



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-6746-RPQ/681

**MOSAICO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT-TM DA PLANÍCIE  
DO RIO SOLIMÕES-AMAZONAS NO BRASIL**

Yosio Edmir Shimabukuro  
Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo  
Leal A.K.Mertes\*

\*Universidade da Califórnia em Santa Barbara (UCSB)

INPE  
São José dos Campos  
1998

**Publicado por:**

**Coordenação de Ensino, Documentação e  
Programas Especiais - CEP**

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**

**Caixa Postal 515**

**12201-970 - São José dos Campos - SP - Brasil**

**Fone: (012) 345.6911**

**Fax: (012) 345.6919**

**E-Mail: [marciana@sid.inpe.br](mailto:marciana@sid.inpe.br)**

- Solicita-se intercâmbio
- We ask for exchange
- Si sollecita intercambio
- On demande l'échange
- Mann bittet un Austausch
- Pidesse canje
- Просим обмена
- 歡迎寄件交換
- 出版物交換のお願い

**Publicação Externa - É permitida sua reprodução para interessados.**

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**INPE-6746-RPQ/681**

**MOSAICO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT-TM DA PLANÍCIE  
DO RIO SOLIMÕES-AMAZONAS NO BRASIL**

Yosio Edmir Shimabukuro  
Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo  
Leal A.K.Mertes\*

\*Universidade da Califórnia em Santa Barbara (UCSB)

INPE  
São José dos Campos  
1998

## **AGRADECIMENTOS**

Aos técnicos Fernanda Leite e João B. P. Cabral pela participação na fase da correção geométrica das imagens.

Ao técnico Alex A. C. Pereira e ao MSc. José Luis Rodriguez Yi pela participação nas fases de correção geométrica e retificação radiométrica das imagens, e confecção do mosaico.

Aos Drs. Thelma Krug, Thomas Dunne, Reynaldo Victória e Jeffrey Richey pelo apoio, incentivo e suporte financeiro ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos Drs. Bernardo F. T. Rudorff e João Viane Soares pelas sugestões apresentadas na redação deste trabalho.

## **RESUMO**

Este relatório descreve a metodologia utilizada para a confecção do Mosaico Digital da Planície do rio Amazonas (MDPA) a partir de imagens Landsat TM. A confecção desse mosaico foi planejada em julho de 1995 como uma atividade do Projeto EOS-IDS que está sendo desenvolvido dentro da cooperação entre o INPE, o CENA, a Universidade de Washington em Seattle (UW), a Universidade da Califórnia em Santa Barbara (UCSB) e a NASA. O MDPA é composto por 29 imagens Landsat TM que foram selecionadas com o mínimo de cobertura de nuvens possível e dentro do período de cheia do rio Amazonas. Essas imagens foram geometricamente corrigidas utilizando pontos de controle extraídos de cartas topográficas e carta-imagens na escala de 1:250.000. Além disso, essas imagens foram radiometricamente retificadas em relação à imagem 231/062 (região de Manaus) utilizando o método desenvolvido por Hall et al. (1991). A retificação radiométrica produz resultados diferentes para as bandas do TM devido à influência atmosférica e características das cenas utilizadas. O MDPA foi então confeccionado com as melhores bandas (retificadas ou não) das imagens com uma resolução final de 100 m x 100 m.

# **DIGITAL MOSAIC OF LANDSAT-TM IMAGES FROM THE SOLIMÕES-AMAZON RIVER FLOODPLAIN IN BRAZIL**

## **ABSTRACT**

This report describes the methodology utilized to build the Digital Mosaic of the Amazon River Floodplain (MDPA) using Landsat TM images. This mosaic was planned in July 1995 as an activity of the EOS-IDS Project that has been developed inside the cooperation among INPE, CENA, University of Washington in Seattle (UW), University of California in Santa Barbara (UCSB), and NASA. The MDPA is composed by 29 Landsat TM images that were selected with minimum cloud cover and within the high water season of Amazon river. These images were geometrically corrected using ground control points extracted from topographic charts and image charts in the 1:250,000 scale. In addition, these images were radiometrically rectified to 231/062 (Manaus region) TM image using the method developed by Hall et al. (1991). The radiometric rectification produce different results for TM bands due to atmospheric effects and scene characteristics. The MDPA was then built using the best bands (rectified or non-rectified) of the TM images with a 100 m by 100 m spatial resolution.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vii
1. Introdução .....	1
2. Região de Estudo .....	5
3. Fundamentação Teórica .....	12
4. Metodologia .....	18
5. Resultados e Discussão .....	24
6. Considerações Finais .....	31
7. Referências Bibliográficas .....	33
Apêndice A.....	36
Apêndice B.....	38
Apêndice C.....	40
Apêndice D.....	43
Apêndice E.....	44

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Nebulosidade média mensal (em décimos de céu encoberto) ao longo do rio Amazonas em diferentes longitudes (adaptada de Salati e Marques, 1984). .....	3
2 - Variação média mensal do nível do rio Amazonas “versus” número de imagens utilizadas na construção do mosaico digital. ....	4
3 – Região de estudo com a localização aproximada das cenas Landsat-TM utilizadas na construção do mosaico.....	5
4 - Mapa geológico simplificado da região Amazônica (adaptado de Cunha e Appi,1990). .....	7
5 – Gradiente da superfície da água durante o período de vazante baseado em dados do Seasat (Fonte: Mertes et al., 1996) .....	8
6 – Perfil esquemático com a distribuição da cobertura vegetal na planície de inundação de um rio de água branca (adaptado de Sioli, 1951). .....	12
7 – Processo de conversão cartográfica. ....	13
8 – Processo de reamostragem (Adaptado de Mather, 1987). ....	15
9 – Fluxograma da construção do mosaico digital da planície do rio Amazonas. ....	18
10 – Diagrama de dispersão das imagens <b>greenness</b> e <b>brightness</b> de Referência e Original. ....	21
11 – Diagrama de dispersão das Imagens <b>greenness</b> e <b>brightness</b> da imagem de Referência (vermelho) e da imagem Retificada (amarelo)....	22
12 – Diagrama de dispersão das bandas retificadas (vermelho - imagem de referência, magenta - imagem retificada, verde - imagem de referência, amarelo - imagem retificada, azul escuro - imagem de referência, ciano - imagem retificada). ....	23



13 – Composição colorida das bandas TM1 (vermelho), TM2 (verde) e TM3 (azul) dos dados originais e dos dados retificados.....	26
14 - Composição colorida das bandas TM3 (vermelho), TM4 (verde) e TM5 (azul) dos dados originais e dos dados retificados.....	27
15 – Composição colorida das bandas TM4 (vermelho), TM5 (verde) e TM7 (azul) dos dados originais e dos dados retificados.....	28
16 - Mosaico das imagens retificadas em composição colorida das bandas TM3 (azul), TM4 (verde) e TM5 (vermelho). ....	30

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 – Dados utilizados na confecção do mosaico digital da planície de inundação do rio Amazonas .....	2
2 – Classificação das projeções e suas propriedades (simplificada de Maling, 1993) .....	14
3 – Níveis digitais de amostras de floresta .....	23
4 – Desempenho médio do modelo de correção geométrica em cada uma das cenas que compõem o mosaico.....	25
5 – Desempenho da retificação radiométrica .....	29
6 – Conjunto de dados retificados .....	31

## 1. Introdução

Este relatório tem como objetivo descrever a metodologia utilizada para a confecção de um Mosaico Digital da Planície do Rio Amazonas (MDPA) a partir de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat-5.

O projeto de construção do mosaico digital da planície de inundação do rio Amazonas teve seu início em julho de 1995 a partir de um acordo de cooperação, no âmbito do projeto EOS / IDS (Earth Observing System / Interdisciplinary Investigations), envolvendo, do lado brasileiro, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Centro de Energia Nuclear para Agricultura (CENA), e do lado americano a Universidade de Washington em Seattle (UW), a Universidade da Califórnia em Santa Barbara (UCSB) e a Agência Espacial Americana (National Aeronautics and Space Administration - NASA).

Naquela ocasião, a partir da inspeção das imagens Landsat em composição colorida (TM5 vermelho, TM4 verde, TM3 azul) na escala 1:250.000 disponíveis no arquivo de imagens analógicas do Setor de Atendimento aos Usuários (ATUS) do INPE, foi realizada uma pré-seleção das cenas que comporiam o mosaico. Naquela ocasião também foram feitas as primeiras discussões metodológicas sobre a abordagem a ser utilizada na construção do mosaico.

A confecção de um mosaico pode ser uma tarefa tanto trivial quanto complexa em função da aplicação para o qual este se destina. A construção do MDPA foi motivada pela necessidade de se quantificar a área ocupada por seus diferentes ambientes tais como: lagos, floresta de várzea e igapó e rios com diferentes tipos de água (Sioli, 1984). Esta informação é necessária para modelos biogeoquímicos e hidrológicos que buscam compreender como as alterações ambientais da região Amazônica poderão afetar processos globais do planeta.

Para quantificar a área ocupada pelos diferentes ambientes, o MDPA precisa estar geométrica e radiometricamente corrigido. A correção geométrica remove distorções geométricas inerentes ao processo de formação das imagens (Mather, 1987), e coloca as imagens num sistema global de posicionamento que permite incorporar o mosaico em sistemas de informações geográficas.

A correção geométrica das imagens (Tabela 1) que comporiam o mosaico foi uma tarefa complexa devido aos seguintes fatores:

- 1) reduzido número de alvos fixos (cruzamentos de estradas, campos com limites bem definidos, pistas de pouso, cidades, etc.);
- 2) pequeno número de pontos de controle;
- 3) qualidade dos dados cartográficos disponíveis na região (cartas topográficas na escala 1:250.000 e carta-imagens na escala 1:250.000);
- 4) não correspondência entre a região recoberta pelas cartas topográficas e as imagens, sendo que muitas vezes uma mesma cena corresponde a quatro ou cinco cartas distintas;

- 5) dificuldades cartográficas inerentes à adoção de um sistema de projeção ou de georreferenciamento para um mosaico cobrindo uma área tão extensa (2.750 km no eixo da longitude e 825 km no eixo da latitude).

Os problemas anteriormente mencionados serão adequadamente discutidos oportunamente.

**TABELA 1 - DADOS UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DO MOSAICO DIGITAL DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO RIO AMAZONAS**

IMAGEM	DATA	MIR 1:250.000	Nº DE PONTOS DE CONTROLE	ÂNGULO AZIMUTAL	ÂNGULO ZENITAL
001-61	24-08-95	56,57,73,74,91,92	51	119	43
001-62	02-10-92	91, 92, 112, 113	52	92	34
002-61	21-05-95	55,56,72,73,90,91	52	98	33
002-62	07 10 91	91, 92, 110, 111	50	95	33
003-62	11-08-91	89, 90, 109, 110	54	63	42
003-63	02-08-88	109, 110, 133, 134	43	52	46
004-62	04-08-86	88, 89	25	70	38
004-63	13-09-89	109, 132, 133	50	76	36
223-61	24-06-87	67, 68, 84, 85	54	53	43
224-60	14-08-88	51, 52, 66, 67	35	63	42
224-61	19-09-95	66, 67, 83, 84, 101, 102	52	51	41
225-60	02-07-87	50, 51 65, 66	49	54	43
225-61	15-07-86	65, 66, 82, 83, 100, 101	64	56	44
226-60	11-07-88	49,50,64,65	55	54	42
226-61	04-08-85	64, 65, 81, 82, 99, 100	56	57	43
226-62	20-07-91	99,100,120,121	50	56	44
227-61	22-08-89	63, 64, 80, 81, 98, 99	43	59	38
227-62	03-08-88	98, 99, 119, 120	46	59	41
228-61	06-09-92	62, 63, 79, 80, 97, 98	46	78	37
228-62	18-06-92	97, 98, 118, 119	38	52	45
229-61	21-09-89	61,62,78,79,96,97	51	-	35
229-62	10-08-91	96, 97, 117,118	35	62	42
230-62	02-07-92	95, 96, 116, 117	36	72	45
231-62	02-08-89	94, 95, 115, 116	42	59	42
231-63	25-07-92	115, 138, 139, 164	56	56	46
232-62	28-08-92	114, 137, 138	50	71	40
232-63	01-08-92	114, 137, 138, 163	46	58	44
233-61	24-06-87	57, 74, 75, 83, 93	52	52	44
233-62	24-08-92	92, 93, 113	58	69	40
233-63	25-09-92	113, 136, 137	46	86	35

A correção radiométrica das imagens é necessária visto que a identificação e classificação dos diferentes habitats da planície de inundação é baseada em sua adequada caracterização espectral. A conversão dos valores digitais das imagens em grandezas radiométricas absolutas também é uma tarefa complexa e nem sempre possível visto que para isto os dados originais devem ser calibrados e submetidos à correção dos efeitos atmosféricos (Chen, 1996).

No caso específico da região de estudo a complexidade de se proceder a correção radiométrica é ainda maior devido aos seguintes fatores:

- 1) O mosaico cobre uma ampla região (de 46° W a 72° W) fazendo com que as imagens sejam naturalmente submetidas a distintas massas

atmosféricas e a diferenças de insolação em decorrência da variação longitudinal da nebulosidade como pode ser observado na Figura 1.

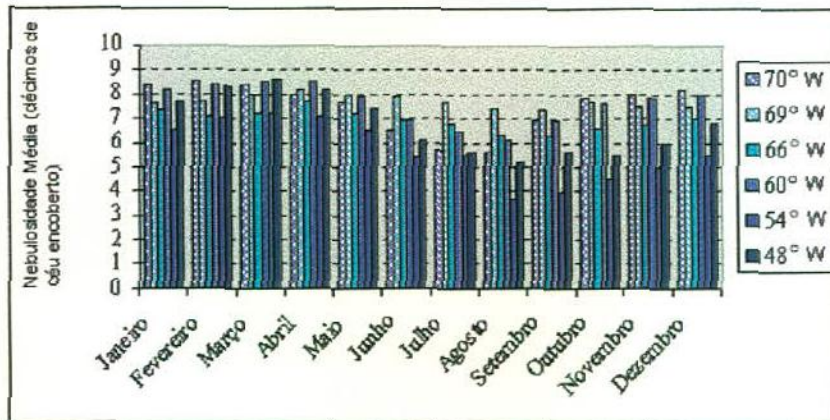


Fig. 1 – Nebulosidade média mensal (em décimos de céu encoberto) ao longo do rio Amazonas em diferentes longitudes.

