

UERJ

Dissertação de Mestrado em Geomática

**MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA DA AMAZÔNIA POR MEIO DE
IMAGENS ORBITAIS COM BASE EM ESTUDO PRELIMINAR DO
COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DO COMPLEXO FLUVIAL
SOLIMÕES/AMAZONAS**

Autora: Sálua Saldanha Marini

Orientador: DSc. Luiz Henrique Aguiar de Azevedo

Co-orientador: MSc. Luiz Carlos Ferreira da Silva

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Computação

Área de Concentração Geomática

Setembro/2002

Faculdade de Engenharia

**MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA DA AMAZÔNIA POR MEIO DE
IMAGENS ORBITAIS COM BASE EM ESTUDO PRELIMINAR DO
COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DO COMPLEXO FLUVIAL
SOLIMÕES/AMAZONAS**

Autora: Sálua Saldanha Marini

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Computação - Área de Concentração Geomática.

Orientador: D.Sc. Luiz Henrique Aguiar de Azevedo

Co-orientador: M.Sc. Luiz Carlos Ferreira da Silva

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Computação
Área de Concentração Geomática

Rio de Janeiro

FOLHA DE JULGAMENTO

MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA DA AMAZÔNIA POR MEIO DE IMAGENS
ORBITAIS COM BASE EM ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO
HIDROLÓGICO DO COMPLEXO FLUVIAL SOLIMÕES/AMAZONAS

Sálua Saldanha Marini

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação
Área de Concentração Geomática

Setembro de 2002.

Aprovada por:

Orientador: Luiz Henrique Aguiar de Azevedo, D.Sc., UERJ.

Carla Bernadete Madureira Cruz, D.Sc., UFRJ.

Liane Maria Azevedo Dornelles, D.Sc., UERJ.

As águas são como caminhos por onde passam.
Galeno, século II d.C.

Para minhas filhas, Sãmia e Inah, que eu amo tanto.

Agradecimentos

Ao longo dos meses de dedicação a este trabalho, várias pessoas contribuíram no seu desenvolvimento. Todos, independente do tipo de colaboração que deram, foram importantes, sem cuja ajuda, orientação e incentivo eu jamais teria conseguido chegar até o fim. Sendo assim, para evitar injustiças ou esquecimentos, resolvi citá-los na ordem em que foram contribuindo, desde os primeiros esforços para conseguir meu afastamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), até a etapa de organização, impressão e apresentação desta Dissertação.

Agradeço a José Duarte Correia e Leonardo Gomes Barbosa, meus chefes no Setor de Mapeamento por Sensoriamento Remoto do Departamento de Cartografia do IBGE, responsáveis por minha liberação para realização desse curso de Mestrado, pelo apoio incondicional e orientação técnica ao longo de todo o andamento deste trabalho.

Agradeço, também, à Chefe do Departamento de Cartografia do IBGE, Sra. Isabel de Fátima Teixeira Silva, ao Diretor de Geociências do IBGE, Sr. Guido Gelli e ao seu substituto à época de minha liberação, Sr. Ângelo Pavan, pelo consentimento no afastamento durante o período necessário à realização desse trabalho.

À Enir Telma Correa Fonseca, do Apoio Administrativo, por ter sido incansável nas várias ocasiões em que precisei de sua ajuda para resolver os trâmites burocráticos a respeito de meu afastamento.

Aos meus orientadores, Luiz Henrique Aguiar de Azevedo, do corpo docente do Curso de Mestrado em Geomática da UERJ, e Luiz Carlos Ferreira da Silva, Coordenador do Curso de Oceanografia também dessa Universidade, que, desde o início do curso, em 2001, aceitaram o desafio de desenvolver comigo esse projeto.

À professora Antônia Maria Martins Ferreira, do Departamento de Geologia da UERJ, pela orientação quanto às fontes bibliográficas e material do Projeto RADAM.

Ao Comte. Penido, Comte. Félix (chefe da Divisão de Cartografia da Diretoria de Hidrografia e Navegação-DHN) e, especialmente, à amiga oceanógrafa e Primeiro-Tenente Maria Fernanda Rezende, todos da Marinha do Brasil e grandes colaboradores no levantamento hidrológico aqui apresentado.

À Sra. Andrelina Sousa, secretária da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tão prontamente cedeu-me os dados fluviométricos de que precisava.

A Paulo Tresena, Alberto Delou e Anna Lúcia Barreto, todos do IBGE, pelo Mapa da Série Brasil-Geográfico, pelos arquivos matriciais e vetoriais e pelo material da ANEEL, respectivamente.

Aos meus amigos do Setor de Mapeamento por Sensoriamento Remoto do IBGE, Roseli Lima Rodrigues (Rose), Vany Conceição Gonçalves Theóphilo, Carlos José dos Santos, Lúcio da Costa Figueiredo, Dalvan Francisco de Souza, Sheila de Azevedo Andriotti, José Carlos Correia, Eduardo Porto Abrahão e Vera Lúcia Cunha das Chagas, pelo apoio moral constante e auxílio em várias etapas desse trabalho.

A Fabiano Luiz Baptista Alves, do Projeto SIVAM, e a Maurício Krumbiegel, do IBGE, pela colaboração quanto à aquisição dos pontos de controle obtidos com GPS.

À Luciana Mara Temponi de Oliveira e a Paulo Sérgio Alves, do Departamento de Recursos Naturais do IBGE, pelas informações sobre o acervo de imagens LANDSAT digitais e material bibliográfico.

Ao Dr. Antônio Miguel V. Monteiro, chefe da Divisão de Processamento de Imagens do INPE, pela orientação sobre as imagens LANDSAT.

Ao colega oceanógrafo Milton Kampel, da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE, que tão atenciosamente me atendeu e forneceu as imagens LANDSAT 5 para esse trabalho.

À Maria Menina Lima de Melo (Nina), do IBGE, que muito me ajudou no contato com os pesquisadores do INPE.

Ao Rogério, da Mapoteca do IBGE, que me auxiliou no levantamento do material cartográfico analógico existente da área de estudo.

À Maria Elisabeth (Beth), da Geomática da UERJ, pelas dicas e paciência com todos nós.

Novamente, a José Duarte Correia, pela revisão final do texto.

Ao meu amigo e mestre em Sensoriamento Remoto, Marco Antônio de Oliveira – tão importante na minha vida profissional – pelo incentivo, pelas explicações e pela confiança sempre em mim depositada.

À minha querida, Naná, tão vital em todas as fases de minha vida, inclusive nesta.

Ao meu grande amigo, incentivador e marido, Alexandre Marini, por todo carinho, apoio, livros e fitas sobre a Amazônia, palpites e acompanhamento de todas as etapas deste trabalho.

Às minhas filhas Sâmia e Ilnah, que, apesar da pouca idade, foram muito compreensivas nas horas de ausência, companheiras, algumas vezes, nas noites em claro por mim passadas e, ainda conseguiram sobreviver em meio à montanha de papéis, gráficos, livros, e muitos documentários sobre a Amazônia.

A todos vocês, *muito obrigada*.

Resumo da Dissertação apresentada à FEN/UERJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Computação Área de Concentração Geomática

MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA DA AMAZÔNIA POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS COM BASE EM ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DO COMPLEXO FLUVIAL SOLIMÕES/AMAZONAS

Autora: Sálua Saldanha Marini

Setembro/2002

Orientador: D.Sc. Luiz Henrique Aguiar de Azevedo

Co-orientador: M.Sc. Luiz Carlos Ferreira da Silva

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação
Área de Concentração Geomática

A Bacia Amazônica, situada em uma extensa área de floresta pluvial, sofre as conseqüências das oscilações fluviais que determinam as duas estações do ano na região: a *época das cheias* e a *época das vazantes*.

Em função desse ritmo incessante de avanço e recuo das águas, aliado a uma topografia predominantemente plana, qualquer tentativa de mapeamento da Amazônia deve considerar a hidrografia como a principal via de circulação regional e, em função disso, cartografar seus elementos permanentes (como as hidrovias permanentes) e temporários (como as áreas de inundação) – tão importantes no processo de ocupação humana de uma área que, ainda hoje, apresenta locais cujo acesso só é possível através dos cursos fluviais.

Baseado em um estudo hidrológico e com o apoio de imagens de satélite das épocas de máximas cheia e vazante de um trecho da Bacia, este trabalho reúne as etapas inerentes ao processo de mapeamento dessa região, considerando sempre as alterações hidrográficas resultantes dessa sazonalidade fluvial, cuja representação fiel à realidade confere ao documento cartográfico gerado um potencial de utilização para os habitantes regionais, além de fornecer subsídios ao planejamento urbano da área.

Palavras-chave: oscilações fluviais, mapeamento, áreas de inundação, imagens de satélite.

Abstract of Dissertation presented to FEN/UERJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

**AMAZONIA HYDROGRAPHY MAPPING BY ORBITAL IMAGES BASED ON A
PREVIOUS HYDROLOGICAL BEHAVIOR RESEARCH OF THE FLUVIAL
COMPLEX SOLIMÕES/AMAZONAS**

Author: Sálua Saldanha Marini

September/2002

Advisors: D.Sc. Luiz Henrique Aguiar de Azevedo

M.Sc. Luiz Carlos Ferreira da Silva

Program of Pos-graduation in Computer Engineering Field of Geomatics

The Amazonian Basin, located in a vast rain forest area, is subjected to the fluvial oscillations that determine the two seasons in this region: *the one of flooding* and *the other of drought*.

Because of this incessant rhythm of *forwards* and *backwards* of water, allied to a prevailing plain topography, whatever experience of mapping Amazonia must consider the hydrography as the main regional circulation way and, then, draw its permanent elements (like permanent waterways) and temporary ones (like flooding terrains) – so important in the human occupation process of an area where accessibility to some places is still possible only by fluvial streams.

Based on a hydrographic study and using orbital scenes taken from the Amazonian Basin at the maximum flooding and drought periods, this research describes the necessary steps to map this region, always considering the geomorphological changes caused by these fluvial variations, so that the cartographic document created will offer some utility to regional inhabitants and to the urban planning projects of the area.

Keywords: fluvial oscillations, mapping, flooding terrains, orbital scenes.

SUMÁRIO

	<i>Pág.:</i>
<u>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2: A BACIA AMAZÔNICA</u>	3
2.1 – <u>DESCRIÇÃO</u>	3
2.1.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	3
2.1.2 – HISTÓRIA GEOLÓGICA.....	6
2.1.3 – ÁREA DE ESTUDO.....	8
<u>CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS</u>	9
3.1 – <u>ESTUDO HIDROLÓGICO DO COMPLEXO SOLIMÕES/AMAZONAS</u>	9
3.1.1 – LEVANTAMENTO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS.....	10
3.1.2 – SISTEMA DE MANIPULAÇÃO DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS.....	11
3.1.3 – TRATAMENTO DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS BRUTOS E VERIFICAÇÃO DOS DADOS CONSISTIDOS.....	11
3.1.4 – CORREÇÃO DOS DADOS INCONSISTENTES.....	14
3.1.5 – DADOS FLUVIOMÉTRICOS.....	15
3.1.5.1 – Rio Solimões.....	18
3.1.5.2 – Rio Japurá.....	22
3.1.5.3 – Rio Negro.....	25
3.1.5.4 – Rio Juruá.....	28
3.1.5.5 – Rio Amazonas.....	31
3.1.5.6 – Rio Jatapu.....	34
3.1.5.7 – Rio Madeira.....	37
3.1.5.8 – Rio Curuá.....	40
3.1.5.9 – Rio Xingu.....	43
3.1.5.10 – Rio Caxiuanã/Anapu.....	46
3.2 – <u>VARIAÇÃO TEMPORAL DAS MÁXIMAS CHEIAS E MÁXIMAS VAZANTES</u>	49
3.3 – <u>MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA</u>	51
3.3.1 – A REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DOS CURSOS FLUVIAIS...51	
3.3.2 – O SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA A CARTOGRAFIA.....	53

3.3.3 – PRINCIPAIS SENSORES ORBITAIS VOLTADOS PARA ESTUDOS TERRESTRES.....	54
3.3.4 – DEFINIÇÃO DA ÁREA-TESTE PARA MAPEAMENTO E SUA RESPECTIVA IMAGEM DE SATÉLITE.....	57
3.3.5 – DESCRIÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT 5 – TM.....	62
3.3.6 – PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	63
3.3.6.1 – Pré-Processamento	64
3.3.6.1.1 – <i>Calibração Radiométrica</i>	64
3.3.6.1.2 – <i>Correção Geométrica</i>	66
3.3.6.1.2.1 – <i>Avaliação da Qualidade Geométrica das Cenas Originais</i>	67
3.3.6.1.2.2 – <i>Georreferenciamento dos Documentos Cartográficos Disponíveis em Meio Digital</i>	68
3.3.6.1.2.3 – <i>Pontos de Controle GPS</i>	71
3.3.6.1.2.4 – <i>Georreferenciamento das Imagens</i>	72
3.3.7 – PROCEDIMENTOS ADOTADOS NO MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA.....	77
3.3.7.1 – Classificação Digital	79
3.3.7.2 – Análise Visual	81
3.4 – <u>ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO CARTOGRÁFICO</u>	84
3.4.1 – CONCEITOS E TIPOLOGIA DOS ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS PRESENTES NA ÁREA CORRESPONDENTE À FOLHA SANTARÉM.....	84
3.4.2 – CONFECÇÃO DO MAPA PLANIMÉTRICO.....	85
<u>CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	87
4.1 – <u>COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS USADOS NO MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA</u>	87
4.2 – <u>MAPA PLANIMÉTRICO</u>	88
5 – CONCLUSÕES	91
6 – APÊNDICES	94
7 – ANEXOS	104
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

ÍNDICE DAS FIGURAS

- Fig. 01: Área de Estudo. Modificado de Atlas Mundial Microsoft® ENCARTA®.
- Fig. 02: Localização das Estações Fluviométricas
- Fig. 03: Diagrama Unifilar com Localização das Estações Fluviométricas Utilizadas.
- Fig. 04: Série Mensal de Cotas do rio Solimões, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.
- Fig. 05: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente a cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Solimões, no período de 1990-2000.
- Fig. 06: Série Mensal de Cotas do rio Japurá, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 07: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente a cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Japurá, no período de 1990-2000.
- Fig. 08: Série Mensal de Cotas do rio Negro, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 09: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente a cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Negro, no período de 1990-2000.
- Fig. 10: Série Mensal de Cotas do rio Juruá, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 11: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente à estação fluviométrica localizada ao longo do rio Juruá, no período de 1990-2000.
- Fig. 12: Série Mensal de Cotas do rio Amazonas, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 13: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente a cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Amazonas, no período de 1990-2000.
- Fig. 14: Série Mensal de Cotas do rio Jatapu, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 15: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente à estação fluviométrica localizada ao longo do rio Jatapu, no período de 1990-2000.
- Fig. 16: Série Mensal de Cotas do rio Madeira, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 17: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente à estação fluviométrica localizada ao longo do rio Madeira, no período de 1990-2000.

- Fig. 18: Série Mensal de Cotas do rio Curuá, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 19: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente à estação fluviométrica localizada ao longo do rio Curuá, no período de 1990-2000.
- Fig. 20: Série Mensal de Cotas do rio Xingu, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 21: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente à estação fluviométrica localizada ao longo do rio Xingu, no período de 1990-2000.
- Fig. 22: Série Mensal de Cotas do rio Anapu, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL
- Fig. 23: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante referente à estação fluviométrica localizada ao longo do rio Anapu, no período de 1990-2000.
- Fig. 24: Variação temporal dos períodos de máximas cheias no entorno da área de estudo (período de 1990-2000).
- Fig. 25: Variação temporal dos períodos de máxima estiagem no entorno da área de estudo (período de 1990-2000).
- Fig. 26: Delimitação da área de estudo, adaptada a partir da Carta Planimétrica Santarém (RADAM), com destaque para a hidrografia.
- Fig. 27: Área de Recobrimento das Imagens LANDSAT 5/TM, 227/062 (24/05/97 e 15/10/97), cedidas pelo INPE.
- Fig. 28: Imagem LANDSAT 5/TM, banda 4, de 15-10-97 (seca), cedida pelo INPE.
- Fig. 29: Imagem LANDSAT 5/TM, banda 4, de 24-05-97 (cheia), cedida pelo INPE.
- Fig. 30: Histogramas originais, com valores de nível de cinza (à esquerda) e, com valores de reflectância aparente (à direita), após calibração radiométrica das imagens 227/062 (banda 4) de 24-05-97 e 15-10-97, realizada com o programa ENVI 32.
- Fig. 31: Grid Vetorial UTM 1:250.000 com subdivisões 1:100.000, utilizadas no georreferenciamento dos arquivos raster.
- Fig. 32: Pontos de Controle e Checkpoints usados na transformação de *Helmert* (seca).
- Fig. 33: Pontos de Controle e Checkpoints usados na transformação afim da imagem 227/062, de 15-10-97.
- Fig. 34: Pontos de Controle e Checkpoints usados na transformação afim da imagem 227/062, de 24-05-97.
- Fig. 35: Pontos de Controle (GPS + Folhas Topográficas) e Checkpoints usados na transformação afim da imagem 227/062, de 24-05-97.

- Fig. 36: Curvas Espectrais de alguns alvos referentes à banda 4 do LANDSAT 5/TM.
- Fig. 37: Localização das cinco amostras (A, B, C, D e E) para o ensaio de mapeamento.
- Fig. 38: Resultado de *Density Slice* de uma das amostras de mapeamento; *a*) cena do período de máxima cheia, onde toda a área efetivamente alagada foi destacada com a cor cinza claro; *b*) cena do período da máxima vazante, fatiada, onde a área realmente alagada recebeu, também, a cor cinza claro.
- Fig. 39: Áreas de inundação das cinco amostras, obtidas através de diferença entre os vetores (gerados por interpretação visual) correspondentes aos períodos de máximas cheia e vazante.
- Fig. 40: Comparação de resultados (amostra C). a) Área de Inundação (hachurada) obtida a partir da diferença entre as imagens resultantes de *Density Slice*, dos períodos de cheia e seca, respectivamente. b) Área de Inundação (hachurada) obtida a partir da diferença entre os vetores gerados a partir de interpretação visual das cenas dos mesmos períodos citados no item anterior.
- Fig. 41: Trecho da Folha SA.21-Z-B gerado a partir das cenas LANDSAT 5 disponíveis (Representação apenas dos elementos planimétricos).
- Fig. 42: Carta-Imagem na escala 1:250.000 referente a um trecho da carta SA.21-Z-B.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

No sistema intertropical úmido onde se localiza a Região Amazônica, um rio autóctone deveria ser homogêneo durante todo o ano, graças à pequena amplitude térmica e pluviosidade constante (PROJETO RADAM, 1975). Porém, o rio Amazonas recebe aportes de outros cursos fluviais como o Madeira e o Tapajós, que nascem e atravessam longos trechos de áreas submetidas a variações climáticas, morfológicas e pedogenéticas, contribuindo para a ocorrência de oscilações de volume d'água e, conseqüentemente, de inundações periódicas ao longo dessa planície aluvial. Acrescenta-se a esse fato a localização da nascente do rio Amazonas na região andina, definindo-o, portanto, como um rio alóctone. Assim, a Bacia Amazônica sofre as conseqüências dessa oscilação fluvial manifestada através de periódicas inundações que, em períodos mais críticos, podem alcançar 100 km terra adentro.

A maioria dos documentos cartográficos que representam a Região Amazônica existentes têm sua hidrografia registrada através de dados provenientes de levantamentos realizados em épocas do ano intermediárias aos períodos de extrema variação fluvial; nesses mapas, os leitos fluviais não refletem as dimensões mínimas verdadeiras atingidas pela hidrografia (somente possível quando cartografados em épocas de máxima vazante). Além disso, outros elementos de hidrografia essenciais à navegação regional (“furos”, “paranáis” etc.) – quando cartografados em uma data aleatória – embora representados como cursos fluviais permanentes nos mapas, não terão sua perenidade garantida em qualquer época do ano.

Ao conduzir-se um estudo sobre o comportamento hidrológico desse complexo fluvial ao longo dos últimos anos, pode-se determinar – a partir dos dados fluviométricos analisados – os meses mais propensos à ocorrência das máximas inundações e vazantes em cada trecho da Bacia, que corresponderão às datas das imagens orbitais a serem adquiridas com fins ao mapeamento regional.

Esse trabalho divide-se em duas etapas: a primeira, que trata do comportamento hidrológico do Complexo Fluvial Solimões/Amazonas ao longo da década de 90, objetivando determinar as datas de ocorrência das máximas oscilações fluviais ao longo da Bacia e, a segunda parte, onde um ensaio de mapeamento de uma área-teste, por meio de Sensoriamento Remoto, foi desenvolvido; com o uso de técnicas de processamento de imagens digitais e programas com ferramentas específicas de geoprocessamento pôde-se extrair das cenas da máxima vazante as informações necessárias para cartografar os leitos fluviais permanentes e

as áreas sempre alagadas e, a partir de imagens da máxima cheia, definiu-se a área máxima atingida pelas inundações.

CAPÍTULO 2: A BACIA AMAZÔNICA

2.1 - DESCRIÇÃO

2.1.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS

A floresta amazônica ocupa cerca de dois quintos da América do Sul e é dividida ao meio pelo maior rio do mundo¹, tanto em comprimento de curso d'água principal, volume d'água, vazão e tamanho de Bacia hidrográfica – o Amazonas – e seus aproximadamente 1100 afluentes (CARVALHO *et alli*, 1998).

O Amazonas nasce como um simples riacho a partir do derretimento da neve dos Andes peruanos, a cerca de 5000 m de altitude e a 200 km do Oceano Pacífico; percorre ravinhas e gargantas até mergulhar numa vasta Bacia, reunindo forças, incessantemente, até desaguar no Atlântico, 6885 km a leste (CARVALHO *et alli*, 1998), do outro lado do continente sul-americano.

Em sua foz, de 320 km de largura, o Amazonas despeja um quinto de toda água fluvial do planeta, que, ao penetrar no oceano, empurra a água salgada a uma distância de mais de 150 Km. Há trechos do rio Amazonas cuja largura pode alcançar até 11 km e a profundidade de seu leito permite a navegação de embarcações de grande porte provenientes do mar por 3700 Km continente adentro. Na Amazônia, quase não se viaja por estradas, mas pela água; os rios são as estradas da floresta, interligando-se e/ou conectando igarapés e lagoas, totalizando mais de 80.000 km de vias navegáveis.

Dezessete dos principais afluentes do Amazonas têm mais de 1600 km de comprimento. Tão complexa é essa rede fluvial que, desde o início da era das descobertas nas Américas, em fins do século XV, os europeus sempre se referiam ao rio Amazonas no plural – haveria não um, mas muitos Amazonas. Até hoje há controvérsias a respeito da mais adequada delimitação do que realmente seria o Amazonas. Desde a sua nascente, nos Andes peruanos, recebe nomes diferentes, como Apurimac e Ucaiali. Atualmente, sabe-se que o rio Amazonas nasce a partir da confluência dos rios Ucaiali e Marañon, e, somente após esse ponto recebe o nome de Amazonas; ao entrar em território brasileiro, o rio Amazonas passa a se chamar Solimões, que corre para leste até encontrar seu afluente mais longo – o rio Negro – passando a fluir lado a lado com este, sem se misturar, por uma distância aproximada de 100 km . Somente após a confluência desses dois rios de cores distintas – o Negro,

¹ Atualmente, o rio Amazonas é considerado o maior rio do mundo em volume d'água, vazão (75.000 a 350.000 m³/s, em Óbidos) e comprimento (superando o rio Nilo), admitindo-se que seus formadores são os rios Ucaiali e Marañon (e não apenas o Marañon, como se supunha anteriormente) – razão do erro na medida de sua extensão por muitos anos (CARVALHO *et alli*, 1998).

transparente, em função da elevada acidez e escassez de nutrientes, e, o Solimões, turvo, rico em nutrientes e pobre em plâncton devido à pequena taxa de penetração da luz solar – o rio passa a ser denominado novamente Amazonas.

Alguns exploradores ainda costumavam dividir o Amazonas em duas partes: o alto Amazonas, de sua nascente até Manaus e, o baixo Amazonas, de Manaus até sua foz.

Em função da manipulação e análise de dados fluviométricos localizados somente em território nacional, neste trabalho, essa imensa rede fluvial – quando considerada em toda a sua extensão dentro do território brasileiro – será tratada como *Complexo Solimões/Amazonas*, admitindo-se que o trecho desde a sua entrada no Brasil até a confluência com o rio Negro recebe a denominação de rio Solimões, e, a partir desse ponto até a foz, no Atlântico, de rio Amazonas.

O Complexo Solimões/Amazonas é apenas uma parte da imensa Amazônia, cuja Bacia plana e baixa, permanentemente encharcada e verdejante, não ultrapassa 250 m acima do nível do mar e cobre uma área de mais de 6 milhões de km²; essa imensa área limita-se, a oeste, com os Andes e, ao norte e ao sul, com os planaltos das Guianas e Brasileiro, respectivamente. Apesar da maior parte da Bacia hidrográfica apresentar uma topografia bastante plana, o rio Solimões percorre, no trecho próximo à sua nascente, uma área de relevo acidentado da cordilheira dos Andes.

Apesar da enorme quantidade de água despejada incessantemente na foz do Amazonas, a Bacia ainda consegue reter, em qualquer época do ano, dois terços de toda a água fluvial do mundo. A justificativa para esse fato reside no fundo da Bacia, que é quase plano, apresentando um declive médio de apenas 2 cm a cada km, o que faz com que a mesma adquira um aspecto de um exuberante lago no interior do continente (STERLING, 1983; CARVALHO *et alli*, 1998).

Sendo tão plano o assoalho da Bacia, grandes parcelas da hiléia amazônica permanecem alagados durante o período das cheias e, outras, ainda, o ano inteiro; as águas dos rios podem elevar-se de 3 a 12 m acima das margens, o que equivale a inundações de 40 km em direção à floresta, podendo, em casos de inundações maiores, chegar a 100 km terra adentro. Mesmo após o recuo das águas, grandes quantidades de água podem ficar represadas nas áreas mais baixas da floresta, originando as *várzeas* (áreas submetidas às variações de nível d'água fluvial).

Na porção do complexo fluvial de Manaus até o Atlântico, grandes áreas ribeirinhas permanecem alagadas durante o ano inteiro; nesses locais, a terra é tão plana que a oscilação das marés do Atlântico permite o livre movimento de entrada e saída das águas pelos pântanos, dando a impressão de que todo o entorno da foz do Amazonas está submerso no

oceano. Esse efeito é observado até 800 km rio adentro, onde a água doce sobe e desce em harmonia com as marés. Em função da baixa declividade da Bacia hidrográfica, o escoamento das águas e a propagação das inundações fazem-se lentamente.

Passando pela foz do Amazonas e atravessando toda a região, a linha do Equador confere à Amazônia a característica de apresentar elevados índices pluviométricos durante o ano inteiro. Assim, na região, não se distinguem as quatro estações do ano, apenas a estação da cheia e a estação da vazante. À medida que os rios sobem e baixam, a Amazônia inteira sofre as conseqüências dessa oscilação fluvial.

Adaptada ao ritmo das águas, a vegetação é submetida a constantes submersões. Com o recuo das águas do aluvião, a vegetação ressurge ainda mais exuberante. Como forma de adaptação, nas margens dos rios as árvores assemelham-se a estacas sobre a superfície da água e têm longas ramificações, garantindo o equilíbrio em solo movediço. Outras flutuam, absorvendo seus nutrientes pelas folhas. A maioria das flores não são encontradas no chão, mas presas aos galhos das árvores como epífitas, prontas para a incessante investida das águas.

De acordo com STERLING (1983), uma característica dos rios amazônicos é a diferença de coloração que apresentam; essa variedade de cores ocorre em função de condicionamentos geográficos, que permitem compreender a geologia da região.

Rios carregados de argila, e denominados – de forma simplificada – de *rios brancos*, possuem substâncias nutrientes solúveis retiradas dos solos por onde passam e, por apresentarem elevada turbidez, impedem a penetração da luz e o desenvolvimento de organismos planctônicos; a grande maioria dos rios brancos localiza-se na porção ocidental da Bacia Amazônica e nasce nos Andes. Isso é um bom indicativo de que rochas andinas são menos resistentes do que as formações rochosas ao norte e ao sul da Bacia e, de fato, mais jovens do que estas – pelo menos um bilhão de anos. GIBBS (1967) *apud* CARVALHO *et alli* (1998) atribuiu 82% dos sedimentos em suspensão encontrados no Complexo Solimões/Amazonas à cordilheira dos Andes. Constatou-se, também, que os sedimentos não se distribuem de maneira uniforme, concentrando-se mais próximo ao fundo, inclusive a fração de silte, graças a contribuição dos tributários e à hidráulica do transporte sedimentar (MEADE *et al.*, 1979 *apud* CARVALHO *et alli*, 1998). O mais conhecido de todos os rios brancos é o Solimões.

A maioria dos *rios pretos* ou *escuros* – como o rio Negro, por exemplo – banha os planaltos que separam o Brasil da Venezuela e correm para o sul em direção ao rio principal. Caracterizam-se por sua transparência, pela acidez elevada de suas águas e pela escassez de nutrientes.

Existem, ainda, os rios claros, subdivididos em: *verde-azulados* – como o Tapajós e o Xingu – que possuem aspecto cristalino por não carregarem sedimentos em suspensão, visto que são oriundos das antigas formações rochosas que limitam a Bacia Amazônica ao sul, no Planalto Central Brasileiro; e, *verde-lodosos*, rios provenientes do Planalto das Guianas e semelhantes, em termos de composição química, ao rios verde-azulados, porém, relativamente mais turvos, embora também não carreguem sedimentos. Analisando-se esses fatos, torna-se claramente perceptível que as formações rochosas dos planaltos Brasileiro e das Guianas são antigas e resistentes, sofrendo poucos desgastes atualmente (taxa de erosão média de 1 m/milhão de anos).

Para melhor compreender essa justaposição do antigo com o novo, é importante conhecer a história geológica da Amazônia e, somente após, iniciar a manipulação dos dados fluviométricos para determinação da melhor época para aquisição de imagens orbitais representativas dos períodos de máximas cheia e estiagem.

2.1.2 – HISTÓRIA GEOLÓGICA

Há centenas de milhões de anos, a Amazônia fazia parte do supercontinente existente no hemisfério sul – o *Gondwana* – que englobava a América do Sul, a África, a Índia e a Austrália. As formações rochosas e as cadeias de montanhas do entorno da atual Amazônia estavam unidas às de *Gondwana*; o rio Amazonas já existia, mas corria para oeste, como sugere nitidamente a forma da atual Bacia Amazônica (mais estreita a leste, onde antes teria sido sua nascente, e onde, hoje, localiza-se sua foz).

Como resultado das poderosas correntes de material em estado de fusão do interior da Terra, a camada basáltica sob o *Gondwana* e a camada granítica superior romperam-se no Cretáceo, há cerca de 140 Ma; essas correntes subterrâneas, ao empurrarem a crosta na tentativa de aflorar, elevaram o substrato de basalto, forçando o afastamento das regiões situadas em cada um dos lados desses pontos de tensão. Em consequência, a América do Sul – que formava a parte central do antigo continente – ao deslizar para oeste, permitiu a abertura de uma fenda que se transformou no Oceano Atlântico Sul. Contudo, à medida que a placa sul-americana se deslocava, encontrava resistência do assoalho do Oceano Pacífico, que, por influência de forças tectônicas semelhantes, movia-se na sua direção. A colisão dessas duas

placas movediças com direção oposta originou a atual configuração da Amazônia (STERLING, 1983).

Na ocasião dessa grande transformação geológica, dois tipos de rochas predominavam na América do Sul, bem como em todos os demais continentes: um núcleo rochoso antigo de granito e outros materiais cristalinos, endurecidos pela compressão e pelo calor intenso do interior da crosta terrestre, e áreas de rochas mais jovens, resultantes de sedimentação ou vulcanismo. Com o impacto da colisão com o assoalho do Oceano Pacífico, há aproximadamente 100 Ma, essas rochas mais jovens, localizadas na foz do antigo rio Amazonas (a oeste) formaram dobras enormes, originando os Andes, que bloquearam a desembocadura do rio primitivo e levaram à formação de um imenso acúmulo de água doce a oeste.

Em algum momento durante os últimos 50 Ma, o lago de água doce do Amazonas foi drenado, e, o sedimento do fundo transformou-se no atual piso da alta Bacia Amazônica; a drenagem ocorreu em consequência da inclinação de todo o continente sul-americano para leste, o que conferiu às águas da Bacia uma nova saída, desta vez para o Atlântico, entre os Planaltos das Guianas e Brasileiro. Com a drenagem da água doce do imenso lago, a Bacia Amazônica passou a ter sua fisiografia atual, tornando-se inundada na estação das cheias, assemelhando-se ao antigo lago existente.

Duas outras mudanças geológicas ocorreram mais recentemente. A primeira, há apenas 3 Ma, foi o aparecimento do istmo do Panamá, que permitiu uma nova ligação entre a América do Sul e a do Norte, separadas 60 Ma antes da ruptura do *Gondwana*; graças ao longo período de separação entre as Américas, a vida vegetal e animal da América do Sul evoluiu durante dezenas de milhões de anos quase sem interferência externa. O segundo acontecimento geológico mais recente e significativo ocorreu durante a era glacial, há cerca de 1 Ma. Embora a Bacia Amazônica não tenha sofrido glaciação, grande quantidade de água precipitada ficou retida nas regiões polares sem retornar aos oceanos; com isso, o nível do Oceano Atlântico Sul baixou, no mínimo, 100 m, principalmente próximo à foz dos rios. Após o degelo, o nível do mar subiu novamente, inundando as embocaduras dos rios e o imenso delta do Amazonas. Graças a essas inundações, muitos leitos fluviais escavados na Bacia Amazônica situam-se, atualmente, abaixo do nível do mar, embora a maior parte de suas águas esteja acima desse nível. A desembocadura dos rios Tapajós e Negro – bem como a de outros afluentes do Amazonas – transformaram-se em lagos enormes, onde não se consegue enxergar a outra margem. Além disso, as águas dos rios se tornaram mais lentas (STERLING, 1983)

2.1.3 – ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Hidrológico Solimões/Amazonas situa-se, aproximadamente, entre as latitudes 0°S e 5°S e as longitudes 45°W e 70°W (Fig. 01).

Na etapa inicial desta pesquisa, as informações planimétricas gerais (hidrografia) foram obtidas através da série de cartas planimétricas em escala 1:250.000 do PROJETO RADAM, da década de 70, e as informações geológicas e geomorfológicas necessárias à condução da análise hidrológica foram extraídas dos mapas 1:1.000.000 e seus respectivos relatórios, encontrados nos volumes 5, 7, 10 e 18 do PROJETO RADAM (PROJETO RADAM, 1974, 1975, 1975a e 1978).

