



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DELIMITAÇÃO E
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS (VÁRZEA) NA
BACIA AMAZÔNICA.**

CÉSAR VALDENIR TEIXEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 241

**BRASÍLIA
Agosto de 2008**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA GERAL E APLICADA**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DELIMITAÇÃO E
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS (VÁRZEA) NA
BACIA AMAZÔNICA.**

CÉSAR VALDENIR TEIXEIRA

ORIENTADOR DR. EDSON EYJI SANO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO NA ÁREA DE
PROCESSAMENTO DE DADOS EM GEOLOGIA E ANÁLISE
AMBIENTAL**

**BRASÍLIA
Agosto de 2008**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA GERAL E APLICADA**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DELIMITAÇÃO E
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INUNDÁVEIS (VÁRZEA) NA
BACIA AMAZÔNICA.**

CÉSAR VALDENIR TEIXEIRA

**Dissertação de mestrado submetida ao
departamento de Geologia Geral Aplicada,
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do grau de mestre em Geologia.**

Aprovada por:

Prof.Dr. Edson Eyji Sano (Embrapa Cerrados)
(Orientador)

Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses (IG – UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira (CEFET – GO)
(Examinador Externo)

Brasília 08 de agosto de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Teixeira, César Valdenir

Uso de Sensoriamento Remoto para delimitação e identificação de áreas inundáveis (várzea) na bacia Amazônica. / César Valdenir Teixeira; orientação de Edson Eijy Sano. – Brasília, 2008.

84 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/ Instituto de Geociências, 2008.

1. Imagens ópticas e radar. 2. Segmentação de imagens. 3. Classificação 4. Fusão de imagens. I. Sano, E. E. II. Doutor.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Teixeira, C. V. **Uso do sensoriamento remoto para delimitação e identificação de áreas inundáveis (várzea) na bacia amazônica.** Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2008, 84 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: César Valdenir Teixeira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Uso do sensoriamento remoto para delimitação e identificação de áreas inundáveis (várzea) na bacia amazônica.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

César Valdenir Teixeira

169.749.168-50

Rua Copaíba lote 12 – Res.Imprensa III

Bloco A apt. 501 – Águas Claras

71931-720 – Brasília/DF - Brasil

(61) 9213-5421 cesarvt@uol.com.br.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Edson E. Sano, pela orientação e incentivo durante o desenvolvimento do trabalho.

À minha esposa Cristhian, pelo amor, compreensão e ajuda durante esta jornada.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio.

Ao meu grande amigo William, pela força e amizade.

À toda equipe do projeto ProVárzea/Ibama, em especial aos coordenadores Mauro Ruffino e Marcelo Raseira, pelo apoio recebido.

Ao amigo Anselmo C. Oliveira, pela ajuda na discussão e direcionamento do desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Willer Hermeto e Marcelo Parise, pela envio de dados utilizados e também pela ajuda nos trabalhos e levantamentos de campo.

Ao amigo Miguel Archanjo que, apesar de estar comprometido com sua tese, sempre se dispôs a me ajudar.

Aos colegas do Laboratório de Sensoriamento Remoto da Geologia na UnB, aos colegas do Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama e à Coordenação de Uso Sustentável dos Recursos Florestais – COUSF /DBFLO/ Ibama.

Ao SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) e à ANA (Agência Nacional de Águas), pela disponibilização de dados utilizados no trabalho.

Sumário

Capítulos/Sub-capítulos	Página
Índice de Figuras	i
Índice de Tabelas	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
1 – Introdução	
1.1 – Apresentação	01
1.2 – Estrutura da dissertação	03
1.3 – Principais resultados obtidos	03
2 – Área de estudo	
2.1- Caracterização	04
3 – Fundamentos teóricos	
3.1- A várzea Amazônica	07
3.2 – ProVárzea / Ibama	09
3.3 – Sensoriamento Remoto	11
3.4 – Imagens de Sensoriamento Remoto	12
3.4.1 – Imagens Ópticas	13
3.4.2- Imagens de Radar	15
3.5- Processamento digital de imagens	18
3.5.1- Realce de imagens	19
3.5.2 – Segmentação de imagens	20
3.5.3- Classificação de imagens	21
3.5.4 – NDVI (índice de vegetação normalizada)	22
3.5.5 – Transformação IHS	22
3.5.6 – Fusão de imagens	21
3.6- Sistema de Informações Geográficas	26
3.7- Avaliação da exatidão do mapeamentos	28
Referências Bibliográficas	29
ANEXO A – Artigo para submissão	36
ANEXO B – Figuras, fotos de campo e tabelas	65

Índice de Figuras

	Página
Figura 1 – Municípios onde se localizam as áreas de estudo deste trabalho. Baixo Amazonas = Santarém/PA; Médio Solimões = Iranduba e Manaus/AM.	05
Figura 2 – Localização das áreas de estudo na região Amazônica . (1) = região de Santarém-PA; (2) = região de Manaus/Iranduba-AM.	06
Figura 3 – Precipitação média mensal e nível do Rio Negro (acima do mar) em Manaus: série histórica de 1911-1953.	08
Figura 4 – Esquema do procedimento da transformação RGB – IHS.	24
Figura 5 – Fluxograma mostrando os procedimentos de geração de imagens híbridas por meio de fusão.	26
Figura 6 – Geoprocessamento, tecnologia transdisciplinar.	27

Índice de Figuras

	Página
Tabela 1 – Principais regiões ou intervalos espectrais usados em sensoriamento remoto.	12
Tabela 2 – Faixas espectrais dos LANDSAT 4, 5 e 7.	14
Tabela 3 – Designação das bandas de radar.	15
Tabela 4 – Características da carga útil do satélite RADARSAT	17
Tabela 5 – Tipos de dados da aeronave de sensoriamento remoto da FAB.	18
Tabela 6 – Classificação dos valores do coeficiente Kappa	29

RESUMO - Na Bacia Amazônica, a forte amplitude de variação no nível de água da drenagem causa uma inundação sistemática de vastas zonas chamadas de várzea. Essas zonas estão localizadas principalmente nos eixos dos rios maiores da Bacia Amazônica. Esse estudo objetiva desenvolver uma abordagem metodológica para analisar padrões e técnicas para discriminar áreas de várzea na Amazônia usando a combinação de imagens ópticas (sensor Landsat) e de radar (sensores Radarsat-1, JERS-1 e R99B da Força Área Brasileira), proporcionando a delimitação e a identificação de alvos representativos destas áreas. As duas áreas de estudo selecionadas com base na disponibilidade de dados localizam-se na região das cidades de Manaus e Iranduba – AM e também na região da cidade de Santarém – PA. Para a delimitação das áreas de várzea, utilizaram-se técnicas de segmentação por crescimento de regiões, seguida de classificação supervisionada de imagens. Os resultados foram analisados através do teste estatístico do coeficiente Kappa e o resultado encontrado foi considerado bom para todas as imagens. Para a identificação de alvos nas várzeas, foram utilizadas três técnicas de fusão de imagens - transformada de Wavelet, componentes principais e pirâmides morfológicas. Os resultados apresentados foram confirmados com base nos dados de campo. O estudo contou com um importante suporte do PROVÁRZEA/Ibama (Projeto Manejo de Recursos Naturais da Várzea), mais especificamente, do grupo envolvido com o gerenciamento de dados georreferenciados para o monitoramento da inundação.

Palavras-chave: Landsat, radar, segmentação, classificação de imagens, fusão de imagens.

Using Remote Sensing for delimitation and identification of flooding areas (floodplain) in the Amazonian basin.

ABSTRACT - At the Amazonian basin, the strong amplitude of variation of water level draining generates systematic floodings in vast zones called “varzea” (floodplain). These zones are located mainly in the edges of the major rivers at the Amazonian basin. This work aims to develop a methodological approach to analyze patterns and techniques to discriminate representative areas of Amazon floodplains using combined, optical (Landsat sensor) and radar (Radarsat-1, JERS-1 and R99B Brazilian Air Force sensors), remotely sensed data, providing the delimitation and the identification of representative targets of these areas. Two study areas, selected based on data availability, were located in the regions of the cities of Manaus and Iranduba – AM and also in the region of the city of Santarem – PA. For the delimitation of the areas of varzea, we used image segmentation techniques by growing region, followed by the supervised classification. The result was analysed through the statistical test of the Kappa coefficient and found and the result was considered good for all images. For the identification of representative targets in the varzea, we used three image fusion techniques - Wavelet transform, principal components and morphological pyramids. The results were compared with field data. The study had an important support of ProVárzea/Ibama (The Floodplain “Várzea” Natural Resources Management Project), specifically from the group dealing with GIS-based data management for floodplain monitoring.

Keywords: Landsat, radar, segmentation, image classification, image fusion.

1 – Introdução

1.1 – Apresentação

O bioma da Amazônia apresenta extensa área territorial, é considerada a maior reserva de diversidade biológica do mundo e contém um quinto da água doce, líquida e corrente disponível e um terço das florestas latifoliadas do mundo (Valois, 2003)¹. De acordo com a classificação proposta por Ab'Saber (2002), o bioma da Amazônia possui os seguintes compartimentos: Terra Firme, Igapó, Igarapé e Várzea. A Várzea corresponde a áreas periodicamente inundadas pelas águas brancas ou turvas de rios como o Solimões, o Amazonas ou o Madeira. Estes rios percorrem terras ricas em minerais e suspensões orgânicas. A fertilidade destas águas brancas e dos solos aluvionares trazidos pelas mesmas faz com que a flora e a fauna desta parte da Amazônia sejam uma das mais ricas e produtivas. Os rios são ricos em peixes e há várias espécies de mamíferos aquáticos e aves aquáticas. A alta produtividade da Floresta Amazônica de várzea tornou possível o povoamento da região. Os habitantes residem ao longo das margens dos rios - são as chamadas populações ribeirinhas. Não há informações censitárias sobre a população residente exclusivamente na várzea. Os dados disponíveis referem-se apenas aos municípios sob influência da várzea, onde também há uma parte da população vivendo em terra firme. Nesses municípios (excluindo Manaus e o estuário do Amazonas), a população é estimada em 1,5 milhão. Essa população, largamente tradicional, possui grande conhecimento empírico do ambiente natural e uma organização social fortemente baseada nas relações de parentesco.

A planície de inundação não é só importante em escala regional, mas representa um papel importante nos processos diretos e indiretos de mudanças globais, ficando evidente que o aproveitamento dos recursos naturais deste ecossistema será inevitável e o monitoramento da dinâmica da planície de inundação não é tarefa fácil devido à enorme dimensão da área afetada. É neste aspecto que reside a importância do uso do sensoriamento remoto orbital para extração de informações. O sensoriamento remoto tem contribuído muito para o estudo dos mais diversos ambientes do planeta, ajudando a ampliar a compreensão das estruturas ecossistêmicas e de suas interações. Um dos principais interesses no uso de imagens de satélite em ambientes aquáticos é verificar a

¹ As referências bibliográficas do primeiro capítulo estão na página 29.

variação espacial e temporal da composição da água (Jensen, 2000). Outro interesse é o estudo da dinâmica do desmatamento na Amazônia, principalmente devido à dimensão desta região e à dificuldade de acesso. Uma das maiores dificuldades encontradas pelos usuários de dados de sensoriamento remoto reside, entretanto, na disponibilidade de método rápido e preciso para obter mapas de uso e cobertura da terra através da utilização de métodos de classificação digital (Vasconcelos e Novo, 2004).

Outro interesse mostra o uso de imagens e técnicas de sensoriamento remoto para mapear a variação no tempo e no espaço da área ocupada pelos diferentes habitats dos ecossistemas alagáveis da região Amazônica, trabalho este elaborado no âmbito do Projeto LBA (*Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia*) (Novo *et al.*, 2005). Trabalhos usando sensoriamento remoto que podem ser destacados são os de Hess *et al.* (2003) e de Frappart *et al.* (2005) que mostraram a determinação de variações nas áreas inundáveis utilizando combinações de imagens de radar de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*).

A extração de informações desta região através destas técnicas pode servir de subsídio para elaboração de políticas públicas voltadas à sustentabilidade dos recursos naturais da várzea. Um dos programas nacionais para fomentar a conservação e o desenvolvimento sustentável das várzeas da Amazônia é o Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea - ProVárzea - do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, o qual foi criado com o objetivo de estabelecer bases científicas, técnicas e políticas para a conservação e o manejo ambiental e social sustentável dos seus recursos naturais, notadamente os recursos pesqueiros ao longo da calha dos rios Solimões/Amazonas.

Assim, o objetivo geral do estudo foi desenvolver uma abordagem metodológica para analisar padrões e técnicas para discriminar áreas de várzea na Amazônia usando a combinação de imagens ópticas e de radar. Para alcançar tal objetivo, foi necessário comparar o desempenho de diferentes sistemas sensores orbitais e aerotransportados na delimitação de áreas de várzea da Amazônia, com a utilização de técnicas de processamento digital como segmentação e classificação. Diferentes técnicas de fusão de imagens também foram comparadas para identificar as principais classes de cobertura de terra em áreas de várzea da Amazônia.

1.2 – Estrutura da dissertação

Esta dissertação segue o formato de artigos. Inicialmente, é apresentado um capítulo introdutório que versa sobre a caracterização geral da área de estudo em termos de ambiente ou ecossistema. Neste capítulo inicial, ainda são apresentados os objetivos do trabalho, bem como alguns dos principais resultados atingidos pelo mesmo. No segundo capítulo, são apresentados os referenciais teóricos e bibliográficos em estudo, apresentando a descrição e características das áreas onde foram realizados os testes, bem como as imagens e sensores utilizados. Também são apresentadas as técnicas de processamento digital de imagens que foram empregadas para a realização do trabalho.

O Anexo A é composto pelo artigo que será submetido a uma revista científica com ampla circulação no meio acadêmico. O artigo é composto pela descrição geral dos materiais, metodologias e técnicas utilizadas e discussão dos resultados e recomendações a respeito da várzea. Ele é voltado não só para a comunidade acadêmica, mas, sobretudo para a comunidade local que pode utilizar os dados armazenados no banco de informações para o desenvolvimento da região. O Anexo B contém figuras elaboradas a partir do resultado dos processamentos das imagens. Também são apresentadas algumas fotos de campo e tabelas.

1.3 – Principais Resultados

Para a delimitação das áreas de várzea, fez-se a comparação dos resultados obtidos com segmentação e classificação de imagens ópticas do satélite Landsat e imagens de radar do R99B/SAR e Radarsat. Os três resultados foram classificados estatisticamente como bom pelos testes do coeficiente Kappa e exatidão global. Apesar do equilíbrio dos resultados alcançados, o desempenho final do sensor Landsat foi ligeiramente superior aos demais.

Para a identificação de classes de cobertura de terra em áreas de várzea, as técnicas de fusão empregadas, isto é, *Wavelet*, pirâmide morfológica, IHS e componentes principais, mostraram resultados satisfatórios, quando comparados com a verdade de campo.

2 – Áreas de estudo

2.1 – Caracterização

Considerando-se que o foco do trabalho é o estudo das várzeas amazônicas, seria interessante realizar estes estudos em toda a calha dos rios Solimões/Amazonas, mas isso é praticamente impossível devido à grande extensão da área. Outro fator limitante é a falta de informações e dados de alguns trechos. Portanto, foram selecionadas duas áreas de estudo ao longo da referida calha: a região do Baixo Amazonas, mais especificamente na região do município de Santarém/PA e a região do Alto Solimões, mais especificamente na região do município de Tabatinga/AM.

Esta seleção levou em consideração a diversidade geomorfológica da área. Segundo Latrubesse (2007), é importante mencionar dois fatores que controlam a variação espacial e temporal da morfologia da maioria desses rios: a neotectônica e a topografia do embasamento. No Alto Solimões, os vales dos rios são mais cavados e profundos, ocasionando espalhamento reduzido das águas em épocas de inundação. No Baixo Amazonas, tem-se o efeito contrário, isto é, os rios são largos e pouco profundos, apresentando maiores áreas de alagamentos.

A primeira área foi selecionada como uma das áreas-piloto do projeto ProVárzea através do seu componente 3 – Monitoramento e Controle, com um grande volume de informações, dados e imagens que são utilizadas para a execução de trabalhos rotineiros do projeto. Para a área referente ao município de Tabatinga, verificou-se posteriormente que não havia informações e imagens de boa qualidade para a área, o que, em primeiro momento, não pôde ser constatada. Para substituir a área em questão, foi selecionada uma nova área localizada na calha do Solimões/Amazonas, que compreende os municípios de Iranduba e Manaus (Médio Solimões), onde havia todas as informações e dados necessários para a realização do trabalho (Figura 1).

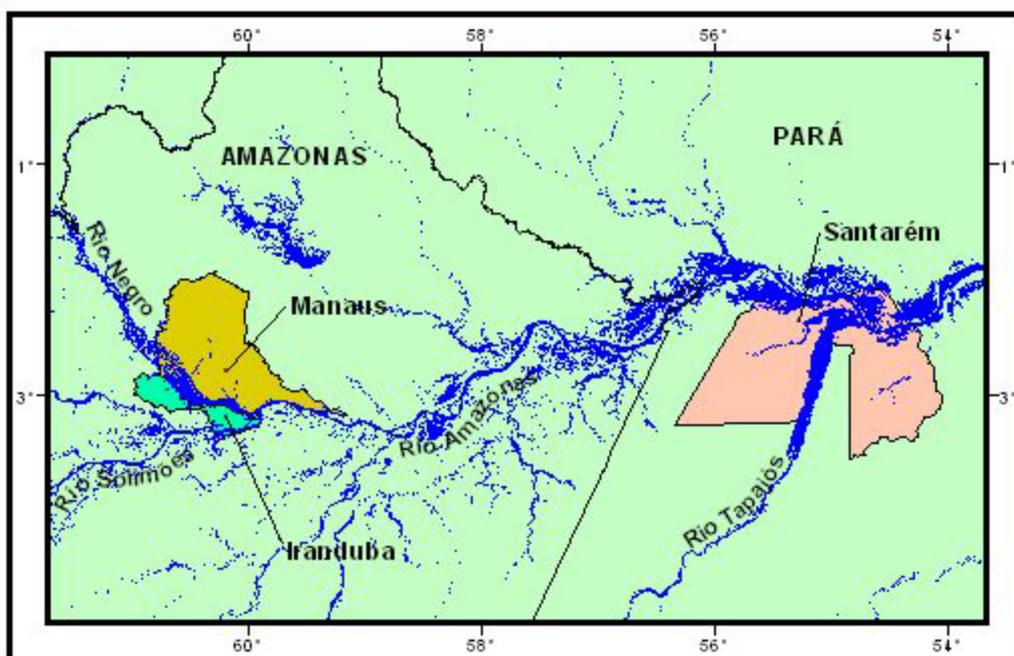


Figura 1 – Municípios onde se localizam as áreas de estudo deste trabalho. Baixo Amazonas = Santarém/PA; Médio Solimões = Iranduba e Manaus/AM.

As duas áreas são caracterizadas por apresentarem um clima quente e úmido do tipo Ami, segundo a classificação de Köeppen. A precipitação média anual é de 2.500 mm e a temperatura média anual de 26 °C (SUDAM, 1984). No geral, é constituída pela Planície Amazônica com cobertura pedológica de Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Organossolos. Suas fitofisionomias vegetais principais são a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) e a Floresta Ombrófila Densa Aluvial com Dossel emergente (Dae). Na região de Santarém, têm-se ainda as Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre e as herbáceas sem palmeiras (Pah). Nas áreas de Iranduba e Manaus, tem-se a Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa) e a Floresta Ombrófila Densa de terras baixas e dossel emergente (Dbe). Estes dados foram gerados a partir do projeto de mapeamento temático elaborado pelo SIPAM e IBGE na escala 1:250.000, disponibilizado em 2006 (dados não publicados).

A área do Baixo Amazonas localiza-se no município de Santarém – PA e nos municípios vizinhos ao longo do rio Amazonas, começando em uma área denominada Lago Grande de Curuaí, passando pela área urbana de Santarém, onde há o encontro dos Rios Amazonas e Tapajós, e finalizando na região denominada Aritapera/Tapará

(Figura 2). Ela situa-se entre os paralelos 1° 50' e 2° 40' de latitude sul e meridianos 54° 20' e 56° 10' a oeste de Greenwich. Esta área apresenta uma geologia composta pela Formação Alter-do-Chão e aluviões holocênicos. A geomorfologia é composta pelos Patamares do Tapajós e o Planalto do Uatumã-Jari, com predomínio de Latossolos Amarelos e Podzólicos.

A área do Médio Solimões localiza-se no encontro entre os rios Negro e Solimões, aproximadamente entre os paralelos 3° 00' e 3° 30' de latitude sul e entre os meridianos 59° 50' e 60° 25' a oeste de Greenwich. Nessa região de Iranduba e Manaus, afloram os sedimentos da Formação Solimões e terraços holocênicos. Em termos geomorfológicos, tem-se o Planalto Dissecado dos Rios Negro-Uatumã.

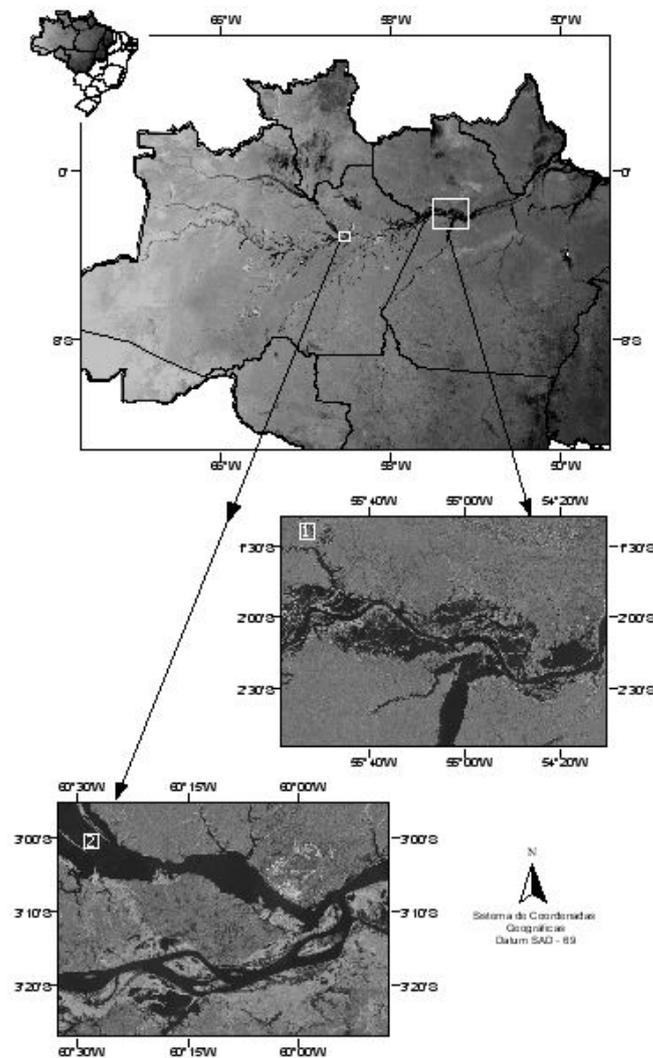


Figura 2 – Localização das áreas de estudo na região Amazônica. (1) = região de Santarém-PA; (2) = região de Iranduba e Manaus-AM.

3 – Fundamentos teóricos

3.1 - A várzea amazônica

O bioma da Amazônia ocupa quase 58% do território nacional, com uma imensa necessidade de mapeamento e monitoramento dos seus recursos naturais renováveis e não-renováveis. A integração desta área com o restante do país é cada vez mais estratégica devido ao seu enorme potencial em recursos naturais e sua baixa densidade demográfica (Paradella *et al.*, 1996). Com 6.112.000 km² na América do Sul, a bacia Amazônica ocupa mais da metade do território brasileiro com divisores topográficos constituídos pelo Planalto das Guianas, Cordilheira dos Andes e Planalto Brasileiro. A referida bacia situa-se, predominantemente, em topografia plana, formada por rochas cristalinas do Pré-Cambriano e baixo platô de sedimentos terciário-quaternários (Cunha, 2003). Os principais rios desta bacia são os rios Solimões/Amazonas que, ao longo de seus 3.000 km de extensão em terras brasileiras, drenam dois tipos de ambientes: a várzea, como é chamada a área de planície inundada anualmente, e a terra firme, terras altas que consistem em extensões do platô do período terciário que alcançam as bordas do rio. Estes dois ambientes se alternam ao longo das margens do rio, e nele residem populações ribeirinhas (Lima, 2005).

Na bacia Amazônica, a forte variação do nível d'água gera inundações regulares de vastas zonas, denominadas localmente de várzea (Sioli, 1994). As várzeas amazônicas são também definidas como áreas periodicamente inundadas por ciclos anuais regulares de rios de água branca, ricas em sedimentos (Surgik *et al.*, 2005), segundo a classificação proposta por Sioli (1968). Os solos dessas áreas, que caracterizam os rios de água branca como o rio Amazonas, submersos quase metade do ano, são ricos em nutrientes e são constantemente renovados (Pereira, 2004). Devido à grande diferença de precipitação entre as estações chuvosa e seca, o rio está sujeito a grandes flutuações em seu nível que atinge um máximo em maio/junho (Junk, 1984). O nível de água eleva-se durante seis a oito semanas, depois do fim da estação chuvosa local, e começa a cair até que a próxima estação chuvosa comece (Figura 3). Este desencontro entre enchente e estação chuvosa determina os ciclos da agricultura e da pesca ribeirinha (Pereira, 2004).

