificador adotado (Battacharya) efetivasse a classificação, reduziu-se tempo e processos de edição vetoriais para a definição das classes. Além de ter um importante fator que foi o de reduzir o acúmulo de distorções espaciais, que é comum quando se interpreta analogicamente, digitalizando-se e editando-se, posteriormente. De qualquer maneira é importante frisar que a aplicação do recurso de algoritmos (classificadores) para a geração de um mapa não condiciona o resultado ao produto final. Essa observação é relevante e

mostra a necessidade do processo interpretativo, onde o homem é condição indispensável, ser mantido.

- 4- A evolução antrópica da Ilha do Mosqueiro demonstrou que a classe Área Urbana, as quais não envolve somente a área construída, mais também áreas em expansão, caracterizadas por áreas abertas (solo exposto) marginalmente às áreas construídas, mais que dobrou em área ao longo de 17 anos. A Exploração Mineral (extração de areia, barro e piçarra) aumentou seis vezes em área. Houve redução de 40,5% da vegetação original de terra firme (Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme) em relação ao ano de 1986. Os resultados refletem um ordenamento de ocupação e exploração da paisagem sem precedentes e estabelece um paralelo com o modelo macro de ocupação da Amazônia. Fica claro, então, a necessidade de remontar uma análise mais criteriosa e participativa na avaliação das políticas de desenvolvimento para a Ilha do Mosqueiro.
- 5- A análise degradacional da Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme leva à sugestão de que é preciso se adotar medidas para preservação dos remanescentes desta classe como critério da manutenção da biota característica da Ilha do Mosqueiro. Outro aspecto a se considerar é que tipologicamente os solos que são o substrato de grande parte dessas áreas de Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme são resultado (antiga classificação de solos) da associação de Podzólicos Hidromórficos mais Areia Quartzosa Álica latossólica mais Latossolo Amarelo Álico plíntico, o que se torna de inestimável valor a sua manutenção, pois o processo de reconstituição da vegetação é extremamente dificultado por se tratar de solos sujeitos a processos de lixiviação impactantes, além do que, têm restrições para a condução de atividades agrícolas.
- 6- O aumento das áreas de Sucessão Secundária (capoeira) foi caracterizado pela expansão urbana, abandono das áreas destinadas a pasto e plantações, e retomada de crescimento vegetativo em áreas de solo exposto de extração de areia, barro e piçarra.
- 7- A utilização, pela primeira vez, de métricas da paisagem para elucidação do contexto evolutivo, e possíveis impactos ao ambiente, proporcionadas por análises qualitativas da paisagem da Ilha do Mosqueiro, mostrou-se extremamente relevante e tecnologicamente

avançada, contribuindo para a estruturação de abordagens de monitoramento e suporte a decisões.

- 8- Ao se analisar o contexto distributivo das classes (fragmentação da paisagem) a Área Urbana evolui espacialmente de uma condição mais fragmentada e dispersa (73 manchas), que mantinha alguns habitats naturais remanescentes da vegetação natural, para um quadro urbano bem compactado (49 manchas) e seguramente de impactos ambientais ainda não conhecidos ou descritos. A classe Sucessão Secundária chama atenção nas mesmas condições na análise da classe anterior, pois a redução do quantitativo de manchas está inversamente ligada ao aumento de área da classe e diretamente proporcional à compactação da classe. O oposto acontece com a classe Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, onde a análise quantitativa de área soma-se a condição de compactação da mancha e evolui decrescentemente de uma situação de 260 manchas em 1986 para redução de 61 manchas em 1995 (na ordem de 76,5%) e de 37 manchas em 2003 (na ordem de 85,7%). Estes resultados levam a uma avaliação sobre o Índice de Conectividade (CONNECT) da classe, reforçando a idéia de fragmentação e trazendo a tona à necessidade de manutenção de corredores ecológicos, pois a forma e contexto desses corredores estruturais podem funcionar como habitat, condutos de dispersão, ou barreiras ao avanço antrópico imposto.
- 9- O índice de conectividade da paisagem Ilha do Mosqueiro mostrou um quadro invertido de avanço de determinada classe sobre a outra. Houve crescente sobreposição da classe Sucessão Secundária em detrimento da classe Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme. Ou seja, iniciou-se por uma condição reinante de contágio em relação à classe de floresta em 1986, passou por uma fase de equilíbrio em 1995 e chegou à condição de inversão para domínio da paisagem em 2003. Esta análise indica que o modelado paisagístico da Ilha do Mosqueiro pode caminhar para situações de descaracterização completa, o que seria lastimável do ponto de vista ambiental e turístico.
- 10- Uma avaliação e simulação quantitativa anual da evolução antrópica ao longo de 17 anos demonstrou um alarmante processo de ocupação e utilização da paisagem. Nesse modelo de avanço, em aproximadamente 24 anos, a Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme estará totalmente devastada e a Área Urbana terá crescido de 1.807 ha para 3.100 ha, sem levar

em consideração o possível impacto sócio-econômico ao longo do tempo sobre a população.