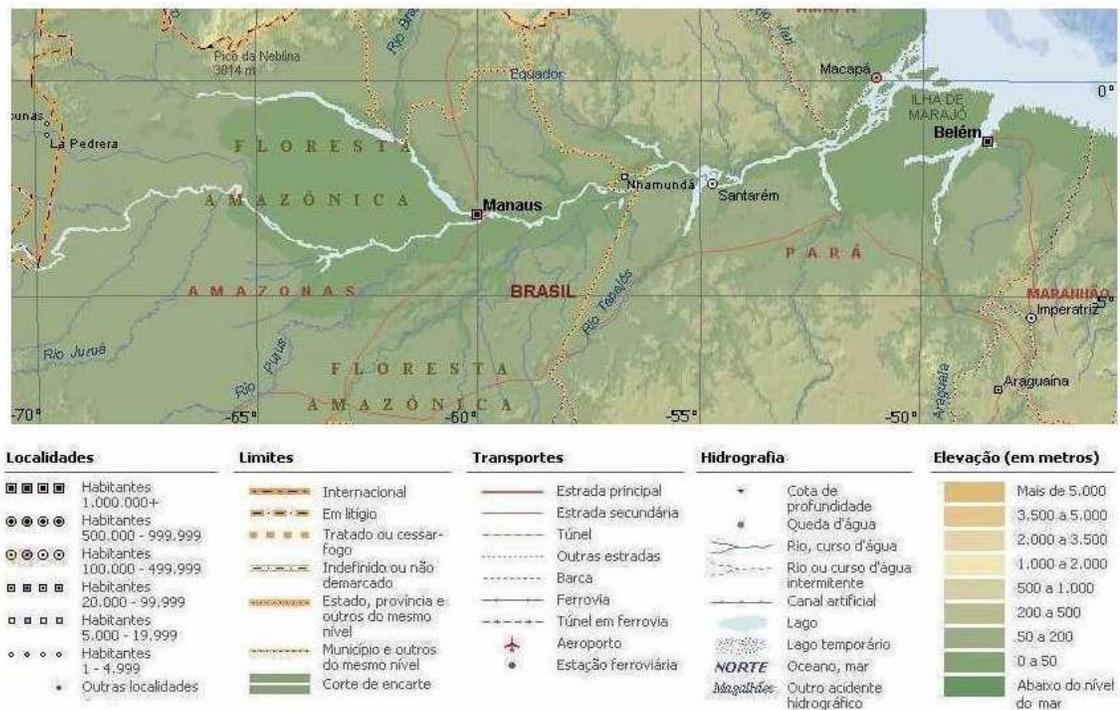


Fig. 01: Área de Estudo. Modificado de Atlas Mundial Microsoft® ENCARTA®.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – ESTUDO HIDROLÓGICO DO COMPLEXO SOLIMÕES/AMAZONAS

Na condução do estudo hidrológico do complexo Solimões/Amazonas foi adotada a **Sistemática para Análise de Consistência de Dados Fluviométricos** (DISTRITO FEDERAL, 1982) desenvolvida pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE e, ainda hoje, utilizada na Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (que herdou as antigas atribuições do DNAEE).

As etapas necessárias ao desenvolvimento dessa fase do projeto foram:

- levantamento dos mapas planimétricos/temáticos da área no entorno da Bacia Hidrográfica do Complexo Solimões/Amazonas;
- levantamento das estações fluviométricas existentes dentro da área de estudo;
- solicitação dos dados fluviométricos ao órgão responsável;
- incorporação dos dados fluviométricos solicitados a um banco de dados com vistas a sua manipulação e análise;
- tratamento dos dados fluviométricos brutos e verificação da consistência dos dados tratados (consistidos) fornecidos;
- geração e plotagem dos gráficos de Séries Mensais de Cotas dos principais rios localizados no entorno do complexo;
- geração das estatísticas das cotas fluviométricas de cada rio da área de pesquisa;
- análise dos gráficos e dos dados estatísticos gerados;
- apresentação dos períodos de máximas cheia e vazante de cada curso fluvial analisado com fins à determinação das datas ideais para aquisição das imagens da área.

Uma descrição sucinta da metodologia adotada para análise dos dados fluviométricos pode ser apreciada a seguir.

3.1.1 – LEVANTAMENTO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

O inventário de todas as estações fluviométricas – operadas ou não pela ANEEL – distribuídas na Bacia Amazônica foi obtido através de consulta à *Home Page* da ANEEL (<http://hidroweb.aneel.gov.br>).

Como resultado da consulta foi fornecido um arquivo texto compactado com o código de identificação, nome, localização (latitude/longitude), órgão operador responsável, informações sobre a qualidade dos dados gerados (brutos ou consistidos), data de instalação (e de término de operação, em alguns casos), etc, de cada estação fluviométrica da área solicitada.

Para identificação das estações de interesse para o estudo hidrológico – somente aquelas que se localizavam ao longo dos rios Solimões e Amazonas e seus afluentes principais – foram selecionados os códigos de todas as estações fluviométricas e suas respectivas coordenadas (fornecidos pelo arquivo texto supracitado); em seguida, cada estação foi posicionada em um arquivo gráfico (formato *dgn*, do programa *MicroStation*, da *Bentley*) modificado a partir de um mapa da *Série Brasil-Geográfico* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) previamente convertido para o sistema de coordenadas geográficas (latitude,longitude) e para o *datum* SAD-69 através do programa *Modular GIS Environment*, da *Intergraph*; assim, foram identificadas 111 estações fluviométricas ao longo dos rios de interesse na área de estudo. Dessas, a ANEEL disponibilizou os dados linimétricos – cotas e fichas descritivas em meio digital, no formato *mdb* (*Microsoft*[®] *Access*) – de 56 estações. As demais estações eram operadas por alguns órgãos (PORTOBRÁS, ELETRONORTE, entre outros) em que o acesso aos seus dados não foi permitido ou, ainda, algumas eram estações já extintas.

Os dados fornecidos pela ANEEL foram organizados em um banco de dados específico para que pudessem ser manipulados no programa de análise de dados fluviométricos desenvolvido pela própria Agência e cedido aos pesquisadores interessados em utilizar esse tipo de informação – o Sistema *Hidro 1.01*.

3.1.2 – SISTEMA DE MANIPULAÇÃO DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS

O antigo DNAEE desenvolveu, na década de 70, um sistema de banco de dados voltado ao gerenciamento de informações coletadas em toda a rede hidrometeorológica nacional – o Sistema de Informações Hidrológicas (SIH), executado apenas em ambiente de grande porte IBM; no final da década de 80, um novo sistema mais amigável e que pudesse ser operado por um número maior de usuários – para microcomputadores da linha PC/MS-DOS – foi desenvolvido. Ambos os sistemas armazenavam os dados em vários tipos de arquivos binários de registros seqüenciais.

O Sistema *Hidro* começou a ser projetado a partir de 1998 com o objetivo de sanar os problemas enfrentados pelos usuários do sistema anterior e de atualizá-lo tecnologicamente. Trata-se de uma aplicação de banco de dados do tipo cliente/servidor desenvolvida para o ambiente gráfico *Windows 32 bits* (95, 98, Me, NT e 2000).

Esse novo sistema permite: o gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológica armazenada em um banco de dados relacional; a entrada de dados por parte das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; a análise de consistência dos dados fluviométricos e sua manipulação; a geração de séries históricas de cotas linimétricas; o cálculo de funções estatísticas básicas necessárias à determinação dos períodos de máximas vazante e cheia, dentre outros.

3.1.3 – TRATAMENTO DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS BRUTOS E VERIFICAÇÃO DOS DADOS CONSISTIDOS

Os dados hidrológicos cedidos pela ANEEL distinguem-se em:

- *Dados Brutos* - sem nenhuma análise de consistência realizada pelos técnicos da ANEEL, e
- *Dados Consistidos* - já verificados por técnicos da ANEEL e, *a priori*, livres de inconsistências.

Embora já tenham sido previamente analisados, os dados consistidos – bem como os brutos – precisam ser verificados de modo a eliminar deficiências que são muito comuns aos dados fluviométricos. Nesse trabalho, todos os dados – brutos e consistidos – foram analisados com intuito de retificar as inconsistências encontradas e gerar cotogramas com informações confiáveis (o termo *Dado Bruto* foi mantido mesmo após a análise de consistência e retificação, para que se pudesse distinguir quais dados fornecidos já tinham sido analisados pela ANEEL).

Os erros mais comuns encontrados nesses tipos de dados são:

- *Ausência completa de dados por um período mais ou menos prolongado* com eventuais dados intermediários que podem servir como apoio ao preenchimento de falhas de observação; esse tipo de deficiência pode ser facilmente reconhecido como uma lacuna no gráfico de cotas (cotograma ou linigrama);
- *Preenchimento arbitrário de dados pelo observador em caso de férias, ausência ou descuido*; geralmente, esse erro pode ser identificado como um período de cotas idênticas (copiadas arbitrariamente a partir da última cota medida) ou como um período de cotas com variação linear entre os extremos, realmente observados; em geral, a transição entre a última cota preenchida arbitrariamente e a nova cota realmente medida apresenta um degrau no gráfico que pode ser facilmente percebido, principalmente na época da estiagem. Durante o período das cheias, esse degrau apresenta-se menos nítido; nesse caso, esse tipo de erro pode ser notado principalmente pela regularidade do fluviograma. Ainda, inconsistências dessa espécie podem ser identificadas quando dados fluviométricos de estações vizinhas são utilizados simultaneamente; em caso de ausência de estações próximas, os dados linimétricos podem ser analisados juntamente com dados pluviométricos da Bacia considerada. O preenchimento arbitrário de dados fluviométricos dificilmente é feito com tanta precisão que não possa ser facilmente reconhecida a sua inconsistência ao compará-los com cotas de estações vizinhas ou dados de chuvas da Bacia;
- *Erro de 1 (um) metro* - por estar habituado a transcrever na caderneta de observações o mesmo valor do metro durante um longo período, variando apenas os centímetros, mesmo quando o metro é ultrapassado, o observador continua anotando a antiga marcação do metro. Esse erro pode ser reconhecido facilmente no cotograma como um degrau brusco de um dia para outro;
- *Erro de complemento* - percebido principalmente nos períodos de recessão, é resultante da soma dos valores do nível d'água até a parte inteira, ao invés de

subtrair (o erro aparece, em geral, nas leituras intermediárias, resultando, sempre, em um complemento);

- *Leitura errônea de cotas negativas* - ocorre quando o observador se confunde ao anotar as leituras negativas que podem ocorrer nos períodos de estiagem. Muitas vezes ele começa a anotar as leituras negativas com acréscimo de um metro ou sem o sinal negativo. Normalmente, essa inconsistência pode ser facilmente identificada e corrigida, mesmo sem realizar a comparação com fluviogramas de estações vizinhas, principalmente durante a estiagem, quando a variação das águas é bem lenta;
- *Erro de cópia de nível d'água ao passar os dados (valores observados) de um registro para outro*; ocorre geralmente com valores isolados, que são facilmente reconhecidos quando a variação do fluviograma é gradual. Erros de cota linimétrica no algarismo correspondente ao centímetro podem ser desconsiderados pois não têm significado prático; erros no algarismo que define o décímetro ou o metro são facilmente reconhecidos e podem ser substituídos pela média das cotas correspondentes aos dias anterior e posterior àquele do erro ou pela comparação dos algarismos correspondentes aos dados dos dias anteriores e posteriores, o que fornecerá resultados mais exatos do que o primeiro procedimento;
- *Efeito de maré* - em estações localizadas próximo à foz do curso d'água no mar ou em uma baía, os níveis d'água do local sofrem os efeitos das marés. Notam-se oscilações cíclicas com períodos de cerca de 14 dias, pronunciadas, principalmente, na época da seca. Isso ocorre porque as leituras das réguas são, normalmente, feitas uma ou duas vezes ao dia, em horários estabelecidos e, o efeito da maré se atrasa cerca de 50 minutos a cada dia, atingindo efeito perturbador semelhante somente após 14 dias, aproximadamente;
- *Efeito de barragens* - no caso de barragens para aproveitamento hidrelétrico percebem-se flutuações do nível d'água segundo as variações que a demanda de energia normalmente apresenta. Nas barragens destinadas à elevação do nível d'água para favorecer a navegação, os deflúvios naturais dos rios são pouco alterados; naquelas destinadas à contenção de cheias, o fluviograma do período das enchentes apresenta-se bem deformado; quando a barragem possui comportas controláveis – de fundo ou de superfície ampla – as variações nos fluviogramas tornam-se imprevisíveis.

3.1.4 – CORREÇÃO DOS DADOS INCONSISTENTES

O grau de confiabilidade dos dados de cada estação pode ser avaliado, preferencialmente, através de visitas às instalações de cada posto de coleta de dados. Porém, a grande dificuldade de acesso às estações – significando, para a maioria das estações, várias horas (às vezes, mais de um dia) de travessia fluvial a partir da cidade ou povoado mais próximo – torna esse procedimento, muitas vezes, impraticável. Uma alternativa viável para sanar eventuais suspeitas quanto à qualidade dos dados e obter outras informações é a análise da *Ficha Descritiva* de cada estação fluviométrica (Anexo 1).

A *Ficha Descritiva* da estação no curso d'água – que deve ser solicitada à ANEEL junto com os dados fluviométricos de cada estação – contém informações importantes das estações fluviométricas para o analista, como:

- seu código, município, rio e Bacia a que pertence;
- sua localização (coordenadas geográficas);
- referência cartográfica;
- tipo de estação e entidade operadora;
- descrição do local;
- acessibilidade;
- tipo de equipamentos utilizados e sua descrição (inclusive lances, esteios, cotas RRNN, facilidade de leitura em toda a amplitude das réguas, etc.);
- horário das observações;
- potamografia;
- características geomorfológicas do rio;
- presença de barragens/obras hidráulicas;
- observador responsável e grau de instrução;
- croqui de localização e situação;
- fotografia da estação, quando houver.

Outras observações importantes podem estar relatadas na *Ficha Descritiva*:

- Datas em que houve reinstalação de réguas;
- datas de construção de estruturas hidráulicas (à montante ou à jusante) que possam ter alterado o fluxo fluvial;
- período em que as observações diárias foram feitas por mais de um operador;
- etc.

Em suma, qualquer alteração significativa que possa interferir nos valores das cotas observadas estará, provavelmente, notificada na *Ficha Descritiva*.

3.1.5 – DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Os dados fluviométricos de cada rio foram analisados separadamente, desde o rio Solimões até a foz do rio Amazonas, de modo a avaliar como as inundações/estiagens se manifestaram na direção W-E, da nascente à foz desse complexo fluvial.

Grande parte das estações fluviométricas cujos dados foram obtidos referiam-se a séries antigas de cotas (com dados até a década de 80 ou anteriores), sendo, então, descartadas em face à existência de estações com dados mais recentes. Em função disso, as séries históricas de cotas de cada rio foram construídas a partir de dados da última década (1990 a 2000). Todas as estações (23) que apresentaram dados recentes foram utilizadas e a localização das mesma encontra-se na Fig. 02; o fluxograma tipo “espinha de peixe” das estações está representado na fig. 03, e, no Apêndice 1 encontram-se o nome, a localização e os períodos dos quais foram aproveitados os dados de cada uma das estações utilizadas.

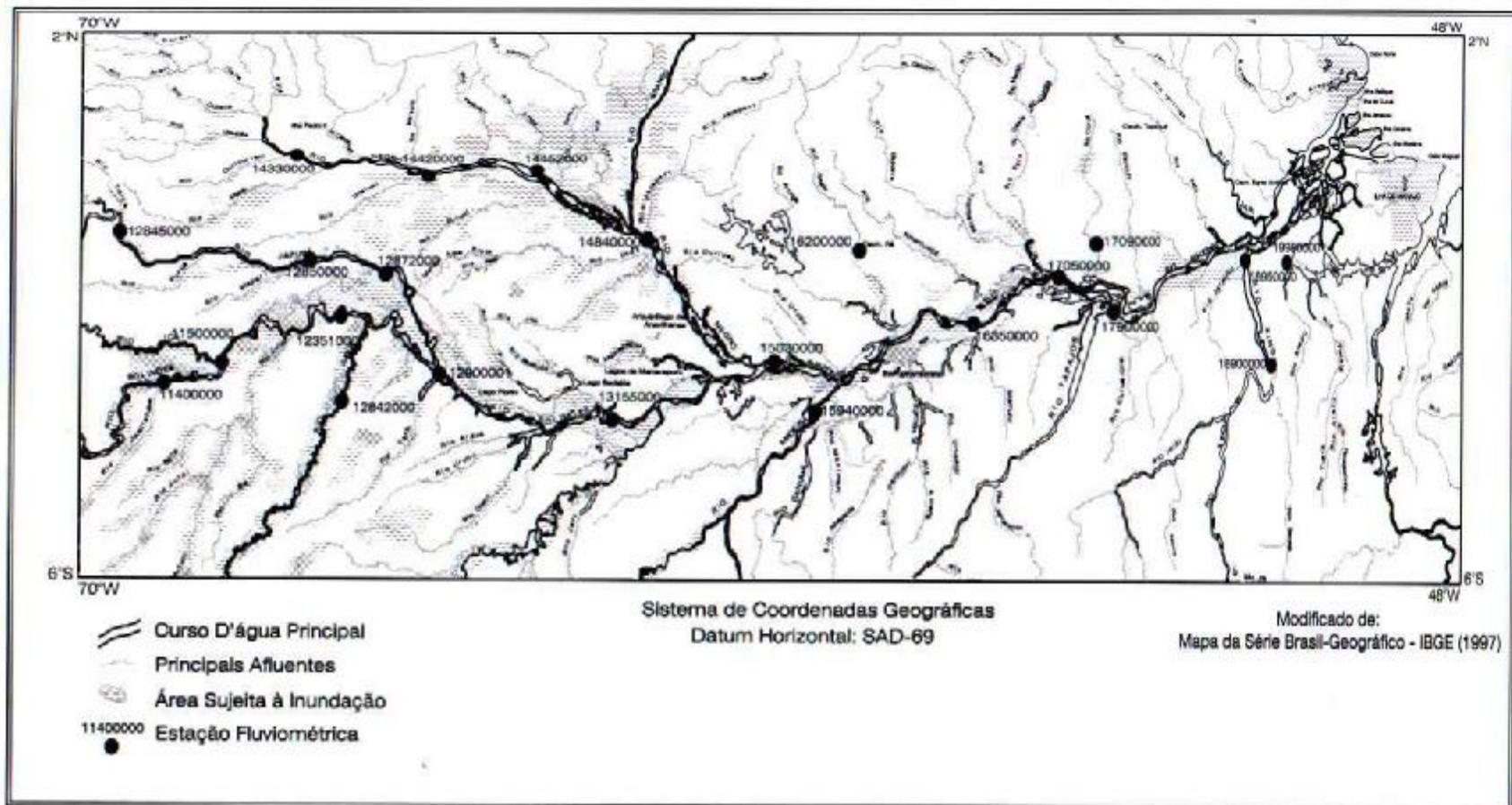


Fig. 02: Localização das Estações Fluviométricas.

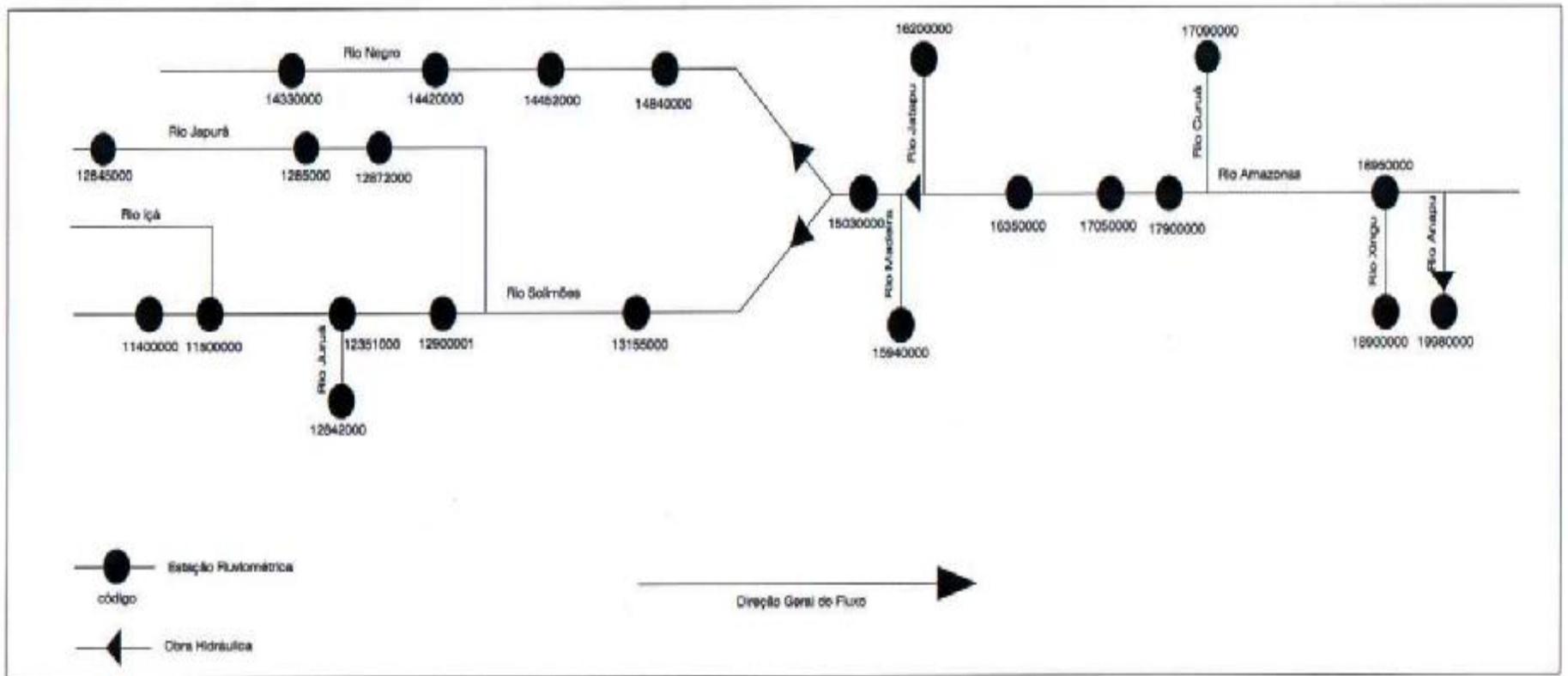


Fig. 03: Diagrama Unifilar com localização das Estações Fluviométricas utilizadas.

Após a identificação dos principais tipos de erros nos cotogramas preliminares (mensais, com médias diárias) de cada estação, e análise dos relatórios de cotas médias diárias (ambos gerados pelo Sistema *Hidro*), a correção dos dados fluviométricos foi conduzida. Deve-se ressaltar que a análise foi sempre realizada em conjunto, utilizando-se cotogramas de cada par de estações mais próximas ou mais, quando necessário.

Um exemplo típico de inconsistência foi detectado nos dados consistidos dos meses de agosto a novembro de 1995 da estação fluviométrica 14330000; o cotograma correspondente apresentava uma reta decrescente (relativas a anotações arbitrárias sempre decrescentes de 6 em 6 cm) entre dois dias de medições verdadeiras. Eliminou-se esse erro comparando-se esses dados com aqueles de uma estação vizinha (14420000, a mais próxima localizada no mesmo curso fluvial), de onde os valores mais prováveis de variação das cotas foram extraídos.

Alguns tipos de inconsistências puderam ser retificadas sem o auxílio de dados de estações fluviométricas vizinhas. No caso de leitura erradas de cotas negativas, por exemplo, bastou, dependendo do valor, descontar um metro inteiro nos dados ou acrescentar um sinal negativo.

Após a verificação dos dados fluviométricos, foram gerados, a partir desses, Gráficos de Séries Mensais de Cotas (utilizando-se valores de cotas médias diárias) e informações estatísticas de vários cursos fluviais. Os resultados da análise dos fluviogramas de cada rio estudado, seguindo a direção geral W-E serão relatados a seguir.

3.1.5.1 – Rio Solimões

O rio Solimões é assim denominado desde a sua entrada em território nacional. Cinco são as estações fluviométricas localizadas ao longo de seu curso – desde a coordenada aproximada 4° S e 70° W até a confluência com o rio Negro – que apresentam dados referentes à última década, e, de boa qualidade: as estações 11400000 (São Paulo de Olivença), 11500000 (Santo Antônio do Içá), 12351000 (Fonte Boa - Remanso), 12900001 (Tefé) e 13155000 (Codajás), as duas últimas com cotas somente de 1996 a 2000 e 1997 a 2000, respectivamente, e, as demais, de 1990 a 2000. Todas essas estações fluviométricas são operadas pela ANEEL.

A régua usada para leitura de cotas linimétricas ao longo do curso do Solimões, bem como os lances de miras são feitos de madeira de lei, em algumas estações e, de alumínio, em outras. A leitura é sempre realizada diariamente às 07 h e às 17 h.

Em todas as estações ao longo desse rio o acesso é feito por via fluvial, sendo, muitas vezes, necessárias viagens de mais de um dia de duração, utilizando barco a motor (114 HP), da localidade mais próxima até o posto de coleta de dados.

As principais inconsistências observadas nos cotogramas anuais gerados a partir de dados dessas estações foram várias lacunas, típicas de ausência completa de anotações por um dado período. Essas deficiências foram eliminadas utilizando-se as informações (variação das cotas médias diárias) das estações fluviométricas mais próximas. Os novos valores acrescentados ao cotograma consistido ficaram armazenados no banco de dados sob a denominação de “dados estimados”.

De posse do gráfico de Série Mensal de Cotas do rio Solimões (Fig. 04) gerado com o Sistema *Hidro*, com informações de cotas médias diárias das cinco estações utilizadas, de 1990 a 2000, e dos dados estatísticos (correspondentes às cotas máximas e mínimas mensais ao longo dessa década), observa-se que, nesse período, as máximas cheias concentraram-se principalmente nos meses de maio e junho, com um número de ocorrências – posto que menos significativo – também em abril (Fig. 05). Percebe-se, também, que as inundações oscilam, longitudinalmente, sendo, nas estações localizadas mais a W, típicas do mês de maio, enquanto que, com a maior proximidade do ponto de confluência com o rio Negro, a E, as máximas cheias ocorrem no mês de junho.

O período de máxima estiagem inicia em agosto e pode se estender até dezembro, concentrando-se, nas estações a W, no mês de setembro, e, a E, no mês de outubro (Fig. 05).

Ao longo do rio Solimões observou-se a maior variação de nível d'água no período de 1990-2000 – de cerca de 14.5 m, na estação Codajás, em 1998-1999.

Cotas (cm)

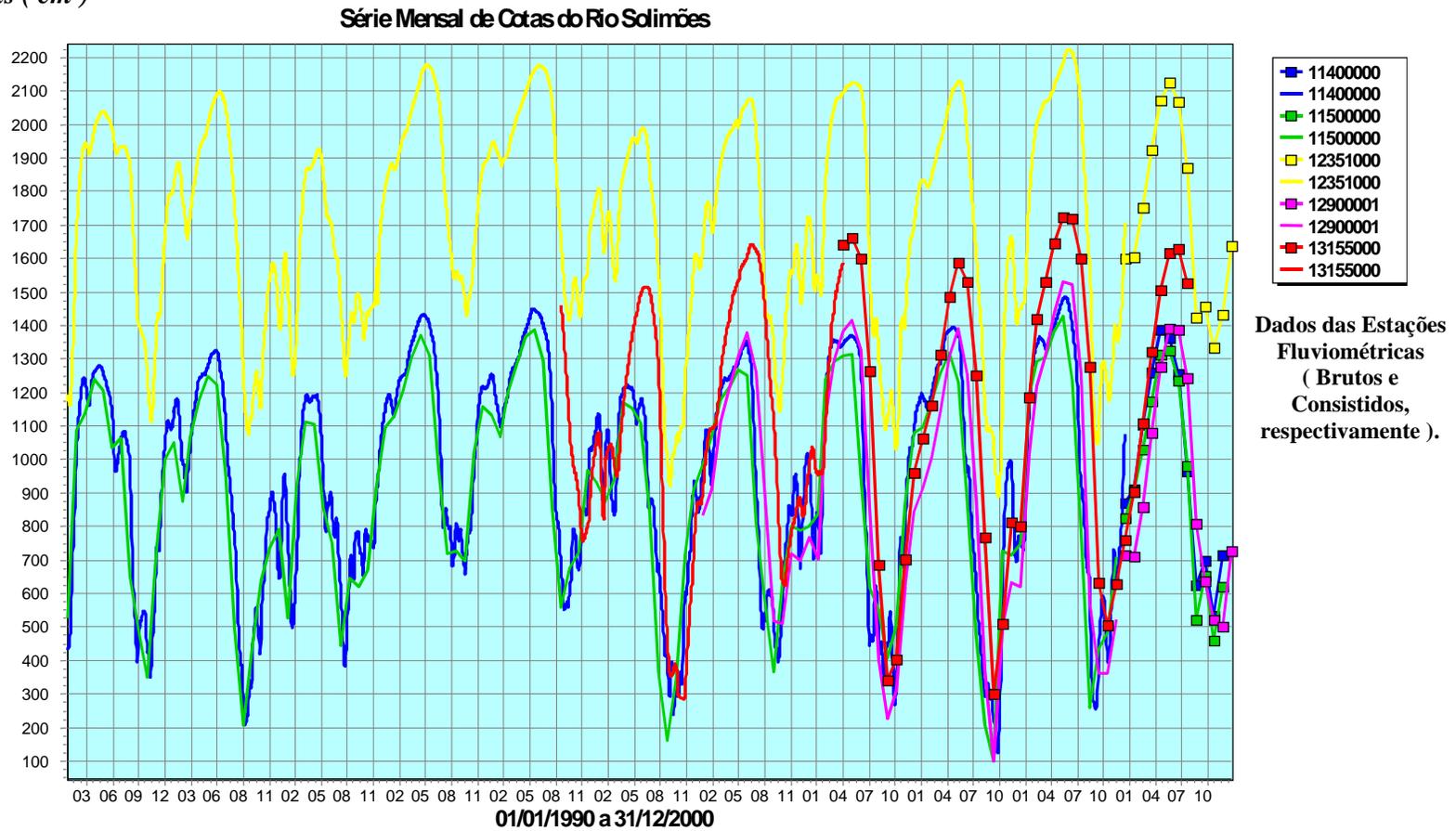


Fig.04: Série Mensal de Cotas do rio Solimões, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Solimões
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para cada Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

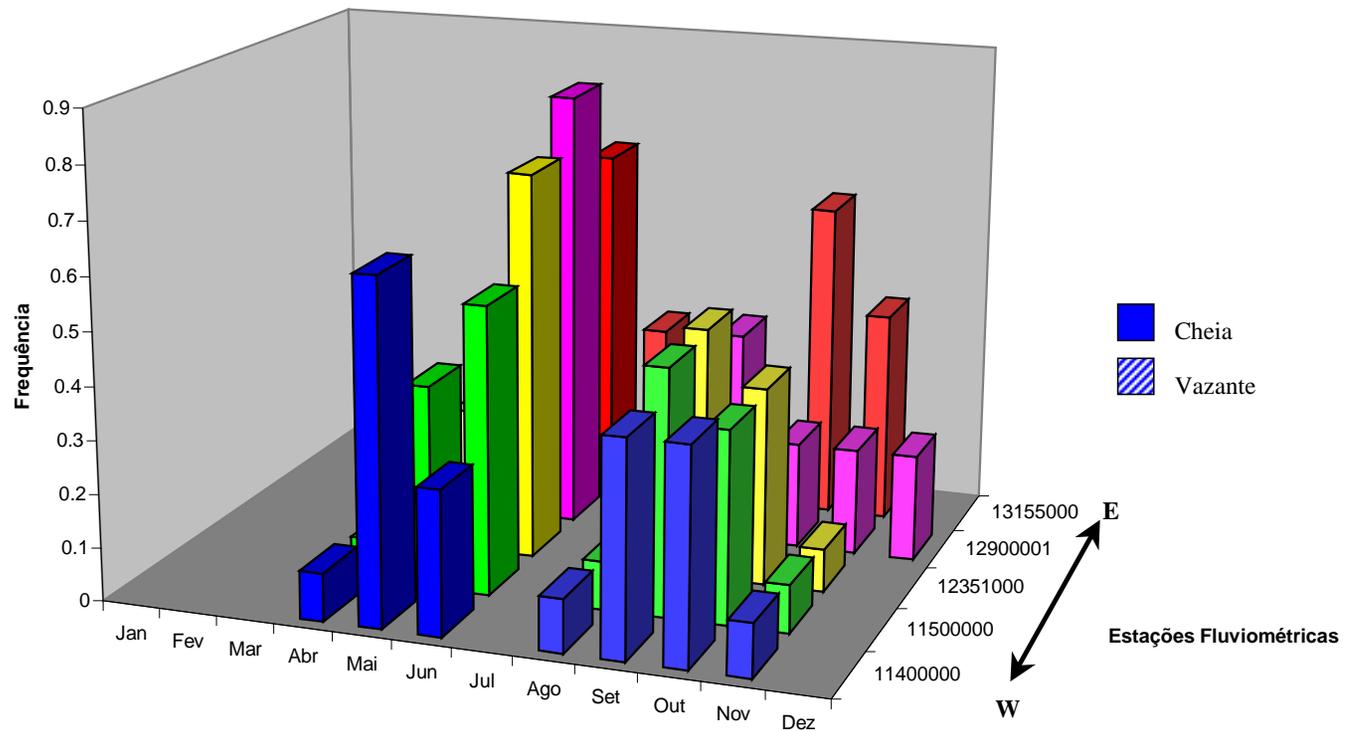


Fig. 05: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Solimões, no período de 1990-2000.

3.1.5.2 – Rio Japurá

O rio Japurá, afluente pela margem esquerda do rio Solimões, é formado pelos rios Apapóris e Coquetá, que vêm da Cordilheira dos Andes, recebendo, em território brasileiro, o nome de Japurá.

Ao longo desse rio, todas as réguas de medição são de alumínio, bem como os lances de mira. As medições são feitas diariamente, no mesmo horário das estações localizadas ao longo do rio Solimões.

O acesso aos postos de coleta também é feito por via fluvial, com barco a motor, levando mais de um dia de viagem a partir da localidade mais próxima.

As estações fluviométricas – todas sob a responsabilidade da ANEEL – que contêm dados recentes e de boa qualidade ao longo desse curso fluvial são: 12845000 (Vila Bittencourt), 12850000 (Acaunai) e 12872000 (Maraã), esta última, com dados a partir de 1995.

Analisando-se o gráfico de Série Mensal de Cotas do rio Japurá (Fig. 06) e o gráfico gerado a partir das informações estatísticas de máximas cheia e vazante ao longo da última década, para cada estação (Fig. 07), nota-se que, as máximas inundações ocorreram, principalmente, nos meses de junho e julho, e, esporadicamente, em maio.

Em contrapartida, os períodos de máximo refluxo concentraram-se em janeiro e fevereiro, nas estações localizadas a W, e, na estação mais próxima à confluência desse rio com o rio Negro, no mês de novembro, principalmente (Fig. 07).