FONTE: Adaptada de Salati e Marques (1984).

A análise da Figura 1 permite verificar que a região de estudo encontra-se continuamente sujeita à elevada nebulosidade e que esta nebulosidade não é constante ao longo do eixo da longitude. Portanto, a aplicação de modelos de correção atmosférica que utilizam tipos padrão de atmosfera seriam totalmente inviáveis.

- 2) O mosaico é composto por 29 cenas do sensor Thematic Mapper adquiridas em diferentes anos e diferentes meses do ano, portanto, sujeitas às diferentes fontes de variabilidade no sinal detectado, incluindo:
  - a) variações na calibração do sensor devido ao desgaste natural do equipamento (Chen, 1996) durante o período de aquisição (que variou de 1985 a 1995) como pode ser observado na Tabela 1.
  - b) Variações nos meses de aquisição implicando também em uma maior variabilidade do próprio ambiente estudado (Figura 2). A análise da Figura 2 permite observar que embora a maioria das imagens tenham sido adquiridas nos meses de julho e agosto, que correspondem ao período de máximo nível da água, existem diferenças neste nível ano a ano. De fato, entre os meses secos e chuvosos a diferença de nível máximo da água pode chegar até 10 m no alto curso e 2 metros no baixo curso do rio Amazonas.



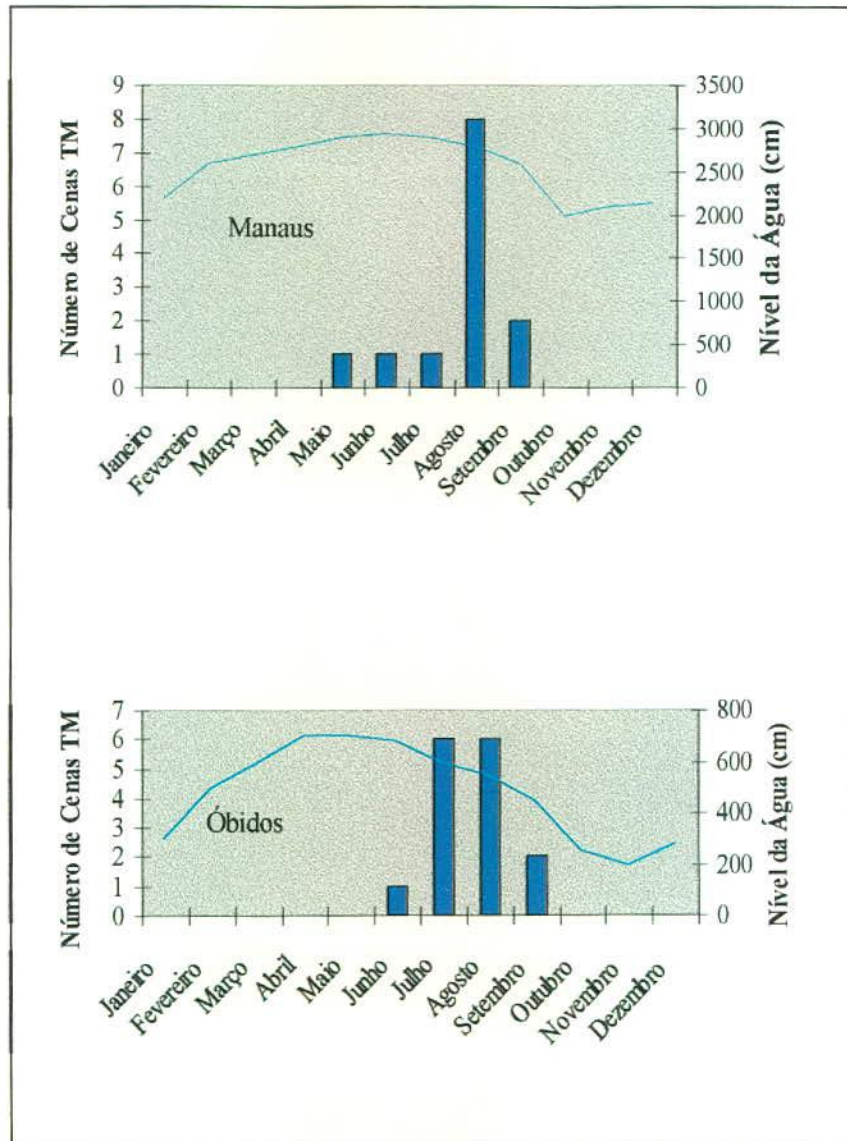


Fig. 2 - Variação média mensal do nível do rio Amazonas "versus" número de imagens utilizadas na construção do mosaico digital.

- 3) O mosaico é composto pelas seis bandas do sensor TM do espectro de energia refletida. Estas bandas estão sujeitas a diferentes graus de influência da camada atmosférica. As bandas do espectro visível, por exemplo, são muito mais suscetíveis às pequenas variações na composição da atmosfera em termos de partículas e aerossóis, enquanto as bandas do infravermelho são mais sensíveis às variações no teor de umidade da atmosfera. Dados publicados por Salati e Marques (1984) indicam que os valores médios de água precipitável em Manaus e Belém são extremamente altos mas variáveis. A média anual de Belém, determinada para um período de 4 anos, foi de 41,9 mm com uma amplitude anual de 11 mm. Para Manaus, esta média anual é de 44,8 mm, porém, com uma amplitude de 8,5 mm.

O período compreendido entre julho de 1995 e julho de 1996, enquanto se aguardava a produção das cenas Landsat pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE, foi dedicado à experimentação e ao teste de abordagens para a construção do mosaico. No tocante à correção geométrica, ficou estabelecido que os dados seriam geocodificados utilizando-se como sistema de referência as coordenadas geográficas, uma vez que isto poderia facilitar a conversão de partes do mosaico para outros sistemas de referência como, por exemplo, a projeção Universal Transversa de Mercator, e que a DSR do INPE seria responsável pela tarefa de construir o mosaico.

Com relação à correção radiométrica duas abordagens seriam testadas: uma proposta por Hall et al. (1991) baseada na seleção de alvos de referência claros e escuros a partir da geração de imagens "greenness" e "brightness", e outra baseada em Mertes et al. (1993, 1995), em que a retificação seria baseada na seleção de "endmembers" obtidos em campo. Os resultados destes estudos levaram à adoção do método de Hall et al. (1991) para a retificação radiométrica das imagens, e encontram-se disponíveis em Mertes et al. (1995) e Novo e Shimabukuro (1997).

Este relatório, portanto, limitar-se-á a apresentar a metodologia utilizada para a confecção do mosaico digital geométrica e radiometricamente retificado.

## 2. Região de Estudo

A região de estudo pode ser observada na Figura 3. Ela compreende toda a faixa de planície do Rio Solimões/Amazonas, entre Tabatinga no extremo oeste do Brasil, junto a divisa com a Bolívia, e a foz do rio Amazonas a leste.

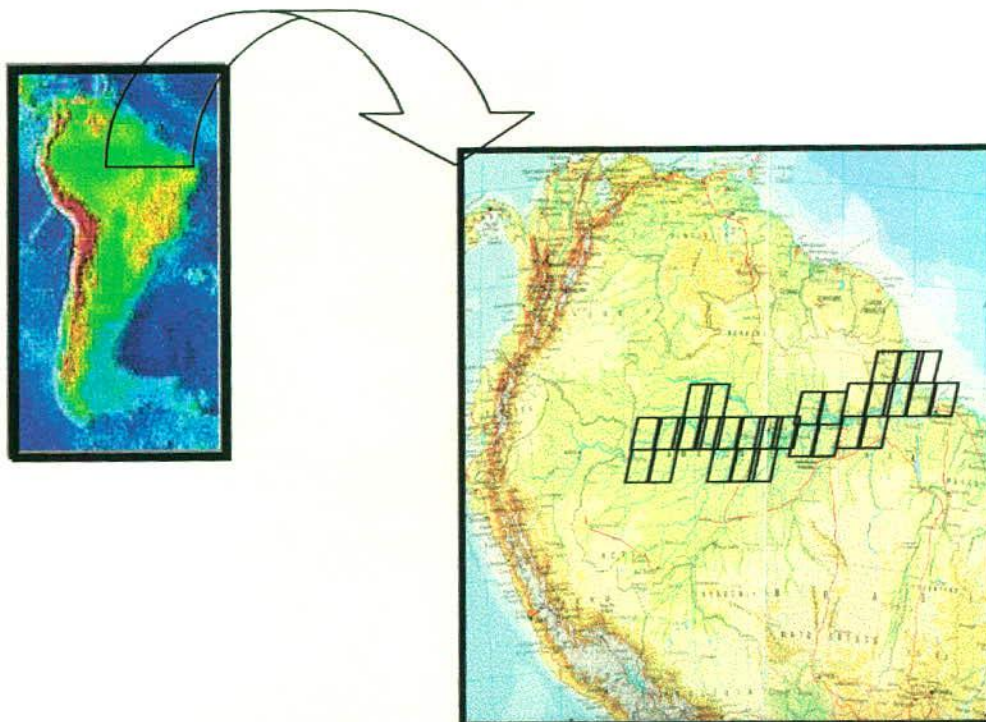


Fig. 3 – Região de estudo com a localização aproximada das cenas Landsat-TM utilizadas na construção do mosaico.



Ao rio Amazonas, também conhecido em seu alto curso como Solimões e Marañón, tem sido atribuídas extensões que variam entre 6.518 km (Sioli, 1984) e 5.825 km (Cunha e Appi, 1990; Goulding et al., 1996). Dados compilados por Martini e Garcia (1996) indicam que ao se adotar o rio Ucayali como a nascente do Amazonas esta extensão pode variar entre 6.448 km e 7.025 km. Esta variabilidade nas medidas é fruto da falta de conhecimento preciso sobre esta gigantesca bacia fluvial, o que gera controvérsias em termos da própria definição de seus limites geográficos. Para Gibbs (1967), a bacia hidrográfica do rio Amazonas drena uma área de 6,3 milhões de km<sup>2</sup> visto que exclui a bacia do Rio Tocantins. Para Sioli (1984), a bacia de captação do rio Amazonas se estende desde o rio Chamaya, no Peru (79° W) ao rio Palma, em Goiás (46° W), e desde 5° N (Rio Cotingo, em Roraima, Brasil) até 17° S (Alto Araguaia, no Mato Grosso), incluindo portanto, toda a bacia do Rio Tocantins, e drena uma área de 7,05 milhões de km<sup>2</sup>, sendo a maior bacia de drenagem do planeta Terra.

Sob o ponto de vista geológico, o desenvolvimento da bacia Amazônica abrange um período superior a dois bilhões de anos. Representa uma ampla depressão encaixada entre o Cinturão de Dobramentos Andino a Oeste, o Escudo das Guianas ao Norte, e o Escudo do Brasil Central ao Sul e assentada sobre um substrato cristalino de idade Pré-cambriana.

O vale Amazônico em sua forma atual é bastante recente sendo o resultado do fechamento da drenagem do alto Amazonas para o Pacífico como resultado do soerguimento dos Andes equatorianos. Nesta bacia podem ser reconhecidos dois períodos de atividade tectônica (Bigarella e Ferreira, 1984) um tectonismo de idade Siluriana-Devoniana caracterizado por subsidência geral seguida de transgressão marinha vinda de duas direções opostas; e um tectonismo de idade Carbonífera caracterizado por movimentos epirogenéticos de padrão semelhante aos do período anterior. A extensa bacia amazônica não é geologicamente uniforme e foi formada a partir da coalescência de inúmeras bacias depositadas durante o Cenozóico. Em função da história geológica da bacia, ela pode ser dividida em três seções com características estratigráficas e sedimentológicas distintas (Putzer, 1984). A alta bacia amazônica, localizada a oeste do arco do Purus até a região andina da Colômbia, Equador e Peru; a média bacia, entre os arcos de Purus e Gurupá, ou seja, entre Manaus e a desembocadura do rio Xingu; e o baixo Amazonas, a leste do Arco de Gurupá, compreendendo todo o estuário do Amazonas, a desembocadura do rio Tocantins, as terras baixas do Amapá e a ilha de Marajó. A Figura 4 permite observar a distribuição espacial das principais feições geológicas da área de estudo.

Com o soerguimento da cordilheira dos Andes durante o Plio-Pleistoceno e a interrupção do escoamento para Oeste, houve a formação de grandes lagos, os quais foram paulatinamente assoreados e cujo excesso hídrico deu origem a uma drenagem escoando para leste, precursora da atual bacia hidrográfica do rio Amazonas. Neste período, existem evidências de que na região alternaram-se climas os mais variados indo de condições de extrema aridez até condições úmidas semelhantes às atuais. Nos períodos glaciais dominaram climas secos coincidentes com as regressões marinhas, o que levou ao aprofundamento dos vales. Nos períodos interglaciais predominaram climas mais úmidos, coincidentes com as transgressões marinhas, que deram origem a grandes depósitos sedimentares em decorrência da perda de



competência dos rios. Assim sendo, a sedimentação holocênica é responsável pelo assoreamento das desembocaduras dos grandes afluentes do Rio Amazonas, e pela formação de suas amplas planícies de inundação (Cunha e Appi, 1990).

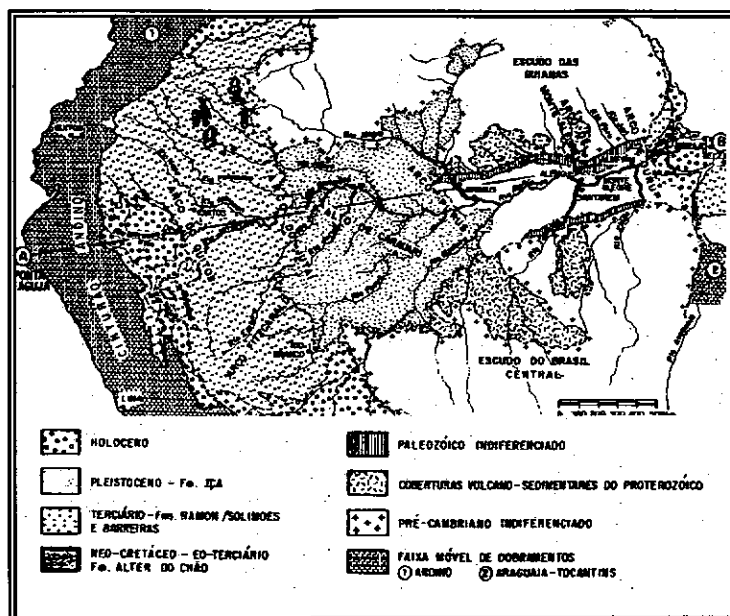


Fig. 4 – Mapa Geológico Simplificado da Região Amazônica.  
FONTE: Adaptada de Cunha e Appi (1990).

