

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
Programa de Pós-Graduação em Geociências

USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO  
PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA  
ÁREA DA FÓZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ

Enilson da Silva Sousa

Manaus – Amazonas  
Março - 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
Programa de Pós-Graduação em Geociências

USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO  
PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA  
ÁREA DA FÓZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM, PARÁ

Enilson da Silva Sousa

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental  
Orientador Prof. Dr. Albertino de Souza Carvalho

Manaus – Amazonas  
Março - 2009

**SOUSA, E.**

**USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM, PARÁ – Manaus, AM – UFAM, 2008. 119 p.**

1. Mapeamento geológico e geomorfológico. 2 – Sensoriamento remoto. 3 – Foz do rio Tapajós.

**Dedicatória:**

Aos meus pais,  
José Maria da Silva e  
Maria de Lourdes da Silva Sousa

## **Agradecimentos,**

A minha amada esposa Patrícia e meus filhos João Victor, Pedro Enilson e Ana Patrícia e todas minhas irmãs;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Albertino de Souza Carvalho, que aceitou o desafio de orientar um Geógrafo em Geociências, sabendo das possíveis limitações de minha formação acadêmica;

Ao Prof. Dr. Pedro Walfir Martins Souza Filho, por ter contribuído no meu trabalho de processamento das imagens LANDSAT no Laboratório de Análises de Imagem do Trópico Úmido – LAIT, no Campus do Guamá da Universidade Federal do Pará – UFPA/Belém;

Aos meus professores do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, em especial aos Professores Dr. José Duarte Alecrim; Prof. Dr. Cláudio Augusto Milliotti e Professora Dra. Elena Franzinelli, com os quais mantivemos contatos mais diretos;

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas, que financiou nossa pesquisa com a concessão de bolsa de estudo;

A Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus de Santarém-Pa, em especial a Faculdade de Física pela minha liberação integral para cursar o mestrado;

A todos os funcionários e servidores públicos do Laboratório de Análises de Imagem do Trópico Úmido – LAIT, no Campus do Guamá da Universidade Federal do Pará – UFPA/Belém-Pa;

Ao servidor público Antônio Marcos, secretário da pós-graduação no Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Aos meus eternos amigos Ivan e Vanda Bastos, além de seus filhos Breno e Bruno Silva que me receberam em Manaus.

## PRÓLOGO

*Ainda não existe, nem existirá tão cedo, sobre a Mata Amazônica, um trabalho de conjunto, que seja capaz de dar uma boa idéia não só dos seus aspectos variados, como também da sua composição florística, das fases de vida e da sua importância como fator econômico. Muito já se tem escrito sobre um ou outro desses assuntos, mas geralmente sem as bases suficientes de observação ou de conhecimento científico. A nossa mata equatorial é um mundo por si, cuja organização de vida íntima só por diversas gerações de investigadores poderão ser desvendados... A vida dum homem mal chegaria para ter idéia exata da composição dum quilômetro quadrado de mata virgem, quanto menos numa área mais de três milhões de vezes maior.*

Academia Brasileira de Ciências, vol. 25, 1  
Citado por: EPÍRITO-SANTO, F. D. B., *et al.*, 2003

## RESUMO

A planície Amazônica é uma importante região do planeta e estratégica para o desenvolvimento científico-tecnológico do Brasil. Do ponto de vista da pesquisa científica se conhece pouco da geologia e geografia da região. A utilização de imagens de satélite pode ser considerada como ferramenta indispensável para dinamizar o avanço nesta direção.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é de apresentar o detalhamento da geomorfologia e da geologia da foz do rio Tapajós, entre os 2° 20'S a 2° 40'S e os meridianos de 54°, 35'W a 55° 05'W e fazer uma análise temporal da história deposicional deste complexo sistema fluvial, localizado no município de Santarém-Pará,

De um modo geral, a abordagem metodológica executada caracterizou-se por intensa revisão bibliográfica, etapas de pré processamento das imagens, etapas de levantamento de campo, uma etapa mais significativa de processamento e análise multitemporal das imagens de satélite.

Os dados utilizados nesta pesquisa incluem imagens da série LANDSAT, imagens LANDSAT ortorretificadas obtidas no site da Universidade de Maryland, dados topográficos do radar interferométrico do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, além de imagens mosaico de radar do SAR JERS-1. O tratamento e processamento digital das imagens orbitais foram realizados no *Software* PCI 10.1 e Arc Gis (Arc Map 9.2).

Na porção oeste do Estado do Pará afloram poucas unidades litoestratigráficas de distribuição regional, essencialmente trata-se de terrenos representantes das rochas da Formação Alter do Chão, de idade Meso-cenozóica, além de terrenos sedimentares mais jovens da planície Cenozóica dos rios Amazonas e Tapajós, depósitos aluvionares modernos e coberturas detrítico-lateríticas. Dentre estas unidades geomorfológicas regionais somente duas tem importância no âmbito da área de estudo: a Planície Amazônica e o Planalto Rebaixado da Amazônia.

A interpretação visual do conjunto de imagens geradas neste estudo permitiu a obtenção de informações mais detalhadas que as disponíveis regionalmente, que incluem alguns aspectos fisiográficos, geomorfológicos e geológicos da área de estudo.

Neste estudo foi possível a delimitação e caracterização de pelo menos três (03) domínios geomorfológicos distintos: o da Planície de Inundação Amazonas/Tapajós, o da Zona Dissecada do vale do rio Tapajós e dos Planaltos Pediplanizados.

A análise do conjunto de informações associada diretamente aos sistemáticos levantamentos de campo realizados permitiram o reconhecimento, individualização e caracterização de três (03) unidades geológicas distintas: na área de estudo dominam litologias associadas Formação Alter do Chão e aos depósitos de sedimentares inconsolidados cenozóicos (antigos e recentes) e aluviões modernas. Não menos freqüentes encontram-se também materiais associados a depósitos de coberturas detrito-lateríticas. As informações de campo e os inúmeros caminhamentos geológicos e pontos visitados, permitiram a organização e apresentação da estratigrafia geral da área de estudo e a correlação estratigráfica entre os vários perfis das rochas pertencentes a Formação Alter do Chão.

No que se refere aos resultados alcançados na análise multitemporal das imagens LANDSAT, visando o estabelecimento da evolução deposicional (taxa de acreção e erosão) da área de estudo, no intervalo de tempo estudado (1975 e 2007) e respeitando as limitações apresentadas foi possível afirmar que a região da barra do Tapajós apresentou dominância de processos erosivos (taxa de erosão positiva), e, por outro lado, as ilhas fluviais no rio Amazonas mostram processo de crescimento deposicional (acreção).

Palavras chaves: Geologia; Geomorfologia; Análises Multitemporal; Sensoriamento Remoto; Santarém.



## ABSTRACT

*The Amazon floodplain is an important strategic region of the planet and for the scientific-technological development of Brazil. From the research we know little of the geology and geography of the region. The use of satellite imagery can be considered indispensable tool to promote the progress in this direction.*

*In this context, the main objective of this work is to present the details of the geomorphology and geology of the mouth of the River Tapajós, between 2 ° 20'S to 2 ° 40'S and the meridians of 54 °, 35'W to 55 do 05'W a temporal analysis of the depositional history of this complex river system, located in the municipality of Santarém, Pará.*

*In general, the approach run was characterized by intense review, the pre stages of processing images, stages of the field survey, a significant step further processing and analysis of multitemporal satellite images.*

*The data used in this research include images of LANDSAT series, LANDSAT images ortorretificadas obtained on the website of the University of Maryland, interferometric radar topographic data of the Shuttle Radar Topography Mission, and mosaic of radar images of the JERS-1. The treatment and processing of digital images were made in the orbital Software PCI 10.1 and Arc GIS (Arc Map 9.2).*

*In the western portion of the State of Pará lithostratigraphic touch on a few units of regional distribution, these are mainly representatives of land of rocks of Alter do Chão Formation of Meso-cenozoic age, and younger sedimentary terrain of plains Cenozoic the Amazon and Tapajós rivers , and modern alluvial deposits roof overburden-Lateritic. Among these units only two regional geomorphological have significance within the study area: The Plains and Plateau Amazon lowered the Amazon.*

*The visual interpretation of the set of images generated in this study allowed to obtain more detailed information that the regionally available, including some physiographic, geomorphological and geological area of study.*

*In this study it was possible the delineation and characterization of at least three (03) distinct geomorphological areas: the Flood Plain of the Amazon / Tapajós, the dissected area of the valley of the River Tapajós and plateaus Pediplanizados.*

*The analysis of all the information directly linked to systematic surveys of the field has achieved recognition, individualization and characterization of three (03) distinct geological units: In the study area dominated lithologies associated with Alter do Chão Formation and inconsolidated sedimentary deposits of cenozoic age (former and recent) and modern floods. Not less frequent are also the materials related to the deposits of detritus-Lateritic roof. The information in the field and numerous geological and path points visited, allowed the organization and presentation of the general stratigraphy of the studied area and stratigraphic correlation between the various profiles of rocks belonging to the Alter do Chão Formation.*

*Regarding the results of the multitemporal analysis of LANDSAT images, aimed at establishing the depositional evolution rate (increase and erosion) of the study area, in the time interval studied (1975 and 2007) and respecting the limitations presented we could say that the bar in the Tapajós region showed dominance of erosion processes (positive rate of erosion), and on the other hand, islands in the river Amazon River show depositional process of growth (acresção).*

**Keywords:** *Geology, Geomorphology, Multitemporal analysis; Remote Sensing, Santarém city;*

## **Lista de figuras**

Figura 1.1 - Localização geográfica regional da cidade de Santarém-Pa, na foz do rio Tapajós.

Figura 1.2 - Mapa de localização da área de estudo.

Figura 2.1 - Mapa de hidrografia da área de estudo.

Figura 2.2 - Mapa topográfico (curvas de nível) da área de estudo.

Figura 3.1 - Mapa de Classificação Climática para o Estado do Pará.

Figura 3.2 - Vista em imagem mosaico SAR/JERS-1.

Figura 3.3 - Localização da bacia do rio Tapajós e suas sub-bacias.

Figura 3.4 - A hidrografia da área de estudo, vista nas imagens de radar SAR/JERS-1.

Figura 3.5 - Mapa de distribuição regional dos principais tipos de solos da foz do rio Tapajós.

Figura 3.6 - Mapa de distribuição dos principais tipos de vegetação da área de estudo.

Figura 3.7 - O Delta interno e a barra do rio Tapajós. Fusão IHS: SRTM e LANDSAT de 1986.

Figura 3.8 - Panorâmica do delta, barra do Tapajós e rio Amazonas.

Figura 3.9 - Mapa de localização da Bacia do Amazonas-Solimões.

Figura 3.10 - Seção geológica esquemática da Bacia do Amazonas.

Figura 3.11 - Carta Estratigráfica regional da Bacia do Amazonas.

Figura 4.1 - Composição colorida mostrando a altimetria da área de estudo.

Figura 4.2 - Perfis topográficos da área de estudo.

Figura 4.3 - Perfis topográficos da área de estudo.

Figura 4.4 - Mapa geomorfológico interpretado da área de estudo.

Figura 4.5 - Mapa geológico da área de estudo.

Figura 4.6 - Perfis estratigráficos da Formação Alter do Chão e correspondentes correlações.

Figura 5.1 - Mapeamento das ilhas do rio Amazonas.

Figura 5.2 - Mapeamento das 2 ilhas em frente a Santarém.

Figura 5.3 - Mapeamento da ilha da Ponta Negra, em frente à cidade de Santarém.

Figura 5.4 - Imagens LANDSAT dos anos de 1975 e 1981.

Figura 5.5 - Imagens LANDSAT dos anos de 1986 e 2000.

Figura 5.6 - Imagens LANDSAT dos anos de 2001 e 2007.

Figura 5.7 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1975-1981.

Figura 5.8 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1981-1986.

Figura 5.9 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1986-2000.

Figura 5.10 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1986-2001.

Figura 5.11 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 2000-2007.

Figura 5.12 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 2001-2007

Figura 5.13 - Imagem LANDSAT, ano de aquisição, 2001.

Figura 5.14 - Imagem LANDSAT, ano de aquisição, 2000.

Figura 5.15 - Vetores de acreção e erosão das ilhas fluviais no Amazonas, 1986, 2000 e 2007.

### **Lista de tabelas**

Tabela 2.1 - Dados dos sensores utilizados e das condições sazonais durante o imageamento.

Tabela 2.2 - Imagens Ortorretificadas da Universidade de Maryland.

Tabela 2.3 - Caracterização das imagens LANDSAT da área de estudo.

Tabela 2.4 - Tabela com os pontos de receptor GPS coletados durante etapa de campo.

Tabela 2.5 - Tabela com pontos de coletados durante a etapa de campo no rio Arapixunas.

Tabela 3.1 - Parâmetros climáticos médios mensais e anuais da estação meteorológica de Belterra.

Tabela 4.1 - Tabela com espécies da savana (Cerrado).

Tabela 4.2 - Tabela de correlação dos domínios, características e as principais associações litológicas da área de estudo.

Tabela 4.3 - Coluna estratigráfica simplificada da área de estudo.

Tabela 4.4 - Características litológicas e estratigráficas sedimentares dos níveis presentes estratigráficos da Formação Alter do Chão na área estudada.

Tabela 5.1 - Área e perímetro das ilhas do Amazonas e barra do Tapajós.

Tabela 5.2 - Área e perímetro das ilhas do rio Amazonas que aparecem por completo nas cenas dos diferentes anos do sensor LANDSAT.

Tabela 5.3 - Área e perímetro das duas ilhas em frente a Santarém.

Tabela 5.4 - Área e perímetro apenas da ilha em frente a Santarém.

Tabela 5.5 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 1975-1981.

Tabela 5.6 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 1981-1986.

Tabela 5.7 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 1986-2001.

Tabela 5.8 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 2001-2007.

Tabela 5.9 - Valores de taxas de acreção e erosão das ilhas no Amazonas entre 1986-2000.

Tabela 5.10 - Valores de taxas de acreção e erosão das ilhas no Amazonas entre 2000-2007.

Tabela 5.11 - Tabela com a diferença entre acreção e erosão da barra do Tapajós e ilhas dos Amazonas em Santarém.

Tabela 5.12 - Acreção e erosão: Ilhas, 1986-2000.

Tabela 5.13 - Acreção e erosão: Ilhas, 2000-2007.

### **Lista de pranchas**

Prancha 4.1 - Aspectos da vegetação de cerrados.

Prancha 4.2 - Aspectos da vegetação de cerrados sobre os terrenos mais acidentados.

Prancha 4.3 - Aspectos da vegetação essencialmente de gramíneas.

Prancha 4.4 - Aspectos do relevo na foz do rio.

Prancha 4.5 - Aspectos do relevo na foz do rio Tapajós

Prancha 4.6 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico a0**.

Prancha 4.7 - Fotos ilustrativas das características do topo do **nível estratigráfico a0**.

Prancha 4.8 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico a**.

Prancha 4.9 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico b**.

Prancha 4.10 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico c1**.

Prancha 4.11 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico c2**.

Prancha 4.12 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico d**.

Prancha 4.13 - Fotos ilustrativas dos depósitos atuais nas barras do rio Amazonas.

Pranchas 4.14 - Fotos ilustrativas das características dos depósitos arenosos modernos.

## APRESENTAÇÃO

Este documento apresenta os resultados alcançados pela pesquisa realizada durante a elaboração da dissertação de mestrado do geógrafo Enilson da Silva Sousa, no Programa de Pós-graduação em Geociências do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas.

O texto está constituído de seis (06) capítulos que abordam sucessivamente; 1- A introdução, objetivos e localização da área de estudo; 2- A abordagem metodológica; 3- A caracterização fisiográfica, geológica e geomorfológica regional da foz do rio Tapajós; 4 – A caracterização geomorfológica e geológica da área de estudo; 5 - A apresentação dos resultados da análise multitemporal de imagens de satélite para a compreensão da evolução deposicional local e, por último, são apresentadas as conclusões, anexos e referências bibliográficas utilizadas durante a sua realização.

## SUMÁRIO

*Dedicatória*  
*Agradecimentos*  
*Prólogo*  
*Resumo/Abstract*  
*Apresentação*  
*Listas de Figuras, Tabelas e Pranchas*

<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>01</b>
1.1 – Introdução e objetivos	01
1.2 – A localização da área de estudo	03
<b>CAPÍTULO II - ABORDAGEM METODOLÓGICA</b>	
2.1 – Introdução	06
2.2 - Caracterização das imagens utilizadas e dos métodos de aquisição	06
2.3 - O uso de dados multitemporais	10
2.4 - O Processamento das imagens	11
2.5 - Técnicas de extração, digitalização e manipulação dos elementos necessários para a definição dos geoindicadores utilizados na análise temporal das imagens	13
2.6 - Técnicas empregadas para a extração da drenagem	14
2.7 - A extração de dados topográficos (altimetria)	16
2.8 - Metodologia para cálculo de áreas e perímetros	18
2.9 - O Uso do <i>Shape file</i> do IBGE para Folha G04 SA21	18
<b>CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA, GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA REGIONAL DA FOZ DO RIO TAPAJÓS</b>	
3.1 – Clima.	19
3.2 – Hidrografia	22
3.2.1 – Os vales afogados	25
3.3 - Os Solos	29
3.4 – A Vegetação	31
3.5 - Contextos Geomorfológico e Geológico Regionais	34
3.5.1- Aspectos da Geomorfologia Regional	35
3.5.1.1- Características dos rios Tapajós e Amazonas na área da pesquisa	37
3.5.1.2 - O delta do Tapajós	38
3.5.2 - Geologia e Estratigrafia Regional	41
<b>CAPÍTULO IV: CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO</b>	
4.1 – Introdução.	47
4.2 – Alguns Aspectos Fisiográficos da Vegetação Local	47
4.3 - A Geomorfologia da área de estudo	52
4.4 – A Geologia e a Estratigrafia local	60
4.4.1 – Descrição detalhada dos níveis estratigráficos da Formação Alter do Chão	70
4.4.2 – Descrição dos depósitos de Planície de inundação e aluviões modernos.	78

<b>CAPÍTULO V: ANÁLISE MULTITEMPORAL DAS IMAGENS E EVOLUÇÃO DEPOSITACIONAL LOCAL</b>	
5.1 – Introdução	<b>81</b>
5.2 – Considerações iniciais sobre o cálculo das taxas de acreção e erosão das ilhas fluviais no rio Amazonas e da barra do Tapajós	<b>91</b>
5.3 – Resultados obtidos	<b>92</b>
5.4 – A Imagem de 2000: um caso especial	<b>103</b>
<b>CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>111</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>115</b>

# **USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ**

## **CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **1.1 – Introdução e objetivos**

A planície Amazônica é uma importante região do planeta e estratégica para o desenvolvimento científico-tecnológico do Brasil e da humanidade. A complexidade de seu ecossistema e a presença da floresta equatorial formando grande mosaico geomorfológico que compõe os terrenos Quaternários do norte do Brasil. Do ponto de vista da pesquisa científica se conhece pouco dessa planície em função do desconhecimento de seu funcionamento e da existência de estudos sistemáticos e extensivos sobre o ciclo hidrológico, bioquímico, da biomassa, da geologia e geografia da região.

A utilização de imagens de satélite pode ser considerada como ferramenta indispensável para dinamizar o avanço dos estudos que permitam compreender esse mosaico geomorfológico. No entanto, mesmo para estes produtos surgem limitações, pois, devido às condições meteorológicas da área, onde sempre se tem cobertura de nuvens muito intensa, especialmente no período do verão amazônico (março a setembro), fato que dificulta a aquisição de imagens de boa qualidade a partir de sensores que operam na faixa do visível do espectro eletromagnético. Para contornar essa limitação, além da pesquisa de campo que é indispensável nos levantamentos de dados científicos, a saída é a utilização de imagens de satélites de alta resolução espacial, temporal, ou que superem as limitações impostas pelas condições atmosféricas Amazônicas. Dentre os satélites disponíveis, as imagens de sensores ativos (radar imageadores) podem ser a alternativa para estes estudos em ambientes



Amazônicos, porém seu alto custo e baixa disponibilidade no mercado acabam por restringir as pesquisas.

A escolha, portanto, dos produtos mais adequados a um trabalho depende da finalidade do trabalho, objetivo do estudo, do interesse do pesquisador e da disponibilidade de imageamento.

Nesta pesquisa utilizar-se-á como principal material, para o estudo geomorfológico e geológico da foz do rio Tapajós, produtos híbridos de sensoriamento remoto para compreender a evolução desta região. Recorrer-se-á, portanto, à interpretação de imagens ópticas e de estudos multitemporais. Foram utilizadas imagens do sensor LANDSAT, ano de 1975 até o ano de 2007, assim como imagens do SAR JERS-1 e dados topográficos do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*.

O objetivo principal deste trabalho é, portanto, apresentar o detalhamento da geomorfologia e da geologia da foz do rio Tapajós e fazer uma análise temporal da história deposicional deste complexo sistema fluvial, localizado no município de Santarém-Pará, na confluência com o rio Amazonas, trecho também conhecido como médio Amazonas Paraense. Desta forma são objetivos específicos desta pesquisa:

- Caracterizar a geomorfologia e a geologia da área de estudo, com base em estudos de imagens e de levantamentos de campo;
- Mapear a expansão e distribuição das ilhas fluviais ao longo do rio Amazonas próximo a área urbana da cidade;
- Determinar a taxa de acreção e erosão ao longo da série histórica de 32 anos, a partir das imagens LANDSAT, representativas do intervalo de 1975 a 2007.

## 1.2 – Localização da área de estudo

No contexto regional, a área de estudo está localizada nos arredores da cidade de Santarém, entre os paralelos 2° 20'S e 2° 40'S e os meridianos 54° 35'W e 55° 05'W. A Figura 1.2 mostra a localização da área de estudo em relação ao limite estadual (AM/PA) e aos limites municipais.

O acesso à Santarém pode ser feito por via aérea, através do Aeroporto Maestro Wilson Fonseca, por via terrestre, pela rodovia BR-163 (Santarém-Cuiabá), seguindo pela BR-230 (Transamazônica) ou BR-010 (Belém-Brasília) também por via fluvial, pelo rio Amazonas, que liga a cidade às duas metrópoles da região, e eventualmente também pelo rio Tapajós que dá saída ao sudoeste do Pará e norte do Mato Grosso. (Figura 1.1).

O município de Santarém tem uma área de 24.314,4 km<sup>2</sup>, uma população de 274.285 habitantes, concentrada na área urbana do município (71%) da população (www.ibge.gov.br - IBGE, 2007). Situada na confluência do rio Tapajós com o Amazonas, a sede municipal é um antigo centro urbano cuja existência remonta a ocupação colonial. Trata-se ainda hoje de importante base entre Manaus e Belém, papel reforçado pela inauguração, em 2003, de terminal portuário da empresa Cargill para o embarque de soja e outros grãos produzidos na região e os vindos do centro-oeste (D'Antona *et al.*, 2004).

A Figura 1.3 mostra mapa de detalhamento da área de estudo com as principais feições geográficas locais, sedes municipais e ainda a delimitação dos terrenos de várzea e terra firme. A área pertence à mesorregião N°. 011 do Baixo Amazonas e a microrregião N°. 032 de Santarém (Tancredi, 1996). Do ponto de vista administrativo a área estudada está inclusa na mesorregião N° 11 do Baixo Amazonas e microrregião N° 032 de Santarém (IN: Tancredi, 1996).

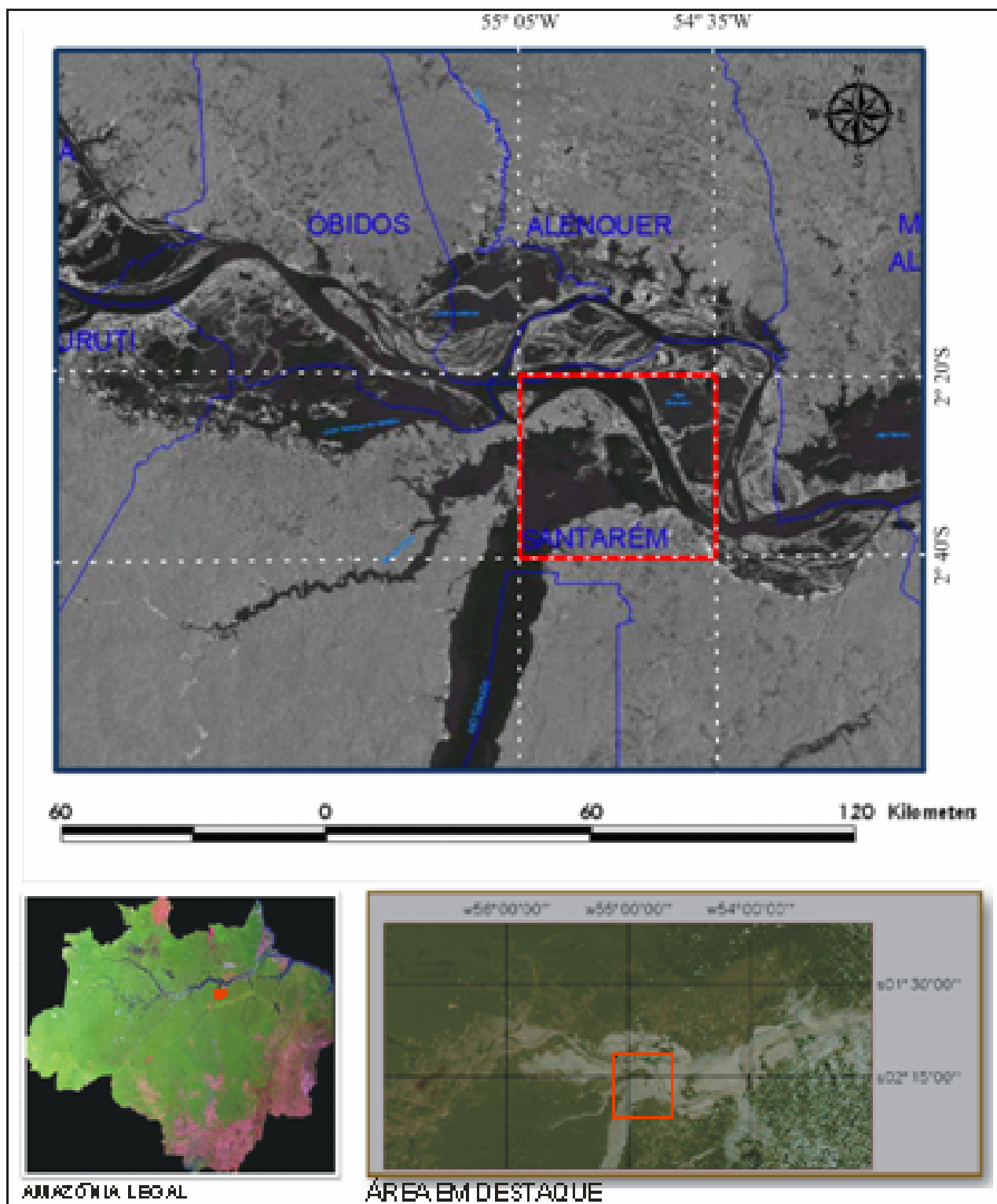


Figura 1.1 – Localização geográfica regional da cidade de Santarém-Pa, na foz do rio Tapajós.

Fonte: Modificada da Figura de <http://www.cnpm.embrapa.br> e PROVARZEA (2000)

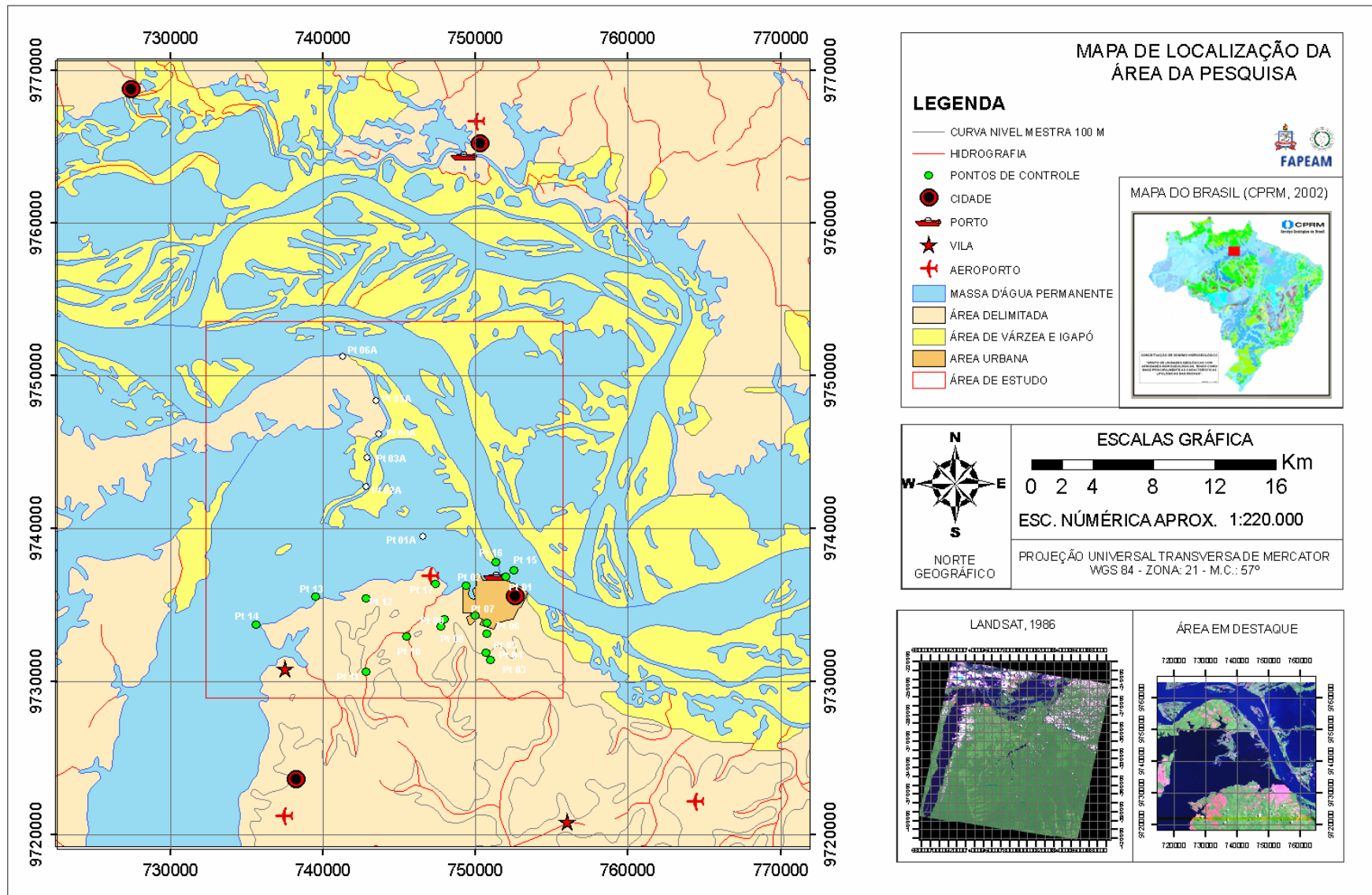


Figura 1.2 - Mapa de localização da área de estudo.

# **USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ**

## **CAPÍTULO II - ABORDAGEM METODOLÓGICA**

### **2.1 - Introdução**

Este capítulo aborda os diferentes procedimentos analíticos utilizados neste trabalho, desde a escolha do tema até a obtenção dos resultados finais. As técnicas e métodos aplicados a cada uma das etapas do trabalho procuram seguir uma ordem lógica dentro do desenvolvimento desta pesquisa. De um modo geral, esta abordagem caracterizou-se por intensa revisão bibliográfica, etapas de pré processamento das imagens, etapas de levantamento de campo, uma etapa mais significativa de processamento e análise multitemporal das imagens de satélite e por fim a seleção dos produtos com melhor desempenho para o mapeamento geológico e geomorfológico da área de estudo. Numa etapa final, os dados foram analisados e passou-se a redação do texto final da dissertação.

A seguir cada uma destas etapas desenvolvidas, após a revisão bibliográfica, foi devidamente detalhada para compreensão da integralidade metodológica desta pesquisa.

### **2.2 - Caracterização das imagens utilizadas e dos métodos de aquisição**

Diversos trabalhos utilizaram técnicas de geoprocessamento para análise das modificações variação temporal do ambientes sedimentares recentes e sua evolução em médio prazo (30 anos), principalmente para realizar mapeamento, registro, comparações e monitoramento dos diferentes vetores de acreção e erosão ao longo do tempo (França & Souza-Filho, 2003). As mudanças dos limites e das formas podem ser compiladas, digitalizadas e manipuladas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sendo expressas em áreas, distâncias lineares, taxas e porcentagens (França & Souza-Filho, 2003).

Vários fenômenos ambientais apresentam a propriedade de variar no tempo e no espaço (Espírito-Santo, 2003), de forma contínua e sem fronteiras pré-determinadas. O sensoriamento remoto é uma das ferramentas mais importantes para o acompanhamento multitemporal destes processos de evolução deposicional e de aspectos geológicos e geomorfológicos de uma determinada área. Para França & Souza-Filho (2003), a aplicação do sensoriamento remoto e SIG, nos estudos das mudanças costeiras de médio período, constituiu uma das mais importantes técnicas para registrar, monitorar, mapear e comparar áreas em diferentes locais sujeitos a recuo e acresção da linha de costa, nas últimas décadas. Daí o interesse em averiguar tais fenômenos na foz do rio Tapajós e região do rio Amazonas em Santarém.

Considerando, portanto, que um dos objetivos deste trabalho é a análise multitemporal das mudanças deposicionais e geomorfológicas na foz do rio Tapajós, fica patente a necessidade de aquisição de imagens de diferentes datas, dentro do período de análise proposto. Dentre as imagens disponíveis, para fins desta investigação de comparação e análise, utilizou-se apenas 05 (cinco) imagens de satélite da série LANDSAT referentes à órbita 227 / ponto 062, adquiridas nos anos de 1975, 1981, 1986, 2001 e 2007. A seleção destas datas foi feita com objetivo de espaçar igualmente no tempo as imagens disponíveis ao longo do período analisado.

Desta forma, as imagens de 1975, 1981, 2001 e 2007 foram adquiridas no site INPE (<http://www.inpe.br>) (Tabela 2.1) e duas imagens dos anos de 1986 e 2001, para completar a série e histórica e minimizar a presença de nuvens foram adquiridas no site da Universidade de Maryland (<http://gicf.umiacs.umd.edu/index.shtml>) (Tabela 2.2). Assim, o intervalo de tempo a ser analisado é de 32 anos, utilizando no detalhe, com será visto adiante, as variações de traçado do delta, das linhas de barras do rio Tapajós e do traçado do limite das ilhas fluviais no rio Amazonas, como geoindicadores das taxas de acresção e deposição.