- 11- Na análise da vulnerabilidade à erosão percebe-se a influência da cobertura vegetal, somado a uma condicionante altimétrica baixa, sobre o potencial erosivo fluvial que poderia ser imposto aos materiais geológicos e solos. Esta análise não só mostra, nesse caso de Mosqueiro, o equilíbrio da paisagem nessas áreas no momento atual como demonstra que as frentes erosivas dessas áreas são recentes e, portanto, insuficientes para uma avaliação espacial dos impactos erosivos para a escala de trabalho utilizada (1:50.000). Apenas em uma área pôde ser constatada essa percepção espacial, a leste da Ilha do Mosqueiro, onde os condicionantes deposicionais/erosivos fluviais expõem esta realidade.
- 12- O mapa de vulnerabilidade apresentado nesse trabalho deve ter ressalvas. Os pesos atribuídos para o controle e definição das classes têm forte viés nas características paisagísticas, em particular naquelas morfométricas, especialmente no critério de amplitude. Assim, amplitudes mais próximas do *datum* (onde no caso da ilha do Mosqueiro é nível médio das marés) são mais estáveis. Esta premissa fez com que fossem geradas classes de maior estabilidade que estão em franco contraste com o quadro evolutivo que se averigüa na região estuarina. No entanto, é importante destacar que este produto se mostrou bastante representativo para a Ilha do Mosqueiro por evidenciar espacialmente processos morfogenéticos vinculados a um período erosivo diferente do presente, devendo estar ligado particularmente ao período do Pleistoceno, sendo obliterados por um quadro atual de erosão.
- 13- A integração dos dados para se obter os produtos pretendidos nesta dissertação mostrou que em termos de paisagem a área estudada se encontra em constante modificação, seja por modelos tectônicos, erosivos e/ou por ação antrópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F. A. M.; VILLAS, R. N. N.; HASUI, Y. 1980. Esboço estratigráfico do pré-cambriano da região do Gurupi, estado do Pará e Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 31., Camboriú, 1980. *Anais...* Camboriú, SBG. v.2, p. 647-658.
- ALMEIDA, F. F. M. 1967. *Origem e evolução da Plataforma Brasileira*. Rio de Janeiro:DNPM/DGM. (Boletim, n. 241)
- ARAÍ, M.; UESUGUI, H.; ROSSETI, D. F.; GÓES, A. M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 35., Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v.2, p. 738-752.
- BARBOSA, O. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. 1974. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAM. *Folha SA-22-Belém*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, p. 1-36. (Levantamento de Recursos Naturais, 5)
- 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).
- BORGES, M. S. & ANGÉLICA, R. S. 1986. *Levantamento geológico da Ilha do Mosqueiro – PA*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 34 p.
- BORGES, M. S.; CAVALCANTE, L. M.; EBERT, H. D.; BEMERGUY, R. L.; COSTA, J. B. S. 1997. Aspectos geomorfológicos e modelagem digital de terreno da área entre as praias do Farol e Paraíso – Ilha do Mosqueiro, nordeste do Pará. *Geociências*, v.16, n.2, p. 627-643.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - MMA; Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República - SAE/PR, 1997. *Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal*. Brasília.
- CÂMARA NETO, G. & MEDEIROS, J. S. 1996. *Geoprocessamento para projetos ambientais: tutorial para cursos*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 161p.

- 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. 147 p. (Dissertação de Mestrado).
- CONGALTON, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1): 35-46.
- COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S. 2001. Tectonics and paleogeography along the Amazon river. *Journal of South American Earth Sciences*, 14 (4): 335-347.
- COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. E. L.; FERNADES, 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. L.; ARAÚJO, A. A. F.; VILLAS BOAS, J. M.; FARIA, C. A. S.; SILVA NETAO, C. S.; WANDERLEY, V. J. R. 1977. *Projeto Gurupi*. Belém, DNPM/CPRM. (Relatório Final).
- COSTA, M. L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 21 (12): 146-160.
- COSTA, M. L. 2001. Tectonics and paleogeography along the Amazon river. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 335-347.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G. 1996. *Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*. São José dos Campos, INPE.
- CROSTA, A. P. 1992. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas, IG/UNICAMP. 170p.
- DICKS S. & LO, T. 1990. Evaluating of thematic map accuracy in a land-use and land-cover mapping program. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(9): 1247-1252.
- DSG. 1982. *Carta topográfica da ilha do mosqueiro*. Escala 1:50.000. Folha AS.22-X-D-III-1 (MI-384-1).