Rio Japurá
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para cada Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

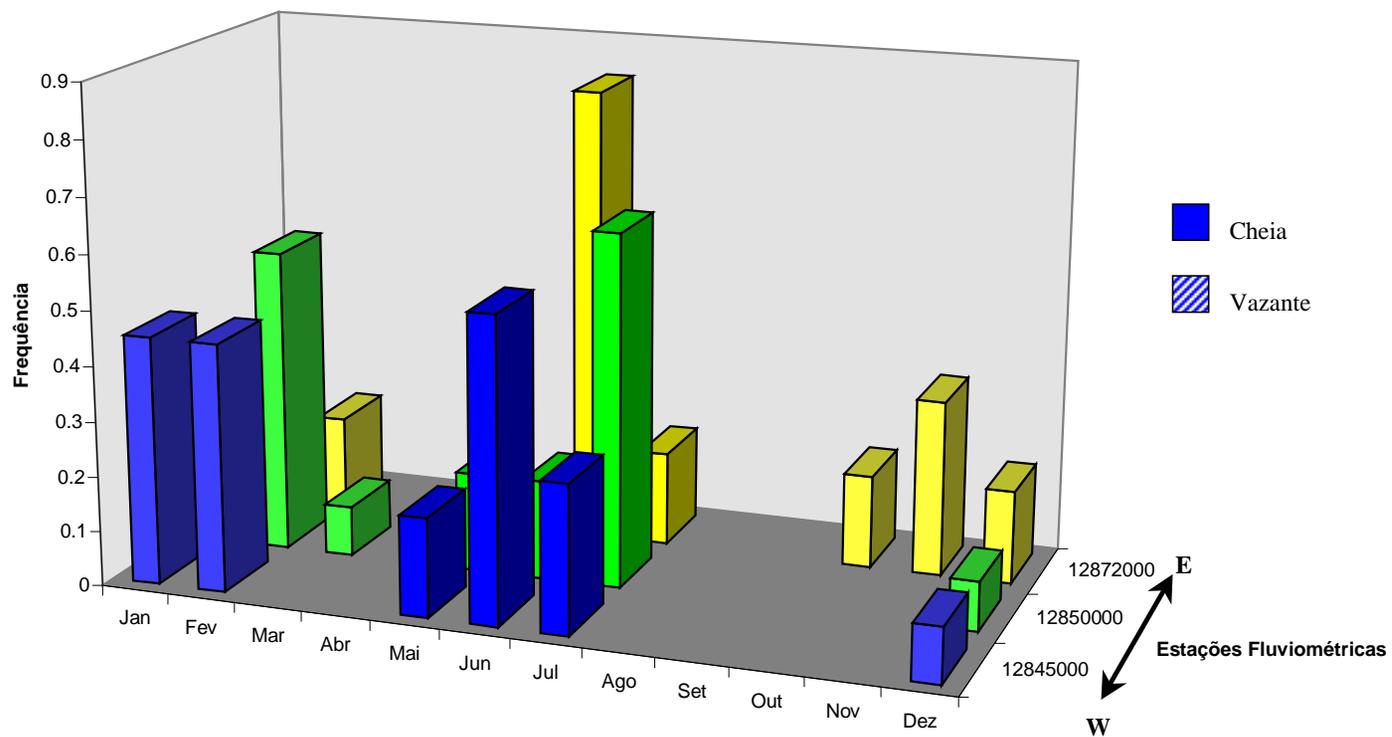


Fig. 07: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Japurá, no período de 1990-2000.

3.1.5.3 – Rio Negro

O rio Negro nasce na República da Colômbia, em um platô da Comissária de Guaiania, onde recebe a denominação de rio Chamusiqueni, passando, em seguida, a ser denominado de rio Guainia e, somente após receber as águas do canal Casiquiare, passa a se chamar rio Negro. Esse rio mantém a direção geral sudeste até desaguar no rio Solimões, próximo à cidade de Manaus, e, dar origem, assim, ao rio Amazonas.

As estações fluviométricas utilizadas na análise hidrológica desse curso fluvial foram: 14330000 (Curicuriari), 14420000 (Serrinha), 14452000 (Samaúma), esta com leituras de régua a partir de 1998, e 14840000 (Moura), todas da ANEEL. Nessas estações, as réguas linimétricas são de madeira ou de alumínio e, o acesso – também possível somente por via fluvial – é feito a partir de Manaus.

Pela observação dos gráficos produzidos (Fig. 08 e 09) nota-se que, na década de 90, em todas as estações, as máximas enchentes ocorreram de maio a agosto (concentrando-se, primordialmente, nos meses de junho e julho). Todavia, as máximas vazantes prolongaram-se de outubro a março, com maiores ocorrências em janeiro e fevereiro nas estações localizadas a W e, com comportamento bastante variável nas demais estações (de novembro a março).

Cotas (cm)

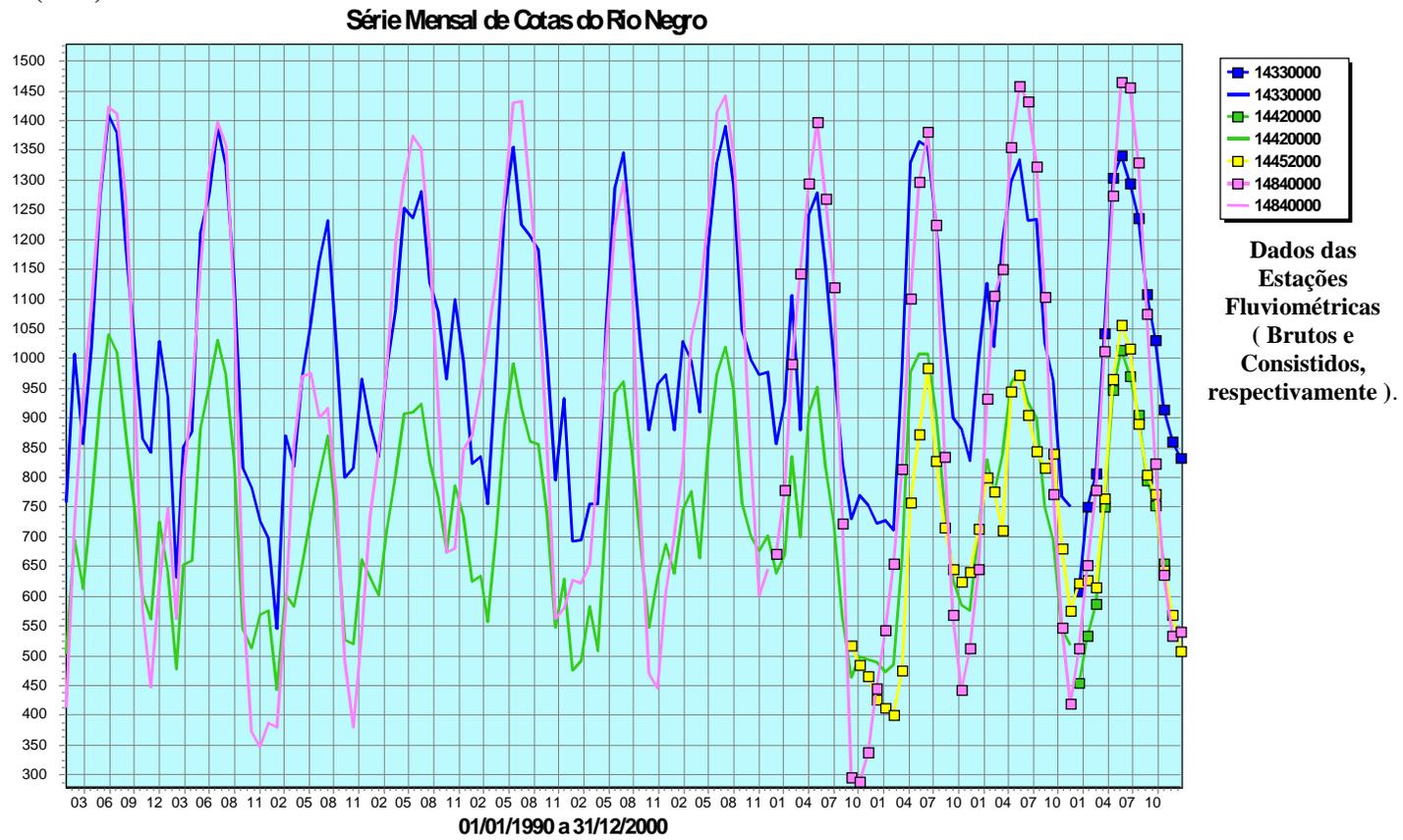


Fig. 08: Série Mensal de Cotas do rio Negro, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Negro
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para cada Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

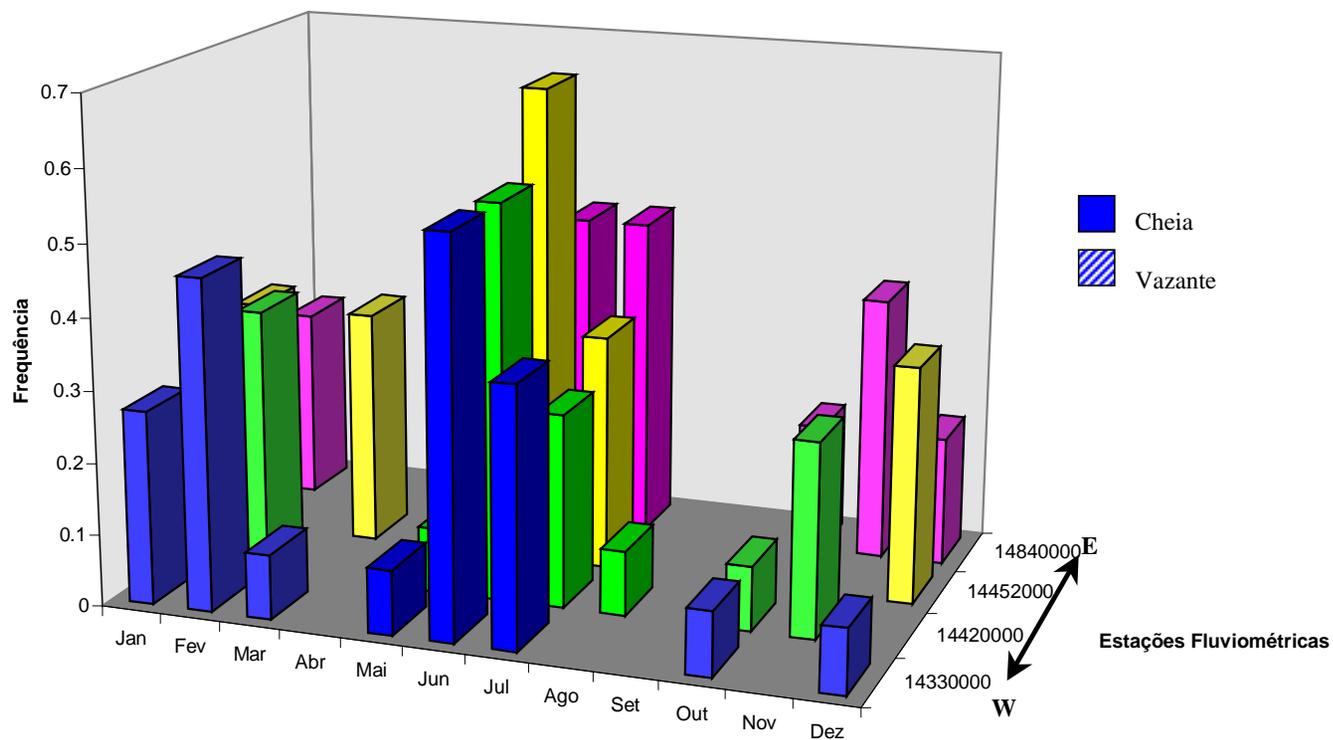


Fig. 09: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Negro, no período de 1990-2000.

3.1.5.4 - **Rio Juruá**

O rio Juruá nasce no Peru, onde recebe a denominação de Alto Yuruá, e é afluente, pela margem direita, do rio Solimões.

A única estação fluviométrica localizada nesse curso fluvial cujos dados foram utilizados neste trabalho – a 12842000 (Forte das Garças) – foi instalada pela ANEEL em julho de 1997, apresentando, assim, informações de cotas a partir dessa data.

O acesso à estação é feito por via fluvial, pelo rio Solimões até a foz do rio Juruá (cerca de 18 horas de travessia) e, a partir desse ponto, pelo próprio rio Juruá, por cerca de mais 25 horas.

Os lances de miras, de madeira, são fixados a estacas-suporte de madeira de lei, na margem direita do rio.

O período de máximas inundações ocorre, comumente, nos meses de abril e maio (principalmente em maio), enquanto as maiores vazantes concentram-se nos meses de setembro e outubro (Fig. 10 e 11).

Cotas (cm)

Série Mensal de Cotas do Rio Juruá

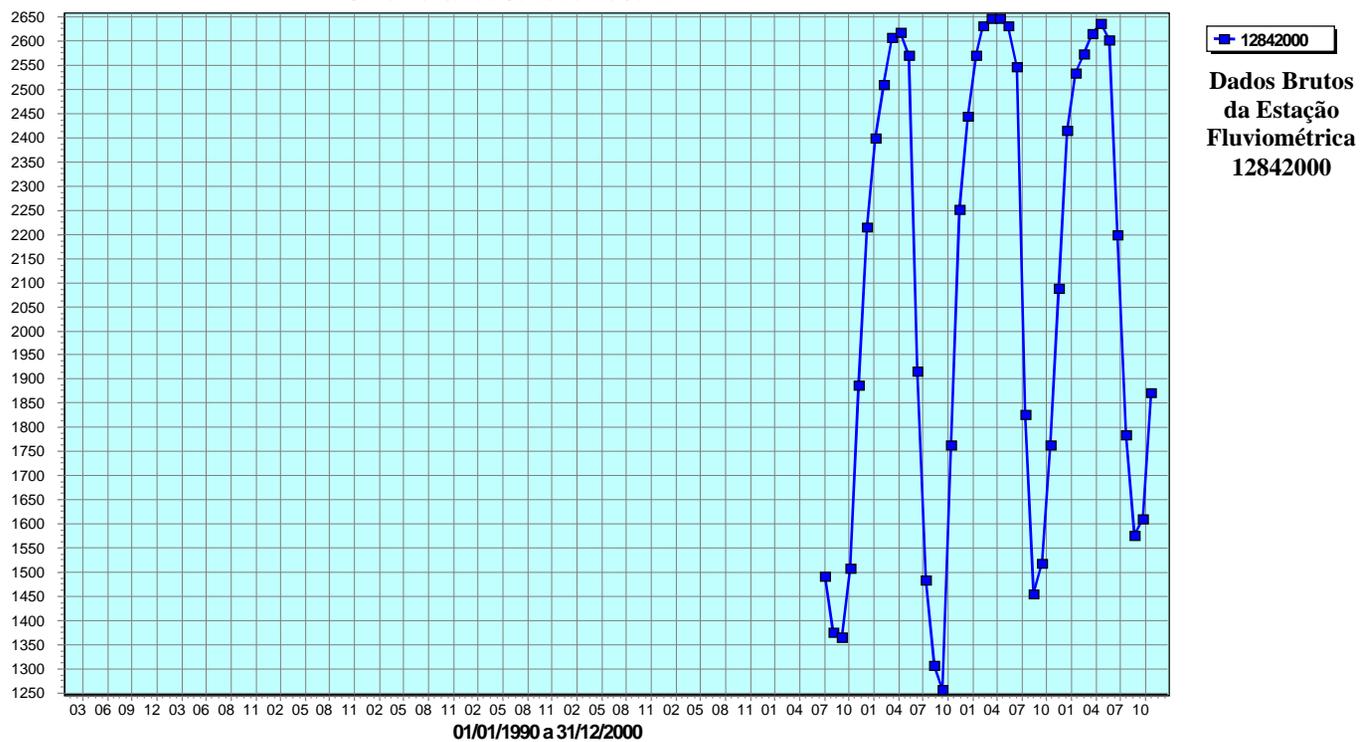


Fig. 10: Série Mensal de Cotas do rio Juruá, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Juruá
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para a Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

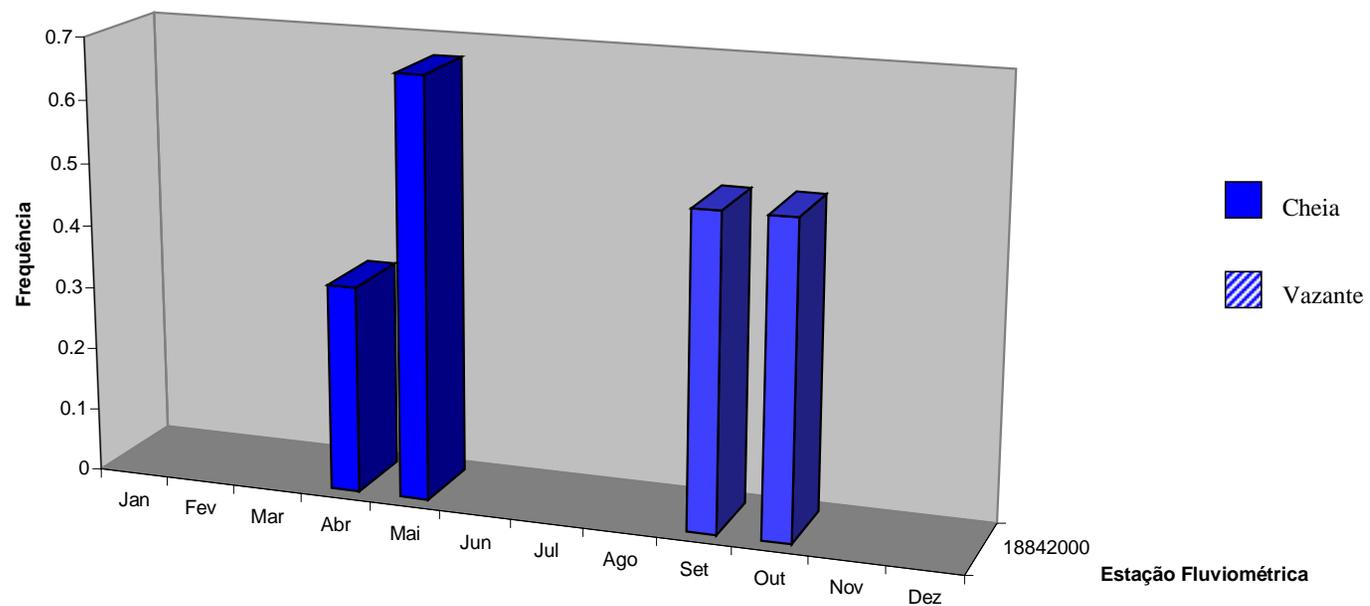


Fig. 11: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para a estação fluviométrica localizada ao longo do rio Juruá, no período de 1990-2000.

3.1.5.5 – Rio Amazonas

O rio Amazonas recebe essa denominação após a confluência dos rios Solimões e Negro, na altura da cidade de Manaus. A partir desse ponto ele flui na direção geral W-E até desaguar no Oceano Atlântico.

Seus principais afluentes são, pela margem direita, os rios Madeira, Tapajós e Xingu, e, pela margem esquerda, os rios Trombetas, Paru e Jari.

As estações da ANEEL que apresentaram dados com qualidade no período de 1990-2000 são: 15030000 (Jaturama), 17050000 (Óbidos) e 17900000 (Santarém). Outras estações (16350000, Parintins, com dados de 1927 a 1992, e, a estação 18950000, com alguns dados de 1999, em Porto de Moz) apresentaram cotogramas descontínuos ao longo dessa década, mas seus dados foram também utilizados (nos trechos onde os linigramas apresentava-se contínuos), apenas para avaliar a consistência dos dados fornecidos pelas estações principais.

Os lances de miras das estações são de alumínio com estacas-suporte de madeira; os horários de observação, assim como outras estações dos demais rios foram sempre às 07 h e às 17 h.

O acesso ao local , por barco a motor, é sempre feito a partir de Manaus, de Santarém ou de Belém, dependendo da proximidade da estação a uma dessas cidades.

A observação dos gráficos elaborados (Fig. 12 e 13) permite afirmar que os meses em que ocorrem as máximas inundações variam de maio a julho; para as estações situadas na porção mais ocidental, principalmente em junho e julho, e, naquela situada mais a E, no mês de maio.

Os períodos de estiagem variam de outubro a dezembro, ocorrendo, principalmente em novembro, o máximo refluxo em todas as estações.

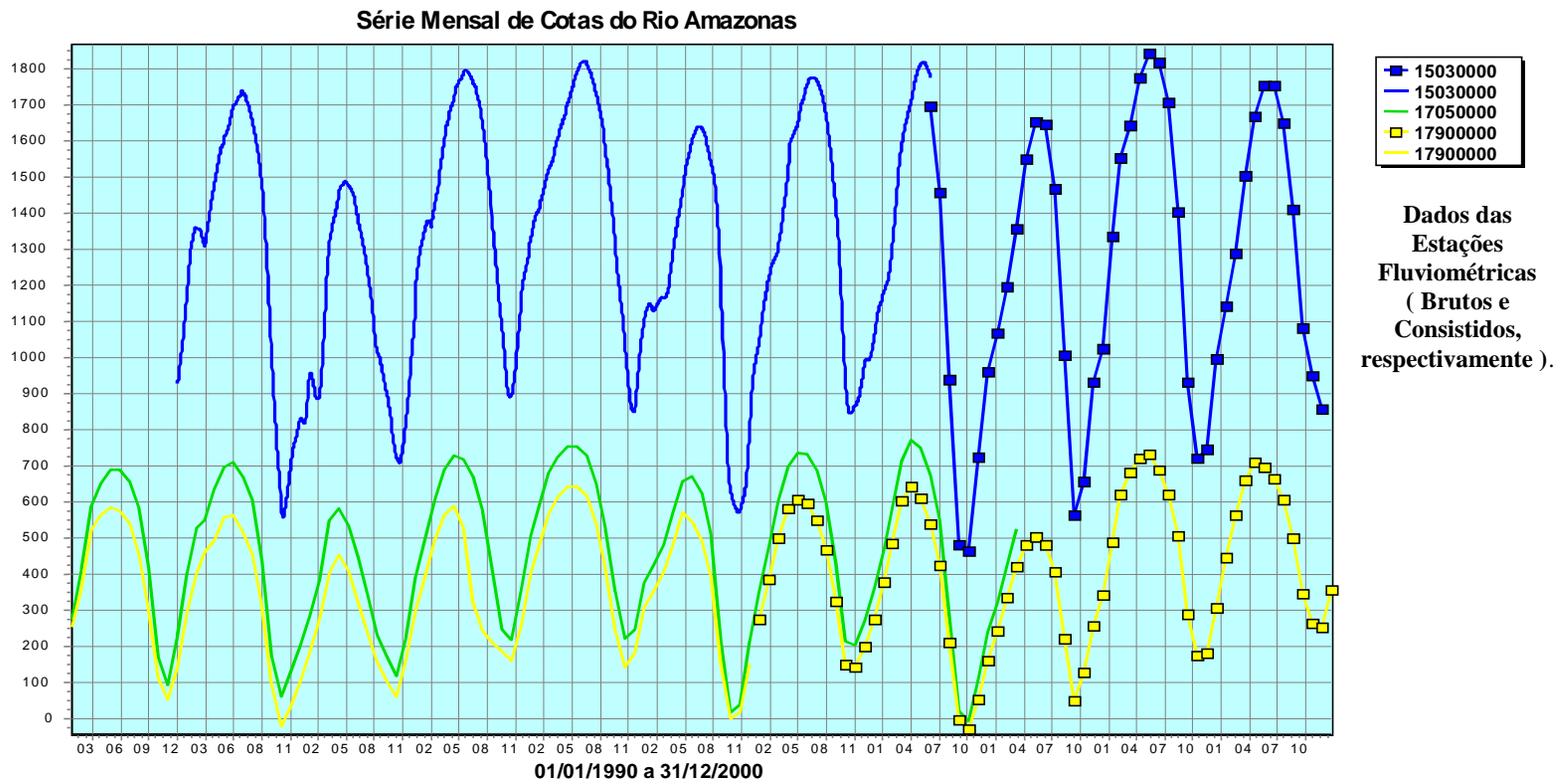


Fig. 12: Série Mensal de Cotas do rio Amazonas, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Amazonas
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para cada Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

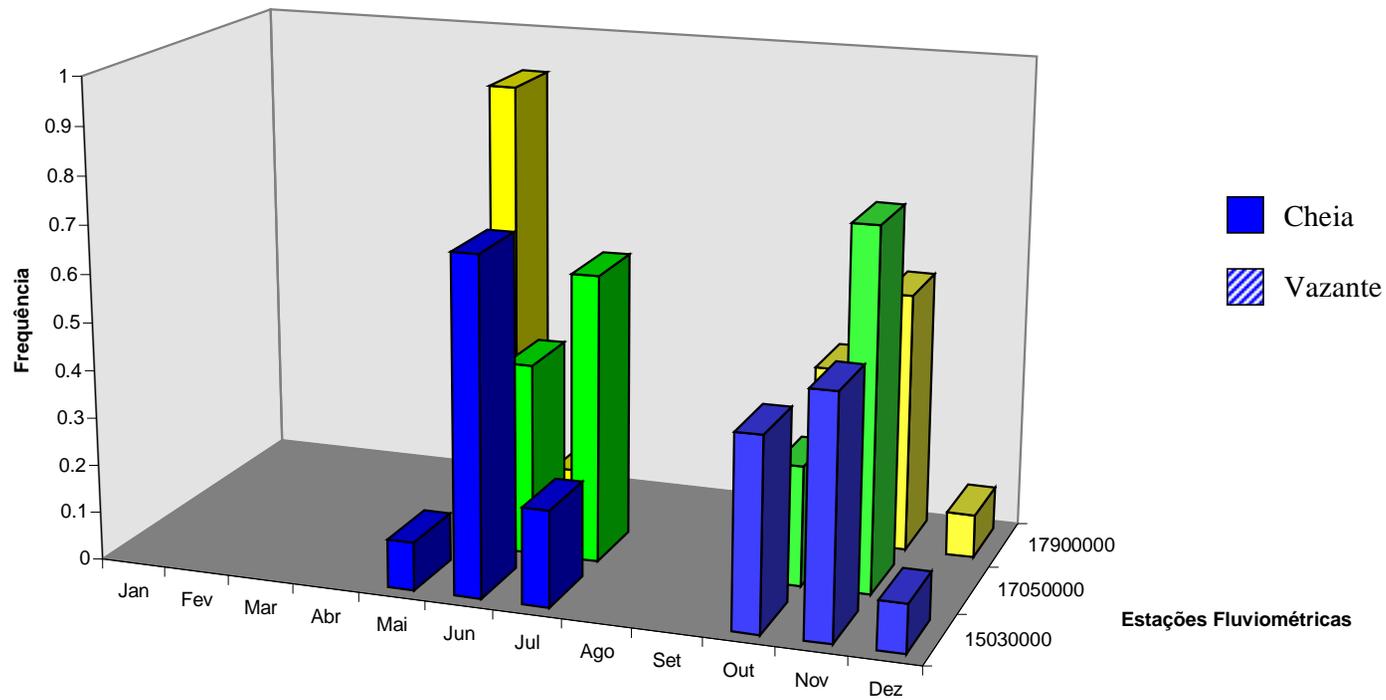


Fig. 13: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para cada estação fluviométrica localizada ao longo do rio Amazonas, no período de 1990-2000.

3.1.5.6 - Rio Jatapu

Esse rio é afluente, pela margem esquerda, do rio Uatumã, que é, por sua vez, afluente do rio Amazonas pela margem esquerda.

A única estação nesse curso de rio é a 16200000 (Base da SIDERAMA). O equipamento utilizado para as leituras de cotas são réguas de alumínio e, as anotações são sempre realizadas diariamente às 07 h e 17 h. A entidade operadora desde a sua instalação, em 1970, até 1998, foi a Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM); a partir dessa data, a estação passou para a responsabilidade da empresa Consultoria, Estudos e Projetos S/C Ltda. (COHIDRO). Nesse ínterim, há ausência de dados de 1990 a 1997, o que possibilitou uma avaliação hidrológica apenas durante um curto período (1998-2000).

O acesso à estação só pode ser realizado, por via fluvial, a partir de Manaus.

Nos últimos três anos da década de 90, as máximas cheias ocorreram nos meses de maio a julho, e, as vazantes extremas, no mês de dezembro (Fig. 14 e 15).

Cotas (cm)

Série Mensal de Cotas do Rio Jatapu

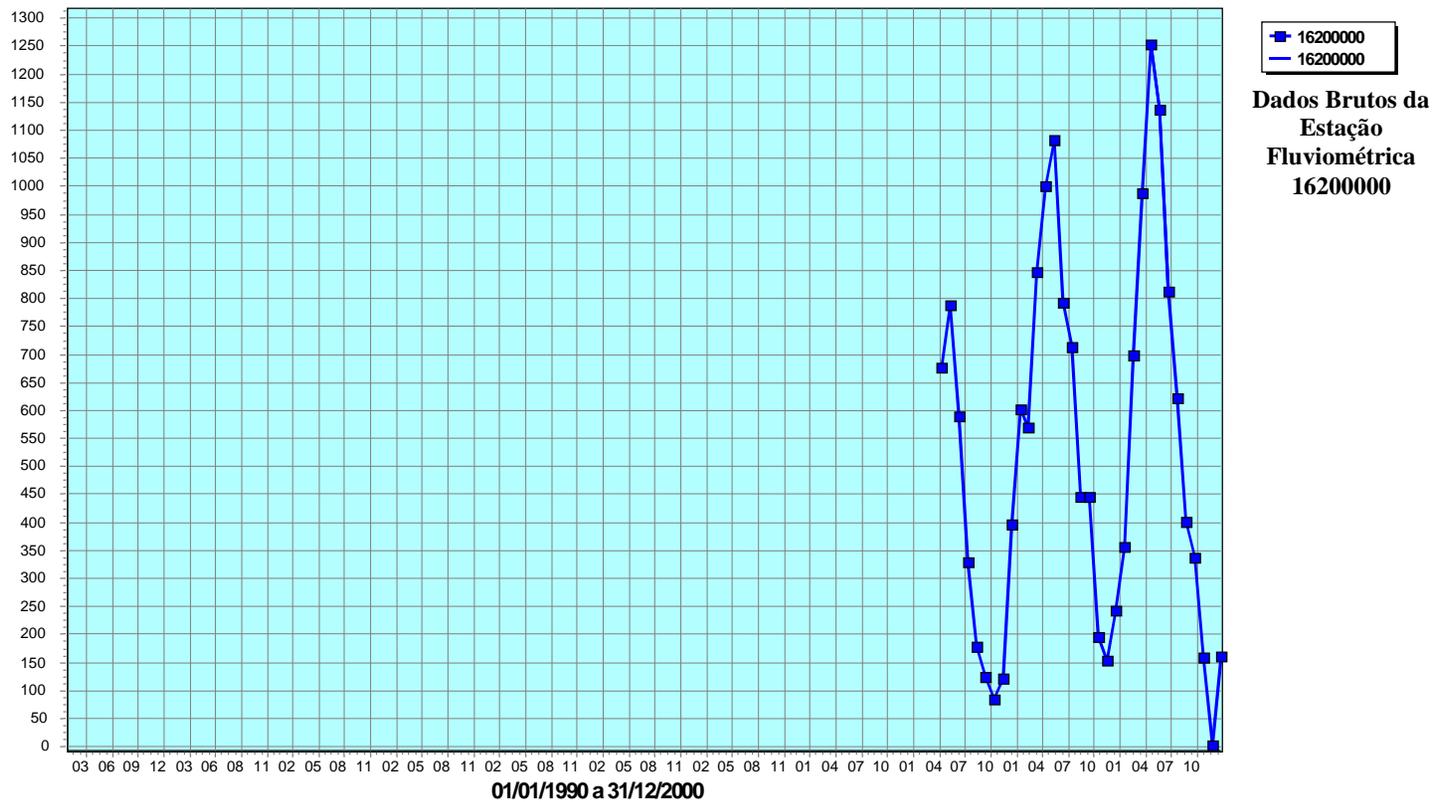


Fig. 14: Série Mensal de Cotas do rio Jatapu, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Jatapu
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para a Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

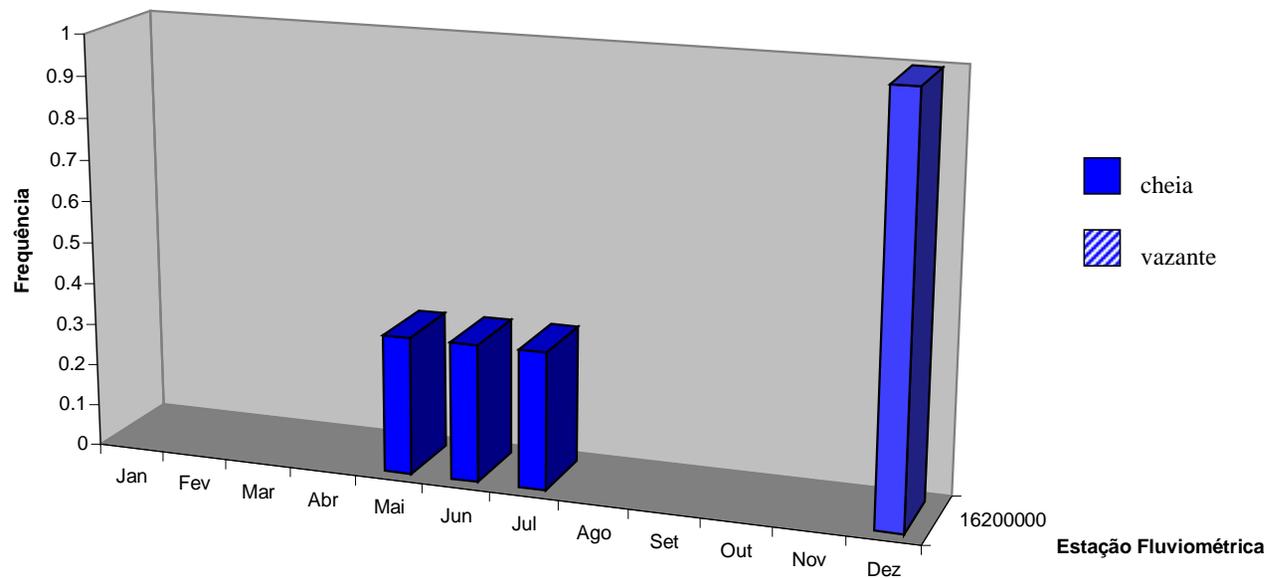


Fig. 15: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para a estação fluviométrica localizada ao longo do rio Jatapu, no período de 1990-2000.

3.1.5.7 – Rio Madeira

O rio Madeira é afluente do rio Amazonas pela margem direita; é formado pelos rios Beni e Mamoré, próximo à cidade de Vila Bela.

A estação da ANEEL de código 15940000 (Nova Olinda do Norte) forneceu os dados fluviométricos de 1995 a 2000; o acesso ao local pode ser feito pelo rio Amazonas, a partir de Manaus, até a foz do rio Madeira e, a partir desse ponto até a estação.

Os lances de miras dessas estações são de alumínio, fixados a estacas-suporte de madeira; os horários de observação são idênticos àqueles das estações localizadas em outros rios.

As figuras 16 e 17 mostram que as máximas cheias sempre aconteceram, durante o período considerado, no mês de maio, enquanto as vazantes máximas, nos meses de outubro e novembro.