Muitos autores destacam os desafios relacionados ao uso do de sensoriamento remoto em regiões tropicais. O prolongado período de chuvas em que a região está sujeita, a intensa e permanente cobertura de nuvens, a dificuldade de acesso, as altas temperaturas e umidade são fatores que devem ser levados em consideração em qualquer estudo amazônico. Porém, estes problemas precisam ser encarados a partir do conhecimento destas limitações e práticas de aquisição e utilização de dados de sensores remotos (Souza-Filho, *et al.*, 2005).

A região estudada é caracterizada pelo clima tropical úmido onde ocorre precipitação alta e constante (> 1.500 mm/ano), alta temperatura (> 20°) com baixa variação térmica e elevada nebulosidade (Souza-Filho, *et al.*, 2005). Devido a esse fato, o uso de dados de sensores remotos ópticos é limitado e deve ser auxiliado por outras imagens de outros tipos de sensores para o mapeamento e monitoramento de mudanças ambientais (Filho *et al.*, 2005).

Tabela 2.1 – Dados dos sensores utilizados e das condições sazonais durante o imageamento.

Fonte: <http://www.inpe.br>

SENSOR	SATÉLITE	ÓRBITA PUNTO	DATA	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	BANDAS	CONDIÇÕES DE SAZONALIDADE
MSS	LANDSAT-1	227/062	27/10/1975	80	3,2,1	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-2	227/062	18/06/1981	80	3,2,1	VAZANTE
TM	LANDSAT-5	227/062	30/07/2001	30	7,4,2	VAZANTE
TM	LANDSAT-5	227/062	23/07/2007	30	7,4,2	VAZANTE

As imagens usadas nesta pesquisa e que englobam a área de interesse deste trabalho foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As imagens disponíveis são da série LANDSAT (órbita ponto 227/062). Paralelamente, foram baixadas as imagens LANDSAT ortorretificadas disponíveis para esta mesma órbita/ponto, a partir do site da Universidade de Maryland, (<http://glof.umiacs.umd.edu/index.shtml>) (Tabela 2.2). Para complementar os dados orbitais e acrescentar as informações topográficas os estudos geológicos e geomorfológicos desenvolvidos, foram baixadas às imagens da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) a partir do site <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, e link

(ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov), da Agência Espacial dos Estados Unidos – NASA, onde estão disponíveis imagens da primeira e da segunda série de processamento dos dados da SRTM, adquirido em fevereiro de 2000.

Tabela 2.2 – Imagens Ortoretificadas da Universidade de Maryland.

Fonte: <http://glcf.umiacs.umd.edu>

SENSOR	SATÉLITE	ÓRBITA PUNTO	DATA	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	BANDAS	CONDIÇÕES DE SAZONALIDADE
TM	LANDSAT-5	227-062	14/08/1986	30	7,4,3	VAZANTE
TM	LANDSAT-5	227-062	30/07/2001	30	7,4,2	VAZANTE

De forma complementar também foi utilizado imagens-mosaico de radar do sistema JERS-1 apenas para caracterizar a rede hidrografia local, em especial as características dos nos períodos de cheia e vazante e a sua correspondente influência no processo deposicional local. A aquisição dessas imagens deu-se junto ao IBAMA - Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis. Estudo Matriz para o Projeto “Manejo Sustentável dos Recursos Naturais da Várzea” – PROVARZEA, 2000 – Programa Piloto de Proteção das Florestas Tropicais do Brasil-PPG7 e não necessitaram de aplicação de técnicas de processamento digital.

O tratamento e processamento digital das imagens orbitais foram realizados no *Software* PCI 10.1 e Arc Gis (Arc Map 9.2) no Laboratório de Análise de Imagens do Tropicó Uúmido – LAIT, no Campus do Guamá da Universidade Federal do Pará – UFPA e LSR/CAM/UFAM. As imagens foram geometricamente corrigidas, utilizando-se em média 15 pontos de controle a partir de imagens georreferenciadas adquiridas junto à Universidade de Maryland, dos anos de 1986 e 2001.

O datum **WGS 84** é mundial e muito usado em trabalhos científicos, pois muito raramente usam-se os datum locais. No Brasil, o **SAD 69** é utilizado como datum oficial, em substituição ao Córrego Alegre, especialmente pelo IBGE. Neste trabalho o datum usado no georrefenciamento das imagens foi o **WGS 84**, já que as imagens adquiridas da Universidade



de Maryland encontram-se georeferenciadas com este datum, daí reforçar a escolha deste em detrimento ao datum usado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, facilitando a fase de processamento.

### 2.3 - O uso de dados multitemporais

As informações multitemporais de sensores remoto têm sido consideradas pelos cientistas como a melhor estratégia para a discriminação dos alvos da superfície terrestre, reduzindo, assim, as incertezas das classificações temáticas (Espírito-Santo, 2003). Utilizando dados do sensor MSS, TM e ETM<sup>+</sup> da série LANDSAT de 1975 a 2007, determinaram os padrões de acreção e erosão da área de estudo. Apesar da grande disponibilidade de datas de imageamento algumas das cenas/datas da série LANDSAT não foram utilizadas devido à grande cobertura de nuvens (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Caracterização das imagens LANDSAT da área de estudo, disponíveis no *site* do INPE. - Fonte: <http://www.inpe.br>

SENSOR	SATÉLITE	ÓRBITA PONTO	DATA	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	BANDAS	CONDIÇÕES DE SAZONALIDADE
MSS	LANDSAT-1	227-062	14/11/1975	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-1	227-062	23/06/1975	80	TODAS	CHEIA
MSS (*)	LANDSAT-1	227-062	27/10/1975	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-1	227-062	03/10/1976	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-3	227-062	11/10/1978	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-3	227-062	29/10/1978	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-2	227-062	03/09/1980	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS	LANDSAT-2	227-062	02/12/1980	80	TODAS	ESTIAGEM
MSS (*)	LANDSAT-2	227-062	13/05/1981	80	TODAS	CHEIA
MSS	LANDSAT-2	227-062	18/06/1981	80	TODAS	CHEIA
TM	LANDSAT-5	227-062	05/09/2000	30	TODAS	ESTIAGEM
TM (*)	LANDSAT-5	227-062	21/09/2000	30	TODAS	ESTIAGEM
ETM/PAN	LANDSAT-7	227-062	12/06/2001	30	TODAS	CHEIA
ETM/PAN	LANDSAT-7	227-062	15/08/2001	30	TODAS	VAZANTE
ETM/PAN (*)	LANDSAT-7	227-062	30/07/2001	30	TODAS	CHEIA
ETM/PAN	LANDSAT-7	227-062	31/08/2001	30	TODAS	VAZANTE
ETM/XS	LANDSAT-7	227-062	12/06/2001	30	TODAS	CHEIA
ETM/XS	LANDSAT-7	227-062	15/08/2001	30	TODAS	VAZANTE
ETM/XS	LANDSAT-7	227-062	30/07/2001	30	TODAS	VAZANTE
ETM/XS	LANDSAT-7	227-062	31/08/2001	30	TODAS	VAZANTE
TM (*)	LANDSAT-5	227-062	23/07/2007	30	TODAS	VAZANTE

(\*) imagens utilizadas para quantificação das modificações.

## 2.4 - O Processamento das imagens

Os estudos que utilizam séries históricas de imagens de satélites apresentam dificuldades operacionais causadas principalmente pela variação de atmosfera, ângulo de iluminação do alvo e perda da sensibilidade espectral dos sensores ao longo do tempo. Para resolver esses problemas, é necessário aplicar diferentes técnicas de processamento de imagens como: georreferenciamento, correção atmosférica e correção radiométrica (Espírito-Santo, 2003). Na região amazônica estas dificuldades acentuam-se devido às condições atmosféricas específicas.

O georreferenciamento de imagens multitemporais é uma etapa fundamental para a análise da mudança de uso da terra (Espírito-Santo, 2003). O principal objetivo é inserir nas imagens uma projeção cartográfica e escala, (Espírito-Santo, 2003), ou seja, é necessário que cada imagem tenha uma correspondência geométrica com precisão mínima entre elas, seguindo a lógica da ortorretificação, para garantir a sua correlação.

Este processo pode ser realizado com base em pontos coletados em campo a partir de receptores GPS (*Global Positioning System*) ou de coordenadas geográficas obtidas nas cartas topográficas; ou ainda a partir de uma imagem previamente ortocorrigida da área a ser pesquisada. Através da criação de relação espacial entre os pontos verdadeiros da superfície terrestre (GPS) e a imagem de sensoriamento remoto pode-se ajustar uma função polinomial de  $n$  ordens, conforme o número de pontos de controle. Após a criação dessa função é realizada, então, a interpolação dos *pixels* da imagem a ser registrada. O melhor método de interpolação depende da necessidade de cada usuário. Na interpolação realizada por vizinhos mais próximos, os números digitais originais da imagem são preservados após o registro (Espírito-Santo, 2003).

Neste trabalho optou-se por uma metodologia mista entre a utilização de pontos de controle de GPS e o uso da imagem previamente ortorretificada da Universidade de

Maryland. Para tanto foi usado o *software* PCI 10.1, licenciado ao *Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido* da Universidade Federal do Pará (LAIT-UFFPA), em Belém. Os pontos utilizados no georreferenciamento das imagens durante o trabalho de campo encontram-se listados na Tabela 2.4. Outros pontos de controle ao longo do delta do Tapajós também foram usados para efeito de localização espacial e localização dos grandes elementos geomorfológicos da área de estudo e encontram-se na Tabela 2.5.

A coleta dos pontos em trabalho de campo serviu para ratificar e melhorar ortorreficação das imagens obtidas junto ao INPE e anteriormente ortorretificada anteriormente a partir das imagens georreferenciadas disponibilizadas no site da Universidade de Maryland.

Para plotagem dos pontos em todos os mapas foi utilizado o *software* livre *conversor\_dnpm*, desenvolvido pelo Departamento Nacional de Pesquisas Minerais - DNPM, o qual se demonstrou bastante útil e de fácil utilização e boa precisão.

Tabela 2.4 – Tabela com os pontos de receptor GPS coletados durante etapa de campo.  
(destaque em negrito para os pontos extremos da área de estudo).

<b>PONTOS / DESCRIÇÃO</b>	<b>LAT. / LONG. em UTM</b>
PT 01 – Orla de Santarém - Após Terminal Turístico	9.732.711m/754.688m
PT 02 – Praia do Maracanãzinho - Ponta dos blocos de laterita	9.731.560m/749.881m
PT 03 – BR 163 - Retorno em frente ao 8°. BEC / Polícia Rod. Federal	<b>9.722.691m/752.890mS</b>
PT 04 – BR163 - Corte de estrada	9.723.558m/752.305m
PT 05 – BR 163 - Barranco em frente ao depósito da empresa Coca Cola/Schincariol	9.725.893m/752.379m
PT 06 – BR 163 - Pátio de empresa de produção de pó calcário	9.727.202m/752.380m
PT 07 – Morro do Santarenzinho / Zona urbana	9.728.012m/751.052m
PT 08 – PA 457 - 1,5 km após o trevo do aeroporto	9.727.629m/747.691m
PT 09 – PA 457 - Localidade de Cucurunã	9.726.708m/746.834m
PT 10 – PA 457 - Localidade de São Braz	9.725.565m/742.733m
PT 11 – Entrada do acesso a praia de Ponta de Pedras	9.721.289m/737.823m
PT 12 – Localidade de Itapari, próximo a Lagoa do Itapari	9.730.078m/733.422m
PT 13 – Ponta de Pedra, blocos de arenito as margens do rio Tapajós	9.730.293m/731.705m
PT 14 – Ponta do Cururu / Alter do Chão	<b>9.726.991m/724.531mW</b>
PT 15 – Ponta da Ilha de Ponta Negra / Rio Amazonas	<b>9.733.446m/755.675mE</b>

PT 16 – Ponta da Ilha Ponta Negra / Foz do rio Tapajós	9.734.369m/753.523mN
PT 17 – Aeroporto de Santarém	9.731.794m/746.205m

Continuação da Tabela 2.4

Tabela 2.5 - Tabela com pontos de coletados durante a etapa de campo no rio Arapixunas.

PONTOS / DESCRIÇÃO	LAT. / LONG. em UTM	LAT. / LONG. em GEO
PT 01A – Baía do Tapajós	9.737.505,137m/744.716,871m	02° 22' 23,155"/54° 47' 58,053"
PT 02A – Rio Arapixunas – Trecho 01	9.743.449,582m/737.812,171m	02° 19' 10,034"/54° 51' 41,759"
PT 03A – Rio Arapixunas – Trecho 02	9.746.946,185m/738.001,161m	02° 17' 16,221"/54° 51' 35,814"
PT 04A – Rio Arapixunas – Trecho 03	9.749.845,626m/739.414,540m	02° 15' 41,785"/54° 50' 50,224"
PT 05A – Rio Arapixunas – Trecho 04	9.753.829,794m/739.004,437m	02° 13' 32,133"/54° 51' 03,682"
PT 06A – Rio Arapixunas – Boca do rio Amazonas	9.759.206,920m/735.066,829m	02° 10' 37,306"/54° 53' 11,326"

## 2.5 - Técnicas de extração, digitalização e manipulação dos elementos necessários para definição dos geoindicadores utilizados na análise temporal das imagens

Para interpretação visual e digitalização de dados, extraiu-se em cada uma das imagens, das diferentes datas disponíveis, os limites externos delimitados pela lâmina d'água tanto do entorno da linha de barra principal do rio Tapajós, quanto para o delta do rio Tapajós e para o perímetro das ilhas fluviais no rio Amazonas, correspondendo: a) linha de barra do Tapajós, contato entre os rios Tapajós e o Amazonas; b) delta do Tapajós, furo que liga os rios Tapajós ao Amazonas, conhecido como rio Arapixunas; c) ilhas fluviais no rio Amazonas formadas ao longo do seu curso próximo a área urbana do município e na área de estudo.

Para quantificar os processos de acresção e/ou erosão local foi feita a sobreposição dos vetores, a poligonalização, a classificação e quantificação das áreas progradacionais e retrogradacionais das áreas de abrangência da pesquisa, assim como a mensuração de distâncias lineares e o cálculo de taxas e porcentagens de variações.

Semelhantes técnicas foram utilizadas para mensurar a linha de costa nos municípios de Soure e Salvaterra no Pará, por França & Filho (2003). Os autores obtiveram importantes resultados sobre a evolução deposicional naqueles municípios. As análises multitemporais permitiram caracterizar, quantificar e mapear as mudanças geomorfológicas no arquipélago

do Marajó, no Estado do Pará, em médio período de tempo. Observando os avanços e recuos da linha de costa, à migração das principais desembocaduras e o crescimento de praias-barreiras, concluíram que as mudanças foram classificadas em progracionais e retrogradacionais.

Considerando os resultados obtidos por França & Filho (2003), neste trabalho será adotada a mesma técnica, para obtenção e quantificação dessas alterações espaciais.

## **2.6 - Técnicas empregadas para a Extração da drenagem**

Para Oliveira (2001) foi Horton (1945) quem primeiro fez a primeira interpretação de bacias hidrográficas com base quantitativa, gerando um sistema relacionando números com o comprimento de rios (canais). Esta relação foi chamada de *ordem de ramificação da rede de drenagem*, que mais tarde, foi aperfeiçoada por Strahler (1957), de maneira que todo *tributário menor* (rio) é um rio ou segmento de 1ª ordem; enquanto que um rio de 2ª ordem nasceria da junção de dois rios de 1ª ordem e assim por diante, ou seja, quando dois rios de ordem diferente se juntam, prevalece o de ordem maior, seguindo essa seqüência até os grandes contribuintes da bacia.

A extração detalhada da rede drenagem na área pesquisada foi realizada com imagens SRTM (2001), por meio do software Arc Gis (Arc Map 9.2) e comparada com a base hidrográfica existente. A drenagem obtida adotou o conceito de Strahler (1957), e a base para este trabalho leva em consideração apenas rios a partir de 6ª ordem. O resultado desta operação gerou o mapa de hidrografia (Figura 2.1). A lei dos comprimentos totais de rios de Strahler (1957) expressa à relação entre os comprimentos total de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, da qual a razão de comprimento total é a base. Com base nesta metodologia foi criado um mapa de drenagem da região de Santarém que serviu de padrão para todos os mapas temáticos desta pesquisa, em escala aproximada de 1: 280.000 (Figura 2.1).

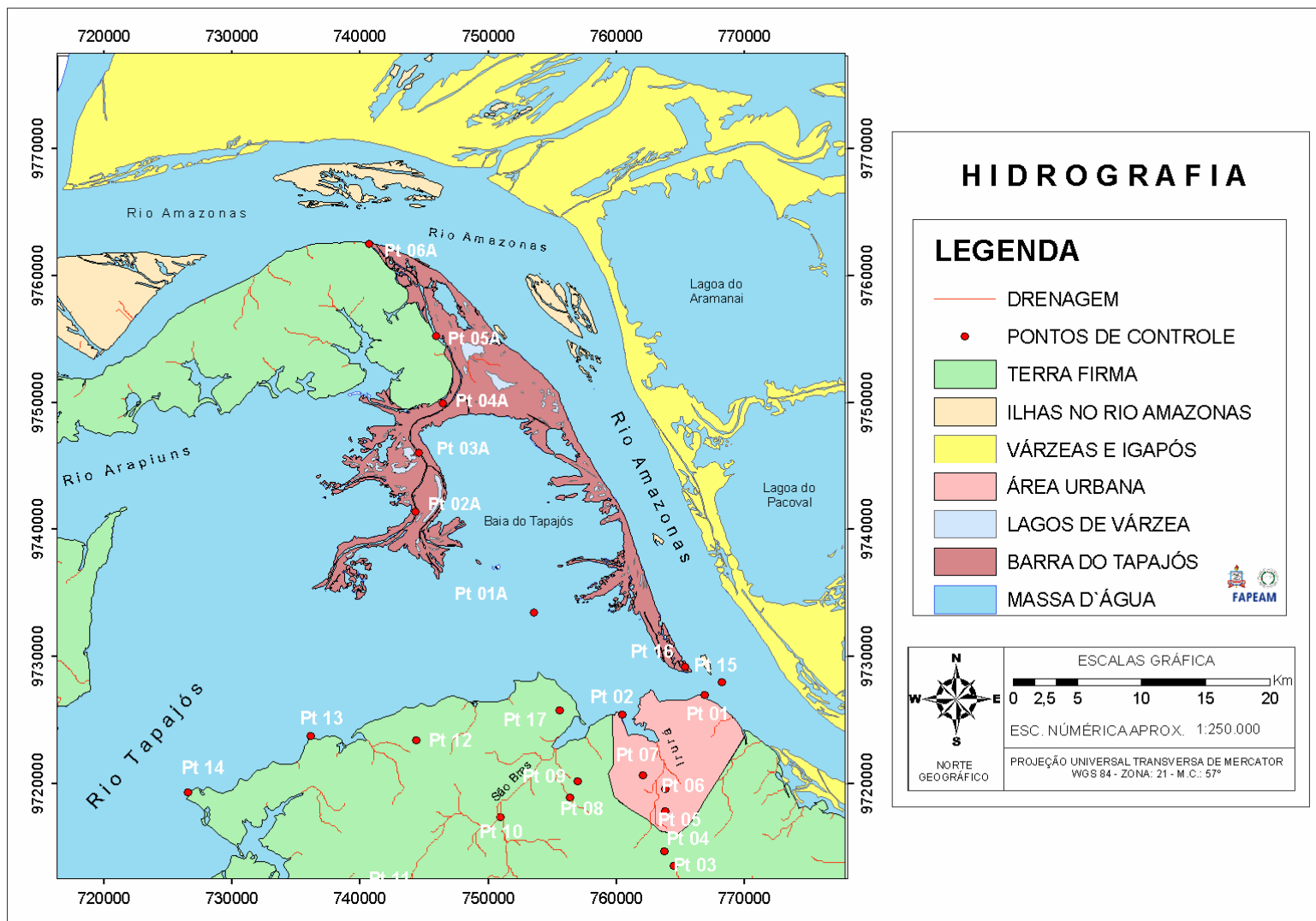


Figura 2.1 - Mapa de hidrografia da área de estudo.

## **2.7 - A Extração de dados topográficos (altimetria)**

A extração da altimetria na área da pesquisa foi realizada de acordo com os mesmos dados da extração de drenagem, utilizando a imagem SRTM, por meio do software Arc Gis (Arc Map 9.2), pois os levantamentos topográficos existentes não são adequados a escala de trabalho adotada nesta pesquisa. A altimetria obtida foi usada como base para todos os demais mapas gerados neste trabalho. As isolinhas utilizadas nos mapas altimétricos levam em consideração a diferença de cota de 30 metros. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE a cota média de referência é de 100 metros para serra localizada na estrada das instalações do 8º BEC (Batalhão de Engenharia e Construção, do Exército Brasileiro), IBGE. Estes dados referem-se a Folha G04 SA21, obtida pelo *shape* que pode ser adquirido no site [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

O resultado desta operação gerou o mapa de altimetria (vide Mapa de Altimetria da área de estudo, Figura 2.2).

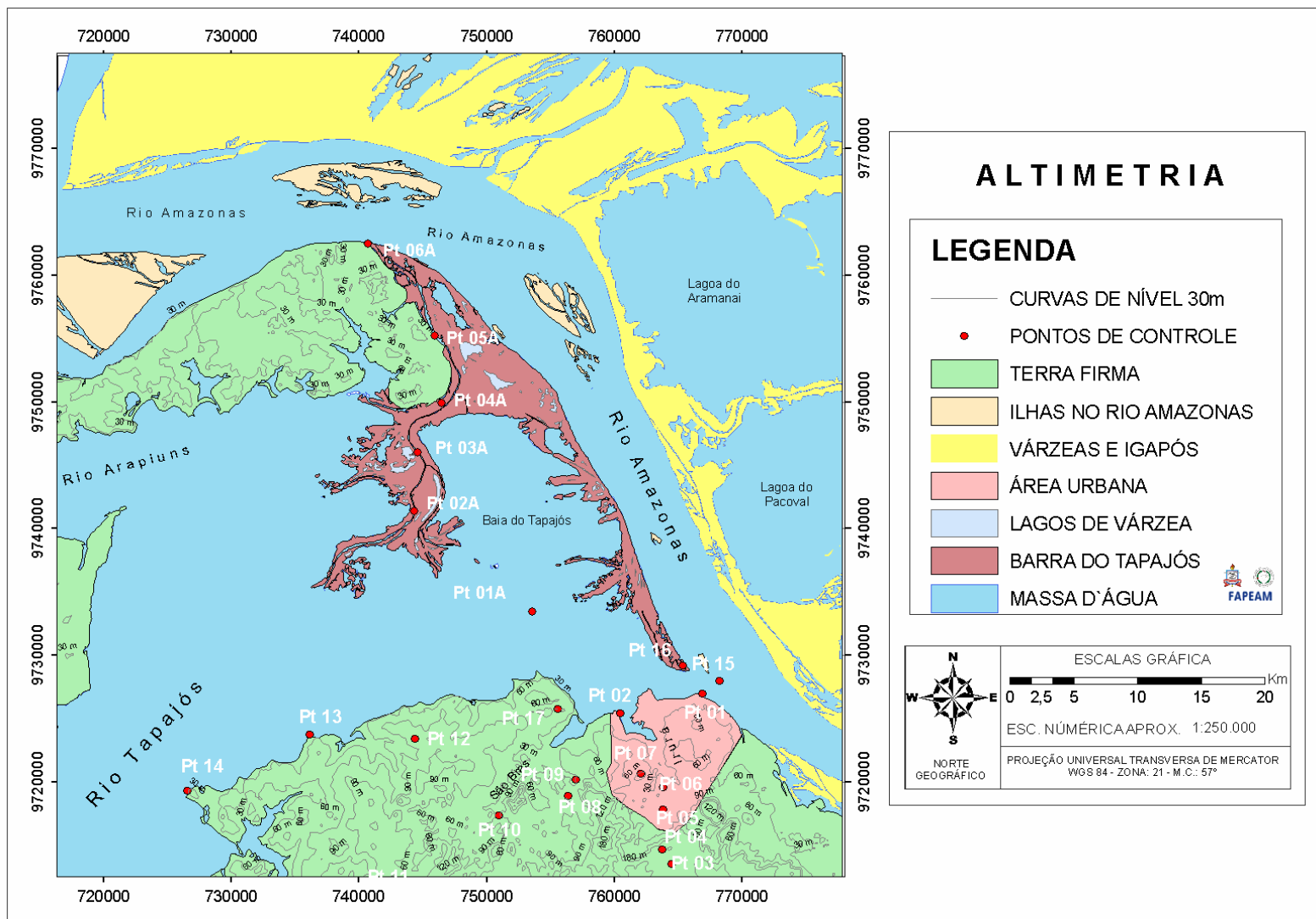


Figura 2.2 - Mapa topográfico (curvas de nível) da área de estudo, obtido a partir de dados SRTM,2001.



## **2.8 - Metodologia para Cálculo de áreas e perímetros**

O cálculo das áreas e perímetros de acreção e/ou erosão foi realizado através da ferramenta *X-Tools Pro*, do Software Arc Map, disponível no site: <http://www.xtoolspro.com/download.html>, (Acesso em 23/07/2008), com licença livre (*free*) para 30 dias.

## **2.9 - O Uso do *Shape file* do IBGE para Folha G04 SA21**

Para aumentar a qualidade cartográfica deste trabalho foi utilizado *shape files* do IBGE G04 SA-21, disponível no link: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/Carta\\_Internacional\\_ao\\_Milionesimo/shape/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/Carta_Internacional_ao_Milionesimo/shape/). Neste *site* encontram-se disponíveis diversos *shapes* digitalizados por este instituto, tendo por base as diversas folhas do Projeto RADAMBRASIL (1976).

# USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ

## CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA, GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA REGIONAL DA FOZ DO RIO TAPAJÓS.

Para o entendimento desta pesquisa é necessário a apresentação das principais características fisiográficas da região de estudo, que envolve aspectos relacionados ao Clima, Hidrografia, Solo, Vegetação, Geomorfologia e Geologia. Estes aspectos influenciam diretamente sobre as características geomorfológicas da região e na interpretação das principais abordagens deste estudo.

### 3.1 - Clima

Por estar localizada entre o alto e baixo Amazonas e entre os Cratons Guianense e Brasil Central, esta área mostra *uniformidade climática* que se imaginava ocorrer na planície do rio Amazonas, onde, apenas por nuances pode-se perceber diferenciações climáticas. Segundo Tancredi, 1996, a SUDAM, caracterizam o clima da região de Santarém como clima equatorial úmido do tipo *Am*, segundo a classificação de Köppen.

A região do médio Amazonas paraense possui uma pluviosidade anual que é sempre superior á 2000 mm e com uma média mensal de temperatura mínima superior a 18°C. A estação seca de pequena duração e amplitude térmica mensal inferior a 5°C, com temperatura média anual de 25,6°C e valores médios para as máximas de 31°C e para as mínimas de 22,5°C. A umidade relativa apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano (RADAMBRASIL, 1976). A estação chuvosa ocorre entre os meses de dezembro a junho e a menos chuvosa entre julho e novembro. O excedente de água no solo, segundo o balanço hídrico, corresponde aos meses de fevereiro a julho, com excedente de mais de 750 mm,

sendo março o mês de maior índice. A redução intensifica entre agosto e dezembro, sendo setembro o mês de maior carência, com valores menores que 90 mm.

A Tabela 3.1 mostra os parâmetros climáticos médios mensais e anuais, da estação meteorológica de Belterra, no período de 1967 a 1990, (DNMET, 1992, IN: Tancredi, 1996). Na região da cidade de Santarém é percebida a ação de um micro clima mais seco, o qual permite, inclusive, a ocorrência de manchas de savanas estépicas que contrastam com o bioma amazônico de floresta. A Figura 3.1 mostra o mapa de classificação climática para o estado do Pará.

Tabela 3.1 - Parâmetros climáticos médios mensais e anuais da estação meteorológica de Belterra, no período de 1967 a 1990 - Fonte: DNMET (1992).

Meses	Temperatura Média (°C)	Precipitação Pluviométrica Total (mm)	Evaporação Total (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação Total (H)
Janeiro	24,7	183,5	77,9	90,0	158,2
Fevereiro	24,5	258,3	57,2	92,0	122,4
Março	24,5	302,8	60,3	92,0	128,7
Abril	24,7	283,4	53,2	92,0	128,7
Maió	24,5	264,5	52,7	93,0	198,6
Junho	24,4	125,7	59,6	92,0	177,2
Julho	24,2	93,5	72,8	90,0	228,8
Agosto	27,7	52,4	88,6	88,0	251,2
Setembro	25,3	41,8	100,0	87,0	240,4
Outubro	25,8	47,6	118,1	86,0	232,0
Novembro	25,7	77,3	118,5	85,0	203,4
Dezembro	25,3	180,4	100,6	87,0	179,3
Média Anual	24,8	-	-	90,0	-
<b>Total Anual</b>	-	1.911,2	959,2	-	2.219,0

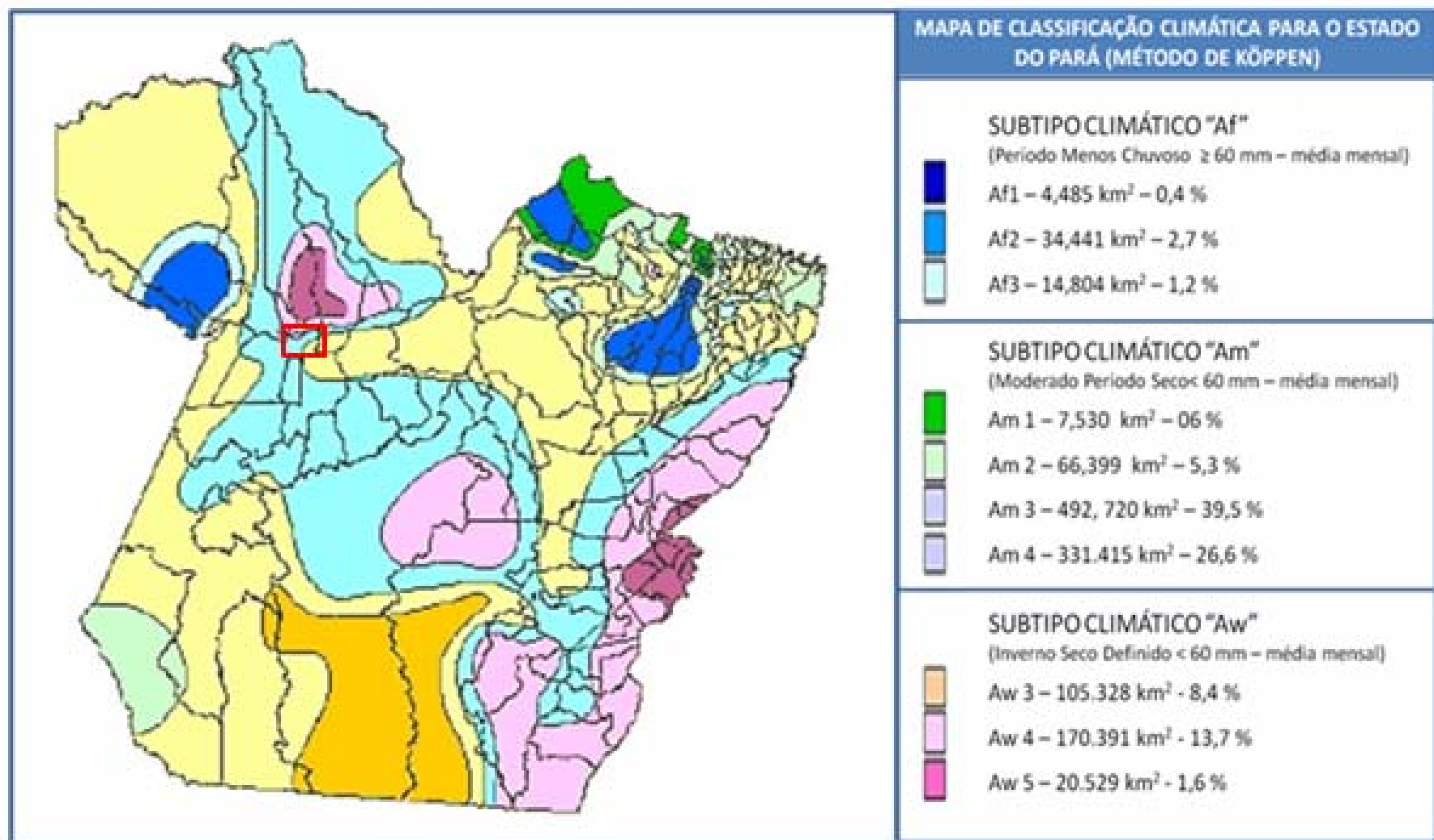


Figura 3.1 – Mapa de Classificação Climática para o Estado do Pará, com destaque para a área de estudo.

(Modificado de SEFOPA, 2008).

### 3.2 - Hidrografia

A bacia amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo, com mais de sete milhões de km<sup>2</sup>, dos quais mais de 3,9 milhões encontra-se em território brasileiro. É uma bacia *intracratônica* e está delimitada pelas seguintes unidades morfoestruturais: ao norte, pelo Escudo das Guianas; ao sul, pelo Escudo Brasileiro; a oeste, pelo Arco do Purus; e a leste, pelo Arco do Gurupá.

O rio Amazonas é o maior rio do mundo em vazão de água, com uma vazão anual média de aproximadamente 200.000 m<sup>3</sup>/seg. e uma largura média de cinco quilômetros. Possui sete mil afluentes e diversos cursos de água menores e canais fluviais criados pelos processos de cheia e vazante (ABRAGE e CESP, 2008). Nasce nos Andes peruano, recebe diversas denominações até entrar em território brasileiro com o nome de Solimões. Após receber o rio Negro em frente à cidade de Manaus, passa a chamar-se Amazonas, que percorre 6.280 km até desaguar no Oceano Atlântico entre o arquipélago do Marajó e as cidades de Macapá e Belém.

A planície amazônica compreende a várzea ou planície propriamente dita, que é a faixa deprimida dentro da qual ocorre o rio, constituída por seus depósitos de canal e inundação.