Este vasto e complexo substrato geológico esteve submetido à ação de inúmeros processos morfogenéticos desde sua formação resultando no atual quadro geomorfológico, o qual pode ser classificado em 4 grandes unidades segundo Ab'Sáber (1967): terrenos aluviais, tabuleiros terciários, colinas paleozóicas, pediplanos cristalinos.

A localização geográfica da bacia Amazônica (Figura 3) responde em grande parte por suas características climáticas atuais. A radiação solar medida no limite superior da atmosfera varia entre  $875 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em janeiro a  $730 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  em julho (Salati e Marques, 1984). Parte desta energia é absorvida e ou refletida em sua trajetória até à superfície terrestre, em decorrência da elevada umidade e nebulosidade local. Parte da energia que atinge a superfície é transformada em calor e parte é utilizada no processo de evaporação, o que dá a região amazônica características isotérmicas, com temperaturas mensais variando entre  $24^{\circ}$  e  $28^{\circ}$  C. As elevadas temperaturas e a elevada umidade são responsáveis pelos altos índices pluviométricos da região (2.300 mm por ano, em média). Esta precipitação não se encontra uniformemente distribuída ao longo do ano, criando regiões pluviométricas distintas: a) região ao norte do Equador, limitada a oeste pelo meridiano de  $60^{\circ}$  W é caracterizada por precipitações anuais entre 2.200 e 2.800 mm e amplitudes de 150 mm entre as precipitações de janeiro e julho; b) uma região localizada ao sul do Equador e limitada a oeste pelo meridiano de  $65^{\circ}$  W é caracterizada por precipitações anuais em torno de 2.200 mm, e precipitações mínimas em junho e julho (entre 50 e 100 mm nestes meses); c) uma região similar porém mais úmida (precipitações anuais em torno de 2.400 mm e precipitações em julho ligeiramente mais elevadas, localizada a oeste de  $65^{\circ}$  W; d) uma região ao norte do Equador, e a oeste de  $60^{\circ}$  W

caracterizada por precipitações máximas em janeiro e julho atingindo 350 mm mensais, sem período seco e com total anual superior a 3.200 mm.

Esta elevada precipitação é responsável pelo enorme volume d'água escoado pelo rio Amazonas, que o faz responder por cerca de 20% de toda água continental transferida para os oceanos por escoamento superficial. A variabilidade espacial e temporal da precipitação na bacia é também responsável pela amplitude anual da vazão do rio Amazonas. As diferenças entre os níveis mínimos e máximos da água podem alcançar cerca de 12 m próximo à confluência do rio Juruá, decrescendo para 10 m na confluência com o rio Negro, 6 metros na confluência com o Rio Tapajós, 4 metros na confluência com o rio Xingu. Da região costeira até a cidade de Óbidos, além das oscilações de nível decorrentes do regime hidrológico ocorrem também oscilações decorrentes dos efeitos de maré (Sioli, 1984).

Uma das feições marcantes do rio Amazonas é o seu perfil longitudinal (Figura 5), caracterizado por um forte gradiente entre Nevada laupá e Porto Manseriche no sopé andino (superior a  $45^\circ$ ) e pelo gradiente baixo em quase todo o seu curso atingindo valores próximos a  $1 \text{ cm.km}^{-1}$ . Este perfil pode ser caracterizado pelo gradiente da superfície da água determinado a partir de dados de um radar altímetro operando a bordo do satélite Seasat. Apesar desse gradiente extremamente baixo, a velocidade de escoamento do rio Amazonas é extremamente elevada (cerca de  $2 \text{ m.s}^{-1}$  durante o período de inundação) em decorrência do imenso volume de água e da elevada seção transversal de escoamento. De fato, o canal fluvial do Amazonas apresenta larguras médias que vão de 2 km a 5,9 km e profundidades que chegam a atingir cerca de 100 metros (Sioli, 1984).

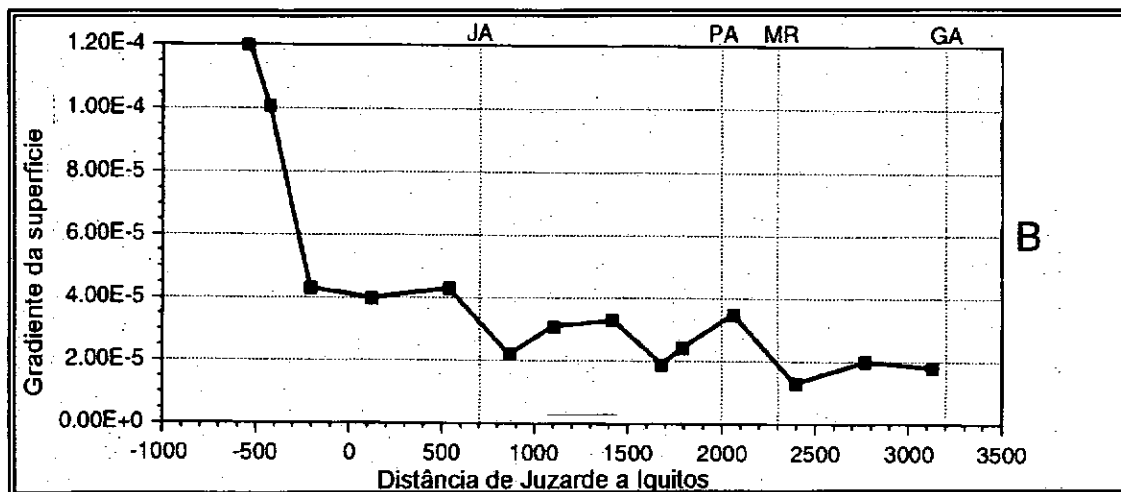


Fig. 5 – Gradiente da superfície da água durante o período de vazante baseada em dados do Seasat.

FONTE: Mertes et al. (1996).

Devido à elevada velocidade de escoamento, à natureza de suas rochas e aos processos morfogenéticos dominantes, o rio Amazonas transporta um volume considerável de material. Um dos estudos mais completos sobre a produção e transporte de sedimentos pelos rios da bacia Amazônica foi realizado por Dunne et al.,

(no prelo) que durante os anos de 1982 a 1984 realizaram amostragens ao longo do rio Amazonas e em oito de seus principais tributários. A análise desses dados revelou: a) durante o período chuvoso há uma diminuição na concentração de sedimentos em direção jusante, até a confluência com o rio Madeira, devido à progressiva diluição do fluxo andino em decorrência da contribuição de tributários que drenam as terras baixas brasileiras e que apresentam menor carga de sedimentos; b) no período seco a tendência de diminuição da concentração de sedimentos não é afetada pela confluência com o rio Madeira; c) a amplitude de concentrações entre o rio Iça e Óbidos no período chuvoso é de 350 mg/l, sendo os maiores valores acima de 600 mg/l e os menores em torno de 300 mg/l; d) esta amplitude cai para 200 mg/l no período seco, quando as concentrações variam entre 300 mg/l e 100 mg/l.

Meade (1985) investigou a variação sazonal da concentração de sedimentos. Segundo suas observações, os máximos e mínimos de concentração de sedimentos encontram-se defasados em relação aos níveis máximos e mínimos do nível da água. Próximo a Manaus, as máximas concentrações são observadas em dezembro e janeiro, próximo ao início do período de aumento do nível da água, ou seja quase 6 meses antes do seu máximo. Em decorrência da defasagem entre os máximos de concentração de sólidos em suspensão e de descarga líquida, a relação entre a vazão líquida e sólida é complexa descrevendo círculos no sentido horário. Este mesmo padrão foi observado também em outros rios grandes tais como o Orinoco e o Mississipi. Esta relação é explicada pelo consumo da carga sólida disponível para ressuspensão durante o período de cheia. Muito do material sólido é depositado no fundo do talvegue durante o período de estiagem devido à redução de competência fluvial. À medida em que aumenta o volume d'água este material é rapidamente ressuspenso e transportado até ser totalmente consumido levando a uma redução da concentração, e conseqüentemente da vazão sólida.

Embora o rio Amazonas tenha uma elevada concentração de sedimentos em suspensão, nem todos os seus afluentes apresentam o mesmo comportamento. Em estudo pioneiro, Sioli (1951) classifica as águas amazônicas em três grandes categorias no tocante à carga sólida e dissolvida: rios de água turva, barrenta e amarela são chamados por ele de rios de **água branca**; rios de água limpa, transparente, de cor verde, verde-amarelo, verde-oliva são chamados de rios de **água clara**; os rios de água transparente, de cor verde escuro, marrom, são chamados de rios de **água preta**. O rio Amazonas, segundo a classificação de Sioli (1951) é um rio de água branca. Essas diferenças de cor refletem diferenças na composição química da água e em sua biota como foi demonstrado por Sioli (1984).

Os rios de água branca encontram-se alojados em amplas planícies sujeitas a constante modificações nos cursos d'água. A elevada carga de sedimento em suspensão transportada por eles favorece a formação de amplos depósitos aluviais dando origem às extensas planícies de inundação. Esta planície em constante modificação é recoberta por uma vegetação complexa, adaptada às variações do nível d'água e às variações sutis da topografia local a qual condiciona o tempo durante o qual aquela determinada formação será submetida à inundação. A Figura 6 adaptada de Sioli (1951) mostra uma sequência típica da vegetação na planície demonstrando a estreita relação entre a hidrologia dos rios Amazônicos, sua limnologia e a vegetação.

As áreas inundáveis ao longo dos rios amazônicos recebem nomes distintos em função de seu tipo de água. As planícies de inundação de rios de água branca são conhecidas por **várzeas**. Esses rios carregam um grande volume de material em suspensão o qual é periodicamente depositado nas planícies podendo alcançar camadas de depósitos superiores a 1 metro por ano ( $1 \text{ m a}^{-1}$ ). Mertes (1994) apresentou estimativas de taxas de deposição baseadas em medidas de campo espacializadas em sistemas de informações geográficas. Estas estimativas apontam taxas da ordem de dezenas de centímetros por ano na região próxima a Manacapuru. Essa alta concentração de material dissolvido e em suspensão tornam essas áreas altamente produtivas, tanto em sua fase aquática quanto terrestre. Como resultado disto, historicamente, as várzeas sempre foram áreas mais intensamente ocupadas que a terra firme amazônica. Os sedimentos presentes nos rios de água branca se diferem daqueles dos demais rios tanto em quantidade como em qualidade. Enquanto nos rios de águas claras e pretas dominam materiais arenosos e caulíníticos, nos rios de água branca predominam argilas com maior capacidade de troca como a illita e a montmorilonita (Junk, 1983).

O processo de deposição dos sedimentos na várzea do rio Amazonas dá origem a um intrincado padrão de lagos, os quais podem ser classificados em: lagos de meandros abandonados, lagos de canais abandonados, lagos de diques laterais, lagos em depressões derivadas de sedimentação irregular, e lagos formados por pequenos braços de rios afogados pela sedimentação de suas desembocaduras.

Mertes et al. (1995, 1996) discutiram as variações na geomorfologia, na hidrologia do processo de inundação e na cobertura vegetal ao longo da planície do rio Solimões-Amazonas. Na região montante, a presença de uma topografia caracterizada por restingas fluviais ("scroll-bar topography") tende a canalizar o fluxo de inundação em canais de planície. Associada a esta topografia há uma grande diversidade de formações vegetais. Na região média, a água de inundação chega a planície através de fluxos canalizados e não canalizados, resultando também em grande diversidade de formas de relevo e de tipos de cobertura vegetal. A região a jusante da planície é caracterizada por uma topografia plana com um grande número de lagos rasos e circulares, havendo uma intrínseca associação entre vegetação e formas de relevo.

Associada a esse padrão intrincado de formas encontra-se a vegetação da planície de inundação cujo tipo e distribuição dependem dos seguintes fatores: idade, velocidade de escoamento da água, textura do sedimento, taxa de sedimentação e periodicidade da inundação (Junk, 1983). Na fase seca ou terrestre, quando as águas do rio Amazonas estão baixas, a planície é ocupada por plantas herbáceas terrestres. Estas são rapidamente substituídas por plantas aquáticas flutuantes quando o nível da água começa a subir. Segundo Junk e Howard-Williams (1984), o fundo dos lagos expostos por algumas semanas são colonizados por espécies terrestres pioneiras (Gramineae, Cyperacea, Onagraceae) as quais são destruídas assim que o nível da água aumenta e substituídas por espécies aquáticas perenes e semi-aquáticas dentre as quais se destacam o *Paspalum fasciculatum*, a *Echinochloa polystachya*, a *Montrichardia Arborecens*, a *Eichornia crassipes*, etc. As partes mais elevadas da

planície são colonizadas por árvores tais como a *Salix humboldtiana* e a *Alchornea castaneaeifolia*. Numa fase final de colonização da planície a *Cecropia spp.* e a *Pseudobombas munguba* estabelecem-se permanentemente na planície expulsando as herbáceas.