Cotas (cm)

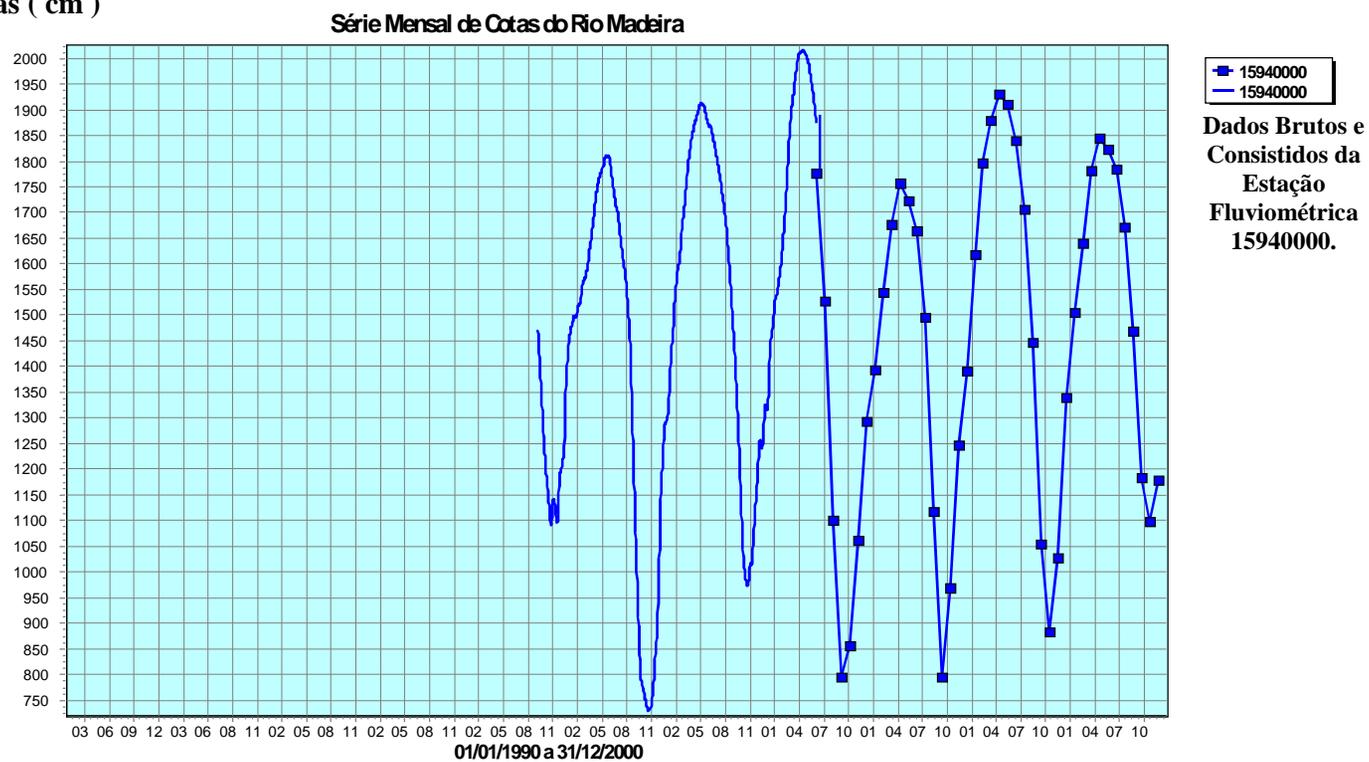


Fig. 16: Série Mensal de Cotas do rio Madeira, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

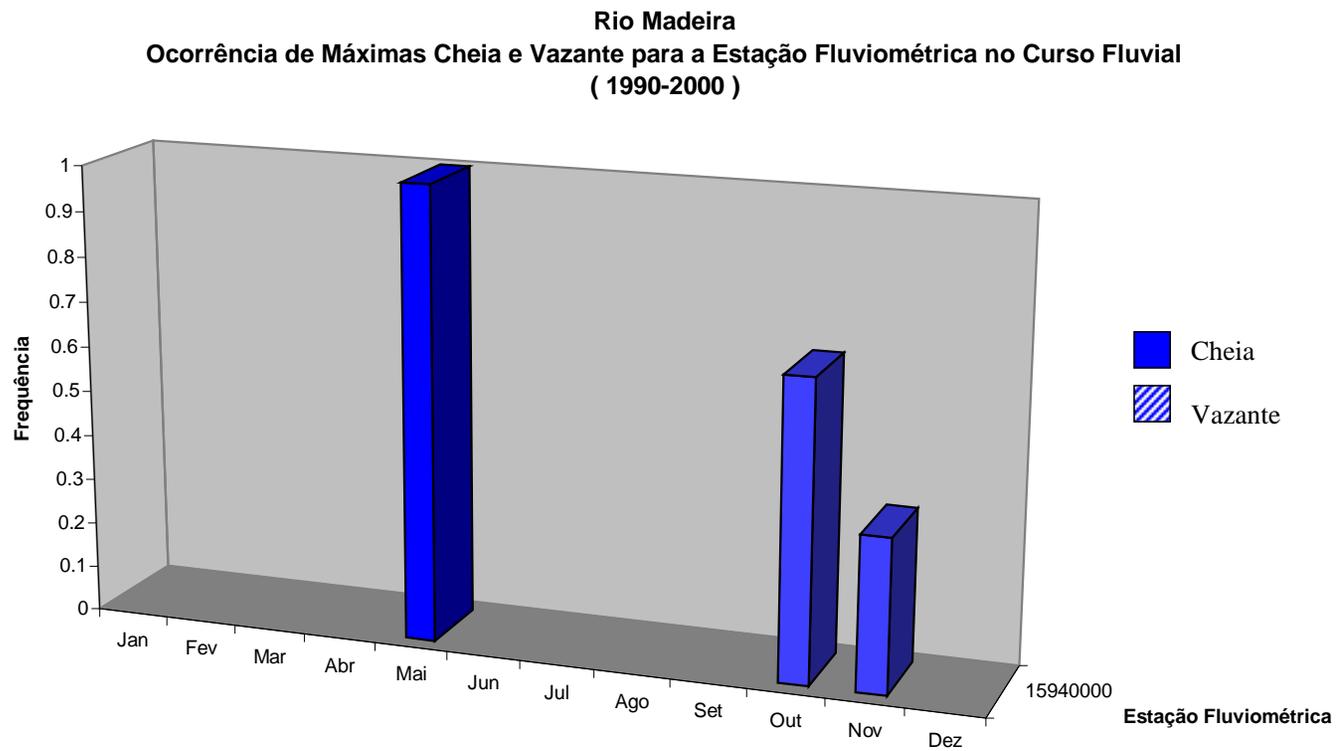


Fig. 17: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para a estação fluviométrica localizada ao longo do rio Madeira, no período de 1990-2000.

3.1.5.8 – Rio Curuá

O rio Curuá é afluente do rio Amazonas pela margem esquerda. A estação fluviométrica localizada mais próxima à sua foz, no Amazonas, é a 17090000 (Boca do Inferno), da ANEEL, com dados de 1990 a 2000, exceto para alguns meses de 1998.

O acesso ao local pode ser feito por rodovia ou por via fluvial, a partir de Santarém.

Tipos de equipamento de medição e horário de observações são os mesmos da estação descrita no rio Madeira.

Em abril e maio concentram-se as máximas inundações, enquanto que, em dezembro e janeiro, as máximas estiagens (Fig. 18 e 19).

Cotas (cm)

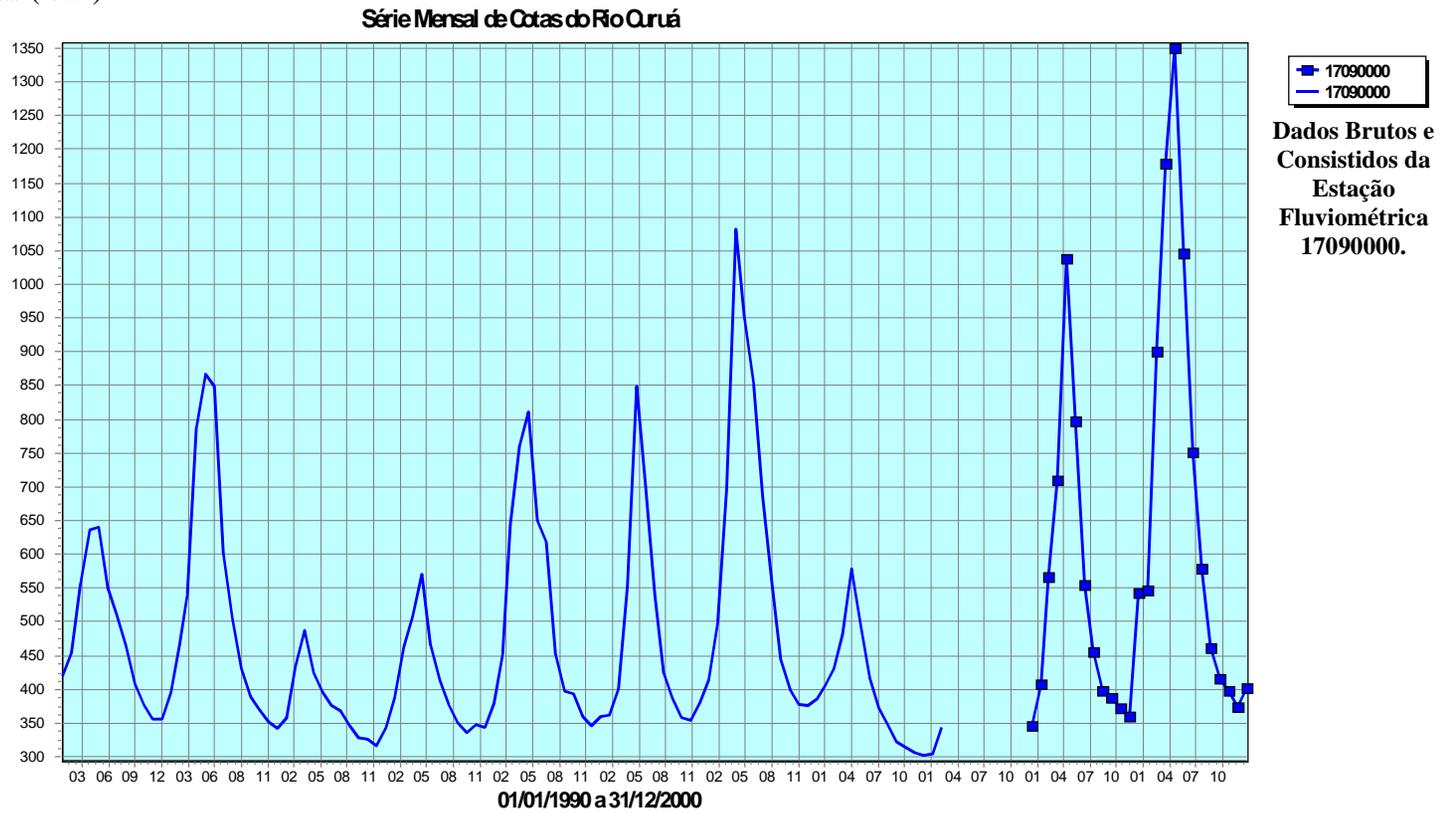


Fig. 18: Série Mensal de Cotas do rio Curuá, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Curuá
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para a Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

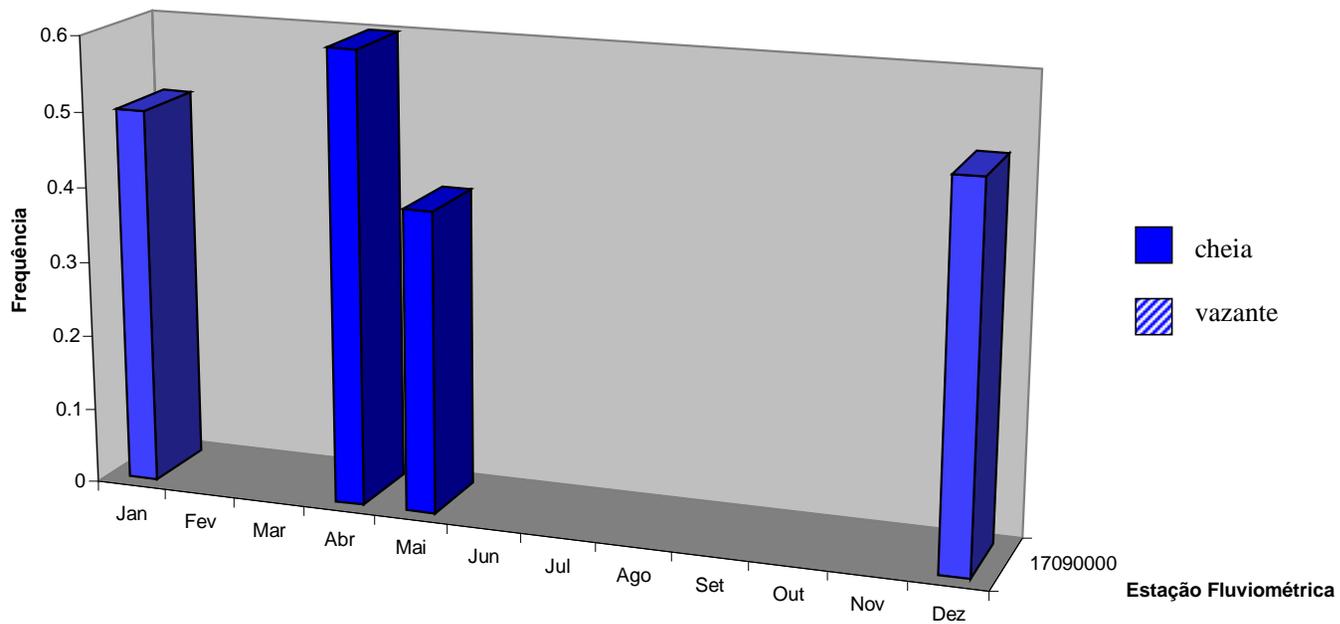


Fig. 19: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para a estação fluviométrica localizada ao longo do rio Curuá, no período de 1990-2000.

3.1.5.9 – Rio Xingu

Esse rio é um dos principais afluentes do rio Amazonas pela margem direita. Uma de suas estações – a de código 18900000 (Belo Monte) – forneceu dados de cotas de 1991 a 2000; suas inconsistências foram retificadas utilizando-se os mesmos procedimentos adotados nas demais estações.

O acesso a essa estação pode ser feito a partir da cidade de Altamira, por rodovia. A entidade operadora dessa estação é o Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores SA (CNEC/EN).

O período das máximas cheias varia de março a maio; as vazantes extremas ocorrem em outubro e, principalmente, em novembro (Fig. 20 e 21).

Cotas (cm)

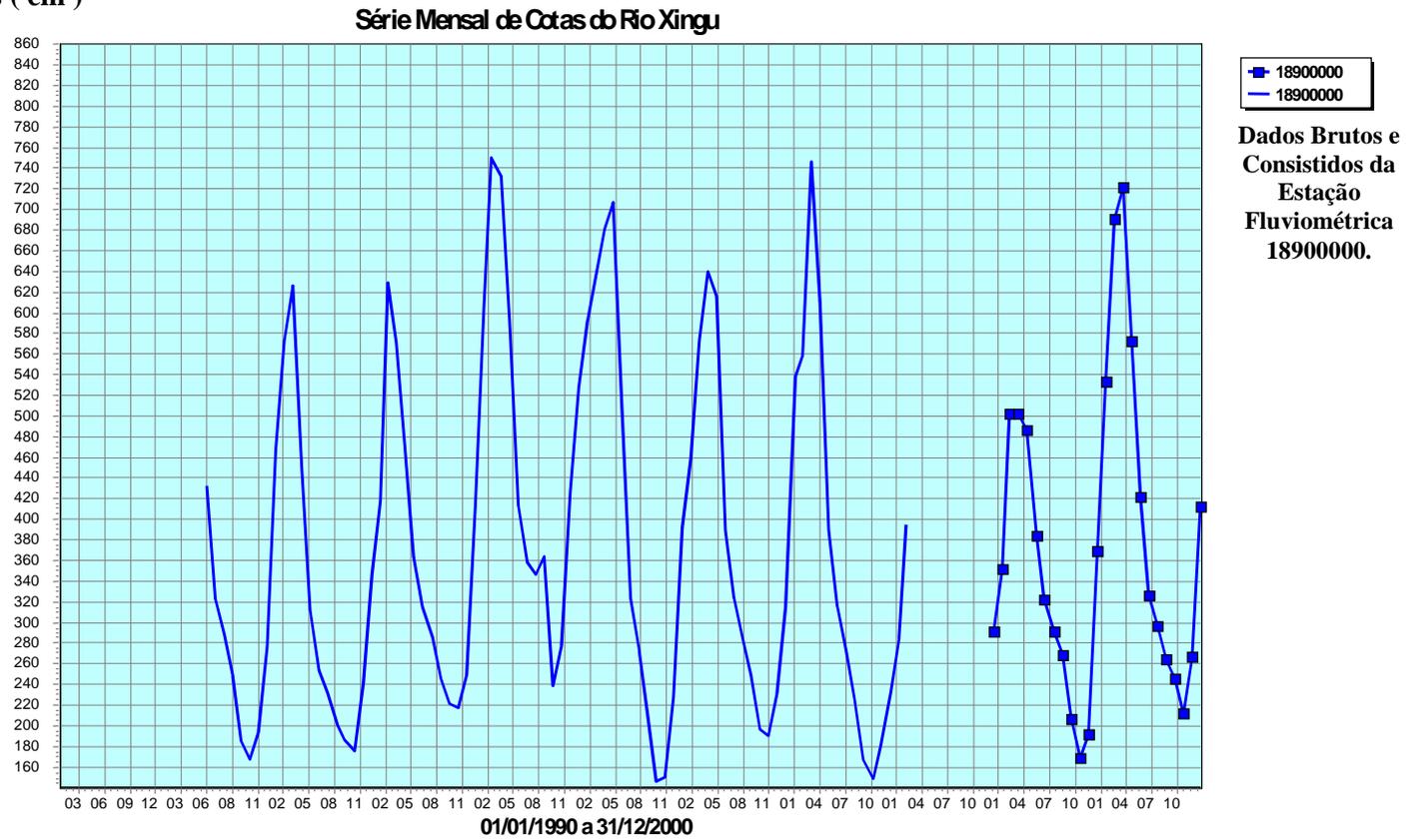


Fig. 20: Série Mensal de Cotas do rio Xingu, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Xingu
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para a Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

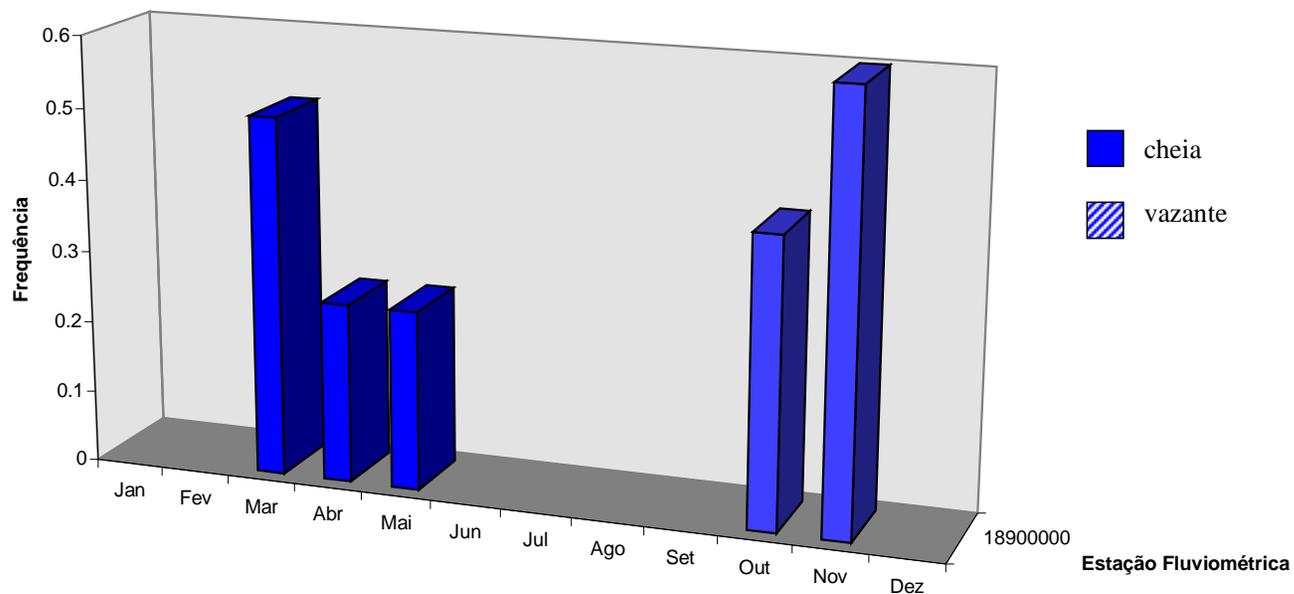


Fig. 21: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para a estação fluviométrica localizada ao longo do rio Xingu, no período de 1990-2000.

3.5.1.10 - Rio Caxiuanã/Anapu

Localizado à margem direita do rio Amazonas, esse rio nasce na Reserva Florestal de Caxiuanã.

A estação 19980000 (Caiçara), da ANEEL, forneceu dados completos de 1990 a 2000; seus equipamentos consistem de um único lance de réguas metálicas, fixado em coluna de madeira e de um linígrafo.

O acesso ao local é feito por via fluvial, a partir de Belém.

De fevereiro a abril ocorrem as máximas cheias; já a ocorrência dos períodos de máximas vazantes mostrou-se bastante variável na última década, oscilando entre os meses de julho e janeiro do ano seguinte, embora, na maioria das vezes, ocorresse em dezembro (Fig. 22 e 23).

Cotas (cm)

Série Mensal de Cotas do rio Anapu

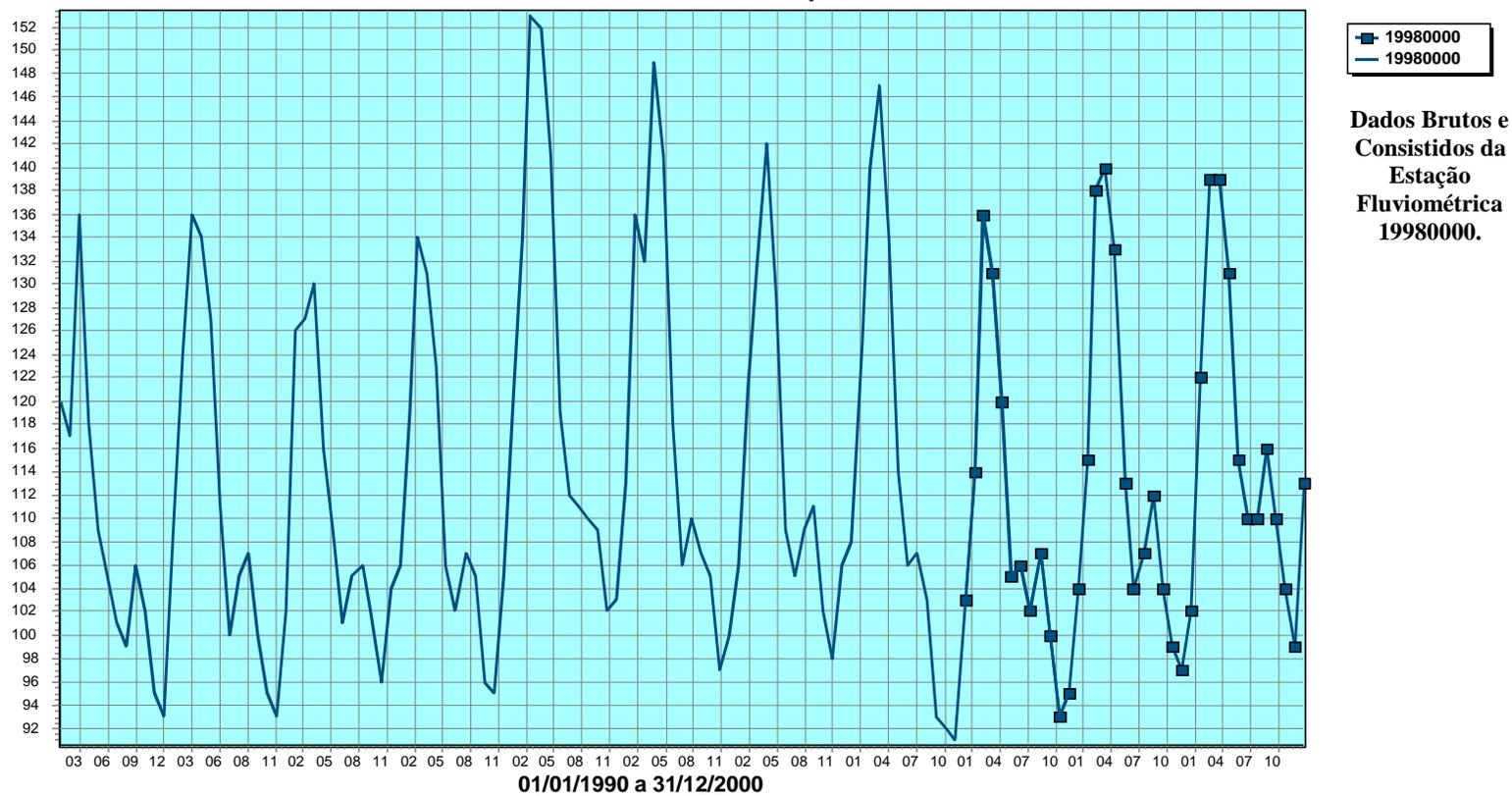


Fig. 22: Série Mensal de Cotas do rio Anapu, elaborada com o sistema HIDRO, da ANEEL.

Rio Anapu
Ocorrência de Máximas Cheia e Vazante para a Estação Fluviométrica no Curso Fluvial
(1990-2000)

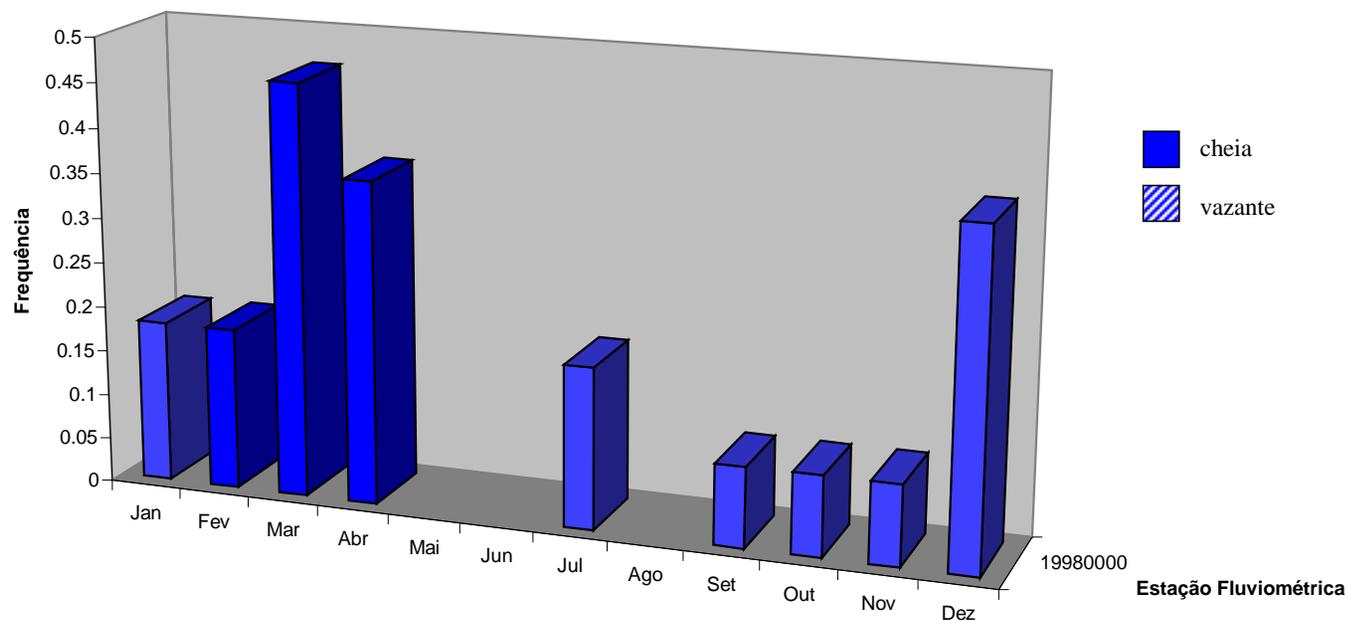


Fig. 23: Concentração anual dos períodos de máximas cheia e vazante para a estação fluviométrica localizada ao longo do rio Anapu, no período de 1990-2000

3.2 - VARIAÇÃO TEMPORAL DAS MÁXIMAS CHEIAS E MÁXIMAS VAZANTES

A variação dos períodos de máximas enchentes e vazantes no entorno do Complexo Solimões/Amazonas ao longo da década de 90 pode ser visualizada nos mapas gerados com o programa *Surfer 6.03* da *Golden Program Inc.* (Fig. 24 e 25).

De posse da Figura 24 observa-se que as máximas cheias, para o período considerado ocorrem, principalmente, nos meses de julho na porção mais ocidental da Bacia, e, à medida que aumenta a proximidade do Oceano Atlântico, as enchentes tendem a se antecipar (concentrando-se nos primeiros meses do ano, a partir de março). Esse comportamento evidencia a influência cada vez mais significativa das marés na porção oriental do Complexo.

Outra influência importante é oriunda do rio Branco (afluente do rio Negro pela margem esquerda), cuja nascente situa-se no hemisfério norte; visto que o período de máxima pluviosidade naquele hemisfério ocorre em julho, é exatamente nesse mês que o rio Branco apresenta sua máxima inundação, e, ao despejar seu grande volume de água no rio Negro, este, conseqüentemente, transbordará e apresentará, nas proximidades dessa confluência, seu período de máxima cheia também nesse mês. Outros afluentes menores provenientes do hemisfério norte – embora não representados na Figura 24 – também exercem tal influência.

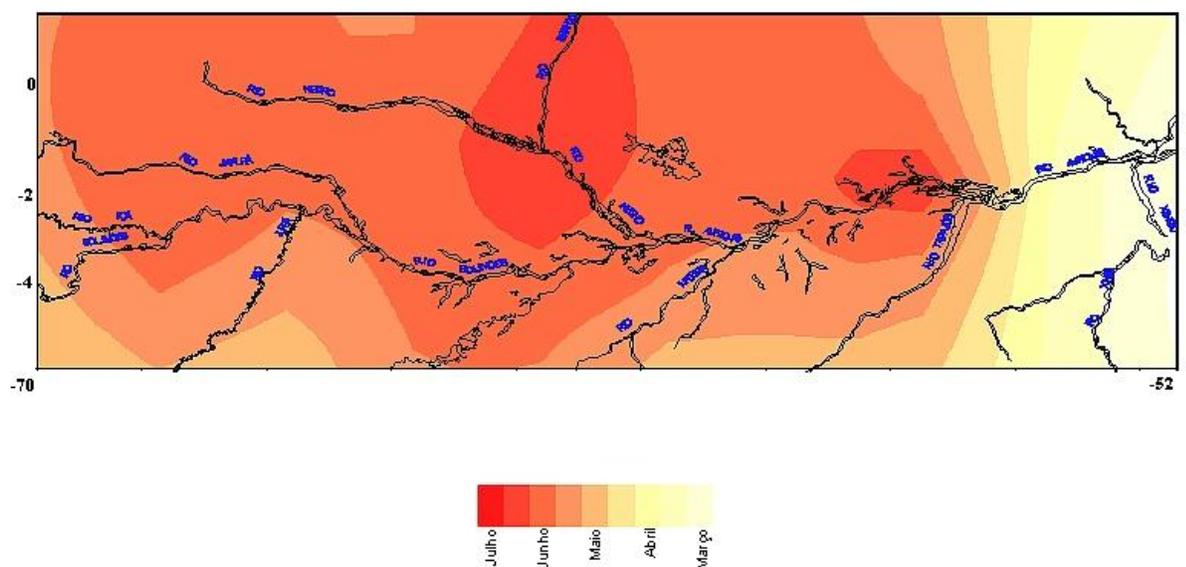


Fig. 24: Variação temporal dos períodos de máximas cheias no entorno da área de estudo (período de 1990-2000).

Em contraposição, os períodos de máxima estiagem no Complexo Solimões/Amazonas variam de setembro a março (Fig. 25); na parte ocidental da Bacia fluvial, a variação temporal ocorre na direção geral N-S, concentrando-se, na porção mais ao sul, nos meses de setembro a novembro, e, com a proximidade do hemisfério norte, de dezembro a março, resultado da influência dos índices pluviométricos relativamente mais baixos nessa época do ano naquele hemisfério.

Na porção oriental da Bacia nota-se também uma variação – embora menos acentuada – na direção geral N-S; nessa região as máximas secas ocorrem entre novembro e dezembro.

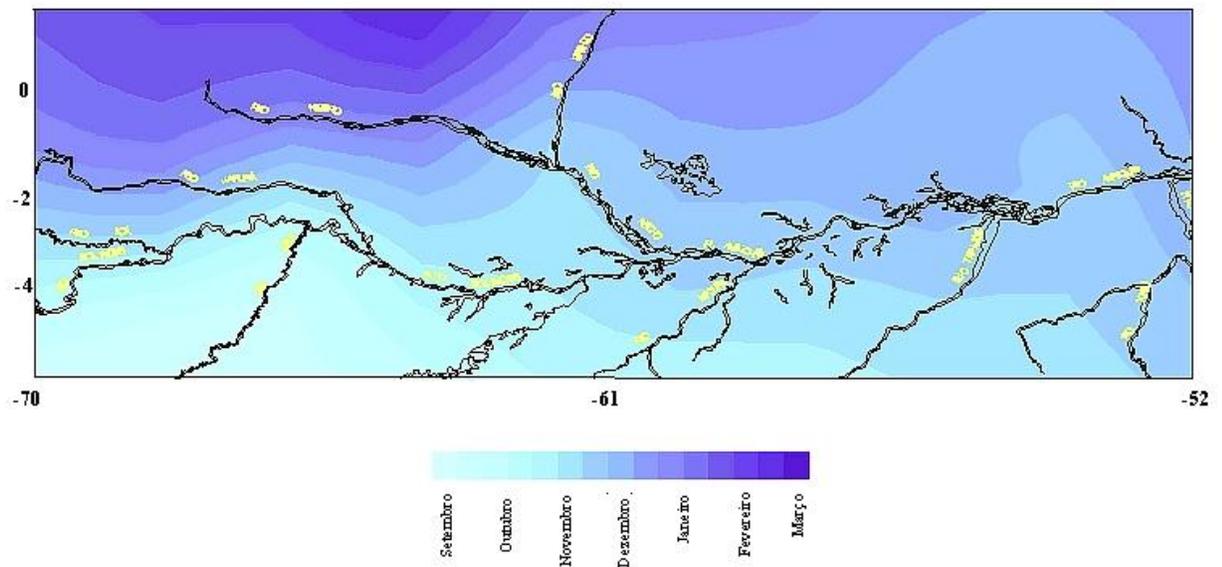


Fig. 25: Variação temporal dos períodos de máxima estiagem no entorno da área de estudo (período de 1990-2000).