Entre a foz do rio Trombetas e o Tapajós a várzea tende para leste até a cidade de Santarém e depois descreve uma curva menor com cerca de 200 km de comprimento. Até ultrapassar o lago Grande a 54° W, as características são semelhantes, sendo a largura um pouco maior e a *barranca* apresentando vales afogados curtos, largos e frequentes em frente aos depósitos estuarinos e na borda do lago Grande do Curuai. (Iriondo, 1982)

Na área da foz do rio Tapajós o Amazonas divide-se em vários braços ativos, com alto índice de divagação e forte atividade morfogenética (Figura 3.2). A largura é muito variável,

entre 2 a 7 km, as ilhas são numerosas e irregulares, sendo a maior delas a ilha Grande do Tapará. Depois passa a trechos retos, com escassas ilhas e largura de 4 a 8 km. (Iriundo, 1982)

Segundo Iriundo (1982) ao longo do trecho que corta a área de estudo do rio Amazonas apresenta *bancos de areia muito estreitos e quase retos que emergem de grandes lagos irregulares*. Nas proximidades do lago Grande, a planície de bancos desaparece e em pouco mais a jusante reaparece em forma de bancos longos, muito estreitos e paralelos ao canal. Estas unidades são originadas por processos de colmatação que ocorrem durante as cheias, com predomínio da sedimentação fina em ambientes tranquilos, fora da influência direta do canal.

Observa-se também que há grandes números de lagos de 3 km de extensão máxima de formas arredondadas alongadas ou irregulares. São também observados pequenos canais irregulares não conectados. Os lagos geralmente são isolados, sem comunicação permanente com o sistema fluvial. A 54° 30' W encontram-se a ilha Ituqui, que é formada por terras emersas e numerosos lagos pequenos vinculados entre si, de formas irregulares (Iriundo, 1982).

No relatório da Folha SA.21 – Santarém, de 1976, foram identificados indícios de processo de subsidência local representados pelos alagamentos da planície aluvial, divagação do canal, abundância de lagos e grandes curvatura de bancos e meandros. Indícios de soerguimento, são representados pelo estreitamento da planície, trechos rasos ou pouco divagantes do canal, mudanças angulares de direção, ausência de lagos e bancos com fraca curvatura.

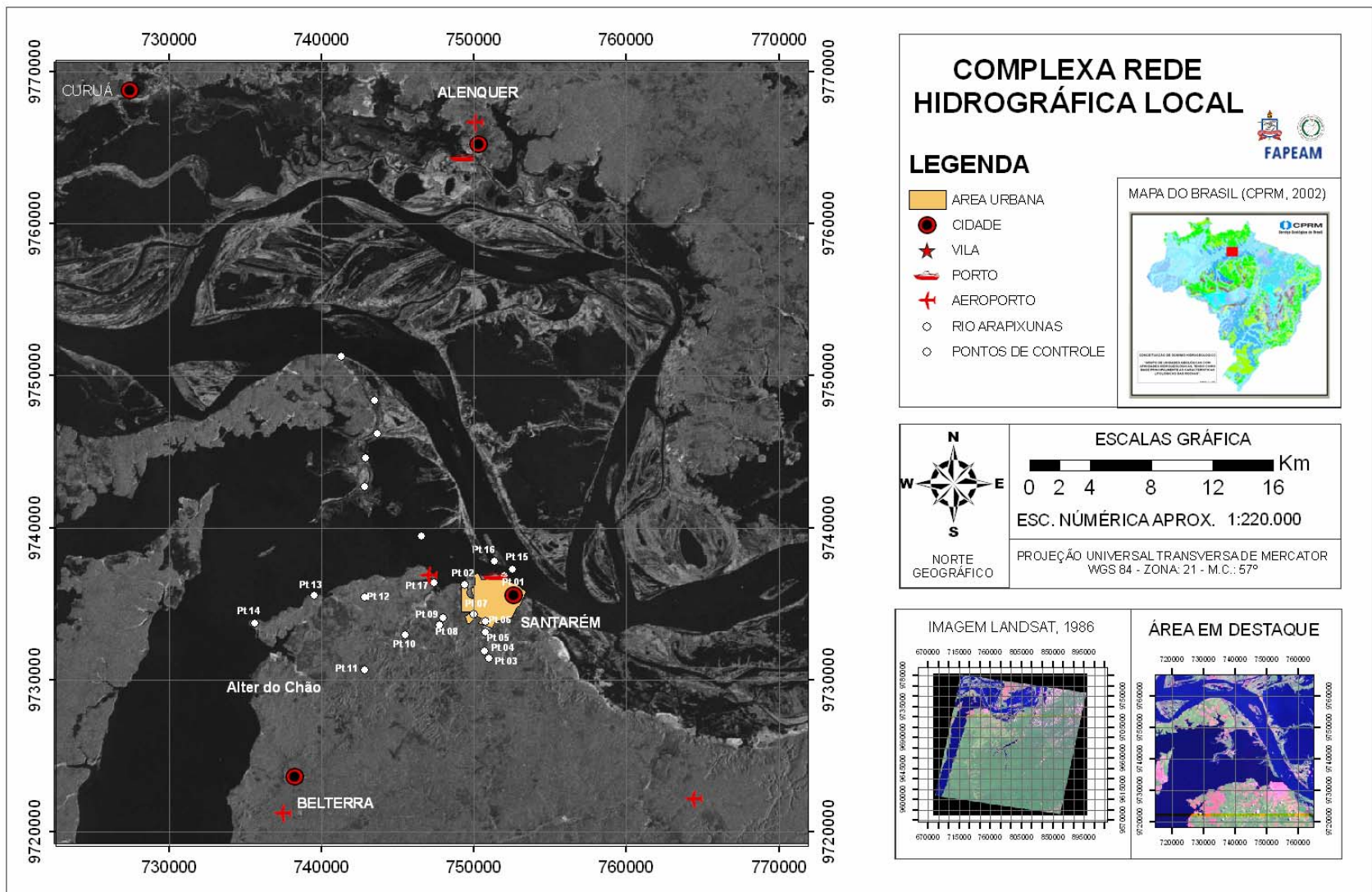


Figura 3.2 - Vista em imagem mosaico SAR/JERS-1

### 3.2.1 - Os vales afogados

Na área de estudo ocorrem também os chamados vales afogados que estão diretamente ligados à planície do rio Amazonas em quase todo seu percurso. Analisando um percurso de 2.500km de várzea, Iriondo (1982) indica que se *trata de fenômeno complexo*, vinculado a prováveis desajustamentos da paisagem devido ao volume de água comum na região. Outras causas prováveis da existência dos afogamentos podem ser encontradas em outros autores, porém três delas se destacam, atuando isoladas ou combinadas entre si:

- a) barragem das desembocaduras dos tributários por sedimentos do rio principal. Esta pode efetuar-se por qualquer unidade geomorfológica, antiga ou moderna;
- b) implantação de regime estuarino durante a transgressão marinha holocênica, fato evidenciado até algumas centenas de quilômetros a montante da foz atual e;
- c) subsidência de blocos de falhas por movimentos neotectônicos, atingidos trechos de até dezenas de quilômetros. (Iriondo, 1982)

O rio Tapajós (Figura 3.3), afluente da margem esquerda do rio Amazonas, é considerado o sexto maior rio brasileiro, com cerca 13.500m de extensão (ANA e SNRH, 2008) e tem uma idade definida como meso-pleistocênica. O rio possui boa parte de curso navegável e potencial hidráulico no médio e alto curso. Na margem direita do rio encontra extensa superfície tabular erosiva com altitudes entre 120 e 170m, enquanto a margem esquerda há uma predominância de depósitos aluvionares quaternários (RADAMBRASIL, 1976).

A região de Santarém está inclusa na bacia hidrográfica do rio Amazonas. A descarga líquida anual média do rio Tapajós em sua foz, localizada em Santarém é de  $13.540\text{m}^3/\text{seg}$ . e a descarga líquida anual média do rio Amazonas na cidade de Óbidos, é de  $165.740\text{m}^3/\text{seg}$ . (IN: Tancredi, 1996).



Na região do município de Santarém podem ser observadas diversas sub-bacias hidrográficas, que alimentam diversos igarapés, os quais deságuam no rio Tapajós e no rio Amazonas. Essa área é drenada pelos igarapés Grande, São Brás, Irurá, Urumari, Mararu e outros menores, com base de drenagem associados ao nível dos rios Tapajós e Amazonas (Tancredi, 1996).

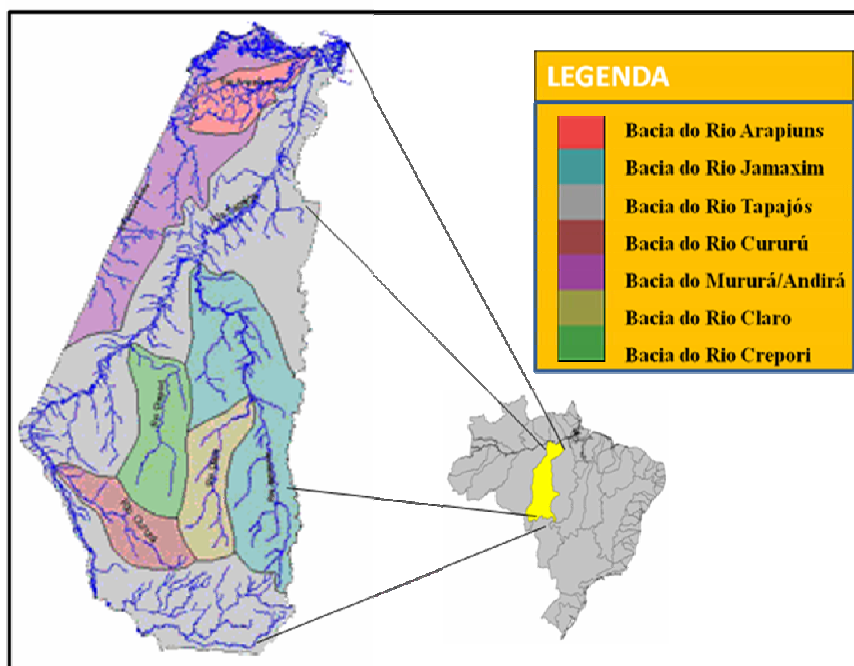


Figura 3.3 – Localização da bacia do rio Tapajós e suas sub-bacias.

Nas proximidades do município de Aveiros-Pa, também a sul de Santarém, o Tapajós tem seu curso alargado a partir do contato das litologias paleozóicas e terciárias, mantendo-se assim até a sua foz.

*Sua foz o rio Tapajós apresenta cerca 18km de largura, a correnteza diminui e o material em suspensão, trazido na época das chuvas se deposita no primeiro trecho, originando ilhas estreitas e alongadas – esta parte do rio é chamada de zona de sedimentação. Finalmente, nos baixos cursos, sua superfície sem ilhas, se mostra como uma baía – são as rias fluviais. A pouca correnteza na vazante (1cm/s), permite, no caso do rio Tapajós, a reprodução intensa de fitoplânctons, que forma inflorescências aquáticas esverdeadas, características deste rio. Suas margens são ocupadas por praias de areias brancas (Gondim, s/d).*

O rio Tapajós corta o município de Santarém no sentido SW-NE. Em sua foz, na margem direita, está localizada a sede municipal. O principal afluente pela margem esquerda é o rio Arapiuns (Figura 3.3), que tem como seus afluentes o rio Aruã e os igarapés Braço Grande do Arapiuns, Curí, Caranãe, Amarim e outros. Pela margem direita, possui apenas um afluente importante: o rio Mentaí. O Amazonas e seus furos, ilhas, paranás e lagos limitam o município, ao norte com os municípios de Alenquer, Óbidos e Monte Alegre-Pa. Na porção oriental, destaca-se o rio Curuá-una onde se encontra a hidrelétrica do mesmo nome e tem como principal afluente o rio Mojuí, pela margem esquerda.

A Figura 2.4 apresenta os principais elementos hidrográficos locais, tanto na cheia quanto na vazante, a partir da análise visual de imagens de radar (SAR/JERS-1).

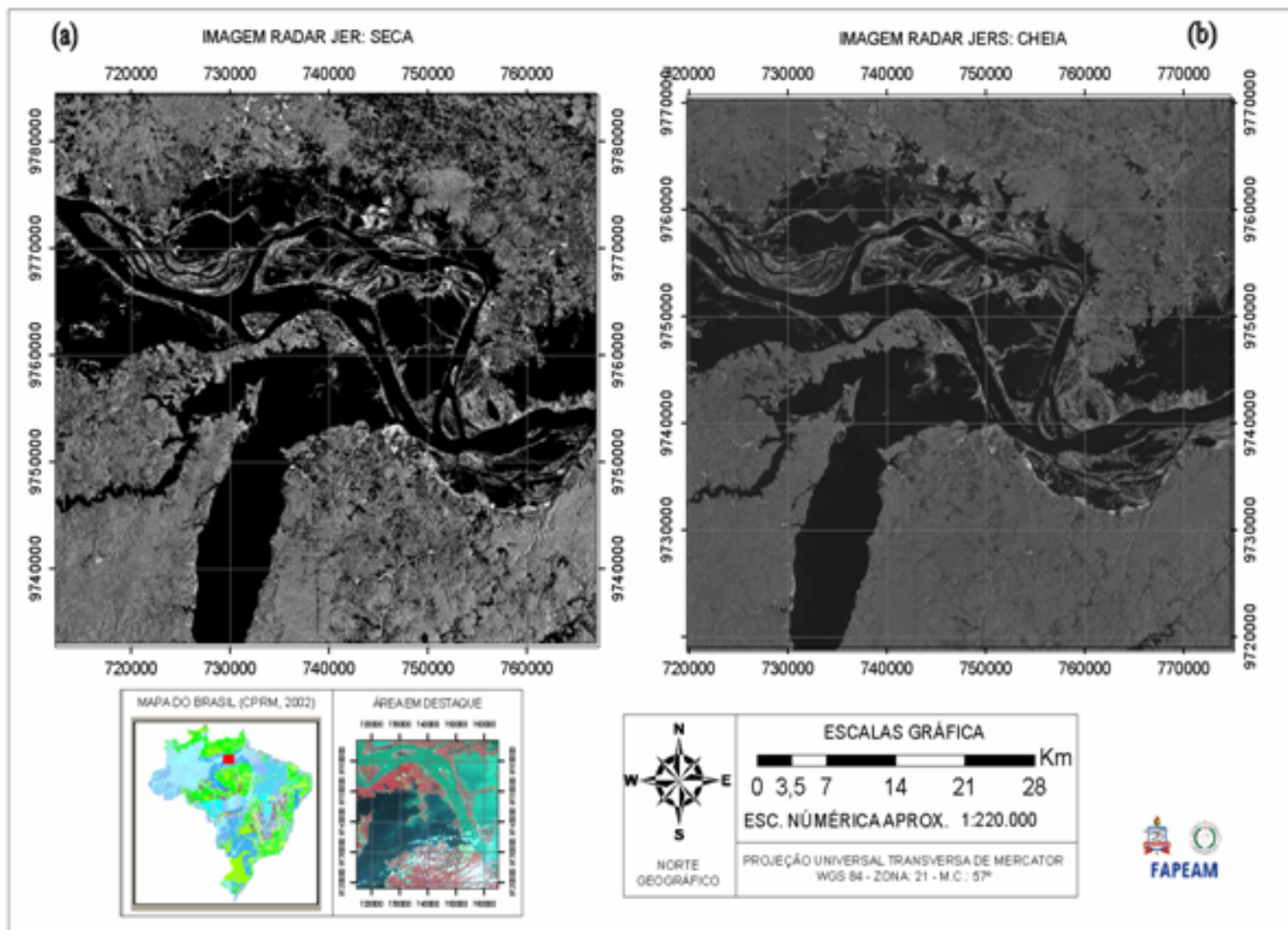


Figura 3.4 - A hidrografia da área de estudo, vista nas imagens de radar SAR/JERS-1. Período de (a) Seca e (b) Cheia.

### 3.3 - Os Solos

A Figura 3.5 mostra o mapa de distribuição regional dos principais tipos de solo que ocorrem na região de Santarém. Na área de estudo são identificados, portanto, cinco tipos de solos (Fonte: [www.embrapa.gov.br](http://www.embrapa.gov.br) - Embrapa Amazônia Oriental – CPATU).

- 1 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO: Hidromórfico húmico. A fase vegetação presente é de típica de dunas, arbustiva, com poucos elementos arbóreos maiores e mostra relevo de platô e serras enrugadas; Gley típico, com floresta equatorial estratigráfica com babaçu, relevo plano, associado à ARGISSOLO AMARELO higrófico típico, com textura arenosa média. Associa-se a vegetação de floresta equatorial subperenifólia, com relevo suave ondulado;
- 2 - NEOSSOLO FLÚVICO: Eutrófico típico, textura média. A moderada e A fraco, campo hidromórfico de savana, relevo plano, associa-se a GLEISSOLO HÁLICO típico, textura média a moderada, onde se tem vegetação de campo higrófico equatorial de várzea e relevo plano;
- 3 - ARGISSOLO AMARELO: Quartzoso grosso, textura argilosa, médio argiloso onde se desenvolve floresta equatorial subperenifólia, relevo ondulado;
- 4 - LATOSSOLO AMARELO: higrófico grosso, textura muito argila. Associam-se, sobretudo, a vegetação de floresta equatorial subperenifólia e a relevos de platô.

O mapa de solos regional abaixo foi elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental e faz parte do material cartográfico do Zoneamento Ecológico Econômico da área de influência da rodovia BR-163 (ZEE BR-163), em escala 1:250.000. Esse material encontra-se disponível no site da Embrapa Amazônia Oriental: <http://www.cpatu.embrapa.br/> após pré-cadastramento do usuário via link <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br>.

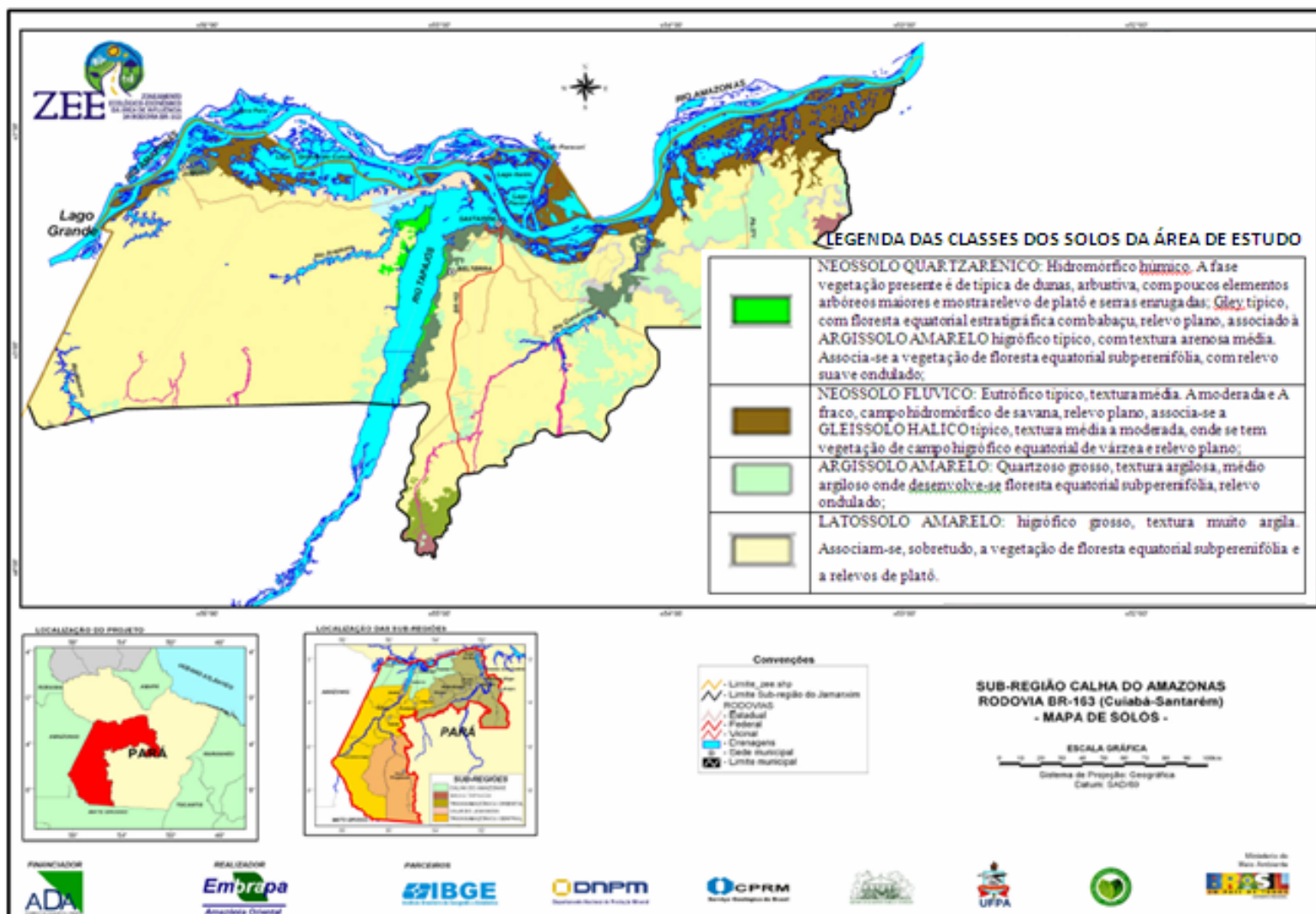


Figura 3.5 – Mapa de distribuição regional dos principais tipos de solos da foz do rio Tapajós.

Fonte: www.embrapa.gov.br - Embrapa Amazônia Oriental – CPATU – Mod. nossa.

### 3.4 - A Vegetação

O município de Santarém possui uma cobertura vegetal diversificada (Figura 2.6) formada por:

- 1 - Floresta equatorial latifoliada que ocupa a maior porção, cobrindo uma superfície de 16.882 km<sup>2</sup>, o que corresponde 63,66% do seu território (PRIMAZ/CPRM, 1996);
- 2 - Por campos cerrados localizados em áreas tanto de terra firme quanto em áreas sob influência de inundação fluvial.

Segundo dados extraídos da Folha SA.21 - Santarém. Originalmente são observadas “*quatro regiões ecológicas: savana, formações pioneiras, floresta densa e floresta aberta, além de áreas de tensão e refúgio ecológico, bem como áreas submetidas à ação antrópica.*”

A savana é uma subunidade da vegetação que ocorre no oeste paraense, desprovida de vegetação de grande porte, onde ocorrem tipos vegetativos arbustivos, tortuosos e de pequeno porte com cerca 314,25 km<sup>2</sup>. Representa 1,18% da área do município e está bem caracterizado na porção norte e na foz do rio Tapajós. As áreas de cerrado ou campos naturais apresentam solo de baixa fertilidade, extremamente arenosos, denominados areias quartzosas. (PRIMAZ/CPRM, 1996).

Na porção setentrional do município estão as áreas de planícies alagadas, aquelas submetidas periodicamente a inundações por parte do rio Amazonas e seus afluentes, caracterizando as regiões de várzea. As várzeas ocupam superfície de 1.137 km<sup>2</sup>, o que compreende 4,49% do município. (PRIMAZ/CPRM, 1996). Na várzea a vegetação típica são as gramíneas (pastos naturais), desenvolvidas sobre *glei* solos, em geral com grande fertilidade. Nessas áreas há o predomínio de espécies arbustivas, subarbustivas e campos aluviais.

Apesar de ser uma área de ocupação relativamente antiga a vegetação nativa ainda é a área de maior representatividade na região de estudo com cerca 18.334 km<sup>2</sup>, o que representa 69% de todo o município de Santarém.

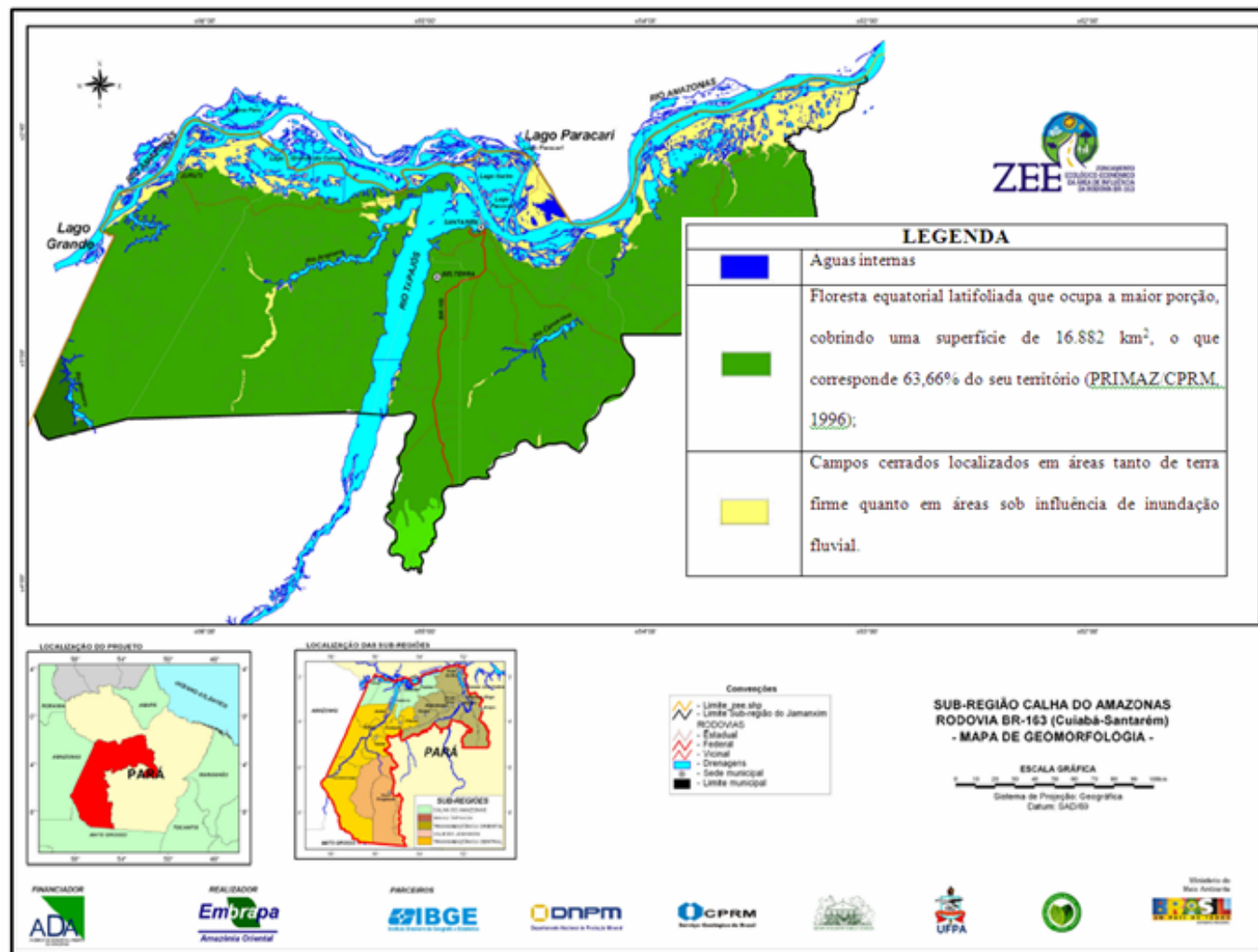


Figura 3.6 – Mapa de distribuição dos principais tipos de vegetação da área de estudo.

Fonte: www.embrapa.gov.br - Embrapa Amazônia Oriental – CPATU - Mod. nossa.



### **3.5 - Contextos Geomorfológicos e Geológicos Regionais**

As diferentes subdivisões geológicas e geomorfológicas da Amazônia brasileira e os critérios utilizados para delimitar as províncias e subprovíncias, além das principais unidades geomorfológicas, em especial a Província Amazônica no sentido de Almeida et al. 1977, são baseadas em dados essencialmente geocronológicos e interpretações de imagens de satélite, com suporte de campo limitado e em escala muitas vezes inadequadas. Este tipo de abordagem dificulta não só o reconhecimento das unidades aflorantes, mas também o estabelecimento preciso de seus limites, constituição litológica e demais características. O grau de conhecimento geológico regional é muito pequeno e só permite poucas correlações estratigráficas seguras entre unidades similares, principalmente se considerarmos as distâncias entre as suas áreas de ocorrência. O mesmo acontece com as unidades geomorfológicas, que pela sua extensão territorial assumem contornos locais bem diferenciados.

Problemas de natureza diversificada têm comprometido a qualidade e quantidade de informações geológicas obtidas para esta porção da Amazônia, dentre as quais se destacam a alta densidade da cobertura vegetal, o grau de alteração das rochas, dificuldade de acesso aos locais de interesse. Estes problemas acabam por interferir nos resultados das interpretações geológicas e geomorfológicas.

Na porção oeste do Estado do Pará, onde fica localizada a área de estudo, afloram poucas unidades litoestratigráficas de distribuição regional, essencialmente pertencentes à Formação Alter do Chão, mas, por outro lado é uma área que mostra grande diversidade de formas geomorfológicas e de relevo, sem, contudo, existir estudos detalhados.

Neste contexto, para um melhor posicionamento da área de estudo, será apresentada uma síntese dos principais aspectos geomorfológicos e geológicos regionais, com base nos trabalhos anteriormente desenvolvidos nesta porção da bacia Amazônica.

### 3.5.1 - Aspectos da Geomorfologia Regional

Desde os trabalhos iniciais do projeto RADAMBRASIL já se reconheciam problemas associados à cartografia geomorfológica no Brasil e em especial na região da Amazônia Brasileira, considerando, principalmente, a ausência de levantamentos sistemáticos de topografia e de altimetria, essenciais para o entendimento entre os diferentes conjuntos do relevo e sua representação nos domínios morfoestruturais e morfoclimáticos regionais.

Neste sentido, a Folha Santarém, assim como as demais mapeadas pelo Projeto RADAMBRASIL, 1976, adotaram critérios padronizados para a interpretação de mosaicos semi-controlados de imagens de radar aerotransportado, identificando as grandes unidades morfoestruturais e morfoclimáticas regionais. Nesta folha foram identificadas oito (08) unidades Morfoestruturais: A Planície Amazônica, o Planalto Rebaixado da Amazônia, o Planalto Dissecado do rio Negro-Trombetas, o Planalto da Bacia Sedimentar do Amazonas, o Planalto Dissecado do Norte da Amazônia, a Depressão Periférica do Norte do Pará e o Pediplano rio Branco-rio Negro. Dentre estas unidades regionais somente duas têm importância no âmbito da área de estudo: a Planície Amazônica e o Planalto Rebaixado da Amazônia, estes, nesta porção da folha, quase coincidentes, respectivamente, com o traçado das Unidades Morfoclimáticas (domínios) regionais: Domínio Morfoclimático das Planícies Inundáveis e com o Domínio Morfoclimático em Planaltos e Áreas Pediplanizadas.

A Planície Amazônica tem seu eixo principal no rio Amazonas e forma alongada na direção W-E. Pertencem a esta unidade geomorfológica as áreas submetidas diretamente afetadas pelo pulso de cheia e vazante do rio Amazonas, que foram divididas em áreas alagadas e inundáveis. As áreas alagadas correspondem ao trecho, que mesmo em período de menor volume de água do rio Amazonas, estão sempre submersos, ainda que por lâmina d'água bem delgada. Já as áreas inundáveis são aquelas alagadas apenas no período de enchentes. São feições típicas deste domínio os paranás, furos, igarapés, vales fluviais de foz afogadas, ou

rias fluviais, lagos com formas e gêneses diferenciadas, diques aluviais, canais e cordões de areia, brejos, igapós, e rios com cursos anastomosados, com numerosas ilhas.

Na Folha Santarém observam-se estas mesmas características gerais do domínio morfoestrutural, entretanto, ressaltam-se lagos de maior tamanho (diâmetro maior que 15km), as ilhas mostram efeito de colmatagem e muitas delas abrigam lagos no seu interior, os quais se ligam aos rios exteriores. Nesta porção da Planície Amazônica percebe-se o efeito do Alto Estrutural de Monte Alegre, localizado a sul da área estudada, sobre as diferenças na forma do relevo local (Cunha, 1994).

O outro domínio Morfoestrutural importante para a compreensão geomorfológica da área de estudo é o Planalto Rebaixado da Amazônia ou também conhecido como Planalto Tapajós-Xingu. Esta é uma das unidades mais extensas mapeada na Folha Santarém. De um modo geral, as altitudes deste Planalto oscilam entre 120 e 170m. Esta unidade apresenta-se com extensas superfícies tabulares ou platôs, como em Belterra-PA, localizado na porção sul da área de estudo. Geralmente estes platôs apresentam rebordos erosivos, por vezes com forte declividade, e em muitos casos morros testemunhos, *inselbergs*, com topos ondulados e vegetação típica de cerrado. No baixo curso do rio Tapajós, nas proximidades de sua foz (e, portanto dentro da área de estudo) ocorre um delta interno, ocasionado pela invasão do rio Amazonas sobre o Tapajós. Levantamentos batimétricos do rio Tapajós indicam e corroboram a idéia (Cunha, 1994) de que o Tapajós possui foz afogada (Figura 2.10), e que a espessura dos sedimentos da Formação Alter do Chão atingem valores superiores a 500m, indicando processo de subsidência local, previamente a instalação do leito do rio Tapajós.

### 3.5.1.1 - Características dos rios Tapajós e Amazonas na área da pesquisa

Para Franzinelli e Ori, (1988), os rios como o Tapajós possuem deficiência de materiais em suspensão, são ricos em matéria orgânica e apresentam verdadeiras rias fluviais em seus baixos cursos, caso bastante evidente no baixo Tapajós. Os rios de água branca, como o Amazonas, possuem extensas planícies de inundação (várzea) e enorme quantidade de sedimentos transportados pelos rios com essa característica, resultando em preenchimentos rápidos dos paleovales, muitos das vezes obstruem os vales dos rios de água preta que ficam aprisionados ou na própria várzea ou entre a várzea e a terra firme formando lagos. (Franzinelli e Ori, 1988). Souza-Filho *et al.* 2005, cita que no caso do rio Amazonas sua contribuição em quantidade de sedimentos é estimada em 1,2 bilhões de ton/ano e 290 milhões de ton/ano em material dissolvido.

A obstrução das bocas dos paleovales dos rios de água preta pelos rios de água branca, induz a pensar a altíssima razão de acreção vertical, que ocorre somente quando há intensa deposição na planície de inundação onde são escavados os canais, resultado de grande quantidade de sedimentos em suspensão. (Franzinelli e Ori, 1988). A sedimentação na região de várzeas ocorre através de um demorado processo deposicional e de transporte, lenta deposição e vagaroso levantamento do nível da água durante o período de cheia. A água transportada para o interior das planícies através dos canais durante os longos períodos de cheia alimentam os eventuais lagos existentes na planície. O equilíbrio sistêmico das condições de cheia periódica ocorre em modo gradual, freqüente e periódica. (Franzinelli e Ori, 1988).