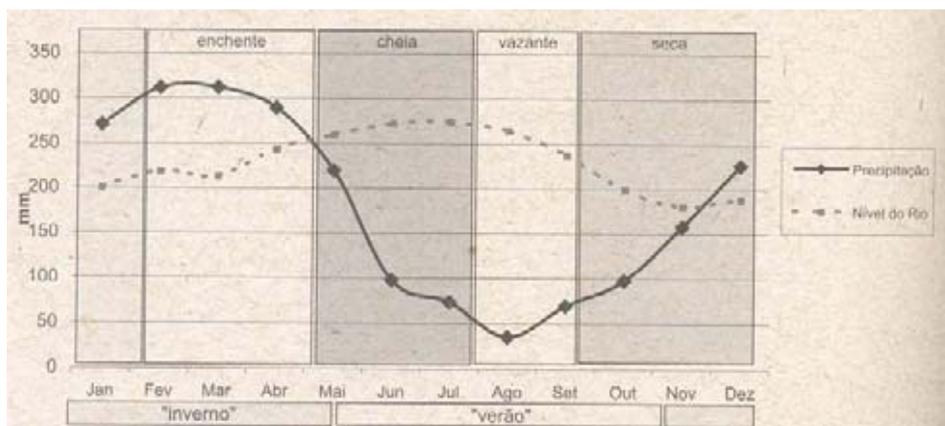


Figura 3 – Precipitação média mensal e nível do rio Negro (acima do mar) em Manaus: série histórica de 1911-1953. Fonte: Sternberg (1988), revista por Pereira (2004).

A várzea favorece a formação de uma paisagem com complexos sistemas de rios meândricos e com erosão fluvial ativa, isto é, construção e destruição de suas margens. Os ambientes que aí se formam são ocupados por uma vegetação adaptada à alagação periódica e fornecem grande parte da energia que sustenta a cadeia trófica aquática (Forsberg *et al.*, 1993). Há grande diversidade de espécies de vegetação arbórea de grande porte e crescimento rápido, sendo o mais comum de todos os tipos de matas inundáveis da Amazônia (Surgik *et al.*, 2005). Também é chamada de várzea estacional (Sioli, 1967; Prance, 1980; Junk, 1997).

A várzea é um dos ecossistemas mais ricos da Bacia Amazônica em termos de produtividade biológica, biodiversidade e recursos naturais. Meio de vida para mais de 1,5 milhões de ribeirinhos, a várzea ocupa cerca de 300.000 km² ao longo da calha dos rios Amazonas e Solimões e seus principais tributários e possui tamanho equivalente a 6% da superfície da Amazônia Legal. Seus rios e lagos, bem como outros corpos de água da Amazônia, abrigam 25% das espécies de peixes de água doce do mundo. Estima-se que existam cerca de 3.000 espécies de peixes nessas áreas, das quais 200 são exploradas comercialmente. O recurso pesqueiro representa a síntese das interações entre os diversos componentes desse ecossistema, além de ser a base da dieta e principal fonte de renda da população ribeirinha, proporcionando mais de 70 mil empregos diretos na região. A vegetação terrestre é predominantemente florestal, embora, em certas áreas, ocorram formações campestres, como acontece entre lagos e restingas, ou mesmo nas margens de alguns rios. Nos lagos, ocorre uma vegetação

flutuante formada por macrófitas. A vegetação florestal e as macrófitas influenciam significativamente a vida aquática, fornecendo alimentos (frutos, folhas e sementes) e abrigo, principalmente para peixes e mamíferos aquáticos. Estes, em troca, realizam a dispersão de sementes, contribuindo para a regeneração da vegetação florestal da várzea (Santos, 2004).

3.2 – ProVárzea/Ibama

Um dos programas nacionais mais expressivos para fomentar a conservação e o desenvolvimento sustentável das várzeas da Amazônia é o Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea - ProVárzea - do Ibama - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o qual foi criado com o objetivo de estabelecer bases científicas, técnicas e políticas para a conservação e o manejo ambiental e social sustentável dos seus recursos naturais, notadamente os recursos pesqueiros. Executado pelo Ibama através do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil - PPG7, o ProVárzea/Ibama é subordinado à Secretaria de Coordenação da Amazônia do Ministério do Meio Ambiente. Desde 2001, tem contribuído na elaboração de políticas públicas e no desenvolvimento de sistemas de conservação e manejo sustentáveis dos recursos naturais da várzea, com base em três linhas de ação:

- Estudos Estratégicos: visam atenuar a escassez de informações sobre a várzea, através da pesquisa científica;
- Iniciativas Promissoras: apoiam projetos que desenvolvem sistemas inovadores de manejo sustentável dos recursos naturais da várzea; e
- Monitoramento e Controle: atua no fomento a modelos de co-gestão, buscando testar um sistema descentralizado e participativo no uso dos recursos naturais.

Todas as atividades do ProVárzea estão inseridas dentro de seus quatro componentes, que são:

Componente 1 - Estudos Estratégicos: Visando atenuar lacunas do conhecimento e influenciar políticas públicas sobre a várzea, o ProVárzea/Ibama realiza, através deste componente, pesquisas científicas como, por exemplo, estudo sobre os grandes bagres migradores, aspectos jurídicos e fundiários, setor pesqueiro na Amazônia e outros. Os resultados dessas pesquisas foram registrados através da Coleção de Estudos

Estratégicos do ProVárzea/Ibama, com a publicação de volumes relativos a cada um dos temas, além de cartilhas destinadas ao público ribeirinho, contendo os principais resultados que possam fortalecer as discussões locais.

Componente 2 - Iniciativas Promissoras: Através deste Componente, o ProVárzea/Ibama vem desenvolvendo e testando sistemas inovadores de manejo dos recursos naturais da várzea que sejam econômica, social e ambientalmente sustentáveis. O Projeto está apoiando, técnica e financeiramente, 27 projetos comunitários na calha dos rios Solimões/Amazonas, totalizando investimentos de aproximadamente 10 milhões de reais. Também tem oferecido apoio técnico e capacitação, além de auxílio à realização de “dias de campo” que estão possibilitando o intercâmbio de informações e experiências entre ribeirinhos de diferentes projetos e localidades, contrastando realidades e compartilhando desafios na gestão dos recursos da várzea. Por meio do trabalho deste Componente, têm-se produzido resultados importantes como: o fortalecimento das organizações de base; a consolidação do manejo de pesca pela ação comunitária e o crescente envolvimento dos ribeirinhos nos movimentos sociais de preservação e de desenvolvimento sustentável; a crescente participação das mulheres nos movimentos sociais e ambientais; o avanço na formação e capacitação de lideranças; e o fortalecimento de alternativas sustentáveis de renda para as populações ribeirinhas.

Componente 3 – Monitoramento, Controle & Co-gestão: Com o objetivo de desenvolver e testar um sistema descentralizado e participativo do controle de uso dos recursos naturais da várzea, o ProVárzea/Ibama vem incentivando as relações interinstitucionais e articulações setoriais que promovam melhorias para a várzea por meio de uma sociedade democrática e participativa. Divide-se em três subprojetos – Gestão Participativa (Co-gestão), que tem, como enfoque, o papel da negociação entre diferentes grupos de interesses envolvidos na atividade de manejo; Estatística pesqueira, sistema de monitoramento do ProVárzea/Ibama que foi concebido com o propósito de acompanhar e avaliar a pesca artesanal e comercial ao longo da calha do rio Solimões/Amazonas, levando-se em conta as mudanças decorrentes desta atividade no âmbito social, econômico e ambiental na Amazônia e o SIG (Sistema de Informações Geográficas), que é a ferramenta tecnológica utilizada para a gestão do espaço geográfico da área da várzea. Com essa tecnologia, o ProVárzea/Ibama,

juntamente com suas instituições, projetos parceiros e a sociedade em geral, tem acesso a informações geograficamente referenciadas da várzea, utilizando-as como subsídios para a tomada de decisões políticas, administrativas, ambientais e sociais acerca daquela região. O sub-componente SIG tem como funções principais: estruturar dados das duas áreas-piloto na região dos municípios de Santarém – PA e Parintins – AM; proporcionar a concepção lógica, o desenvolvimento e a implantação de um SIG para a várzea; desenvolver um sistema de informatização que integre os dados referentes a cadastro, controle, documentos e gerenciamentos de atividades; proporcionar que as entidades co-executoras envolvidas realizem o levantamento de informações por meio de georreferenciamento, mapeamento e digitalização nas duas áreas-piloto; e facilitar o desenvolvimento de interfaces e a migração dos dados e informações pertinentes à gestão do Projeto ao SIG.

Componente 4 - Unidade de Coordenação do Projeto - UCP. Cabe à Unidade de Coordenação do Projeto, situada em Manaus, na sede do Ibama, executar e monitorar o desenvolvimento de todas as atividades relacionadas ao Projeto, a fim de se alcançarem os objetivos propostos.

3.3 - Sensoriamento Remoto

Lillesand e Kiefer (1994) definiram sensoriamento remoto como a ciência de se obter informação sobre um objeto, uma área ou um fenômeno e analisar dados adquiridos por dispositivos que não tenham contato físico com o objeto que está sob investigação. O sensoriamento remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com eles (Novo, 1995; Rocha, 2000).

O sensor registra o sinal que, na maior parte das vezes, é a radiação eletromagnética (REM) solar ou terrestre, que atinge a superfície do alvo e retorna ao sensor (Novo, 1995). Portanto, os alvos são discriminados a partir das diferentes alterações na intensidade de reflectância que a REM sofre ao incidir sobre os diversos alvos. De todas as formas de energia existentes, a de especial importância para o Sensoriamento Remoto é a REM emitida pelo Sol e pela Terra. Sempre que se analisa qualquer tipo de imagem de sensoriamento remoto, a coexistência da radiação nas

formas de onda e energia deve ser considerada para que se possa explicar o que é observado nas imagens, com referência às características dos objetos (Meneses, 2001).

Meneses (2001) considerou que uma das áreas do conhecimento mais importantes do sensoriamento remoto é a radiometria espectral. Isso porque é por meio das medidas radiométricas de laboratório ou de campo que se descobre com qual intensidade cada material, seja um solo, um tipo de rocha ou uma vegetação, reflete ou emite a REM nos diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético e isso permite explicar e entender como cada um desses objetos irá aparecer na imagem. Os principais intervalos eletromagnéticos úteis ao sensoriamento remoto imageados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais regiões ou intervalos espectrais usados em sensoriamento remoto.

Nome	Intervalo espectral	Fonte de radiação	Propriedade medida
Visível	0,4 – 0,7 μm	Sol	Reflectância
Infravermelho próximo	0,7 – 1,1 μm	Sol	Reflectância
Infravermelho de ondas curtas	1,1 – 2,5 μm	Sol	Reflectância
Infravermelho médio	3,0 – 5,0 μm	Sol	Reflectância
	4,5 – 5,0 μm	Corpos terrestres com altas temperaturas	Temperatura
Infravermelho termal	8,0 – 14 μm	Terra	Temperatura
Microondas	1 mm – 1 m	Terra (passivo)	Temperatura (passivo)
		Artificial (ativo)	Rugosidade dos alvos (ativo)

Fonte: Meneses (2001).

3.4 - Imagens de Sensoriamento Remoto

Após interagir com objetos na superfície terrestre, a REM é detectada por sensores a bordo de satélites. Este sistema sensor produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou retroespalhamento destas trocas energéticas, num determinado

instante, naquele espaço físico, tornando-se apto a extrair informações sobre aquela região (Rocha, 2000). As imagens de sensoriamento remoto são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grade (Crosta, 1992). Cada célula dessa grade tem sua localização definida por X e Y, respectivamente. O nome dado a essas células é *pixel*, derivado do inglês “*picture element*”. Para um mesmo sensor remoto, cada pixel representa sempre uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra. Cada célula possui também um atributo numérico Z, que indica o nível de cinza dessa célula, que vai variar do preto ao branco; esse nível é conhecido como valor digital (VD) ou DN em inglês, de *digital number*. O DN de uma célula representa a energia eletromagnética (refletida, emitida ou retroespalhada) medida pelo sensor para a área da superfície da Terra correspondente ao tamanho do pixel.

As imagens produzidas podem ser caracterizadas por:

- Resolução espacial: capacidade do sensor de detectar objetos a partir de uma determinada dimensão;
- Resolução espectral: capacidade do sensor de registrar a radiação em diferentes regiões do espectro eletromagnético;
- Resolução radiométrica: capacidade de discriminar, entre diferentes intensidades de sinal, o número de níveis digitais em que a informação se encontra registrada; e
- Resolução temporal: representa a frequência com que a área de interesse é revisitada ou imageada.

3.4.1 - Imagens ópticas

Os sensores imageadores foram baseados em sistemas fotográficos que tentam reproduzir as características do olho humano. Em analogia ao sistema visual humano, a objetiva faz o papel da íris, a lente faz o papel do cristalino e o filme, o papel da retina. Nos sensores imageadores, são os detetores eletrônicos que transformam a radiação recebida em sinal elétrico. Assim, os sensores imageadores são dispositivos eletro-ópticos que coletam REM proveniente da superfície e a decompõem através de prismas e grades de difração através de detetores, registram as suas intensidades em diferentes intervalos espectrais e um sistema eletrônico de saída modula os sinais para enviá-los a Terra. Um problema comum é a necessidade de uma fonte externa de radiação, o Sol,

fazendo os sensores ficarem limitados a operar em determinados períodos do dia e sujeitos às condições atmosféricas, especialmente cobertura de nuvens (Rocha, 2000).

Em julho de 1972, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) lançou, nos Estados Unidos, o primeiro satélite artificial de recursos terrestres, chamado *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS 1). Logo após o lançamento, ele foi rebatizado para Landsat. Os satélites desta série são destinados à exploração dos recursos naturais do planeta e, a partir de 1972, já foram lançados sete satélites (Liu, 2006).

Os satélites 4, 5 e 7 do Landsat foram equipados com uma nova geração de sensores, o TM (*Thematic Mapper*) e o ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) que se constituem em imageadores multiespectrais do tipo de varredura mecânica, isto é, possuem um espelho rotativo que oscila perpendicularmente à direção de deslocamento do satélite, nos sentidos leste-oeste e oeste-leste, segundo um ângulo de varredura de 5,8 graus. A cada oscilação de espelho, cada um dos dezesseis detectores das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 gera uma imagem em uma faixa no terreno com 30 metros de largura. São imageadas, simultaneamente, 16 linhas seqüenciais por banda. A largura total da faixa imageada é de 185 km. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 têm uma resolução espacial no terreno de 30 metros e a banda 6, no intervalo do infravermelho termal, tem uma resolução espacial de 120 metros. Já a banda 8, chamada de pancromática, tem resolução espacial de 15 metros (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixas espectrais dos Landsat 4, 5 e 7.

Banda	Faixa Espectral
1	0,45 a 0,52 μm (azul)
2	0,52 a 0,60 μm (verde)
3	0,63 a 0,69 μm (vermelho)
4	0,76 a 0,90 μm (infravermelho próximo)
5	1,55 a 1,75 μm (infravermelho médio)
6	10,4 a 12,5 μm (infravermelho termal)
7	2,08 a 2,35 μm (infravermelho distante)
8	0,5 a 0,90 μm (pancromática, apenas no Landsat 7)

Fonte: Rocha (2000).

3.4.2 - Imagens de radar

Segundo Novo (1995), um radar executa três funções básicas: transmite um pulso de microondas em direção a um alvo; recebe a porção refletida do pulso transmitido após este haver interagido com o alvo (energia retroespalhada); e registra a potência, a variação temporal e o tempo de retorno do pulso retroespalhado. O sinal ilumina a superfície em um ângulo oblíquo, fazendo realçar as variações de rugosidade e textura da superfície. Este sinal pode ser polarizado horizontalmente ou verticalmente. Outra característica importante é que estes sensores independem da iluminação solar, podendo operar a qualquer hora. Devido a seus comprimentos de onda relativamente grandes (~ 1 mm a 1 m), conseguem adquirir imagens mesmo com presença de cobertura de nuvens. De acordo com Moreira (2003), a radiação consegue ainda penetrar nas camadas superficiais dos alvos da superfície terrestre. Quanto maior for o comprimento de onda, dentro da faixa de microondas, maior será a penetração na superfície, incluindo solos e dosséis vegetais (Tabela 3).

Tabela 3 – Designação das bandas de radar.

Banda	Comprimento de onda (cm)	Frequência GHz	Utilização mais comum
Q	0,75 – 1,10	40,0 – 26,5	Comunicações
K	1,10 – 1,67	26,5 – 18,0	Comunicações
Ku	1,67 – 2,40	18,0 – 12,5	Comunicações e radares de espaço aéreo
X	2,40 – 3,75	12,5 – 8,0	Radares de espaço aéreo e Sensoriamento Remoto
C	3,75 – 7,50	8,0 – 4,0	Sensoriamento Remoto
S	7,50 – 15	4,0 – 2,0	<i>Transponder</i> de satélites de comunicações
L	15 – 30	2,0 – 1,0	Sensoriamento Remoto; VLBI* e GPS**
P	30 – 100	1,0 – 0,2	Sensoriamento Remoto

*Very Lange Baseline Interferometry. **Global Positioning System

Fonte: Moreira (2003).

A NASDA (*National Space Development Agency of Japan*) lançou o JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) em 1992, levando a bordo um radar de abertura sintética (SAR), que opera na banda L e um sensor óptico. Seu principal objetivo foi coletar informações de recursos naturais de maneira global e conduzir observações para pesquisas em agricultura, vigilância de florestas, preservação ambiental, preservação de catástrofes, monitoramento costeiro e aplicações geológicas (Rocha, 2000).

O SAR a bordo do JERS-1 foi desenvolvido com base em outros sistemas de observação da Terra (tais como o satélite SEASAT), sendo que os principais requisitos do sensor foram: operar com grandes ângulos de incidência para diminuir o efeito de encurtamento de rampa; resolução melhor que 20m, de modo a obter feições geológicas de forma precisa; e possibilitar a aquisição de dados de solos com cobertura vegetal (Andrade, 2000a).

O satélite RADARSAT foi lançado em novembro de 1995 pela Agência Espacial Canadense (CSA) e utiliza um radar de abertura sintética operando na banda C e transmitindo e recebendo sinal com a polarização horizontal (HH), semelhante ao JERS-1. No entanto, o programa foi concebido para ter características comerciais operando sob responsabilidade de uma empresa privada, a RADARSAT International Inc. RADARSAT permite aquisição de imagens em sete diferentes modos de operação (Tabela 4). As principais características são: a) sensor ativo de microondas: diferentemente dos sensores ópticos passivos, o SAR do RADARSAT não depende da luz do Sol como fonte de energia, ele tem sua própria fonte de iluminação, podendo operar e obter imagens a qualquer hora do dia ou da noite; b) banda C: opera com comprimento de onda de 5,6 cm, é capaz de obter imagens através de nuvens, chuva, neblina e fumaça, além de penetrar parcialmente em algumas coberturas vegetais, água rasa e areia não consolidada; c) polarização HH: o radar produz um sinal polarizado horizontalmente e grava o sinal recebido também horizontalmente. Com essa natureza, o radar é sensível a rugosidades ou texturas na superfície, sendo usado para definição de diferenças na superfície terrestre entre espécies vegetais e tipos de rocha; d) múltiplos modos de operação: resoluções espaciais de 10 a 100 metros e tamanho de cena de 50 a 500 km. Essa resolução variável possibilita a produção de mapas de pequenas a grandes escalas (Rocha, 2000).

A Força Aérea Brasileira (FAB) possui duas aeronaves de sensoriamento remoto à sua disposição. Uma das aeronaves é equipada com um subsistema de radar de abertura sintética, um subsistema de varredura multiespectral (MSS) e um subsistema óptico e infravermelho (OIS) e a outra com um sistema hiperespectral (MSS).

Tabela 4 – Características da carga útil do satélite RADARSAT.

Modo	Ângulo de incidência	Resolução (m x m)	Faixa de Imageamento (km)
Standard	20 – 49	28 x 25	100
Faixa Larga	20 – 39	28 x 35	150
Resolução Fina	37 – 48	10 x 09	45
Cobertura Estendida	49 – 59	20 x 20	75
ScanSAR (estreita)	20 – 39 31 – 46	Interrompido	
ScanSAR (amplo)	20 – 49	100 x 100	500

Fonte: Moreira (2003).

O R99B/SAR opera em duas frequências: banda L (1,28 GHz) e banda X (9,3 GHz). O subsistema da banda L tem a capacidade de transmitir e receber tanto na polarização vertical quanto na horizontal. O subsistema da banda X só transmite e recebe na polarização horizontal. Existem duas antenas para a banda L e duas para a banda X. As antenas da banda L são fixas: uma é utilizada para a aquisição no modo "*stripmap*" com visada para a esquerda e a outra é utilizada para a aquisição no modo "*stripmap*" com visada para a direita. As antenas da banda X são montadas em um pedestal abaixo da fuselagem da aeronave. Uma das antenas da banda X (antena monopulso) é utilizada para aquisição de dados nos seguintes modos: *stripmap* - com visada para a esquerda ou para a direita; *spotsar*; *wide area search*; e *air-to-air* (A2A). A outra antena da banda X (antena interferométrica - INSAR) é utilizada em conjunto com a antena monopulso para adquirir dados interferométricos.

O subsistema SAR suporta missões de vigilância, mapeamento ou missões híbridas de vigilância/mapeamento. Existem 13 modos para o imageamento SAR e alguns desses modos podem utilizar diferentes resoluções, resultando em um total de 26 modos de aquisição.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos tipos de dados e mídia do sensor SAR que será recebida pelo órgão responsável pelo processamento dos dados – ASGP (*Airborne Sensor Ground Processing*). Divide-se o processamento destas imagens em duas etapas. O pré-processamento é a função que transforma dados de sinais brutos armazenados em fitas em dados de imagem brutos armazenados em disco e pós-processamento é a função que aplica correções radiométricas e geométricas que extrapolam a correção dos parâmetros dos sensores. A finalidade do pós-processamento é preparar os dados de imagem para que sejam utilizados nas

aplicações GIS, confecção de mapas, etc. O pós-processamento é executado em estações de trabalho que dispõem de programas para processamento e imagens (Andrade, 2000b).

Tabela 5 – Tipos de dados da aeronave de sensoriamento remoto da FAB.

Sensor	Mídia	Tipo de dado	Descrição geral
SAR	DCRsi	Stripmap	Sinal bruto gravado na fita. Neste ponto, esses dados não são utilizáveis pelos usuários; destinam-se ao processamento a ser realizado pelo ASGP.
		Spot	Sinal bruto gravado na fita. Neste ponto, esses dados não são utilizáveis pelos usuários; destinam-se ao processamento a ser realizado pelo ASGP.
	Mammoth	Stripmap com indicação de alvos móveis (MTI) ou Stripmap sem esta indicação.	Durante a condução de uma missão SAR o operador seleciona um canal para ser processado em tempo real e visualizado na tela da estação de trabalho. Este canal é gravado na fita Mammoth para reprodução pelo ASGP.
		Spot	Imagens Spot coletadas a bordo da aeronave durante uma missão SAR. Estes dados representam o canal que o operador estava visualizando na tela.
		WAS + alvos móveis (MTI) + acompanhamento de alvos (MTI tracking)	Os dados de uma missão SAR nesse modo (WAS) são processados e gravados na fita Mammoth.
		A2A + alvos móveis (MTI) + acompanhamento de alvos (MTI tracking)	Os dados de uma missão SAR nesse modo (A2A) são processados e gravados na fita Mammoth.

(Fonte: Andrade, 2000b).

3.5 - Processamento Digital de Imagens

O objetivo principal do processamento de imagens é o de remover as barreiras inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens (Crosta, 1992). Assim, o processamento digital deve ser encarado como um estágio preparatório, embora quase sempre obrigatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir de imagens brutas.

A função básica do processamento digital de imagens é de preparar uma imagem para facilitar a interpretação visual da cena, explorar com melhores recursos toda a informação contida na imagem e extrair as informações de interesse (Meneses *et al.*, 1995). O processamento digital de imagens pode ser dividido em três etapas independentes: pré-processamento, realce e classificação. Segundo Schowengerdt (1997), a aplicação de técnicas de pré-processamento refere-se ao tratamento inicial dos dados brutos obtidos do sistema sensor, removendo características indesejáveis produzidas na imagem. Após essas correções, as imagens podem ser submetidas a processamentos digitais posteriores ou à análise visual. O pré-processamento é dividido em radiométrico, geométrico e atmosférico e o seu objetivo é restaurar, das imagens, as distorções e os ruídos causados pelo processo de imageamento. Conforme Meneses *et al.* (1995), o realce visa exclusivamente melhorar ou realçar as características visuais de uma imagem para posterior interpretação visual. A classificação de imagens, segundo Câmara *et al.* (1996), é o processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos.

3.5.1 - Realce de imagens

A interpretação de imagens é, muitas vezes, dificultada pelas degradações inseridas nos processos de geração e visualização da imagem. As técnicas de realce visam melhorar a qualidade visual destas imagens e enfatizar alguma característica de interesse para uma aplicação específica. Serão considerados dois tipos de transformações de nível de cinza: modificação da escala de cinza (operações pontuais) e filtragem (operações locais).