As áreas inundadas ao longo de rios de **água preta** e de **água clara** são chamadas de Igapó. As áreas de Igapó tem sua origem provavelmente relacionada à inundação de áreas baixas da Terra Firme em decorrência das modificações do nível do mar durante o Pleistoceno. Os solos destas áreas consistem, em geral, de areias, argilas e siltes com horizonte A extremamente orgânico e profundo. A vegetação de Igapó é pouco conhecida (Adis, 1984) e as informações existentes se baseiam em estudos muito localizados na Amazônia Central. Com base neste conhecimento limitado, a vegetação dominante é a Floresta de Igapó que pode ser classificada em função do seu porte e composição florística em **Floresta Baixa de Igapó**, que ocorre ao longo dos rios, e que, portanto, está sujeita a apenas um breve período seco. Por se desenvolver em solos arenosos, com baixa capacidade de troca, a Floresta Baixa de Igapó tem pequena diversidade de espécies, e baixa densidade de cobertura. Dados coletados na região do rio Negro (Adis, 1984) indicam a presença de 19 espécies por ha, e 212 plantas por ha. As árvores em geral são baixas (8 metros em média), embora ocorram espécies de até 70 metros de altura. Em trechos onde há o aumento do teor de argila nos solos, ocorre um aumento na diversidade, densidade e altura média das espécies. Algumas espécies desenvolvem adaptações e durante certos períodos perdem as folhas. A **Floresta Alta de Igapó** ocorre em regiões mais distantes das margens, e mais altas; portanto, menos sujeitas a pequenas variações nos níveis da água. Esta floresta se desenvolve sobre solos mais férteis, apresenta em média 35 metros de altura, e desenvolve-se em 4 estratos distintos: 0 - 3 m, 4 - 7 m, 8 - 11 m, > 12 m. Conforme relatado por Adis (1984), 80 % das árvores apresentam troncos com mais que 30 cm de circunferência. Em algumas áreas foram registradas mais de 1.200 indivíduos de cerca de 48 espécies por ha. Essas florestas permanecem inundadas de 5 a 6 meses por ano, com a água atingindo até 5 metros de altura. Dados sobre produção de liteira indicam que esta é de 4,5 toneladas/ha (peso seco) para a fase submersa e 2,2 toneladas/ha (33 %) para a fase emersa. Outra categoria de Igapó é a Floresta de Igapó das Ilhas. Esta vegetação caracteriza-se por estar constantemente sujeita à flutuação do nível da água. Sua aparência e composição florística é bastante semelhante à da Floresta Baixa de Igapó.

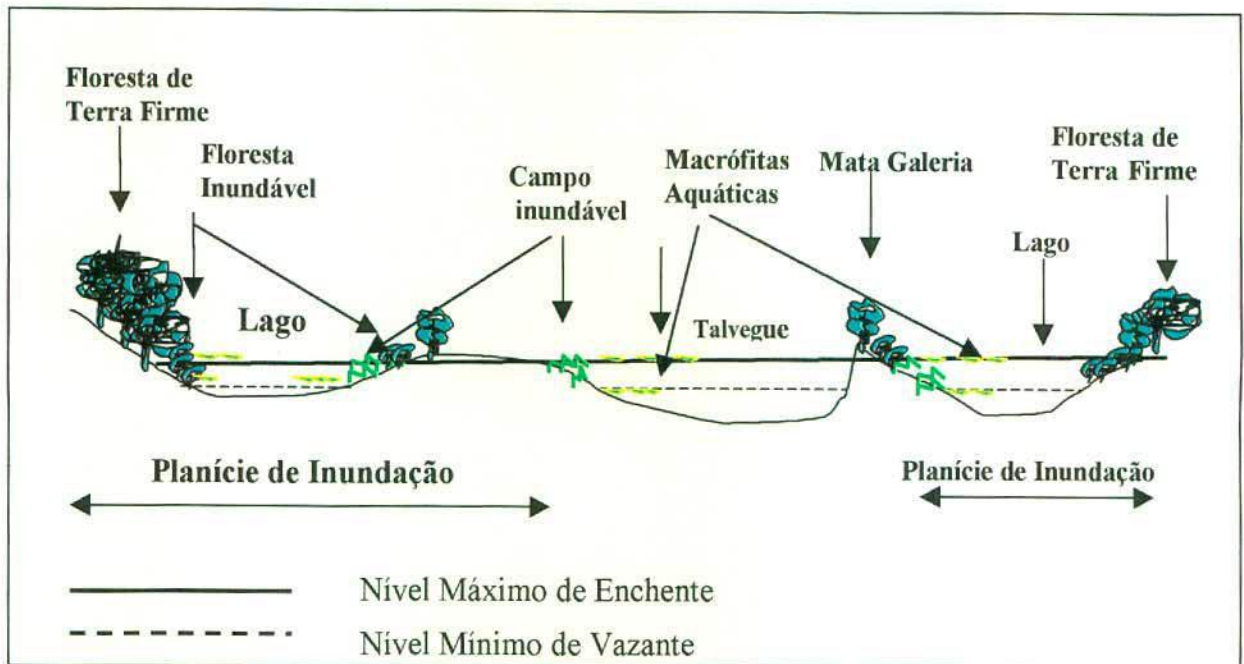


Fig. 6 – Perfil esquemático com a distribuição da cobertura vegetal na planície de inundação de um rio de Água Branca.

FONTE: Adaptada de Sioli (1951).

### 3. Fundamentação Teórica

Os dados digitais brutos armazenados em imagens podem conter várias deficiências decorrentes do processo de aquisição. Entretanto parte destas deficiências, podem ser corrigidas através de técnicas de pré-processamento, as quais podem ser classificadas em três amplas categorias: correção geométrica, correção radiométrica e correção atmosférica.

#### Correção Geométrica

A correção geométrica pode ser entendida como a transformação dos dados de sensoriamento remoto de tal modo que eles adquiram as características de escala e projeção próprias de mapas (Mather, 1987).

A projeção permite representar a curvatura da Terra em uma superfície plana, preservando certas características tais como forma dos objetos, área, distâncias e direções. Cada tipo de projeção preserva um certo grupo de características. Deste modo, a escolha da projeção depende do uso para o qual se destina o mapa. O processo de transferência de informação contida na superfície esférica da Terra para um sistema bidimensional está baseado em três elementos: o geóide que descreve a forma esferoidal da terra; o elipsóide que é a representação do geóide num sistema geométrico de referência; e a projeção que é a transformação das relações geográficas presentes no elipsóide na forma tridimensional para forma bidimensional. A Figura 7 ilustra esse processo.



A localização de uma feição geográfica em relação a outra exige um sistema de referência. Embora historicamente tenha havido muitos sistemas de referência, dois sistemas encontram-se em uso atualmente: o sistema de coordenadas geográficas e o sistema de coordenadas planas retangulares. O sistema mais antigo, é o sistema de coordenadas geográficas baseado em latitudes e longitudes.

Os paralelos de latitude expressam a distância norte ou sul em relação ao Equador, enquanto a longitude expressa a distância leste e oeste em relação ao meridiano de referência localizado em Greenwich, Inglaterra. A latitude e longitude podem ser expressas em graus. Em função do elipsóide adotado um grau de latitude equivale em média a 111 km. Em direção às baixas latitudes esse comprimento varia com o seu coseno e tende a zero nos polos. A longitude para fins práticos pode ser considerada constante (D'Alge, 1997).

O sistema de coordenadas planas retangulares é baseado em dois eixos perpendiculares, com um ponto de origem definido arbitrariamente. A maior parte dos sistemas de coordenadas planas retangulares é baseado nas projeções Transversa de Mercator, Polar Estereográfica e Cônica Conforme de Lambert.

A grande vantagem do sistema de coordenadas geográficas é que ele é independente da projeção variando apenas com o elipsóide adotado. Com isto, sua adoção permite a rápida transformação dos dados para diferentes sistemas de projeção em função de usos posteriores que se queira dar ao mapa resultante. A Tabela 2 apresenta algumas projeções e as características do terreno por elas preservadas. A Tabela 2 também apresenta uma versão simplificada da classificação de Maling (1993).

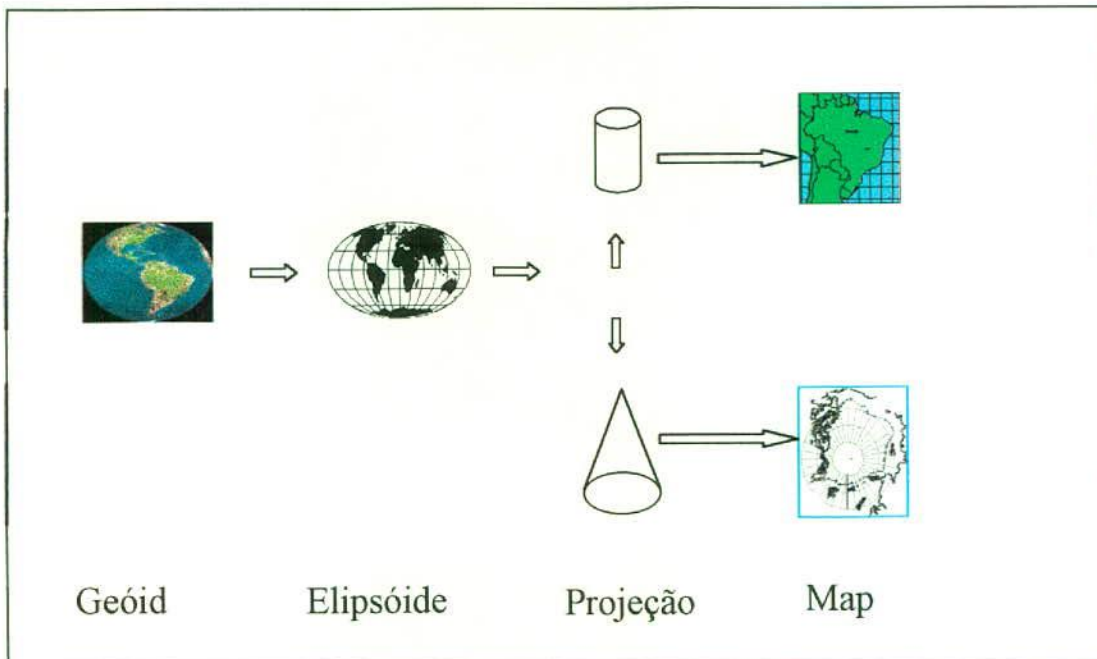


Fig. 7 – Processo de conversão cartográfica.

TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS PROJEÇÕES E SUAS PROPRIEDADES  
(SIMPLIFICADA DE MALING, 1993)

Classe	Série					
	Separação Decrescente dos Paralelos		Eqüidistância dos Paralelos		Separação Crescente dos Paralelos	
Cilíndrica	Lambert	Preserva Área	Plate Carrée	Preserva as Distâncias	Mercator	Preserva a Forma
Azimutal	Esteriografica	Preserva a Forma	Postel	Preserva Distâncias	Lambert	Preserva a Área
Cônica	Cônica sem polo	Preserva a Área	Cônica Eqüidistante	Preserva Distâncias	Lambert	Preserva a Forma
Pseudocilíndrica	Mollweide	Preserva a Área	Senoidal	Preserva a Área		
Pseudoazimutal					Wiechel	Preserva a Área
Pseudocônica			Bonne	Preserva a Área		
Policônica	Hammer-Aitoff	Preserva a Área				

As imagens, independentemente do sensor utilizado, sempre apresentam distorções geométricas que precisam ser corrigidas para serem utilizadas para fins de mapeamento, ou seja, para que forneçam informações precisas sobre área, forma e localização dos objetos; de tal forma que possam ser integrados em sistemas de informações geográficas.

O processo de correção geométrica consiste basicamente de: 1) estabelecimento de relação entre o sistema de coordenadas do mapa e o da imagem; 2) estabelecimento de um conjunto de pontos definindo a posição dos pixels na imagem corrigida; 3) como a correção geométrica implica, muitas vezes na modificação do número original de pixels contidos numa cena, um passo importante é o da reamostragem (interpolação) para permitir estimar o número digital a ser atribuído a cada pixel na imagem de saída de tal modo que esta não sofra significativas alterações radiométricas.

O relacionamento entre os dois sistemas de coordenadas pode ser estabelecido a partir de parâmetros orbitais e/ou a partir do uso de mapas. Os modelos de correção geométrica baseados em parâmetros de órbita do satélite levam em conta alguns fatores responsáveis pelas distorções geométricas das imagens tais como: curvatura da terra, movimento de rotação da terra, variações nas taxas de amostragem do sensor ao longo e perpendicularmente à órbita, inclinação da órbita, atitude do satélite em três eixos e variação da altura da órbita. Como muitos destes parâmetros são nominais, uma maior precisão da correção geométrica das imagens é alcançada através do uso de pontos de controle no terreno.

Todavia, a precisão dos modelos de correção geométrica baseados em pontos de controle do terreno, depende da qualidade da documentação cartográfica disponível. Pontos de controle são feições bem definidas e facilmente reconhecíveis tanto nas imagens quanto nas cartas topográficas. A partir de uma coleção destes pontos, procura-se encontrar a equação de transformação do par de coordenadas  $x_i, y_i$



da imagem em coordenadas  $x_m$ ,  $y_m$  do mapa através do método dos mínimos quadrados (Mather, 1987). Os polinômios para a correção geométrica mais empregados são os de primeiro, segundo e terceiro grau. A seleção do grau do polinômio a ser utilizado depende do número de pontos de controle disponível e de sua distribuição espacial. Quanto maior o grau do polinômio, maior o número de pontos de controle necessários e melhor deve ser a sua distribuição.

Uma vez que o modelo para correção geométrica das imagens tenha sido definido, ou seja, as equações que permitem a transformação das coordenadas  $x$ ,  $y$  da imagem em coordenadas referidas a um sistema cartográfico, um passo importante é o de definir o método de reamostragem a ser adotado, visto que dele depende a preservação das características radiométricas da cena. A Figura 8 ilustra o processo de reamostragem; nela pode-se verificar que a correção geométrica faz com que o pixel  $e'$   $n'$  da imagem corrigida corresponde a uma região de intersecção de quatro pixels na imagem distorcida, criando o problema de se encontrar um critério para se atribuir a ele um dado valor de brilho ou nível digital. O processo de reamostragem é, portanto, o processo que permite atribuir ao pixel  $e'$   $n'$  da imagem corrigida, um valor de nível digital interpolado da imagem distorcida (Mather, 1987).