A acreção vertical dos depósitos de várzea pode ocorrer também pela disponibilidade de sedimentos na planície e pelo efeito da captura dos sedimentos pela vegetação. A elevada quantidade deposicional na planície da foz rio Tapajós com o Amazonas se deve ao alto índice de sedimentos transportados pela massa d'água em transbordamento. (Franzinelli e Ori,

1988). Diversas metodologias são utilizadas para mensurar a quantidade de sedimentos depositados pelos rios nas áreas de várzea Franzinelli e Ori, 1988, cita Allen (1970) e Absy (1979), como referências em quantificação desse material. Nesta pesquisa utilizar-se-á o sensoriamento remoto e geoprocessamento para quantificar a erosão e acreção na foz do rio Tapajós, a partir da resposta espectral dos objetos. Outro processo de acreção e erosão operando na área da pesquisa é a transferência dos materiais das margens côncavas para as convexas a jusante, já citado por Sternberg (1957).

### **3.5.1.2 – O delta do Tapajós**

No baixo curso do rio Tapajós, próximo à foz, registra-se a presença de um *delta digitado* (PROJETO RADAMBRASIL, 1976). A formação desse delta fluvial depende diretamente do regime de flutuação do nível dos rios Amazonas e Tapajós. O Amazonas possui um regime mais regular do que o Tapajós. Este último por nascer em área tropical com duas estações bem definidas apresenta-se com maior volume d'água no período de cheia, servindo-se de um *furo* como condutor de parte de suas águas para o rio Amazonas. Na vazante, o nível de água do rio Tapajós é mais baixo, permitindo que através do mesmo *furo* o rio Amazonas despeje parte de suas águas nas proximidades da foz daquele rio. Desta maneira a carga de sedimentos transportados pelo rio Amazonas é depositada, surgindo à forma de delta fluvial digitado. Este furo citado pelo projeto RADAMBRASIL em 1976, na verdade se trata do furo conhecido como rio Arapixunas, que liga os rios Tapajós ao Amazonas a partir da baía do Tapajós. (Figuras 3.7). Na Figura 3.8, é mostrada uma visão panorâmica do delta do rio Arapixunas e da barra do Tapajós em imagem 3D/SRTM, 2001.

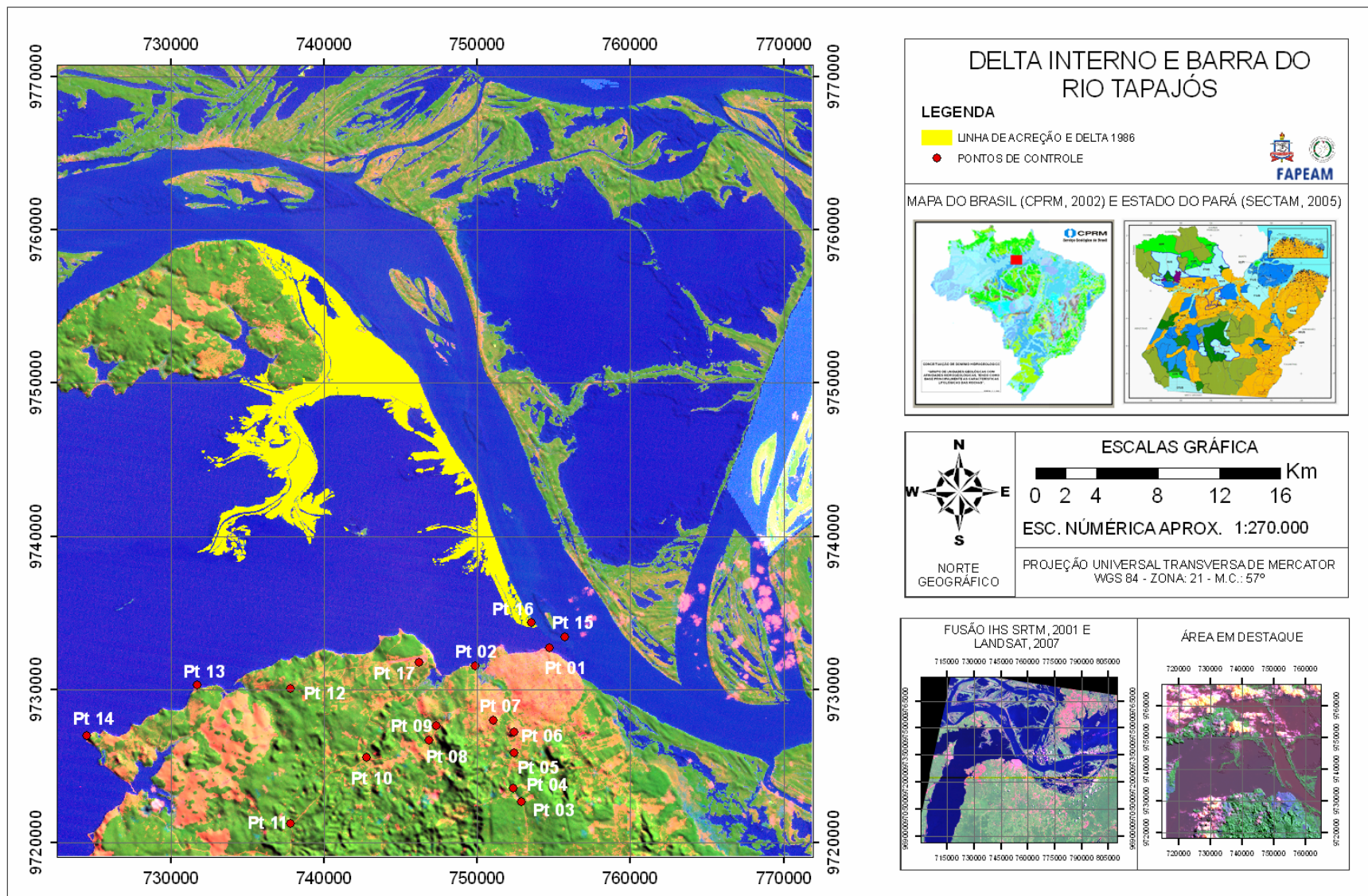


Figura 3.7 – O Delta interno e a barra do rio Tapajós. Fusão IHS: SRTM e LANDSAT de 1986.

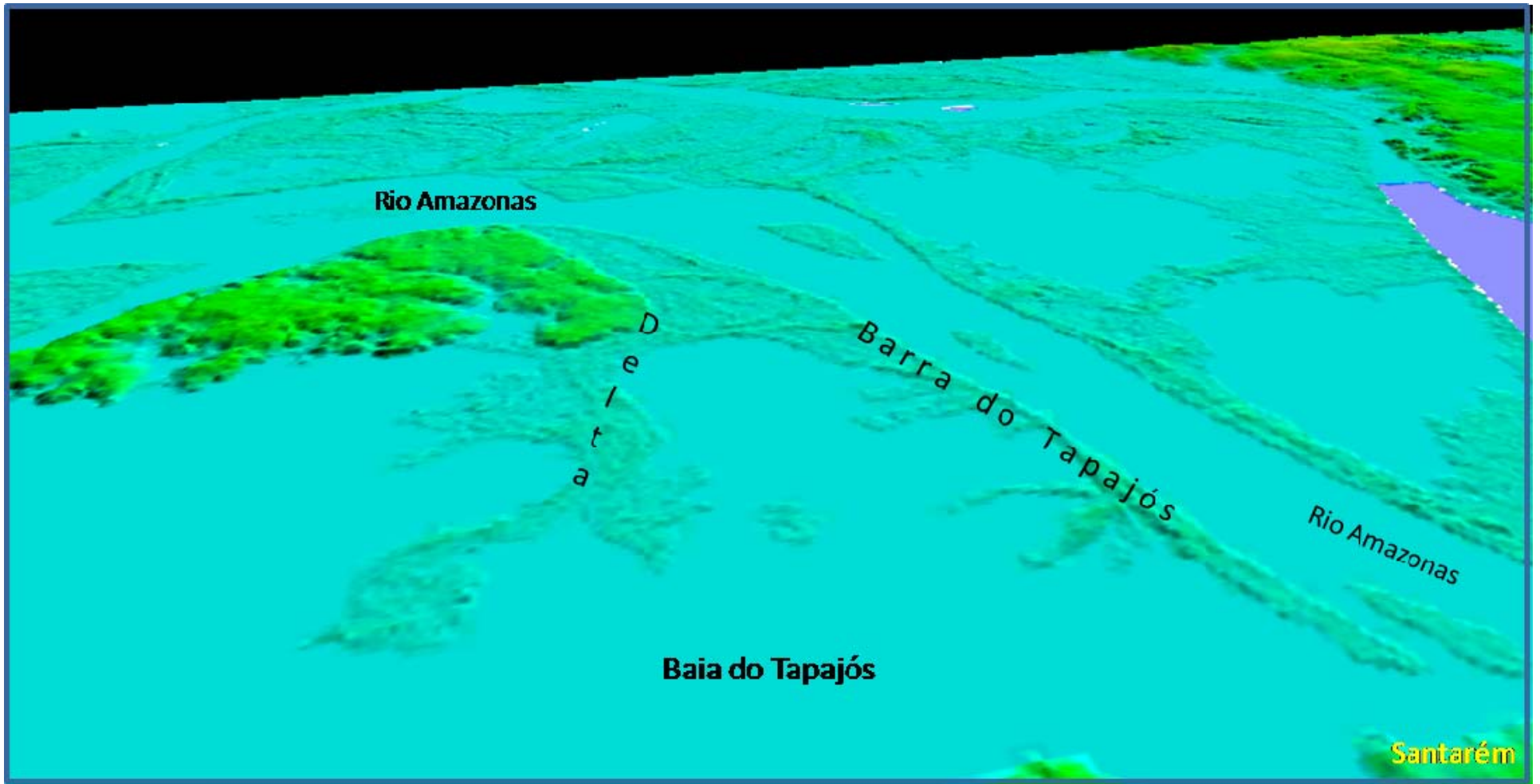


Figura 3.8 - Panorâmica do delta, barra do Tapajós e rio Amazonas, em imagem 3D/SRTM (2001).

Assim como nos levantamentos geológicos que será visto a seguir, a geomorfologia só possui dados de caráter regional, permitindo que os principais aspectos geomorfológicos locais sejam objetos no âmbito desse trabalho e serão abordados detalhadamente no item de caracterização fisiográfica, geomorfológica e geológica da área de estudo.

### 3.5.2 – Geologia e Estratigrafia Regional

Na porção norte do território brasileiro encontra-se terrenos representantes de unidades geológicas tanto de idades arqueana, proterozóicas, paleozóicas, mesozóicas e sedimentares cenozóicas terciárias, além de sedimentos quaternários e recentes depositados pelo rio Amazonas e seus afluentes (Caputo *et al.*, 1972).

Dominam regionalmente no entorno da área estudada os depósitos sedimentares do final do Mesozóico e outros depósitos cenozóicos da Bacia Amazônica. Essa bacia está limitada a leste pelo arco de Gurupá e a oeste pelo arco do Purus e compreende também as sub-bacias do Acre, Solimões, Amazonas e Marajó. A distribuição geográfica destas sub-bacias pode ser vista na Figura 3.9, em especial, a Sub-bacia Amazonas (Figura 3.10), onde a área de estudo está inclusa. A síntese do empilhamento estratigráfico regional é mostrada na Figura 3.11.



Figura 3.9 - Mapa de localização da Bacia do Amazonas-Solimões entre o Escudo das Guianas e do Brasil Central. Modificado de Cordani & Brito Neves., 1982. Fonte: CPRM, 2000



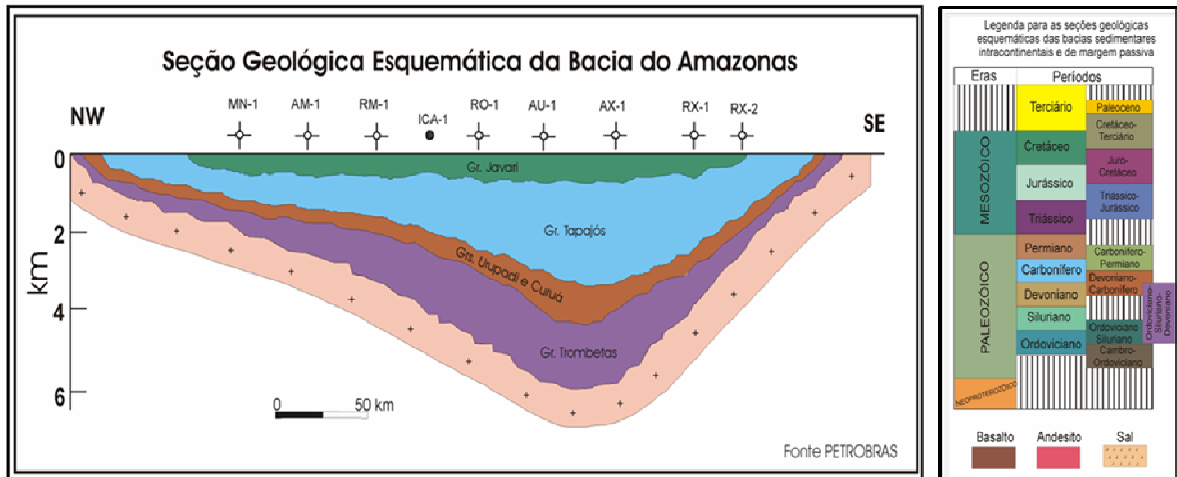


Figura 3.10 – Seção geológica esquemática da Bacia do Amazonas.  
Fonte: CPRM, 2000

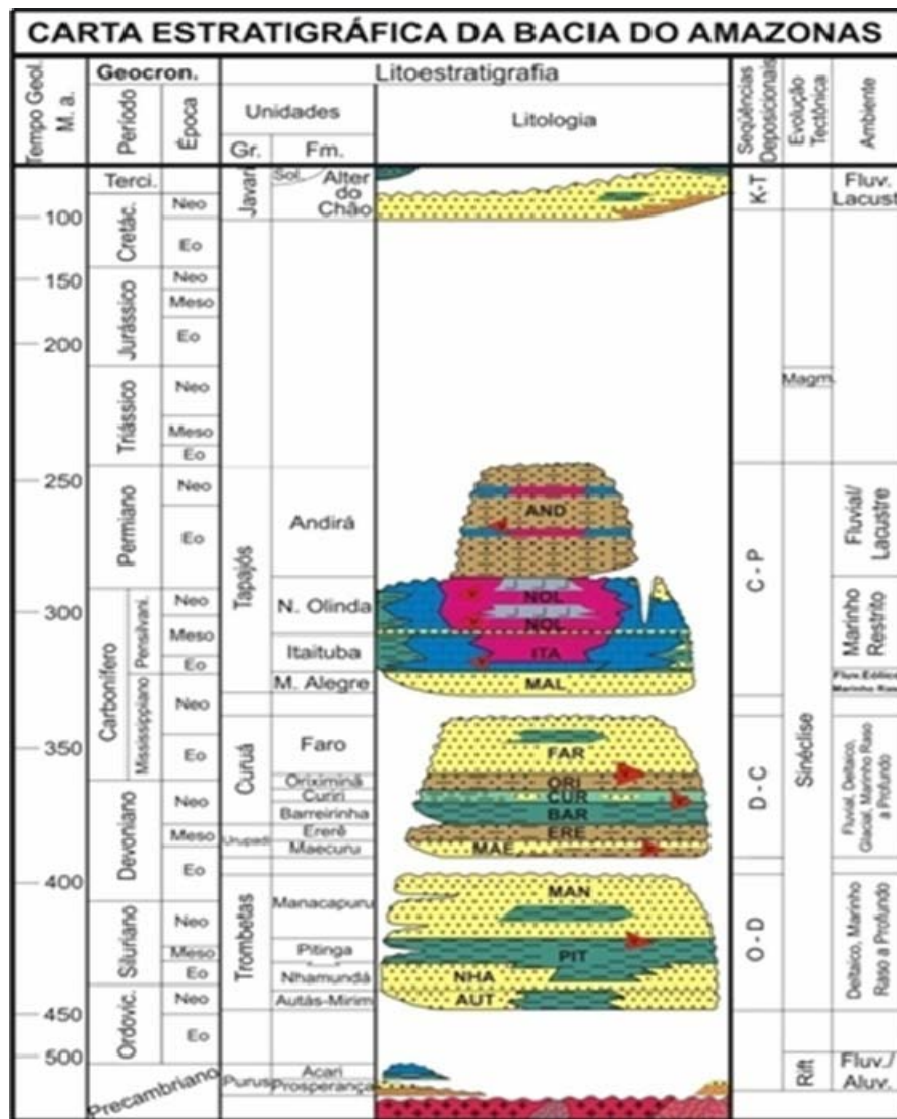


Figura 3.11 - Carta Estratigráfica regional da Bacia do Amazonas - Fonte: Cunha *et al.*, 1994.

Na área de estudo, as unidades litoestratigráficas estão exclusivamente relacionadas às rochas formadas na era Mesozóica e na era Cenozóica. Na Era Mesozóica houve a deposição regional de sedimentos de natureza fluvio-lacustre que foram reunidos sob a denominação de Grupo Javari (Cunha *et al.*, 1994). Destacam-se, neste conjunto, as rochas da Formação Alter do Chão, que é representada essencialmente por expressivos pacotes de arenitos intercalados com níveis pelíticos e conglomerados (Tancredi *et al.*, 1996). No Cenozóico desenvolvem-se extensos depósitos aluvionares antigos (Terciário) e modernos (Quaternário), além do desenvolvimento de diferentes níveis de coberturas detrito-lateríticas (Plio-plestocênica), depósitos aluvionares recentes (Holoceno), além de solos.

De um modo geral, as litologias que compõem a Formação Alter do Chão são tidas como de idade Cretácea, muito embora a idade neógena tenha sido sugerida para o topo da formação (Cunha *et al.*, 1994). O não reconhecimento local de depósitos desta idade deve-se a vários fatores como: a falta de estudos estratigráficos de detalhe das unidades sedimentares de cobertura, a ausência de material adequado para datação, e a difícil distinção entre sedimentos quaternários e os depósitos intemperizados da Formação Alter do Chão. Assim, a idade cretácea, dada para os níveis inferiores e intermediários da Formação Alter do Chão, foi estendida também para todos os possíveis depósitos neógenos da Bacia do Amazonas. A permanência deste quadro deve-se também à definição incipiente de superfícies de correlação, como crostas lateríticas, que são amplamente utilizadas como guias estratigráficos do Cenozóico na Amazônia Oriental. (Rozo *et al.*, 2004).

O estudo sistemático da geologia desta região foi inicializado pela Divisão de Geologia do Projeto RADAMBRASIL, no ano de 1976, para os levantamentos e mapeamento da Folha SA.-21. Estes trabalhos revelaram, através do estudo de imagens de radar (banda X), as principais características geológicas desta porção da Amazônia Brasileira.

No âmbito da Folha Santarém está representada unidades precambrianas, bem distintas e separadas entre si por discordâncias de natureza angular e paralela. Na porção mais sul da folha a unidade basal regional compreende as rochas do Complexo Guianense, representado por rochas metamórficas de grau alto a médio, dobramentos de direções preferenciais NW-SE e NN-SSE. Sobre esta unidade ocorre uma seqüência de xistos e outras rochas de grau baixo a médio, regionalmente denominada de Grupo Vila Nova. Sobre estas unidades repousam terrenos constituídos de rochas vulcânicas e piroclásticas, associadas com granitos comagmáticos, reunidos no Supergrupo Uatumã. A seguir a área foi submetida à intensa e prolongada fase erosiva com sedimentação rápida, formada por depósitos de conglomerados, arenitos, arcóseos e siltitos, que constituem a Formação Prosperança. O último evento registrado no precambriano é marcado por intrusões de caráter básico, que recebe regionalmente a designação de Gabro Suretama (RADAMBRASIL, 1976).

No final do precambriano ou limiar do Paleozóico instalou-se a sinéclise do Amazonas, cujos sedimentos vão desde o Ordoviciano (Formação Autás-Mirim) até o Permiano (Formação Andirá, vide Figura 3.11). Esta etapa deposicional inclui, portanto, rochas dos Grupos Trombetas, Urupadi, Curuá e Tapajós. No decorrer do Mesozóico, no Triássico, desencadeou-se vulcanismo de natureza toleítica, sob a forma de diques e *sills*, que afetou todas as unidades da sinéclise, e são localmente chamadas de Diabásio Penatecaua. Após esse evento magmático, no intervalo do Jurássico ao Cretáceo, até o início do Cenozóico, processou-se a deposição extensiva e intensiva de sedimentos de características continentais de ambiente fluvio-lacustre, com fácies marinho reunidos sob a denominação de Formação Barreira (RADAMBRASIL, 1976) ou, como mais recentemente é considerada, uma seqüência Neo-Cretacica do Grupo Javari (Cunha *et al.*, 1994).

Na área de estudo ocorrem somente litologias relacionadas ao Grupo Javari, em especial da Formação Alter do Chão e dos Depósitos Aluvionares Cenozóicos, para os quais

serão feitas algumas descrições e considerações regionais mais detalhadas, já que a descrição geológica de detalhe da área de estudo será abordada no item que trata dos resultados deste trabalho.

A distribuição das unidades que compõem o Grupo Javari (Formação Alter do Chão e suas unidades correlatas, as formações Solimões e Içá) devido a sua grande extensão espacial acha-se recobrando discordantemente inúmeras unidades estratigráficas mais antigas e mostra-se recoberta parcialmente por sedimentos quaternários (vide Figura 3.11). No âmbito da Folha Santarém o Projeto RADAMBRASIL, além de usar a denominação de Formação Barreiras, descreve a unidade como representada por sedimentos continentais vermelhos, intercalações de arenitos e argilitos com conglomerados subordinados. Os arenitos são finos a médios, geralmente com estratificação cruzada, caulínicos, friáveis, podendo ter bancos silicificados, grãos e seixos de quartzo esparsos, bolas de argila. Os argilitos possuem cores vermelho tijolo, são maciços, laminados com bolsas de areia. Os conglomerados possuem seixos sub-arredondados (5-15 cm) de quartzo e arenito silicificado.

As unidades pertencentes exclusivamente ao Cenozóico incluem as Coberturas Detrito-Lateríticas e os Terraços Aluviais antigos e modernos são descritas tanto no RADAMBRASIL (1976) quanto em trabalhos derivados de levantamentos mais recentes (ZEE da BR-163). Nestes trabalhos as coberturas detrítico-lateríticas são encontradas em platôs que ocorrem preferencialmente nos setores norte e centro da área do projeto. Representam lateritos e *gossans*, localmente com concreções ferruginosas, onde se desenvolve perfil laterítico maduro, depósitos de latossolos maduros e imaturos, ferruginosos, com eventuais níveis de cascalho.

Os terraços fluviais correspondem a amplos depósitos de sedimentos arenosos inconsolidados, ora siltico, ora com cascalho, ocorrentes no extremo oeste da área do projeto, junto ao rio Tapajós. Os depósitos aluvionares recentes estão intimamente associados aos

sistemas fluviais atuais. Representam-se por sedimentos arenosos, siltosos e argilosos inconsolidados a semiconsolidados, associados a níveis de cascalhos.

Do ponto de vista estrutural, as principais feições regionais também foram extraídas da interpretação geológica de imagens de radar (banda X). Estas estruturas, que foram mapeadas na Folha Santarém, estão relacionadas a eventos orogenéticos e epirogenéticos no âmbito local e regional e são mais evidentes nos terrenos mais antigos, que, por sua vez, são truncados pela sinéclise do Amazonas, com poucas estruturas destacadas, geralmente reflexas do embasamento. Destaca-se regionalmente a grande estrutura da Sinéclise do Amazonas associada com o Alto de Monte Alegre (braquianticlinal) e o *graben* do rio Tapajós. A hipótese de do baixo curso do rio Tapajós ter se desenvolvido em um sistema de *graben* está baseada na grande quantidade de diques básicos e no aspecto retilíneo das margens deste rio, que sugerem a existência de falhas. Estes falhamentos iniciais se originaram possivelmente no Juro-Triássico e teriam sido reativados durante a deposição dos sedimentos Cretáceo-Terciários, havendo um afundamento do *graben* em direção ao norte (RADAMBRASIL, 1976). Os sedimentos da Formação Alter do Chão dispõem-se localmente em pacote horizontalizado em forma de platôs, com alinhamentos de drenagem principalmente nas direções NW-SE e NE-SW.

O que se percebe, portanto, é que, apesar de se tratar de uma área de fácil acesso e com bom grau de preservação das exposições das unidades geológicas, poucos trabalhos sistemáticos com este cunho foram desenvolvidos, provavelmente devido a inexistência de depósitos minerais de valor econômico a estes pacotes sedimentares.

# **USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ**

## **CAPÍTULO IV: CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA, GEOMORFOLÓGICA E GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 – Introdução**

A interpretação visual do conjunto de imagens realizadas neste estudo permitiu a obtenção de informações mais detalhadas do que as disponíveis regionalmente, que incluem alguns aspectos fisiográficos (estes já incluídos na descrição de vegetação), geomorfológicos e geológicos da área selecionada para o desenvolvimento deste estudo.

A definição e delimitação das diferentes unidades geomorfológicas e geológicas foram baseadas, portanto, em um complexo de feições originais de cada dado utilizado. No caso das imagens do sensor LANDSAT enfatizou-se a análise dos padrões de drenagem e relevo, tanto nas bandas isoladas quanto nas composições coloridas. No caso das imagens de radar do SAR/JERS-1 a maior contribuição está na caracterização e individualização das zonas de várzea e de terra firme. Os dados SRTM foram auxiliares na identificação e interpretação de feições de relevo e de drenagem. O resultado desta interpretação levou a elaboração do mapa de geomorfologia e do mapa de geologia local da área de estudo.

### **4.2 – Alguns Aspectos Fisiográficos da Vegetação Local**

Considerando que o objetivo deste estudo está voltado para a caracterização geomorfológica e geológica da foz do rio Tapajós, optou-se por apresentar sucintamente a caracterização local da vegetação na área de estudo, de forma complementar, já que existe relação entre a vegetação, os solos e a geomorfologia e geologia locais e, especialmente, por

se tratar de um conjunto vegetal fisionômico diferenciado da floresta tropical densa da região amazônica.

As Pranchas 4.1, 4.2 e 4.3 mostram, já como produtos deste trabalho, os aspectos mais importantes da vegetação na área de estudo, com destaque para a vegetação típica de várzea, da savana ou campos cerrados e da parte florestada.

A tabela 4.1 mostram algumas das espécies encontradas nas regiões de ocorrência da Savana.

Tabela 4.1 – Tabela com espécies da savana (Cerrado).

<b>ESPÉCIES DA SAVANA (Cerrado)</b>	
<b>Nome Vulgar</b>	<b>Nome Científico</b>
Açaí	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.
Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i> Mart
Caraubeira	<i>Tabebuia caraiba</i> (Mart.) Bur
Enviras	<i>Xylopia</i> spp.
Faveira	<i>Piptadenia peregrine</i> (L) Benth.
Ingá	<i>Ingá</i> spp.
Jatobás	<i>Hymeneae</i> spp
Lixeira	<i>Curatella Americana</i> L.
Murici-do-campo	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L) Kth
Piquiá	<i>Caryocar</i> spp.
Sucupira-do-campo	<i>Bowdichia virgilioides</i> H. B. K.
Tarumã	<i>Vitex flaves</i> H. B. K.
Outros,...	

Fonte: RADAMBRASIL, 1976



A



B



C



D



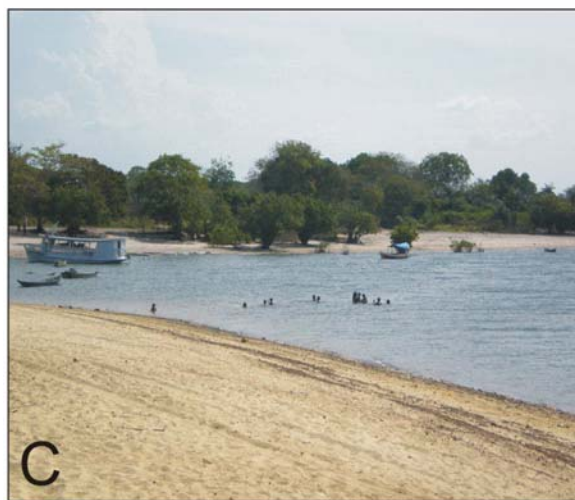
E



F

Prancha 4.1 - Aspectos da vegetação de cerrados desenvolvida sobre os terrenos topograficamente mais acidentados da área de estudo. Em A, B, C e D cerrado com árvores de porte pequeno a médio; em E visão ampla dos cerrados e em F parte com cerrado mais denso.





Prancha 4.2 - Aspectos da vegetação de cerrados desenvolvida sobre os terrenos topograficamente mais acidentados da área de estudo. Em A, B, C e E cerrado com árvores de porte pequeno a médio, localizados nas margens do rio Tapajós; em D e F visão ampla dos cerrados sobre bancos arenosos.



A



B



C



D



E



F

Prancha 4.3 - Aspectos da vegetação essencialmente de gramíneas desenvolvida sobre os terrenos topograficamente mais baixos e planos da planície de inundação do rio Amazonas (Em A, B, C, e E e F); em D gramíneas sobre as coberturas detrito-lateríticas encontradas na área de estudo.

### 4.3 - A Geomorfologia da área de estudo

Neste estudo foi possível a delimitação e caracterização de pelo menos três (03) domínios geomorfológicos distintos, relacionados às características do relevo (formas, simetria, etc.), padrões de drenagem, tipologias de vegetação e solos presentes na área de estudo. O resultado desta interpretação foi avaliado e verificado nos levantamentos de campo e permitiram a elaboração do mapa de domínios geomorfológicos.

O comportamento altimétrico da área de estudo, em escala maior do que a descrita nos trabalhos de cunho regional pode ser observada na Figura 4.1. Este produto foi gerado a partir dos dados de radar interferométrico aeroespacial (SRTM, 2001) e a partir dele foram geradas as curvas de nível da área de estudo, assim como vários perfis topográficos locais que foram auxiliares na definição dos domínios geomorfológicos acima referidos (Figuras 4.2. e 4.3).

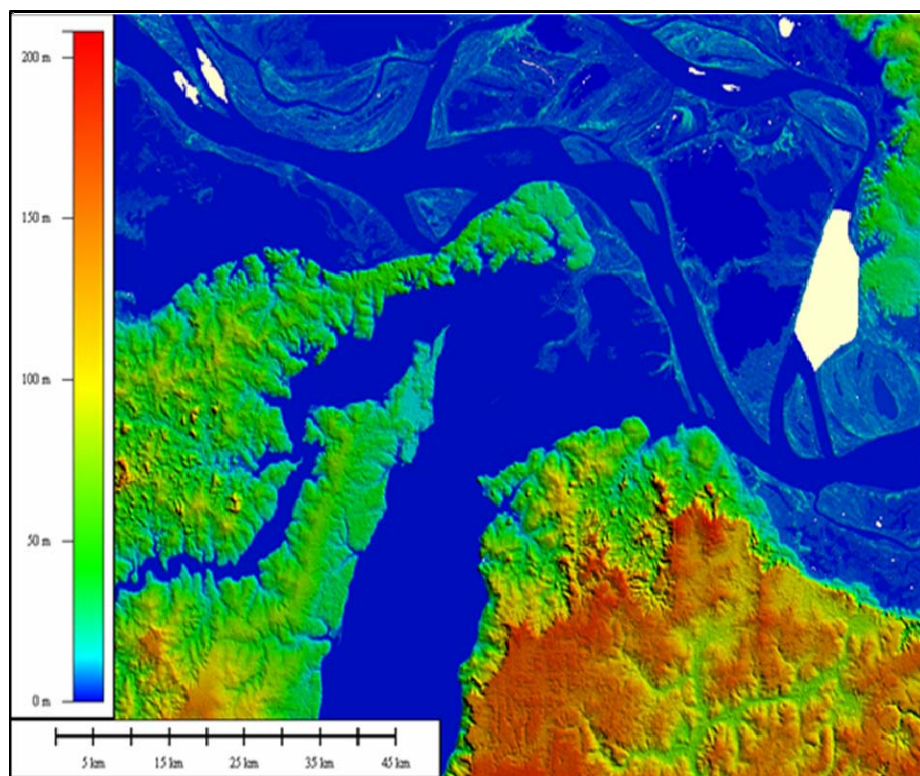
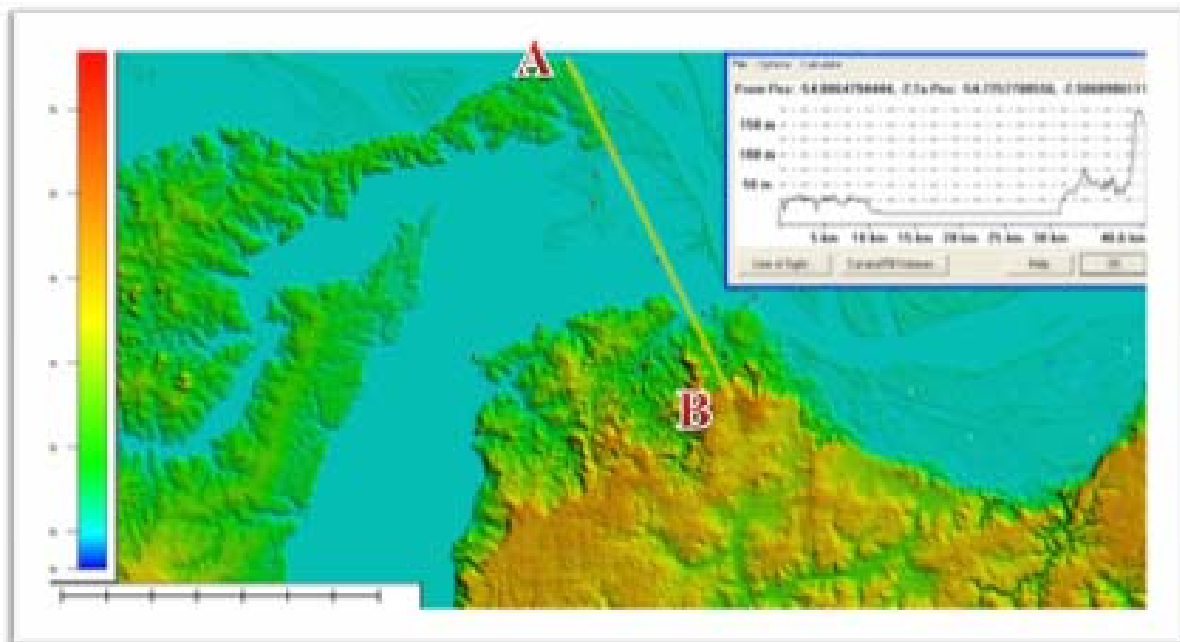
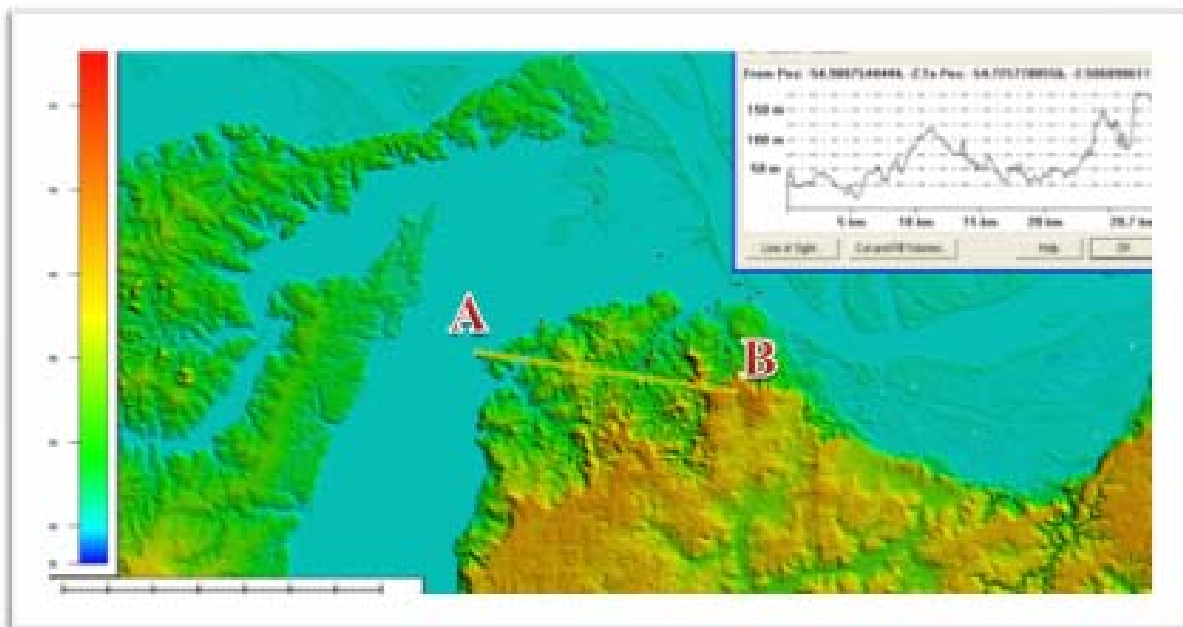


Figura 4.1 – Composição colorida mostrando a altimetria da área de estudo, elaborada com base nos dados SRTM, 2001.