A manipulação do contraste de uma imagem tem como objetivo melhorar a sua qualidade visual. Esse processo não aumenta a quantidade de informação contida na imagem, mas facilita a sua percepção. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões. Tipicamente, os sensores são capazes de discretizar os valores recebidos da cena em um intervalo que vai de 0 até 255 (8 bits = 256 possíveis valores), mas atualmente há também sensores que podem operar com mais de 8 bits. Devido à má iluminação, defeitos do sensor ou mesmo às características da cena, o intervalo de valores de intensidade ocupados pelos *pixels*, presentes em uma imagem, geralmente é muito menor que esse intervalo

máximo. Diz-se então que a imagem possui baixo contraste, o que torna difícil a sua visualização ou interpretação por um intérprete humano ou um sistema de processamento digital.

Na filtragem, o nível de cinza de um ponto P, após a transformação, depende do valor do nível de cinza original do ponto e de outros pontos da vizinhança de P. Em geral, os pontos mais próximos de P contribuem mais para o novo valor de nível de cinza do que os pontos mais afastados. É comum dividir os filtros em quatro classes: passa-baixa, passa-alta, passa-banda e rejeita-faixa. Um filtro passa-baixa atenua as altas frequências que estão relacionadas com a informação de detalhes da imagem. Um filtro passa-alta realça as altas frequências e são normalmente usados para realçar os detalhes na imagem. Os filtros passa-faixa e rejeita-faixa selecionam um intervalo de frequências do sinal (banda de frequência) para ser realçado ou rejeitado. O efeito visual de um filtro passa-baixa é o de suavização da imagem, uma vez que as altas frequências, que correspondem às transições abruptas, são atenuadas. A suavização tende também, pelas mesmas razões, a minimizar o efeito do ruído em imagens. Para filtros passa-alta, o efeito obtido é, em geral, um realce das transições entre regiões diferentes, conhecidas como bordas. O efeito indesejado destes filtros é o de enfatizar o ruído presente na imagem (Fonseca, 2000).

3.5.2 - Segmentação de imagens

Segundo Moreira (2003), a segmentação de imagens é um procedimento adotado antes da fase de classificação, que procura solucionar problemas encontrados nos procedimentos de classificação supervisionada e não supervisionada, e que pode gerar pacotes de treinamento que não contenham todas as variações possíveis dos atributos espectrais de determinada classe de ocupação do solo.

O processo de segmentação de imagens consiste em dividir uma imagem em regiões ou segmentos compostos por conjuntos de pixels espectralmente uniformes. Essa técnica requer que o usuário selecione os valores de similaridade e área (pixels), os quais possuem influência direta no número de polígonos gerados, no tempo de processamento de segmentação e principalmente no número de classes de segmentação produzido. Os valores de similaridade e área devem ser escolhidos empiricamente e dependem das características espectrais do terreno em questão (Câmara *et al.*, 1996).

O segmentador utilizado neste trabalho foi o de crescimento de regiões, que tem mostrado bom desempenho para áreas agrícolas e áreas de vegetação natural, como na região Amazônica, além de ser muito utilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) como o trabalho de Vasconcelos e Novo (2004) que utilizaram os algoritmos de segmentação disponíveis no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, Câmara *et al.*, 1996), para o mapeamento do uso e cobertura da terra. A segmentação por crescimento de regiões é uma técnica em que somente as regiões espacialmente adjacentes são agrupadas, segundo algum critério de similaridade. Este limiar de similaridade é o valor mínimo abaixo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região (Moreira, 2003).

3.5.3 - Classificação de imagens

Segundo Moreira (2003), durante a classificação de dados digitais, os alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes temáticas. Em outras palavras, na classificação, procura-se rotular cada pixel da imagem segundo sua ocupação do solo, semelhante ao que se faz na abordagem visual. Para tal, utilizam-se programas apropriados também denominados de algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores. A categorização (rotulação) dos valores dos níveis de cinza é feita utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais.

O objetivo principal do processo de classificação de imagem é categorizar automaticamente todos os pixels de uma imagem em classes temáticas presentes no terreno. Normalmente, os dados multiespectrais de uma imagem são utilizados para executar a classificação, isto é, o padrão espectral de cada pixel é usado como base numérica para a classificação. As características de cada classe temática são manifestadas por combinações baseadas nos diferentes números digitais, de acordo com as suas propriedades espectrais (Lillesand e Kiefer, 1994).

De acordo com o algoritmo utilizado, a classificação pode ser não supervisionada ou supervisionada. A classificação não supervisionada é indicada quando o analista não possui conhecimento, a priori, da área de estudo. Neste sentido, o intuito é eliminar a subjetividade no processo de obtenção de amostras da área. Já na

classificação supervisionada, utilizam-se algoritmos cujo reconhecimento de padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista (Moreira, 2003).

O classificador “*Support Vector Machine*” (SVM) foi desenvolvido especialmente para obter bons resultados de classificação sobre imagens complexas e ruidosas. O SVM é um sistema de classificação derivado da teoria de aprendizagem por análise estatística. Ele separa as classes através de uma superfície de decisão que maximiza a margem de separação entre as classes. Essa superfície também é conhecida como hiperplano ideal e os pontos que estão próximos à margem do hiperplano ideal chamam-se vetores de suporte. Os vetores de suporte são elementos críticos do sistema de treinamento (SULSOFT, 2007).

3.5.4 - NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

A assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível, especificamente no vermelho, e a do infravermelho próximo. Assim, o NDVI é calculado pela diferença de reflectância entre as faixas do infravermelho próximo (0,76 a 0,90 μm) e a faixa do vermelho no visível (0,63 a 0,69 μm). Por ser resultado de duas bandas, o NDVI encobre parcialmente os efeitos de presença dos constituintes atmosféricos e das perturbações radiométricas e geométricas (Liu, 2006).

Uma aplicação bem difundida para imagens NDVI é o acompanhamento e monitoramento da ação antrópica, seja de desmatamento, seja de área agrícolas. Um exemplo disso foi realizado por Ferreira *et al.* (2004) que utilizaram o NDVI como uma das etapas para elaboração do mapa de tendências do desmatamento no município de Buritis (RO).

3.5.5 - Transformação IHS

O controle dos equipamentos de visualização de imagens multiespectrais é feito através das componentes R, G e B. Já o IHS interpreta a cor como a combinação de três componentes conhecidas por intensidade (*Intensity* - I), Matiz (*Hue* - H) e saturação (*Saturation* - S). O espaço de atributos de cores representado por estas três

componentes é conhecido por IHS. Esses atributos podem ser analisados e manipulados individualmente, ao contrário do sistema RGB onde eles são intrinsecamente interligados. O sistema IHS descreve a formação de cores de uma maneira muito mais próxima àquela pela qual o sistema visual humano percebe as cores. Devido a isso, este sistema apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB.

O sistema IHS é usado no processamento de imagens de satélite através de um processo de múltiplas etapas. Primeiramente, três bandas contendo as informações espectrais de interesse são selecionadas, fazendo-se então os cálculos da matiz, saturação e intensidade. Os cálculos são feitos através de algoritmos matemáticos que relacionam os dois espaços de cores. Esse processo produz três novas imagens, representando respectivamente a intensidade, a saturação e a matiz do triplete original. Em seguida, pode-se processar cada uma das componentes independentemente, como, por exemplo, aumentar o contraste, substituir a componente intensidade por outra imagem. A última etapa do processo envolve uma reversão das imagens I, H e S para as coordenadas RGB, uma vez que os monitores de vídeo dos sistemas de processamento de imagens trabalham somente nesse sistema. Da mesma forma que a transformação $RGB \rightarrow IHS$, a transformação inversa $IHS \rightarrow RGB$ é realizada matematicamente.

A transformação IHS é bastante utilizada para combinar três imagens multiespectrais com uma quarta imagem, ou seja, fusão de imagens multiespectrais com uma imagem pancromática com resolução espacial maior ou uma banda de radar (Jensen, 1996). Nesse caso, faz-se a substituição da componente intensidade do IHS pela quarta imagem (Figura 4). Desse modo, é possível a obtenção de uma composição colorida com a resolução espectral correspondente às três bandas multiespectrais e a resolução espacial da imagem pancromática.

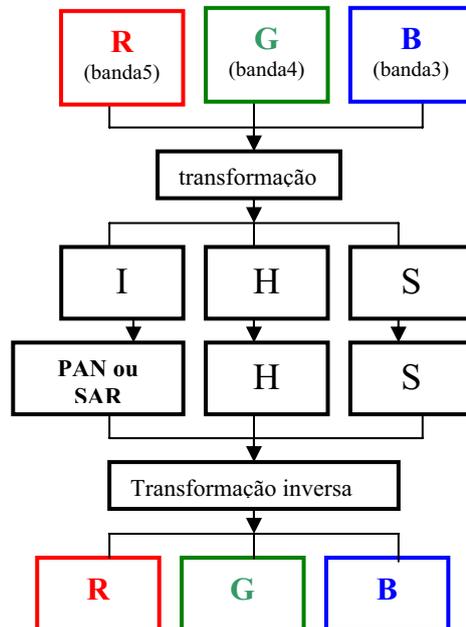


Figura 4 – Esquema do procedimento da transformação RGB – IHS.

3.5.6 – Fusão de imagens

A fusão de dados tem muitos significados e é muito difícil fornecer uma definição exata. Estes significados não podem ser simplesmente definidos restringindo-o, por exemplo, a comprimentos de onda específicos, ou meios de aquisição específicos ou aplicações específicas. Um processo de fusão pode invocar tantos instrumentos matemáticos diferentes que é também impossível definir a fusão por esses instrumentos. A fusão de dados deve ser vista como uma armação, não simplesmente como uma coleção de instrumentos e meios. Esta definição acentua os conceitos e os fundamentos em sensoriamento remoto. Vários outros termos são também propostos, a maior parte dos quais já são largamente usados em comunidades científicas, especialmente aqueles procedimentos com informação (Wald, 1999).

A análise de dados de acordo com escalas variáveis no domínio do tempo e da frequência é a idéia básica da utilização da teoria de Wavelet. Alguns pesquisadores acharam que a utilização da teoria de Wavelet abre uma nova perspectiva na análise dos sinais, despertando interesse em diversas áreas. A transformada de Fourier Janelada (TFJ) que permite uma análise da frequência do sinal localmente no tempo, onde a janela de observação é deslocada no domínio do tempo, é calculada para cada

posição da janela, mapeando o sinal em uma função bidimensional de tempo e frequência, mas sua precisão pode ser limitada pelo tamanho da janela. Assim, foi introduzida a nova transformada, denominada Transformada de Wavelet, na qual o tamanho da janela é variável, permitindo que eventos de alta frequência possam ser localizados com uma maior resolução temporal, um evento de baixa frequência precisa de uma janela maior no domínio de tempo a ser observado. Inicialmente, define-se a Transformada de Wavelet (TW) considerando um sinal contínuo, porém, generalizado para sinais ou imagens bidimensionais que também podem ser obtidas (Delmont Filho, 2003). A fusão de imagens através da TW_t , em geral, é realizada pela troca da sub-banda de baixa resolução em um determinado nível j , que é o resultado da decomposição de uma imagem pancromática de alta resolução espacial, por uma imagem de baixa resolução que contém a informação espectral (Ventura, 2002) (Figura 5).

Para o método de fusão de imagens por pirâmides morfológicas, temos que os processamentos de sinais, o conceito de resolução é fundamental e pode ser definido de formas diferentes, dependendo da aplicação que está sendo estudada. Assim, a resolução espacial de uma imagem digital é o número de *pixels* desta, e que a resolução em profundidade é o número de *bits* utilizado para representar os valores de um *pixel* da imagem. Ao analisar uma imagem, às vezes pode ser útil fazermos uma decomposição desta em partes separadas de modo que não haja perda de informação. A teoria de pirâmides provê as maneiras de realizar a decomposição de imagens em múltiplos níveis de resolução. Isto gera uma estrutura semelhante a uma pirâmide.

Na função de pirâmides morfológicas, são utilizadas várias imagens com diferentes resoluções, empilhadas uma sobre a outra, estando a com maior resolução na base e as demais aparecendo sobre ela em ordem decrescente de resolução. Basicamente, são aplicados filtros passa-baixa e uma amostragem da imagem.

Uma limitação da pirâmide morfológica é o borramento que surge nas imagens em virtude da aplicação do filtro passa-baixa. Tal borramento pode trazer alguns efeitos indesejáveis em algumas aplicações, pois torna difícil a detecção precisa de bordas e pode levar à fusão de objetos. Visando contornar estas limitações, utilizam-se operadores da morfologia matemática não-lineares para identificação de objetos. Além das propriedades citadas nos exemplos apresentados, as pirâmides morfológicas são

interessantes pelo fato de sempre mapearem valores de *pixels* inteiros em valores inteiros, e não gerarem imagens de aproximação com valores fora do intervalo de níveis de cinza da imagem original (Vaquero, 2004).

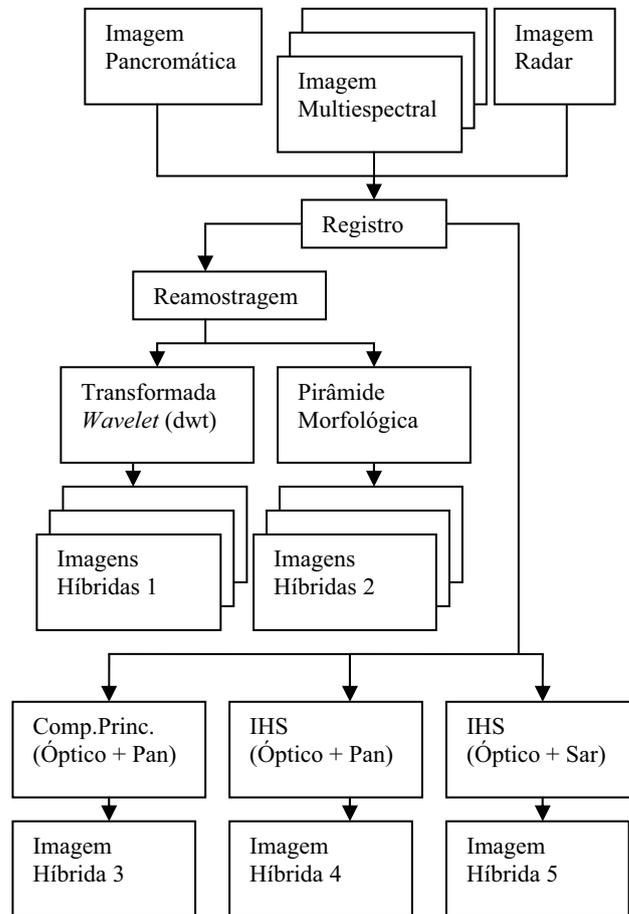


Figura 5 – Fluxograma mostrando os procedimentos de geração de imagens híbridas por meio de fusões. Fonte: adaptado de Leonardi *et al.* (2005).

3.6 - Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Existem várias definições para descrever um Sistema de Informações Geográficas. Rocha (2000) definiu-o como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, atualização, análise e exibição de informações e dados digitais georreferenciados, topologicamente estruturados, associados ou não a um banco de dados numéricos (Figura 6).

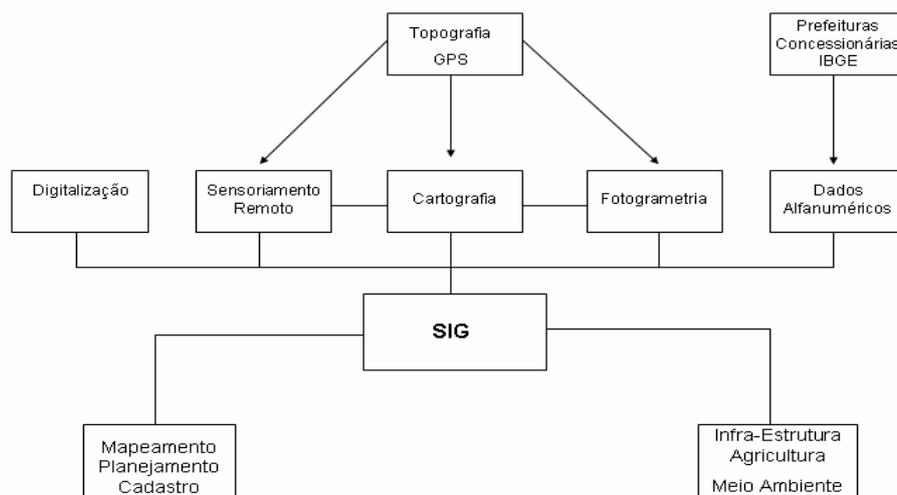


Figura 6 – Geoprocessamento, tecnologia transdisciplinar. Fonte: Rocha (2000).

SIG é uma tecnologia de propósito geral, capaz de manipular dados geográficos no formato digital para satisfazer condições como pré-processar dados e adequá-los a seus objetivos, permitir a análise e modelagem de dados e realizar pós-processamento dos resultados com objetivos de gerar relatórios e mapas (Goodchild, 1993). Também tem-se a definição de que um SIG é um conjunto de ferramentas para manipular dados georreferenciados capazes de armazenar, recuperar, transformar, analisar e manipular dados coletados no mundo real (Burrough, 1987; Aronof, 1989; Câmara e Medeiros, 1996).

O conceito de geoprocessamento também pode ser utilizado nessa categoria. Segundo Moreira (2003), pode ser entendido como sendo a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados. Câmara *et al.* (1996) ainda acrescentaram que as atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por programas específicos e são comumente tratados como SIG.

Apesar dos termos SIG e geoprocessamento terem grande equivalência, alguns autores (Davis e Fonseca, 2001; Pinto, 2005) mostraram uma diferença básica: geoprocessamento é o conjunto de várias ciências e tecnologias para armazenamento, tratamento, manipulação e exibição dos dados geográficos, enquanto SIG são ferramentas computacionais para serem utilizadas no geoprocessamento para lidar com as informações espaciais georreferenciadas.

3.7 - Avaliação da exatidão do mapeamento

Uma classificação de imagens só pode ser considerada confiável após a análise da exatidão dos resultados gerados independentemente dos dados e métodos que a originaram. A exatidão do processo de classificação encontra-se limitada por fatores como o método de classificação, a qualidade das imagens utilizadas, o tamanho das unidades de mapeamento, escala de trabalho, entre outros (Rojas, 2005).

Assim, são calculadas matrizes de erro a partir da comparação dos dados de campo com os dados resultantes da classificação. Uma matriz de erro é um conjunto de números colocados na forma de matriz, em que as linhas normalmente correspondem aos dados de referência (verdade terrestre) e as colunas indicam os pontos concordantes entre a verdade terrestre e os resultados da classificação (Story e Congalton, 1986).

Um dos métodos existentes é a exatidão global na qual, segundo Brites et al. (1996), apresenta maiores valores em relação aos demais índices, pelo fato de considerar apenas a diagonal principal da matriz de contingência, ignorando a ocorrência de concordância casual entre as classes.

Outros métodos muito utilizados para medir a exatidão a partir da matriz de erro é o coeficiente de concordância Kappa, definido por Congalton e Green (1999), como sendo uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da exatidão da classificação de dados de sensoriamento remoto, recomendada como uma medida apropriada de exatidão por representar inteiramente a matriz de erro. O coeficiente Kappa usa todos os elementos da matriz de erro e não apenas aqueles que se situam na diagonal da matriz, como é o caso do cálculo da exatidão global (Gong e Howart, 1990).

O coeficiente Kappa tem seus valores distribuídos entre 0 e 1, onde o valor 1 representa a concordância máxima e quando multiplicado por 100, dá a porcentagem da medida de exatidão da classificação. De acordo com Landis e Koch (1977), a avaliação a partir do coeficiente Kappa pode ser realizada com base nos valores apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do coeficiente Kappa, segundo Landis e Koch (1977).

Coeficiente Kappa	Exatidão
< 0	Péssima
0 – 0,2	Ruim
0,21 – 0,4	Razoável
0,41 – 0,6	Moderada / Boa
0,61 – 0,8	Muito Boa
0,81 – 1,0	Excelente

4 - Referências Bibliográficas

AB’SABER, A.N. Base para os estudos dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, vol. 16, n. 45, 2002.

ANDRADE, N.S.O. **Qualidade geométrica das imagens JERS-1 e Radarsat (modo S2 e S3) em ambientes de floresta tropical (Rondônia)**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000a.

ANDRADE, N.S.O. **Produtos disponibilizados a partir dos sensores das aeronaves R99-B (SAR, MSS e OIS) e C98-B (HSS)**. Apostila do Comando da Aeronáutica – COMGAR, 2000b.

ARONOF, F.S. **Geographic Information Systems: a Management Perspective**. Ottawa: WDL, 1989. 294 p.

BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Comparação de desempenho entre três índices de exatidão aplicados a classificação de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, BA. **Anais... São José dos Campos, INPE, 1 CD-ROM**.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS J.S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Tutorial, São José dos Campos, INPE. 1996.

CÂMARA, G.; FREITAS, U.M.; SOUZA, R.C.M.; GARRIDO, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 15, p. 13-22, 1996.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 133 p.

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

CUNHA, S.B. **Geomorfologia do Brasil**, 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

DAVIS, C.; FONSECA, F. **Introdução ao Sistema de Informações Geográficas**. Belo Horizonte, UFMG, 2001. Disponível em: <www.csr.ufmg.br/cartografia>. Acesso em: 15 abr. 2008.

DELMONT FILHO, O. **Utilização de transformada de Wavelet para caracterização de distúrbios na qualidade a energia elétrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

FERREIRA, C.S.; NUNES, S.F.; FERREIRA, N.C.; TEIXEIRA, C.V.; MENESES, P. R. Elaboração de mapa de tendência do desmatamento no município de Buritis (RO). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO E MANEJO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria. UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

FONSECA, L.M.G. **Processamento digital de imagens – notas de aula do programa de pós-graduação**. São José dos Campos, INPE, 2000. Disponível em: <<http://geosere.ccr.ufsm.br/files/>>. Acesso em: 31 mar. 2008.

FORSBERG, B.R.; ARAUJO-LIMA, C.A.R.M.; MARTINELLI, L.A.; VITORIA, R.L.; BONASSI, J.A. Autotrophic carbon source for fish of the Central Amazon. **Ecology**, vol. 74, p. 643-652, 1993.

FRAPPART, F.; SEYLER, F.; MARTINEZ, J-M.; LEON, J.G.; CAZENAVE, A. floodplain water storage in the Negro River basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water levels. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 387-399, 2005.

GONG, P.; HOWART, P.J. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 5, p. 597–603, 1990.

GOODCHILD, M.F. The state of GIS for environmental problem-solving. In: GOODCHILD, M.F.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. **Environmental Modeling with GIS**. New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 2, p. 8-16.

HESS, L.L.; MELACK, J.M.; NOVO, E.M.L.M.; BARBOSA, C.C.F.; GASTIL, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. **Remote Sensing of Environment**, vol. 87, p. 404-428, 2003.

JENSEN, J.R. **Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2^a ed., 1996, 318 p.

JENSEN, J.R. Remote sensing of water. In: JENSEN, J.R. (ed). **Remote Sensing of the Environment: an Earth Resource Perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000, p. 379-406.

JUNK, W.J. Ecology of the varzea, floodplain of Amazonian white-water rivers. In: SIOLI, H. (ed.), **The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**, Dordrecht, W. Junk Publishers, 1984. p. 215-243.

JUNK, W.J. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplain, 3-20. In: JUNK, W.J. (ed.), **The Central Amazon Floodplain, Ecology of a Pulsing System**. **Ecological Studies**, 126, Springer 1997.

LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 3, p. 159-179, 1977.

LATRUBESSE, E. Perspectivas hidrogeomorfológicas da diversidade das várzeas amazônicas. Publicação dos resultados. **Workshop – Geotecnologias aplicadas às áreas de várzea da Amazônia** – ProVárzea-Ibama/Piatam-Petrobrás. p. 37-41, 2007.

LEONARDI, S.S.; ORTIZ, J.O.; FONSECA, L.M.G. Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, GO, abr. 2005. **Anais...** São José dos Campos, INPE. p. 4111-4113.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2^a ed., Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1994. 724 p.

LIMA, D. **Diversidade socioambiental nas várzeas dos rios Amazonas e Solimões: perspectivas para o desenvolvimento da sustentabilidade**. Edição Ibama/ProVárzea, 416 p., Manaus, 2005.

LIU, W.T. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

MENESES, P.R. Fundamentos da radiometria óptica espectral. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap.1, 2001. 262p.

MENESES, P.R.; ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Satélite de Sensoriamento Remoto**. Brasília, DF, Ed. EDUNB, Brasília, DF. 1995. 67 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2^a ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2^a ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1995. 308 p.

NOVO, E.M.L.M.; FERREIRA, L.G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO E.E.; SHIMABUKURO, Y.; HUETE, A.; POTTER, C.; ROBERTS, D.A.; HESS, L.L.; MELACK, J.J.; YOSHIOKA, H.; KLOOSTER, S.; KUMAR, V.; MYNENI, R.; RATANA, P.; DIDAN, K.; MIURA, T. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica**, vol. 35, n. 2, p. 259-272, 2005.

PARADELLA, W.R.; AHEN, F.; KUX, H.J.H.; NOVO, E.M.L.M.; COSTA, M.P.F.; SHIMABUKURO; Y.E.; ALVES, D.S.; VALEIRANO, D.M. O uso de radar orbital em aplicações ambientais na Amazônia brasileira: A avaliação do Radarsat no programa ADRO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 14-19 abr. 1996. **Anais...** São José dos Campos, INPE, p. 331-340, 1996.

PEREIRA, H.S. **Iniciativa de co-gestão dos recursos naturais da várzea – Estudo do Amazonas**, Documentos técnicos n.02, Edição Ibama/ProVárzea, 132 p. Manaus, 2004.