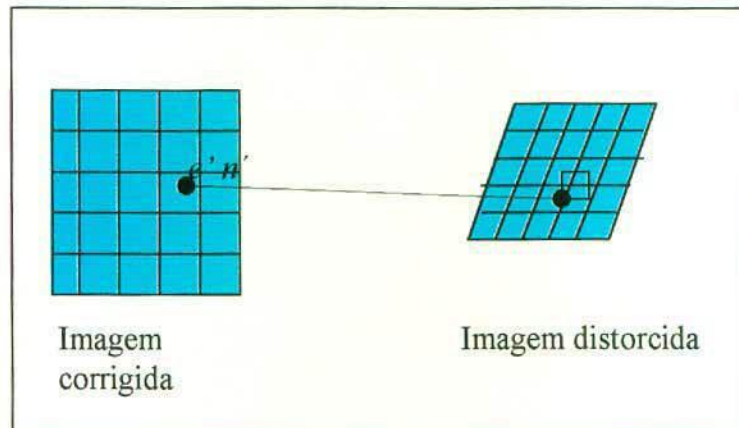


Fig. 8 – Processo de reamostragem.

FONTE: Adaptada de Mather (1987).

Existem três métodos de interpolação frequentemente utilizados no processo de reamostragem, e a escolha do método mais adequado depende do tipo de imagem de sensoriamento remoto a ser reamostrada, da variabilidade dos alvos presentes na cena e da aplicação que se dará aos dados. O primeiro método de interpolação é conhecido pelo nome de **vizinho mais próximo** porque o procedimento de atribuição de nível digital da cena distorcida para a cena corrigida consiste em escolher o pixel correspondente à coordenada mais próxima. Este método, segundo Mather (1987) tem duas vantagens: assegura que o pixel da imagem corrigida tenha um valor "real", ou seja, igual ao da imagem distorcida; e é de rápido processamento. Apresenta, entretanto, desvantagens: quando as distorções são grandes e há a repetição de muitos pixels, a imagem corrigida apresenta "blocos" que podem resultar em deformações das feições do terreno quando os dados são submetidos à classificação; a imagem corrigida pode apresentar um deslocamento espacial de até  $\frac{1}{2}$  pixel.

O outro método de reamostragem é conhecido por interpolação bilinear. Na interpolação bilinear, o valor do pixel  $e_n$  será determinado a partir da média ponderada pela distância dos 4 pixels vizinhos. A interpolação resulta numa imagem corrigida mais suavizada em relação à imagem original, ou seja, os limites entre objetos se tornam mais difusos. Os níveis digitais da imagem corrigida não são reais, ou seja representam uma média de pixels da imagem corrigida, e por ser uma média, parte da resolução espacial original é perdida. Obviamente, quanto menor a correção do deslocamento entre a imagem corrigida e a distorcida, menor será a alteração radiométrica da imagem. Sob o ponto de vista radiométrico, este método traz mais alterações do que o anteriormente descrito.

O terceiro método de reamostragem é conhecido por interpolação bicúbica (Mather, 1987) ou convolução cúbica e consiste no ajuste de uma superfície à vizinha do pixel  $e_n$  tal que os 16 pixels mais próximos da imagem distorcida sejam utilizados para estimar o nível digital da imagem corrigida. Este tipo de reamostragem dá à imagem um aspecto visualmente mais natural (sem artefatos de processamento) mas resulta em uma perda de informações de alta frequência. Quando a informação radiométrica dos dados deve ser preservada não se deve utilizar este método.

### Correção Radiométrica

Os processamentos para a correção radiométrica de imagens incluem tanto as operações puramente cosméticas dos dados, que visam apenas melhorar sua visualização como também as que visam normalizar os dados radiometricamente seja de modo absoluto ou relativo.

No primeiro conjunto de operações, ditas cosméticas, estão incluídos os processamentos para o preenchimento de linhas de varredura omitidas por problemas de aquisição, transmissão ou recepção de dados. Qualquer que seja a origem do problema, essas linhas são registradas como valores nulos ou como valores máximos, o que provoca problemas em processos de classificação que se baseiam em estatísticas dos níveis digitais. Outro defeito radiométrico das imagens é conhecido por **striping** e sua origem está associada a um lapso de reação da resposta dos detetores quando recobrem áreas de baixa radiância após terem passado por áreas de alta radiância. O **striping** se caracteriza visualmente pela presença de faixas de pixels claros atravessando regiões escuras da cena. Existem numerosos métodos para corrigir estas distorções radiométricas cuja descrição pode ser encontrada em Mather (1987).

No segundo conjunto de operações estão incluídos os métodos de calibração absoluta dos dados de modo que se possa obter medidas quantitativas sobre suas propriedades radiométricas. Nos programas orbitais de primeira geração, como os programas Landsat e SPOT a questão da calibração absoluta nunca foi adequadamente equacionado (Slater, 1980). Num sistema tal como o Landsat, em que os dados são transmitidos telemetricamente para a Terra, a calibração deveria permitir uma relação entre um dado nível digital e a radiância que atinge o detetor em cada banda espectral. Se a irradiância solar for conhecida e o efeito atmosférico removido, então poder-se-ia determinar a reflectância espectral da cena. Esta

calibração deveria ser mantida durante todo o período de operação do satélite de modo que reflectâncias medidas em uma data fossem semelhantes em qualquer outra data para um alvo de comportamento espectral constante.

De acordo com estudos realizados por Chen (1996) a degradação radiométrica atual do sensor TM é da ordem de 20 % em relação à calibração pré lançamento. Idealmente, os coeficientes para calibração absoluta dos dados deveriam ser atualizados a intervalos regulares e fornecidos aos usuários dos dados. Entretanto, isto não ocorre, o que torna inviável a correção radiométrica das imagens utilizando os procedimentos convencionais.

Uma alternativa à calibração absoluta dos dados é o uso de métodos de calibração relativa ou de retificação radiométrica. A calibração relativa ou retificação radiométrica consiste em transformar os dados radiométricos obtidos em diferentes datas e sob diferentes condições de aquisição em um conjunto de dados comparáveis em termos de suas propriedades intrínsecas. Dentre estes métodos, destaca-se o método proposto por Hall et al. (1991). Através deste método é feita uma transformação linear dos níveis digitais de uma dada imagem a partir dos níveis digitais de um conjunto de alvos de comportamento radiométrico constante. O método de Hall et al. (1991) foi desenvolvido para a retificação de uma mesma cena adquirida em datas diferentes. No caso do mosaico da região amazônica, o grande problema é que a retificação deve ser realizada entre cenas diferentes e adquiridas em diferentes datas o que torna o processo muito mais complexo, e as soluções de retificação heurísticas. A novidade apresentada pelo método de Hall et al. (1991) está justamente nos critérios de seleção dos pixels de controle a serem utilizados na retificação. Para esta seleção os autores submetem os dados originais a uma transformação linear conhecida pelo nome de "Tasseled Cap" (Kauth-Thomas, 1976). Através desta transformação é definido um novo sistema de coordenadas tal que os dados das diferentes bandas passam a ocupar novos eixos associados às propriedades biofísicas dos alvos (Mather, 1987). Os eixos relevantes para a seleção dos pixels radiométricamente constantes são o "brightness" (brilho) e o "greenness" (verdor). O eixo "brightness" é associado às variações de reflectância do solo, enquanto que o eixo de "greenness" é associado às variações na quantidade e vigor da vegetação verde. Segundo os autores a partir da análise do diagrama de dispersão dos valores de "greenness" e "brightness" é possível identificar um conjunto de pixels claros e escuros os quais representam alvos estáveis em termos de reflectância de uma cena para outra. Entretanto, para que este pressuposto possa ser aceito, existem algumas condições de contorno, quais sejam: 1) as diferenças de calibração entre as imagens introduzem apenas modificações lineares na radiância dos pixels de referência; 2) o efeito atmosférico sobre as radiâncias é linear (aditivo); 3) a umidade do solo e vigor da vegetação devem permanecer relativamente constantes de uma cena para outra.

#### 4. Metodologia

As principais etapas da construção do mosaico digital da planície de inundação do rio Amazonas encontram-se resumidas na Figura 9.

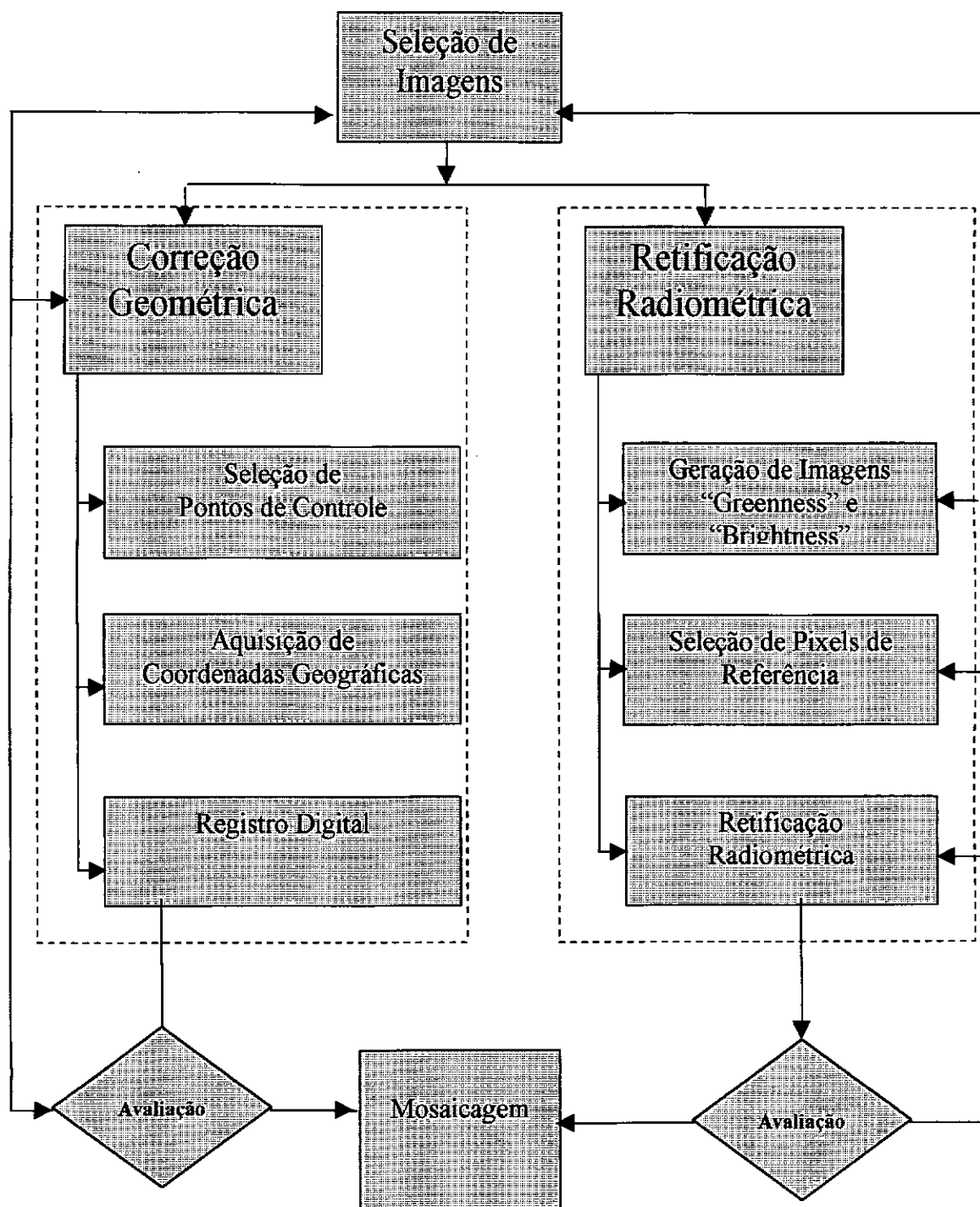


Fig. 9 – Fluxograma da construção do mosaico digital da planície do rio Amazonas.



#### 4.1 – Seleção das Imagens

A seleção das imagens que comporiam o mosaico foi feita em 1995 a partir da inspeção das composições coloridas das bandas TM3 (azul), TM4 (verde) e TM5 (vermelho) disponíveis no setor de Atendimento ao Usuário (ATUS) do INPE. A seleção baseou-se em dois critérios: 1) mês de aquisição e 2) ausência de cobertura de nuvens sobre a área de interesse, no caso a planície de inundação do rio Amazonas.

A Tabela 1 apresenta uma listagem final das imagens selecionadas, as quais em geral correspondem ao período de maior nível da água do rio Amazonas. A maioria das imagens foi obtida no período de máxima vazão, uniformizando portanto as condições do terreno. Mesmo assim, como foram adquiridas em anos diferentes, sob condições de precipitação, atmosfera, e vazão diferentes, existem diferenças intrínsecas de uma cena para outra, que tornam o problema de retificação bastante complexo.

Após a seleção das imagens, o processo de preparação das imagens para comporem o mosaico pode ser dividido em duas fases as quais podem ser executadas paralelamente se houver disponibilidade de recursos computacionais e humanos para implementar os processamentos dos dados.

#### 4.2 - Correção Geométrica

O processo de correção geométrica das imagens TM foi dividido em três fases. Na primeira fase, de posse das cartas topográficas na escala 1:250.000 e de imagens TM em forma de composições coloridas, procedeu-se a inspeção cena a cena de modo a se identificar feições do terreno comuns a ambas bases de dados. Esses pontos eram demarcados em uma base transparente sobre as imagens TM e sobre as cartas topográficas.

Após a seleção dos pontos de controle nas imagens e cartas topográficas na escala 1:250.000, cada carta topográfica (Tabela 1) foi transformada em um projeto dentro de um sistema geográfico de informações, criando-se um plano com a localização geográfica dos pontos de controle. Para cada plano referente a cada carta foram obtidas as coordenadas geográficas. Toda esta fase do trabalho foi realizada com base no software SITIM/SGI (INPE, 1990). Como pode ser observado na Tabela 1, em função das características das cenas, o número de pontos de controle variou entre 35 e 64. Nem todos estes pontos selecionados a priori puderam ser aproveitados no processo final de retificação, sendo parte utilizado para gerar o modelo de correção geométrica, parte usado para o teste do modelo, e parte descartado e ou substituído por novos pontos. Um exemplo de arquivo de pontos de controle pode ser observado no Apêndice A.