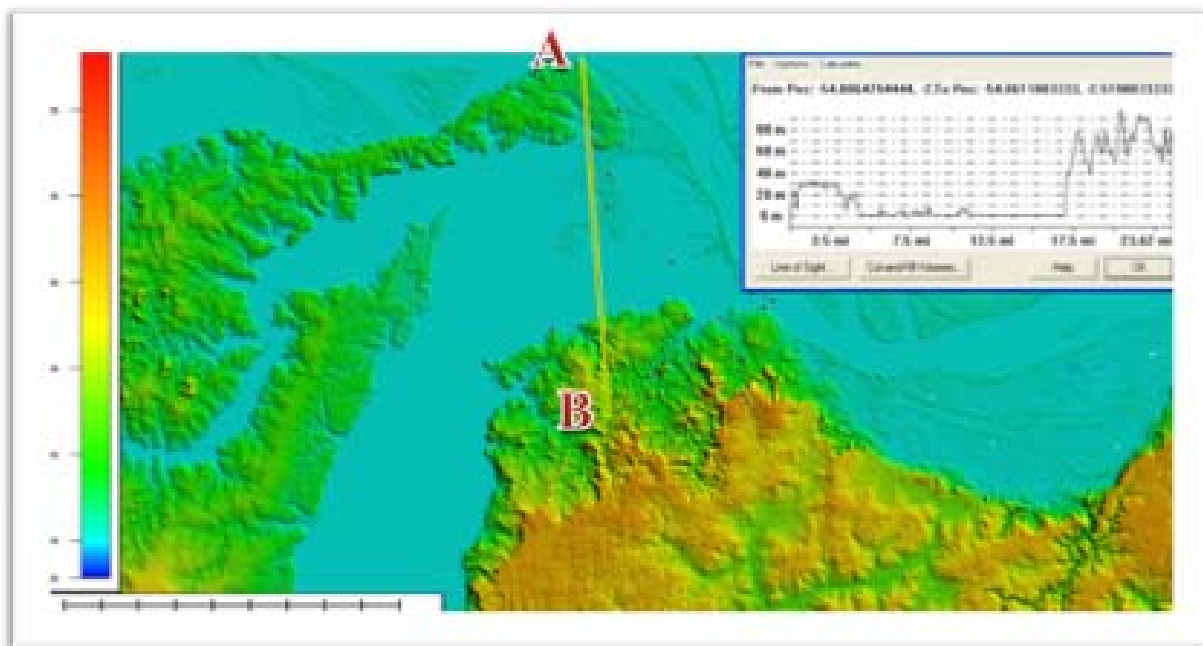


(I)

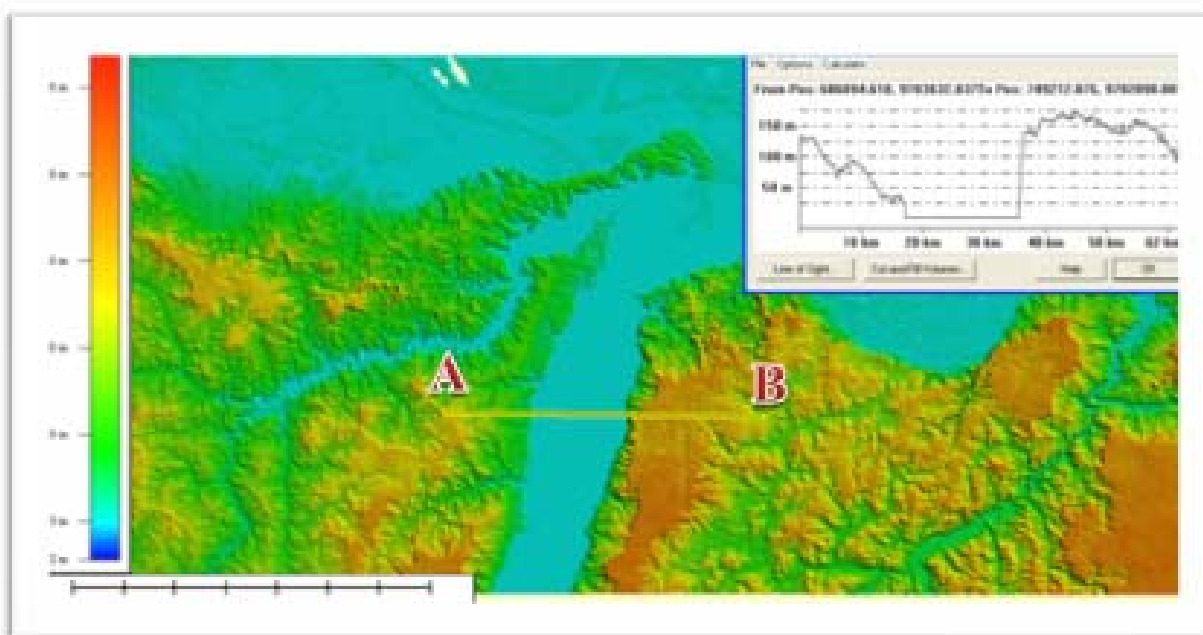


(II)

Figura 4.2 – Perfis topográficos da área de estudo. Em I ao longo da barra da foz do rio Tapajós e em II da região de platô até a Ponta do Cururu (A), no domínio da Zona Dissecada do vale do Tapajós (B), margem direita.



(I)



(II)

Figura 4.3 – Perfis topográficos da área de estudo. Em I perfil N-S da Planície do rio Amazonas (A) até os platôs (B) e em II perfil W-E do domínio da Zona Dissecada do vale do Tapajós.

Assim sendo, após reunir várias informações destas imagens e outros produtos de sensoriamento remoto gerados e somados as informações obtidas nas etapas de campo, foram delimitados e caracterizados três (03) grandes domínios geomorfológicos: o da Planície de Inundação Amazonas/Tapajós, o da Zona Dissecada do vale do rio Tapajós e dos Planaltos Pediplanizados. O resultado cartográfico é apresentado no Anexo I – Mapa geomorfológico interpretado da área de estudo e na Figura 4.4.

O primeiro domínio corresponde a **Planície de Inundação do rio Amazonas e foz do rio Tapajós**. As principais feições geomorfológicas encontradas estão vinculadas ao processo de erosão e deposição imposto pela dinâmica do rio Amazonas e Tapajós e de sua interação: depósitos de sedimentos inconsolidados organizados em bancos, cordões e barras de deposição de material predominantemente silte arenoso finos, argilas e alguns cascalhos. O relevo é sempre rebaixado, geralmente plano, ou em suaves ondulações seguindo a organização espacial das linhas de barra de canal.

O segundo domínio, a **Zona Dissecada das Margens do rio Tapajós**, corresponde aos terrenos de relevo dissecado das margens do rio Tapajós, que está representada na área de estudo, mas se prolonga para sul, formando uma faixa que alcança localmente mais de 15 km de largura em cada margem do rio. As Pranchas 4.4 e 4.5 mostram as principais feições deste domínio. Geralmente nesta zona é observado um relevo mais acidentado, com morros testemunhos isolados, serras e cristas de topo arredondado, vales encaixados e, no contexto limite norte desta zona, já próximo as margens do rio Tapajós e Amazonas, as feições dominantes são as falésias, que atingem localmente até 30 m de altura, onde se expõem as rochas da Formação Alter do Chão.

O terceiro domínio de **Planalto Pediplanizado** está associado à ocorrência de superfícies de pediplanos e platôs, que se estendem para sul, para fora dos limites da área estudada. A densidade de drenagem é menor que nos dois outros domínios e os vales são

amplos e pouco escavados. A este domínio estão associadas às coberturas lateríticas e de solos melhor desenvolvidos.

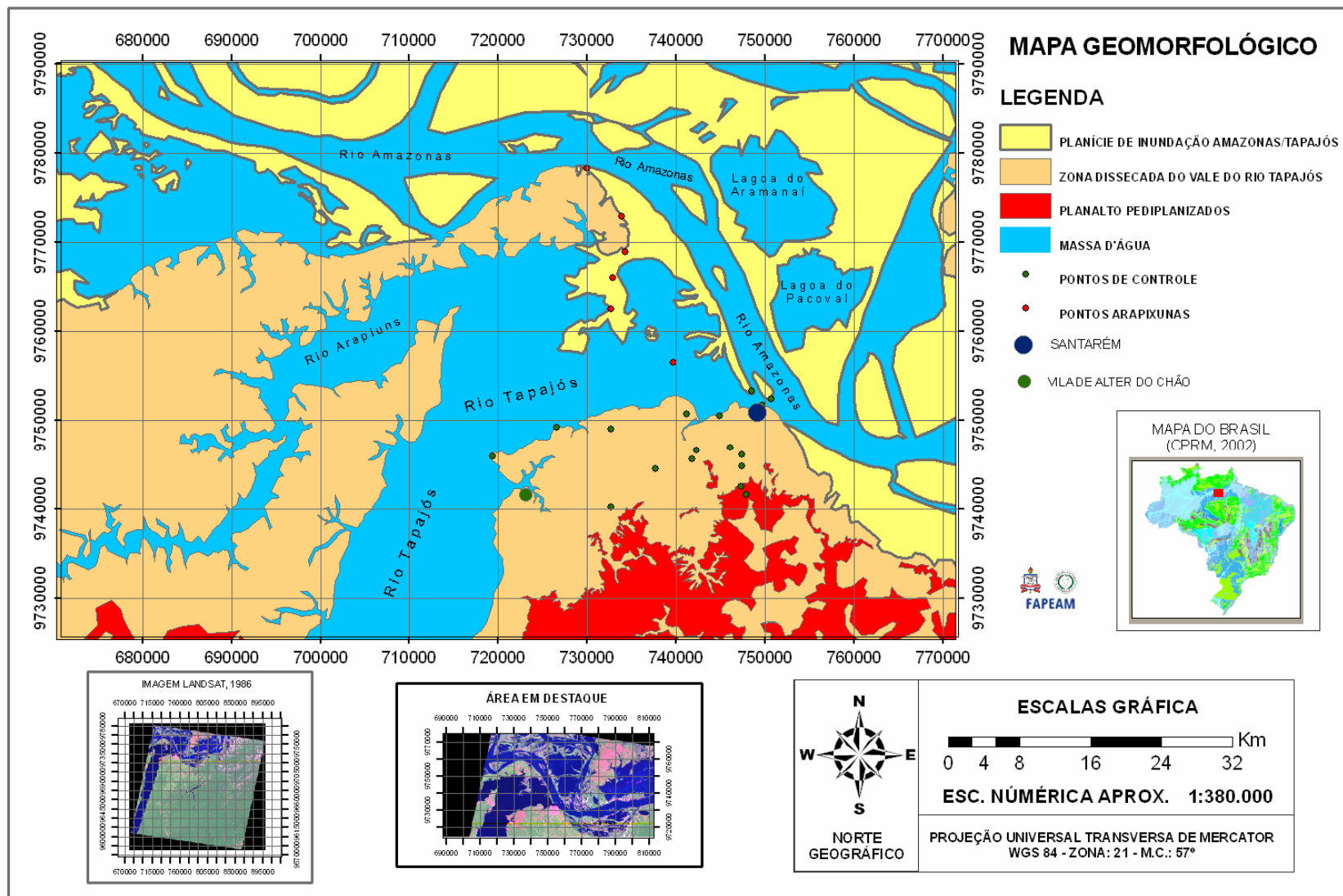
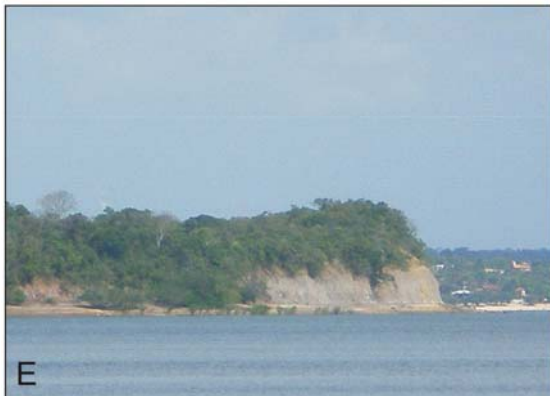


Figura 4.4 - Mapa geomorfológico interpretado da área de estudo.





Prancha 4.4 - Aspectos do relevo na foz do rio Tapajós. Em A e B pontões e falésias com vegetação mais densa; em C e D morros residuais (Serra do Cruzeiro) com vegetação de campos cerrados e em E e F pontões sustentados por camadas de argilitos e em G e H visões panorâmicas do relevo.



Prancha 4.5 -: Aspectos do relevo na foz do rio Tapajós. Em A e B pontões e falésias com vegetação mais densa; em C e D morros residuais com vegetação de campos cerrados e em E e F pontões e falésias sustentados na base por camada de argilitos e, em G e H visões panorâmicas do relevo da área.

O índice visual de correlação entre os domínios identificados na área de estudo e as associações litológicas é grande (sempre maior que 50% e na maioria dos casos superior a 80%) e foi de grande auxílio no mapeamento destas unidades. Tabela 4.1 abaixo mostra estes índices. A compartimentação altimétrica dos domínios identificados foi estabelecida com base em critérios múltiplos, inclusive utilizando as curvas de nível (vide Figura 2.2, Cap. II).

Tabela 4.2 - Tabela de correlação dos domínios, características e as principais associações litológicas da área de estudo

<b>Domínios</b>	<b>Características</b>	<b>Associações Litológicas</b>	<b>Índice de Correlação (Visual)</b>
Planície de Inundação Amazonas/Tapajós	Relevo plano com ilhas, furos, cordões, barras, praias (barras arenosas), etc., associado com vegetação de várzea. (Altitude entre 0m* a 15m).	Sedimentos inconsolidados recentes	50 – 100%
Zona Dissecada do vale do rio Tapajós	Relevo dimensional com falésias, morros testemunhos, topos ondulados, vales cavados, associados com vegetação de cerrado. (Altitude entre 16m e 115m).	Litologias da Fm. Alter do Chão	80 – 100%
Planaltos Pediplanizados.	Relevo plano com colinas, platôs e vales amplos, associado à vegetação de floresta densa. (Altitude entre superior a 115m/Cota máxima local 197m).	Litologias da Fm. Alter do Chão e Coberturas	100%

\*Cota zero é igual ao nível médio do rio Amazonas em relação ao nível do mar.

#### 4.4– A Geologia e Estratigrafia local

As informações de campo e os inúmeros caminhamentos e pontos visitados, com tomada de parâmetros litológicos, de posicionamento dos diferentes níveis estratigráficos em diferentes locais da área de estudo permitiu, também, a organização e apresentação da estratigrafia geral da área de estudo, apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.3 – Coluna estratigráfica simplificada da área de estudo

<b>Idade</b>	<b>Unidade geológica</b>	<b>Litologias</b>
<b>Quaternário</b>	Aluviões Modernos e Antigos	Depósitos aluvionares inconsolidados, sílticos, matéria orgânica
<b>Neogeno (Mioceno)</b>	Coberturas	Lateritas imaturas
<b>Cretáceo/Terciário</b>	Formação Alter do Chão	Pacote de arenitos imaturos médios a grossos, conglomerados e níveis argilosos

A análise do conjunto de informações extraídas das imagens processadas neste trabalho associadas diretamente aos sistemáticos levantamentos de campo realizados nas diferentes fases deste trabalho permitiu o reconhecimento, individualização e caracterização de três (03) unidades fotogeológicas distintas, que subsidiaram a elaboração e apresentação do mapa geológico, mostrado na Figura 4.5 e também no Anexo II.

Na área de estudo dominam litologias associadas a dois grandes conjuntos regionais: as rochas meso-cenozóicas da Formação Alter do Chão e aos depósitos de sedimentos cenozóicos mais antigos e recentes (aluviões modernos) associados ao regime dos rios Tapajós e Amazonas. Não menos frequentes encontram-se também materiais associados a depósitos de coberturas detrito-lateríticas.

Os terrenos representativos da Formação Alter do Chão distribuem-se continuamente desde a porção mais ao sul da área de estudo em direção a foz do rio Tapajós, a norte, inclusive nas duas margens. Localmente a unidade apresenta um pacote de sedimentos bastante contínuo lateral e verticalmente, com atitude horizontalizada, eventualmente mostrando leve basculamento para sul ( $< 3^\circ$ ), sem evidências locais de falhamentos, dobramentos ou intenso fraturamento.

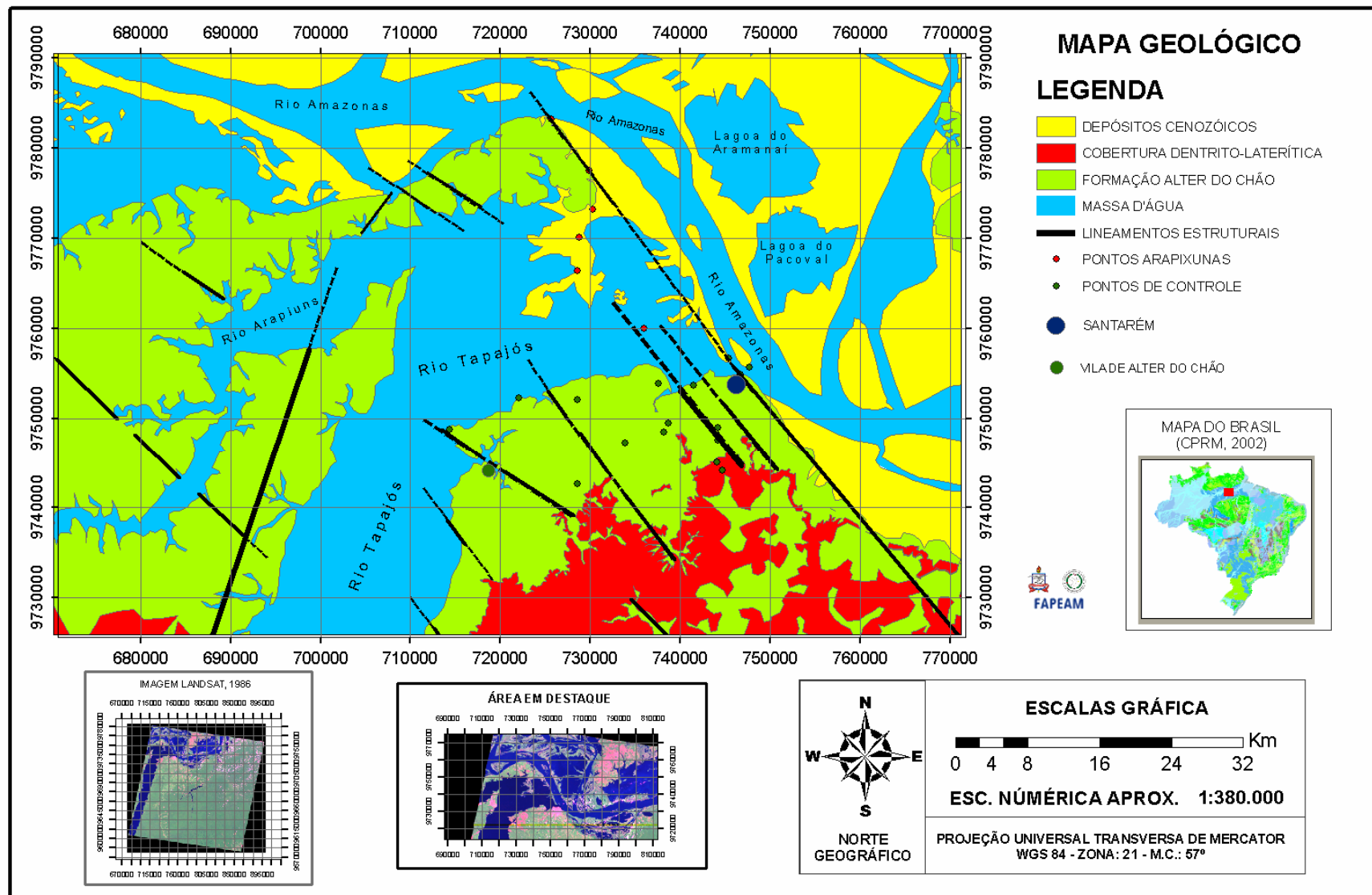


Figura 4.5 - Mapa geológico da área de estudo.

O conjunto estratigráfico é representado por pacote onde dominam arenitos brancos a róseos, médios a grossos, por vezes ferruginosos avermelhados com intercalações conglomeráticas e bancos e níveis argilosos centimétricos a métricos. Estes extremamente contínuos lateralmente e, que assim como outros níveis estratigráficos, permitem o fácil empilhamento estratigráfico, em função desta continuidade em toda a área de estudo.

Ampliando o estudo geológico local foram realizados vários perfis estratigráficos nos locais mais representativos e que apresentavam a sucessão lito-estratigráfica mais completa encontrada na Formação Alter do Chão. Eles foram executados nas localidades do Morro do Santarenzinho, Morro da Cambuquira (próximo ao depósito da Coca-Cola), Morro da Lixeira (proximidade da rodovia estadual Everaldo Martins), área urbana de Santarém; Ponta do Cururu/Margens Tapajós (e em outras falésias ao longo da margem do Tapajós), além dos perfis da Serra do Cruzeiro/Piroca, na vila de Alter do Chão. Muitos outros pontos visitados durante as etapas de campo só permitiram a identificação de poucos e inconfundíveis níveis vistos nos perfis mais completos, como ao longo das rodovias estaduais, de muitas e comuns voçorocas ao longo da BR-163, ao longo das margens dos igarapés, frentes de exploração de material para uso na construção civil, e ao longo da rodovia que dá acesso a vila de Alter do Chão.

Este estudo comparativo e de correlação estratigráfica (Figura 4.6) de todos estes pontos localizados da área de estudo, permitiu a identificação de seis (06) níveis constantes e contínuos e correlacionáveis entre si, que foram designados de **a0**, **a**, **b**, **c1**, **c2** e **d**. A visão geral e a individualização de cada um deles pode ser observada nas Figuras 4.7 a 4.11.

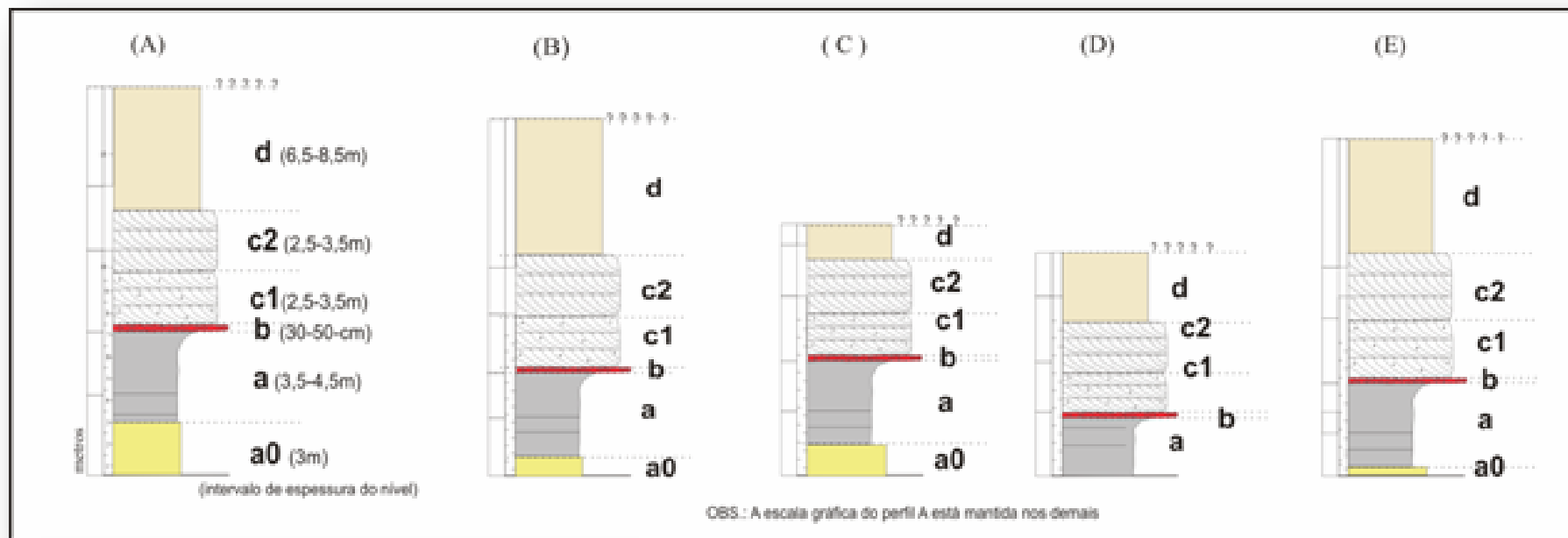


Figura 4.6 – Perfis estratigráficos da Formação Alter do Chão e correspondentes correlações: Em (A) Perfil do Morro do Santarenzinho; (B) Perfil da Serra da Cambuquira; (C) Perfil do Morro da Lixeira; (D) Ponta do Cururu/rio Tapajós e (E) Rio Tapajós/Morro do Cruzeiro.



Figura 4.7 – (Perfil **estratigráfico** panorâmico do morro do Santarenzinho, zona urbana de Santarém-Pa. **a0** = arenitos ferruginosos vermelhos; **a** = pacote de argilitos brancos; **b** = nível delgado de conglomerado ferruginoso (não visível nesta escala); **c1** = pacote de arenitos conglomeráticos; **c2** = arenitos arcoseanos, friáveis com estratificação cruzada acanalada; **d** = arenito maciços, estratificação plano-paralela, amarela e brancos).





Figura 4.8 - Perfil **estratigráfico** da Serra da Cambuquira, próxima ao Depósito da Coca-Cola (início da BR163, zona periférica de Santarém). LAT: 2°. 27'57,7''S/ LONG 54° 43'49,5''W.



Figura 4.9 - Perfil **estratigráfico** panorâmico do morro da Lixeira, localizada as margens da Rodovia Estadual Everaldo Martins (Santarém-Alter do Chão). Ocorrência dos mesmos níveis observados em outros pontos. **b** = nível delgado de conglomerado ferruginoso (não visível nesta escala); **c1** = pacote de arenitos conglomeráticos; **c2** = arenito arcoseanos, friáveis com estratificação cruzada acanalada; **d** = arenito maciço, estratificação plano-paralela, amarelo a branco. Localização: LAT: 54° 2' 27' S/LONG: 54° 46' 21'' W.



Figura 4.10 - Perfil da Formação Alter do Chão ao longo da margem do rio Tapajós as proximidades do morro do Cruzeiro, Alter do Chão/Pa. Destaque pontilhado para limite entre camada argilosa (a) e arenosa (c1).

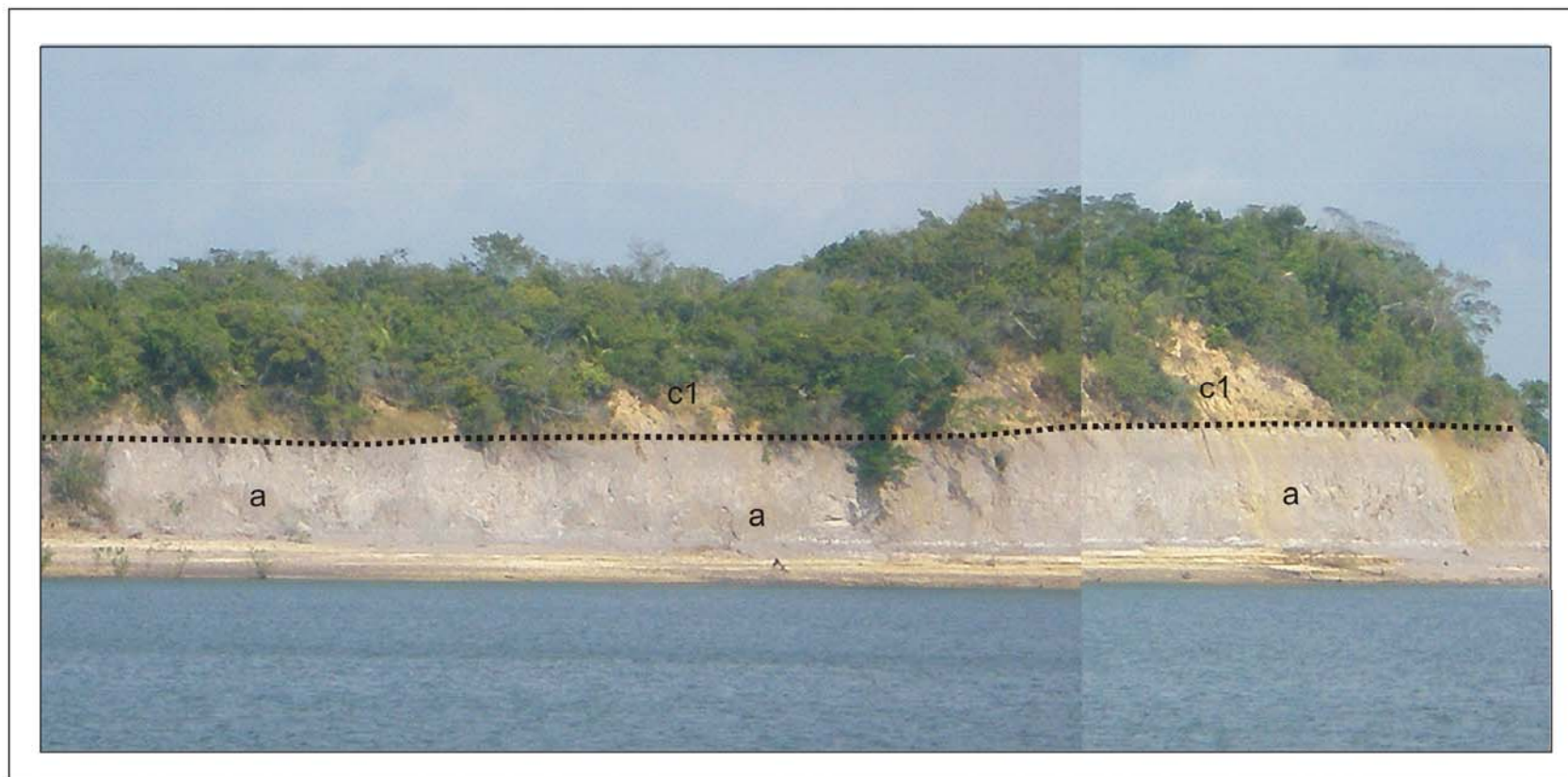


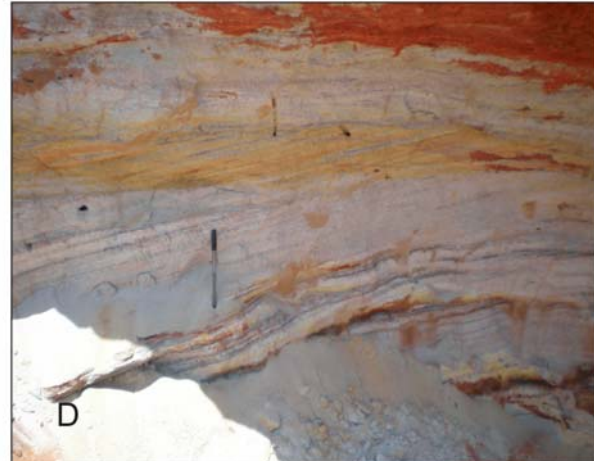
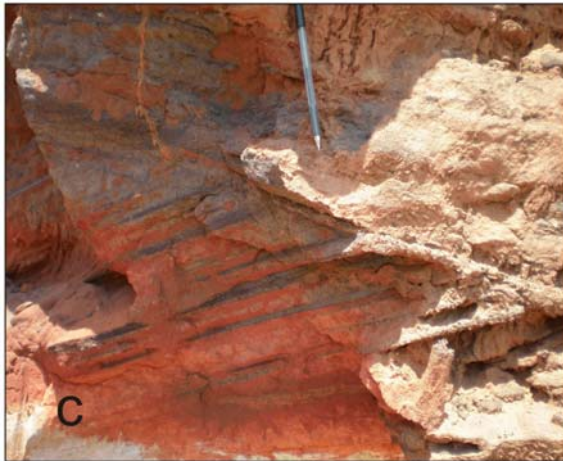
Figura 4.11 - Perfil na margem do rio Tapajós nas imediações da Ponta do Cururu, Alter do Chão/Pa. Destaque para o pontilhado limite entre a camada arenosa (topo) e argilosa (base).