PINTO, W.H.A. **Geoprocessamento aplicado a análise físico-territorial da área do Tarumã – AM**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2005.

PRANCE, G.T. A terminologia dos tipos de florestas amazônicas sujeitas à inundação. **Acta Amazônica**, v. 10, n. 3, p. 495-504, 1980.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. do autor, 2000. 220 p.

ROJAS, E.H.M. **Síntese genética de redes neurais artificiais ART2 na classificação de imagens Aster para mapeamento de uso e cobertura da terra na região norte do Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos, SP, INPE, 2005. 124 p.

SANTOS, M.T. **Iniciativas de desenvolvimento sustentável das comunidades da várzea do rio Amazonas/Solimões**. Manaus: Ibama/ProVárzea, 2004. 28 p.

SCHOWENGERDT, R.A. **Models and Methods for Image Processing**. 2^a ed. São Diego: Academic Press, 1997. 522 p.

SIOLI, H. Studies in Amazonian waters. Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, **Limnologia**, v.3, p. 9-50, 1967.

SIOLI, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**, vol 1, p. 267-277, 1968.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types, 127-165. In: SIOLI, H. (ed.), **The Amazon, Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin**. Junk Publ., Dordrecht. 1994.

STERNBERG, H.O.R. **A água e o homem na Várzea do Careiro**. 2^a ed. Belém: Museu Paranaense Emílio Goeldi, 1998. 330 p.

STORY, M.; CONGALTON, R. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 397 – 399, 1986.

SUDAM/Projetos de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. **Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira**, Belém, PA, 1984. 125p.

SULFOFT. **Guia do ENVI em português**. 07/2007. Disponível em: <<http://www.sulsoft.com.br>>. Acesso em: 5 abr. 2008.

SURGIK, A.C.S.; BENATTI, J.H.; TRECCANI, G.D.; GAMA, A.S.P.; MCGRATH, D.G. **A questão fundiária e o manejo dos recursos naturais da várzea: análise para elaboração de novos modelos jurídicos**. Manaus, Ibama/ProVárzea, 104 p. 2005.

VALOIS, A.C.C. **Benefícios e estratégias de utilização sustentável da Amazonia**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, 75 p.

VAQUERO, D.A. Pirâmides de imagens. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, **Tópicos em Ciências da Computação**, MAC5701, 39 p.,2004.

VASCONCELOS, C.H.; NOVO, E.M.L.M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens—fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat-5, na região do reservatório de Tucuruí – PA. **Acta Amazonica**, vol. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.

VENTURA, F.N. **Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformada de Wavelet**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada), São José dos Campos, INPE, 2002.

WALD, L. Definitions and terms of reference in data fusion. **International Archives of Photogrammetry and Remot Sensing**, vol. 32, part 7-4-3 W6 – Valladolid, Spain, 3-4 June, 1999.

ANEXO A

Utilização de imagens ópticas e de radar para delimitação de áreas e identificação de alvos representativos na várzea Amazônica.

César Valdenir TEIXEIRA^{1,2}, Edson Eyji SANO³

¹UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
Instituto de Geociências – IG

² INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS –
IBAMA
Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea – PROVÁRZEA – Brasília – DF
E-mail: cesar.teixeira@ibama.gov.br

³ EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA CERRADOS
Brasília – DF
E-mail: sano@cpac.embrapa.br

RESUMO - Na Bacia Amazônica, a forte amplitude de variação no nível de água da drenagem causa uma inundação sistemática de vastas zonas chamadas de várzea. Essas zonas estão localizadas principalmente nos eixos dos rios maiores da Bacia Amazônica. Esse estudo objetiva desenvolver uma abordagem metodológica para analisar padrões e técnicas para discriminar áreas de várzea na Amazônia usando a combinação de imagens ópticas (sensor Landsat) e de radar (sensores Radarsat-1, JERS-1 e R99B da Força Área Brasileira), proporcionando a delimitação e a identificação de alvos representativos destas áreas. As duas áreas de estudo selecionadas com base na disponibilidade de dados localizam-se na região das cidades de Manaus e Iranduba – AM e também na região da cidade de Santarém – PA. Para a delimitação das áreas de várzea, utilizaram-se técnicas de segmentação por crescimento de regiões, seguida de classificação supervisionada de imagens. Os resultados foram analisados através do teste estatístico do coeficiente Kappa e o resultado encontrado foi considerado bom para todas as imagens. Para a identificação de alvos nas várzeas, foram utilizadas três técnicas de fusão de imagens - transformada de Wavelet, componentes principais e pirâmides morfológicas. Os resultados apresentados foram confirmados com base nos dados de campo. O estudo contou com um importante suporte do PROVÁRZEA/Ibama (Projeto Manejo de Recursos Naturais da

Várzea), mais especificamente, do grupo envolvido com o gerenciamento de dados georreferenciados para o monitoramento da inundação.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, segmentação de imagens, classificação de imagens, fusão de imagens.

The use of optical and radar images for delimitation of areas and identification of their representative targets in the Amazon floodplains.

ABSTRACT - At the Amazonian basin, the strong amplitude of variation of water level draining generates systematic floodings in vast zones called “varzea” (floodplain). These zones are located mainly in the edges of the major rivers at the Amazonian basin. This work aims to develop a methodological approach to analyze patterns and techniques to discriminate representative areas of Amazon floodplains using combined, optical (Landsat sensor) and radar (Radarsat-1, JERS-1 and R99B Brazilian Air Force sensors), remotely sensed data, providing the delimitation and the identification of representative targets of these areas. Two study areas, selected based on data availability, were located in the regions of the cities of Manaus and Iranduba – AM and also in the region of the city of Santarem – PA. For the delimitation of the areas of varzea, we used image segmentation techniques by growing region, followed by the supervised classification. The result was analysed through the statistical test of the Kappa coefficient and found and the result was considered good for all images. For the identification of representative targets in the varzea, we used three image fusion techniques - Wavelet transform, principal components and morphological pyramids. The results were compared with field data. The study had an important support of ProVárzea/Ibama (The Floodplain “Várzea” Natural Resources Management Project), specifically from the group dealing with GIS-based data management for floodplain monitoring.

Keywords: remote sensing, image segmentation, image classification, image fusion.

INTRODUÇÃO

O bioma da Amazônia apresenta extensa área territorial, é considerada como a maior reserva de diversidade biológica do mundo e contém um quinto de água doce, líquida e corrente disponível e um terço das florestas latifoliadas (Valois, 2003). De acordo com a classificação de Ab'Saber (2002), o bioma da Amazônia possui os seguintes compartimentos: Terra Firme, Igapó, Igarapé e Várzea. A Várzea corresponde a áreas periodicamente inundadas pelas águas brancas ou turvas de rios como o Solimões, o Amazonas ou o Madeira. Estes rios percorrem terras ricas em minerais e suspensões orgânicas. A fertilidade destas águas brancas e dos solos aluvionares trazidos pelas mesmas faz com que a flora e fauna desta parte da Amazônia seja uma das mais ricas e produtivas. Os rios são ricos em peixes e há várias espécies de mamíferos aquáticos e aves aquáticas. A alta produtividade da Floresta Amazônica de várzea tornou possível o povoamento da região que se alternam ao longo das margens do rio. Os seus habitantes constituem as chamadas populações ribeirinhas.

A planície de inundação não é só importante em escala regional, mas representa um papel importante nos processos diretos e indiretos de mudanças globais, ficando evidente que o aproveitamento dos recursos naturais deste ecossistema será inevitável. No entanto, o monitoramento da dinâmica da planície de inundação não é tarefa fácil devido à enorme dimensão da área afetada. É neste aspecto que reside a importância do uso do sensoriamento remoto orbital para extração de informações.

O sensoriamento remoto tem contribuído muito para o estudo dos mais diversos ambientes do planeta, ajudando a ampliar a compreensão das estruturas ecossistêmicas e de suas interações. Um dos principais interesses no uso de imagens de satélite em ambientes aquáticos é verificar a variação espacial e temporal da composição da água (Jensen, 2000). Outro interesse é o estudo da dinâmica do desmatamento na Amazônia, principalmente devido à dimensão desta região, associada à dificuldade de acesso. Uma das maiores dificuldades encontradas pelos usuários de dados de sensoriamento remoto reside, entretanto, na disponibilidade de método rápido e preciso para obter mapas de uso e cobertura da terra através do uso de métodos de classificação digital (Vasconcelos e Novo, 2004).

Outro interesse mostra o uso de imagens e técnicas de sensoriamento remoto para mapear variações no tempo e no espaço da área ocupada pelos diferentes habitats dos ecossistemas alagáveis da região Amazônica, trabalho este elaborado no âmbito do Projeto LBA (*Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia*) (Novo *et al.*, 2005). Trabalhos usando sensoriamento remoto que podem ser destacados são os de Hess *et al.* (2003) e Frappart *et al.* (2005), os quais mostram a determinação de variações nas áreas inundáveis utilizando imagens de radar de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*) como o JERS-1 e, como resultados, conseguiram delinear áreas e florestas inundadas com grande precisão e estimar mudanças no nível da água e variações do volume da água (incidindo sobre o ciclo sazonal).

A importância de extrair informações desta região através destas técnicas pode servir de subsídio para elaboração de políticas públicas que sejam executadas por órgãos governamentais para que sejam criadas formas de sustentabilidade dos recursos naturais da várzea. Um dos programas nacionais para fomentar a conservação e o desenvolvimento sustentável das várzeas da Amazônia é o Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea - ProVárzea do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, o qual foi criado com o objetivo de estabelecer bases científicas, técnicas e políticas para a conservação e o manejo ambiental e social sustentável dos seus recursos naturais, notadamente os recursos pesqueiros ao longo da calha dos rios Solimões/Amazonas.

Assim, o objetivo geral do processamento de imagens do estudo foi propor uma abordagem metodológica para analisar técnicas e definir padrões para discriminar áreas de várzea na Amazônia usando a combinação de dados ópticos e de radar. Para alcançar tal objetivo, foi necessário comparar o desempenho de diferentes sistemas sensores orbitais e aerotransportados na delimitação de áreas de várzea da Amazônia, com a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto como a segmentação e classificação de imagens, e de técnicas de fusão de imagens para a identificação das principais classes de cobertura de terra em áreas de várzea da Amazônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Áreas de estudo

Foram selecionadas duas áreas de estudo ao longo da calha dos rios Solimões/Amazonas. A área do Baixo Amazonas localiza-se no município de Santarém – PA e nos municípios vizinhos ao longo do rio Amazonas, começando em uma área denominada Lago Grande de Curuaí, passando pela área urbana de Santarém, onde há o encontro dos rios Amazonas e Tapajós, e finalizando na região denominada Aritapera/Tapará (Figura 1). Ela situa-se entre os paralelos 1° 50' e 2° 40' de latitude sul e meridianos 54° 20' e 56° 10' a oeste de Greenwich. Esta área apresenta uma geologia composta pela Formação Alter-do-Chão e aluviões holocênicos. A geomorfologia é composta pelos Patamares do Tapajós e o Planalto do Uatumã-Jari com predomínio de Latossolos Amarelos e Podzólicos.

A área do Médio Solimões localiza-se no encontro entre os Rios Negro e Solimões, aproximadamente entre os paralelos 3° 00' e 3° 30' de latitude sul e entre os meridianos 59° 50' e 60° 25' a oeste de Greenwich. Nessa região de Manaus/Irinduba, tem-se a Formação Solimões e terraços holocênicos. Em termos geomorfológicos, tem-se o Planalto Dissecado dos Rios Negro-Uatumã.

As duas áreas são caracterizadas por apresentarem um clima quente e úmido do tipo Am_i, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 2.500 mm e a temperatura média anual de 26°C (SUDAM, 1984). No geral, é constituída pela Planície Amazônica com cobertura pedológica de Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Organossolos. Suas fitofisionomias vegetais principais são a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (Db) e a Floresta Ombrófila Densa Aluvial com Dossel emergente (Dae). Na região de Santarém, têm-se ainda as Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre e as herbáceas sem palmeiras (Pah). Nas áreas de Manaus e Irinduba, tem-se a Floresta Ombrófila Aberta Aluvial (Aa) e a Floresta Ombrófila Densa de terras baixas e dossel emergente (Dbe). Estes dados foram gerados a partir do projeto de mapeamento temático elaborado pelo SIPAM e IBGE na escala 1:250.000, disponibilizado em 2006 (dados não publicados).

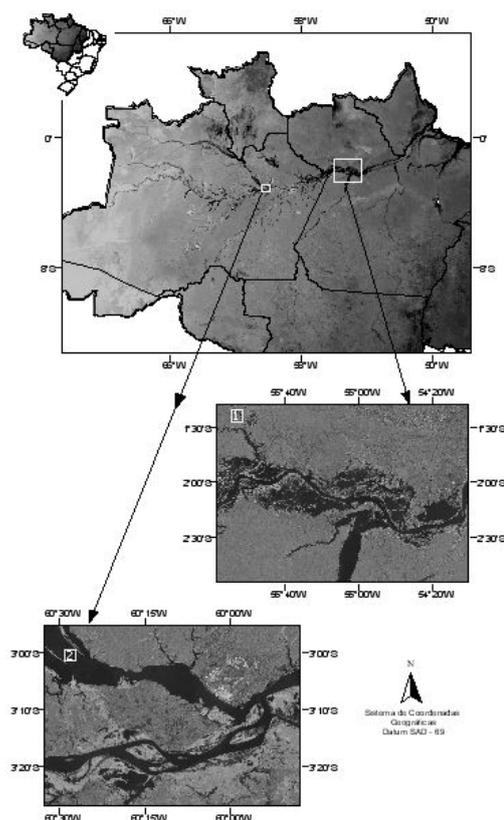


Figura 1 – Localização das áreas de estudo na região Amazônica. (1) = região de Santarém-PA; (2) = região de Manaus/Iranduba-AM.

Com relação à população que reside exclusivamente na várzea, há poucas informações censitárias. Os dados disponíveis referem-se apenas aos municípios sob influência da várzea, onde também há uma parte da população vivendo em terra firme. Nesses municípios (excluindo-se Manaus e o estuário do Amazonas), a população é estimada em 1,1 milhão de habitantes. Essa população, largamente tradicional, possui grande conhecimento empírico do ambiente natural e uma organização social fortemente baseada nas relações de parentesco. A maior parte das terras da várzea está sob o domínio do Governo Federal, seja na forma de “bem da união” (áreas fora da influência das marés) ou em terrenos da marinha (localizadas nas margens de rios e lagos sob a influência das marés). Portanto, a maioria dos moradores não possui títulos expedidos pelo Poder Público ou sob a orientação dos regulamentos que cuidam da propriedade nas áreas marginais de rios e lagos. Em geral, o que ocorre são ocupações espontâneas em áreas não reclamadas ou desocupadas. A partir dessa posse, diferentes

formas de negócios jurídicos são realizadas, ainda que à margem do sistema legal: parcelamentos, arrendamentos, transmissão a herdeiros e até alienações a terceiros. Na região de Manaus, predomina a população urbana, enquanto na região de Santarém-PA, são encontradas mais de 100 comunidades que vivem na várzea com base em economia extrativista e exploração dos recursos naturais locais.

Processamentos

Foram selecionadas as imagens ópticas do sensor Landsat TM, bandas 3, 4 e 5, (órbitas/pontos 227-61 e 227-62 de 16 de outubro de 2003; e 228-61 e 228-62 de 8 de novembro de 2003) e do sensor Landsat ETM+ , bandas 3, 4, 5 e 8 (órbita/ponto 231-62 de 30 de agosto de 2002 e órbitas/pontos 227-61 e 227-62 de 5 de outubro de 2002). Foram também selecionadas imagens RADARSAT de 30 de novembro e 10 de dezembro de 1997 e imagens de radar do sensor R99B/SAR, banda X, polarização HH, modo fino, com resolução espacial de 3 metros (datas de passagem da aeronave em 21 de agosto de 2004 na região de Santarém e em 28 de fevereiro de 2003 na região de Iranduba e Manaus). Também foram utilizados mosaicos de imagens do sensor JERS-1 SAR das épocas de seca (maio) e de cheia (novembro) do ano de 1996. Dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), adquiridos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria, com equipamento SAR, também foram utilizados. Estes dados foram comparados com as informações recebidas da ANA (Agencia Nacional de Águas) de locais onde há pontos de coletas que definem a cota de inundação temporal.

Para delimitação da várzea, foi utilizada a ferramenta de extração de características (*feature extraction*) disponível no *software* ENVI. Esse módulo é usado para extrair informações de imagens de alta resolução espacial, com base em características espaciais e espectrais. Essa extração combina o processo de segmentação de imagens por crescimento de regiões com o de classificação. Essa ferramenta foi concebida para ser útil e intuitiva e permite que seja personalizada para uma aplicação específica. O processamento é dividido em cinco etapas: segmentação, junção, refinamento, cálculo de atributos e classificação supervisionada. Um dos aspectos inovadores dessa extração de característica é a capacidade de visualização dos

seus resultados em cada uma das etapas, através de um portal de pré-visualização, permitindo, dessa maneira, ajustar alguns parâmetros mais simples.

A segmentação é o processo de particionamento de uma imagem em segmentos do agrupamento de pixels vizinhos com características semelhantes em termos de brilho, textura, cor, etc. Estes segmentos idealmente correspondem aos objetos do mundo real. O *software* ENVI© emprega, como base de segmentação, um algoritmo muito rápido e exige apenas um parâmetro de entrada (nível de escala). Os valores resultantes do processamento podem variar entre 0 (melhor segmentação) e 100 (todos os pixels são atribuídos a um segmento). Escolhendo-se um elevado valor do nível de escala, ocasiona-se uma quantidade menor de segmentos. Inversamente, escolhendo-se um baixo valor do nível de escala, tem-se maior quantidade de segmentos. Inicialmente, deve-se optar pelo mais alto nível de escala que delinearía melhor os limites das características, mas as fronteiras entre segmentos não serão devidamente delineadas e pode-se perder características de interesse. Por outro lado, é importante assegurar que uma característica de interesse não esteja sendo dividida em segmentos demasiadamente pequenos (excesso de segmentação, geralmente resultante de um baixo nível de escala). Esse problema pode ser evitado na etapa seguinte do processamento (junção). A junção é um passo opcional utilizado para agregar os pequenos segmentos dentro de maiores dimensões, texturizando áreas tais como árvores, nuvens e campos, onde o excesso de segmentação pode ser um problema. Assim, a junção é uma opção útil para melhorar a delimitação de fronteiras. Os parâmetros utilizados representam o limiar, que varia de 0 (padrão = não fundem) a 100 (todos os segmentos em uma junção). Os resultados são refinados usando um limiar que é útil para extrair pontos característicos, principalmente quando o excesso de segmentação se transforma em um problema. No cálculo de atributos, procura-se definir os atributos de cada objeto. Estes atributos são utilizados para definição de classes para executar a regra de base ou a classificação supervisionada. Os atributos disponíveis são espaciais, espectrais, textura e espaço cor/proporção de banda. Este cálculo de atributos serve para definir regras de classificação supervisionada ou base da classificação. Os atributos não são passados para a saída final para os arquivos resultantes que podem ser em formato *shapefile*. Por fim, tem-se a classificação supervisionada, onde foi utilizado um novo classificador chamado “*Support Vector*

Machine” (SVM) que foi desenvolvido especialmente para obter bons resultados de classificação sobre imagens complexas e ruidosas. O SVM é um sistema de classificação derivado da teoria de aprendizagem por análise estatística. Ele separa as classes através de uma superfície de decisão que maximiza a margem de separação entre as classes (SULSOFT, 2007).

Os resultados da segmentação, seguida de interpretação visual, foram comparados estatisticamente com dados de campo. Para avaliar a exatidão de mapas resultantes de classificações de imagens de satélite, é importante verificar a acurácia da classificação que pode ser expressa como a probabilidade de uma certa classe estar correta em relação à realidade (Machado, 2002). Foram utilizados dois métodos para medir a exatidão do mapeamento a partir da matriz de erro: a exatidão global e o coeficiente Kappa (K). Congalton (1991) relatou que o uso do K é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão global, que utiliza somente os elementos diagonais (concordância real). O coeficiente Kappa também foi definido por Congalton e Grenn (1999) como uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da exatidão da classificação de dados de sensoriamento remoto, recomendada como uma medida apropriada de exatidão por representar inteiramente a matriz de erro.

$$\text{Exatidão Global} = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{n} \quad \text{Kappa} = \frac{\sum_{i=1}^M x_i - \sum_{i=1}^M x_{i+} x_{+i}}{n^2 \sum_{i=1}^M x_{i+} x_{+i}}$$

Atualmente, a aplicação do coeficiente Kappa vem sendo muito usada na avaliação dos mapas temáticos gerados por classificações de imagens de satélite, como medida de validação estatística, sendo considerado praticamente uma exigência a aplicação de métodos similares em trabalhos desta natureza. A utilização destas metodologias é vista em trabalhos mais recentes (Nepomuceno,2004) que objetivam a geração de mapas temáticos por meio de geoprocessamento, tais como na classificação

de redes neurais com imagens de radar, no mapeamento de uso e ocupação das terras elaborado para definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal (Valente, 2005) e na identificação e mapeamento do uso de terras para parcelamento agrícola e fundiário (Mangabeira, 2002).

Com a disponibilidade de imagens JERS-1 de 1996 para toda a região Amazônica em duas épocas distintas (seca e chuvosa), fez-se opção de fazer um tipo de processamento diferente dos anteriores. Assim, tomando como base a fórmula do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) onde é calculada a diferença de reflectância entre as faixas do infravermelho próximo (0,76 a 0,90 μm) e a faixa do vermelho no visível (0,63 a 0,69 μm), fez-se a substituição da faixa do infravermelho próximo pela imagem representando a cheia e a faixa do visível pela imagem representando a seca. O resultado foi uma cobertura de informações chamada “índice de inundação”, descrita pelo algoritmo abaixo:

$$\text{id. inundação} = \frac{(\text{ImChuvosa}) - (\text{ImSeca})}{(\text{ImChuvosa}) + (\text{ImSeca})}$$

Atualmente, vários estudos vem sendo realizados com os dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Santos *et al.* (2006) testaram o modelo digital de elevação que apresentou melhores resultados altimétricos quando comparado ao MDE gerado a partir da carta topográfica 1:100.000, utilizando-se, como referência, os pontos de controle GPS. Ibanez *et al.* (2007) obtiveram o detalhamento da rede de drenagem a partir do modelo de elevação digital do terreno gerada pelo SRTM. Os dados SRTM exprimem a elevação da superfície com todos objetos presentes no terreno, diferentemente da característica desejável a dados topográficos, que devem representar somente o terreno (Valeriano, 2004). Entre as feições expressas na variação destes dados, além da informação topográfica, estão edificações, desmatamento, obras de corte/aterro, represas, bem como o nível da superfície de corpos d’água extensos. Para áreas alagadas, é recomendado o uso de dados SRTM trabalhados matematicamente através de modelos que permitiram reconstituir o relevo, eliminando as falhas encontradas nos dados originais. Assim, com a disponibilidade destes dados

corrigidos, resolveu-se também fazer um processamento para delimitar as áreas de várzea.

Para a identificação de classes representativas de cobertura de terra em áreas de várzea, foram aplicadas as seguintes técnicas de processamento digital de imagens: composições IHS das bandas 3, 4, 5 e 8 do sensor ETM+; e fusão de imagens do sensor ETM+ com as imagens do radar R99B/SAR, utilizando, como processamentos, a transformada de Wavelet, a pirâmide morfológica e os componentes principais (Leonardi *et al.*, 2005).

A transformação IHS (Jensen, 1996) é bastante utilizada para combinar três imagens multiespectrais com uma quarta imagem com resolução espacial maior, que pode ser uma banda pancromática ou uma banda de radar. Nesse caso, faz-se a substituição da componente intensidade do IHS pela quarta imagem (Figura 2).

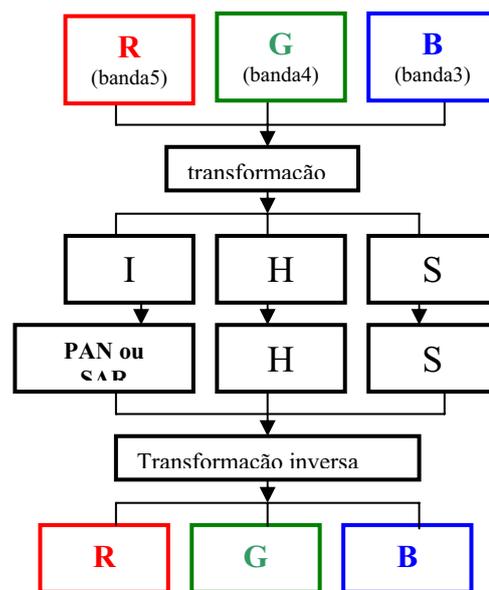


Figura 2. Esquema do procedimento da transformação RGB – IHS.

A fusão por componentes principais inicia-se com a transformação das bandas multiespectrais (sem limitação do número de bandas) em um mesmo número de componentes não correlacionadas. A primeira componente principal (CP1) é substituída pela banda pancromática que antes passa por um processo de equalização de média e variância para que fique o mais parecida possível com a CP1. Em seguida, é realizada uma transformação inversa (Pinho *et al.*, 2005).