De posse das coordenadas geográficas dos pontos de controle para cada cena do mosaico, procedeu-se a correção geométrica das imagens digitais com o auxílio do software PCI (PCI, 1997). Nesta fase, a posição do ponto de controle na imagem digital foi localizada com o auxílio das imagens analógicas anotadas e as coordenadas

em latitude/longitude associadas a cada par de coordenadas x, y dos pontos de controle da imagem digital. O processo de entrada de pontos de controle é bastante interativo, permitindo a constante avaliação de sua qualidade a partir do erro médio quadrático (RMS) e dos erros residuais das novas coordenadas. Com isto pode-se freqüentemente corrigir a posição do ponto ou substituí-lo por ponto de controle mais adequado.

### 4.3 - Retificação Radiométrica

O processo de retificação radiométrica utilizado na confecção do mosaico encontra-se baseado na metodologia descrita em Novo e Shimabukuro (1997). Este método representa uma adaptação do método desenvolvido por Hall et al. (1991). O primeiro passo do método consiste na geração de imagens *Greenness* e *Brightness* para cada uma das cenas. Para isto o algoritmo de Kauth and Thomas adaptado por Hall et al. (1991) foi implementado para ser utilizado no ambiente PCI. Um exemplo do modelo pode ser observado no Apêndice B deste relatório.

Teoricamente, o diagrama de dispersão dos níveis de "greenness" e "brightness" permitiriam identificar os pixels escuros e claros da cena para todas as bandas de interesse. Assim sendo, duas cenas iguais, ou seja com a mesma distribuição de pixels, e não sujeitas a nenhuma alteração ambiental (ângulo solar, atmosfera, etc.) deveriam ter distribuições semelhantes, com as extremidades do diagrama convergindo em uma mesma região.

Após a geração dos valores de "greenness" e "brightness" para todas as cenas, o próximo passo no processo de retificação é a seleção de uma cena de referência, em relação à qual todas as demais serão retificadas. No caso específico deste processo de retificação do mosaico da planície Amazônica, a imagem de referência selecionada foi a imagem 231/62 que corresponde à cena que recobre a cidade de Manaus. A seleção desta cena deveu-se a inúmeros fatores: 1) ocupa uma posição média na planície do rio Amazonas, portanto sujeita as condições médias de modificações nas propriedades da atmosfera de oeste a leste (observar Figura 1); 2) possui dados de calibração absoluta que poderão futuramente ser utilizados para uma correção radiométrica absoluta dos dados (Mertes et al., 1993).

Devido ao tamanho das imagens originais (com resolução de 30 x 30 m), limitações de espaço em disco e a necessidade de se repetir muitas vezes o processo de seleção de amostras para a retificação, as imagens foram reamostradas para matrizes de 1000 X 1000 pixels de modo a reduzir o tempo total de processamento. Para que esta medida fosse adotada, entretanto, foram realizados testes de modo a avaliar se a reamostragem não alteraria de modo significativo a forma dos diagramas de *Greenness* e *Brightness* e a definição dos intervalos de pixels escuros e claros necessários para a retificação. Os resultados dos testes demonstraram que não havia alteração perceptível quer nos diagramas bidimensionais quer nos valores numéricos dos intervalos de níveis digitais para pixels claros e escuros. Assim sendo foi gerada uma coleção de imagens 1000 X 1000 pixels que foram utilizadas para definir os coeficientes de retificação. Em imagens com grande contaminação por nuvens e

sombras de nuvens foram desenhadas máscaras sobre as regiões de interesse. Com isto garantia-se maior precisão no processo de seleção de pixels.

A Figura 10 mostra o diagrama de dispersão dos valores de *Greenness* (eixo y) e *Brightness* (eixo x) da imagem de referência (em vermelho) e da imagem a ser retificada (em amarelo). Pode-se observar um deslocamento entre ambas as distribuições no espaço bidimensional *Greenness* e *Brightness*. O procedimento chave, consiste em identificar na imagem de referência e na imagem a ser retificada os intervalos que correspondam aos pixels escuros e claros em ambas as cenas. Os pixels escuros da imagem de referência encontram-se localizados em **A** e na imagem a ser retificada em **B**. Os pixels claros da imagem de referência e da imagem a ser retificada encontram-se localizados em **C** e **D**, respectivamente. Essas regiões definem intervalos de níveis digitais que serão utilizados para classificar os alvos claros e escuros das imagens *Greenness* e *Brightness*. Para se verificar a consistência dos intervalos em relação aos alvos tipicamente claros (solos arenosos) e escuros (água límpida) encontrados na cena, estes intervalos são utilizados para classificação e o resultado comparado com os níveis digitais das cenas originais.

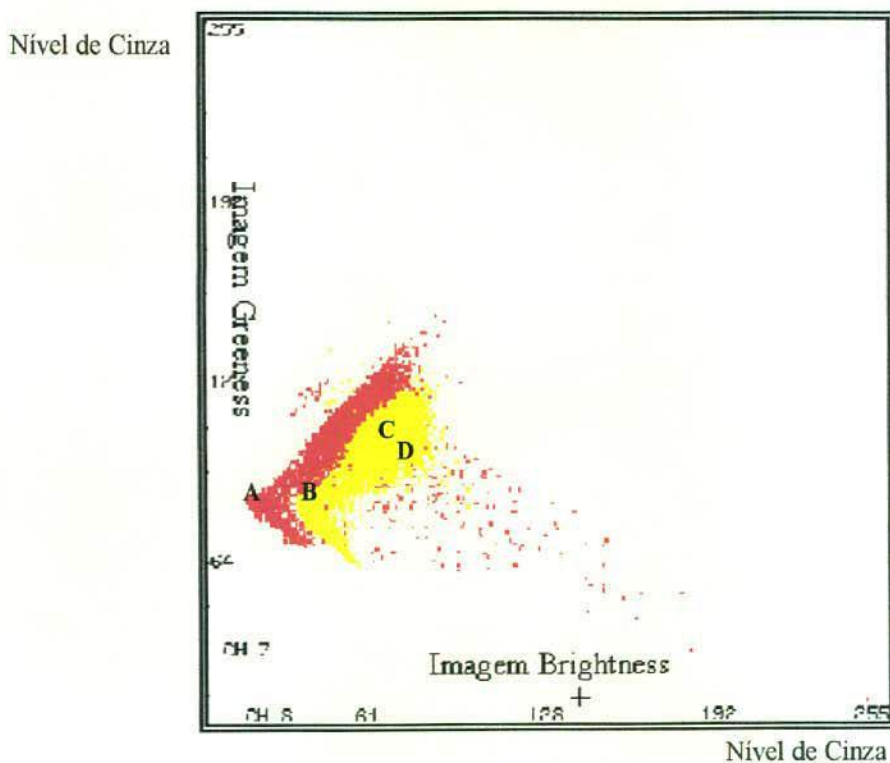


Fig. 10 – Diagrama de dispersão das imagens **Greenness** e **Brightness** de Referência e Original.

Uma vez confirmados os intervalos a partir da inspeção visual dos alvos escuros e claros classificados, utiliza-se o programa TARSEL desenvolvido por Hall et al. (1991) para gerar automaticamente uma máscara. Esta máscara resulta da interseção dos níveis claros e escuros em ambas as imagens *Greenness* e *Brightness*. No Apêndice C pode-se observar o programa utilizado para a geração das máscaras.



Após a definição das máscaras, o próximo passo consiste em se calcular a média e o desvio padrão dos pixels escuros e claros em cada uma das bandas a serem retificadas. Estes valores são colocados em fichas (Apêndice D). A análise da média e do desvio-padrão permite avaliar numericamente a adequação das máscaras. Em geral, quando os intervalos não foram definidos adequadamente, e há a contaminação por nuvens e sombras, o desvio-padrão é bastante alto e variável de uma banda para outra.

Após a inspeção das médias dos pixels escuros e claros das bandas individuais, esses valores são utilizados como entrada para o programa de retificação. A saída do modelo é o conjunto de coeficientes de retificação que são aplicados na imagem a ser retificada. Um exemplo do modelo de retificação utilizado pode ser observado no Apêndice E.

Quando as imagens não são afetadas pela atmosfera e quando não existem grandes diferenças ambientais de uma data para outra, rapidamente o modelo de retificação converge tal que o diagrama de dispersão das imagens *Greenness* e *Brightness* para ambas as cenas fica superposto conforme Figura 11.

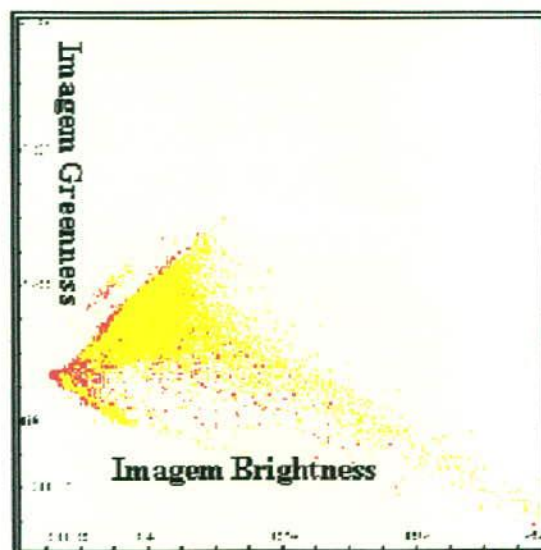


Fig. 11 – Diagrama de Dispersão das Imagens *Greenness* e *Brightness* da imagem de *Referência* (vermelho) e da imagem *Retificada* (amarelo).

Além da análise do Diagrama *Greenness* e *Brightness* também se procede a análise dos diagramas de dispersão das bandas individuais da imagem de referência e da imagem retificada. A Figura 12 mostra os gráficos de dispersão das bandas individuais das imagens apresentadas na Figura 11.



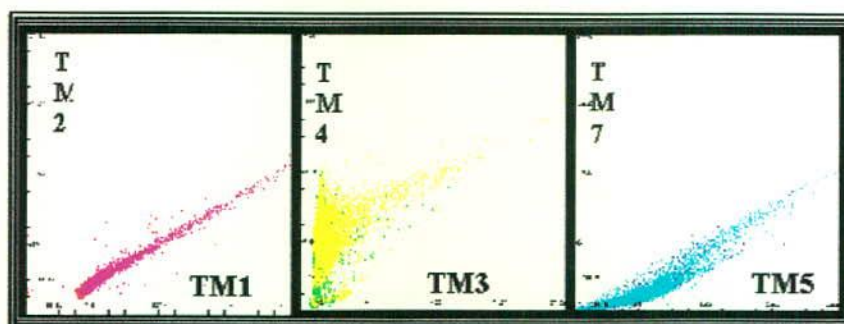


Fig. 12 – Diagrama de dispersão das bandas retificadas (vermelho - imagem de referência, magenta - imagem retificada, verde - imagem de referência, amarelo - imagem retificada, azul escuro - imagem de referência, ciano - imagem retificada).

Pela análise da Figura 12 pode-se verificar uma superposição quase perfeita entre a imagem retificada e a imagem de referência. Esta superposição é mais evidente no diagrama de dispersão entre as bandas 1 e 2, onde a cor magenta sobrepõe quase perfeitamente a cor vermelha. No diagrama de dispersão das bandas TM4 e TM3 este ajuste não é tão perfeito, visto que a imagem retificada e de referência não se superpõe completamente.

Além da análise gráfica também se realiza uma análise numérica dos dados. Para isto, são selecionados alvos de interesse em ambas as imagens e adquiridos os valores de média, valor máximo e valor mínimo para cada uma das imagens: Referência, Retificada e Original, como pode ser observado na Tabela 3.

TABELA 3 – NÍVEIS DIGITAIS DE AMOSTRAS DE FLORESTA

Canal	Referência			Retificada			Original		
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
1	53.757	50	58	57.186	53	61	76.807	72	81
2	21.087	18	25	22.583	19	25	31.583	28	34
3	17.329	14	21	20.537	18	22	29.344	26	32
4	60.195	40	81	61.476	45	83	63.798	52	79
5	46.124	25	72	55.188	37	74	49.546	36	63
7	8.467	5	17	10.217	6	15	9.187	6	13

A análise da Tabela 3 evidencia que o processo de retificação tornou os níveis digitais da imagem retificada numericamente semelhante ao da imagem de referência. Isto significa que o processo de retificação foi capaz de remover as diferenças de nível digital derivadas de mudanças externas aos alvos. Nem sempre, entretanto, os coeficientes de correção são adequados, principalmente quando a cena é afetada por nebulosidade e sombra de nuvens. Nestes casos, devido ao maior impacto das condições atmosféricas sobre as bandas TM da região visível do espectro eletromagnético, os coeficientes de retificação gerados para melhorar o seu desempenho acabam deteriorando a qualidade das bandas infravermelhas do TM.

A fim de avaliar o desempenho do algoritmo de retificação para as diferentes bandas de modo mais rápido do que a geração de histogramas para a aquisição de estatísticas de classes, foram geradas composições coloridas de todas as imagens originais e retificadas nas bandas do visível (TM1 - TM3), do visível e infravermelho (TM3 - TM5) e do infravermelho (TM4 - TM7). Para essas imagens foi aplicada uma única curva de realce de contraste linear adequada à visualização ótima da imagem de referência. As composições coloridas foram inspecionadas, imagem a imagem, procedendo-se inicialmente uma avaliação expedita para classificar cada cena em duas categorias quanto ao desempenho da retificação: melhor ou pior. Foram construídas tabelas para cada composição e para aquelas cenas cujos resultados não foram satisfatórios procedeu-se a análise dos valores numéricos banda a banda. Isto permitiu que fossem geradas novas composições coloridas usando apenas aquelas bandas positivamente afetadas pela retificação.

#### 4.4 - Mosaicagem

O passo final da construção do mosaico foi transferir as cenas individuais geométrica e radiometricamente corrigidas tal que elas se superponham harmonicamente. O processo de mosaicagem foi realizado com o auxílio dos aplicativos disponíveis no PCI (PCI, 1997). No processo de mosaicagem deve-se definir o vetor que limita a área de corte de cada cena e a região de mistura das cenas.