#### 4.4.1 - Descrição detalhada dos níveis estratigráficos identificados na Formação Alter do Chão.

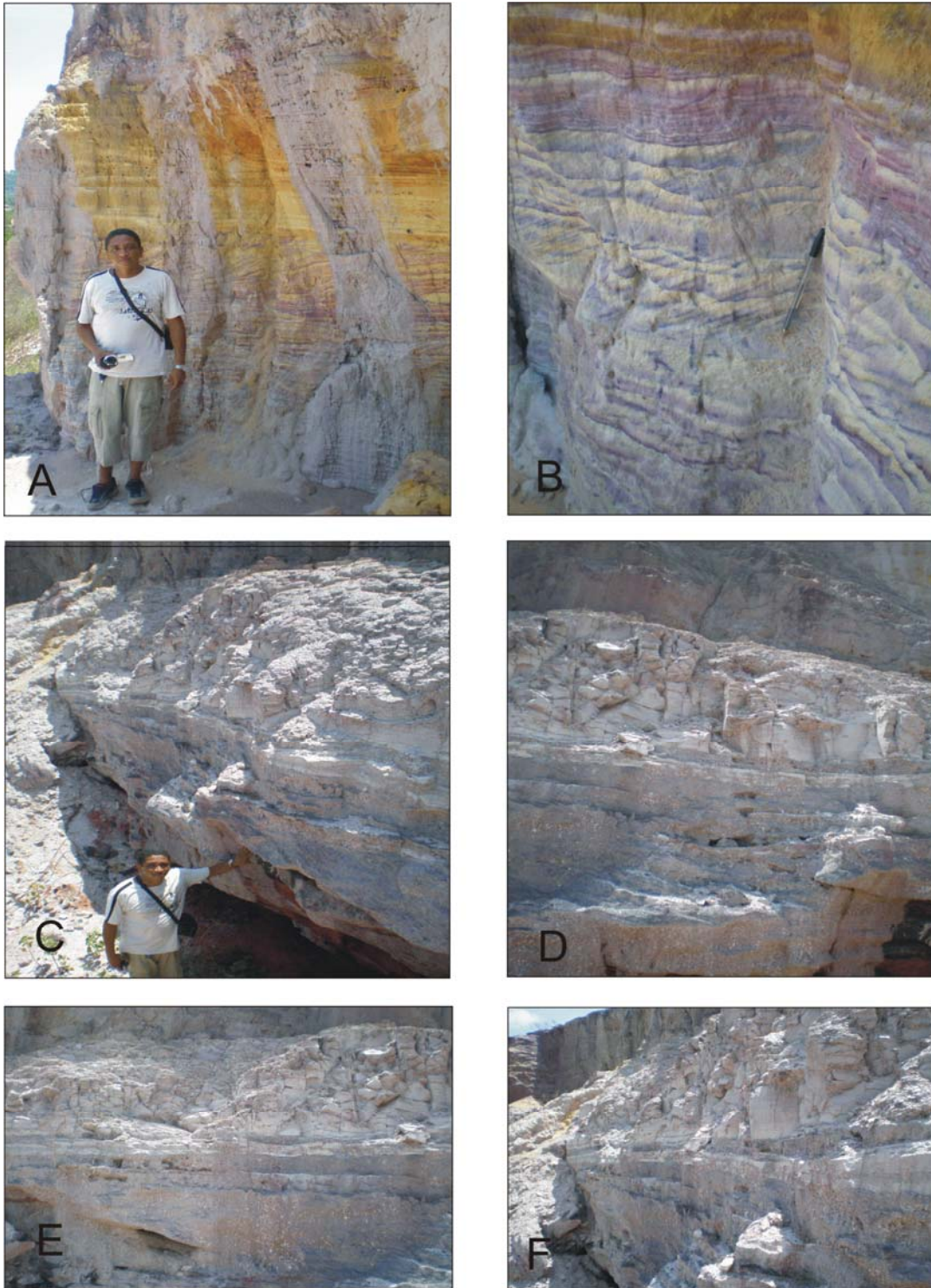
Como já mencionado, os levantamentos sistemáticos de campo e a descrição detalhada dos diferentes níveis observados ao longo dos inúmeros afloramentos e cortes encontrados na área de estudo permitiram a individualização de cada um deles conforme suas características sedimentares, (Tabela 4.3) que envolvem a sua constituição e estruturas presentes. As Pranchas 4.6 a 4.12 mostram detalhes de cada um dos níveis identificados e descritos.

Tabela 4.4 – Características litológicas e estratigráficas sedimentares dos níveis presentes estratigráficos da Formação Alter do Chão na área estudada.

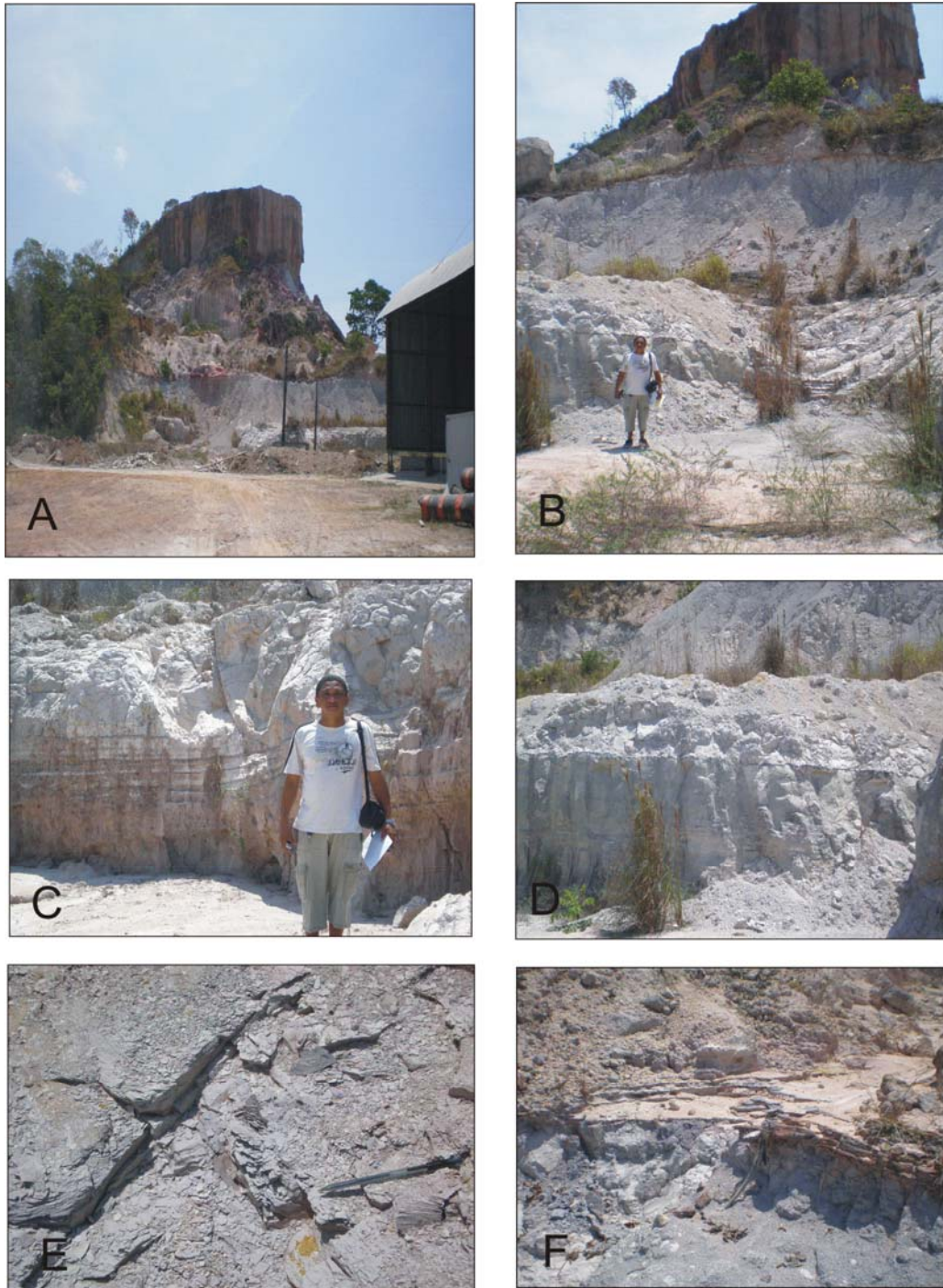
<b>NÍVEL</b>	<b>LITOLOGIA</b>	<b>ESTRUTURAS SEDIMENTARES</b>
<b>d</b>	Pacote de arenitos médios a finos, brancos, amarelos a róseos, imaturos, finamente laminados. Localmente silicificado	Estratificação plano paralela e cruzada de baixo angulo
<b>c2</b>	Pacote de arenitos médios a finos, por vezes microconglomeráticos	Típica estratificação cruzada acanalada de grande porte
<b>c1</b>	Pacote de arenitos grossos a médios, microconglomeráticos e conglomeráticos, lentes e níveis conglomeráticos, seixos bem arredondados, bolas de argila.	Estratificações cruzadas plano paralelas e, por vezes acanaladas de pequeno a médio porte
<b>b</b>	Nível de conglomerado ferruginoso, delgado (no máximo 50cm), seixos de arenito ferruginosos, quartzo e arenitos friáveis, em cimento bastante ferruginoso.	-
<b>a</b>	Pacote de argilitos cinza bastante homogêneo	Finamente laminado, maciço
<b>a 0</b>	Pacote de arenitos ferruginosos, grossos, com intercalações de níveis centimétricos de conglomerados; em direção ao topo passam para arenitos mais finos e friáveis e marcante presença de níveis centimétricos de argilas.	Estratificação cruzada plano-paralela de pequeno a médio porte de alto ângulo.



Prancha 4.6 - Fotos ilustrativas das características: **nível estratigráfico a0**, o mais inferior encontrado na área de estudo. Trata-se de arenitos grossos, ferruginosos, com estratificação cruzada de pequeno a médio porte e alto ângulo. Nas ilustrações A e B aspecto geral do nível e em C, D, E e F detalhes das estruturas sedimentares presentes.



Prancha 4.7 - Fotos ilustrativas das características do topo do **nível estratigráfico a0**, da área de estudo. Trata-se de arenitos finos e médios friáveis, pouco ferruginosos, com estratificação plano-paralela. Nas ilustrações A e B aspecto geral do nível e em C, D, E e F detalhes das intercalações de níveis argilosos pouco espessos, próximos ao topo do nível.

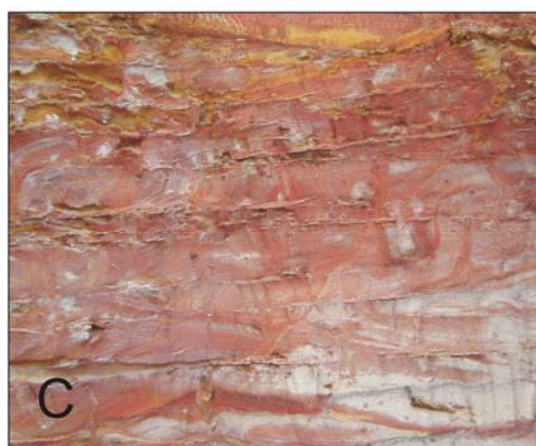


Prancha 4.8 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico a**, um do mais contínuo em toda a área de estudo. Trata-se de argilitos brancos e cinza, maciços. As ilustrações A e B mostram aspectos gerais do pacote no morro da fábrica de brita/BR-163, em C e D detalhes da base do pacote, no contato com o nível **a0**; em E detalhe fraturamento local do pacote e em F detalhe do topo do pacote, com delgado nível de conglomerado ferruginoso (nível **b**).

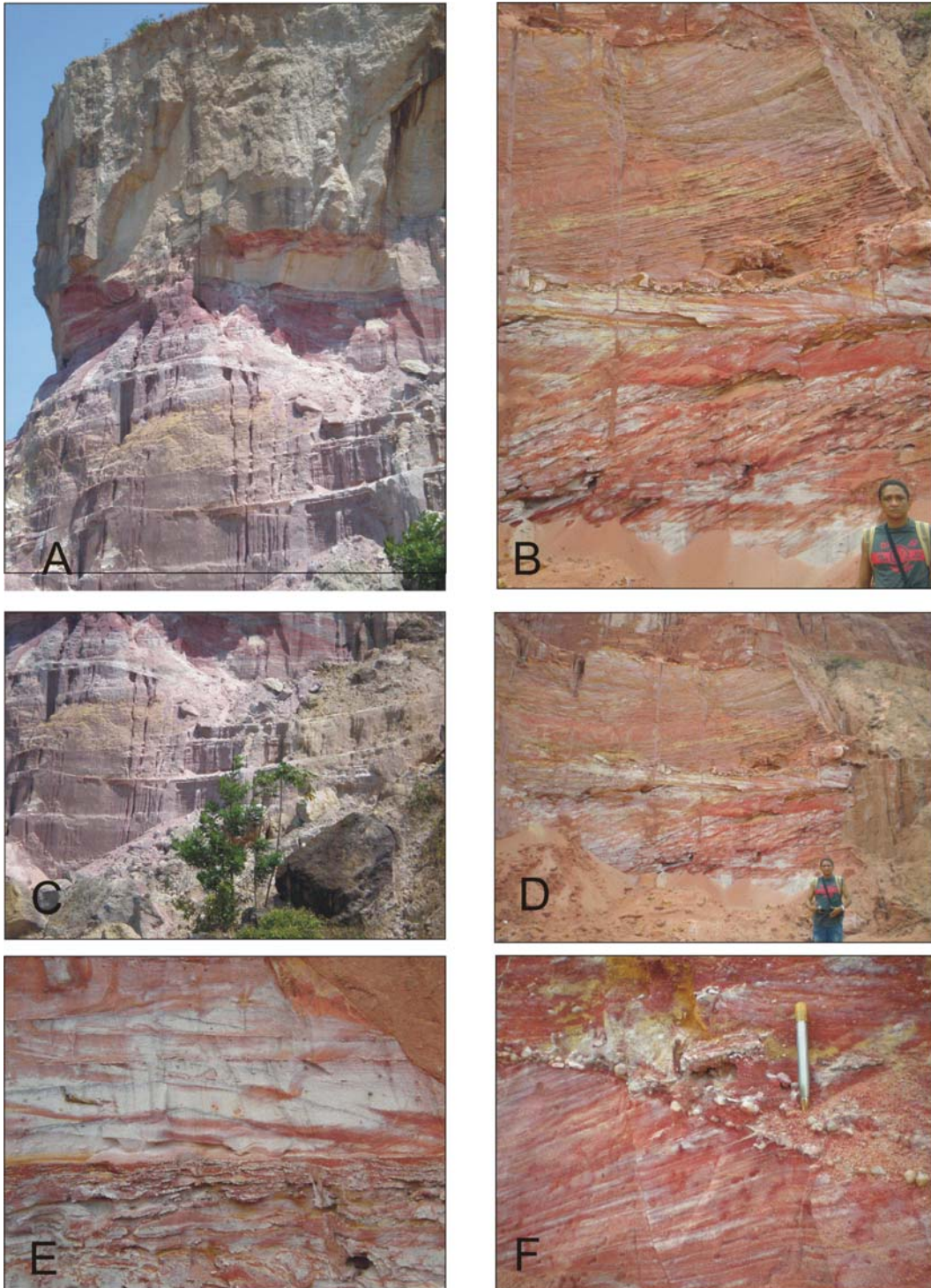




Prancha 4.9 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico b**. Trata-se de nível bem marcante em todos os afloramentos e cortes visitados, constituído de arenito ferruginoso grosso com fragmentos pouco arredondados de material ferruginoso escuro a avermelhados. Observar que este nível delgado sempre recobre o nível argiloso branco (**a**).



Prancha 4.10 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico c1**. Trata-se de nível bem contínuo na área estudada. São frequentes intercalações de níveis de argilitos (B) e de conglomerados monolíticos (F), geralmente exibem estratificações cruzadas, plano paralelo ou acanalada de pequeno porte (C e D) e outras estruturas sedimentares convolutas (E).



Prancha 4.11 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico c2**. Trata-se de arenitos grossos, imaturos, friáveis, com típica estratificação cruzada acanalada de grande porte. Nas ilustrações A e B aspectos geral do nível e em C, D, E e F detalhes das estruturas sedimentares presentes, níveis conglomeráticos e argilosos e seu contato com o nível **c1**.

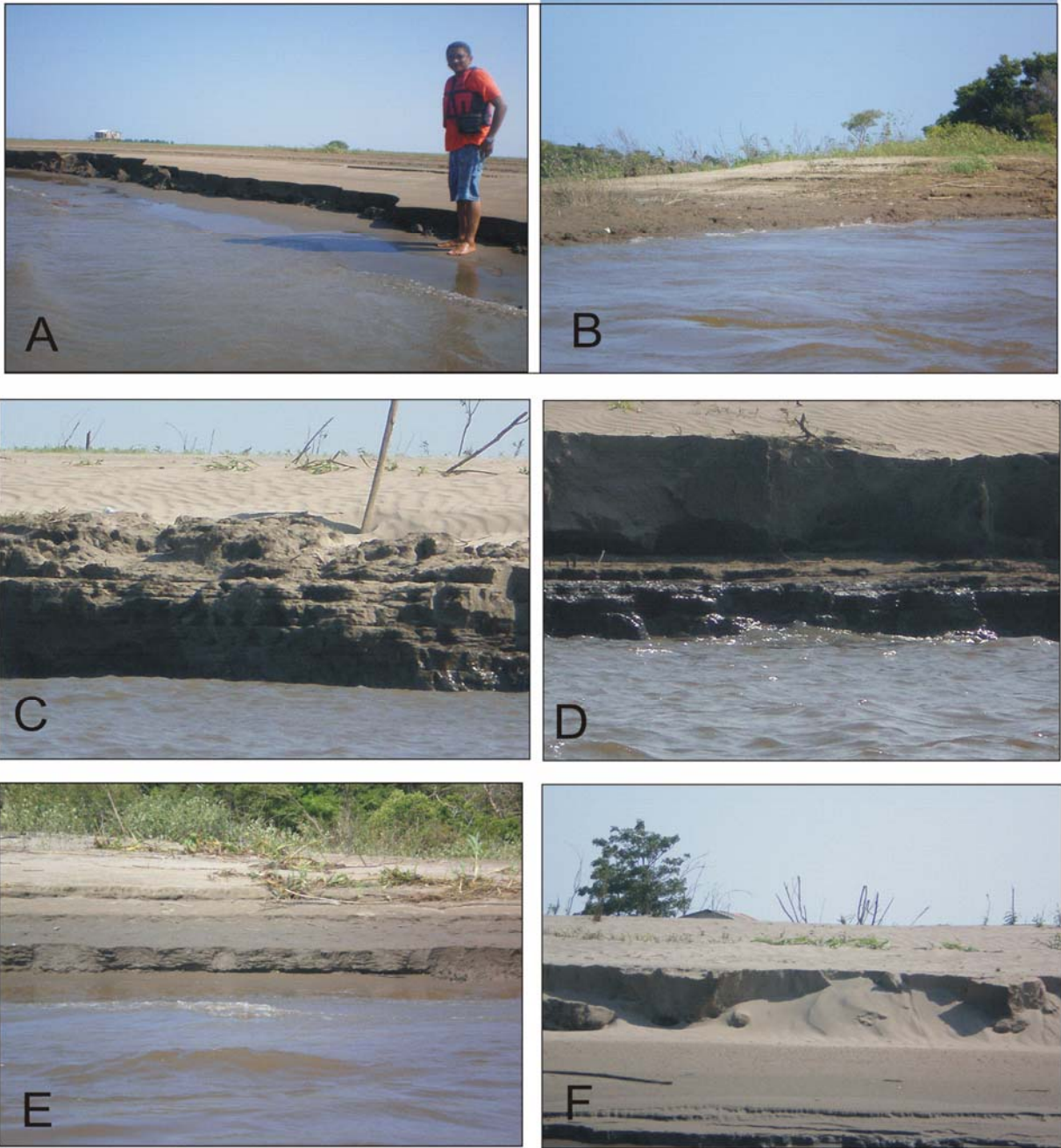


Prancha 4.12 - Fotos ilustrativas das características do **nível estratigráfico d**. Trata-se de nível bem contínuo na área estudada, que sustenta os altos topográficos (A, B), como os morros do Santarenzinho, Cambuquira, Cururu, Cruzeiro, etc.. São arenitos finos e médios, de coloração esbranquiçada, imaturo (C), friáveis às vezes silicificados. Sempre mostram estratificações cruzadas plano-paralelas de pequeno (D, E, F) e médio porte.

#### **4.4.2 – Descrição dos depósitos de Planície de inundação e aluviões modernos**

Posicionado estrategicamente sobre as litologias da sequência sedimentar da Formação Alter do Chão, principalmente ao longo da barra do Tapajós e ao longo da calha e margem do rio Amazonas encontram-se depósitos de sedimentos inconsolidados associados à planície de inundação destes rios. Trata-se de depósitos essencialmente siltosos cinzentos, arenosos finos e argilosos, por vezes com níveis delgados de cascalhos e comumente associados à matéria orgânica, que confere coloração escura a estes materiais. As Pranchas 4.13 e 4.14 mostram aspectos destes depósitos.

Os depósitos predominantemente arenosos brancos dominam nas margens internas do rio Tapajós, quando retrabalhados redepositam-se em forma de bancos de areia branca, constituindo praias, barras e cordões arenosos e, eventualmente, delgados bancos arenosos brancos em meio aos sedimentos do rio Amazonas (vide Prancha 4.13, fotos C e F), ou formando extensos lençóis arenosos, inclusive com retrabalhamento eólico atual na proximidade de furos, lagos e igarapés. (vide Pranchas 4.14, A, B e C).



Prancha 4.13 - Fotos ilustrativas dos depósitos atuais nas barras do rio Amazonas, nas proximidades da foz do rio Tapajós. Trata-se de areias e siltes inconsolidados, que exibem estratificação plano paralela e associação com níveis arenosos finos e de matéria orgânica cinzenta.



Pranchas 4.14 - Fotos ilustrativas das características dos depósitos arenosos modernos. Trata-se de areias brancas inconsolidadas, bem selecionadas. Nas ilustrações A, B, C e D mostram o aspecto geral destes corpos arenosos nos arredores da lagoa da comunidade do Itapari, no rio Tapajós (note-se o trabalho eólico atual sobre estes depósitos). Nas ilustrações E e F os depósitos arenosos/siltosos recentes em pequenas barras e praias na comunidade de Ponta de Pedra.

# **USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ**

## **CAPÍTULO V: ANÁLISE MULTITEMPORAL DAS IMAGENS E EVOLUÇÃO DEPOSICIONAL LOCAL**

### **5.1 - Introdução**

Em atendimento a um dos objetivos específicos deste estudo, este capítulo dedica-se a apresentar os resultados alcançados na análise multitemporal das imagens LANDSAT, visando o estabelecimento da evolução deposicional recente (taxa de acreção e erosão) da área de estudo. Ressalte-se que este tipo de estudo que envolva a análise multitemporal de feições geomorfológicas a partir de sensores remotos para regiões que apresentam singularidades climáticas e geomorfológicas, devem ser realizados com bastante critério, pois alguns fatores podem interferir no resultado final da pesquisa.

Como já mencionado, da série de imagens disponibilizadas pelo INPE e pela Universidade de Maryland, somente cinco cenas puderam ser trabalhadas: 1975 (INPE), 1981 (INPE), 1986 (Maryland), 2001 (Maryland) e 2007 (INPE), sendo que a cena referente ao ano de 2000, foi fornecida pelo INPE e utilizada apenas para ajustar algumas diferenças no cálculo da área e perímetro das ilhas do rio Amazonas.

A técnica de extração da taxa de acreção e erosão estão baseadas na sobreposição dos vetores da cena e ano anterior, sob a cena e ano posterior, em seguida é feito a digitalização da acreção e/ou erosão quando for o caso, gerando com isso um novo produto, ora da acreção, ora da erosão.



Após extrair os valores dos vetores digitalizados nas cenas utilizadas na pesquisas, (1975 a 2007), assim, o total da área a ser quantificada, em quilômetros quadrados para *área* e quilômetro linear (km) para o *perímetro* da área em questão. As tabelas a seguir mostram as áreas e tamanhos dos vetores extraídos nas regiões das ilhas do rio Amazonas e barra e delta do rio Tapajós, os dois elementos selecionados para esta análise.

Um fato chama atenção na Tabela 5.1. No ano de 2001, os valores apresentados para as ilhas do Amazonas, área e perímetro, são baixos em comparação aos demais, isto é devido ao fato da cena apresentar considerável número de nuvens sobre a região das ilhas do Amazonas e parte da barra do Tapajós, o que de certa forma comprometeu as informações nesta cena. Para compensar tais problemas, foi utilizada a cena do ano anterior do INPE, pois a diferença temporal entre a imagem de 2001 de Maryland e 2000 do INPE é muito baixa, 01 (um) ano, não comprometendo a metodologia utilizada. Durante a análise e interpretação dessas imagens, chegou-se aos resultados indicados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Área e perímetro das ilhas do Amazonas e barra do Tapajós, nos diferentes anos analisados.

<b>ÁREA TOTAL DAS ILHAS E BARRA</b>		
<b>EVENTO/ANO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>
ILHAS 1975	51,04	129,58
BARRA 1975	72,91	270,92
ILHAS 1986	19,44	158,53
BARRA 1986	91,09	444,62
ILHAS 2000	19,75	136,68
BARRA 2000	73,86	339,81
ILHAS 2001	2,46	31,90
BARRA 2001	78,02	356,03
ILHAS 2007	27,72	233,08
BARRA 2007	70,37	444,31

Os valores apresentados são absolutos e para todas as ilhas que aparecem na área de estudo, de cada cena, partindo de Santarém subindo em direção oeste (à montante) e para a barra do Tapajós, entre os anos de 1975 a 2007.

Para efeito explicativo (Tabela 5.1) a cena do ano de 1975 apresenta área das ilhas muito elevada com 51,04 km<sup>2</sup>, isso se deve ao período de aquisição da imagem, em outubro, que é pico de estiagem, expondo maior quantidade de terras emersas.

As ilhas mais à montante de Santarém não aparecem por completo em todas as datas. Para evitar distorções e possíveis incorreções, outras quantificações foram propostas para as ilhas do rio Amazonas em Santarém, no sentido de apresentar e dar mais evidência aos dos processos erosivos deposicionais fluvial dessas ilhas. Na Tabela 5.2, e Figura 5.1, pode-se observar a quantificação de todas as ilhas que aparecem por completo na cena, desprezando aquelas que aparecem apenas em parte e estão à montante de Santarém.

Na Tabela 5.3 e Figura 5.2, são apresentados os valores absolutos da acreção e erosão das duas ilhas do Amazonas mais próximas à Santarém e por último a Tabela 5.4 e Figura 5.3, temos os dados estatísticos somente da ilha da Ponta Negra que fica em frente à cidade.

A evolução deposicional no intervalo dos dois elementos (ilhas e barra) analisados é visto nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 e nas Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 é apresentado as imagens LANDSAT usadas na pesquisa.

Tabela 5.2 – Área e perímetro das ilhas do rio Amazonas que aparecem por completo nas cenas dos diferentes anos do sensor LANDSAT.

<b>TABELA COM VALORES DAS ILHAS NO RIO AMAZONAS</b>		
<b>EVENTO/ANO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>
ILHAS 1975	16,82	83,99
ILHAS 1981	23,12	104,51
ILHAS 1986	19,44	158,53
ILHAS 2000	15,98	125,07
ILHAS 2001	2,46	31,90
ILHAS 2007	9,38	112,43

Tabela 5.3 - Área e perímetro das duas ilhas em frente a Santarém.

<b>TABELA COM VALORES DAS DUAS ILHAS EM FRENTE DA CIDADE DE SANTARÉM</b>		
<b>EVENTO/ANO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>
ILHAS 1975	0,085	2,10
ILHAS 1981	0,388	3,74
ILHAS 1986	0,540	5,83
ILHAS 2000	3,22	29,55
ILHAS 2001	2,46	31,90
ILHAS 2007	2,29	19,95

Tabela 5.4 – Área e perímetro apenas da ilha em frente a Santarém.

<b>TABELA COM VALORES APENAS DA ILHA EM FRENTE À CIDADE</b>		
<b>EVENTO/ANO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>
ILHA 1975	0,069	1,58
ILHA 1981	0,118	1,54
ILHA 1986	0,344	3,03
ILHA 2000	1,83	17,69
ILHA 2001	1,35	19,61
ILHA 2007	2,08	16,83

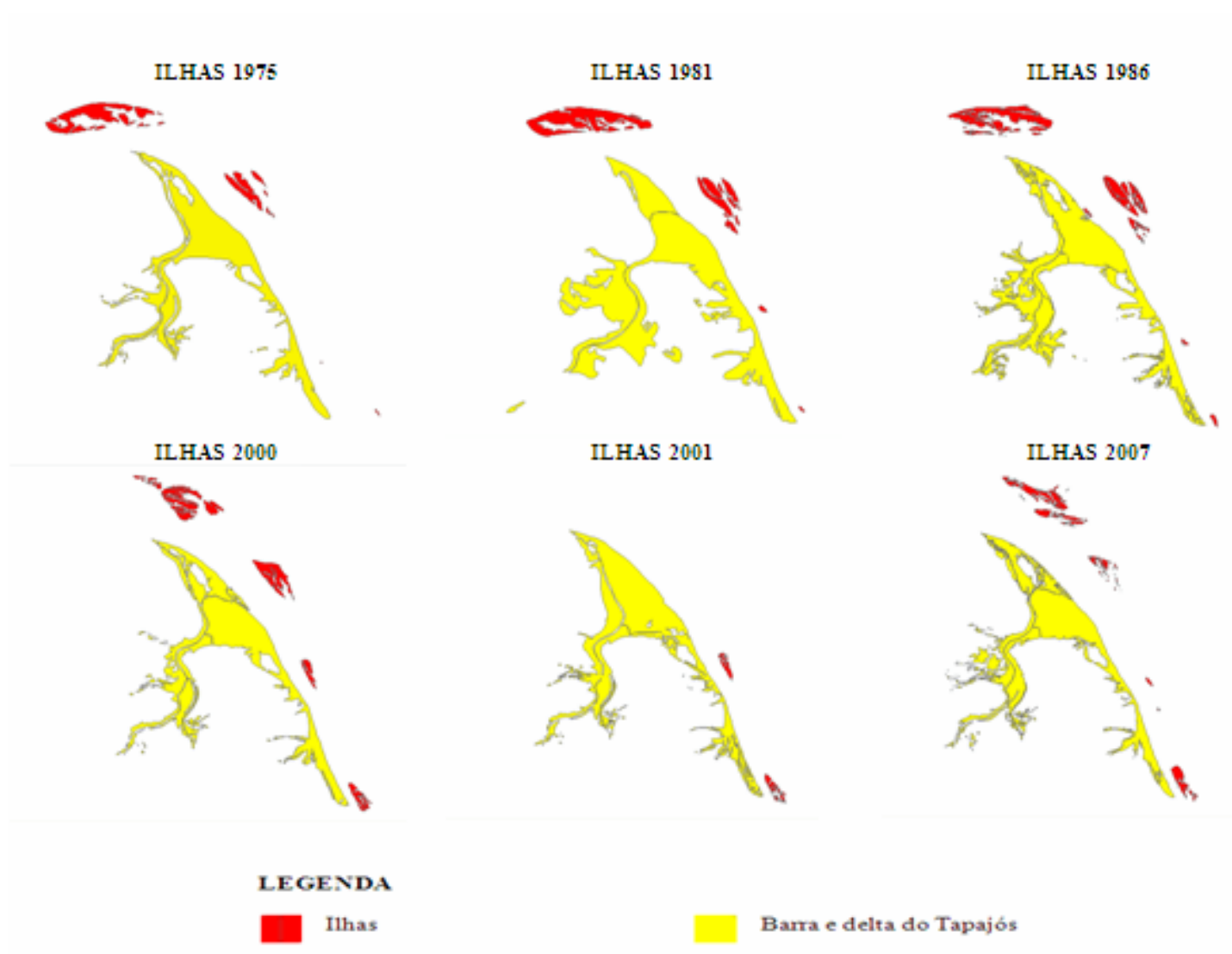


Figura 5.1 – Mapeamento das ilhas do rio Amazonas que aparecem por completo nas cenas LANDSAT (1975 – 2007).

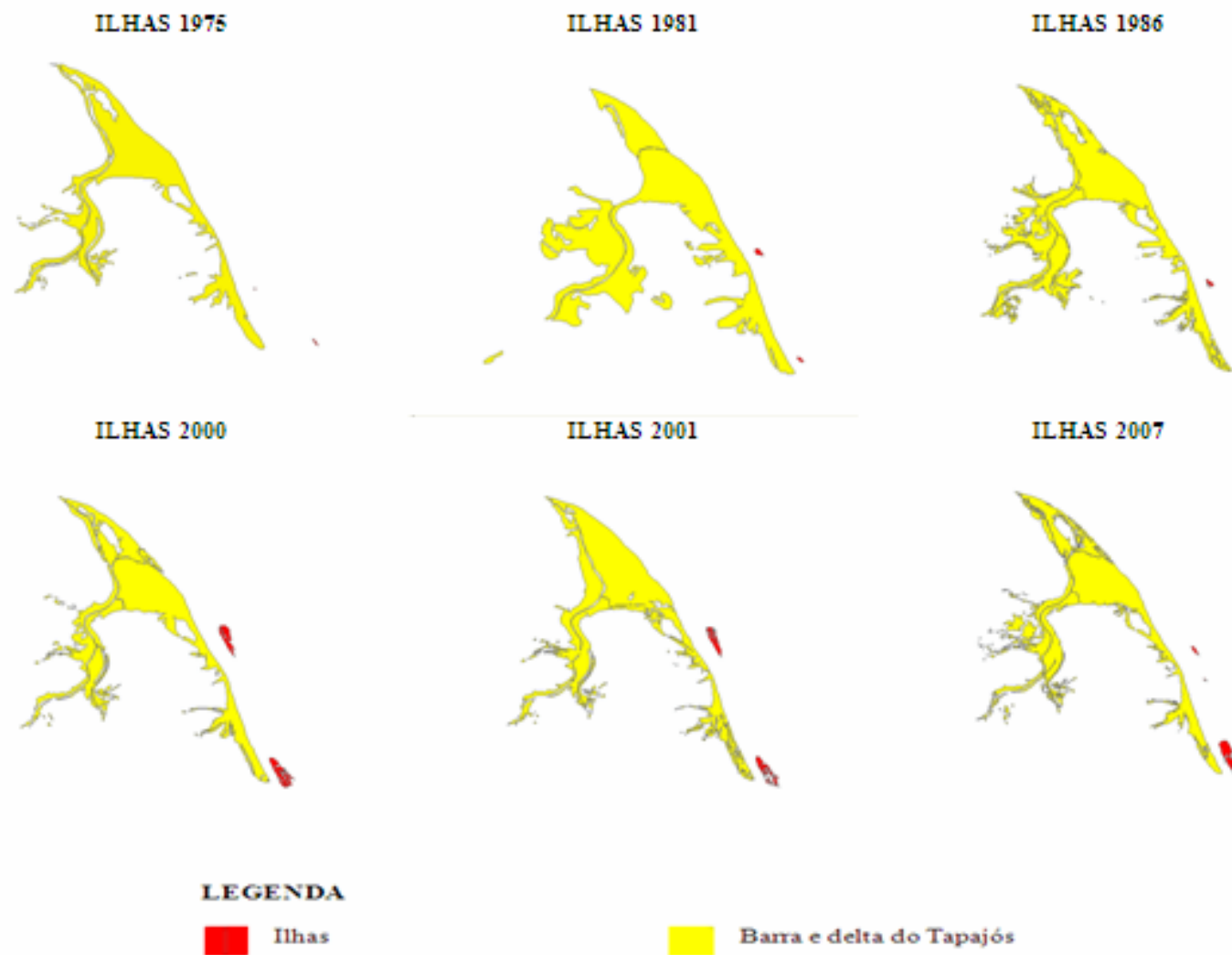


Figura 5.2 – Mapeamento das 2 ilhas em frente a Santarém e primeira ilha a montante (1975 – 2007).