A fusão de imagens através da transformada de Wavelet, em geral, é realizada pela troca da sub-banda de baixa resolução em um determinado nível j , que é o resultado da decomposição de uma imagem pancromática de alta resolução espacial, por uma imagem de baixa resolução que contém a informação espectral (Ventura, 2002) (Figura 3). Na função de pirâmides morfológicas, são utilizadas várias imagens com diferentes resoluções empilhadas uma sobre a outra, estando a de maior resolução na base e as demais aparecendo sobre ela em ordem decrescente de resolução (Vaquero, 2004). Basicamente, são aplicados filtros passa-baixa e uma amostragem da imagem. Para a execução desses procedimentos de fusões, utilizou-se um programa desenvolvido no software MATLAB (MATrix LABoratory) que é um *software* interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico. Integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente amigável. O MATLAB disponibiliza um conjunto de pacotes de funções denominados *toolboxes*, utilizados para as mais variadas áreas de cálculo científico, como a estatística, o processamento de sinal, o processamento de imagem, o cálculo simbólico, etc.

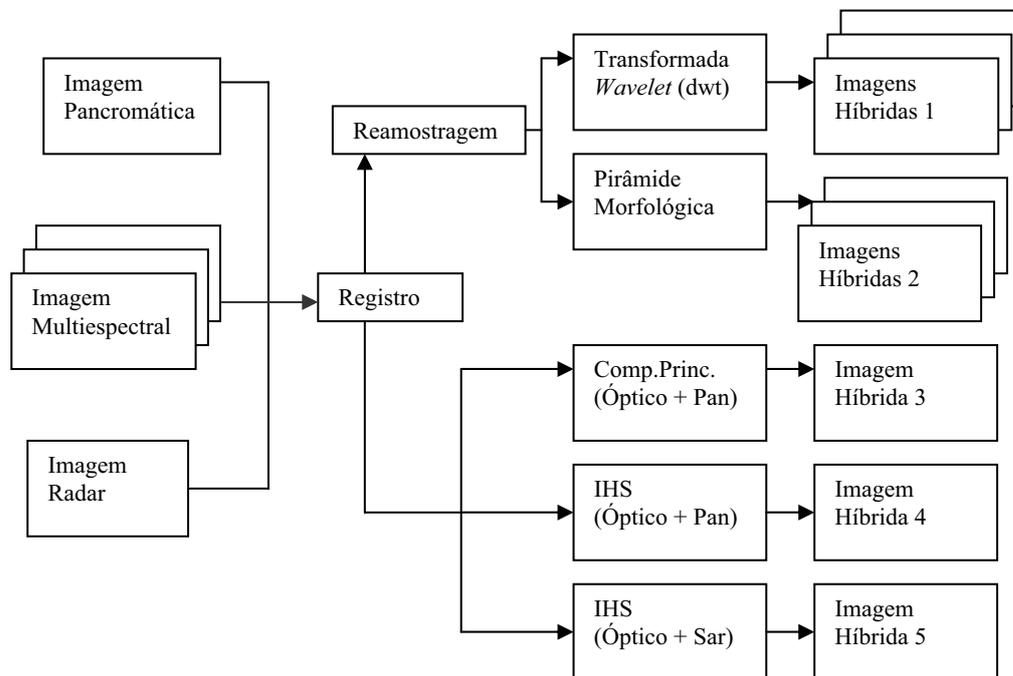


Figura 3. Fluxograma mostrando os procedimentos de geração de imagens híbridas por meio de fusões. Adaptado de Leonardi *et al.* (2005).

RESULTADOS

Delimitação de áreas de várzea

Estudos anteriores envolvendo delimitação de áreas de várzeas da Amazônia utilizaram sistemas sensores ópticos e de radar de forma isolada. Para este estudo, foi realizada uma análise qualitativa dos resultados obtidos pelas técnicas de classificação e segmentação de imagens, utilizando a ferramenta de extração de feições, disponível no ENVI. Com o objetivo de simplificar o processo, as classes escolhidas para a realização dos processamentos das imagens foram: água, floresta (mata densa), várzea (áreas inundáveis), solo exposto (inclui áreas agrícolas e pastagens) e áreas urbanas.

Os primeiros processamentos envolveram imagens do Landsat, onde foram então realizadas as segmentações com nível de escala entre 50 a 70 e o junção entre 60 a 80, utilizado para agregar pequenos segmentos, seguido da classificação SVM, com seleções de amostras baseados em conhecimento de campo. A cobertura de nuvens e sombras nas imagens era inferior a 5% do total das áreas de estudo, portanto, não houve prejuízo significativo no resultado final.

Para o processamento das imagens do satélite Radarsat, foram disponibilizadas as imagens de um período de seca de 1997. O motivo desta escolha foi que, neste ano, houve um grande pulso de inundação, ocasionado em grande parte ao fenômeno conhecido como “El Niño”. A segmentação foi realizada com nível escala entre 35 a 45 e a junção entre 60 a 80 e, finalmente foi realizada a classificação supervisionada pelo método SVM.

A segmentação das imagens R99B/SAR foi realizada com nível de escala entre 35 a 45 e junção entre 70 a 85. Neste caso, antes de partir para a etapa de classificação supervisionada pelo método SVM, utilizou-se a opção de cálculo de atributos para selecionar o item de textura que é um atributo de grande importância e forte distinção nas imagens de radar. Esse processo ajudou a melhorar a visualização final.

Na Tabela 1, é mostrado o cálculo de exatidão de mapeamento, onde pode-se avaliar o grau de concordância individual entre a classificação e os dados de referência terrestre, que são pontos de amostragem de campo ao longo das áreas de estudo, anotados com coordenadas GPS (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados dos testes estatísticos.

Cálculo da exatidão do mapeamento				
Sensor	Localidade - região	Nº de pontos coletados em campo	Exatidão Global	Coefficiente Kappa
Landsat	Manaus-AM	36	71,0	0,60
Landsat	Santarém-PA	38	71,6	0,58
Radarsat	Santarém-PA	38	68,4	0,57
R99B/SAR	Santarém-PA	38	63,1	0,51
R99B/SAR	Manaus-AM	36	61,1	0,49

Em conformidade com os dados obtidos por Brites *et al.* (1996) e Ponzoni e Rezende (2002), o índice de exatidão global foi maior que o do coeficiente Kappa. Para estes autores, isso pode acontecer, pois a exatidão global considera apenas a diagonal da matriz de erro, ignorando a ocorrência de concordância casual entre as classes, além de haver uma tendência desse índice em superestimar a exatidão de mapeamento.

De acordo com Landis e Koch (1977), a avaliação a partir do coeficiente Kappa pode ser realizada com base nos valores distribuídos entre 0 e 1. Assim, os valores obtidos para o coeficiente Kappa que vão de 0,40 até 0,60 foram classificados com bom desempenho. Na Figura 4, apresenta-se a imagem resultante que apresentou o melhor índice de exatidão de mapeamento.

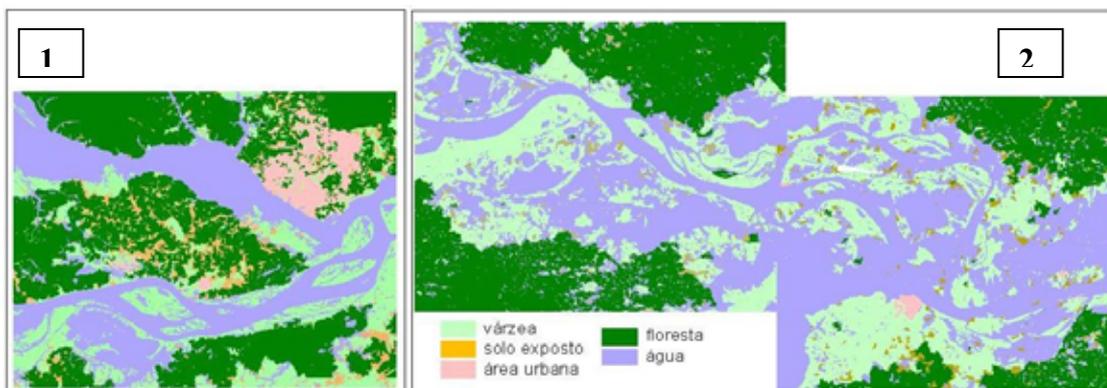


Figura 4. Resultado do processamento das imagens do sensor Landsat para as áreas de estudo (1) = região de Iranduba e Manaus-AM; (2) = região de Santarém-PA.

Para os processamentos descritos acima, alguns trabalhos utilizaram imagens de radar do JERS-1 e obtiveram bons resultados, como o de França *et al.* (2005), que aplicou segmentações e classificação para aplicações de estimativa de área de expansão de sistemas lacustres e planícies aluviais no rio Amazonas. Souza Junior *et al.* (2005) mostraram o potencial das aplicações de segmentações em imagens JERS-1 e Landsat. Na Figura 5, é mostrado o resultado obtido pelo “índice de inundação” com a imagem JERS-1 SAR, que pode ser utilizado para um estudo macro da várzea amazônica. A camada classificada com indicativo de inundação está de acordo com os resultados encontrado nos processamentos anteriores.

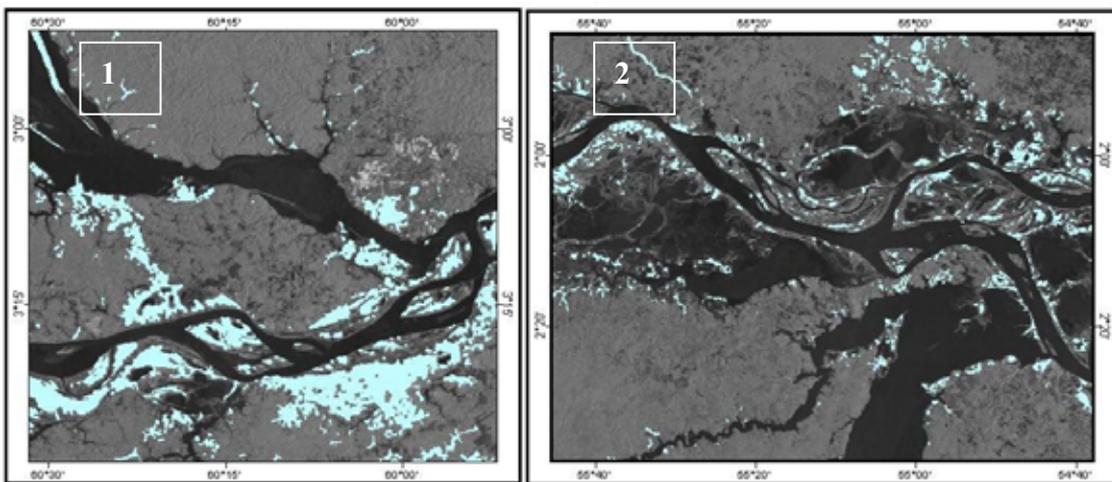


Figura 5. Resultado do processamento de imagem JERS-1 SAR para obter o “índice de inundação” que correspondem a áreas mais claras. (1) = região de Iranduba e Manaus-AM; (2) = região de Santarém-PA.

O último processamento para o estudo de delimitação das áreas de várzea na Amazônia foi a utilização dos dados numéricos de relevo e da topografia, obtidos pela missão SRTM. Como base para definir as áreas inundáveis, foi solicitado à Agência Nacional de Águas (ANA), o resultado do levantamento feito diariamente nos rios da bacia Amazônica, das cotas de inundações coletas nos últimos vinte anos. Foram selecionadas seis locais de coletas localizados nas áreas de estudo (Tabela 2).

Tabela 2. Médias das cotas de inundação fornecidas pela ANA.

Ponto de coleta das cotas de inundação	Média geral (mínimo 20 anos) em metros
Área de estudo em Manaus-AM	
Manacapuru–AM–Rio Amazonas	14,04
Jatuarana / Manaus– AM – Rio Amazonas	12,87
Média	13,46
Área de estudo em Santarém-PA	
Santarém – PA – Rio Tapajós	3,95
Oriximiná – PA – Rio Trombetas	4,94
Parintins – AM – Rio Amazonas	5,29
Óbidos – PA – Rio Amazonas	4,61
Média	4,70

Segundo Valeriano e Abdon (2006), os dados existentes confirmam ser a vegetação a principal responsável pelas variações de altitude diferenciadas nas cartas de topografia geradas com os dados SRTM. A sensibilidade dos dados SRTM em relação à altura do dossel pode ser aplicada ao mapeamento de tipos florestais numa mesma mancha de vegetação, desde que garantidas as variações mínimas na própria altitude do terreno. Para que este problema não tenha influência e para dar maior confiabilidade para elaboração dos mapas delimitando as áreas de várzea, foi acrescentado à média da cota de inundação, pouco mais de 50 % do total em cada área como forma de equilibrar a variabilidade dos dados apresentadas nas áreas onde se localiza a água. O resultado alcançado foi comparado com os demais obtidos e mostrou que grande parte das áreas classificadas como várzea são correspondentes com os outros processamentos realizados. Para melhor identificação, a camada de informação resultantes foi sobreposta com a base de hidrografia na escala de 1:250.000, validada pelo SIPAM/IBGE (Figura 6).

O dados da missão SRTM foram manipulados com o objetivo de mostrar o potencial que estes dados podem contribuir para estudos da várzea.

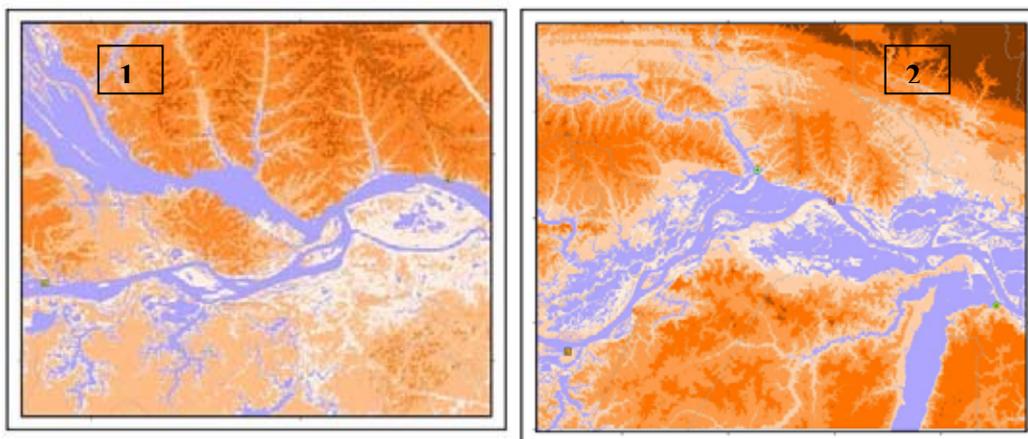


Figura 6. Resultado da análise dos dados SRTM. A cor amarelo claro representa áreas de várzea. (1) = região de Iranduba e Manaus-AM.; (2) = região de Santarém-PA

Identificação de alvos

O segundo objetivo deste trabalho foi a identificação de alvos na várzea. Para a região do município de Santarém-PA, foram utilizados fusão de imagens pelo método de Wavelet e de pirâmides morfológicas, que consistiu na manipulação das imagens Landsat ETM+ do ano de 2002, que tiveram seus histogramas equalizados (0 a 255 DN) e recortadas no tamanho de 1.500 x 1.500 pixels (bandas 3, 4 e 5) e 3.000 x 3.000 pixels (banda 8). A próxima etapa foi a reamostragem das bandas 3, 4 e 5 (30 metros de resolução) a partir da banda pancromática (15 metros de resolução). Os resultados foram imagens de 3.000 x 3.000 pixels com resolução espacial de 15 metros, as imagens foram exportadas para a extensão jpg, todas com 8 bits de resolução radiométrica. Esses parâmetros acima descritos foram adotados em função da limitação e requisição do módulo de processamento no MATLAB, desenvolvido no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da UnB. Estas imagens foram inseridas aos pares (bandas 3 e 8; bandas 4 e 8, bandas 5 e 8) no MATLAB para a fusão das imagens.

Os resultados obtidos com fusões DWT e pirâmides morfológicas são apresentados respectivamente nas Figuras 7 e 8.

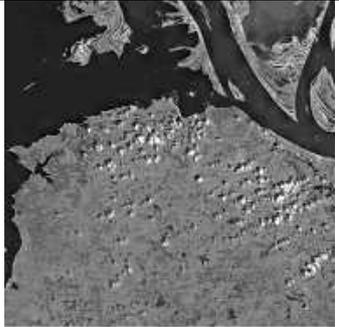
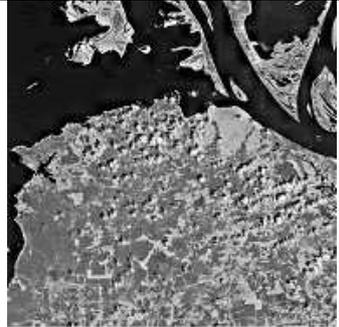
Banda 3 + Banda 8	Banda 4 + Banda 8	Banda 5 + Banda 8
		
<p>Identificação: delimitação dos cursos dos rios</p>	<p>Identificação: melhor contraste dos diferentes tipos de alvos como solo exposto/desmatamento, área urbana, áreas de cultivo, distinção de águas com sedimentos</p>	<p>Identificação: clara distinção entre floresta e não floresta</p>
<p>Dificuldades: áreas de cultivo mascaradas, sem distinção na água dos rios quando há sedimentos.</p>	<p>Dificuldades: ligeira confusão com nuvens</p>	<p>Dificuldades: sem distinção de água com sedimentos</p>

Figura 7. Apresentação dos resultados encontrados com a fusão DWT na área de estudo da região de Santarém-PA.

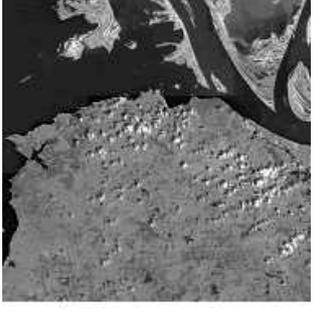
Banda 3 + Banda 8	Banda 4 + Banda 8	Banda 5 + Banda 8
		
Identificação: Evidenciam-se melhor as feições geométricas. Maior realce das bordas.	Identificação: a maior nitidez na imagem, facilitando sua interpretação.	Identificação: Imagem mais nítida e com melhor definição dos alvos. Os alvos são facilmente diferenciados (estruturas geométricas), tanto áreas de cultivo quanto urbanizadas
Dificuldades: Observa-se um certo “exagero” na detecção dos diferentes níveis de sedimentos na água, (aparecimento de polígonos regulares), podendo levar a uma falsa interpretação.	Dificuldades: As áreas de cultivo apresentam ligeira confusão e sem distinção de água com sedimentos	Dificuldades: sem distinção de água com sedimentos

Figura 8. Apresentação dos resultados encontrados com a fusão por pirâmides morfológicas na área de estudo da região de Santarém-PA.

Comparando visualmente o resultado desses dois métodos, a pirâmide morfológica que utiliza os filtros passa-baixa apresentou um maior contraste.

Com as imagens Landsat, a composição colorida 5R4G3B e a banda pancromática ou a imagem de radar (R99B/SAR), foram efetuadas a fusão IHS e a fusão por transformação por componentes principais. Nenhum tipo de contraste foi efetuado nas imagens, somente o georreferenciamento inicial das imagens. Estes métodos foram realizados para as duas áreas de estudo localizadas na região dos municípios de Santarém-PA e Manaus-AM.

A avaliação foi elaborada a partir de uma análise qualitativa que se baseou na análise visual das cores da imagem multiespectral original e das imagens fusionadas. A interpretação visual, para ter um melhor grau de confiabilidade, requer, do usuário, conhecimentos prévios de vários fatores sobre as características das imagens utilizadas e, mais importante, requer conhecimentos da área "in loco".

Vários trabalhos utilizaram-se da análise de interpretação visual como modo de determinar tipos de alvos encontrados em imagens, podendo-se citar o PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia) do INPE que utiliza imagens multitemporais, e um método visual de interpretação para determinação de áreas desflorestadas (Shimabukuro *et al.*, 1999). França *et al.* (2007) utilizaram interpretação visual com o objetivo de avaliar o desempenho das imagens JERS-1 e fusão óptico-radar (IHS) na discriminação de alvos identificados em campo e na definição das feições lacustres. Gaio Junior *et al.* (2005) avaliaram a integração de dados de sensores ópticos CBERS-2 e de radar R99B/SAR para auxiliar a interpretação visual na identificação de campos de pouso na Amazônia. Assim, foram empregados conhecimento e identificação de campo que possibilitaram uma confiável confirmação dos alvos.

O desempenho apresentado por todos esses métodos de fusão avaliados nas imagens disponíveis pode ser classificado como extremamente proveitosos que podem ser utilizados para diversos tipos de avaliação, como por exemplo, a delimitação de diversos tipos de atributos como várzeas, áreas agrícolas, áreas urbanas e outros. Em especial, temos o resultado da transformação IHS entre a imagem Landsat e a R99B-SAR, que mostrou nitidamente a diferenciação entre os tipos de alvos avaliados em trabalho de campo. Isso pode ser verificado na Figura 10 que mostra os resultados dos alvos identificados em trabalho de campo em seus respectivos processamentos.

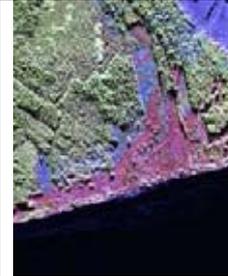
Imagens Fusionadas	Alvos identificados			
	Floresta	Solo Exposto / Agricultura / Pastagens	Área Urbana	Várzea
RGB+R99B (Transformação IHS)				
RGB+PAN (Transformação IHS)				
RGB+PAN (Componentes Principais)				

Figura 9 – Imagens resultantes dos processamentos de fusões com as identificações dos principais alvos selecionados.

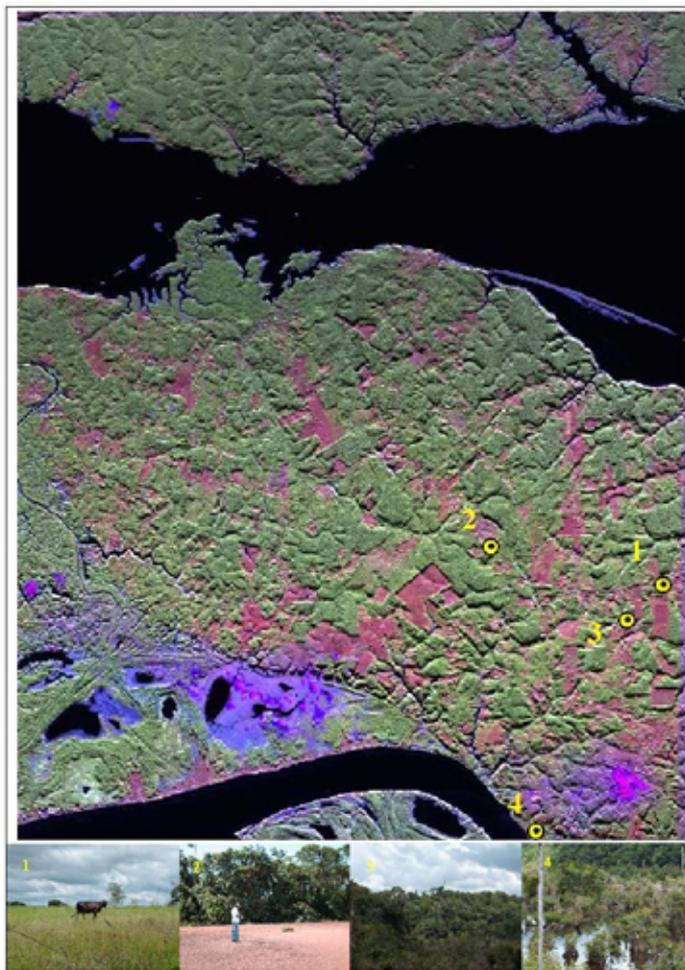


Figura 10 – Resultado de uma fusão IHS de imagens Landsat (bandas 3, 4 e 5) com a R99B/SAR, com validação em campo. (1) pastagem (2) solo exposto (3) floresta e (4) várzea. Área de estudo: região de Manaus e Iranduba-AM.

Cabe destacar que a identificação de alvos através de métodos de fusão de imagens foi muito bem empregada e utilizada, assim como Leonardi *et al.* (2005), diz que um método de fusão eficiente é aquele que preserva as cores da imagem original (qualidade espectral) e transfere as informações de detalhes da banda pancromática para o produto híbrido. Alguns estudos como o de Pinho *et al.* (2005) e Sestine *et al.* (2007) mostraram fusões executadas com imagens de alta resolução com excelentes resultados, mas como o custo dessas imagens é muito grande, o presente trabalho mostra a viabilidade de substituição por imagens de radar, mais especificamente, as imagens R99B/SAR disponibilizadas por órgãos governamentais.

Todos os dados utilizados neste trabalho bem com o resultados derivados do mesmo serão incorporados ao Sistema de Informações Geográficas do projeto ProVárzea/Ibama, estando disponíveis para o uso público.

CONCLUSÃO

Para a delimitação das áreas de várzea, fez-se a comparação dos resultados obtidos com o sensor óptico Landsat e os sensores de radar R99B/SAR e Radarsat. Para isso, foi utilizada a mesma técnica em todos processamentos, ou seja, segmentação e classificação. O resultado mostrou que, apesar de todos serem classificados como bom, o desempenho final do sensor Landsat apresentou um melhor resultado, após a validação da exatidão do mapeamento através de testes estatísticos.

Cabe destacar que as novas técnicas de sensoriamento remoto para trabalhar com imagens de radar estão em constante evolução e já começando a apresentar resultados significativos.