- EBERT, H. D.; BORGES, M. S.; LINDENBERCK, C.; ULMER, H.; LAVORANTE, L. P. 1999. Sobreposição de dados fisiográficos e geológicos em modelos digitais de terreno utilizando GEO3View: procedimentos e aplicações morfoestruturais. *Geociências*. 18(2): 215-234.
- FERREIRA, C. S. & FRANCISCO, B. M. R. 1988. As relações da Formação Pirabas (oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no nordeste do estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 35., Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v.2, p. 761-764.
- FORMAN, R T. T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscape of landscape regions*. Cambridge, Cambridge University Press. 632 p.
- FRAGSTATS.2005. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: 10 janeiro 2005.
- FROHN, R. 1999. *Remote sensing for landscape ecology: new metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems*. Boca Raton, Lewis Publishers. 99p.
- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO 1., 1990. *Anais...* Belo Horizonte, SBG. v.1, p. 1-31 (Boletim 11).
- HAY, A.M. 1988. The derivation of global estimates from a confusion matrix. *International Journal of Remote Sensing*, 9 (8): 1395-1398.
- IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S.; ALVES, R. J.; COSTA JÚNIOR, P. S. C.; COSTA, J. B. S. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro, NE do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 36., Natal, 1990. *Anais...* Natal, SBG. v.5, p. 2110-2123.
- INTERSAT 2003. Disponível em: <<http://www.intersat.com.br>>. Acesso em: 16 abril 2003.
- LANDIS, J.R. & KOCH, G.G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 159-174.

- LARIOS, M., B. 2004. Erosão dos solos brasileiros. Disponível em: <http://www.drenagem.ufjf.br/06erosao_02_Introd.htm>. Acesso em: 11 junho 2004.
- LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. 1994. *Remote sensing and image interpretation*. New York, John Wiley. 750 p.
- MA, Z. & REDMOND, R.L. 1995. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(4): 453-459.
- MCGARIGAL, K. & MARKS, B. J. 1994. *FRAGSTATS*: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Corvallis: Forest Science Department, Oregon State University. 67 p.
- MEIRA, FILHO, A. 1978. *Mosqueiro: ilhas e vilas*. Belém, Grafisa. 579 p.
- MONTEIRO, E.C.; LUCZYNSKI, E.; SOUSA, P.G.N. 1992. *Projeto nordeste do estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 117 p.
- NOVO, E. M. L. M. 1992. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, Edgard Blücher. 308 p.
- PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; THALÊS, M. C.; ROBERTS, D. A.; VENTURIERI, A. 2001. Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia. *Geografia*. 26(1): 59-90.
- PONÇANO, W. L.; BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, M. A.; PIRES NETO, A. G.; ALMEIDA, F. F. M. 1979. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., Rio Claro. *Atas*, v.2, p. 253-262.
- PONZONI, F. J. & DISPERATI, A. A. 1995. *Comportamento espectral da vegetação*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 37 p.
- RICHARDS, J. A. 1995. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Berlin, Springer-Verlag. 340 p.
- ROSENFELD, 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.

- SÁ, J. H. S. 1969. *Contribuição à geologia dos sedimentos terciário e quaternário da região bragantina, PA*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências, p 21-36. (Boletim de Geologia, 3).
- SALES, G. M.; RANGEL, M. E. S.; KUX, H. J. H.; MOREIRA, M. A. 2000. Evaluation of accuracy of landuse/landcover in Três Pontas Municipality, Minas Gerais State, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Homululu-Hawai, 2000. *Anais...* Homululu-Hawai.
- SCHOWENGERDT, R.A. 1983. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. Florida, Academic Press, Inc.. 249 p.
- SHIMABUKURO, Y. E; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. 1997. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 16p.
- SILVA, B. N. R. 1975. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da ilha do mosqueiro –PA com auxílio de fotointerpretação*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 156 p. (Dissertação de Mestrado).
- SPRING.2003. Manual de usuário on-line. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 16 março 2003.
- TOWNSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.O.; GURNEY, C.; MCMANUS, J. 1992. The impact of misregistration on change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(5): 1054-1060.
- TRICART, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro. IBGE. 91p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1)
- TRUCKENBRODT, W.; KOTSCHOUBEY, B.; SCHELLMANN, W. 1991. Composition and origin of the clay cover on north Brazilian laterites. *Geologische Rundschau*, 80 (3): 591-610.
- UNAMAZ. 1992. *Educação ambiental na Pan-Amazônia*. 265 p. (Informação Amazônica, 2)

- VENTURIERI, A. 2003. *Avaliação da dinâmica da paisagem da Ilha do Mosqueiro, município de Belém – PA*. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.10.03/doc/4_69o.pdf>. Acesso em: 25 março 2003.
- VÉSPER. 2004. *Vésper estudo orientado – mapas – placas tectônicas*. Disponível em: <http://www.escolavesper.com.br/placas_tectonicas.htm>. Acesso em: 27 março 2004.
- VILLEGAS, J. M.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; MATSUDA, N. S. 1992. Evolução tectono-estrutural do rifte do Marajó. In: SIMPÓSIO DE BACIAS CRETÁCIAS, 2., Rio Claro, 1992. *Resumos...* Rio Claro, SBG. p 46-48.
- VOLL, E. 2001. *Carta de vulnerabilidade natural da região do Bico do Papagaio - TO*. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais. 20 p. (Monografia de Especialização em Geoprocessamento).
- WANDERLEY FILHO, J. R. & COSTA, J. B. S. 1991. Contribuição à evolução estrutural da bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém, 1991. *Anais...* Belém, SBG. p 244-259.