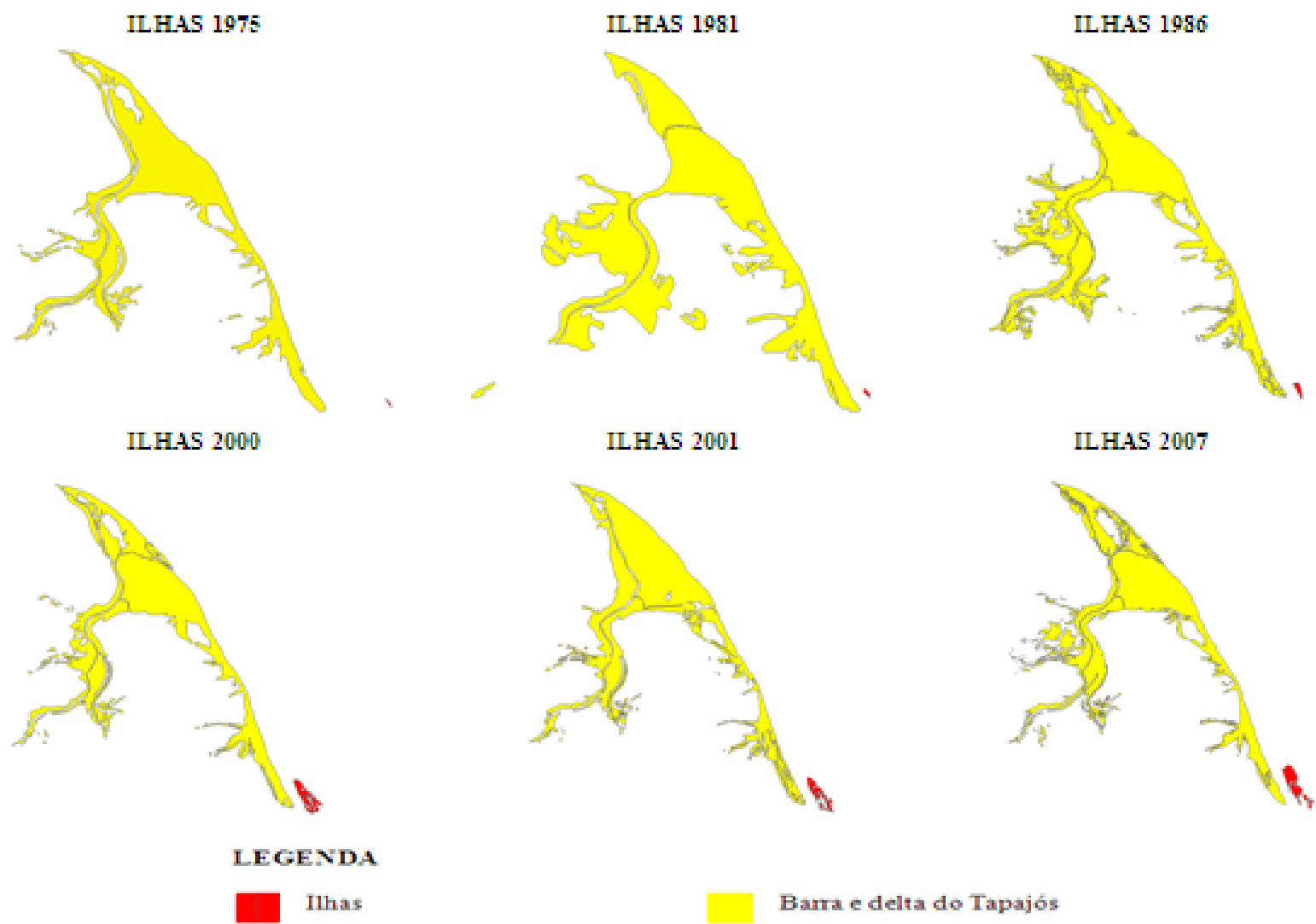


Figura 5.3 - Mapeamento da ilha da Ponta Negra, em frente à cidade de Santarém, (1975 – 2007).

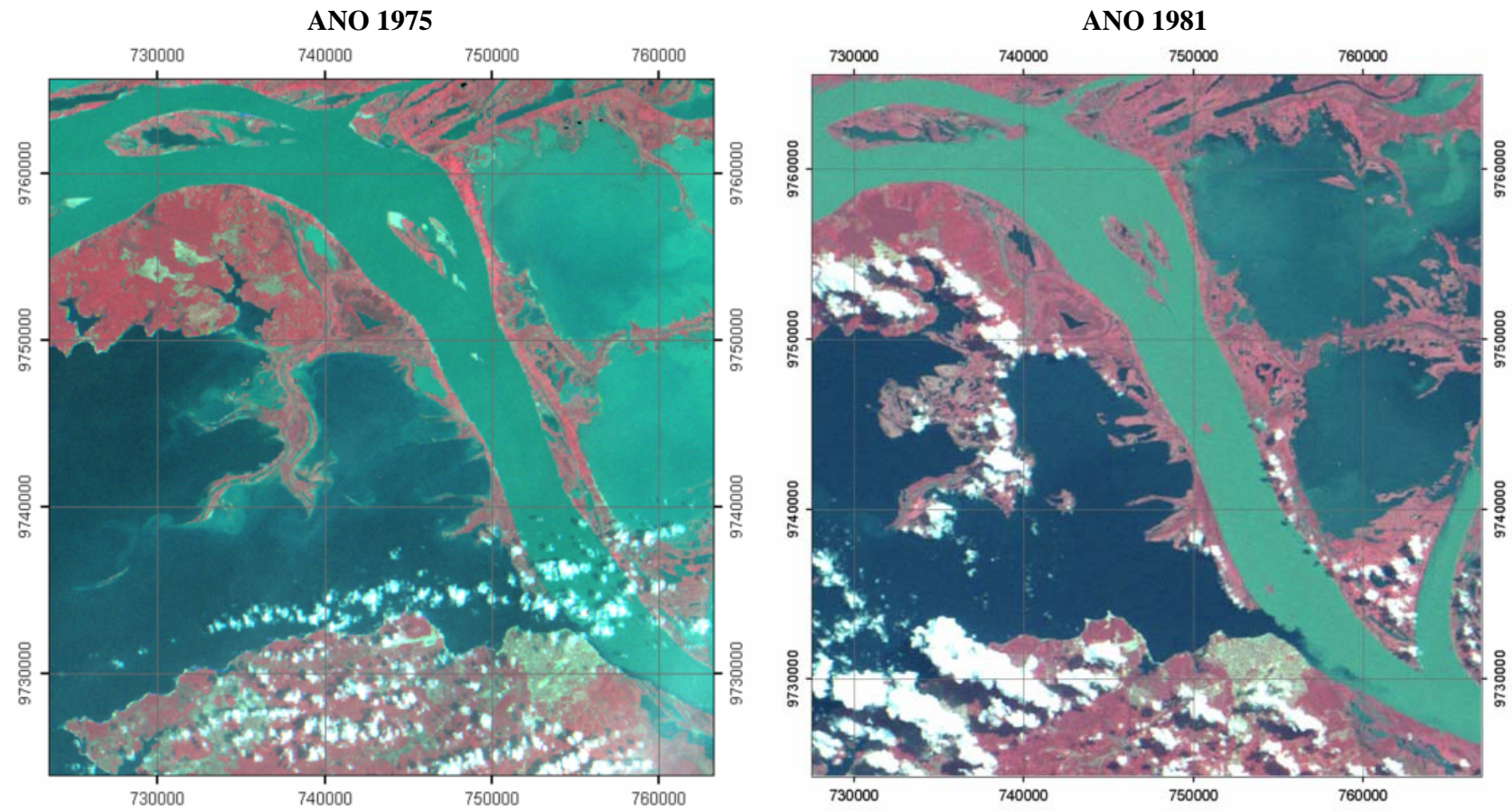


Figura 5.4 – Imagens LANDSAT dos anos de 1975 e 1981.

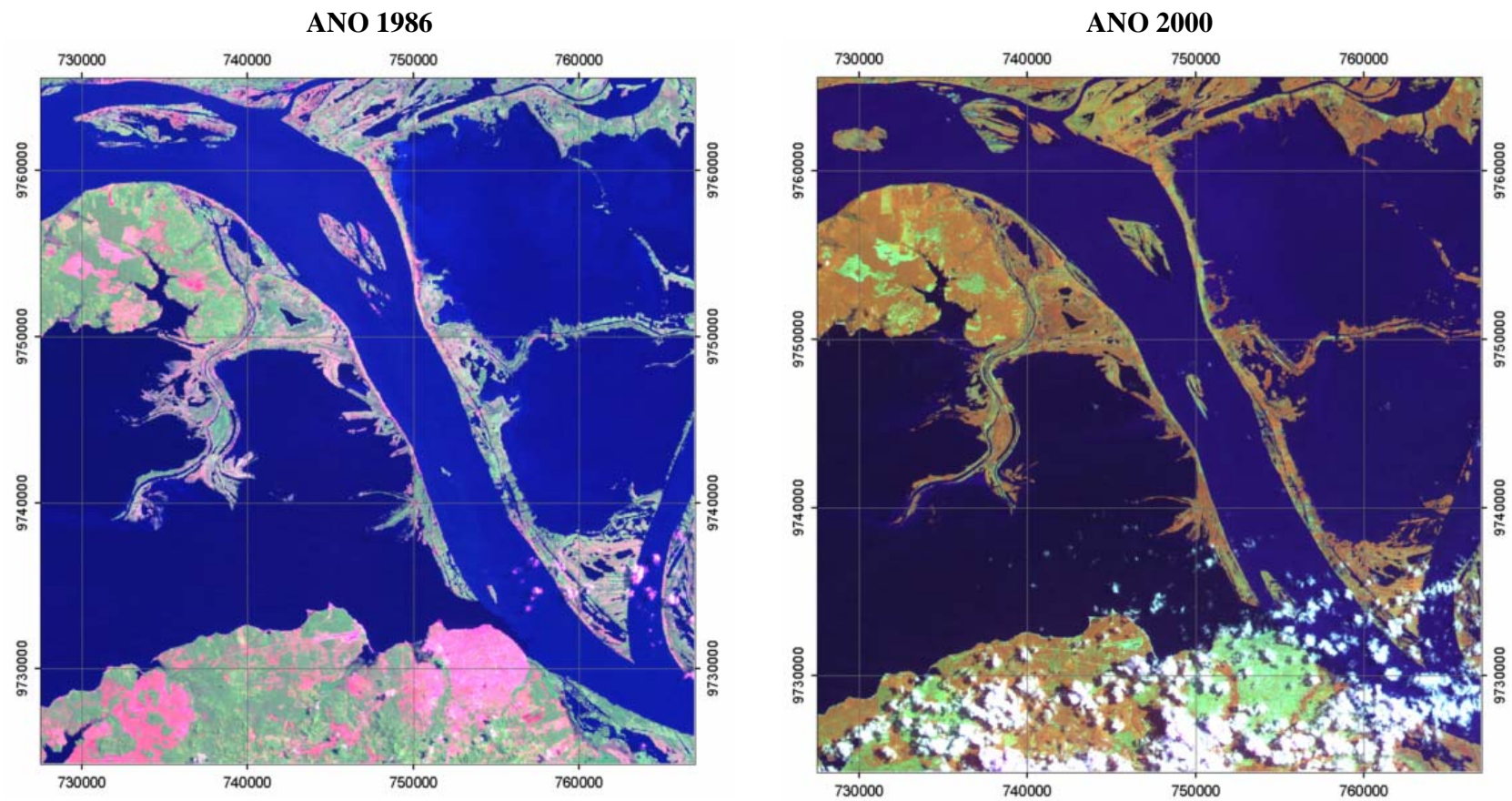


Figura 5.5 – Imagens LANDSAT dos anos de 1986 e 2000.



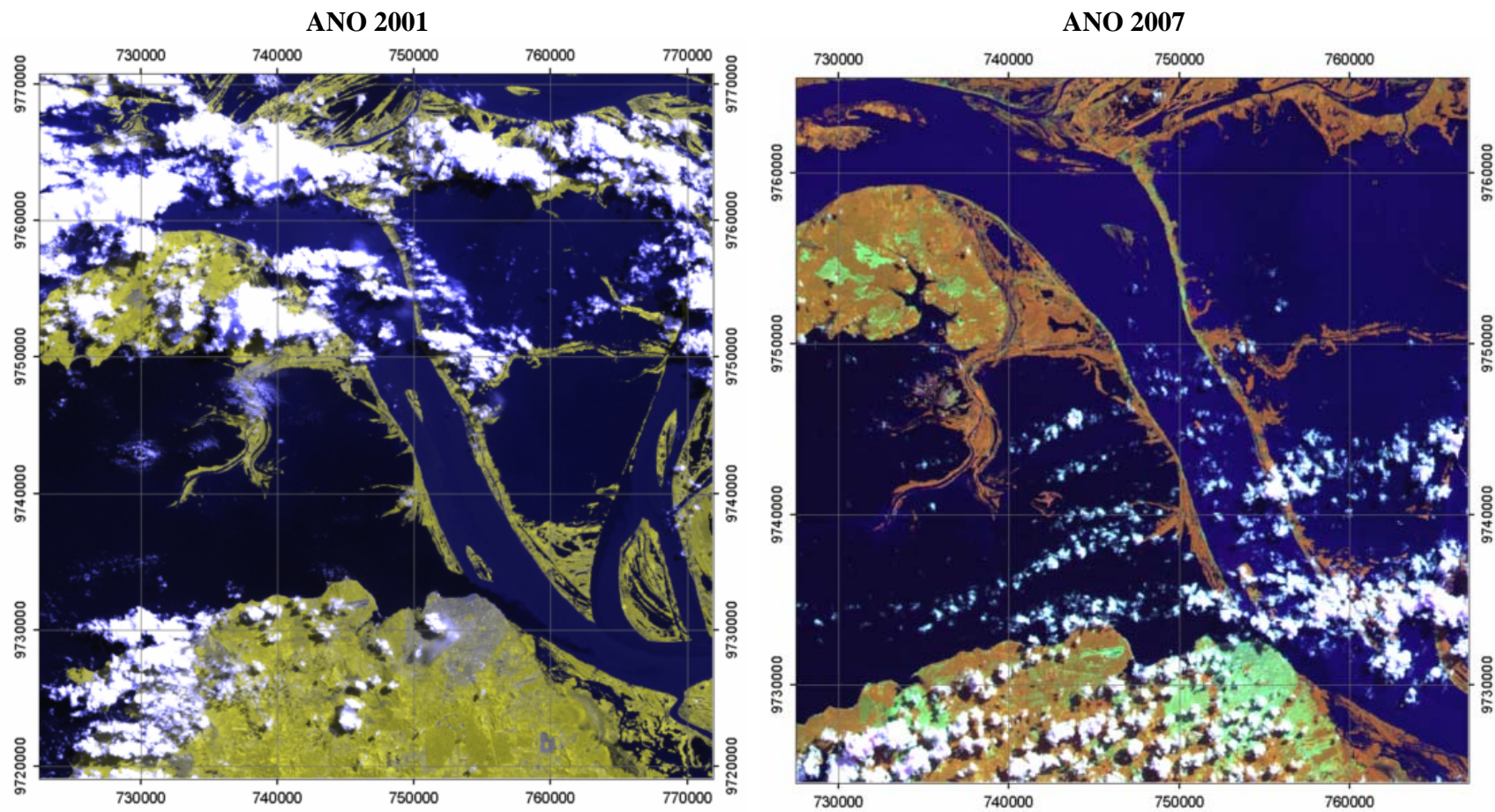


Figura 5.6 – Imagens LANDSAT dos anos de 2001 e 2007.

## **5.2 – Considerações iniciais sobre o cálculo das taxas de acreção e erosão das ilhas fluviais no Amazonas e barra do Tapajós**

As taxas de acreção e erosão foram extraídas a partir da sobreposição dos vetores anteriormente mencionados. Nas Tabelas e Figuras apresentadas a seguir pode-se observar os vetores extraídos e a sobreposição da acreção (A) e erosão (B).

Em todas as tabelas são apresentados os valores de acreção e erosão da barra do rio Tapajós e das ilhas fluviais do Amazonas. Na primeira coluna tem-se a área em km<sup>2</sup> e na segunda o perímetro em km;

No momento da quantificação e extração dos valores das feições estudadas não foram levadas em consideração as ilhas que aparecem mais a oeste da cena e não estão por completo na mesma, justamente para evitar erros na comparação entre os diferentes anos.

No conjunto de cenas entre os anos 1981 e 1986 é observado que no ano de 1981, parte da Barra do Tapajós foi “retirada” propositadamente no momento da extração dos valores, pois a imagem deste ano apresenta intensa cobertura de nuvens. Do mesmo modo a quantificação da acreção da barra do rio Tapajós ficou comprometida, em função de que a cena adquirida junto ao INPE apresentar falha de captação de dados que impossibilitou digitalização na região do delta do rio Tapajós. Muita distorção geométrica na imagem não garantiu a confiabilidade das informações obtidas e dificultou sua digitalização.

Entre 1986 e 2001 a extração dos valores pode ser feita tanto para as ilhas como para a barra do Tapajós. No entanto, só as ilhas mais próximas a Santarém foram consideradas para fim de cálculo de área e perímetro, pois as nuvens do ano de 2001 reduziram a sua utilidade. Apenas as ilhas que estavam sem cobertura foram quantificadas, tanto para o ano de 1986, como para 2001.

Como se pode observar nos dados da Tabela 5.10 e Figura 5.13, a extração dos indicadores de acresção e erosão entre os anos de 2001 e 2007 só foram analisados e comparados para as ilhas que estavam em condições de serem quantificadas, devido aos fatos já expostos acima no ano de 2001.

### **5.3 – Resultados obtidos**

A análise temporal foi realizada, portanto em quatro (04) intervalos temporais (1975-1981 / 1981-1986 / 1986-2001 e 2000-2007), para efeito comparativo e considerando as limitações já mencionadas dos produtos disponibilizados.

Após a análise destes intervalos é feita a comparação geral dos dados, apresentado-se o resultado conjunto, especificamente para as ilhas do rio Amazonas e para a barra do Tapajós, já que se tratam de elementos diferenciados.

#### **a) Os resultados obtidos entre os anos de 1975 e 1981 foram:**

A linha de barra do Tapajós teve uma acresção de 53,49 km<sup>2</sup> em relação a esse período, enquanto que a *erosão* ficou em torno de 7,43 km<sup>2</sup>, apresentando um acréscimo de 46,06 km<sup>2</sup>; a acresção das ilhas fluviais ao longo do rio Amazonas foi de 11,96 km<sup>2</sup>, a erosão foi de 5,60 km<sup>2</sup>, o que resultou em um crescimento de 6,36 km<sup>2</sup>. A conclusão desse período é que houve um crescimento significativo, como pode ser observado na Tabela 5.5, porém, deve-se lembrar que a imagem de 1975 foi adquirida no mês de outubro de 1975, período de maior estiagem, que contribuiu para maior exposição das terras emersas, e isto interferiu neste valor total.

Tabela 5.5 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 1975-1981.

<b>TABELA COM VALORES ACREÇÃO E EROSÃO: 1975-1981</b>			
<b>EVENTO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>	<b>DIFERENÇA/km<sup>2</sup></b> <b>(PARA ÁREA)</b>
ACREÇÃO BARRA	53,49	386,96	
EROSÃO BARRA	7,43	106,76	+ 46,06
ACREÇÃO ILHAS	11,96	123,36	
EROSÃO ILHAS	5,60	62,64	+ 6,36

**b) Os resultados obtidos entre os anos de 1981 e 1986 foram:**

Entre 1981 e 1986, a acreção da linha de barra do Tapajós foi de 10,56 km<sup>2</sup> e erosão 16,07 km<sup>2</sup>, o que nos levam a concluir que houve uma erosão de 5,51 km<sup>2</sup>, as ilhas fluviais nesse período teve acreção de 7,51 km<sup>2</sup> enquanto que a erosão foi de 12,27 km<sup>2</sup>, com isso tivemos uma erosão de 4,76 km<sup>2</sup>. A Tabela 5.6 mostra o resultado do processo de extração de tais informações:

Tabela 5.6 – Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 1981-1986.

<b>TABELA COM VALORES ACREÇÃO E EROSÃO: 1981-1986</b>			
<b>EVENTO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>	<b>DIFERENÇA/km<sup>2</sup></b> <b>(PARA ÁREA)</b>
ACREÇÃO BARRA	10,56	177,47	
EROSÃO BARRA	16,07	270,77	- 5,51
ACREÇÃO ILHAS	7,51	129,15	
EROSÃO ILHAS	12,27	144,34	- 4,76

**c) Os resultados obtidos entre os anos de 1986 e 2001 foram:**

Entre 1986 e 2001, a acreção da linha de barra do Tapajós foi de 12,70 km<sup>2</sup>, a erosão no período foi de 28,17 km<sup>2</sup>, registrando uma erosão de 15,47 km<sup>2</sup>; as ilhas fluviais tiveram acreção de 3,40 km<sup>2</sup> e erosão de 0,381 km<sup>2</sup>, a acreção das ilhas no Amazonas foi de 3,01 km<sup>2</sup>, conforme pode ser observado na Tabela 5.7:

Tabela 5.7 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 1986-2001.

<b>TABELA COM VALORES ACREÇÃO E EROSÃO: 1986-2001</b>			
<b>EVENTO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>	<b>DIFERENÇA/km<sup>2</sup></b> <b>(PARA ÁREA)</b>
ACREÇÃO BARRA	12,70	224,87	
EROSÃO BARRA	28,17	623,04	- 15,47
ACREÇÃO ILHAS	3,40	41,52	
EROSÃO ILHAS	0,381	8,12	+ 3,01

**d) Os resultados obtidos entre os anos de 2001 e 2007 foram:**

A linha de barra nesse período teve uma acreção de 11,55 km<sup>2</sup> e 19,73 km<sup>2</sup> de erosão, obtendo 8,18 km<sup>2</sup> de erosão, enquanto que as ilhas fluviais no rio Amazonas tiveram um crescimento de 1,64 km<sup>2</sup> e erosão de 1,60 km<sup>2</sup>, obtendo um crescimento de 0,04 km<sup>2</sup> (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 - Valores de taxas de acreção e erosão entre os anos de 2001-2007.

<b>TABELA COM VALORES ACREÇÃO E EROSÃO: 2001-2007</b>			
<b>EVENTO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km</b>	<b>DIFERENÇA/km<sup>2</sup></b> <b>(PARA ÁREA)</b>
ACREÇÃO BARRA	11,55	393,13	
EROSÃO BARRA	19,73	431,21	- 8,18
ACREÇÃO ILHAS	1,64	24,97	
EROSÃO ILHAS	1,60	30,31	+ 0,04

Os dados gerais podem ser visualizados em dois blocos distintos: de 1986-2000 (Tabela 5.9) e de 2000-2007 (Tabela 5.10).

Mesmo com as limitações apresentadas devido essas dificuldades de aquisição de imagens a partir de um sensor ótico como a série LANDSAT pode-se concluir no geral que as ilhas fluviais no Amazonas próximo a Santarém apresentaram crescimento no intervalo de tempo de 1975 a 2007, fato que pode ser observado pelos cálculos apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.9 – Valores de taxas de acreção e erosão das ilhas no Amazonas entre 1986-2000.

<b>TABELA COM VALORES ACREÇÃO E EROSÃO: 1986-2000</b>		
<b>EVENTO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km (PARA ÁREA)</b>
ACREÇÃO ILHAS	16,79	146,83
EROSÃO ILHAS	13,06	154,09

Tabela 5.10 – Valores de taxas de acreção e erosão das ilhas no Amazonas entre 2000-2007.

<b>TABELA COM VALORES ACREÇÃO E EROSÃO: 2000-2007</b>		
<b>EVENTO</b>	<b>ÁREA/km<sup>2</sup></b>	<b>PERÍMETRO/km (PARA ÁREA)</b>
ACREÇÃO ILHAS	8,54	113,34
EROSÃO ILHAS	17,58	17,58

No intervalo de tempo estudado neste trabalho foi possível observar que entre os anos de 1975 e 1981 houve acreção das duas feições propostas para o estudo, da região da barra do rio Tapajós acresceu 46,60 km<sup>2</sup>, enquanto as ilhas tiveram um crescimento de 6,36 km<sup>2</sup> e, como referendado anteriormente, esse crescimento pode estar associado ao período de aquisição da imagem de 1975, outubro desse ano; entre 1981 e 1986, houve erosão tanto na região da barra 5,51 km<sup>2</sup> quanto na região das ilhas 6,36 km<sup>2</sup>; em 1986 e 2001, a barra do Tapajós teve 15,47 km<sup>2</sup> de erosão, as ilhas nesse mesmo período cresceram 3,01 km<sup>2</sup> e nos anos de 2001 a 2007, a erosão da barra foi de 8,18 km<sup>2</sup> e as ilhas cresceram 0,04 km<sup>2</sup>.

Infelizmente devido alguns problemas técnicos citados nos capítulos anteriores os dados não são extremamente conclusivos, podendo induzir a erros de interpretações.

Respeitando a problemática apresentada, pode-se afirmar com base nesses dados, que a Barra do Tapajós no intervalo de tempo analisado apresentou **erosão significativa**, podendo ser que, por outro lado, as ilhas fluviais no rio Amazonas apresentaram processo de crescimento (acreção). A Tabela 5.11 resume estes dados.

Tabela 5.11 - Tabela com a diferença entre acreção e erosão da barra do Tapajós e ilhas dos Amazonas em Santarém.

<b>TABELA COM DADOS DE EROSÃO DE 1975-2007</b>				
<b>ANOS/PERÍODO</b>	<b>ACREÇÃO BARRA</b>	<b>EROSÃO BARRA</b>	<b>EROSÃO ILHAS</b>	<b>ACREÇÃO ILHAS</b>
<b>1975-1981</b>	46,60			6,36
<b>1981-1986</b>		5,51	4,76	
<b>1986-2001</b>		15,47		3,01
<b>2001-2007</b>		8,18		0,04

A seguir são apresentadas Figuras 5.7 a 5.12, correspondentes a cada intervalo considerado para os dois elementos (ilhas e barra) que subsidiaram os cálculos apresentados com os vetores de acreção e erosão entre os anos de 1975 a 2007.

**ACRESCÃO BARRA: 1975-1981 (A)**



**EROSÃO BARRA: 1975-1981 (B)**



**ACRESCÃO ILHAS: 1975-1981 (C)**



**EROSÃO ILHAS: 1975-1981 (D)**



**EROSÃO E ACRESCÃO ILHAS E BARRA: 1975-1981 (E)**

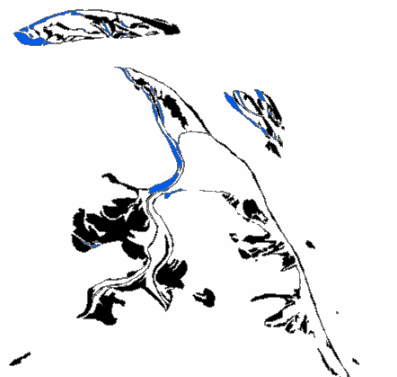


Figura 5.7 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1975-1981.



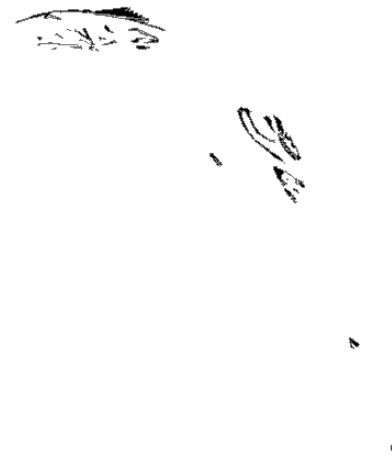
**ACRESCÃO BARRA: 1981-1986 (A)**



**EROSÃO BARRA: 1981-1986 (B)**



**ACRESCÃO ILHAS: 1981-1986 (C)**



**EROSÃO ILHAS: 1981-1986 (D)**



**EROSÃO E ACRESCÃO ILHAS E BARRA: 1981-1986 (E)**

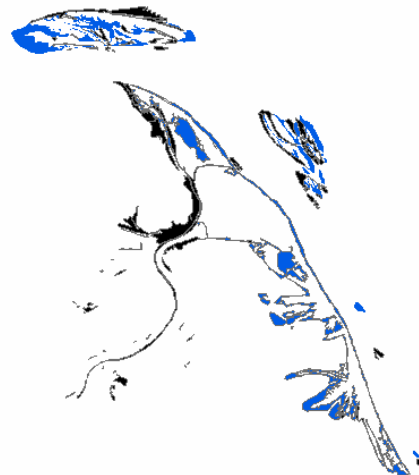


Figura 5.8 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1981-1986.

**ACRESÇÃO ILHAS: 1986-2000 (C)**



**EROSÃO ILHAS: 1986-2000 (D)**



**ACRESÇÃO E EROSÃO ILHAS: 1986-2000 (E)**

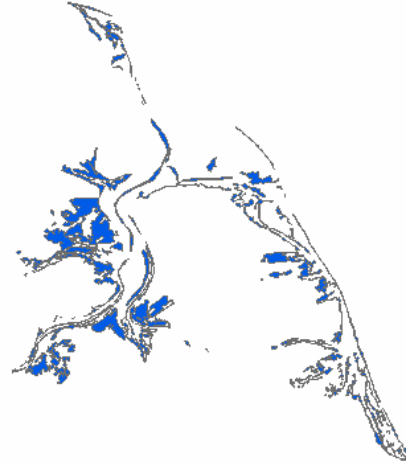


Figura 5.9 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1986-2000.

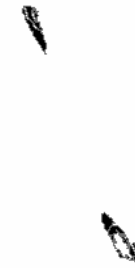
**ACRESCÃO BARRA: 1986-2001 (A)**



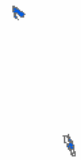
**EROSÃO BARRA: 1986-2001 (B)**



**ACRESCÃO ILHAS: 1986-2001 (C)**



**EROSÃO ILHAS: 1986-2001 (D)**



**EROSÃO E ACRESCÃO ILHAS E BARRA: 1986-2001 (E)**

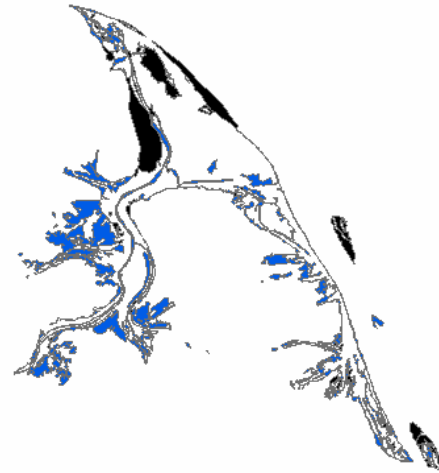


Figura 5.10 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 1986-2001.

**ACRESCÃO ILHAS: 2000-2007**



**EROSÃO ILHAS: 2000-2007**



**ACRESCÃO E EROSÃO ILHAS: 2000-2007**



Figura 5.11 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 2000-2007.

**ACRESCÃO BARRA: 2001-2007 (A)**



**EROSÃO BARRA: 2001-2007 (B)**



**ACRESCÃO ILHAS: 2001-2007 (C)**



**EROSÃO ILHAS: 2001-2007 (D)**



**EROSÃO E ACRESCÃO ILHAS E BARRA: 2001-2007 (E)**

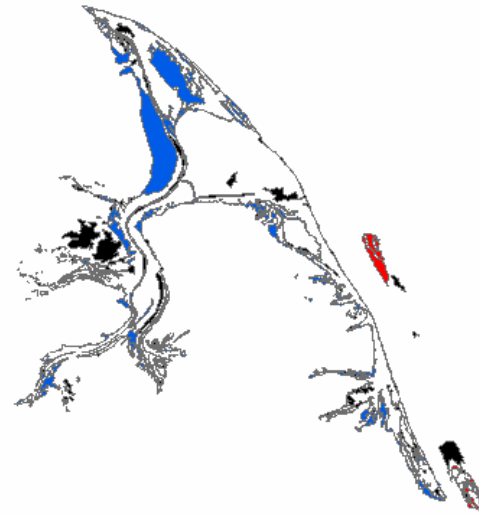


Figura 5.12 - Vetores de acreção e erosão, entre os anos de 2001-2007

#### 5.4 – A Imagem 2000: Um caso especial

A presença considerável de cobertura de nuvens à montante de Santarém durante a obtenção da cena do ano de 2001 (disponibilizado pela Universidade de Maryland), fez com que a imagem a quantificação das ilhas fluviais no rio Amazonas se tornasse mais viável na cena do ano 2000 (disponibilizada pelo INPE), como podemos observar a seguir.

Ao extrair a diferença entre uma cena e sua subsequente foi observado que em alguns casos houve acresção, em outro houve erosão. Isso pode ser devido à variação do nível das águas do rio em relação à data da aquisição da imagem, pois o período de cheia e vazante do rio é sazonal, onde as terras emersas passam cerca de seis meses encobertas e outros seis expostas.

Para aumentar a quantidade de informações e melhorar a qualidade dos dados obtidos nas ilhas fluviais no rio Amazonas foram também extraídos os valores entre todos os vetores das cenas pesquisadas e também da imagem do ano de 2000, pois a cena deste ano oferece melhores condições de extração dos valores do perímetro e área das ilhas em função da ausência de nuvens no momento da aquisição.