Para a identificação de classes de cobertura de terra, houve trabalhos de campo onde foram coletadas coordenadas de algumas classes para comparação após os processamentos. As classes selecionadas foram pastagem, solo exposto, floresta e várzea. Todas elas foram identificadas nas imagens disponíveis dos sensores Landsat e R99B/SAR. Posteriormente, foram realizadas todas as técnicas de fusão de imagens propostas no trabalho, transformada de Wavelet, pirâmide morfológica, transformação IHS e componentes principais. A comparação dos dados de campo com as imagens processadas mostrou bons resultados, comprovando que, quanto melhor a resolução espacial aliada a uma boa resolução espectral, melhor será a discriminação dos alvos.

Se houvesse a disponibilidade de todas estas imagens para toda a várzea, os resultados das fusões para identificação das classes e áreas de cobertura de terra e posterior utilização de técnicas de segmentação e classificação poderiam mostrar resultados ainda mais interessantes para a delimitação de várzea.

A várzea ou áreas periodicamente inundáveis na Amazônia é um dos ecossistemas mais importantes na Bacia Amazônica e também tem um papel vital para as populações que vivem neste local. Assim, todos os estudos que venham a contribuir para o desenvolvimento sustentável é de grande ajuda para seu controle e preservação.

AGRADECIMENTOS

À toda equipe do Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea – ProVárzea/Ibama, em especial, aos coordenadores, pelo apoio, suporte técnico e operacional para que este trabalho fosse executado.

BIBLIOGRAFIA CITADA

AB’SABER, A.N. Base para os estudos dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, vol. 16, n. 45, 2002.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, N; MCGRATH, D; MOUTINHO, P; PACHECO, P.; DIAZ, M.D.C.V; FILHO, B.S. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004, 89 p.

BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Comparação de desempenho entre três índices de exatidão aplicados a classificação de imagens orbitais. **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, ago. 1996, Salvador. INPE, CD-ROM.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49 n. 12, p. 1671-1678, 1991.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York, Lewis publishers, 1999. 133 p.

FRAPPART, F.; SEYLER, F.; MARTINEZ, J-M.; LEON, J.G.; CAZENAVE, A. Floodplain water storage in the Negro River basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water levels. **Remote Sensing of Environment**, 99: 387-399, 2005.

FRANÇA, A.M.S.; FLORENZANO, T.G.; NOVO, E.M.L.M. A dinâmica do pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na estimativa da área de expansão dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Amazonas. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada** – 05 a 09 de setembro de 2005 – USP, p. 2742-2750.

FRANÇA, A.M.S.; FLORENZANO, T.G.; NOVO, E.M.L.M. Avaliação de fusão de imagens ópticas e microondas no mapeamento de morfologias lacustres. **Revista Brasileira de Cartografia**, 59(02):205-211, 2007.

GAIO JÚNIOR, A.; PEREIRA, A.A.C.; DALL'IGNA, L.G. Fusão de imagens CBERS2-SAR/SIPAM para identificação de campo de pouso na região amazônica. **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia-GO. abril 2005. INPE. p. 953-960.

HESS, L.L.; MELACK, J.M.; NOVO, E.M.L.M.; BARBOSA, C.C.F.; GASTIL, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. **Remote Sensing of Environment**, 87: 404-428, 2003.

IBANEZ, D.M; ALMEIDA FILHO, R.; MIRANDA, F.P. Uso de dados SRTM no auxílio à pesquisa de hidrocarbonetos na Bacia Sedimentar do Amazonas. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2015-2022.

JENSEN, J.R. Remote sensing of water. In: Jensen, J.R. (Ed). **Remote Sensing of the Environment: an Earth Resource Perspective**. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000 p. 379-406.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing. A remote sensing perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2^a ed., 1996, 318 p.

LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(3): 159-179, 1977.

LEONARDI, S.S.; ORTIZ, J.O.; FONSECA, L.M.G. Comparação de técnicas de fusão de imagens para diferentes sensores orbitais. **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia-GO. abril 2005. INPE. p. 4111-4113.

MACHADO, M.L. **Caracterização de agroecossistemas cafeeiros da zona da mata de Minas Gerais, usando sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas**. Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Lavras MG, 2002. 137 p.

MANGABEIRA, J.A.C. **Tipificação de produtores rurais apoiada em imagens de alta resolução espacial, geoprocessamento e estatística multivariada: uma proposta metodológica**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP 2002.

NEPOMUCENO, A.M. **Uso de rede neural artificial não supervisionada na classificação de dados de radar na banda P para mapeamento de cobertura da terra em floresta tropical**. Dissertação de mestrado, São José dos Campos: INPE, 2003. 197 p.

NOVO, E.M.L.M.; FERREIRA, L.G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.; HUETE, A.; POTTER, C.; ROBERTS, D.A.; HESS, L.L.; MELACK, J.J.; YOSHIOKA, H.; KLOOSTER, S.; KUMAR, V.; MYNENI, R.; RATANA, P.; DIDAN, K. e MIURA, T. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica**, 35(2): 259-272, 2005.

PINHO, C.M.D.; RENNO, C.D.; KUX, H.J.H. Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird. **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia-GO. abril 2005, INPE. p. 4225-4232

PONZONI, F.J.; REZENDE, A.C. Influências da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira-PA. **Revista Árvore**, 26(4): 403-410, 2002.

SANTOS, P.R.A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L.C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, 58(01):101-107, 2006.

SESTINI, M.F.; FERRI, C.P. Procedimento para minimização do efeito de alta frequência resultante de fusão entre bandas TM Landsat e pancromáticas Spot e Quickbird. **Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 59-66.

SHIMABUKURO, Y.E.; DUARTE, V.; SANTOS, J.R.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C. Levantamento de áreas desflorestadas na amazônia através de processamento digital. **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p.38 - 44, jan./dez. 1999

SOUZA JUNIOR, M.A.; DUTRA, L.V.; FREITAS, C.C. Segmentação de imagens JERS e TM/Landsat usando o segmentador incremental multi-níveis *SegSAR*. **Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia-GO. abril 2005 INPE. p. 4493-4499.

SUDAM / Projetos de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. **Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira**, Belém, 1984. 125 p.

SULFOFT. **Guia do ENVI em português**. 07/2007. Disponível em: <<http://www.sulsoft.com.br>>. Acesso em: 5 abr. 2008.

VALENTE, R.O.A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG.** Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura, USP, Piracicaba – SP 2005. 121 p.

VALERIANO, M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos, INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.

VALERIANO, M.M. e ABDON, M.M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. **Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, INPE/Embrapa Informática Agropecuária, p.395-404.

VALOIS, A.C.C. **Benefícios e estratégias de utilização sustentável da Amazonia.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, 75 p.

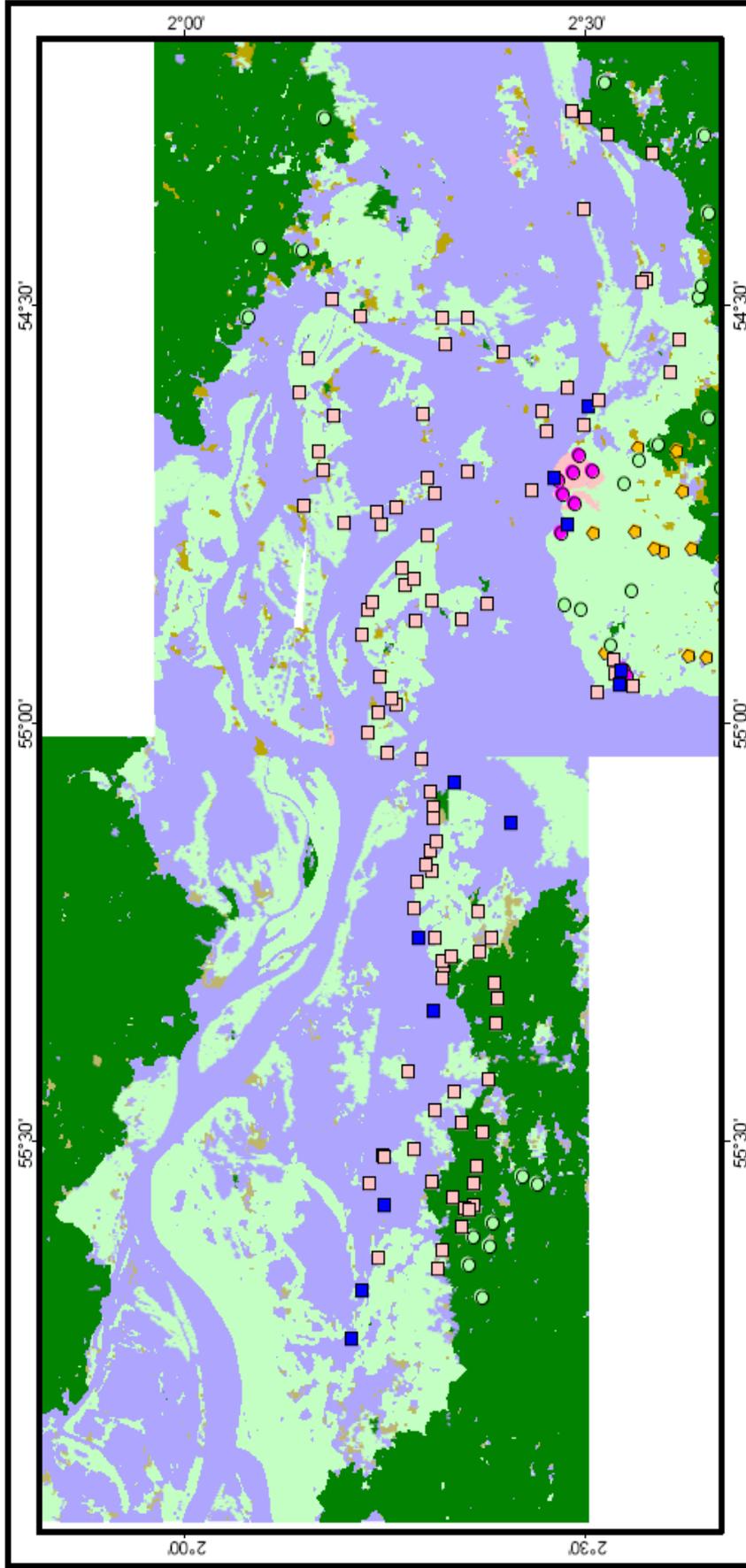
VAQUERO, D.A. Pirâmides de imagens. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, **Tópicos em Ciências da Computação**, MAC5701, 39 p., 2004.

VASCONCELOS, C.H.; NOVO, E.M.L.M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens—fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat-5, na região do reservatório de Tucuruí – PA. **Acta Amazonica**, 34(03):487-493, 2004.

VENTURA, F.N. **Fusão de imagens de sensores remotos utilizando a transformada de Wavelet.** 2002-08-12. (INPE-TDI). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2002.

ANEXO B

Figuras, fotos de campo e tabelas.



Resultado da Classificação da Imagem Landsat Municípios da região de Santarém - PA

Legenda

- água
- área urbana
- floresta
- solo exposto
- várzea

Identificação dos pontos coletados em campo

- água
- área urbana
- floresta
- solo exposto, área agrícola ou pastagem
- várzea

Imagem do Sensor
 Etm+ Landsat 7
Orbita Pontos:
 227-61 e 62 de 16/Octubro/2002 e 228-61 e 62 de 08/Novembro/2002

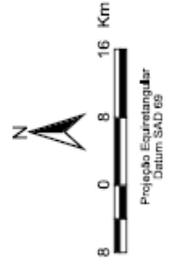


Figura 01. Resultado da classificação das imagens Landsat na região de Santarém-PA.

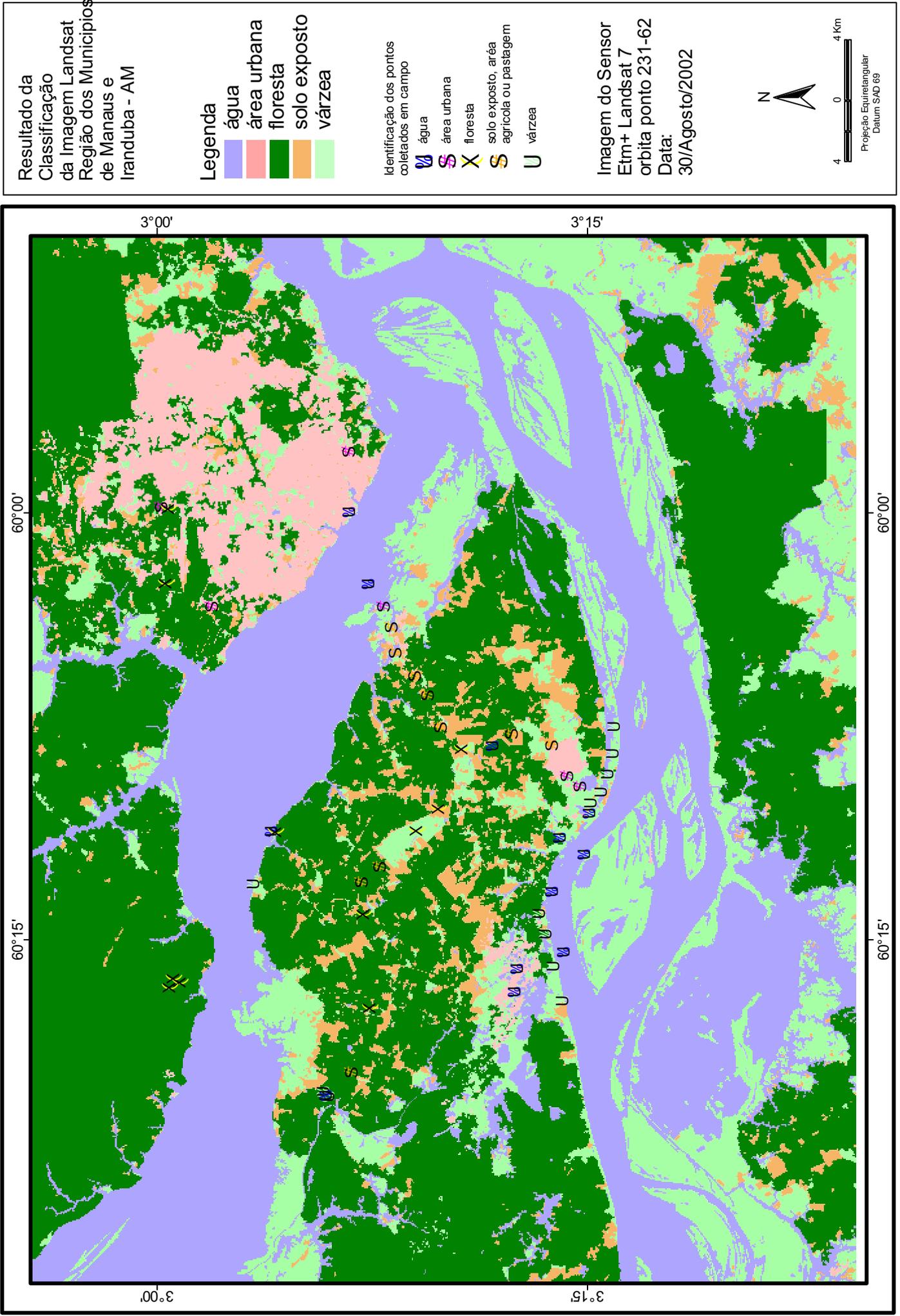
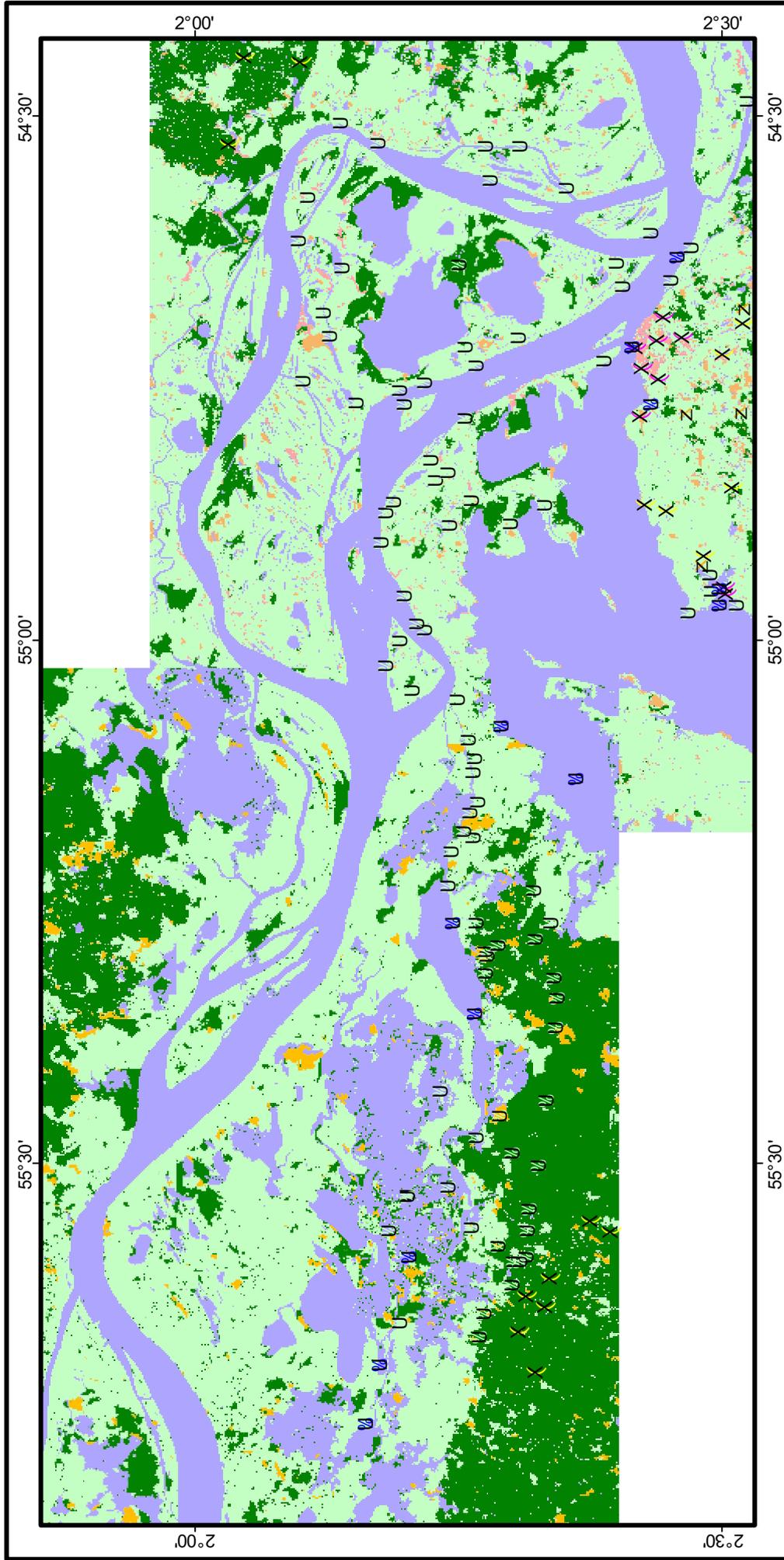


Figura 02. Resultado da classificação das imagens Landsat na região de Manaus-AM.



Resultado da Classificação da Imagem Radsat da Região do Município de Santarém - PA

Legenda

- águas
- área urbana
- floresta
- solo exposto
- várzea

Identificação dos pontos coletados em campo

- águas
- área urbana
- floresta
- solo exposto, área agrícola ou pastagem
- várzea

Imagem do Satélite Radsat-1
Data: 30/Novembro/1997

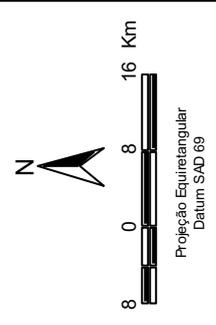
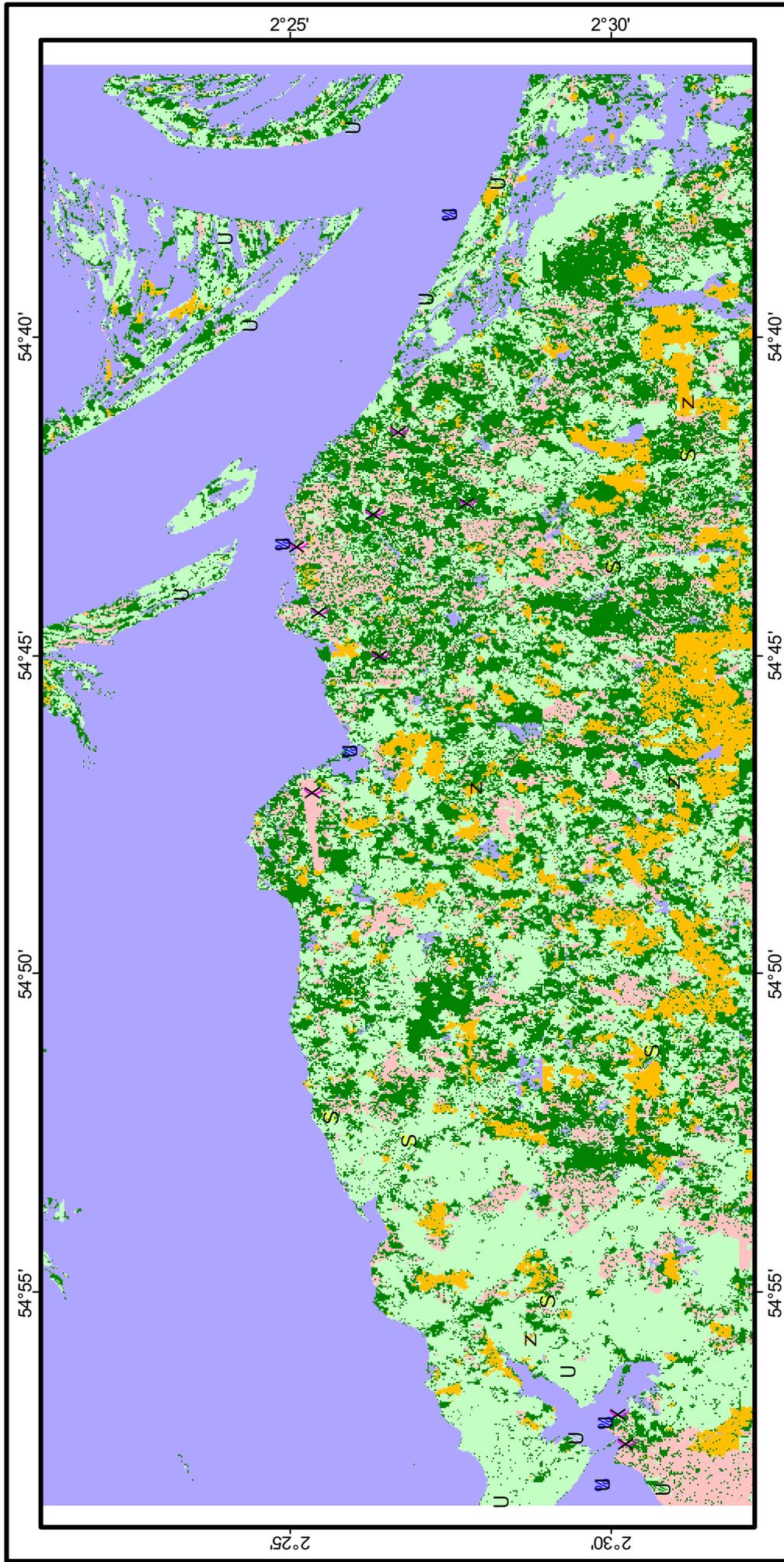


Figura 03. Resultado da classificação das imagens Radsat na região de Santarém-PA.



Resultado da Classificação da Imagem do sensor R99B/SAR
 Município de Santarém - PA

- Legenda**
- águas
 - área urbana
 - floresta
 - solo exposto
 - várzea

- Identificação dos pontos coletados em campo
- águas
 - área urbana
 - floresta
 - solo exposto, área agrícola ou pastagem
 - várzea

Imagem do Sensor Aerotransportado R99B/SAR
 Banda X - HH
 Data: 21/Agosto/2004

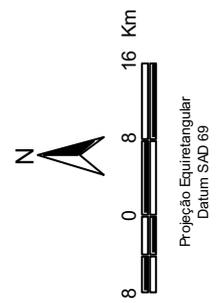


Figura 04. Resultado da classificação das imagens R99B/SAR na região de Santarém-PA.