### 5. Resultados e Discussão

#### 5.1 – Correção Geométrica

A Tabela 4 resume os resultados da correção geométrica aplicada a cada uma das imagens. Pela análise da Tabela 4 pode-se observar que o erro médio de registro encontra-se em torno de 1,5 pixels para a maioria das cenas. Uma das exceções observadas é a cena 224/60 que corresponde á região costeira. As razões para este erro elevado são: a) 50 % da cena encontra-se coberta pelo mar onde não foram encontrados pontos de referência; b) área de sedimentação costeira e sujeita ao efeito de maré provocando mudanças sensíveis nos acidentes geográficos de referência, presentes na carta, e aqueles existentes na imagem.

TABELA 4 – DESEMPENHO MÉDIO DO MODELO DE CORREÇÃO GEOMÉTRICA EM CADA UMA DAS CENAS QUE COMPÕEM O MOSAICO.

IMAGEM	DATA	Erro Médio em x (em pixel)	Erro médio em y (em pixel)
001-61	24-08-95	1.33	1.74
001-62	02-10-92	1.60	1.51
002-61	21-05-95	1.98	1.95
002-62	07 10 91	1.57	1.76
003-62	11-08-91	1.48	1.59
003-63	02-08-88	1.38	1.70
004-62	04-08-86	1.84	1.00
004-63	13-09-89	1.77	1.71
223-61	24-06-87	1.48	1.77
224-60	14-08-88	7.31	7.26*
224-61	19-09-95	1.06	1.00
225-60	02-07-87	0.34	0.37
225-61	15-07-86	1.06	1.20
226-60	11-07-88	1.76	1.85
226-61	04-08-85	0.62	0.64
226-62	20-07-91	1.77	1.67
227-61	22-08-89	0.52	0.73
227-62	03-08-88	0.91	0.80
228-61	06-09-92	0.94	0.64
228-62	18-06-92	0.86	0.99
229-61	21-09-89	1.67	1.65
229-62	10-08-91	1.06	0.66
230-62	02-07-92	0.94	0.71
231-62	02-08-89	1.56	1.65
231-63	25-07-92	1.45	1.71
232-62	28-08-92	1.52	1.43
232-63	01-08-92	1.62	1.70
233-62	24-08-92	1.79	1.85
233-63	25-09-92	1.75	1.77

A Figura 13 mostra a composição colorida das bandas TM1 (vermelho), TM2 (verde), TM3 (azul) das imagens originais e das imagens retificadas. Através da inspeção visual destas figuras pôde-se identificar as cenas cuja retificação provocou uma melhoria na qualidade da imagem em relação à cena de referência (231-062).

Em algumas cenas a aplicação da curva de realce da imagem de referência provoca a saturação das cores indicando a existência de valores digitais em média muito mais altos dos que os de referência. Para estas cenas, o efeito da retificação radiométrica é positivo, aumentando o conteúdo de informação das imagens e tornando-as numericamente similares à de referência. Em outras cenas, a profundidade ótica da atmosfera é tão elevada que a remoção do efeito atmosférico implica em remoção de parte do sinal. Com isto, a imagem retificada se torna muito mais escura do que a imagem de referência.



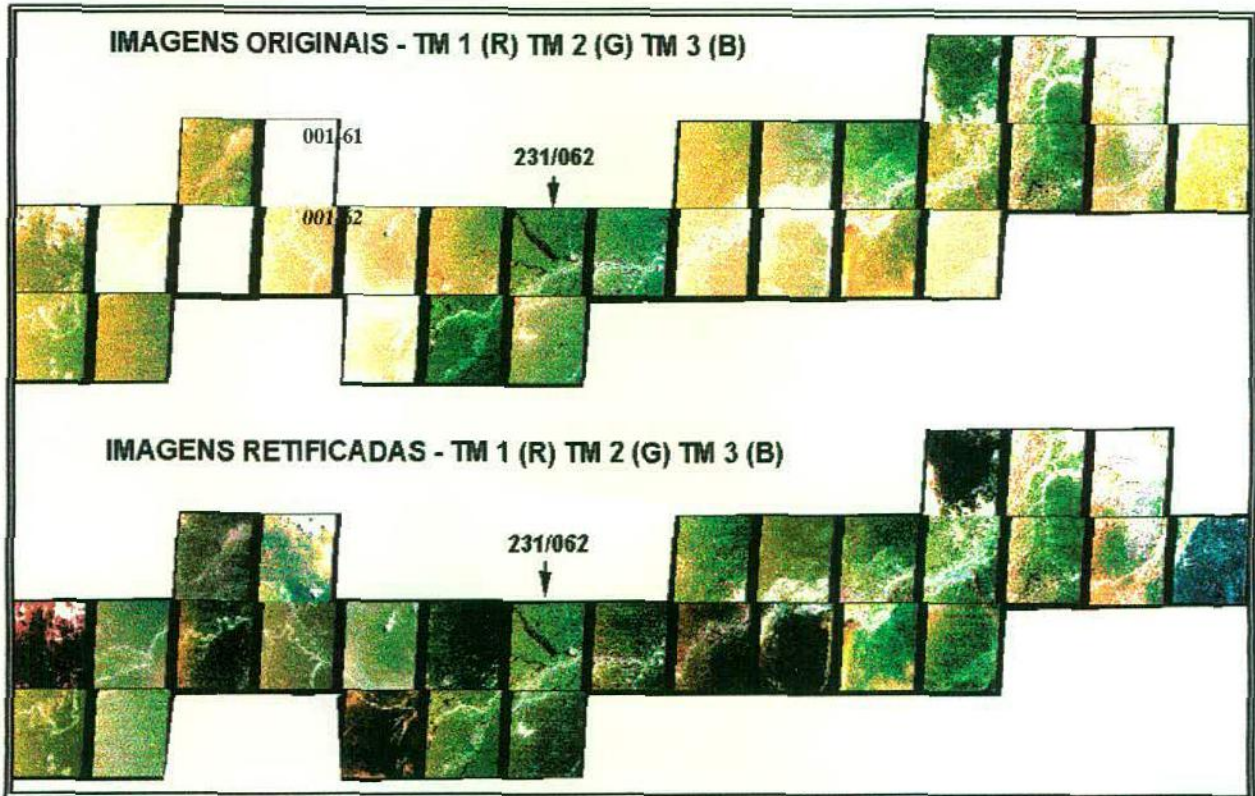


Fig. 13 – Composição colorida das bandas TM1 (vermelho), TM2 (verde) e TM3 (Azul) dos dados originais e dos dados retificados.

A Figura 14 mostra a composição colorida das bandas TM3(Azul), TM4(Verde), TM5(vermelho) das imagens originais e das imagens retificadas. A análise desta figura mostra que em algumas cenas o efeito da retificação foi positivo implicando em uma melhoria na qualidade e em outras cenas foi negativo, degradando ainda mais a distribuição de cores da imagem em relação à cena de referência.

Em algumas cenas sujeitas a intenso efeito atmosférico no canal do visível, a retificação foi suficiente para remover aquele efeito resultando em um balanço de radiância entre bandas semelhante ao da imagem de referência. Em outras cenas, a remoção do efeito atmosférico foi excessiva, tornando os níveis digitais da banda TM3 muito abaixo da média das outras bandas.

Comparando o mosaico de imagens originais e retificadas observa-se que no primeiro, muitas das cenas originais apresentavam uma contribuição excessiva da cor azul. Este efeito não é mais perceptível no mosaico de imagens retificadas, o qual entretanto, passou a estar sujeito ao predomínio da cor amarela, indicando uma redução da contribuição da banda 4 ou um aumento da contribuição da banda 5. A análise numérica dos dados, mostra que o efeito mais sensível foi o de aumento dos níveis digitais da banda TM5.



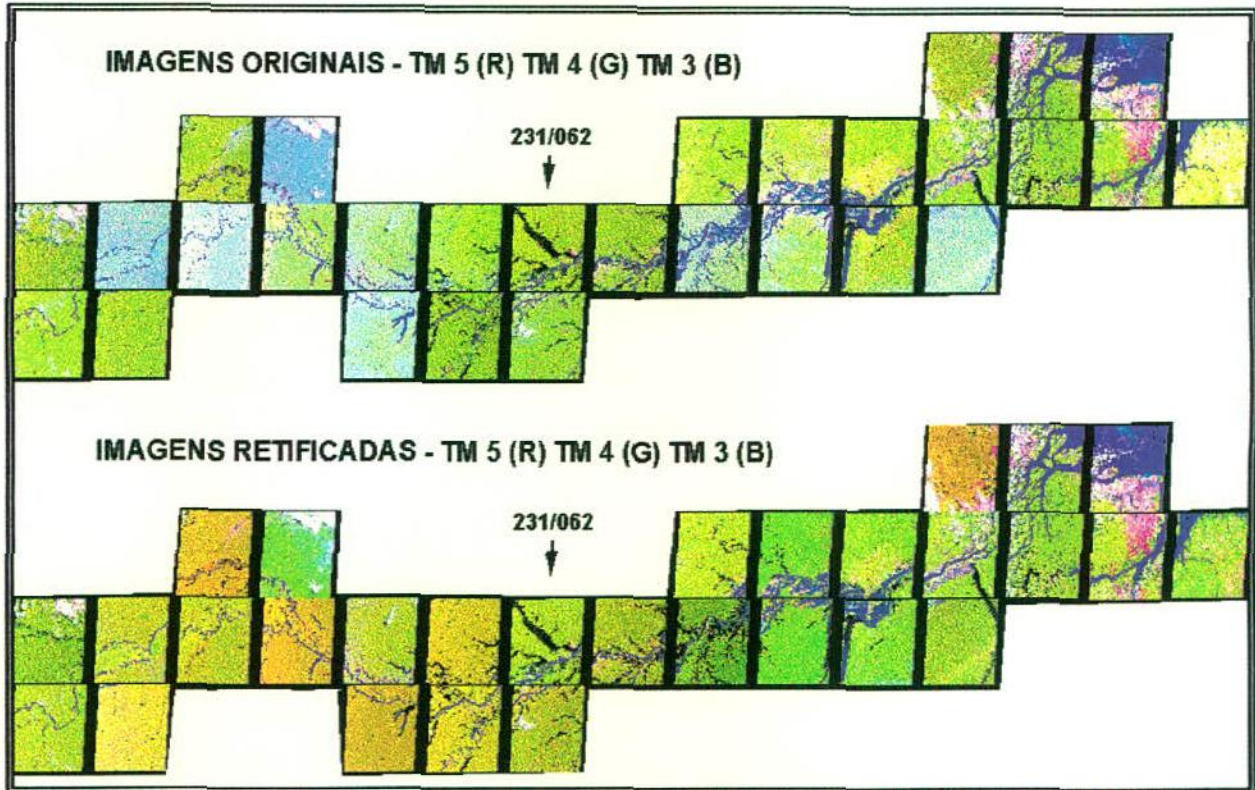


Fig. 14 – Composição colorida das bandas TM3 (azul), TM4 (verde) e TM5 (vermelho) dos dados originais e dos dados retificados.

O efeito da banda TM3 pode ser explicado pela presença de espalhamento atmosférico. O efeito da banda TM5, entretanto, está mais relacionado à redução da transmitância da atmosfera em decorrência da grande porcentagem de vapor d'água. Como os processos de interação energia e matéria são diferentes nestas regiões do espectro, a simples transformação linear dos dados não é suficiente para corrigir efeitos de direções e intensidades diferentes. Estes resultados entretanto não eram previsíveis teóricamente e nem são constantes para o conjunto de cenas analisadas.

Em algumas cenas, como a 001/062 a bruma é bem menos intensa do que na cena 002/062, mas ainda assim, o efeito da retificação sobre os dados do infravermelho foi maior. Assim sendo o tipo de atmosfera (em termos de composição por gases, partículas, distribuição vertical de partículas, etc) e não só sua profundidade ótica afeta a retificação. Os resultados sugerem também que o método de retificação radiométrica nessas circunstâncias ao reduzir o efeito do espalhamento no visível tende a aumentar excessivamente os níveis digitais das bandas afetadas pela absorção pelo vapor d'água e torná-las mais claras do que as bandas originais. Isto explicaria a predominância da cor vermelha, associada à banda TM5 em algumas das cenas retificadas.

A Figura 15 mostra a composição colorida das bandas TM4 (vermelho), TM5 (verde), TM7 (azul) das imagens originais e das imagens retificadas. A inspeção visual das imagens retificadas mostra que no caso das bandas do infravermelho a retificação não produziu resultados positivos, via de regra deteriorando os dados originais.



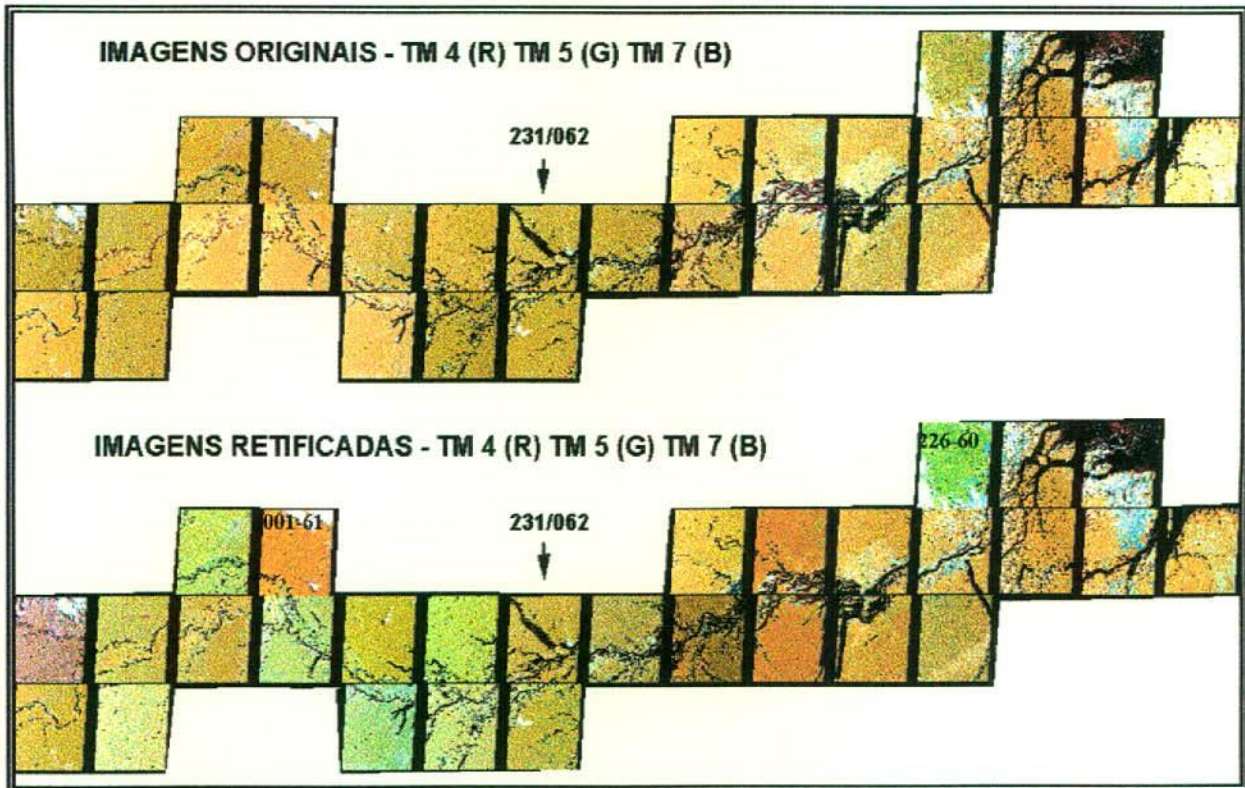


Fig. 15 – Composição colorida das bandas TM4 (vermelho), TM5 (verde) e TM7 (azul) dos dados originais e dos dados retificados.