No intervalo de 1986 a 2000, as ilhas tiveram taxa de acresção de 16,79 km<sup>2</sup> e erosão de 13,06 km<sup>2</sup>, havendo, portanto, **crescimento conjunto de 3,73 km<sup>2</sup>** (Tabela 5.12); entre 2000 e 2007 a **acresção foi de 8,54 km<sup>2</sup>** e a **erosão de 17,58 km<sup>2</sup>**, resultando em diminuição de **9,04 km<sup>2</sup>** (Tabela 5.13). Esses resultados foram obtidos em separado os dados de acresção e erosão das ilhas que estavam na cena e não puderam ser quantificadas devido a intensa presença de nuvens na porção norte na cena de 2001 (Figura 5.13) e na porção sul da cena 2000 (Figura 5.14). Na Figura 5.15 é apresentado os vetores de acresção e erosão dessas ilhas fluviais.

Tabela 5.12 - Acresção e erosão: Ilhas, 1986-2000.

**TABELA DE RESULTADOS QUANTITATIVOS  
(ACRESCÇÃO E EROSÃO: ILHAS) (1986/2000)**

**TABELA COM VALORES ACRESCÇÃO E EROSÃO: 1986-2000**

EVENTO	ÁREA/km <sup>2</sup>	PERÍMETRO/km	DIFERENÇA/km <sup>2</sup> (Para área)
ACRESCÇÃO ILHAS	16,79	146,83	
EROSÃO ILHAS	13,06	154,09	3,73

Tabela 5.13 - Acresção e erosão: Ilhas, 2000-2007.

**TABELA DE RESULTADOS QUANTITATIVOS  
(ACRESCÇÃO E EROSÃO: ILHAS) (2000/2007)**

**TABELA COM VALORES ACRESCÇÃO E EROSÃO: 2000-2007**

EVENTO	ÁREA/km <sup>2</sup>	PERÍMETRO/km	DIFERENÇA/km <sup>2</sup> (Para área)
ACRESCÇÃO ILHAS	8,54	113,34	
EROSÃO ILHAS	17,58	17,58	9,04

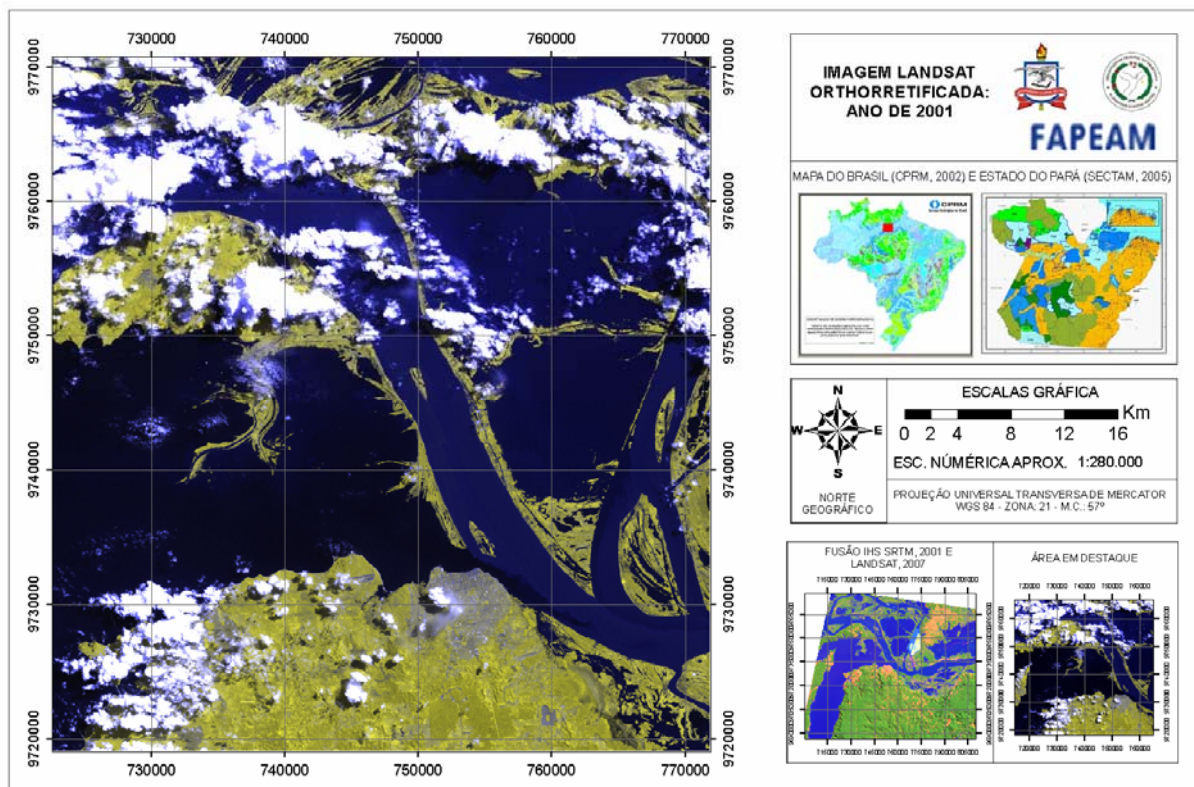


Figura 5.13 - Imagem LANDSAT, ano de aquisição, 2001, com intensa cobertura na porção norte da área.

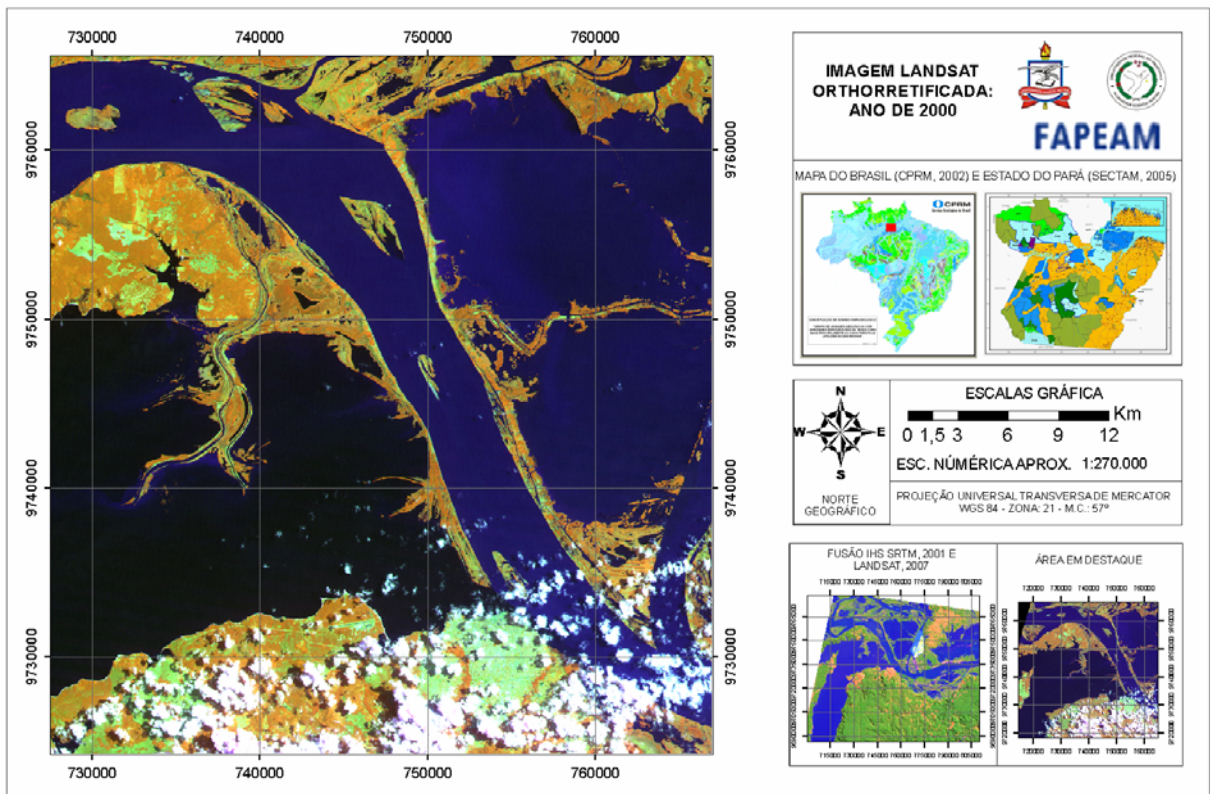


Figura 5.14 - Imagem LANDSAT, ano de aquisição, 2000, com intensa cobertura de nuvens porção sul.

**EROSÃO ILHAS: 1986-2000 (D)**

**ACRESCÃO E EROSÃO ILHAS: 2000-2007**



Figura 5.15 - Vetores de acreção e erosão das ilhas fluviais no Amazonas, 1986, 2000 e 2007.



# **USO INTEGRADO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTUDO DA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DA FOZ RIO TAPAJÓS, SANTARÉM-PARÁ**

## **CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Analisando os resultados e as discussões apresentadas neste trabalho é possível chegar a conclusão geral de que foi ampliado o conhecimento geológico local, a partir do uso integrado de imagens de satélite, dados SRTM, e levantamentos sistemáticos de campo.

As principais conclusões, entretanto, podem ser agrupadas em três grandes conjuntos: o primeiro deles relacionado à qualidade dos dados, limitações de uso e eficácia da abordagem metodológica; o segundo bloco está vinculado aos resultados obtidos em relação ao conhecimento geomorfológico e geológico local; o terceiro apresenta algumas sugestões e recomendações.

### **Aspectos relacionados à qualidade dos dados, limitações de uso e eficácia da abordagem metodológica.**

- A proposta de metodologia de integração de dados de sensoriamento remoto para o estudo da geologia e geomorfologia, o processamento digital de imagens associado a tecnologia de geoprocessamento trouxeram novas visões sobre a geologia e dinâmica fluvial da bacia do Amazonas na região de Santarém;
- Cada um dos conjuntos de imagens utilizadas, apesar de apresentarem vantagens e limitações à interpretação geológica e geomorfológica, é considerado eficaz para este uso. No entanto, cabe ressaltar que aos resultados de processamento obtidos, somaram-se os dados provenientes dos levantamentos de campo;
- O comportamento espectral das unidades estudadas nas bandas do sensor LANDSAT em composições coloridas entre bandas apresenta *bom* desempenho para a

identificação de informações geológicas da área de estudo, porém é necessário lembrar que a utilização de imagens de sensores ópticos em regiões equatoriais apresenta limitações devido a presença de nuvens que em alguns casos pode comprometer a qualidade do trabalho;

- As imagens de radar do JERS-1 foram utilizadas apenas para fins de localização da área da pesquisa no contexto regional, enquanto que os dados SRTM foram usados no processo de integração digital (IHS) e mostram-se úteis na discriminação de feições geológicas e no auxílio à interpretação dos dados obtidos, através das características texturais de relevo;
- Os *shapes* G-04 SA-21 da folha Santarém, disponíveis na página oficial do IBGE também foram utilizados neste trabalho, porém devido à baixa qualidade geométrica dos vetores que apresentam inúmeras distorções, sua utilização foi apenas como auxílio na toponímia dos eventos geomorfológicos da pesquisa e caracterização dos grandes elementos;
- Vale ressaltar, conclusivamente, que as imagens utilizadas neste trabalho possuem caráter complementar, não substituindo os trabalhos desenvolvidos nas etapas de campo, informações que somadas, aumentam o grau de percepção de várias feições de interesse geológico e geomorfológico. Ressalte-se que a má qualidade dos dados disponíveis pode comprometer os produtos alcançados, e que, portanto, devem ser analisados com critério e cuidados adicionais;
- Para chegar ao resultado final desse trabalho foram executadas várias rotinas no *software* Arc Map 9.2, o que resultou em produtos com excelente nível de interpretação;

- As principais contribuições da abordagem metodológica executada estão relacionadas em estabelecer a quantificação das taxas erosão e acreção das ilhas fluviais no rio Amazonas e da barra do rio Tapajós, assim como as suas dinâmicas de comportamento ao longo do canal do rio.

### **Quanto aos resultados obtidos em relação ao conhecimento geomorfológico e geológico local**

- Quando os resultados geomorfológicos e geológicos obtidos nesta pesquisa são comparados ao conhecimento prévio desta região, verifica-se a grandeza da contribuição deste tipo de trabalho para a melhoria do conhecimento geológico da foz do Tapajós;
- As principais contribuições geológicas estão relacionadas à delimitação das diferentes unidades litológicas locais, as estruturas, ao detalhamento estratigráfico alcançado e os reflexos dos cálculos das taxas de acreção e erosão no entendimento da dinâmica fluvial da área de estudo;
- Os produtos gerados permitiram a identificação de três grandes domínios geomorfológicos locais, corroborando dados anteriores, porém acrescentando detalhes para escalas bem maiores, e que podem ser utilizados em outros estudos mais detalhados. Foram reconhecidos os domínios: Planície de Inundação Amazonas/Tapajós, o da Zona Dissecada do vale do rio Tapajós e dos Planaltos Pediplanizados.
- As principais contribuições geológicas estão relacionadas à delimitação das diferentes unidades litológicas locais, onde foram delimitadas três grandes unidades litogeológicas distintas: Formação Alter do Chão, Coberturas e Planície Aluvionar;

- O detalhamento de diferentes perfis estratigráficos acrescentou à estratigrafia local elementos para a continuidade deste tipo de estudos, que poderiam avançar na direção de estudos dos ambientes de sedimentação;
- Especificamente sobre análises multitemporal conclui-se que os resultados são significativos para o entendimento do domínio fluvial desta região estudada, por meio dos cálculos das taxas de acreção e erosão, fundamentais para o entendimento do domínio fluvial desta área e de sua importância mais regional.

#### **Algumas sugestões e recomendações.**

- O trabalho desenvolvido e a abordagem metodológica executada mostram o seu potencial também para a discriminação da cobertura vegetal e uso atual do solo. Na área de estudo os tipos de vegetação foram facilmente identificados, porém, como este produto não estava incluso nos objetivos desta pesquisa, eles não foram detalhados;
- Com a conclusão dessa pesquisa pode-se afirmar que as técnicas e metodologias empregadas e utilizadas neste trabalho mostraram-se bastante eficazes para demonstrar a potencial aplicabilidade em trabalhos de mapeamento geológico e geomorfológicos, visando à preparação de mapas preliminares, que servirão de base às fases subsequentes e na interpretação geológica de áreas já mapeadas anteriormente.
- Considerando que a área da pesquisa apresenta baixo índice de trabalhos científicos, recomenda-se a utilização de técnica de sensoriamento remoto e processamento de imagens para estudos na região, pois a importância desta metodologia para o planejamento dos trabalhos de campo torna-o economicamente mais viáveis e mais objetivos;

- A utilização dessa abordagem metodológica oferece importante contribuição ao processo de disseminação do uso de imagens de satélites (sensoriamento remoto e processamento e interpretação de imagens) nas geociências. O fator de maior importância aos bons resultados final deste trabalho passa pela disponibilidade de dados, de técnicas e de equipamentos, além do uso de máquinas e *softwares* dedicados ao processamento de imagens digitais.
- Ainda que não estivesse incluído nos objetivos específicos desta pesquisa, as informações sobre taxas de acreção e erosão calculada podem ser utilizadas para estudos voltados aos riscos de navegabilidade local e confrontados com cartas de navegabilidade;
- Desde que haja disponibilidade de imagens de radar de alta resolução, em séries históricas, este tipo de dado (que não sofre influência da cobertura de nuvens) poderia ampliar sobremaneira a qualidade dos produtos obtidos, somando novas informações e prováveis conclusões mais acuradas sobre as taxas de acreção e erosão, geomorfologia e geologia da área estuda.

Finalmente, numa análise crítica, pode-se afirmar que esta pesquisa atingiu todos os objetivos previstos e, na verdade foi além apresentando grande contribuição não só para o conhecimento geológico local, mas também sugerindo novos trabalhos potenciais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. F. M. de; Hassui, Y; Brito Neves, B.B. DE & Fuck, 1977. Províncias estruturais brasileiras. *In*: SIMP. GEOL. NODESTE, 8º, Campina Grande, 1977. Atas...: Campina Grande, p. 303-391.

Agência Nacional das Águas e Conselho Nacional de Recursos Hídricos - ANA, 2008 - <http://www.ana.gov.br>.

Associação Brasileira de Grandes Empresas Geradoras de Energia – ABRAGE e Companhia Energética de São Paulo – CESP, 2008 - [www.abrage.com.br](http://www.abrage.com.br), 2008.

Barbosa-Filho, C. M., Teixeira, L. B, Travassos, W. A. S., 1989. Tectonismo terciário na área do Tapajós. PETROBRAS – Dist. Expl. do Norte, Belém Conj. Brasileiro de Geofísica, 1989, RJ, 1º. SBG, v.3, P.52-60.

Bemerguy, R. L., Costa, J. B. S, Hausi, Y, Borges, M. S., 2001. Exemplos de indicadores neotectônicos nos rios da Amazônia. UFPA/CG/Departamento de Geologia. 7º. Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, SBGEO, 2001, 8-15-16.

Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL, 1976. Folha SA. 21-SANTARÉM, Vol. 10 - Rio de Janeiro, 1976.

Brasil. Ministério dos Transportes: Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes 2ª. Unidade de Infra-estrutura Terrestre-Pará/Amapá – Relatório de Impacto Ambiental Pavimentação BR 163-BR230, Vol. VIII/RIMA, Out./2002.

Caputo, M.V., Rodrigues R., Vasconcelos D. N. N., 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas. *In*. SBG, Congr. Brasileiro de Geologia, 26, Anais, 3:36-46.

Carvalho, A. S., Millioti, C. A., Palha, W.S.M., 2007. Caracterização Física da área de Influência da BR-319 no Estado do Amazonas (Manaus-Porto Velho no Trecho entre o km 250 ao km 655,7): Síntese da GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA e SOLOS (?) – Manaus-Am, UFAM, 2007.

Carvalho, A. S. & Meneses, P.R., 1995 – As principais características do Sistema de Imageamento Orbital por Radar do Satélite JERS-1. Artigo submetido À REM.

Cordani, U.G & Brito Neves, B.B., 1982. The geologic evolution of South America during the Archean and early Proterozoic. *In*: INTERN. SYMP. ARCHEAN AND EARLY PROTEROZOIC GEOL. EVOLUTION AND METALLOGENESIS. *Ver. Bras. Geoc.*, São Paulo, 12 (1/3): 78-88.

Cunha, P. R.C., Coutinho, L. F. D. E., Feijo F. J., 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências PETROBRAS*, 8: 47-55.

D'Antona, Á. O., Van Wey, L. K. 2004. Estratégia de amostragem em pesquisas de uso e cobertura da terra. Trabalho apresentado no XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambu- MG – Brasil, de 20- 24 de Setembro de 2004.

Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET) Normais climatológicas (1961-1990). Brasília: DNMET, 1992.

DNAEE – CGRH- ORSTOM – PEGI, 1995. Grands bassins fluviaux - Segunda campanha de medições de vazão (com uso de ADCP) e amostragem de água e sedimentos dos rios Negros e Amazonas. HiBam – Hidrologia da Bacia Amazônica – Cumaru – Manaus – Santarém - Março de 1995. Publicação HiBAm, Brasília, Agosto de 1995.

Espírito-Santo, F. D. B, 2003. Caracterização e mapeamento da vegetação da região da floresta nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e inventários florestais. Dissertação de Mestrado do curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2003.

França, C. F. & Souza-Filho, P. W. M., 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (Pa) em imagem LANDSAT. – Revista Brasileira de Geociências 33 (2 – Suplemento): 127-136, junho de 2003.

Franzinelli, E. Ori, G. G., 1988. Mecanismo de preenchimento dos paleovales quaternários na Amazônia. Anais do VII Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém, Pará, V.1.

Gondim, Carlos José Esteves, O porquê das cores dos rios da Amazônia, FCAP, (ANO, ?).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2007 - [http:// www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) - IBGE, 2007.

Instituto Brasileiro dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Estudo Matriz para o Projeto “Manejo Sustentável dos Recursos Naturais da Várzea” – PROVARZEA, 2000 – Consultor Bruce R. Forsberg - Programa Piloto de Proteção das Florestas Tropicais do Brasil- PPG7.

Inventário Florestal Preliminar do Potencial Madeireiro do Município de Santarém - PRIMAZ/CPRM, 1996. Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia: Situação do Espaço Municipal de Santarém.

Iriondo, M. H., 1982. Geomorfologia da planície amazônica. Ata do IV Simpósio do Quaternário no Brasil: 323-348, 1982.

Ministério da Minas e Energia: Departamento Nacional de Produção Mineral – PROJETO RADAMBRASIL: PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO NACIONAL – Levantamento de Recursos Naturais, Vol. 10 – Rio de Janeiro, 1976.

Ministério dos Transportes: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes 2ª. Unidade de Infra-Estrutura Terrestre – Pará/Amapá - DNIT – “Relatório de Impacto Ambiental da Pavimentação da BR 163 - BR-230”, Vol. VIII/RIMA, Out/2002.

Müller, A. J.; Carvalho, A. S. Uso de Produto CERBS para zoneamento geoambiental de Presidente Figueiredo no Amazonas. Programa de Pós-graduação em Geociências – DEGEO / Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

Oliveira, C. J. S., 2001. Extração Automática dos Parâmetros Quantitativos de uma Rede de Drenagem Superficial. Universidade Federal de Minas Gerais, ICEX/DCC, NPDI – Núcleo de Processamentos Digital de Imagem, S/D – Belo Horizonte, MG, Brasil. - <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001/poster/120.pdf>.

Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia PRIMAZ/CPRM: Caracterização Preliminar das Potencialidades Hidrogeológicas da Vila Mojuí dos Campos, com Projeto de Poço Tubular, 1999.

Programa Municipal de Agropecuária; Inventário Florestal Preliminar do Potencial Madeireiro do Município de Santarém, 1986 - Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia PRIMAZ/CPRM: Situação do Espaço Municipal de Santarém, 1996.

Rozo, J.M.G.; Nogueira, A.C.R.; Horbe, A.M.C.; Carvalho, A.S., 2004. Depósitos neógenos da bacia do Amazonas – Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus-Am.

Rozo, J. M. G., 2004. Evolução deposicional do canal fluvial do rio Amazonas, no setor entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira Manaus. Plano de dissertação de mestrado da Universidade Federal do Amazonas – Pós-graduação em Geociências. Manaus, 2004.

Souza-Filho, P. W. M.; Gonçalves, F. D.; Beisl, C. H.; Miranda, F. P.; Almeida, E. F.; Cunha, E. R., 2005. Sistema de observação costeira e o papel dos sensores remotos no monitoramento da costa norte brasileira, Amazônia. RBC – Revista Brasileira de Cartografia, No. 57/02, 2005.

Sternberg, Hilgard O'Reilly, 1957. A propósito de meandro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Conselho Nacional de Geografia, 1957.

Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: American Geophysical University, v. 38, p 913 – 920, 1957.

Tancredi, A. C. F. N. S., 1996. Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: Fundamentos para o uso e proteção – Tese de Doutorado: Programa de pós-graduação em Geologia e Geoquímica – UFPA, Belém-Pa, 1996.

Travassos, W. A. S, Barbosa-Filho, C. M. B., 1990. Tectonismo terciário na área do rio Tapajós, bacia do Amazonas. Geociência PETROBRAS, Rio de Janeiro, 4 (3): 299-314, jul/set. 1990.

Wanderley-Filho, J. R., 1996. A influência dos Lineamentos Proterozóicos na Estruturação da Bacia do Amazonas. In: SBG/NO, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, Belém, Resumos Expandidos, p. 310-312.



Wanderley-Filho, J. R., 1991. Evolução Estrutural da Bacia do Amazonas e sua Relação com o Embasamento. Centro de Geociências/UFPA, p. (Dissertação de Mestrado).

Wanderley-Filho, J. R., Rici, J. A., Jucá, G. A. C., 1988. Halocinese na região do rio Tapajós bacia do Amazonas. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará, 1988, V5.

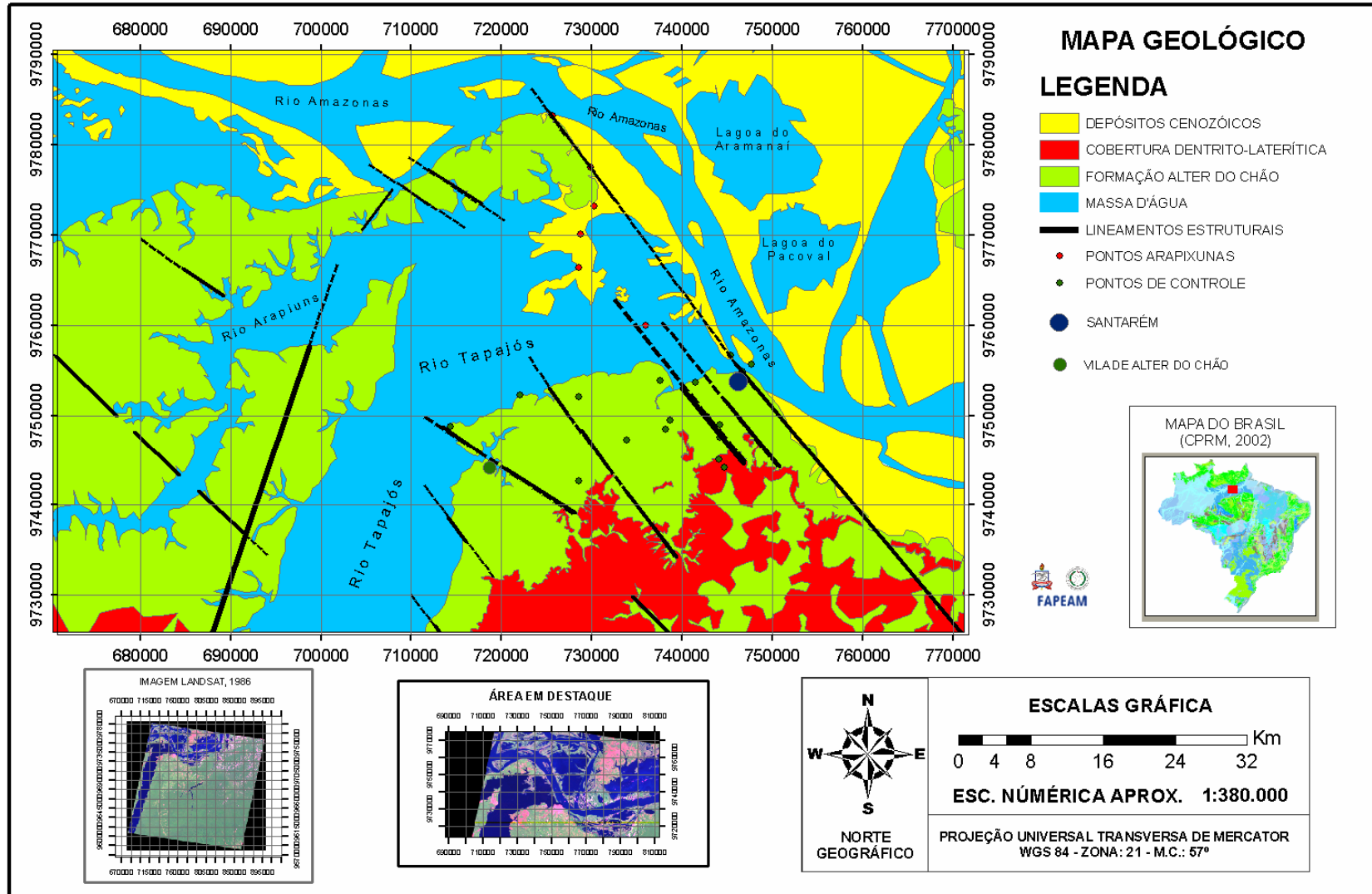
Zoneamento Ecológico-Econômico da BR-163 - ZEE BR-163 -  
<http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>.

### **Sites Consultados:**

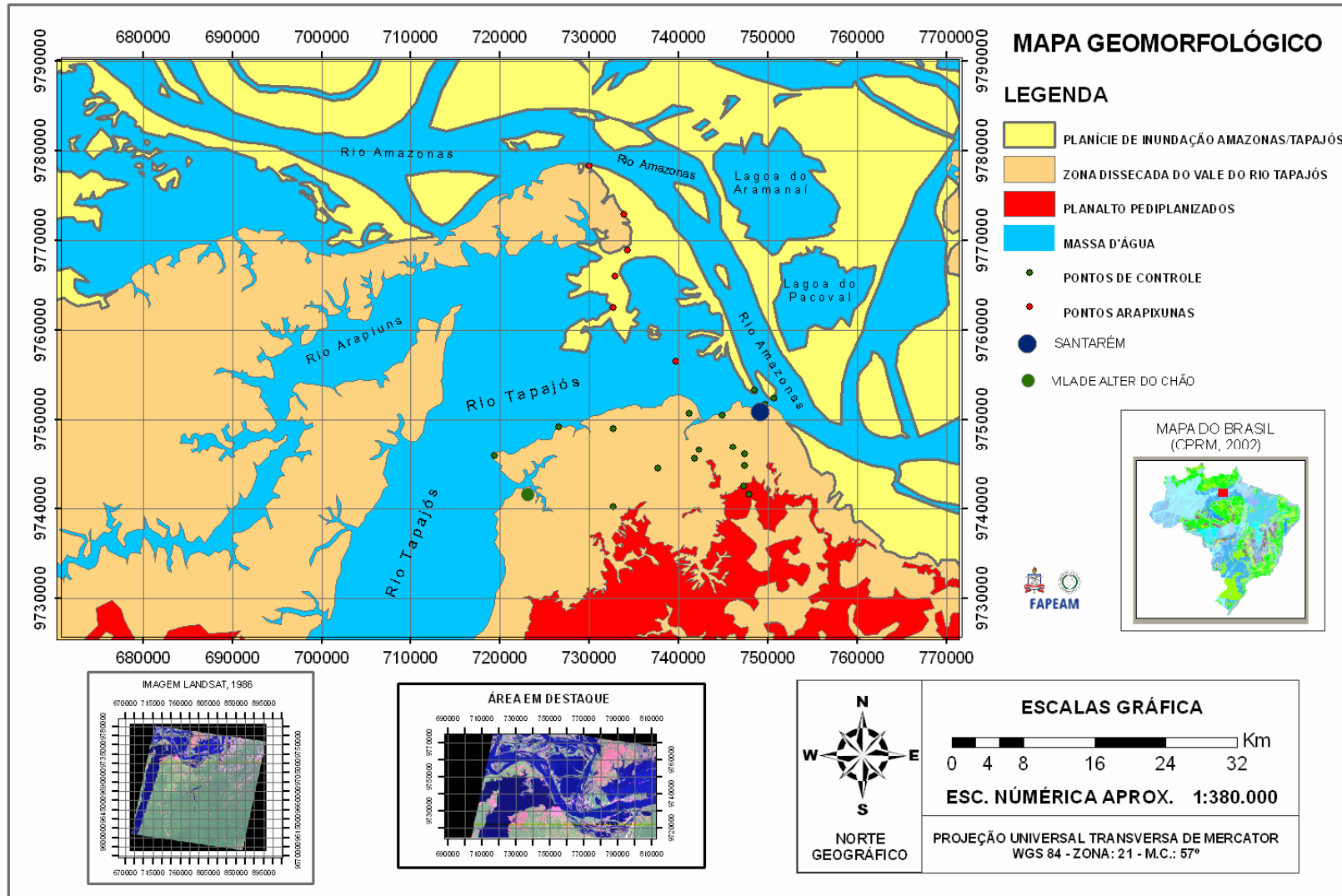
<http://www.abrage.com.br>.  
<http://www.ana.gov.br>  
<http://br.geocities.com>  
<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>  
<http://geobank.sa.cprm.gov.br>  
<http://www.ibge.gov.br>  
<http://mapoteca.cprm.gov.br>  
<http://marte.dpi.inpe.br>  
<http://www.sectam.pa.gov.br>  
<http://www.transportes.gov.br>  
<http://www.cpatu.embrapa.br>  
<ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas>  
<http://www.santarem.pa.gov.br/>  
<http://www.cnpm.embrapa.br>  
<http://www.inpe.br>  
<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>  
<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>  
<http://glcf.umiacs.umd.edu>  
<http://www.xtoolspro.com/download.html>,

# ANEXOS

# ANEXO I



## ANEXO II



## ANEXO III

### GLOSSÁRIO DE TERMOS, ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS UTILIZADAS NO TEXTO E/OU EM SENSORIAMENTO REMOTO.

**ANTENA** - Parte do sistema de radar que transmite e/ou recebe a energia eletromagnética refletida pela superfície imageada.

**ÂNGULO DE INCIDÊNCIA** - É o ângulo definido entre o feixe do radar e a superfície do terreno imageado. O ângulo de incidência local é tomado em relação à declividade local do terreno e influencia na intensidade do sinal que retorna ao radar.

**AZIMUTE (RADAR)** - É a posição angular de um objeto dentro do campo de visada da antena do sistema de imageamento por radar em relação à linha de vôo. O termo é comumente utilizado para indicar a distância linear ou escala de imageamento na direção paralela ao traço de vôo da plataforma.

**DIGITAL** - Dado representado por uma série de dígitos binários.

**GEORREFENCIAMENTO** - Localização geográfica relativa de uma cena pela incorporação na imagem de informações de longitude e latitude.

**INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Brasil.

**IMAGEM** - Representação pictorial de dados adquiridos em qualquer comprimento de onda do espectro eletromagnético. Para os sistemas de radar, os tons de cinza das imagens representam a refletividade dos objetos imageados.

**MHz** - Megahertz, mil hertz.

**MOSAICO** - Arranjo final de múltiplas cenas de imagens de satélite que são digitalmente coladas.

**NADIR** - Pontos na superfície terrestre diretamente abaixo (projeção vertical) da plataforma imageadora.

**NASA** - *National Aeronautics and Space Administration*, com sede em Washington, DC, USA. É a agência espacial americana.

**ONDA ELETROMAGNÉTICA** - É uma onda descrita pelas variações dos campos elétricos e magnéticos. Estas ondas movem-se através da atmosfera com a velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/segundo).

**PIXEL** - Termo derivado de *picture element*. Representação digital para indicar a posição espacial de uma amostra de um arquivo-imagem.

**RADAMBRASIL** - (Radar da Amazônia-Brasil), Projeto de aerolevanteamento por radar efetuado na região Amazônica durante a década de 70.

**RADAR** - Sensor eletromagnético derivado do termo Radar Detection And Ranging.

**SAR - Synthetic Aperture Radar.** Radar de abertura sintética.

**SISTEMA ATIVO** - Sistema de sensoriamento remoto que gera e transmite sua própria energia eletromagnética e, então, grava a energia refletida ou refratada pelos objetos.

**SISTEMA PASSIVO** - Sistema de sensoriamento remoto que detecta ou mede a radiação emitida pelos alvos.

**UTM** - Sistema internacional de projeção cartográfica. Universal Transversa de Mercator.