É importante destacar que a ocorrência de fenômenos globais como o *El Niño* e a *La Niña* podem interferir no comportamento hidrológico da Região Amazônica, antecipando ou retardando os períodos extremos de oscilação fluvial.

O *El Niño* é um fenômeno resultante da interação atmosfera-oceano que ocorre em macroescala a intervalos irregulares; inicia-se a partir de alterações barométricas na atmosfera que alteram a circulação oceânica. No Pacífico, nas proximidades do Peru, esse fenômeno gera um aquecimento médio de 3°C a 4°C nas águas superficiais e, ao inibir a ressurgência

típica da região – que normalmente traz águas frias e ricas em nutrientes à superfície – há um desaparecimento total das anchovas. Por ser um fenômeno bem conhecido pelos pescadores peruanos e por ter sido, ao longo dos anos, observado nas áreas pesqueiras próximo à época do Natal, ele foi batizado com esse nome em alusão ao “menino Jesus”, embora possa se manifestar em outras épocas do ano (UNESCO, 1992).

Em contraste ao *El Niño*, o *La Niña* é uma anomalia menos intensa que torna as águas tropicais do Pacífico mais frias que o normal.

3.3 – MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA

3.3.1 - A REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DOS CURSOS FLUVIAIS

Na Bacia Amazônica distinguem-se, quanto às condições de navegabilidade, dois tipos de rios (MIGUENS, 1981):

- a) rios que permitem navegação com características oceânicas: rio Amazonas e trechos de alguns de seus grandes afluentes;
- b) rios onde a navegação neles conduzida têm características próprias, bem diferentes da navegação oceânica: rio Solimões e diversos de seus afluentes e, também, diversos afluentes do Amazonas.

Deve-se sempre ressaltar que, ao longo de cursos fluviais, a navegação praticada sempre deve ser considerada como *navegação em águas restritas*, mesmo que os rios ofereçam boas condições de navegabilidade (MIGUENS, 1981).

Para garantir a segurança da navegação nas hidrovias interiores são necessários alguns fatores (MIGUENS, 1981):

- 1) existência de documentos cartográficos atualizados que representem a hidrovia em escala adequada;
- 2) existência de uma sinalização náutica eficiente que indique ao navegante o trecho do canal mais adequado à navegação e/ou os perigos a evitar;
- 3) existência de um sistema de navegação do nível do rios em várias estações fluviométricas ao longo da hidrovia;
- 4) existência de publicações de segurança da navegação;
- 5) familiarização dos navegantes com o trajeto;

- 6) emprego de métodos e técnicas próprios da navegação fluvial;
- 7) utilização de embarcações adequadas para esse tipo de navegação.

Na Bacia Amazônica, o principal meio de locomoção se dá, certamente, através da navegação fluvial. O alcance de locais inacessíveis só pode ser realizado, em grande parte, graças às hidrovias. Assim, torna-se imprescindível a existência de documentos cartográficos atualizados e que indiquem, com elevado grau de confiabilidade, o traçado dos cursos fluviais perenes. Como todo o Complexo Solimões/Amazonas sofre as conseqüências da subida e do recuo das águas ao longo do ano, não se pode mapear a área sem considerar a existência de pelo menos dois elementos hidrográficos: os cursos fluviais permanentes por onde podem ser conduzidas as embarcações ao longo de todo o ano – aparentes no período da vazante máxima – e as áreas sujeitas à inundação, detectadas em toda sua extensão, na máxima cheia.

Para cartografar esses elementos, deve-se, inicialmente, estabelecer as datas das máximas cheia e vazante ocorridas nos últimos anos. Isso pode ser feito analisando-se as séries históricas de cotas de um certo período, além da análise de informações estatísticas que forneçam as datas de nível máximo e mínimo dos rios durante o período de tempo considerado.

Optando-se pelo mapeamento através de Sensoriamento Remoto, parte-se, em seguida, para a fase de aquisição das imagens orbitais referentes às datas pré-estabelecidas, que irão servir de base para o traçado da hidrografia.

Como documentos cartográficos essenciais à segurança da navegação destacam-se as *Cartas Sistemáticas Fluviais* produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. Essas cartas são oriundas de levantamentos hidrográficos sistemáticos e tradicionais, englobando serviços de Astronomia de Campo, Geodésia (triangulação e poligonais principais), de Topografia (realização de estações de apoio à sondagem, de nivelamentos geométricos e trigonométricos, etc.), de observação de marés ou de nível de rio e operações de sondagem batimétrica e geológica (MIGUENS, 1981).

Nessas cartas fluviais são representadas as profundidades, as linhas isobatimétricas e informações preciosas ao navegante, como presença de bancos, pedras, cascos soçobrados, obstáculos submersos, etc.

Segundo MIGUENS (1981), nos rios ocorrem modificações naturais freqüentes em seu relevo subfluvial que alteram as condições de navegação, podendo, até mesmo, mudar o canal de navegação. Em função disso, as cartas fluviais devem ser sempre atualizadas para que não fiquem obsoletas. Isso normalmente é feito através da edição de trechos de cartas, com correções para os locais em que houve alterações.

Atualmente, a DHN ainda não utiliza imagens de satélite para cartografar os cursos fluviais e sua política com relação ao levantamento hidrográfico e à Cartografia Náutica da Bacia Amazônica é, em resumo, manter atualizado o traçado da calha principal dos rios Solimões e Amazonas (corresponde somente ao talvegue, sem representação para a área de máxima inundação, que, dependendo da época do ano, também poderá ser utilizada para navegação).

Outros documentos cartográficos confiáveis que representam algumas partes da Região Amazônica, são as *Cartas* (ou *Folhas*) *Topográficas, na escala 1:250.000 e 1:100.000*, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército do Brasil, ambos da década de 80; nessas cartas, o curso fluvial se refere à data de tomada das fotografias aéreas (não informada na cartas). O leito fluvial, em geral, não corresponde àquele da máxima estiagem, e, sim, a um leito cartografado em uma época do ano arbitrária, não coincidente com o período da máxima seca; as áreas alagadas são, nesses documentos, denominadas de *Terreno Sujeito à Inundação*.

Existem, ainda, em algumas áreas da Bacia Amazônica, as *Cartas Imagens de Radar* e as *Cartas Planimétricas* do PROJETO RADAM, da década de 70; como resultado da interpretação da planimetria e compilação dos dados toponímicos realizados por esse Projeto e com o apoio de imagens orbitais, a DSG produziu, na década de 80, algumas *Cartas Imagens de Satélite* e de *Radar* da Bacia (convênio DNPM-RADAMBRASIL-DSG). A mesma problemática da representação dos elementos de hidrografia a partir de dados de uma época do ano aleatória está presente nesses documentos, o que reforça, ainda mais, a necessidade de produzir cartas na escala 1:250.000 mais recentes e que representem o traçado real dos principais cursos fluviais e afluentes do Complexo Solimões/Amazonas. Nesse sentido, o uso de imagens de satélite mostra-se uma alternativa bastante viável, como será visto adiante.

3.3.2 – O SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA A CARTOGRAFIA

A Cartografia surgiu a partir da necessidade do homem de conhecer, com detalhes, o mundo em que vivia e, documentá-lo, para, assim, poder transmitir esse conhecimento a

outros membros da sociedade (PEZOTTI *et alli*, 1994 *apud* AUGUSTO *et alli*, 1998). Uma das incumbências da Cartografia é a representação espacial das alterações ocorridas no meio geográfico ao longo do tempo através dos mapas – documentos de suma importância cuja função é correlacionar a realidade terrestre à sua representação pictórica, apreendendo elementos da paisagem como relevo, área urbana, hidrografia, uso do solo etc (AUGUSTO *et alli*, 1998).

Quando alterações naturais ou antrópicas ocorridas ao longo do tempo não são registradas nos mapas, a credibilidade desses registros passa a ser contestada.

O processo de atualização cartográfica possibilita a manutenção da fidelidade das informações cartográficas e, atualmente, com o aperfeiçoamento de técnicas computacionais, do uso de dados com resoluções satisfatórias provenientes de satélites sofisticados, da implementação do sistema *GPS* (*Global Positioning System*) e de outros progressos tecnológicos, esse processo tornou-se menos demorado e oneroso.

A partir da década de 60, a corrida espacial permitiu o aperfeiçoamento de foguetes que se tornariam, posteriormente, plataformas de lançamento de satélites, dando início, então, ao segundo período da história do Sensoriamento Remoto, no qual a utilização de fotografias aéreas deixa de ser predominante e a multiplicidade dos sistemas sensores torna-se a característica principal (NOVO, 1995).

Além disso, a característica sinóptica das imagens orbitais , aliada à sua repetitividade e ao surgimento de sensores com resolução cada vez mais fina – espacial, espectral e temporal – confere às mesmas a característica de uma ferramenta poderosa no processo de atualização das informações cartográficas (SANTOS *et al.*, 2001).

3.3.3 – PRINCIPAIS SENSORES ORBITAIS VOLTADOS PARA ESTUDOS TERRESTRES

Em 1972, os Estados Unidos lançaram o primeiro satélite cuja finalidade consistia no levantamento de recursos terrestres – o ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*), renomeado, posteriormente, de LANDSAT-1. A participação efetiva da comunidade científica na especificação dos sensores a serem transportados a bordo desse satélite foi uma das

garantias do sucesso da operação e de sua continuidade através de novas plataformas orbitais e sensores cada vez mais sofisticados (Apêndice 2).

Segundo NOVO (1995), algumas características dos satélites da série LANDSAT foram definidas de modo a satisfazer os requisitos necessários para que inúmeros estudos sobre os recursos naturais pudessem ser conduzidos a partir das imagens por eles geradas:

- órbita circular, garantindo a mesma resolução e escala para todas as imagens, mesmo que de diferentes regiões da Terra;
- ciclicidade, permitindo que um mesmo local da Terra fosse imageado repetidas vezes (ideal para estudos sazonais/deteção de variações temporais);
- órbita heliossíncrona, permitindo condições de iluminação constantes da superfície terrestre;
- horário de passagem do satélite que atendesse às solicitações de diferentes áreas de aplicação (assim, o horário de passagem pela manhã foi selecionado considerando-se o fato de que a incidência de nuvens, em grande parte da superfície terrestre, é maior à tarde).

Ao longo da operação dos satélites dessa série, melhorias nas resoluções espacial e radiométrica e nas faixas espectrais (aumento do número de canais) surgiram como resultado do avanço científico e tecnológico.

A partir do quarto satélite da série LANDSAT, sua carga útil incorporou o sensor TM (*Thematic Mapper*), operando em sete faixas espectrais. Esse sensor consiste em um sistema de varredura multiespectral avançado com resolução espacial de 30 m (exceto na faixa do infravermelho termal, que corresponde a 120 m), boa discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e precisão radiométrica quando comparado ao antigo sensor da série (atualmente, com o LANDSAT 7, houve um aumento da resolução espacial para 15 m) Uma breve descrição das faixas espectrais do sensor TM, e suas respectivas aplicações encontram-se no Apêndice 3.

Outros satélites voltados para estudos terrestres foram lançados após o primeiro satélite da série LANDSAT: o francês SPOT (melhor resolução espacial que o LANDSAT, porém, operando somente com quatro bandas espectrais e com área de recobrimento de 60 km x 60 km (menor que a do LANDSAT, de 185 km x 185 km); os satélites europeus da série ERS (o primeiro lançado a partir de 1991), com sensores na faixa das microondas; e, o japonês JERS, lançado em 1992, com sensor óptico com quatro bandas sensíveis à radiação da porção visível do espectro eletromagnético e uma sensível à faixa do infravermelho próximo, além de radar.

Além de haver, no Brasil, uma infra-estrutura para recepção, processamento e distribuição de dados do sistema LANDSAT, através do Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE), esse sistema representa – no atual estado da arte – a fonte de dados de Sensoriamento Remoto com maior continuidade ao longo do tempo (NOVO, 1995). Esse aspecto torna-se importante para este trabalho face à necessidade de dados pretéritos para se realizar o mapeamento dos elementos hidrográficos de uma região onde o regime fluvial oscilatório exige um levantamento histórico de cotas para estabelecimento das duas datas mais significativas ao longo de um período de tempo considerável (no caso desta pesquisa, dados da última década para se determinar as datas das máximas cheia e vazante). Além disso, a faixa de recobrimento considerável de cada cena LANDSAT 5/TM^{*2} é outro aspecto favorável à sua escolha para se realizar o mapeamento de uma área continental tão vasta como a Amazônia, significando, em comparação aos outros satélites, uma redução significativa na quantidade de imagens a serem adquiridas e, conseqüentemente, no custo do projeto.

Em contraposição, por operarem na faixa óptica do espectro eletromagnético, um grande inconveniente – para fins de mapeamento – das imagens LANDSAT TM sobre áreas de florestas pluviais é a detecção de nuvens, abundantes sobre essas regiões.

A análise prévia de uma série de amostras das cenas da área de interesse (*quick-looks*) permite selecionar a imagem onde a cobertura de nuvens é menos significativa e, nos casos onde há impossibilidade de aquisição de uma cena inteira livre de nebulosidade, a aquisição de várias cenas aliada a técnicas de mosaicagem permite suavizar esse problema.

Imagens orbitais de RADAR de áreas tropicais, por operarem na faixa das microondas – que atravessam nuvens – mostrariam-se como uma solução viável para esse problema e permitiriam um bom imageamento, mesmo sob condições atmosféricas ruins; porém, a obtenção de pelo menos duas cenas distintas de RADAR de anos passados (nas datas específicas de máximas cheia e vazante) torna-se praticamente inviável, visto que esses produtos são, na maioria das vezes, gerados a partir de solicitações para datas futuras onde os sensores são programados para imagear uma área específica com ângulo, modo de operação e periodicidade pré-determinados – que nem sempre irá atender aos requisitos necessários a um mapeamento sistemático da Bacia Amazônica.

² O satélite LANDSAT7, com o sensor ETM+, só foi lançado em 1999, e, como será exposto adiante, as datas das cenas usadas neste trabalho são de 1997, razão da utilização apenas de dados do LANDSAT5/TM.

3.3.4 - DEFINIÇÃO DA ÁREA-TESTE PARA MAPEAMENTO E SUA RESPECTIVA IMAGEM DE SATÉLITE

A escolha da área-teste da Bacia Amazônica na qual serão realizados testes de processamento digital com fins ao mapeamento da hidrografia baseou-se, principalmente, nos seguintes critérios:

- existência de estação fluviométrica com Série Histórica de Cotas no período compreendido entre 1990-2000 o mais completa possível e com dados confiáveis;
- área com hidrografia bastante representativa (presença do rio principal e seus vários afluentes e extensa área de inundação);
- existência de pontos de controle de campo obtidos com GPS.
- existência de documentos cartográficos em meio digital que pudessem servir como apoio ao georreferenciamento das imagens;

A Cartografia recomenda a utilização, em caso de mapeamento de áreas extensas como a Região Amazônica, (onde a densidade demográfica é inferior a 1 hab/km²), da escala 1:250.000, razão pela qual a mesma foi adotada para o mapeamento neste trabalho.

A área-teste localiza-se entre as latitudes 2° S e 3°S e as longitudes 54° W e 55° 30' W, correspondente à carta 1:250.000, MIR 98, denominada *Santarém* (Fig. 26).

Nesse trecho da Bacia os documentos cartográficos existentes (em meio analógico e digital) são:

- carta topográfica da DSG na escala 1:250.000 (SA. 21-Z-B), de 1983;
- cartas topográficas da DSG na escala 1:100.000 (SA. 21-Z-B-I, II, III, IV, V e VI), de 1982/1983;
- carta planimétrica do Projeto RADAM na escala 1:250.000, de 1976.

Após definição da área-teste, definiu-se, através dos mapas de variação temporal dos períodos de máximas cheia e vazante (Fig. 24 e 25) e da Série Histórica de Cotas e dos dados estatísticos da estação fluviométrica localizada na área em questão – a de código 17900000, localizada no Porto de Santarém – que, ao longo da década de 90, o ano de 1997 foi o mais representativo em termos de variação dos níveis fluviais, apresentando, para essa região, a maior enchente da década no mês de maio e a máxima vazante em outubro/ novembro, ambos no mesmo ano.

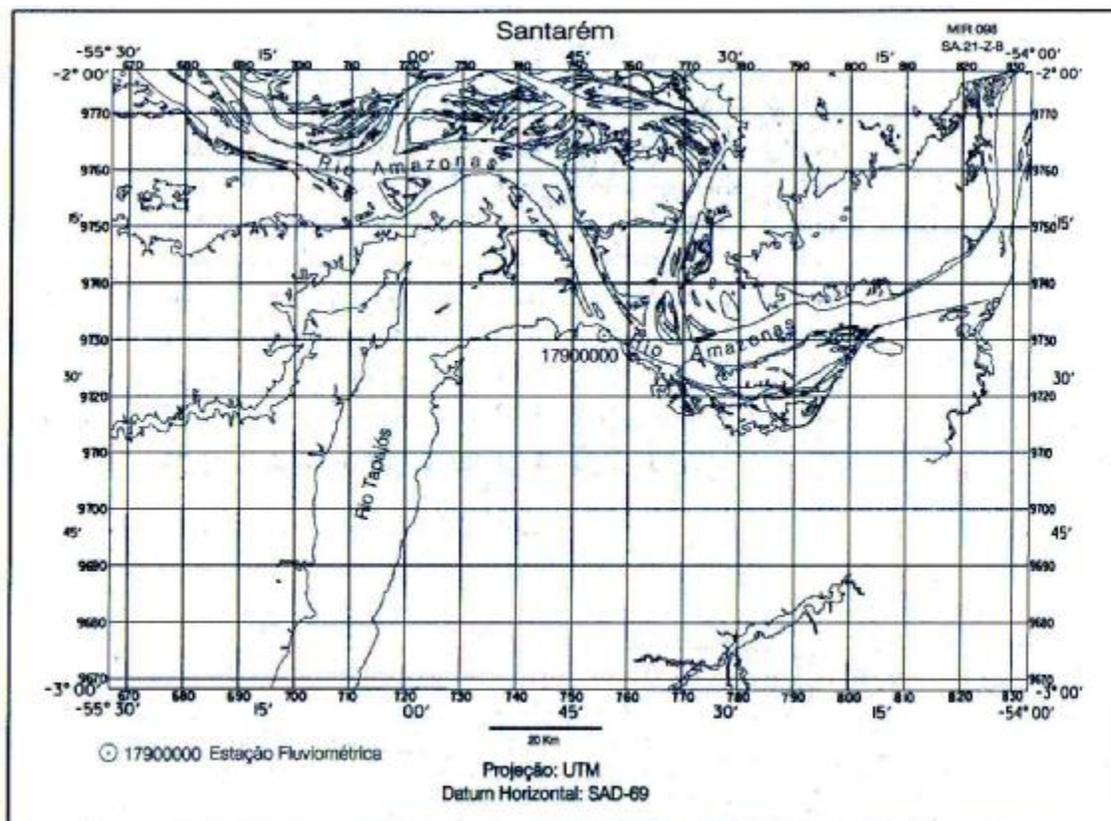


Fig. 26: Delimitação da área de estudo, adaptada a partir da Carta Planimétrica Santarém (RADAM), com destaque para a hidrografia.

A ocorrência – no mesmo ano – da maior oscilação fluvial registrada na década de 90 torna-se justificável graças ao fenômeno *El Niño*, que teve, nesse período, sua grande expressão no ano de 1997.

Através de consulta à CDteca do INPE (<http://www.dgi.inpe.br>), situada em São José dos Campos, foi localizada a cena LANDSAT 5/TM que recobre a maior parte da área-teste – órbita 227/ponto 062 (Fig. 27) – tomada nas duas datas críticas, anteriormente estabelecidas a partir do estudo hidrológico preliminar: 15/10/1997 e 24/05/1997 (Fig. 28 e 29). Essas imagens foram cedidas pela Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE, exclusivamente para fins de pesquisa.

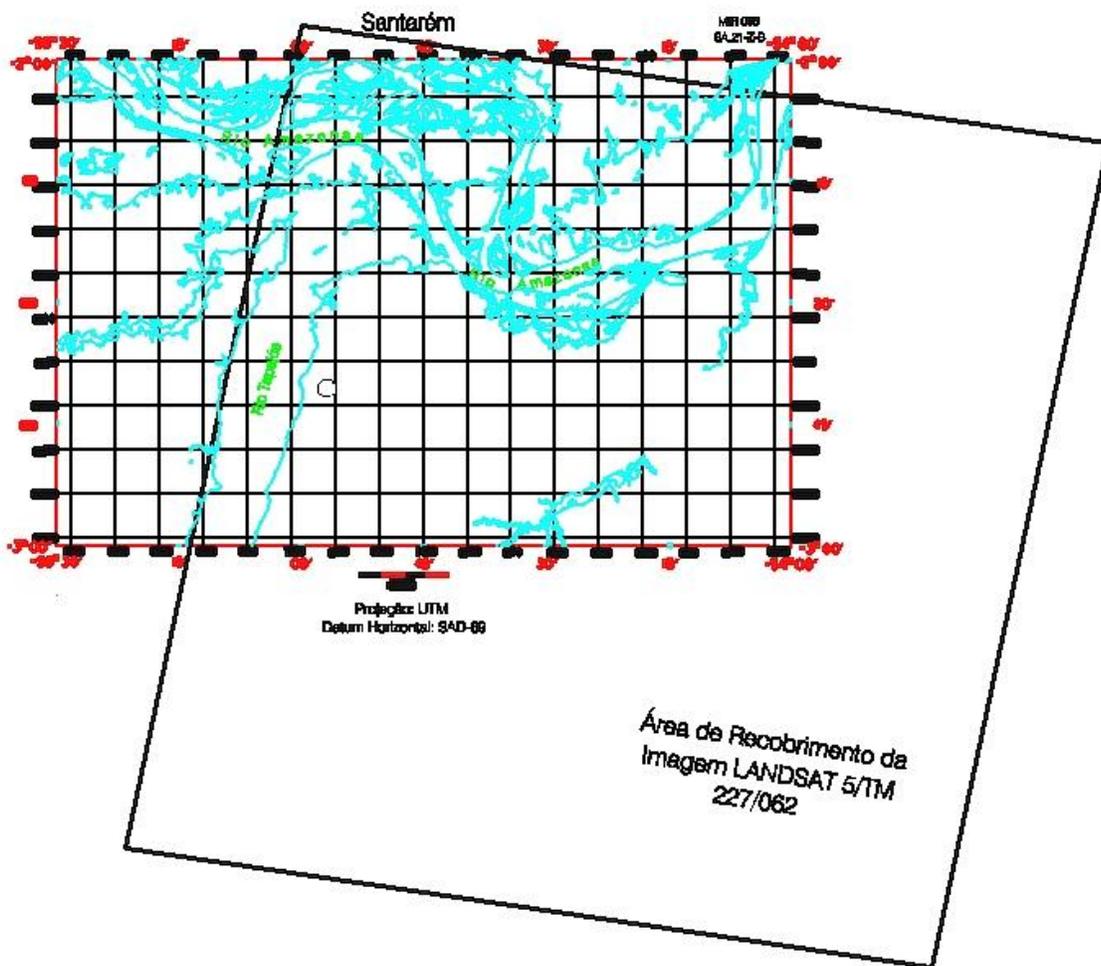


Fig. 27: Área de recobrimento das imagens LANDSAT5/TM, 227/062 (24/05/97 e 15/10/97), cedidas pelo INPE.

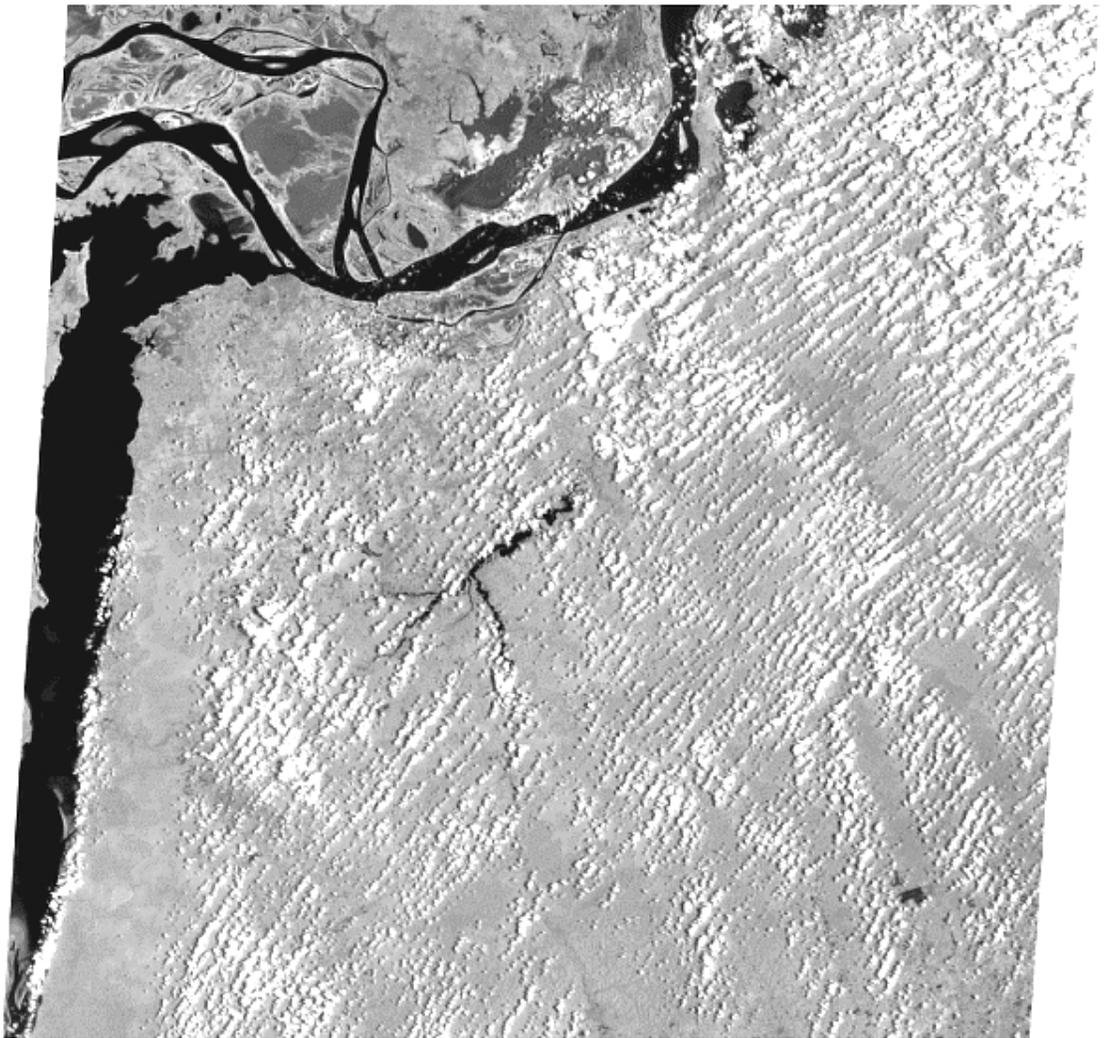


Fig. 28: Imagem LANDSAT5/TM, banda 4, de 15-10-97 (seca), cedida pelo INPE.

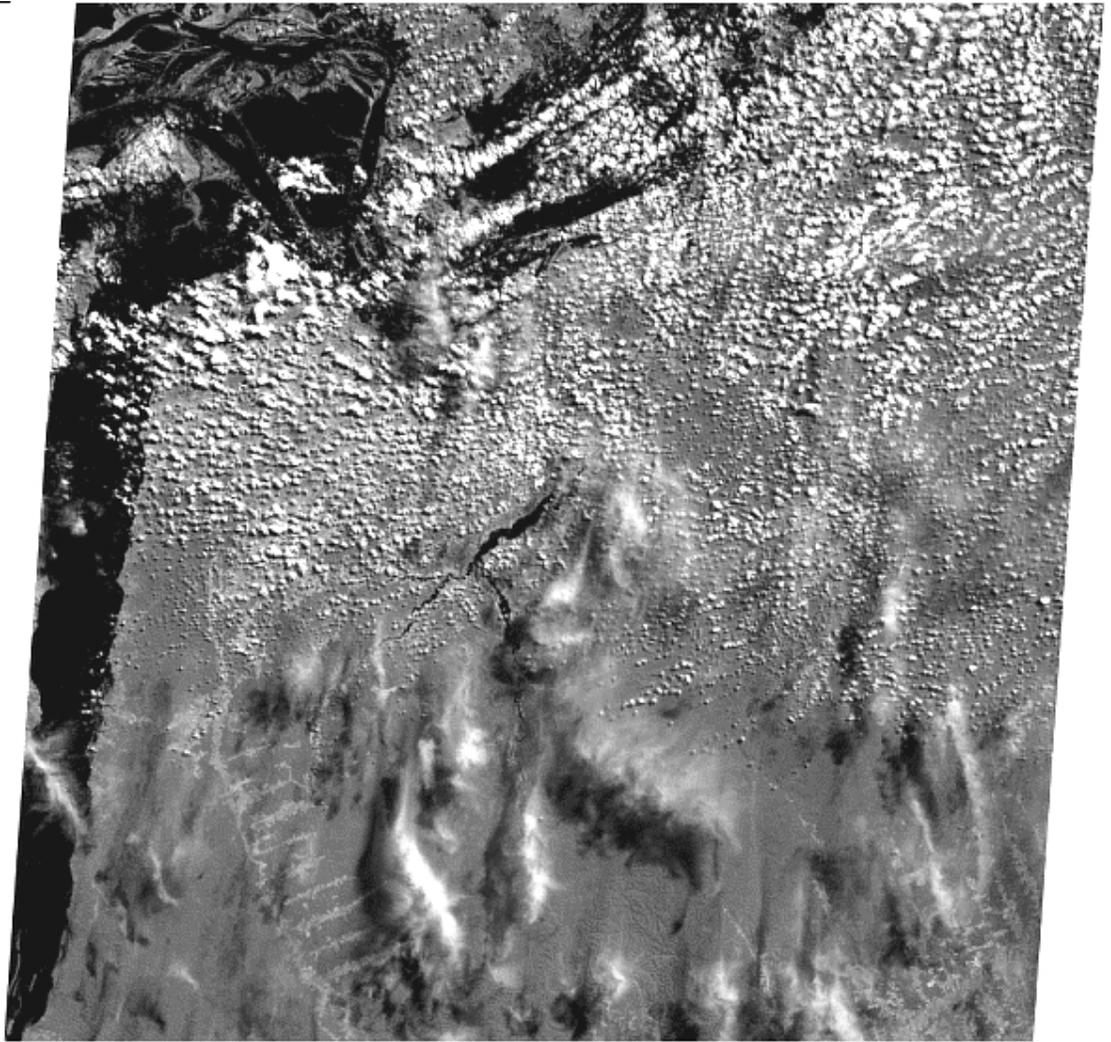


Fig. 29: Imagem LANDSAT5/TM, banda 4, de 24-05-97 (cheia), cedida pelo INPE.

3.3.5 - DESCRIÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT 5 – TM

As imagens LANDSAT 5/TM cedidas em CD-ROM pelo INPE apresentam-se como cenas inteiras (*full frame* de 185 km x 185 km).

Os arquivos de imagens processados pelo INPE foram fornecidos em formato *dat* correspondentes às bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Todas as cenas possuem o mesmo nível de correção radiométrica básica, que consiste na equalização dos sensores eliminando-se o efeito *stripping* dos dados.

O programa de conversão desses arquivos (*L2tiff.exe*) para o formato *tiff* acompanha os arquivos de imagem. Além desses, há outros arquivos contendo as informações básicas sobre as cenas: *Voldir.dat* (**V**olume **D**irectory **F**ile), *Lead.dat* (**L**ead **F**ile), *Trai.dat* (**T**railer **F**ile) e *Supp.dat* (**S**upplemental **F**ile).

No primeiro arquivo (*Voldir.dat*), há a identificação e a descrição de volume, que corresponde ao conjunto de arquivos associados a uma cena do satélite.

No *Lead.dat* há a descrição, dentre vários parâmetros, do número de *pixels* e linhas da imagem, do total de *bytes* de cada linha, a identificação do produto e as opções de processamento efetuadas, as características geométricas, o tipo de projeção cartográfica, as tabelas de conversão de *LUT* (**L**ook-**U**p **T**ables) para cada banda etc.

O *Supp.dat* – que somente acompanha as imagens com nível de correção 4 ou inferior – contém os parâmetros necessários para corrigi-las geometricamente.

As imagens utilizadas nesta pesquisa apresentam nível 5 de correção geométrica, também denominada de “correção de sistema”; esse tipo de correção realiza reamostragem ao longo das linhas e colunas e uma projeção é aplicada sobre a cena, à escolha do usuário (que, no caso das imagens usadas nessa pesquisa, foi a projeção *UTM*). O *datum* padrão adotado pelo INPE é o SAD-69, e o algoritmo de reamostragem utilizado é o *vizinho mais próximo* (não altera os níveis de cinza originais dos *pixels*).

3.3.6 - PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

As técnicas de processamento de imagens digitais são classificadas em: *pré-processamento*, *técnicas de realce* e *técnicas de classificação* (NOVO, 1995).

O *pré-processamento* visa corrigir radiometricamente e geometricamente a imagem registrada pelo sensor.

Os erros radiométricos são resultado do efeito atmosférico e/ou erros de medição de instrumentos que afetam os valores de nível de cinza (NC) das imagens. No Brasil, o INPE é responsável por algumas dessas correções. Atualmente, é possível compensar algumas variações radiométricas geradas durante a aquisição da cena utilizando-se programas de tratamento de imagens.

Os erros geométricos distinguem-se em: *erros sistemáticos*, resultantes do movimento de rotação da Terra, de sua curvatura, movimentos da plataforma e mudanças na elevação topográfica (essas distorções são retificadas, no Brasil, pelo INPE); e *erros não-sistemáticos*, que poderão ser corrigidos pelo usuário da imagem, através do processo de *georreferenciamento*.

As *técnicas de realce* visam melhorar a qualidade “visual” da imagem, destacando elementos da cena que facilitem sua interpretação.

A *classificação* é o processo de extração de informações de imagens para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos. Tem-se uma imagem digital como produto onde os *pixels* classificados são representados por símbolos gráficos ou cores, onde cada símbolo ou cor representa uma classe (área urbana, tipo de solo, tipo de vegetação etc) definida pelo analista/classificador (INPE, 1996).

Cada etapa do processamento das imagens desenvolvido neste trabalho será descrita nos tópicos seguintes.

3.3.6.1- Pré-Processamento

3.3.6.1.1- Calibração Radiométrica

Quando se adquire uma informação através de um sensor remoto, o sinal coletado é, muitas vezes, o resultado da interação da radiação com a atmosfera.

A atmosfera provoca atenuação no sinal, o que resulta na captação, por parte do sensor, da energia “aparente” do objeto. Assim, o contraste da cena – que pode ser definido como a razão entre os níveis de cinza médio do objeto e do fundo – torna-se reduzido, ocasionando uma maior dificuldade na detecção de pequenas variações de radiometria.