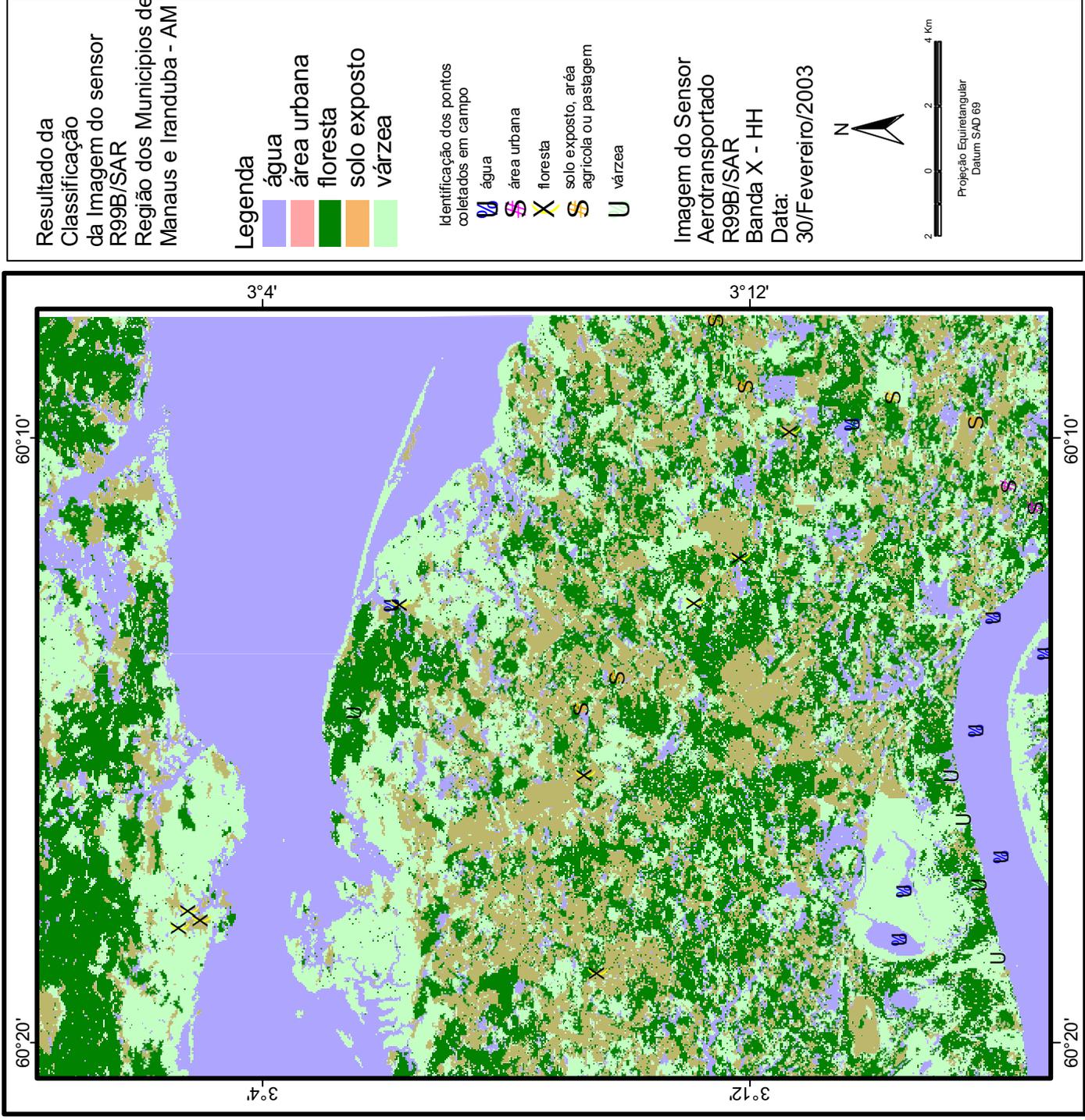
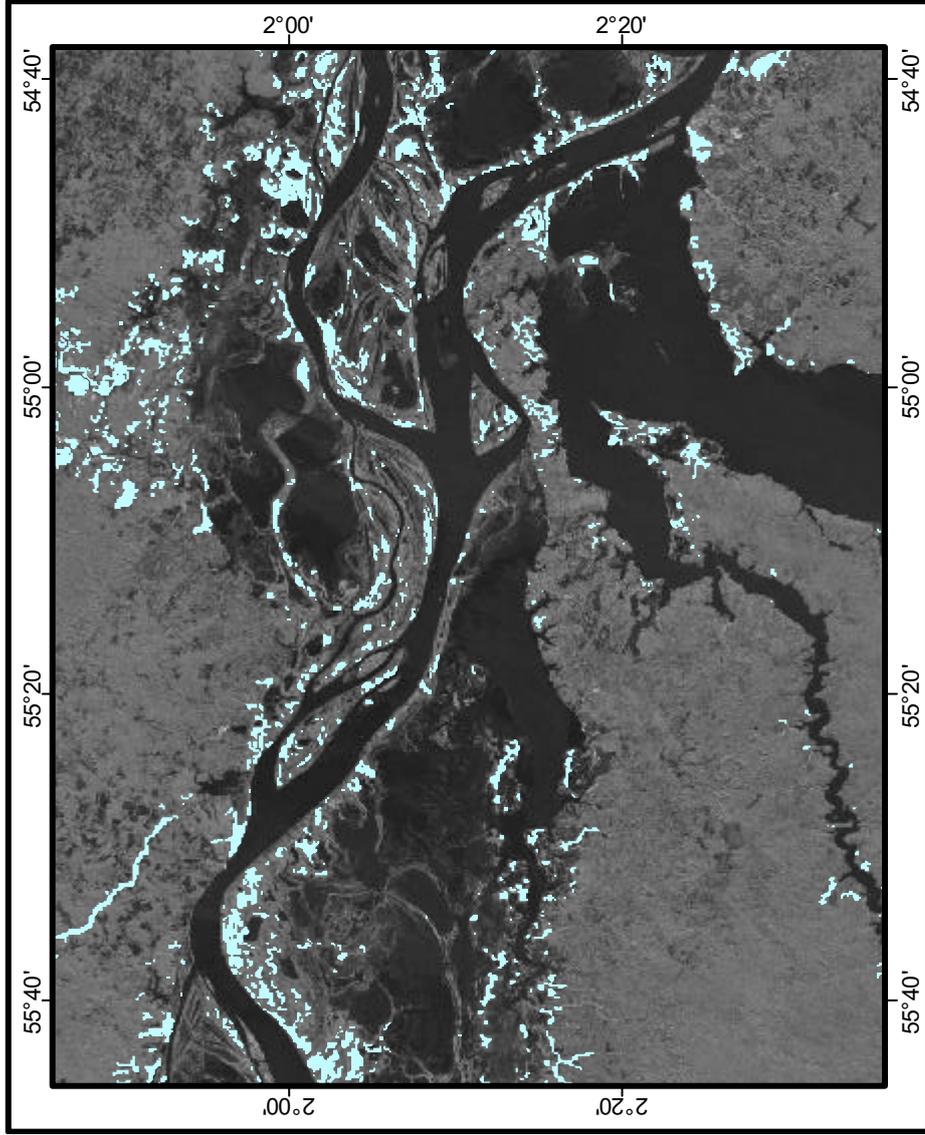


Figura 05. Resultado da classificação das imagens R99B/SAR na região de Manaus-AM.



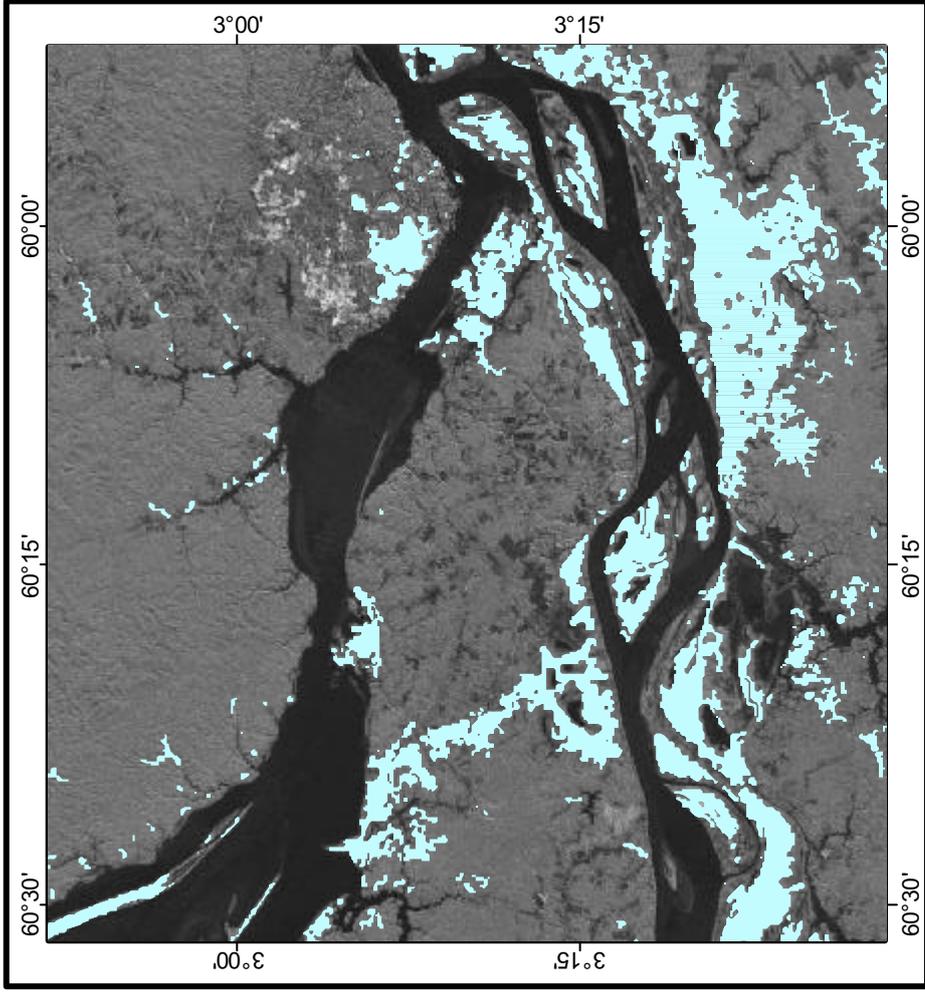
Resultado da Processamento da Imagem JERS
Região do Município de Santarém - PA

Índice de inundação
possíveis áreas de várzea

Imagem do Satélite JERS
Data: Novembro/1998



Projeção Equirretangular
Datum SAD 68



Resultado da Processamento da Imagem JERS
Região do Município de Manaus e Itanduba - AM

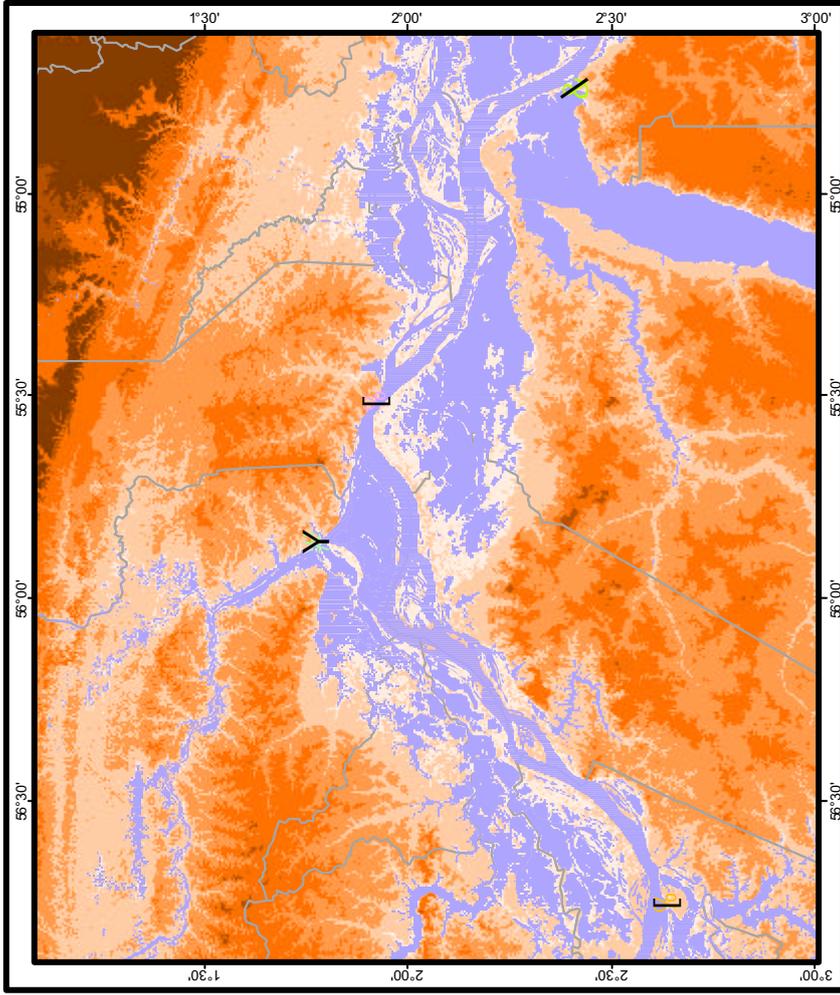
Índice de inundação
possíveis áreas de várzea

Imagem do Satélite JERS
Data: Novembro/1998

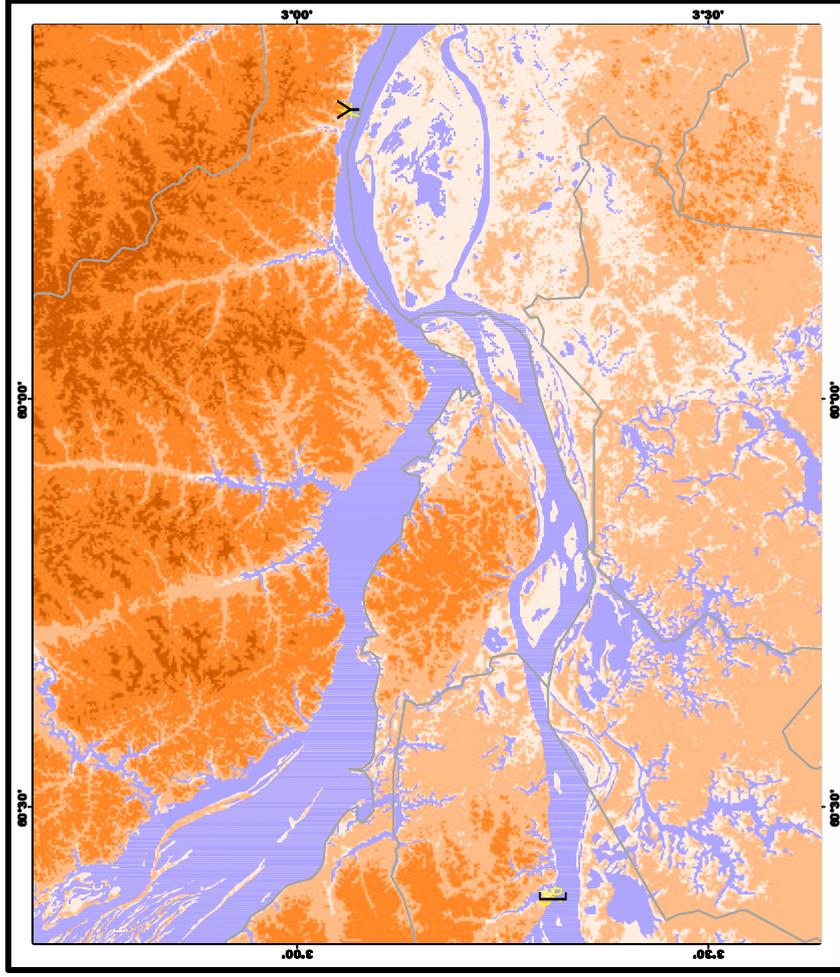
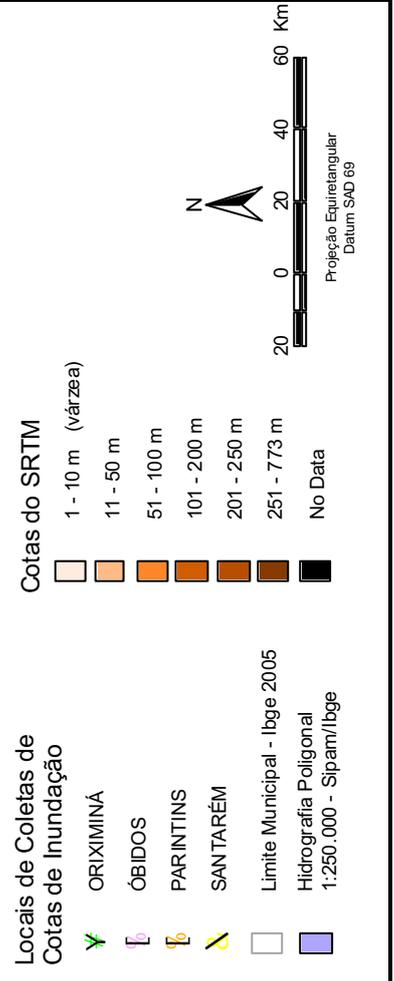


Projeção Equirretangular
Datum SAD 68

Figura 06. Resultado do processamento com as imagens JERS-1, região de Santarém-PA (a) e Manaus-AM (b).



Mapa de Localização de várzeas usando os dados do SRTM Região de Santarém - PA



Mapa de Localização de várzeas usando os dados do SRTM Região de Manaus - AM

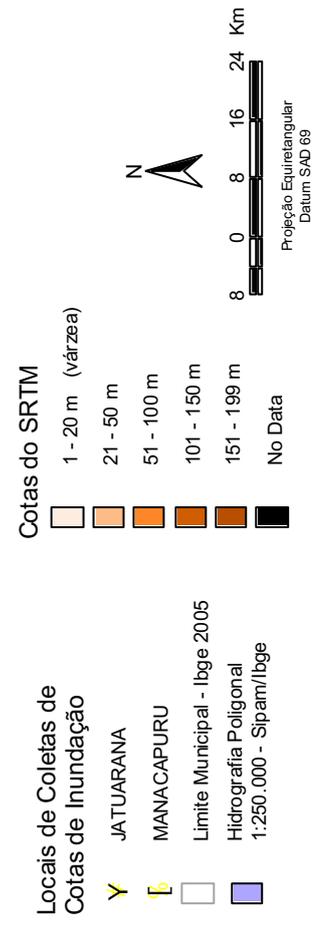
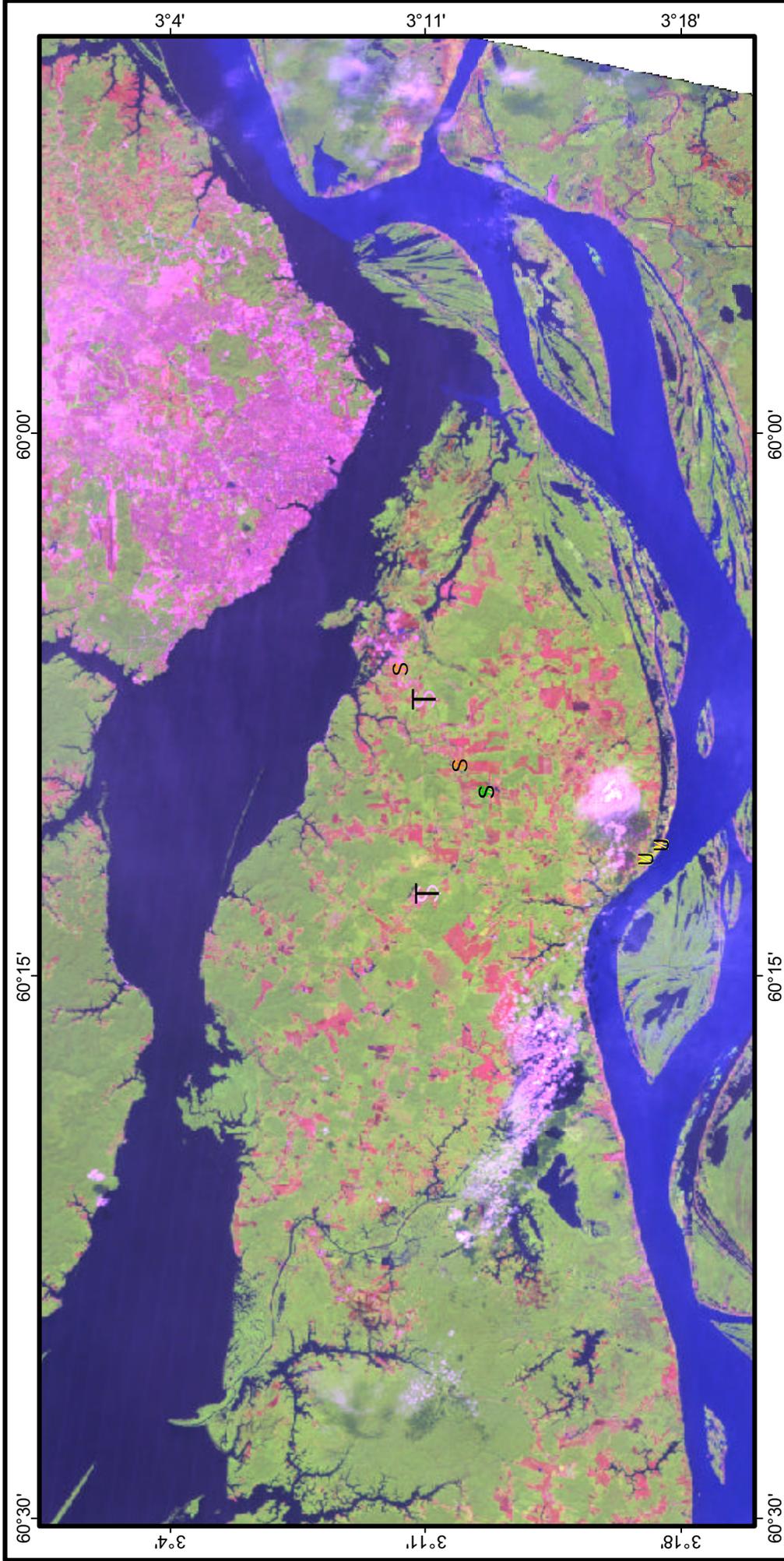


Figura 07. Resultado do processamento dos dados SRTM da região de Santarém-PA (a) e Manaus-AM (b).



Resultado da
Fusão das Imagens IHS
Landsat bandas 3,4 e 5
(30m) com a banda 8
Pancromática (10m)
Municípios da
região de
Manaus-AM

Identificação dos pontos
coletados em campo

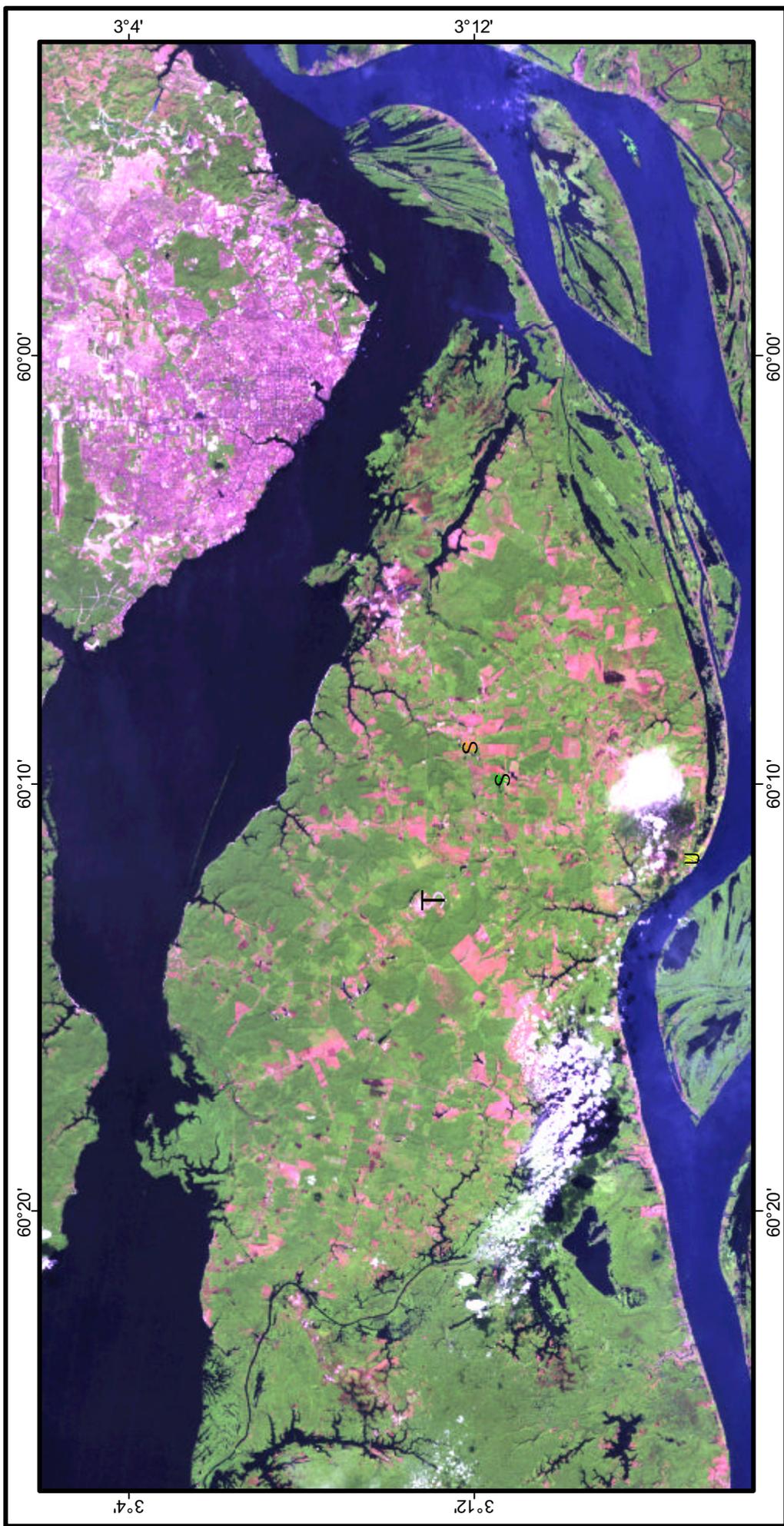
- S** floresta
- T** solo exposto
- S** área agrícola ou pastagem
- U** várzea

Imagem do Sensor
Etm+ Landsat 7
Datas:
Orbita Ponto 231-62
30/Ago/2002



Projeção Equitangular
Datum SAD 69

Figura 08. Resultado da Fusão IHS das imagens Landsat na região de Manaus-AM.