Para amenizar esse efeito, convertem-se os valores digitais em reflectância aparente (Fig. 30), de modo a compensar as diferenças de ganho e *offset* de cada banda espectral, da irradiância solar no topo da atmosfera e do ângulo de incidência da radiação sobre o alvo no instante em que a imagem foi adquirida (NELSON, 1985, BENTZ,1990 *apud* SANTOS *et al.*, 2001).

Essa calibração radiométrica complementar foi realizada com o programa *ENVI 32*, especificando-se – para cada cena a ser calibrada – sua data e ângulo de elevação do Sol no momento de obtenção da cena:

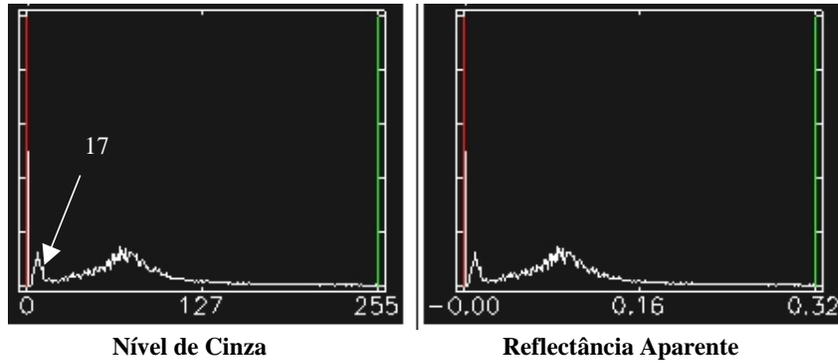
IMAGEM	DATA	ÂNGULO DO SOL ³
227/062	24-05-97	48.7587204°
	15-10-97	59.1865540°

³ Informação extraída do arquivo *Lead.dat* de cada cena.

227/062
24-05-97 (Cheia)

Histograma Original

Histograma da Imagem Calibrada



227/062
15-10-97 (Seca)

Histograma Original

Histograma da Imagem Calibrada

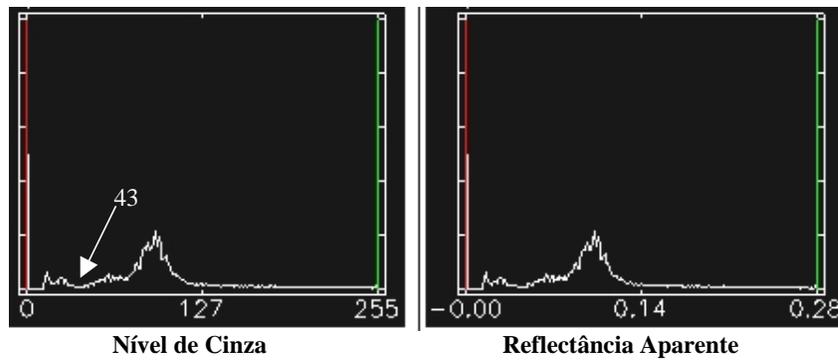


Fig.30: Histogramas originais, com valores de nível de cinza (à esquerda) e, com valores de reflectância aparente (à direita), após calibração radiométrica das imagens 227/062 (banda 4) de 24-05-97 e 15-10-97, realizada com o programa ENVI 32.

3.3.6.1.2 - Correção Geométrica

O objetivo da correção geométrica (ou georreferenciamento) de imagens consiste na geração de novas imagens apenas com distorções geométricas residuais inferiores a um valor de exatidão desejado.

Com o georreferenciamento, cada *pixel* da imagem, com seu NC, passa a ter coordenadas referidas a um sistema geodésico, resultado de uma reorganização das células em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica.

Essa correção é feita através de pontos de controle no terreno (PCTs), que podem ser extraídos de cartas topográficas analógicas, de mapas digitalizados, de outras imagens digitais georreferenciadas da mesma área ou, ainda, obtidos com GPS. Esses pontos são usados para determinar uma transformação matemática que permite corrigir a geometria da imagem.

A transformação por polinômio obtido de um ajuste pelo método dos mínimos quadrados modela matematicamente as distorções de escala, deslocamento e rotação da imagem para ajustá-la às coordenadas de referência (SOARES *et al.*, 1998).

Se x e y são as coordenadas geográficas de um dado ponto e X e Y as coordenadas desse ponto na imagem, para converter x e y em X e Y estabelece-se uma relação matemática que pode ser expressa por uma expressão polinomial de 1^a ou 2^a ordem:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y$$

Transformação Linear

Polinômio de 1^a Ordem (N=1),

onde a_n e b_n : constantes

ou,

$$X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

Transformação Quadrática

Polinômio de 2^a Ordem (N=2),

onde a_n e b_n : constantes

onde N é o grau do polinômio. O número de PCTs que devem ser utilizados é determinado pela expressão:

$$N_{\text{PCT}} = (N + 1)(N + 2) / 2, \text{ onde } N_{\text{PCT}} \text{ é o número de PCTs e } N \text{ é o grau do polinômio.}$$

A qualidade da correção geométrica dependerá da precisão do número de pontos de controle utilizados, da qualidade, identificação e distribuição espacial dos mesmos, e da resolução espacial da imagem (KARDOUGLAS, 1996 *apud* SOARES *et al.*, 1998).

Após o cálculo da nova posição do *pixel*, o valor do NC do novo *pixel* é determinado através do processo de *reamostragem*.

Os principais métodos de *reamostragem* (ou *interpolação*) são:

- *Vizinho mais Próximo*: o novo valor de NC do *pixel A* será igual ao NC do *pixel* situado à menor distância desse *pixel*; segundo NOVO (1995), esse procedimento não altera os NC originais dos *pixels* e apresenta um processamento rápido, embora possa apresentar descontinuidades geométricas;

- *Interpolação Bilinear*: o novo valor do *pixel A* é a média aritmética dos valores de NC dos quatro vizinhos mais próximos; apresenta melhor contraste de feições que a técnica anterior, além de não apresentar descontinuidades geométricas; porém, seu processamento é mais demorado (em função do maior número de cálculos para determinar o valor de cada *pixel* da imagem corrigida) e há alteração dos NC originais;

- *Convolução Cúbica*: o NC do *pixel A* é calculado a partir de uma matriz de dezesseis *pixels* em sua vizinhança; esse processo melhora a visualização da imagem corrigida geometricamente, mas envolve um processamento mais demorado e degrada radiometricamente os dados.

3.3.6.1.2.1- Avaliação da Qualidade Geométrica das Cenas Originais

As cenas cedidas pelo INPE encontravam-se no formato *dat*, e, portanto, sem georreferência; com o intuito de avaliar a qualidade da correção geométrica dessas cenas, foi realizada a conversão das mesmas para o formato *tiff* com o programa *L2tiff.exe*.

Objetivando recuperar o georreferenciamento das imagens por ocasião da correção geométrica efetuada pelo INPE (nível 5) procedeu-se uma translação do *pixel* central da imagem para o valor das coordenadas *UTM* correspondentes conforme o arquivo *Lead.dat*. Complementando-se, efetuou-se um ajuste de escala para que os *pixels* recuperassem sua dimensão original.

Ao analisar-se o erro externo após a translação (deslocamento dos elementos internos) observaram-se discrepâncias nos cantos das imagens muito elevadas (de 15 a 25 km). De fato, para garantir uma geometria adequada, o próprio INPE recomenda que o usuário realize com PCTs, um georreferenciamento das cenas na projeção e *datum* desejados. Nesse sentido, alguns testes de georreferenciamento das cenas foram conduzidos e, seus resultados foram analisados de modo a estabelecer qual (is) poderia (m) ser utilizado (s) em uma região onde a acessibilidade é restrita, o que, conseqüentemente, implica no comprometimento de levantamentos de campo voltados para a obtenção de pontos de controle com GPS. Soma-se a esse fato a presença de nebulosidade – principalmente no período das cheias – encobrendo, muitas vezes, na data da tomada da cena, os alvos correspondentes aos escassos pontos que sirvam de controle.

De posse de vários documentos cartográficos da área de estudo em meio digital – 1 carta topográfica na escala 1:250.000, 6 cartas topográficas na escala 1:100.000 e 1 carta planimétrica do Projeto RADAM, na escala 1:250.000 – foi executado o georreferenciamento dos mesmos. Posteriormente, esses documentos foram comparados entre si e confrontados com os pontos de controle obtidos com GPS e, avaliados quanto a sua qualidade geométrica de modo a determinar a potencialidade dessas bases cartográficas para a extração de pontos de controle (juntamente com os pontos obtidos por GPS) para o georreferenciamento das imagens. O processo de georreferenciamento realizado em cada base cartográfica disponível se encontra descrito a seguir.

3.3.6.1.2.2- *Georreferenciamento dos Documentos Cartográficos Disponíveis em Meio Digital*

a) Georreferenciamento das Cartas Topográficas Digitais em Formato Matricial

As sete folhas topográficas (citadas no item anterior) foram digitalizadas e georreferenciadas pelo método adotado pelo Projeto de Mapeamento por Sensoriamento Remoto do Departamento de Cartografia do IBGE, que consiste na aplicação do modelo afim de transformação linear, adaptado de DOYTHER *et alli* (1997).

Nessa rotina de georreferenciamento, os fotolitos originais de um mapa (nas cores preto, azul, sépia, vermelho e verde, correspondentes aos elementos planimétricos (estradas e outros), hidrografia, altimetria, preenchimento de estradas/área urbana e vegetação, respectivamente, foram digitalizados através de um *scanner* com resolução de 400 dpi, separadamente, resultando em cinco arquivos no formato matricial.

A primeira etapa do georreferenciamento consiste na construção de um *grid* vetorial (georreferenciado) para cada folha topográfica através do programa *Modular GIS Environment* (MGE), da *Intergraph Corp.* Esse *grid* (Fig. 31) será a base de referência para o georreferenciamento do arquivo *raster* preto, que, posteriormente, servirá como base para o georreferenciamento dos demais; no caso das cartas topográficas utilizadas, todas estão referidas ao sistema geodésico SAD-69 e ao sistema de projeção *UTM* (Universal Transversa de Mercator), ambos mantidos em todas as etapas do georreferenciamento.

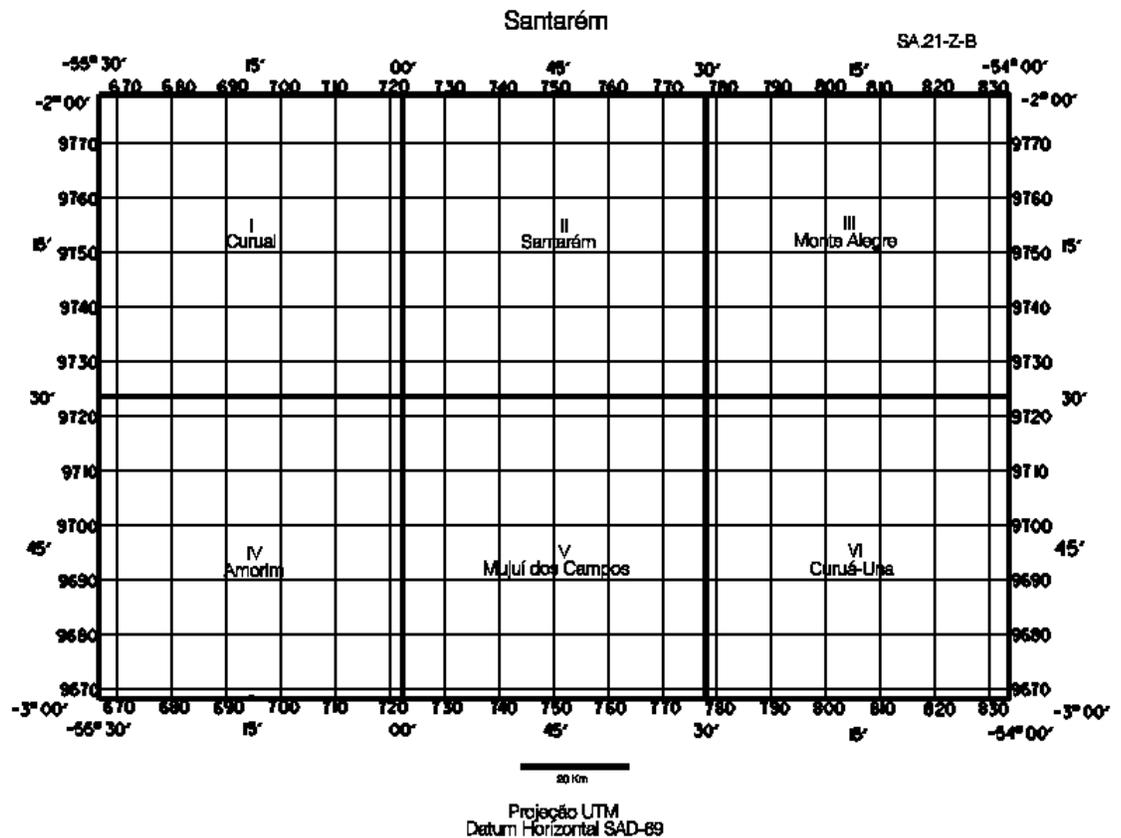


Fig. 31: Grid vetorial UTM 1:250.000 com subdivisões 1:100.000, utilizado no georreferenciamento dos arquivos em formato *raster*.

Em relação a esse *grid* faz-se uma transformação de *Helmert* no arquivo preto associando os dois cruzamentos superiores mais externos do quadriculado *raster* (*grid UTM*) com os correspondentes no *grid* vetorial. Essa transformação, que efetua translação, rotação e mudança de escala, aproxima o arquivo *raster* para a posição desejada.

Em seguida, parte-se para uma transformação afim linear desse arquivo *raster* preto transformado. Nessa etapa são usados os mesmos pontos escolhidos anteriormente, e também os dois cruzamentos inferiores mais extremos do *grid UTM*, totalizando quatro pontos de controle. Essa nova transformação realiza um refinamento das três ações da transformação de *Helmert* além de correção angular e de escala nos dois eixos. Após a transformação afim, medem-se os deslocamentos (em metros) entre os quatro cantos do arquivo *raster* preto georreferenciado e os cantos do *grid* vetorial. O erro planimétrico padrão (*EP*) admitido para cada escala está apresentado abaixo:

ESCALA	1:25.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000
<i>EP</i> (m)	7.5	15	30	75
<i>EA</i> (m)	4.5	12	27	72

Em função da dificuldade de marcação de pontos de controle nos arquivos *raster* devido ao tamanho do *pixel* nesses arquivos situar-se em torno de 3 m, tolera-se, para cada escala, o erro planimétrico máximo admissível (*EA*) correspondente à diferença entre o erro planimétrico padrão e o tamanho de 1 (um) *pixel*.

Todas as discrepâncias (dos cantos da carta e das linhas do *grid UTM*) são anotadas em formulário próprio. Caso se ultrapasse o valor aceitável de *EA*, parte-se para o refinamento do georreferenciamento do arquivo *raster* preto, aplicando, sobre o arquivo já transformado, uma nova transformação afim linear, utilizando, desta vez, os quatro cantos da carta de modo a distribuir os erros para que tanto os pontos do canevá como os cantos da carta fiquem com erros dentro do limite aceitável.

Aprovada a transformação do arquivo *raster* preto, parte-se para o georreferenciamento dos demais (azul, sépia, vermelho e verde), sempre utilizando o preto como referência. Nesses arquivos, a transformação afim é feita utilizando-se os quatro cantos da carta em relação aos quatro cantos do arquivo *raster* preto aprovado. Além da coincidência dos cantos de cada um desses arquivos em relação ao preto, deve-se, após a transformação, verificar, também, se a hidrografia (arquivo *raster* referente ao fotolito azul) coincide com as pontes existentes no arquivo *raster* preto; se os vértices das curvas de nível (arquivo *raster* sépia) estão compatíveis com a hidrografia e, se o preenchimento das estradas e áreas urbanas (arquivo *raster* vermelho) coincide com os elementos planimétricos do arquivo *raster* preto.

Com deslocamentos inferiores ao *EA* para as folhas topográficas na escala 1:100.000 e na escala 1:250.000, todos os arquivos das folhas topográficas foram aprovados.

Comparando-se as 6 folhas topográficas de escala 1:100.000 com a de escala 1:250.000, compilada a partir daquelas, nota-se um encaixe quase perfeito entre os quatro cantos de ambas, porém, os elementos planimétricos internos (hidrografia, sistema viário etc.) apresentam deslocamentos médios significativos (129 m).

b) Georreferenciamento da Carta Planimétrica Digital em Formato Matricial

A carta planimétrica, escala 1:250.000, produzida pelo Projeto RADAM, foi convertida para meio digital pelo mesmo processo das folhas topográficas citadas anteriormente, resultando, porém, em apenas três arquivos – preto, azul e vermelho – referentes às vias/estradas, drenagem e preenchimento de estradas e áreas urbanas, respectivamente.

O *datum* original – SAD-69 – foi mantido na construção do *grid* vetorial, mas o georreferenciamento foi simplificado usando-se somente os quatro cantos da carta, visto que a carta original não apresentava as linhas da projeção *UTM*.

Após a transformação afim, os cantos de todos os arquivos apresentaram deslocamentos em relação ao *grid* de referência inferiores ao *EA* (72 m); porém, confrontando-se os elementos internos da carta planimétrica com os correspondentes nas cartas topográficas, observam-se discrepâncias planimétricas muito grandes, muitas vezes superiores a esse valor.

3.3.6.1.2.3- Pontos de Controle GPS

As coordenadas dos pontos de controle, cedidas pelo Departamento de Cartografia do IBGE, foram determinadas por rastreamento do sistema de satélites artificiais *GPS* segundo o método isolado, utilizando um receptor autônomo *Garmin*. Eles resultaram de trabalho de campo para atender ao Projeto SIVAM (Sistemas de Vigilância da Amazônia), realizado no período compreendido entre 11 e 30 de junho de 2000 em que foram percorridos vários trechos dos estados do Amazonas, Roraima e Pará.

A qualidade desse levantamento de campo deveu-se, além do excelente preparo técnico da equipe, à determinação, poucas semanas antes do mesmo ter iniciado, do fim da SA (*Selective Availability*/Disponibilidade Seletiva) decretado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Essa interferência era acrescida ao sinal GPS e degradava consideravelmente a qualidade dos dados. Com a sua extinção, a estimativa no ganho de precisão no posicionamento absoluto simples passou a ser cerca de dez vezes. Especificamente nesse levantamento, a precisão planimétrica final situou-se em torno de 15 m, conferindo a esse tipo de dado uma precisão bem maior do que o erro padrão (75 m) aceitável para a escala adotada no mapeamento (1:250.000).

Todos os documentos cartográficos digitais georreferenciados tiveram sua qualidade avaliada em relação aos pontos obtidos com GPS e, os resultados estão apresentados no Apêndice 4. Pode-se notar que os documentos cujos elementos internos apresentam os menores erros (deslocamentos) em relação aos pontos obtidos com GPS são os arquivos em formato *raster* referentes às cartas topográficas de escala 1:100.000. Os deslocamentos médios encontrados entre os elementos das cartas *raster* escala 1:100.000 e os pontos GPS situam-se em torno de 56 m, valor abaixo do erro padrão aceitável. Em função disso, essas cartas georreferenciadas foram também utilizadas como apoio no georreferenciamento da cena correspondente ao período de máxima cheia, visto que oferecem uma quantidade maior de elementos que podem ser utilizados como pontos de controle; outro aspecto que contribuiu para o uso desses documentos cartográficos como apoio ao georreferenciamento foi a dificuldade de localização de alguns pontos obtidos com GPS na referida cena em função da presença de nuvens recobrando grandes extensões.

3.3.6.1.2.4- Georreferenciamento das Imagens

O primeiro teste de georreferenciamento das duas cenas (referentes aos períodos de máximas cheia e vazante) consistiu em uma transformação de *Helmert* (rotação, translação e mudança de escala) através de dois pontos – escolhidos idênticos nas duas cenas – cujas coordenadas foram obtidas com GPS, numa primeira aproximação de georreferenciamento (Fig. 32). Nesse primeiro teste o erro médio⁴ foi zero; porém, ao checar os deslocamentos

⁴ Neste trabalho, refere-se a *erro médio* à média aritmética dos valores dos erros observados.

em *checkpoints* (pontos que não foram utilizados no georreferenciamento) encontraram-se discrepâncias de até 154 m (Apêndice 5).

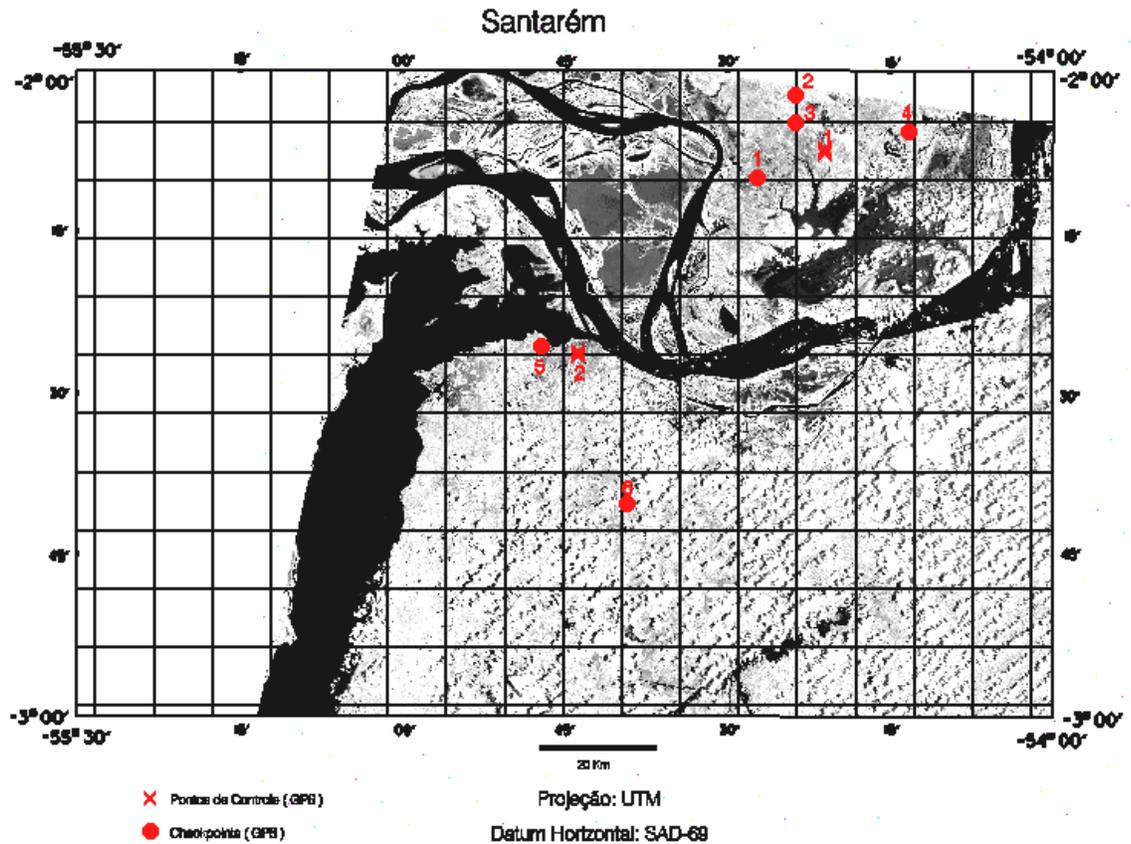


Fig. 32: Pontos de controle e *checkpoints* usados na transformação de *Helmert* (seca).

Aprimorando o georreferenciamento, realizou-se uma transformação afim linear para cada cena transformada por *Helmert*, na qual 6 pontos de controle obtidos com GPS foram utilizados em cada cena (Fig. 33).

Na cena correspondente à época da vazante, o erro médio obtido foi de cerca de 22 m; analisando-se os deslocamentos nos *checkpoints*, observam-se valores de 0 a 178 m, com média de 54 m (Apêndice 6).

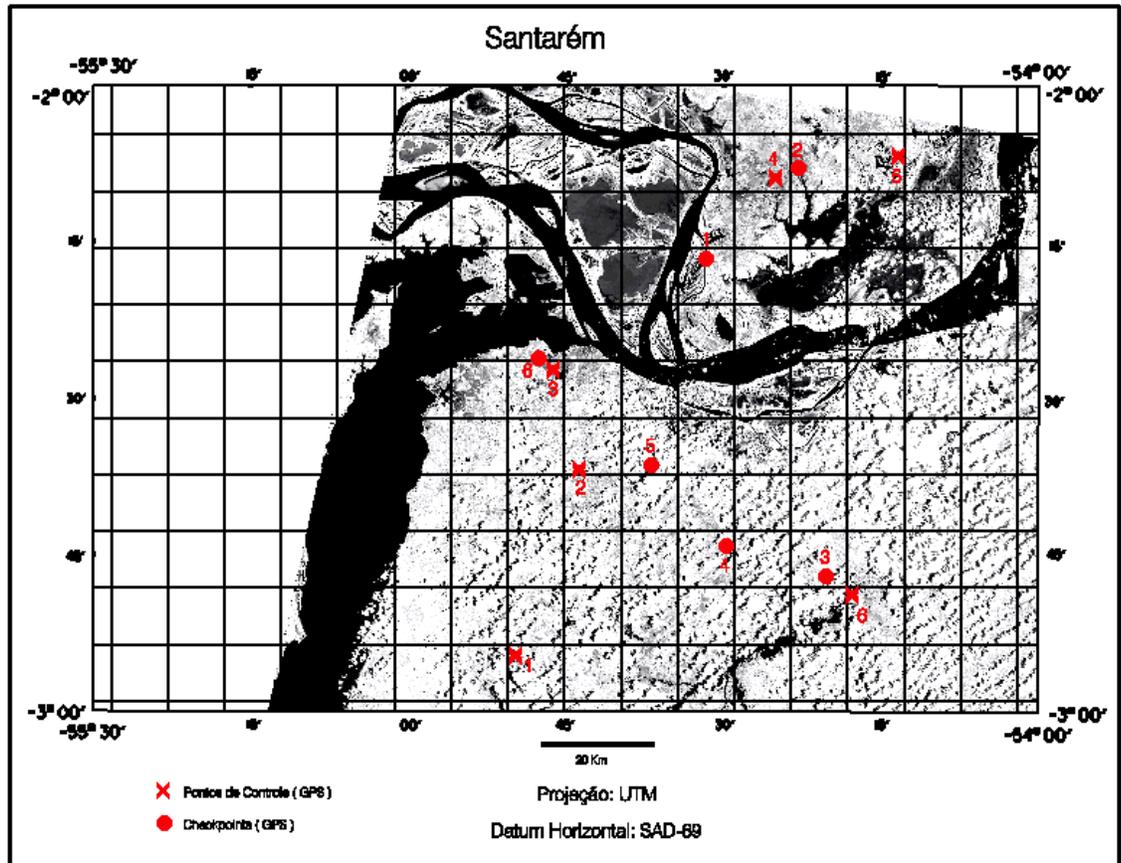


Fig. 33: Pontos de Controle e *checkpoints* usados na transformação afim da imagem 227/062 de 15-10-97.

Na cena correspondente à época da máxima cheia utilizaram-se, também, 6 pontos GPS na transformação afim (Fig. 34), porém, diferentes daqueles usados na cena anterior devido à presença de nuvens encobrindo a maioria daqueles pontos usados inicialmente. A dificuldade – em virtude da nebulosidade – de localização precisa dos pontos de controle obtidos com GPS, nesta cena, acarretou a geração de um deslocamento médio superior ao anterior (56 m) e, deslocamento médio nos *checkpoints* de 126 m, acima do aceitável, com valor máximo de 213 m (Apêndice 7).

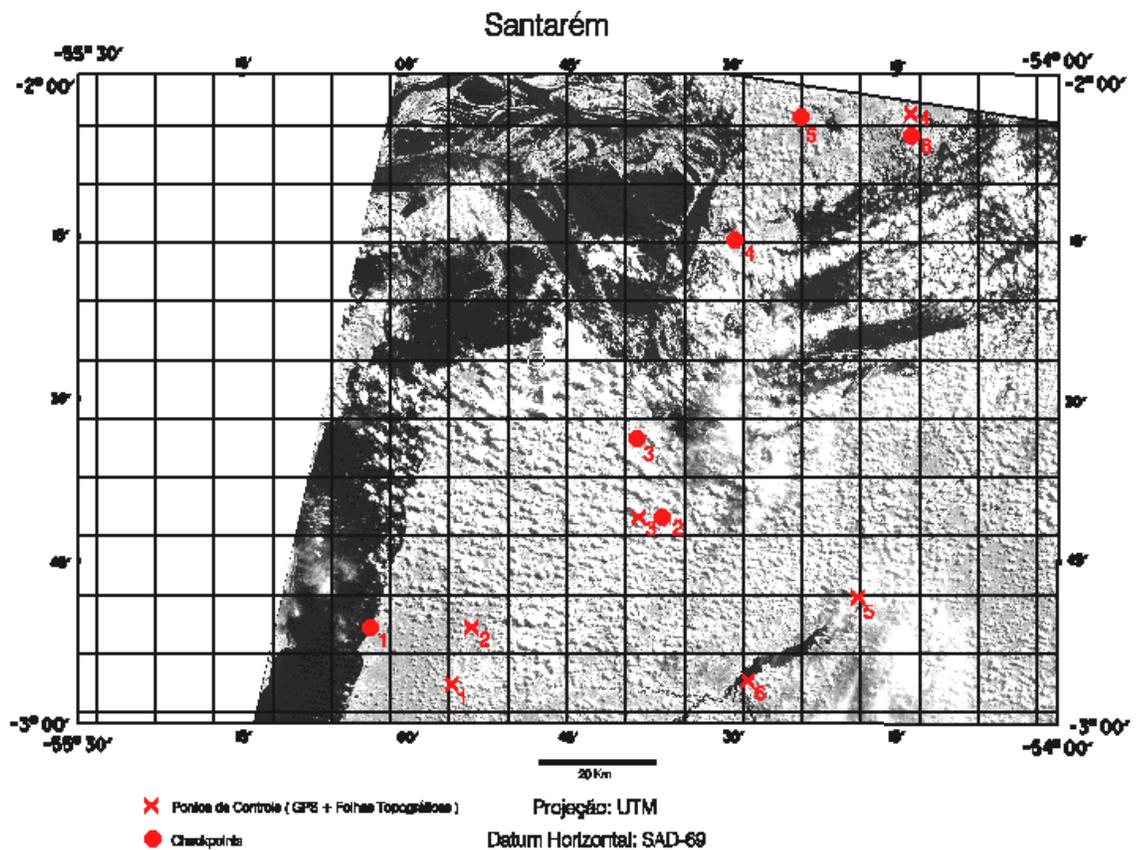


Fig. 34: Pontos de controle e *checkpoints* usados na transformação afim da imagem 227/062 de 24-05-97.

Em contrapartida, outros alvos não levantados em campo mas documentados nas cartas topográficas encontravam-se bem visíveis nessa cena. Em função disso, uma nova tentativa de transformação afim sobre a imagem original foi realizada, utilizando-se metade dos pontos de controle obtidos com GPS e, a outra metade, pontos extraídos das cartas topográficas digitais georreferenciadas de escala 1:100.000 (Fig.35). O resultado, bastante razoável, pode ser analisado no Apêndice 8; reduziu-se o erro médio dos PCTs para 48 m e, também, os deslocamentos nos *checkpoints* (os mesmos usados no georreferenciamento anterior), obtendo-se uma média de 35 m e um valor máximo de 64 m.

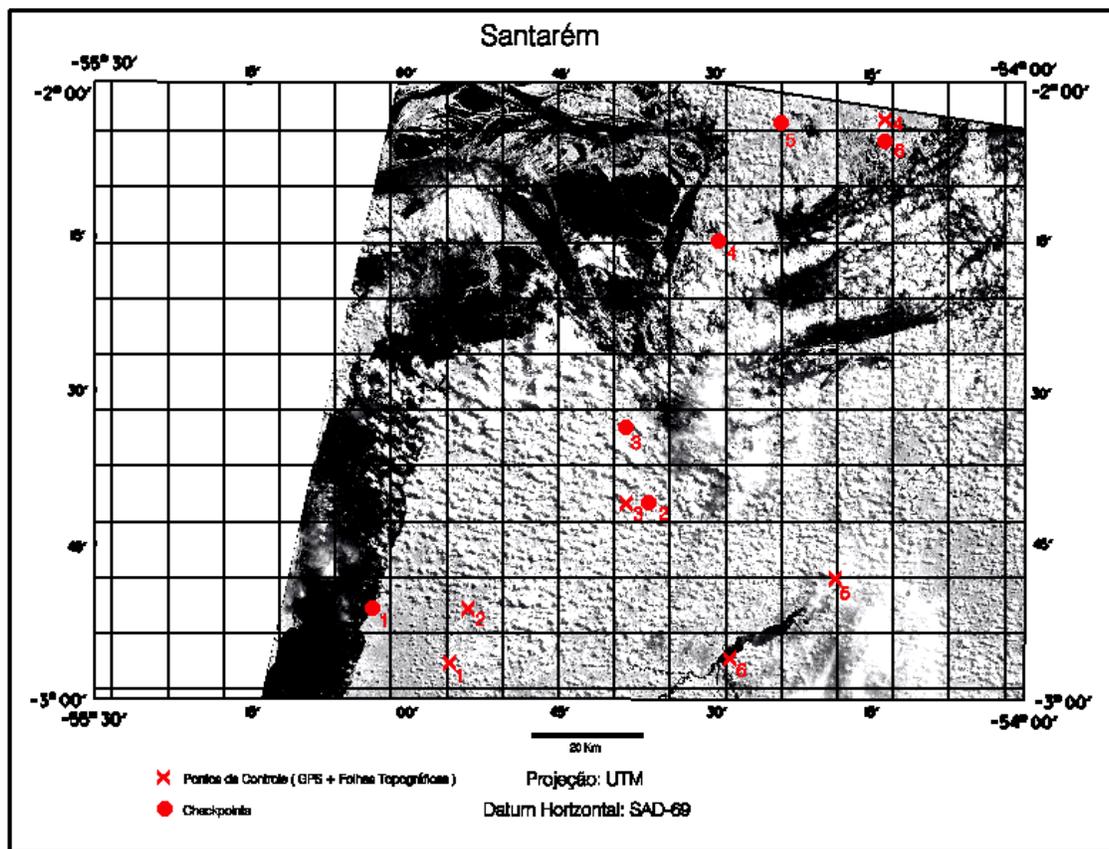


Fig. 35: Pontos de controle (GPS + Folhas Topográficas) e *checkpoints* usados na transformação afim da imagem 227/062 de 24-05-97.

Deve-se esclarecer, entretanto, que PCTs obtidos em campo com GPS são, certamente, os mais adequados a serem empregados no georreferenciamento de imagens. Na situação apresentada neste trabalho, a visualização desses pontos foi prejudicada em função da nebulosidade; buscou-se, então, uma alternativa na qual alguns pontos extraídos de folhas topográficas digitais georreferenciadas através de um método refinado, quando usados em conjunto com pontos GPS mostraram um resultado satisfatório. Considerando-se a dificuldade de penetração na Região Amazônica e a disponibilidade de apenas uma única cena correspondente à máxima cheia, esta alternativa foi bastante útil.

Ressalta-se, porém, que, para garantir uma boa precisão no georreferenciamento de imagens, a utilização de PCTs obtidos com GPS – principalmente após o fim da SA – é imprescindível.

3.3.7 - PROCEDIMENTOS ADOTADOS NO MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA

Utilizaram-se as duas imagens disponíveis da área de estudo em seus momentos mais críticos – no período da máxima seca e da máxima cheia – para que fosse possível mapear, a partir da diferença entre elas, as áreas sujeitas à inundação.

Em ambas as cenas trabalhou-se com a banda 4 (faixa do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho próximo), ideal para esse tipo de mapeamento (Apêndice 3), devido à elevada absorção da radiação infravermelha próxima pelos corpos d'água (conferindo, aos mesmos, a coloração preta na imagem) e, à alta reflectância apresentada pela vegetação nessa faixa espectral, tornando-a clara e garantindo um bom contraste entre esses dois tipos de alvo (Fig. 36).

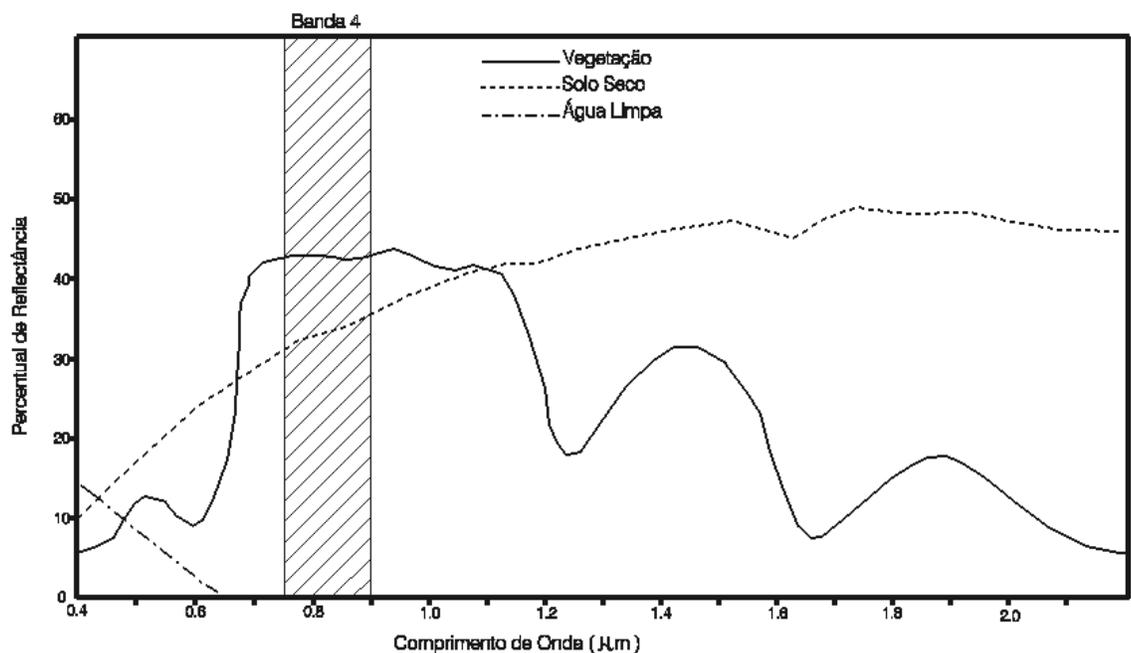


Fig. 36: Curvas espectrais de alguns alvos referentes à banda 4 do LANDSAT 5/TM.

O histograma bimodal de ambas as imagens (Fig. 30), apresenta uma concentração de *pixels* com nível de cinza próximo ao preto (NC zero) maior no período da cheia do que na época da seca; já a concentração de *pixels* claros (referentes à maior área de cobertura vegetal exposta) é maior na época da seca.

Foram definidas 5 amostras (recortes nas imagens anteriormente georreferenciadas, de tamanho 20 km x 20 km), coincidentes nas duas cenas (banda 4 referente à época da cheia e banda 4 referente à época da vazante); nessas amostras foram realizadas algumas rotinas de mapeamento conforme descreve-se adiante. A localização dessas amostras – 4 ao longo do rio Amazonas (parte superior central da folha) e 1 no rio Tapajós (parte inferior da folha) – encontra-se na Figura 37.

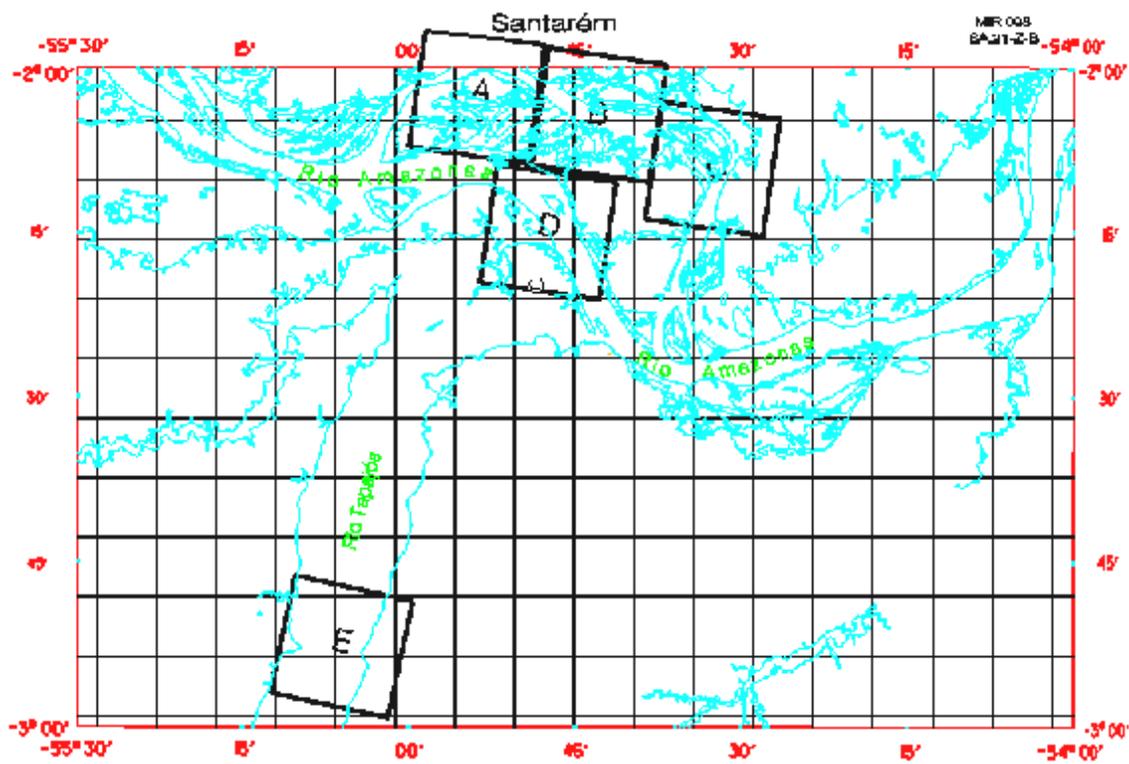


Fig. 37: Localização das cinco amostras (A, B, C, D e E) para os ensaios de mapeamento.

O recorte das amostras, nas duas imagens, foi realizado com o auxílio da ferramenta *Extract* do programa *I/Ras C*.

Dois procedimentos foram executados para destacar as áreas de inundação: o primeiro procedimento, baseado em *técnicas de classificação digital* e, o segundo, apoiado em *análise visual seguida de vetorização*. Os resultados de ambos serão descritos e comparados a seguir.

3.3.7.1 - Classificação Digital

As técnicas de classificação aplicadas a apenas um canal espectral são denominadas de *classificação unidimensional* (NOVO, 1995).

A mais simples das técnicas de classificação unidimensional é o “*slicer*” ou *fatiamento por densidade* (ou *por intensidade*), que pode ser definida como um processamento de imagens em pseudo-cores (GONZALES *et alli.*, 2000). Nessa técnica, o intervalo total de níveis de cinza de uma certa faixa espectral é dividido em um certo número de classes.

Para a execução desse processo parte-se, sempre, das informações contidas no histograma do canal a ser utilizado na classificação. Criam-se intervalos (fatias) de níveis de cinza e, a cada um deles, atribui-se uma cor (ou símbolo), referente a uma certa classe temática (NOVO, 1995).

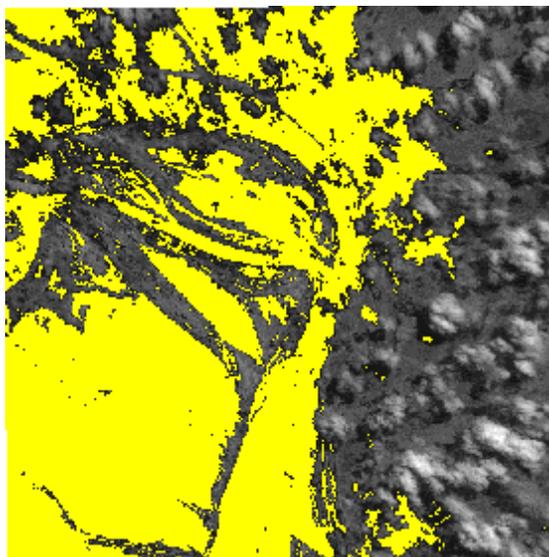
Se uma cor for atribuída a um determinado intervalo de níveis de cinza, todos os *pixels* contidos nesse intervalo passarão a apresentar essa cor.

Em cada amostra pré-estabelecida realizou-se o fatiamento dos histogramas originais referentes às imagens do período das máximas cheia e seca, através da ferramenta *Density Slice* do *I/Ras C*.

Analisando-se o histograma da cena referente à máxima vazante (Fig. 30), pode-se verificar que o intervalo de níveis de cinza de 0 a 43, com *pixels* concentrados próximo ao preto, corresponde às áreas efetivamente cobertas de água; esse intervalo recebeu a coloração amarela; todos os demais *pixels* da imagem mantiveram seus níveis de cinza. O mesmo procedimento foi realizado nas amostras referentes ao período da máxima cheia, fatiando, entretanto, o intervalo de 0 a 17 (Fig. 30), que teve seus níveis de cinza também alterados para a cor amarela.

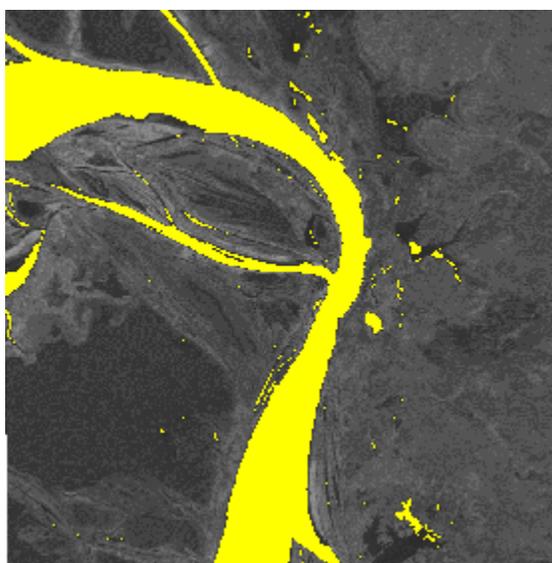
Dessa classificação resultaram – para cada amostra – duas imagens onde a área alagada máxima e mínima estavam classificadas com a cor cinza claro (Fig. 38 a e b).

Amostra C



a)

 *Área Fatiada*



b)

Fig. 38:Resultado de Density Slice de uma das amostras de mapeamento;

- a) cena do período de máxima cheia, onde toda a área efetivamente alagada foi destacada com a cor amarela;
- b) cena do período da máxima vazante, fatiada, onde a área realmente alagada recebeu, também, a cor amarela.

Para determinar e calcular a área de inundação a partir de cada par de imagens referentes a uma mesma amostra tornou-se necessário determinar a diferença entre essas duas imagens (área alagada na máxima cheia - área alagada na máxima vazante). Para calcular a diferença entre áreas de uma imagem fatiada (ainda em formato matricial), deve-se converter as áreas que se deseja subtrair para polígonos vetoriais. Essa conversão foi feita utilizando-se o comando *Converting Raster to Vector Graphics*, do *I/Ras C*. Essa ferramenta permite converter os limites de áreas com valores constantes (temas ou classes decorrentes de um processo de classificação) de uma imagem *raster* de 8 *bits*, em polígonos vetoriais de um arquivo em formato *dgn* do programa *MicroStation 95*, da *Bentley*.

Ao escolher os níveis de cinza que foram fatiados nas amostras do período da seca (0 - 43) e do período da cheia (0 - 17), vários polígonos vetoriais foram criados. Ao analisar a precisão da vetorização executada observou-se – em uma mesma amostra – discrepâncias muito grandes entre as áreas coloridas geradas por fatiamento e aquelas produzidas por vetorização das áreas fatiadas. Por esse motivo, abandonou-se a vetorização automática e optou-se pela vetorização manual desses polígonos.

Após a vetorização (com as ferramentas *Smartline* e *Create Complex Shape* do *MicroStation*) foi calculada a diferença entre as áreas alagadas dos arquivos vetoriais correspondentes à época da cheia e aqueles da época da vazante, respectivamente. Essa etapa consistiu no cálculo da diferença entre os polígonos gerados da máxima cheia e da máxima seca. O uso da ferramenta *Hatch Area* com a opção *difference* permitiu hachurar a área que efetivamente sofreu os efeitos da inundação de um período a outro. Como resultado da subtração, destacaram-se as áreas de inundação de cada amostra. O valor de cada área inundada foi calculado com ferramenta *Measure Area* do *MicroStation*.

3.3.7.2- Análise Visual

A análise de imagens é um processo de descobrimento, identificação e entendimento de padrões que são relevantes ao desempenho de uma tarefa baseada em imagens. Nesse aspecto, uma das principais metas da análise de imagens por computador é dotar uma máquina com o potencial de aproximar, em um determinado sentido, a capacidade dos seres humanos de interpretação (GONZALEZ *et alli*, 2000).

A interpretação visual de imagens baseia-se em alguns princípios de análise que englobam métodos de detecção, identificação e medição de objetos a partir de uma perspectiva orbital (NOVO, 1995). Nesse sentido, o olho humano é um sensor sofisticado que confere, ainda hoje, o mais elevado grau de confiabilidade ao processo de interpretação, e utiliza certos artifícios para detectar, com precisão, um alvo: os *Elementos de Análise*.

Os *Elementos de Análise* distinguem-se em: tonalidade, cor, tamanho, forma, sombra, textura, padrão, padrão de drenagem, declividade, posição geográfica e contexto. Soma-se a isso o conhecimento adquirido por um intérprete visual através de levantamento bibliográfico, trabalhos de campo, capacidade estereoscópica etc.

Baseando-se nos critérios estabelecidos acima, procedeu-se à interpretação visual de cada uma das duas cenas referentes às cinco amostras estabelecidas. Em cada amostra analisada, a vetorização manual das áreas alagadas foi realizada utilizando-se as mesmas ferramentas usadas na vetorização das áreas fatiadas.

Para calcular a diferença entre os polígonos gerados da máxima cheia e da máxima seca utilizaram-se as mesmas ferramentas usadas na determinação das áreas inundadas obtidas através de fatiamento (Fig. 39).

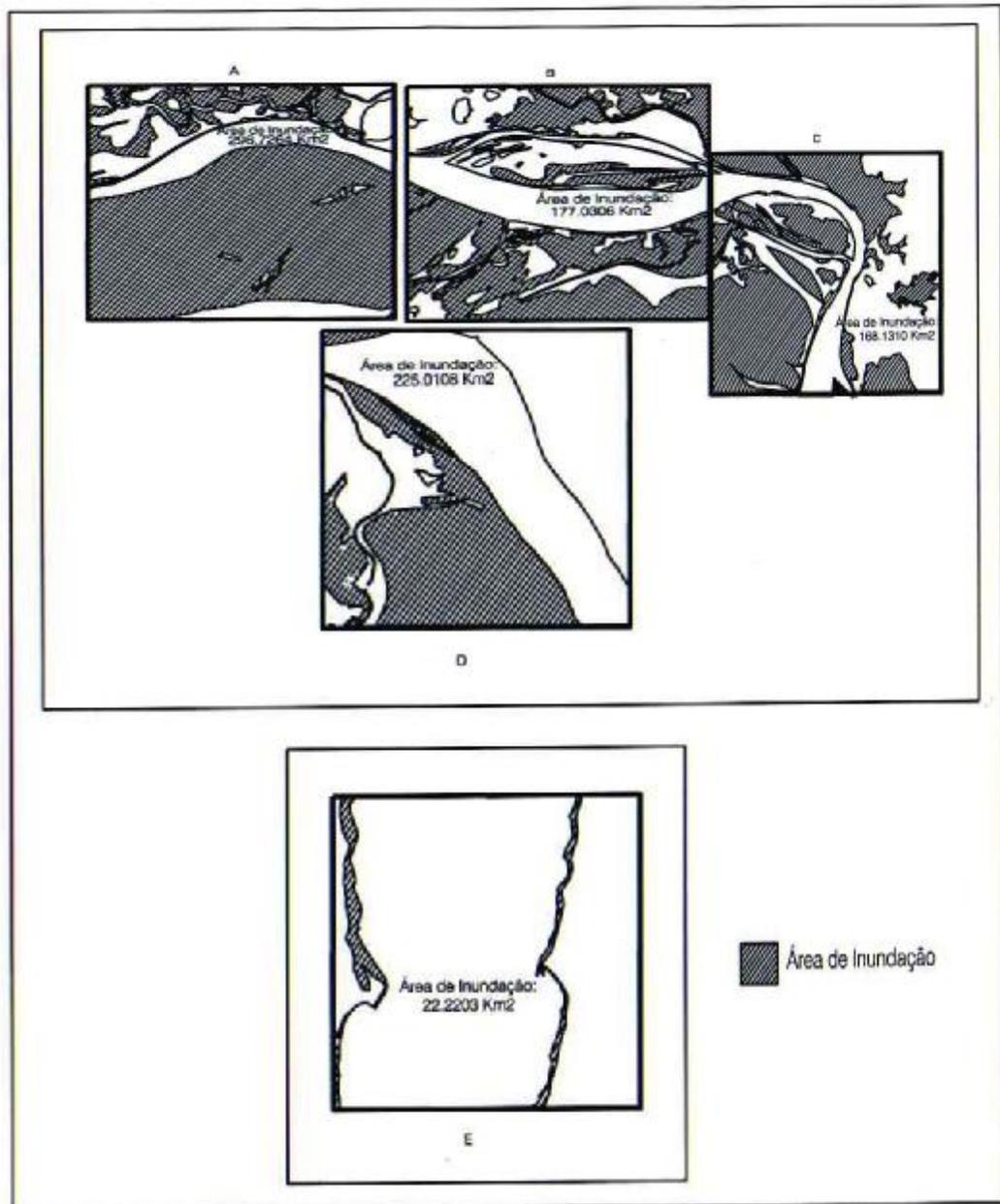


Fig. 39: Áreas de Inundação das cinco amostras, obtidas através de diferença entre os vetores (gerados por interpretação visual) correspondentes aos períodos de máximas cheia e vazante.

3.4 – ELABORAÇÃO DO DOCUMENTO CARTOGRÁFICO

3.4.1.- CONCEITOS E TIPOLOGIA DOS ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS PRESENTES NA ÁREA CORRESPONDENTE À FOLHA SANTARÉM

A região do entorno da cidade de Santarém – correspondente à carta SA.21-Z-B – caracteriza-se pela presença de duas unidades morfoestruturais principais: a *Planície Amazônica* e o *Planalto Rebaixado da Amazônia* (PROJETO RADAM, 1975).

A *Planície Amazônica*, com altitude inferior a 100 m, localiza-se, dentro da área de estudo, à esquerda do rio Amazonas, e a esta unidade pertencem as áreas submetidas diretamente ao controle desse rio, subdivididas em *alagadas e inundáveis*.

A *planície alagada* corresponde aos trechos que, mesmo nos períodos de menor volume das águas do Amazonas estão sempre submersos, ainda que a lâmina d’água que os recubra seja de apenas alguns centímetros, criando condições de áreas embrejadas.

Na *Planície* comumente podem ser encontrados elementos de hidrografia típicos desse ambiente fluvial: os “paraná” (cursos d’água que penetram na várzea e retornam ao mesmo rio de onde se originaram), os “furos” (ligação entre os lagos e o sistema de drenagem que, na estiagem, ficam geralmente secos), os “ igarapés”, as “rias fluviais” (vales fluviais com foz afogada), lagos com forma e gênese diferenciada, canais e cordões, áreas de inundação constantemente alagadas com brejos, igapós (floresta permanentemente alagada), cursos fluviais anastomosados com grandes ilhas que se ligam ao sistema de drenagem etc.

Com altitude superior à da *Planície* e com talvegues aprofundados, no *Planalto Rebaixado da Amazônia* (na área de estudo localizado à direita do rio Amazonas), as inundações são menos pronunciadas e ocorrem nas margens do rio Tapajós.

A utilização de termos regionais como “paraná” e “furos” no mapeamento de parte da região correspondente à folha Santarém exige uma melhor definição de seus significados.

Uma conceituação baseada em ANDRADE (1956) *apud* PROJETO RADAM (1975) descreve os “paraná” como “*todo canal de drenagem que liga um rio a ele mesmo em áreas de planície aluvial ou com pelo menos uma margem ligada à planície aluvial*”; e, como “furo”, “*todo canal de drenagem que liga um rio a outro, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo, sendo, neste último caso, fora da planície aluvial (diferenciando-se, assim, dos ‘paraná’)*”.

Existem, segundo a classificação geomorfológica adotada pelo PROJETO RADAM (1975) seis tipos de “furo”: *Furo em Captura* (captura o rio e funciona como uma foz para o

rio capturado), *Furo em Colmatagem* (interrompido por processo de colmatagem), *Furo em Vale Morto* (quando aproveita o antigo vale fluvial), *Furo em Contato Litológico* (ocorre em áreas de contato litológico), *Furo Adaptado à Tectônica* (ocorre em alinhamentos estruturais) e *Furo Ligando Lagos*. Somente esse último tipo ocorre na planície aluvial da área de estudo, destacando-se aquele que conecta os Lagos Itarim e Pacoval, em frente a Santarém.

Quanto aos lagos, são classificados em: *Lago de Várzea*, *Lago de Contato Litológico* (em áreas de contato litológico), *Lago de Meandro* (ocorrem em meandros abandonados), *Lago de Dique*, *Lago de Restinga* (isolado do rio principal devido à colmatagem do tipo restinga) e *Lago Adaptado à Tectônica* (em áreas de subsidência). Destacam-se, na área de estudo, apenas os *Lagos de Várzea* e os *Lagos de Dique*. Os primeiros ocorrem na planície fluvial e estão em processo de colmatagem; são alimentados pelo rio principal, que transborda no período das cheias e, após a decantação dos sedimentos devolvem, pelo “furo”, as águas ao rio na estiagem. Os Lagos de Diques ocorrem entre diques aluviais e têm forma alongada.

A representação dos cursos fluviais permanentes – bem como dos “furos” e “paranáis” perenes mesmo em épocas de volume d’água mínimo – só foi possível com a utilização da imagem referente à data da máxima estiagem ocorrida na região. Assim, todos os elementos de hidrografia representados como permanentes no trecho do mapa produzido, podem ter sua perenidade assegurada em qualquer outra época do ano, conferindo-lhes o potencial de utilização como hidrovias permanentes. Em uma região onde a maioria do transporte de pessoas e mercadorias é realizado por vias fluviais, o mapeamento cuidadoso dessas hidrovias permanentes deve ser considerado tão importante quanto aquele das vias de circulação terrestres em outras regiões.

3.4.2 - CONFECÇÃO DO MAPA PLANIMÉTRICO

Um trecho da carta SA.21-Z-B (Santarém) foi selecionado para desenvolver um teste de mapeamento planimétrico: aproximadamente entre as latitudes 2° S e 2° 20' S e as longitudes 54° 30' W e 55° W, englobando a desembocadura do rio Tapajós no Amazonas próximo à cidade de Santarém (Apêndice 9).

Na representação de todos os elementos planimétricos mapeados foram utilizadas as convenções cartográficas (cores, símbolos, tamanho etc) adotadas para a escala 1:250.000 do IBGE.

Foram criados arquivos vetoriais – em formato *dgn*, do *MicroStation* – na projeção *UTM* e *datum* SAD-69 (originais dos documentos cartográficos já existentes) para cada categoria de elemento planimétrico existente nesse trecho da carta gerada: vias de circulação, elementos de hidrografia, outros elementos planimétricos (localidades, igrejas, escolas), toponímia e *grid*. Em cada arquivo de cada categoria, as classes foram armazenadas em níveis diferentes.

Trabalhou-se com a banda 4 da imagem referente à máxima seca para mapear a hidrografia permanente e alguns trechos da área de inundação que são atingidos pelas águas em períodos intermediários às oscilações extremas e que não são observados na imagem da máxima cheia (item 4.1); a mesma banda, porém relativa à imagem da época da cheia, foi usada para mapear os terrenos sujeitos à inundação, e, finalmente, da banda 3 extraíram-se as áreas urbanizadas, estradas, localidades e aeroportos.

Em virtude da ênfase atribuída ao mapeamento da hidrografia, optou-se por gerar duas figuras do trecho selecionado, uma com somente vetores – criados segundo as convenções cartográficas adotadas – e outra onde esses mesmos vetores foram superpostos a uma imagem; em relação a esse segundo produto, também utilizaram-se as mesmas convenções, e os polígonos das áreas de inundação (transparentes com tracejados) contaram com o apelo visual da imagem como “pano de fundo”. Essa contribuição visual da carta-imagem colorida – composição RGB-543 – permitiu a representação da vegetação e dos solos expostos (não cartografados como os demais elementos) complementando, assim, o mapa produzido.

Para o tratamento das imagens usadas como base de referência do mapeamento foi utilizado o programa *I/Ras C*, com o qual foram feitos testes de contraste/realce e de composição colorida (RGB) entre cada 3 bandas das 6 fornecidas pelo INPE até que se obtivesse uma imagem adequada para compor a base sobre a qual os vetores ficariam superpostos. Na impressão da carta-imagem final utilizou-se a *equalização de histograma* como técnica de realce.

Os “furos” e “paraná” permanentes, sem convenção cartográfica nos mapas planimétricos tradicionais, foram representados como os demais cursos d’água permanentes (mesmo aqueles sem toponímia conhecida foram classificados como “furo” ou “paraná” simplesmente, requerendo, futuramente, um trabalho de reambulação que venha definir seus nomes).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO
4.1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS USADOS NO
MAPEAMENTO DA HIDROGRAFIA

Analisando-se os dois métodos empregados para destacar a hidrografia nas cinco amostras estabelecidas, observou-se uma tendência à existência de muitos polígonos de inundação (grande descontinuidade na área de inundação) quando o método utilizado foi o fatiamento. Ao contrário, quando empregou-se a vetorização manual, a área total de inundação apresentou-se bem mais contínua. Na figura 40 pode-se confrontar os resultados dos dois métodos, exemplificados para a amostra C.



Fig. 40: Comparação de resultados (amostra C).

- a) Área de Inundação (hachurada) obtida a partir da diferença entre as imagens resultantes de Density Slice, dos períodos de cheia e seca, respectivamente;
- b) Área de Inundação (hachurada) obtida a partir da diferença entre os vetores gerados a partir de interpretação visual das cenas dos mesmos períodos citados no item anterior.

O somatório das áreas mapeadas como *Áreas de Inundação* pelo método manual mostrou-se, também, significativamente maior em relação àquele correspondente às áreas mapeadas por fatiamento (cerca de 20% a 30% maior).

Considerando os critérios de análise visual como *padrão* e *contexto*, deve-se admitir que a descontinuidade de áreas inundáveis num assoalho tão plano como o da Planície Amazônica possa ocorrer normalmente, mas a representatividade de tais elementos na escala 1:250.000 torna-se justificável somente quando suas dimensões forem superiores a 50 m ($0.2\text{mm} \times \text{o denominador da escala}$); em caso de áreas alagadas isoladas cujo raio for maior que 50 m e cuja distância a outro elemento idêntico for inferior a esse valor, eles podem, inclusive ser englobados como elementos hidrográficos distintos (ex.: dois lagos) localizados dentro de uma única área de inundação, principalmente porque esses elementos são normalmente conectados entre si por meio de pequenos canais.

Outro aspecto relevante é que, na própria imagem correspondente à época da seca notam-se impressões (vestígios de áreas alagadas) que, algumas vezes não correspondem a áreas alagadas na imagem da máxima cheia, indicando que as águas em períodos intermediários aos extremos podem percorrer caminhos diferentes na planície inundável, graças à baixa declividade da Bacia. Assim, ao classificar as áreas de inundação, deve-se também englobar essas áreas que, mesmo não alagadas em nenhuma das duas imagens utilizadas, podem ser facilmente percebidas na imagem da máxima seca pois carregam grande umidade – embora não alagadas – e apresentam formas lagunares arredondadas ou alongadas.

Assim, adotou-se o método de vetorização manual baseada em interpretação visual para o mapeamento de um trecho da carta planimétrica 1:250.000 correspondente à folha Santarém.

4.2 – MAPA PLANIMÉTRICO

No apêndice 9 e nas Figuras 41 e 42 encontram-se, respectivamente, o trecho da área-teste representado na carta planimétrica já existente (1:250.000, da DSG, de 1983), o mesmo trecho representado pelos vetores criados nessa pesquisa e, finalmente, esses vetores sobrepostos à imagem de satélite.

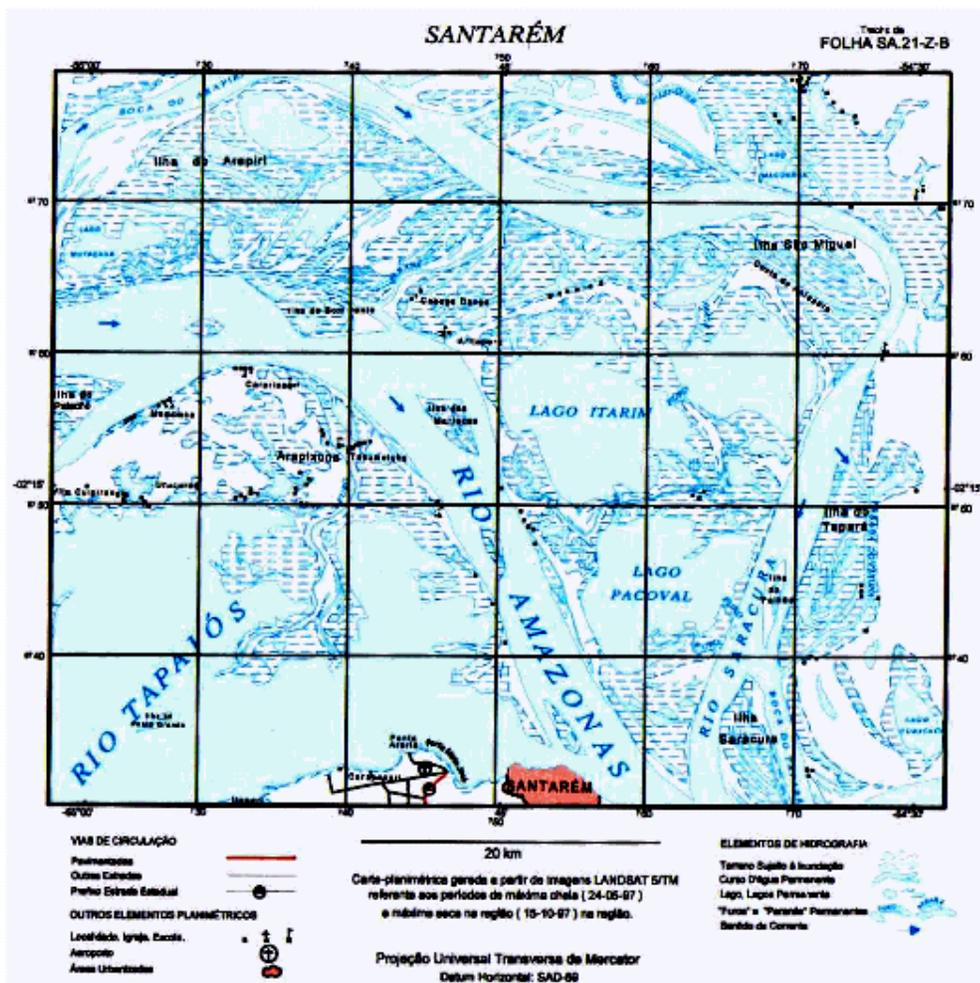


Fig. 41: Trecho da folha SA.21-Z-B gerado a partir das cenas LANDSAT 5 disponíveis.
(Representação apenas dos elementos planimétricos)

Comparando-se o mapa do Apêndice 9 e a Figura 41, pode-se perceber que as áreas de inundação (tracejadas), na antiga carta da DSG eram bem mais generalizadas, o que não é observado na carta gerada neste estudo; nesta última, as áreas de inundação foram vetorizadas segundo as informações extraídas da cena da máxima cheia e impressões de inundação presentes na cena da máxima seca. Assim, receberam a denominação de *Terrenos Sujeitos à Inundação* aqueles que, no período estudado (1990-2000), estiveram realmente submersos em algum momento.

A presença de lagos, “paraná” e “furos” na imagem da máxima seca permitiu cartografar esses elementos hidrográficos como realmente permanentes; a quantidade de elementos dessa categoria mostrou-se bem maior que na carta já existente. Na Fig. 41 ressaltam-se: o “paraná” no rio Amazonas, próximo à Ilha do Bom Vento; a subdivisão do

Lago Itarim em dois lagos menores (no mapa do Apêndice 9 ele era representado como um grande lago permanente, o que não corresponde à realidade), com um “furo” entre eles; um grande “furo” permanente conectando os rios Amazonas e Tapajós; “furos” interligando os Lagos Pacoval e Itarim e, o Lago Pacoval e o rio Saracura; além disso, com o documento cartográfico gerado pôde-se confirmar a perenidade de “paraná” anteriormente cartografados, como o “Paraná” de Alenquer (rio Amazonas, ao norte), e o “Paraná” do Pixuna (no Rio Saracura).