Resultado da
Fusão das Imagens
Componentes Principais
Landsat bandas 3, 4 e 5
(30m) com a banda 8
Panorâmica (10m)
Municípios da
região de Manaus-AM

Identificação dos pontos
coletados em campo

- S floresta
- T solo exposto
- S área agrícola ou pastagem
- U várzea

Imagem do Sensor
Etm+ Landsat 7
Datas:
Orbita Ponto 231-62
30/Agosto/2002



5 0 5 10 Km

Projeção Equirretangular
Datum SAD 69

Figura 09. Resultado da fusão por componentes principais das imagens Landsat na região de Manaus-AM.

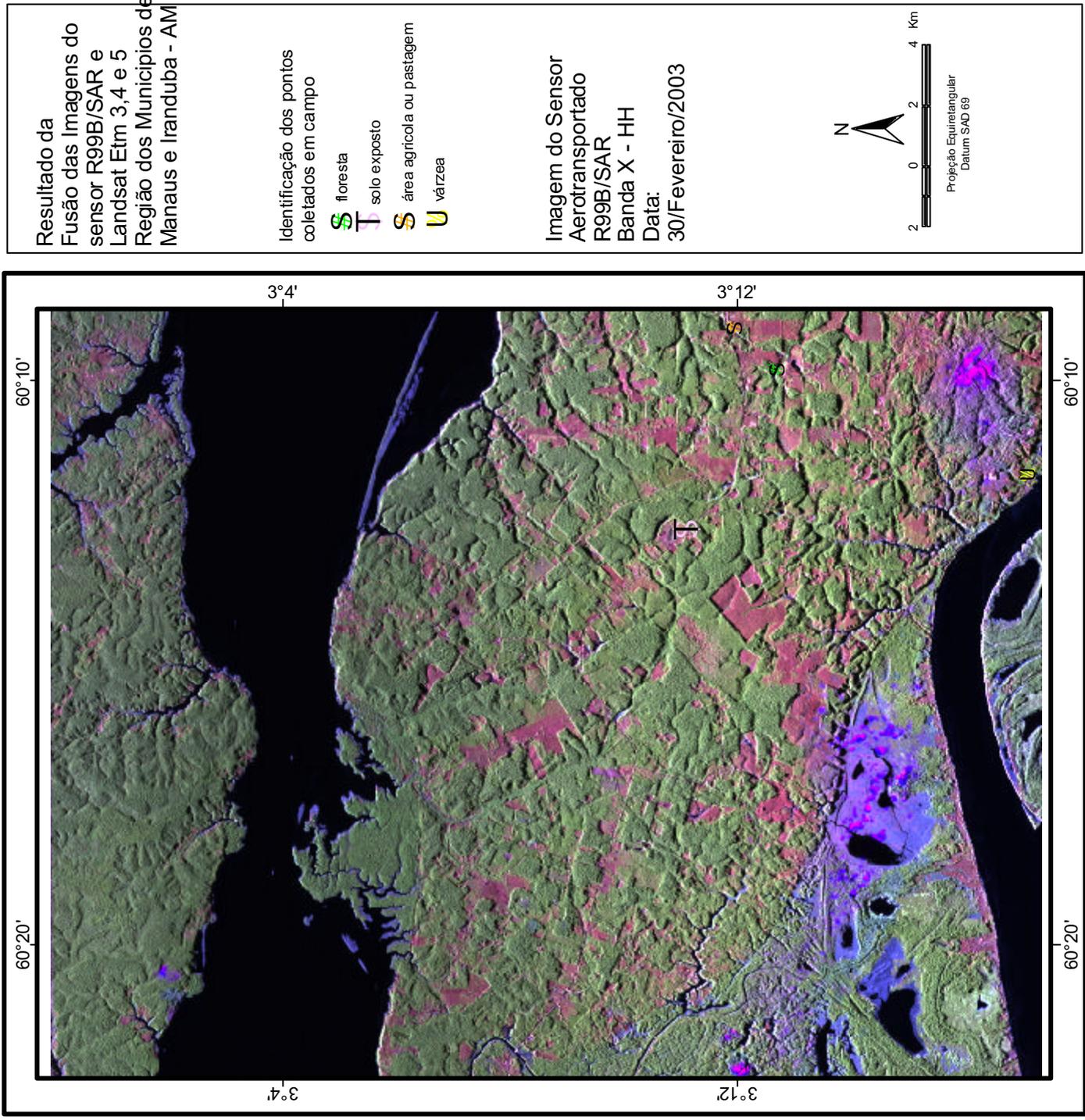
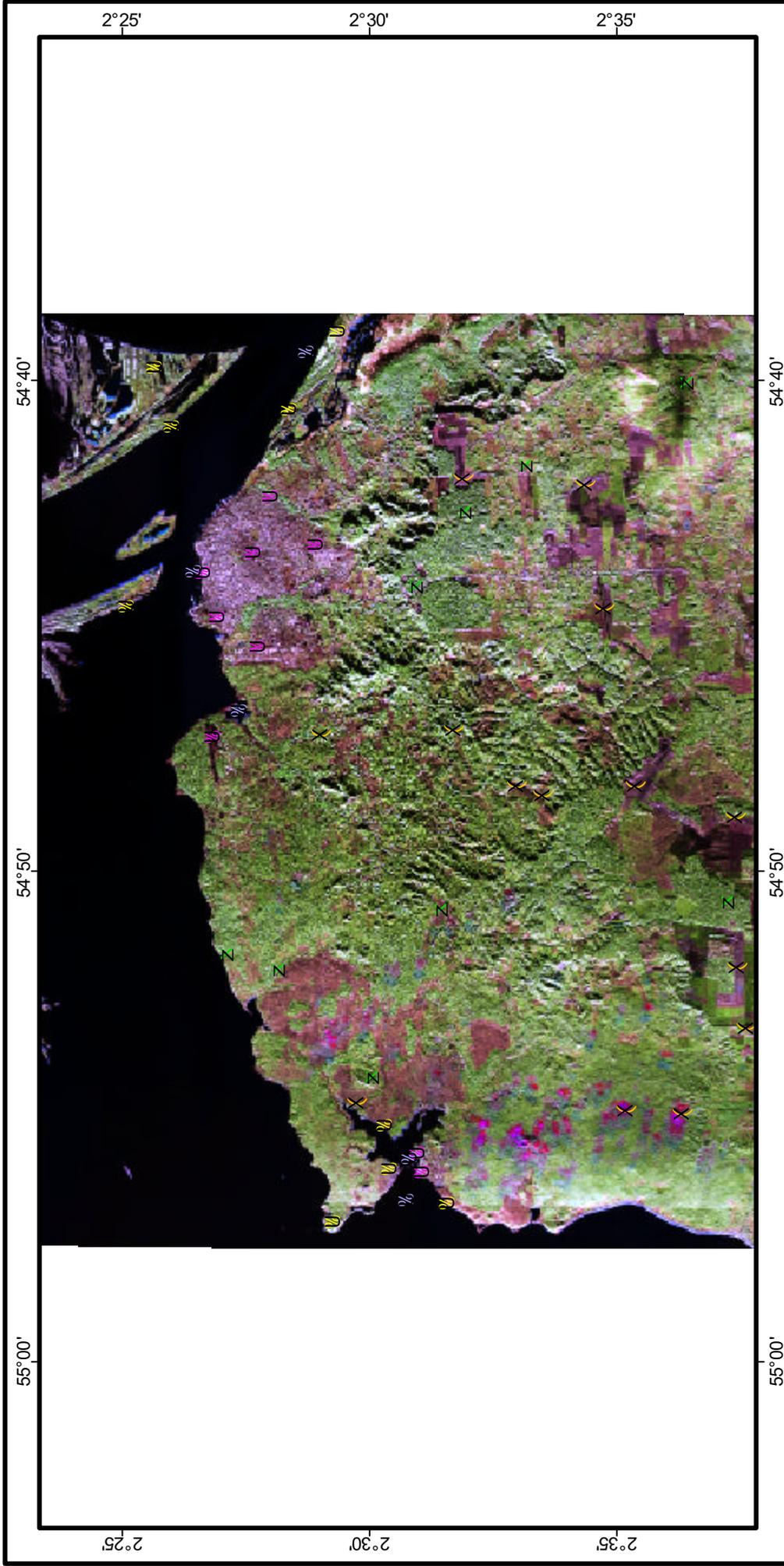


Figura 10. Resultado da fusão IHS das imagens Landsat com as imagens R99B/SAR na região de Manaus-AM



Resultado da Fusão das Imagens do sensor R99B/SAR e Landsat Etm 3,4 e 5 na região do município de Santarém-PA

- Identificação dos pontos coletados em campo
- U água
 - Z floresta
 - X solo exposto, área agrícola ou pastagem
 - U urbana
 - U várzea

Imagem do Sensor Aerotransportado R99B/SAR Banda X - HH Data: 21/Agosto/2004

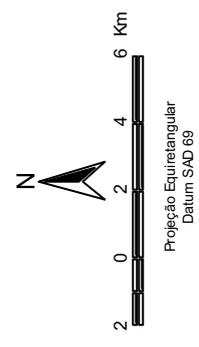


Figura 11. Resultado da fusão IHS das imagens Landsat com as imagens R99B/SAR na região de Santarém-PA.

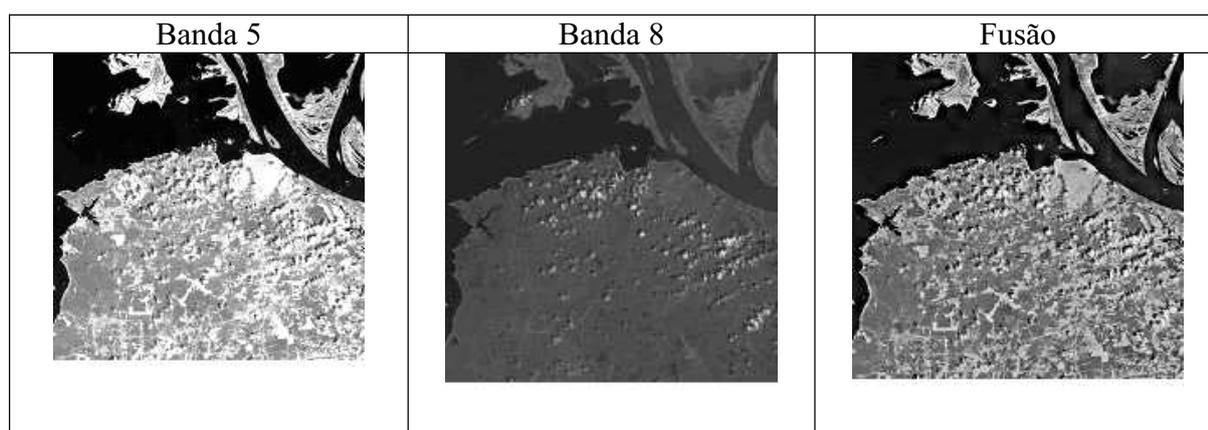
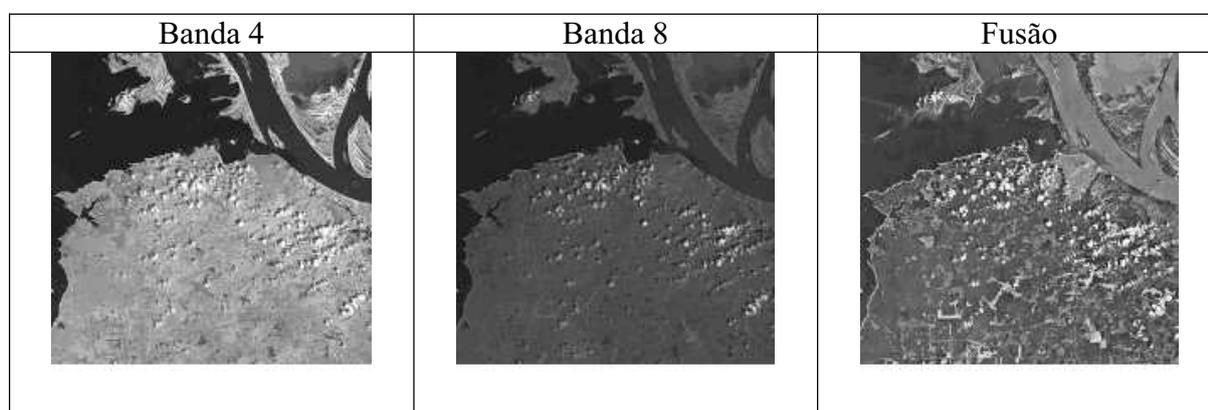
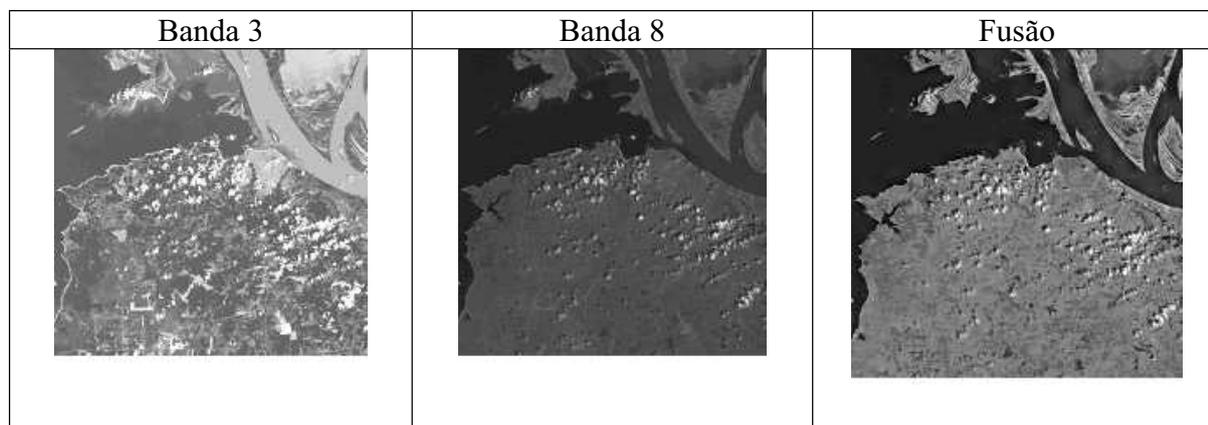


Figura 12. Resultado da fusão DWT (*Discrete Wavelet Transform*) das imagens Landsat na região de Santarém-PA.

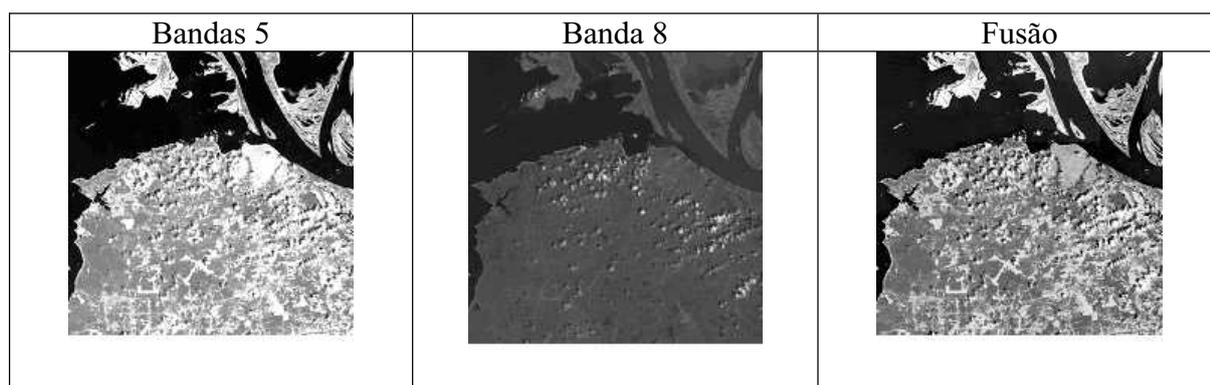
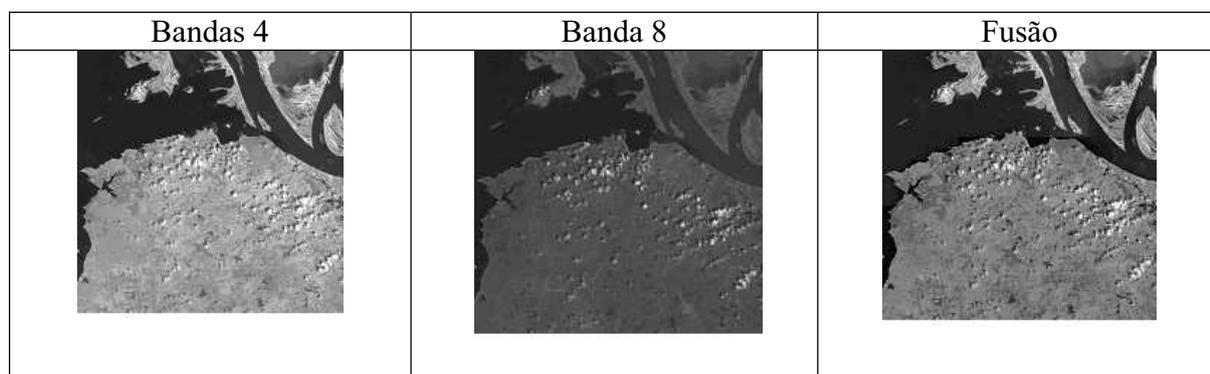
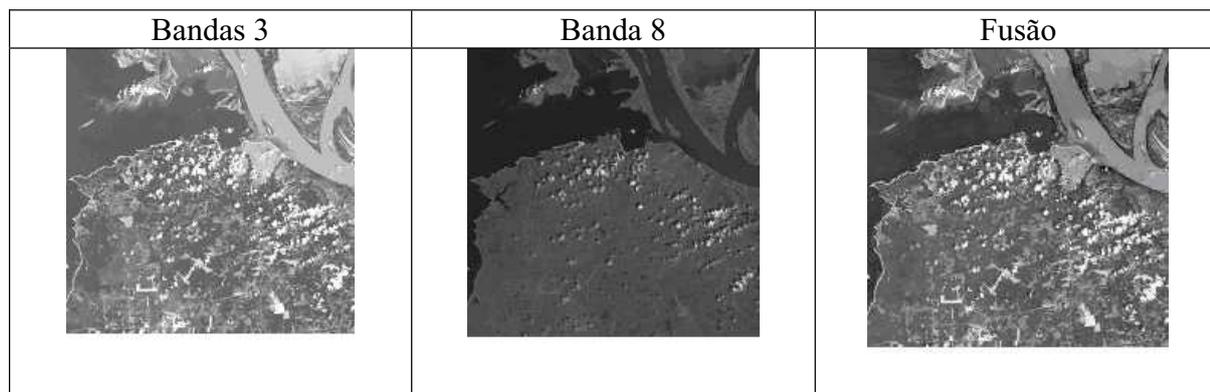


Figura 13. Resultado da fusão pirâmides morfológicas das imagens Landsat na região de Santarém-PA.

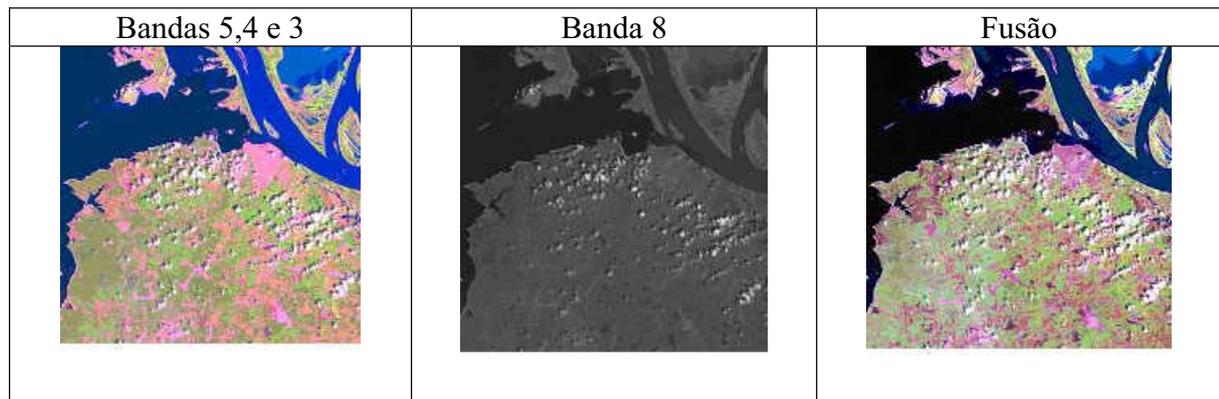


Figura 14. Resultado da fusão IHS das imagens Landsat composição colorida RGB com as banda pancromática na região de Santarém-PA.



**Foto 01 – Área de solo exposto no município de Iranduba – AM
(Pinto, W. H. A. e Teixeira C.V.; 2007)**



**Foto 02 – Área de pastagem no município de Iranduba – AM
(Pinto, W. H. A. e Teixeira C.V.; 2007)**



**Foto 03 – Área de floresta no município de Iranduba – AM
(Pinto, W. H. A. e Teixeira C.V.; 2007)**



**Foto 04 – Área de várzea no município de Iranduba – AM
(Pinto, W. H. A. e Teixeira C.V.; 2007)**



Foto 05 – Área de várzea no município de Santarém – PA (Parise M.; 2005)



Foto 06 – Área de pastagem próxima à área de várzea no município de Santarém – PA (Parise M.; 2005).

Cotas de Inundação dos pontos de coleta da ANA

Tabela 01: Local: Manacapuru – AM – Rio Amazonas

Médias anuais entre 1980 a 2007 (até julho): Média geral: **1404,81 cm**

Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm
1980	1320,92	1990	1297,5	2000	1452,5
1981	1313,58	1991	1217,42	2001	1420,17
1982	1479,42	1992	922,08	2003	1551,2
1983	1276	1993	1555,33	2004	1417,55
1984	1466,67	1994	1618,25	2005	1331,58
1985	1371,42	1995	1274	2006	1428,67
1986	1505,42	1996	1474,92	2007	1621,43
1987	1467,75	1997	1361,5		
1988	1405,08	1998	1310,92		
1989	1576,17	1999	1492,42		

Tabela 02: Local: Jatuarana / Manaus – AM – Rio Amazonas

Médias anuais entre 1979 a 2007 (até junho): Média geral: **1287,49 cm**

Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm
1979	1261,83	1990	1018	2000	1337,92
1980	1126,83	1991	1302,33	2001	1292,42
1981	1200,5	1992	1092,08	2002	1466,2
1982	1365	1993	1422,58	2003	1319,42
1983	1158	1994	1464	2004	1260,83
1984	1356,75	1995	1251,17	2005	1200,17
1985	1268,25	1996	1346,08	2006	1345,33
1986	1391,75	1997	1231,75	2007	1440
1987	1300,25	1998	1171,83		
1988	1283,67	1999	1375		

Obs: Ano de 1989 excluído devido à falta de coletas por seis meses.

Tabela 03: Local: Santarém – PA – Rio Tapajós

Médias anuais entre 1975 a 2006. Média geral: **395,40 cm**

Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm
1975	441,83	1987	349,25	2000	501,42
1976	409,5	1988	353,42	2001	472,83
1977	382,33	1989	469,33	2002	485,75
1978	397	1990	370,67	2003	467,08
1979	352,75	1991	449,56	2004	450,17
1980	274,25	1993	362,27	2005	423,75
1981	300,67	1995	267	2006	500,5
1982	391,92	1996	397,75		
1983	267,75	1997	348,5		
1984	376,83	1998	306,83		
1985	373,67	1999	503,67		
1986	414				

Obs: Ano de 1992 e 1994 excluído devido à falta de coletas por alguns meses.

Tabela 04: Local: Oriximiná – PA – Rio Trombetas

Médias anuais entre 1971 a 2007 (até novembro). Média geral: **494,63 cm**

Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm
1971	470,67	1991	489,83	2000	550,67
1972	454,08	1992	344,17	2001	509,67
1973	462,83	1993	544,17	2002	527,17
1974	511	1994	608,67	2003	497,33
		1995	455,63	2004	477,17
		1996	543,33	2005	449,08
		1997	469,33	2006	540,33
		1998	398,64	2007	530,36
		1999	553,17		

Obs: Ano de 1980 e 1990 excluído devido à falta de coletas.

Tabela 05: Local: Parintins – AM – Rio Amazonas

Médias anuais entre 1978 a 2007 (até agosto). Média geral: **529,38 cm**

Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm
1978	555,17	1990	480,33	2000	543,75
1979	589,08	1991	495,83	2001	508,5
1980	474,64	1993	562,33	2002	666,25
1981	525,75	1994	615	2003	503,5
1982	647,75	1995	430,92	2004	472,08
1983	380,67	1996	538,67	2005	428,75
1986	575,08	1997	459,67	2006	525,75
1987	510,45	1998	395,42	2007	643,88
1988	481,92	1999	550,75		
1989	731,38				

Obs: Anos de 1984, 1985 e 1992 excluídos devido à falta de coletas por seis meses.

Tabela 06: Local: Óbidos – PA – Rio Amazonas

Médias anuais entre 1980 a 2007. Média geral: **461,06 cm**

Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm	Ano	Cota em cm
1980	367,25	1990	453,83	2000	506,5
1981	400,42	1991	465,42	2001	474,75
1982	505,33	1992	338,83	2002	494,08
1983	361,5	1993	508,92	2003	469,33
1984	486,92	1994	560,42	2004	448,92
1985	460,92	1995	398,25	2005	415,42
1986	527,67	1996	499,33	2006	491,58
1987	451,25	1997	438,42	2007	477,25
1988	453,33	1998	379,00		
1989	566	1999	509,00		