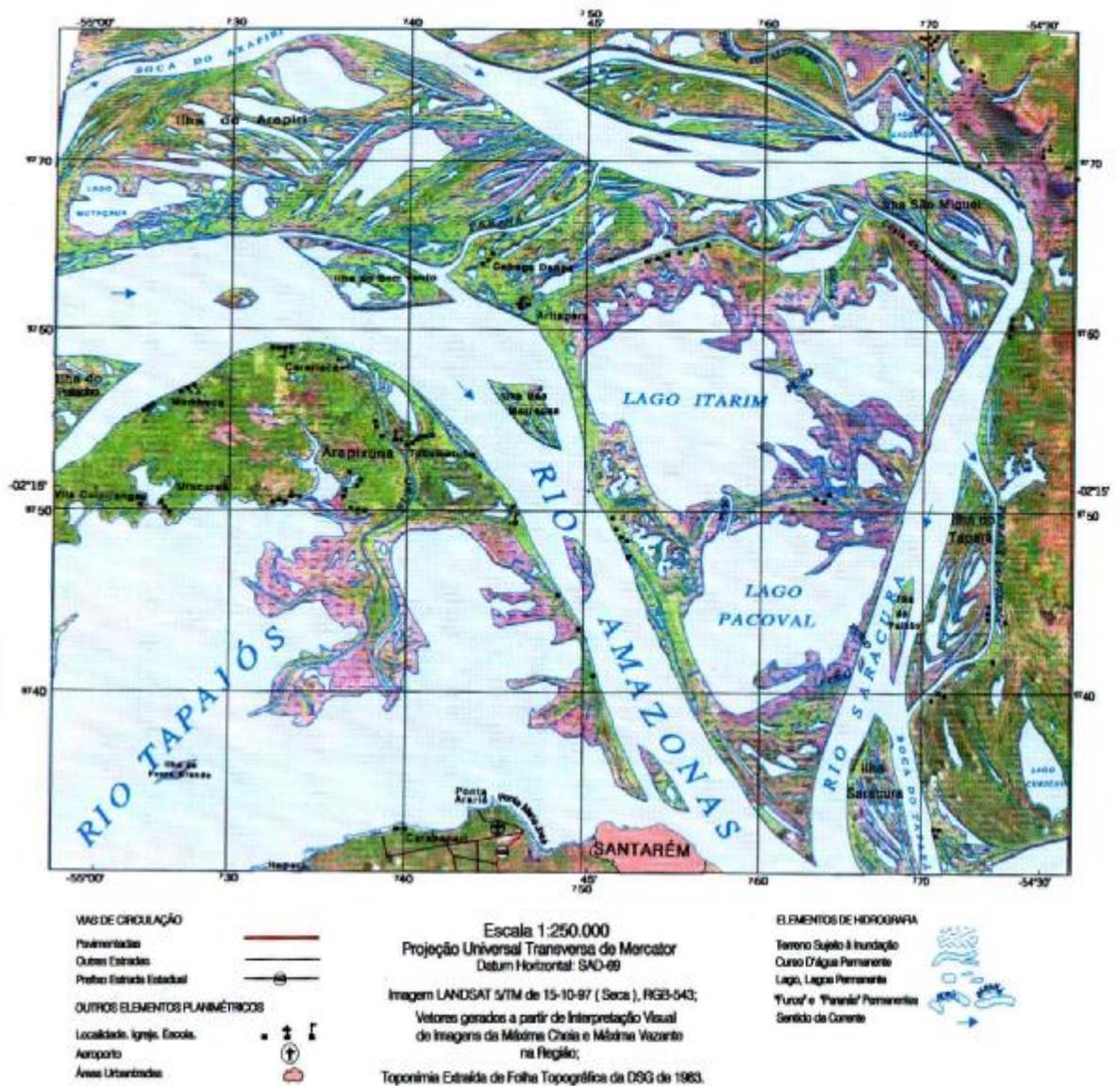


Fig. 42: Carta-imagem na escala 1:250.000 referente a um trecho da carta SA. 21-Z-B.

5 - CONCLUSÕES

A ocupação da Amazônia fez-se nas margens dos rios desde as primeiras iniciativas de colonização. A concentração antrópica na planície holocênica ou área de “várzeas” justificase graças a sua riqueza natural, facilitando o estabelecimento da agricultura e pecuária, além da facilidade das vias de comunicação através dos sistemas de “furos” e “paraná”. Esse fator é primordial para os habitantes regionais, que vivem e dependem das várzeas e são obrigados, na época das cheias, a transferir suas moradias e, nos casos de enchentes excepcionais, o prejuízo pode se estender para a agricultura e pecuária, levando-os a inevitáveis prejuízos. Através dos gráficos de séries de cotas dos rios estudados neste trabalho, observou-se que, no período de 1990-2000, a variação máxima de nível d’água atingida foi de cerca de 14.5 m, que é bastante significativo numa região de planície onde a altitude média é inferior a 100 m, existindo inclusive, algumas áreas localizadas abaixo do nível do mar.

A representação cartográfica dos cursos fluviais característicos da época da máxima estiagem e dos elementos geomorfológicos típicos das várzeas, como as áreas permanentemente alagadas e aquelas inundáveis, consiste num recurso básico para o desenvolvimento das atividades relacionadas ao planejamento e ocupação humana na região.

Fenômenos meteorológicos de média e grande escala (como o *El Niño* e o *La Niña*) podem alterar o ritmo das variações fluviais, ocasionando situações como aquela observada num único ano (1997), quando a máxima cheia e a máxima vazante ocorreram. Assim, além dos mapas de variação temporal produzidos, a análise dos gráficos de cotas dos rios e dos dados estatísticos específicos da área que se deseja mapear fornecerá informações mais detalhadas que contribuirão para a determinação precisa das datas mais significativas para a seleção de imagens.

O uso de imagens geradas pelo satélite LANDSAT 5 atendeu aos objetivos propostos: a grande área de recobrimento de uma cena inteira permitiu mapear um trecho considerável da carta 1:250.000 escolhida (Santarém), com resolução espacial satisfatória (30 m) para a escala em questão.

Embora tenha sido utilizada principalmente uma banda (banda 4, em ambas as cenas, da máxima cheia e máxima vazante) no mapeamento da hidrografia, a boa resolução espectral contribuiu muito na extração de informações planimétricas como estradas,

localidades etc, e, na elaboração da carta-imagem final onde a base foi uma composição colorida RGB-543.

Em contrapartida, a presença de nuvens nessas imagens geradas por sensores que operam na faixa óptica do espectro eletromagnético é o maior problema em áreas de florestas pluviais, principalmente na imagem da máxima cheia (período de maior umidade); um recurso particularmente útil consiste no uso alternado de mais de uma cena do mesmo local para se obter, no total, uma área imageada útil – ou seja, sem nuvens – maior. Essa nebulosidade intensa representou um inconveniente na detecção de PCTs na imagem para execução do georreferenciamento. Embora se dê preferência à utilização de PCTs determinados por GPS, nem sempre isto é possível, quer seja pela indisponibilidade deles ou pela dificuldade de implantá-los (região de difícil penetração). Por esse motivo, na área-teste selecionada para este trabalho, o uso de folhas topográficas 1:100.000 digitais georreferenciadas foram utilizadas para extração de pontos de controle, complementando os pontos GPS. Entretanto, a folha topográfica 1:250.000 não proporcionou um bom resultado.

O uso de imagens de radar orbitais poderia ser uma solução para o problema de nuvens da região, mas nem sempre há cenas de anos passados recobrando a área de interesse nos meses específicos de máxima cheia e seca. Além disso, não se deve prescindir das imagens ópticas em função da dificuldade de extração de feições cartográficas (como estradas) nas imagens de radar.

A expectativa de surgimento de novos sensores acena com a possibilidade de imagens que atendam melhor a esse tipo de mapeamento. A diminuição do erro externo das imagens – que, atualmente é da ordem de 300 m nas imagens LANDSAT – reduziria significativamente a necessidade de pontos de controle de campo para realizar a correção geométrica das mesmas, que é uma tarefa crítica e onerosa nessa região. Os satélites de rastreamento contínuo permanente como LANDSAT 5, LANDSAT 7 e CBERS (satélite sino-brasileiro com resolução espacial de 20 m) geram um quantitativo de cenas tal que aumenta a chance de se obter um recobrimento de imagens com baixo índice de nebulosidade.

Na elaboração da carta-imagem planimétrica da área selecionada destacou-se a hidrografia através de vetores gerados a partir de interpretação visual. Esse método permitiu o mapeamento coerente das áreas de inundação por utilizar *os Elementos de Análise* e a capacidade do intérprete. Na cena da época da seca perceberam-se bem os “furos” e “paraná” permanentes – importantes nessa região – e os limites das áreas máximas atingidas pelas inundações graças às marcas de alagamento existentes nessa imagem. A confirmação (e vetorização) desses limites se deu através da cena da máxima cheia, razão pela qual não se descartou o uso desta última. Para o mapeamento das áreas de inundação do restante da Bacia

Amazônica, devem-se conduzir outros estudos para que se possa avaliar se o uso de apenas uma cena – da época da máxima seca – atenderia à delimitação dessas áreas inundáveis, visto que, geralmente, as cenas da máxima cheia apresentam grande nebulosidade. Mesmo assim, o uso de outras cenas de períodos intermediários aos extremos – selecionadas dentre aquelas com menor cobertura de nuvens – deve ser considerado na tentativa de contornar o problema da nebulosidade, que pode estar presente também na época da máxima seca.

A geração de uma carta-imagem planimétrica de uma região onde o objetivo primordial era o destaque da hidrografia atendeu às expectativas quanto à qualidade gráfica desejada para a escala 1:250.000. Mesmo os elementos planimétricos não cartografados (vegetação, solos expostos etc) puderam ser percebidos no mapa produzido graças ao apelo visual da imagem usada como base (“pano de fundo”). A carta-imagem pode contribuir, inclusive, no monitoramento da vegetação (queimadas, desflorestamentos), além de se mostrar uma solução rápida no que tange à atualização (por exemplo, a elaboração de um produto híbrido: imagem atual + vetor existente). Como produto final, o usuário poderia ter acesso ao mapa analógico impresso com uma composição colorida e combinação de bandas pré-determinadas ou à carta-imagem digital, com seus vários arquivos e imagens para que o mesmo montasse o mapa de acordo com seus interesses. O aprimoramento de técnicas de realce para a confecção de cartas-imagens pode ser assunto de novas pesquisas sobre esse tema.

Deve-se considerar, ainda, em função da dinâmica hidrológica da região e conseqüente alteração dos cursos d’água – o que resulta, por exemplo, em meandros abandonados – que o mapeamento produzido deverá requerer atualização periódica, mesmo em áreas sem ocupação humana. A definição da taxa de atualização (período apropriado para que as atualizações cartográficas sejam efetuadas) também poderá ser objetivo de futuros trabalhos.

As conclusões aqui apresentadas se basearam numa pequena amostra, logo, sugere-se a aplicação dos testes em outras áreas da Bacia Amazônica para uma efetiva consolidação metodológica.

6 – APÊNDICES

6.1 – Apêndice 1: Quadro descritivo das estações fluviométricas utilizadas.

CÓDIGO	NOME	LAT/LONG	PERÍODO	LOCALIZAÇÃO
11400000	São Paulo de Olivença (PCD)	03° 27' S 68°45' W	1990-2000	MD do rio Solimões
11500000	Santo Antônio do Içá	03° 05' S 67° 56' W	1990-2000	ME do rio Solimões
12351000	Fonte Boa - Remanso	02° 32' S 66° 10' W	1990-2000	MD do rio Solimões
12842000	Forte das Graças	03° 38' S 66° 06' W	1997-2000	MD do rio Juruá
12900001	Tefé	03° 21' S 64° 43' W	1996-2000	MD do rio Solimões
13155000	Codajás	03° 50' S 62° 03' W	1997-2000	ME do rio Solimões
12845000	Vila Bittencourt	01° 24' S 69° 25' W	1990-2000	ME do rio Japurá
12850000	Acaunai	01° 49' S 66° 36' W	1990-2000	MD do rio Japurá
12872000	Maraã	01° 51' S 65° 35' W	1995-2000	ME do rio Japurá
14330000	Curicuriari	00° 12' S 66° 48' W	1990-2000	MD do rio Negro
14420000	Serrinha	00° 28' S 64° 49' W	1990-2000	ME do rio Negro
14452000	Samaúma	00° 22' S 63° 14' W	1998-2000	ME do rio Negro
14840000	Moura	01° 27' S 61° 38' W	1990-2000	MD do rio Negro

MD: Margem Direita

ME: Margem Esquerda

6.1 – Apêndice 1: Quadro descritivo das estações fluviométricas utilizadas (continuação).

CÓDIGO	NOME	LAT/LONG	PERÍODO	LOCALIZAÇÃO
15030000	Jatuarana	03° 03' S 59° 41' W	1990-2000	ME do rio Amazonas
15940000	Nova Olinda do Norte	03° 44' S 59° 03' W	1995-2000	MD do rio Madeira
16200000	Base da Siderama	01° 38' S 58° 31' W	1998-2000	ME do rio Jatapu
16350000	Parintins	02° 38' S 56° 45' W	1900-1992	MD do rio Amazonas
17050000	Óbidos	01° 54' S 55° 31' W	1990-2000	ME do rio Amazonas
17090000	Boca do Inferno	01° 34' S 54° 49' W	1990-2000	ME do rio Curuá
17900000	Santarém	02° 26' S 54° 42' W	1990-2000	No porto de Santarém, à MD do rio Amazonas
18900000	Belo Monte	03° 06' S 51° 48' W	1991-2000	ME do rio Xingu
18950000	Porto de Moz	01° 45' S 52° 14' W	1999	MD do rio Amazonas, próximo à confluência com o rio Xingu
19980000	Caiçara	01° 47' S 51° 26' W	1990-2000	ME do rio Anapu

MD: Margem Direita

ME: Margem Esquerda

6.2 – Apêndice 2: Principais características dos satélites da série LANDSAT.

Satélite	Lançamento	Término de Operação	Sensores	Resolução Espacial
LANDSAT 1	1972	1978	RBV (3 câmeras)	80m
			MSS (4 canais)	80m
LANDSAT 2	1975	1983	RBV (3 câmeras)	80m
			MSS (4 canais)	80m
LANDSAT 3	1978	1983	RBV (2 câmeras)	30m
			MSS (5 canais)	80m/240m(termal)
LANDSAT 4	1982	1984	MSS (4 canais)	80m
			TM (7 canais)	30m/120m(termal)
LANDSAT 5	1984	–	MSS (4 canais)	80m
			TM (7 canais)	30m/120m(termal)
LANDSAT 7	1999	–	ETM+ (7 canais multiespectrais e 1 pancromático)	30m/60m(termal)
				15m (pan)

Modificado e atualizado de NOVO(1995).

6.3: Apêndice 3: Principais aplicações dos canais do sensor TM

PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS CANAIS DO SENSOR TM		
Canal	Faixa espectral (μm)	Aplicações
1	0.45 - 0.52 - azul	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetação Diferenciação entre tipos de vegetação
2	0.52 - 0.60 - verde	Detecção da vegetação verde sadia
3	0.63 - 0.69 - vermelho	Absorção da clorofila Diferenciação de espécies vegetais Detecção de áreas urbanas
4	0.76 - 0.90 - IV próximo	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água
5	1.55 - 1.75 - IV médio	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10.4 - 12.5 - termal	Mapeamentos térmicos Mapeamentos de estresse térmico em plantas
7	2.08 - 2.35 - IV médio	Mapeamento hidrotermal

Modificado de NOVO (1982).

6.4 - Apêndice 4: Erro planimétrico (m) do georreferenciamento dos documentos cartográficos.

Coordenadas dos Pontos GPS (UTM)		Descrição	Erro Planimétrico* (m)		
N (m)	E (m)		1/100.000 Topográfica	1/250.000 Topográfica	1/250.000 Planimétrica
759 353	9 723 998	Confluência 370 x caminho próximo à Ilha de Maicá	46	88	481
744 578	9 725 500	Bifurcação da 457 próximo a São Braz	31	45	-
745 556	9 729 903	Confluência 453 x estrada do aeroporto	69	98	-
788 916	9 764 691	Bifurcação de caminho próximo à Col. C. Grande	138	448	-
784 137	9 749 321	Caminho próximo a Curral Grande	38	97	-
799 199	9 689 782	Bifurcação 370	37	28	601
795 869	9 692 056	Cruzamento 370 x periódica	71	75	-
779 678	9 695 955	Cruzamento 370 x Ramal do Gato	44	213	275
732 319	9 719 564	Ponte BR 457	58	335	-
753 272	9 718 421	Bifurcação em Colônia Cipoal	29	117	-
771 025	9 706 424	Cruzamento 431 x 370 próximo a Santa Rosa	36	60	690
766 360	9 704 344	Bifurcação na 431 próximo a Garrafão	88	116	-
730 186	9 674 531	Bifurcação 163	45	165	-
Erro Médio (m)			56	145	512
Erro Máximo (m)			138	448	690

***Erro Planimétrico:** $(\Delta E^2 + \Delta N^2)^{1/2}$

6.5 - Apêndice 5: Erro Médio e Discrepâncias dos PCTs (GPS)Usados na Transformação de Helmert e dos *Checkpoints* (*GPS*):

	Coordenadas UTM (km)		Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Pontos de Controle</i>	1	794.5238	0	0
		9675.1997		
	2	752.1907	0	
		9730.1134		

	Coordenadas UTM (km)		Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Checkpoints</i>	1	782.9496	143	90
		9760.4798		
	2	789.5167	67	
		9774.7462		
	3	789.7900	154	
		9770.9090		
	4	808.9690	121	
		9768.4140		
	5	745.9958	24	
		9731.7103		
	6	760.6034	31	
		9704.7294		

6.6 – Apêndice 6: Erro Médio e Discrepâncias dos PCTs (GPS) Usados na
 Transformação Afim e dos *Checkpoints* (GPS) - Imagem de 15-10-97
 (Seca):

	Coordenadas UTM (km)		Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Pontos de Controle</i>	1	741.3038	21	22
		9677.7116		
	2	752.1682	20	
		9710.2645		
	3	747.9470	38	
		9727.9655		
	4	786.6864	20	
		9762.3688		
	5	808.7904	20	
		9765.8602		
6	800.5308	13		
	9688.6261			

	Coordenadas UTM (km)		Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Checkpoints</i>	1	774.9530	0	54
		9748.1850		
	2	786.6870	20	
		9762.3710		
	3	795.8720	178	
		9692.0530		
	4	778.2800	79	
		9697.4780		
	5	765.1230	29	
		9711.7980		
	6	745.3165	18	
		9730.6170		

6.7 – Apêndice 7: Erro Médio e Discrepâncias dos PCTs (GPS) Usados na Transformação

Afim e *Checkpoints* (GPS) - Imagem de 24-05-97 (Cheia):

		Coordenadas UTM (km)	Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Pontos de Controle</i>	1	730.1936	25	56
		9674.5246		
	2	733.6223	38	
		9684.2564		
	3	761.9416	104	
		9703.1804		
	4	808.8007	76	
		9765.8677		
	5	800.5316	53	
		9688.6288		
	6	799.3069	40	
		9689.7055		

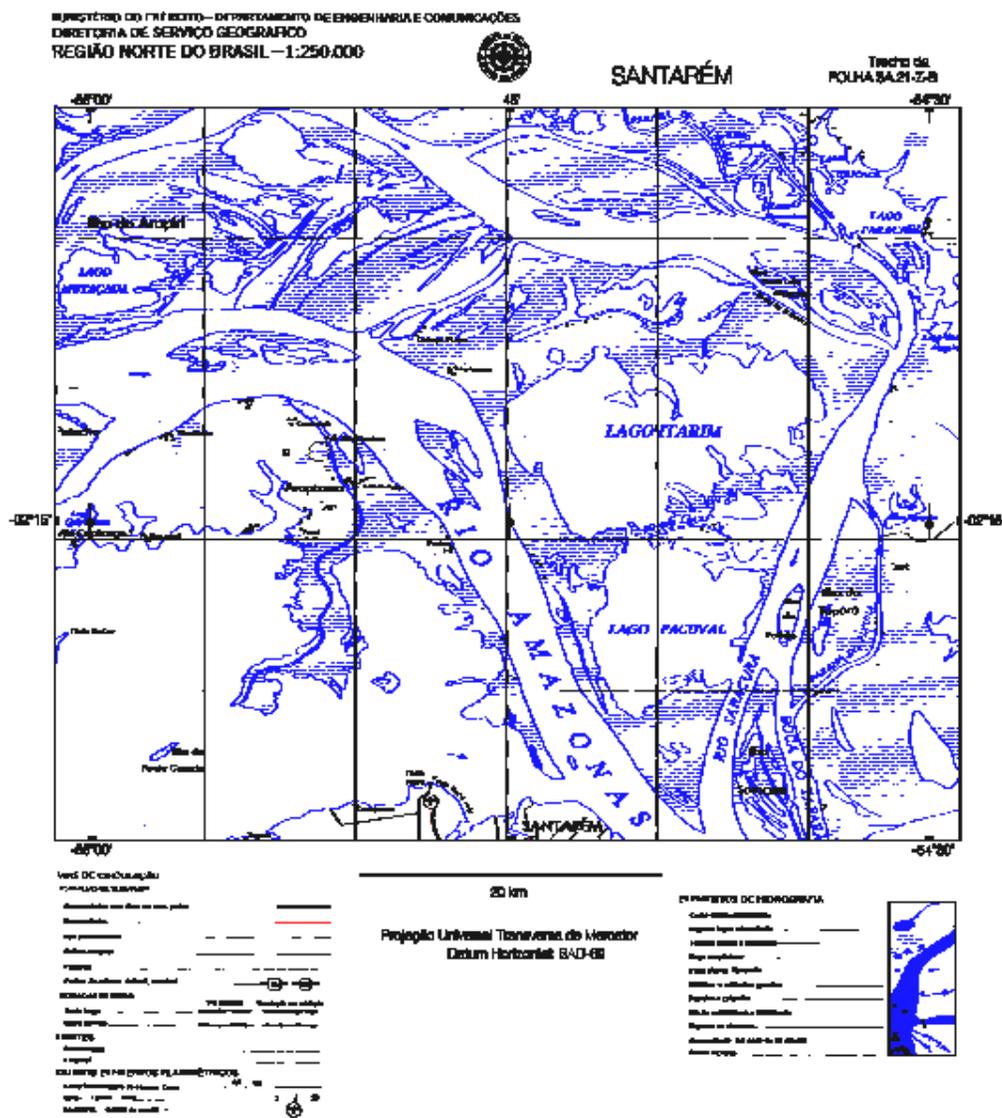
		Coordenadas UTM (km)	Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Checkpoints</i>	1	716.5162	53	126
		9684.5461		
	2	764.3240	132	
		9703.4900		
	3	761.8170	22	
		9716.5300		
	4	778.6146	128	
		9750.6578		
	5	789.7900	213	
		9770.9090		
	6	808.9690	209	
		9768.4140		

6.8 – Apêndice 8: Erro Médio e Discrepâncias dos PCTs (GPS + Pontos Extraídos das Folhas Topográficas 1/100.000*) Usados na Transformação Afim e dos *Checkpoints* Imagem de 24-05-97 (Cheia):

	Coordenadas UTM (km)		Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Pontos de Controle</i>	1	730.1936	42	48
		9674.5246		
	2	733.6223	32	
		9684.2564		
	3	761.9416	101	
		9703.1804		
	4*	808.4698	25	
		9772.1434		
	5*	799.3872	17	
		9689.5125		
	6*	779.9296	71	
		9675.4276		

	Coordenadas UTM (km)		Discrepância (m)	Erro Médio (m)
<i>Checkpoints</i>	1	716.5162	64	35
		9684.5461		
	2	764.3240	19	
		9703.4900		
	3	761.8170	0	
		9716.5300		
	4	778.6146	33	
		9750.6578		
	5	789.7900	35	
		9770.9090		
	6	808.9690	60	
		9768.4140		

6.9 – Apêndice 9: Trecho da folha SA. 21-Z-B, da DSG, de 1983, correspondente à área-teste.
 (representação apenas dos elementos planimétricos).



7 – ANEXOS

7.1 – Anexo 1: Exemplo de Ficha Descritiva cedida pela ANEEL.

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO HIDROMÉTRICA- ON STREAM

DNAEE/CPRM	ESTAÇÃO: SANTARÉM		CÓDIGO: 17900000	
	RIO: TAPAJÓS			
	BACIA: AMAZÔNICA		TIPO: F	
DISTRITO: 7º		MUNICÍPIO: SANTARÉM		ESTADO: PARÁ
ÁREA DE DRENAGEM: 487,222Km ²		DRENAGEM GERAL: Rio Amazonas		
REDE HIDROMÉTRICA DO (A): 7º Distrito do DNAEE				
ENTIDADE OPERADORA: Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM				
ESTAÇÃO	DATA DA INSTALAÇÃO	ENTIDADE	DATA DA REINSTALAÇÃO	ENTIDADE
FLUVIOMÉTRICA	07.04.67	CPRM	29.09.88	CPRM
FLUVIOGRÁFICA				
SEDIMENTOMÉTRICA				
CLIMATOLÓGICA				
Q. DAS ÁGUAS				
REF. CARTOGRÁFICA: Carta do Brasil			ESCALA: 1:1000.000	
LATITUDE: 02° 26' S		LONGITUDE: 54° 42' W		ALTITUDE:
LOCALIZAÇÃO: No porto de Santarém, pertencente à Companhia Docas do Pará - CDP.				
ACESSIBILIDADE: Aérea, a partir de Belém, aproximadamente 1 hora de viagem.				
DESCRIÇÃO, INCLUINDO EQUIPAMENTOS E PROCESSOS DE MEDIÇÕES:				
RÉGUAS FLUVIOMÉTRICAS: Consta de um lance de réguas de alumínio, fixadas na estrutura do cais, para leituras entre 0/7m.				
SEGURANÇA DE NIVELAMENTO: RNS=7270mm e RN9=7275mm cotas arbitrárias, transferidas altimetricamente, em 07/11/94, do conjunto anterior, situado no terminal da SHELL.				
OBS.: Em 04/10/95, foi instalado o lance (-) 0/1m, para leituras de possíveis cotas negativas, visto que a cota do N.A. era de 10cm.				

7.1 – Anexo 1: Exemplo de Ficha Descritiva cedida pela ANEEL (continuação).

POTOMOGRAFIA: Afluente da margem direita do Rio Amazonas, formado pelos rios Juruena e Arinos, no planalto central brasileiro. Extensão de 1992km. O baixo Tapajós é navegável até São Luiz, ao pé da cachoeira do Maranhãozinho.	
CONFORMAÇÃO EM PLANTA: No trecho, apresenta-se retilíneo.	
NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS: Natureza arenosa e inclinação suave.	
NATUREZA DO LEITO: Arenosa.	
CONTROLE (TIPO): Largo, canal, natural.	
COTA DE TRANSBORDAMENTO:	
OBSERVADOR:	
NOME: João Ribeiro Ramos	PRO FISSÃO: Func. da CDP
INSTRUÇÃO: 1º Grau	GRATIFICAÇÃO: R\$42,00/mês
ENDEREÇO: Companhia Docas do Pará, Santarém-Pa	
DISTÂNCIA DA RESIDÊNCIA À ESTAÇÃO:	
CROQUI:	
<p style="text-align: center;"><i>RIO TAPAJÓS</i></p> <p style="text-align: center;"><i>AV. TAPAJÓS</i></p> <p style="text-align: center;"><i>AV. Coimbra / Santarém</i></p>	
RESPONSÁVEL:	EM 05 / 06 / 96

7.1 – Anexo 1:Exemplo de Ficha Descritiva cedida pela ANEEL (continuação).



Fotografia da Estação

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.G.; RUDORFF, F.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Mapeamento da Cobertura Vegetal de Áreas de Grande Extensão Através de Mosaicos de Imagens do NOAA-AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...*Foz do Iguaçu, 2001. p. 1-14.

AUGUSTO, A.A.Z.; VIADANA, M.I.C.F. A Atualização Cartográfica da Rede de Drenagem e a Análise Morfométrica do Relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...*Santos, 1998. p. 1-13.

CARVALHO, N. O.; CUNHA, S.B. Estimativa da Carga Sólida do Rio Amazonas e seus Principais Tributários para a Foz e Oceano: uma Retrospectiva. *A Água em Revista*, Belo Horizonte, v. 6, n. 10, p. 44-58, jun. 1998.

CDTECA do INPE. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Apresenta informações sobre as imagens processadas e disponíveis no INPE. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 04 mar. 2002.

DADOS fluviométricos. Brasília, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. Apresenta informações sobre as bacias hidrográficas brasileiras. Disponível em: <<http://hidroweb.aneel.gov.br>>. Acesso em: 04 nov. 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL (Brasília, DF). *Carta Planimétrica SA.21-Z-B: Santarém*. Brasília, 1976. Projeto RADAM. Escala 1:250.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Amorim: Folha SA.21-Z-B-IV* . Brasília, 1982. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:100.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Curuai: Folha SA.21-Z-B-I* . Brasília, 1982. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:100.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Curuá-Una: Folha SA.21-Z-B-VI* . Brasília, 1983. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:100.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Monte Alegre: Folha SA.21-Z-B-III* . Brasília, 1983. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:100.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Mujú dos Campos: Folha SA.21-Z-B-V* . Brasília, 1983. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:100.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Santarém: Folha SA.21-Z-B*. Brasília, 1983. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:250.000.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (Brasília, DF). *Santarém: Folha SA.21-Z-B-II* . Brasília, 1983. Mapas da Região Norte do Brasil. Escala 1:100.000.

DISTRITO FEDERAL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. *Sistemática para Análise de Consistência de Dados Fluviométricos*: manual técnico. Brasília, 1982. 97 p.

DISTRITO FEDERAL. Diretoria de Serviço do Exército. *Convenções Cartográficas: Símbolos para Confecção de Cartas Topográficas- Escalas 1:100.000 e maiores e 1:250.000*: manual técnico. Brasília, 1964. 98 p.

DISTRITO FEDERAL. Ministério dos Transportes. *Porto de Santarém – PA*: plano portuário. Brasília, 1979. 84 p.

DOYTSHER, Y.; HALL, J.K. Gridded Affine Transformation and Ruber-Sheeting Algorithm with Fortran Program for Calibrating Scanned Hydrographic Survey Maps. *Computers and Geosciences/Pergamon*, Great Britain, v. 23, n. 7, p. 785-791, Feb. 1997.

ENGELHARDT, F.R. Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. *Marine Technology Society Journal*, Washington, v. 28, n.2, p. 1-86, May 1994.

ENVI, version 3.2: imaging software. [S.I.]: Research Systems Inc., 2000. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

ESTADOS UNIDOS. Intergraph Corporation. *I/RAS B*: manual do usuário. Alabama, 1994. 163 p.

ESTADOS UNIDOS. Intergraph Corporation. *I/RAS C*: manual do usuário. Alabama, 1997. 174 p.

ESTADOS UNIDOS. Intergraph Corporation. *MGE-PC*: manual do usuário. Alabama, 1996. 225 p.

ESTADOS UNIDOS. Intergraph Corporation. *MicroStation Feature Collection*: manual do usuário. Alabama, 1994. 181 p.

ESTADOS UNIDOS. National Administration Space Agency. LANDSAT 5: TM. 24 mai. 1997. São José dos Campos: INPE. Imagem de satélite: 227/062. TIF: 44.008 Kb.

ESTADOS UNIDOS. National Administration Space Agency. LANDSAT 5: TM. 15 out. 1997. São José dos Campos: INPE. Imagem de satélite: 227/062. TIF: 43.751 Kb.

FENÔMENOS meteorológicos: banco de dados. Disponível em: <<http://www.geocities.yahoo.com.br/meteorologiabr/macroescala>>. Acesso em: 22 jan. 2002.

FRANÇA. Groupement pour le Développement de la Télédetection Aérospatiale. *Image Mapping Methods - Examples of Implementation*: manual de orientação. Toulouse, 1996. 110 p.

FRANÇA. Groupement pour le Développement de la Télédetection Aérospatiale. *Physical Basis in Remote Sensing*: manual de orientação. Toulouse, 1992. 86 p.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. *Processamento de Imagens Digitais*. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2000. 509 p., 24 cm. Inclui índice. ISBN 85-212-0264-4.

GUIMARÃES, R.G. et al. Sistema de Atualização Cartográfica Apoiado por Computador. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...*Santos, 1998. p. 1-9.

HIDRO, version 1.01: sistemas de informações hidrológicas. [S.I.]: ANEEL, 2001. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

I/RAS B, version 6.0: binary raster editor. [S.I.]: Intergraph Corporation, 1999. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

I/RAS C, version 8.0: imaging software. [S.I.]: Intergraph Corporation, 2000. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

INPE. *Processamento Digital de Imagens*. 1. ed. São José dos Campos, SP, 1996. 45 p.

INPEa. *Princípios Físicos Ópticos de Sensoriamento Remoto*. 1. ed. São José dos Campos, SP, 1996. 22 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. *Mapa da Série Brasil-Geográfico*. Rio de Janeiro, 1997. Base de dados em DGN e DXF, versão 1.0.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 1. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1994. 750 p., 29 cm.

LUSCH, D.P. Introduction to Environmental Remote Sensing. In: GIS AND REMOTE SENSING SEMINAR, 1., 1999, Michigan. *Anais...Michigan*, 1999. p. 1-148.

MAGLIOCCA, A. *Glossário de Oceanografia*. 1. ed. São Paulo: EDUSP, 1987. 355 p., 21 cm. CDD-55146003.

MGE Basic Nucleus, version 07.00.00.11: project management software. [S.I.]: Intergraph Corporation, 1997. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

MICROSOFT CORPORATION. Encarta Interactive World Atlas Division. *Atlas Mundial Microsoft Encarta*. Washington, 1999. Base de dados para Windows, versão 9.00.00.0702..

MICROSTATION 95, version 05.05.01.65: graphical applications software. [S.I.]: Bentley Systems, 1995. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

MIGUENS, A.P. Aspectos da Navegação Fluvial: Documentos Cartográficos, Publicações de Segurança da Navegação, Sinalização, Métodos e Técnicas. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HIDROVIAS, 1.,1981, Rio de Janeiro. *Anais Hidrográficos Tomo XXXVIII*: Rio de Janeiro, 1981. pp. 77-102.

NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995. 308 p., 29 cm. ISBN 85-212-0057-9.

PROJETO RADAM. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: DNPM, v.5, 1974. 410 p.

PROJETO RADAM. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: DNPM, v. 7, 1975. 409 p.

PROJETO RADAMa. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: DNPM, v. 10, 1975. 585 p.

PROJETO RADAM. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: DNPM, v. 18, 1978. 627 p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Convenções Cartográficas*: manual técnico. Rio de Janeiro, 1996. 85 p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual de Compilação*: manual técnico. Rio de Janeiro, 1996. 57 p.

SANTOS, N.B.F. et al. Emprego de Imagens LANDSAT7/ETM+ para Detecção da Calha Principal do Rio São Francisco com Propósito de Auxiliar os Estudos de Navegabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...Foz do Iguaçu*, 2001. p 2-19.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. Levantamento de Áreas Deflorestadas na Amazônia Através de Processamento Digital de Imagens Orbitais. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 6, n.1, p. 38-44, 1999.

SHIMABUKURO, Y.E.; RUDORFF, B.F.T.; PONZONI, F.J. A Cobertura Vegetal Vista do Espaço: uma Ferramenta para a Preservação. *Floresta e Ambiente*, Rio de Janeiro, v.5, n. 1, p. 195-198, 1998.

SOARES, V.P. et al. Uso de Receptores GPS na Retificação de Imagens TM/LANDSAT-5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...Santos*, 1998. p. 22-35.

STEFFEN, C.A.; MORAES, E.C.; GAMA, F.F. Radiometria Óptica Espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. *Anais...Salvador*, 1996. p. 3-10.

STERLING, T. *A Amazônia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Cidade Cultural Ltda, 1983. 184 p., 26 cm.

SURFER, version 6.03: surface mapping system. [S.I.]: Golden Software Inc., 1996. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

UNESCO. El Niño Returns. *International Marine Science Newsletter*, Washington, n. 62, p. 2-8, 1992.

UNESCO. River Inputs to Ocean Systems. Status and Recommendations for Research. *Technical Papers in Marine Science*, Washington, n. 55, p. 13-26, 1988.