Ao se comparar o mosaico original e retificado da Figura 15 pode-se observar a predominância da cor verde ou vermelha na maioria das cenas. Nas cenas que apresentam cores tendendo ao verde, existe uma maior contribuição da banda TM5, como é o caso da imagem 226-060. A cena 001-061 ao contrário apresenta níveis digitais mais elevados na banda TM4, respondendo pela maior intensidade de vermelho. Isto significa, que neste caso específico o efeito da retificação foi o de reduzir o nível digital da banda TM5 além do desejável.

De modo a melhor compreender os efeitos da retificação sobre os dados originais, o resultado da análise visual das imagens foi tabulado (Tabela 5). A análise da Tabela 5 permite verificar que a retificação radiométrica melhorou a qualidade dos dados adquiridos na região visível (TM1, TM2 e TM3) do espectro eletromagnético em 44 % das cenas, e para a região visível (TM3) e infravermelho (TM4 e TM5) em 50 % das cenas. Já para os dados da região do infravermelho (TM4, TM5 e TM7) observou-se melhora em apenas 10 % das cenas. Isto pode significar que o método de seleção de pontos claros e escuros de referência é um método mais adequado para as bandas do visível onde os conceitos colorimétricos se aplicam.

Na região do infravermelho o esquema não parece muito adequado para o caso dos dados utilizados. Um outro aspecto interessante de se analisar na tabela 5 é que nem sempre uma cena é afetada positivamente em todas as regiões do espectro. Por exemplo, para a cena 001-61 a retificação melhorou a qualidade radiométrica das

bandas do visível e visível e infravermelho, mas piorou esta qualidade para as bandas infravermelhas. No caso da cena 001-62 a retificação foi eficiente apenas no visível.

TABELA 5 – DESEMPENHO DA RETIFICAÇÃO RADIOMÉTRICA

IMAGEM	DATA	Desempenho da Retificação		
		TM1TM2TM3	TM3TM4TM5	TM4TM5TM7
001-61	24-08-95	Melhor	Melhor	Pior
001-62	02-10-92	Melhor	Pior	Pior
002-61	21-05-95	Pior	Pior	Pior
002-62	07 10 91	Melhor	Melhor	Melhor
003-62	11-08-91	Melhor	Melhor	Pior
003-63	02-08-88	Melhor	Pior	Pior
004-62	04-08-86	Pior	Melhor	Pior
004-63	13-09-89	Melhor	Melhor	Pior
223-61	24-06-87	Pior	Melhor	Melhor
224-60	14-08-88	Pior	Pior	Pior
224-61	19-09-95	Pior	Pior	Pior
225-60	02-07-87	Pior	Pior	Pior
225-61	15-07-86	Melhor	Pior	Pior
226-60	11-07-88	Pior	Pior	Pior
226-61	04-08-85	Pior	Pior	Pior
226-62	20-07-91	Melhor	Melhor	Melhor
227-61	22-08-89	Pior	Pior	Pior
227-62	03-08-88	Pior	Pior	Pior
228-61	06-09-92	Melhor	Melhor	Pior
228-62	18-06-92	Pior	Melhor	Pior
229-61	21-09-89	Melhor	Melhor	Pior
229-62	10-08-91	Melhor	Melhor	Pior
230-62	02-07-92	Pior	Melhor	Pior
231-62	02-08-89	Referência	Referência	Referência
231-63	25-07-92	Pior	Melhor	Pior
232-62	28-08-92	Pior	Pior	Pior
232-63	01-08-92	Pior	Pior	Pior
233-62	24-08-92	Melhor	Melhor	Pior
233-63	25-09-92	Melhor	Pior	Pior

A análise da tabela 5 permitiu classificar as cenas em 4 categorias: a) cenas cuja retificação foi positiva para todas as bandas; b) cenas cuja retificação foi positiva para as bandas do visível; c) cenas em que a retificação foi positiva apenas para as bandas do visível - infravermelho; d) cenas em que a retificação foi positiva apenas para as bandas infravermelhas. Apenas para uma cena a retificação foi positiva em todas as bandas. Esta cena é a 226-62 e se distingue de outras pelo fato de não apresentar nebulosidade alta, e ser uma cena homogênea onde a cobertura dominante é a floresta. A homogeneidade de alvos da cena também parece ser um fator importante para a retificação porque facilita a aquisição de amostras claras e escuras de referência. Em áreas em que a cena é cortada pelo rio Amazonas com suas águas túrbidas, os alvos escuros nas bandas do infra-vermelho são os corpos d'água. Estes alvos geralmente são os mais claros nas bandas do visível, o que dificulta a determinação de um conjunto significativo de pixels escuros e obviamente claros.

Para 10 cenas a retificação foi negativa para todas as bandas. O exame destas cenas permite classificá-las em duas categorias: aquelas cenas já próximas à de



referência como é o caso, por exemplo da cena 226-60, ou imagens completamente degradadas não passíveis de retificação, como é o caso da cena 224-60.

Para apenas 3 cenas a retificação foi positiva nas bandas do visível e negativa nas demais bandas. A cena 003-63 exemplifica este caso. Tratam-se de bandas contaminadas por nevoeiro denso porém homogeneamente distribuída sobre toda a imagem.

Existem 8 cenas cuja retificação melhorou o desempenho das bandas do visível-infravermelho mas piorou o desempenho das bandas do visível. Um exemplo destas cenas é a 004-62. Estes casos englobam cenas sujeitas a uma interferência excessiva da atmosfera porém localizada em apenas um quadrante da imagem.

A análise do desempenho das composições permitiu concluir que a retificação não poderia ser aplicada a todas as bandas. A partir desta constatação foram testadas diferentes combinações de bandas retificadas e não retificadas bem como foi feita a avaliação numérica dos dados. Isto permitiu gerar um conjunto de imagens "retificadas" que incluem bandas realmente retificadas e bandas não-retificadas. A tabela 6 resume as bandas finais que formam o conjunto retificado.

Após a seleção das melhores bandas retificadas, o modelo de retificação foi aplicado para todas as cenas. Após a retificação as imagens foram organizadas no mosaico formado por todas as bandas espectrais listadas na tabela 6. A Figura 16 mostra a composição colorida das bandas TM3 (Azul), TM4 (Verde) e TM5 (Vermelho) das imagens retificadas. A análise da figura permite concluir que embora haja 'ainda necessidade de melhorar o processo de retificação, de modo geral o ajuste radiométrico e geométrico do mosaico é bastante bom.

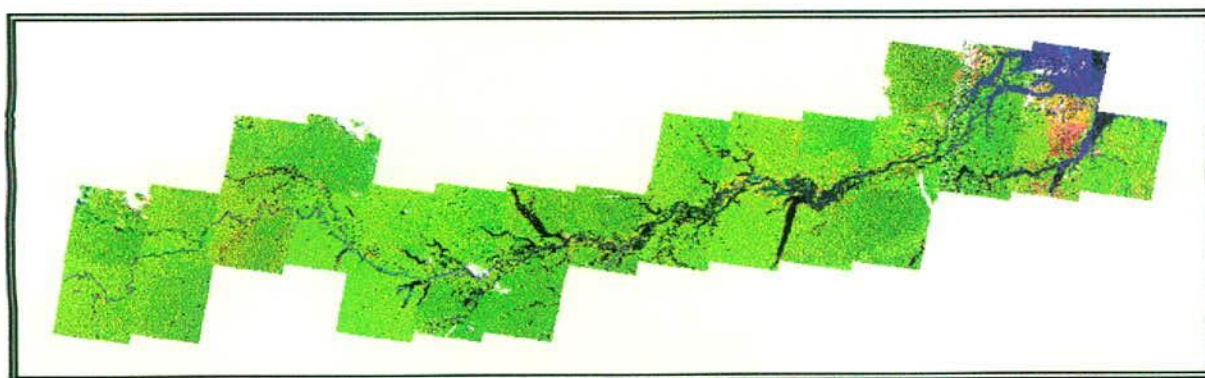


Fig. 16 – Mosaico das imagens retificadas. Composição colorida das bandas TM3 (azul), TM4 (verde) e TM5 (vermelho).



TABELA 6 – CONJUNTO DE DADOS RETIFICADOS

Imagem	Data	Bandas
001-61	24-08-95	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5RET, TM7ORI
001-62	02-10-92	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4RET, TM5ORI, TM7ORI
002-61	21-05-95	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
002-62	07-10-91	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4RET, TM5RET, TM7RET
003-62	11-08-91	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
003-63	02-08-88	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
004-62	04-08-86	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
004-63	13-09-89	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
223-61	24-06-87	TM1RET, TM2ORI, TM3RET, TM4ORI, TM5RET, TM7RET
224-60	14-08-88	TM1ORI, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
224-61	19-09-95	TM1ORI, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
225-60	02-07-87	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
225-61	15-07-86	TM1ORI, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
226-60	11-07-88	TM1ORI, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
226-61	04-08-85	TM1ORI, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORIV
226-62	20-07-91	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4RET, TM5RET, TM7RET
227-61	22-08-89	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
227-62	03-08-88	TM1ORI, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
228-61	06-09-92	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
228-62	18-06-92	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
229-61	21-09-89	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
229-62	10-08-91	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
230-62	02-07-92	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
231-62	02-08-89	REFERÊNCIA
231-63	25-07-92	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
232-62	28-08-92	TM1RET, TM2ORI, TM3ORI, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
232-63	01-08-92	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
233-62	24-08-92	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI
233-63	25-09-92	TM1RET, TM2RET, TM3RET, TM4ORI, TM5ORI, TM7ORI

## 6. Considerações Finais

A metodologia de confecção do MDPA, apresentada neste relatório, provou ser um processo viável para a confecção de mosaicos digitais de grandes regiões a partir da utilização de imagens do sensor Thematic Mapper do Landsat. A correção geométrica e a retificação radiométrica, indispensáveis a esse processo, apresentaram bons resultados. A correção geométrica foi prejudicada pela deficiência de dados topográficos de boa qualidade. Entretanto, a metodologia utilizada permite que a qualquer momento, essas deficiências sejam sanadas, uma vez que se tornem disponíveis dados topográficos de melhor qualidade. A retificação radiométrica apesar de ter apresentado resultados satisfatórios ainda poderá ser aperfeiçoada. Entretanto, este método representa a única alternativa de retificação de cenas que não apresentam superposição, como é o caso do MDPA. Durante o processo de retificação foi verificado que as bandas do visível e do infra-vermelho respondem de modo diferente ao efeito atmosférico sugerindo novas adaptações à metodologia de Hall et al. (1991).

Outra grande vantagem da metodologia desenvolvida é a de que o mosaico pode ser gerado em diferentes resoluções espaciais, preservando a resolução original

do Thematic Mapper (30m x 30 m). A possibilidade de gerar mosaicos com resoluções espaciais variáveis representa uma ferramenta poderosa na simulação de sensores remotos. Dentre os usos desta metodologia pode-se, por exemplo, citar a simulação dos dados da câmara WFI a bordo do CBERS, dados do MODIS, etc, os quais se caracterizam pela cobertura de amplas faixas do terreno com resolução espacial maior que 200 m x 200 m.

Os próximos passos visando ao aperfeiçoamento da metodologia desenvolvida incluem:

- refinamento da correção geométrica através do uso de dados de GPS coletados em missões de campo;
- a avaliação do erro inerente ao uso do sistema Lat/Long em estimativas de área dos diferentes habitats da planície de inundação;
- o aperfeiçoamento da retificação radiométrica através da aplicação do método de seleção de pixels de referência em bandas individuais, ou para conjuntos de bandas do visível e do infra-vermelho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab´Saber, A. N. Problemas geomorfológicos da Amazônia Brasileira. IN: Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, Vol.1:1:35-68, 1967.

Adis, J. Seasonal igapó-forests of Central Amazonian black-water rivers and their terrestrial arthropod fauna. IN: Sioli, H., ed. **THE AMAZON. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Boston, Dr.W.Junk Publishers, 1984, Chap. 9, p:245-268.

Bigarella, J.J.; Ferreira, A.M.M. Amazon Geology and the Pleistocene and the Cenozoic Environments and Paleoclimates. IN: Sioli, H., ed. **THE AMAZON. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Boston, Dr. W. Junk Publishers, 1984, Chap. 3, p:49-71.

Chen, S.C. **Informações Espectrais e Texturais de vegetação da Região Amazônica a partir de Dados do Sensor TM do Satélite Landsat.** (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, 1996.

Cunha, F.M.B da; Appi, V.T. Controle Geológico na definição de grande domínios ambientais na planície amazônica. **Proceedings FOREST´90**, p:30-45, Manaus, 1990.

D´Alge, J. C. **Projeções cartográficas.** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997). Comunicação pessoal.

Dunne, T.; Mertes, L.A.K.; Meade, R.H. Sediment transport and sedimentation along the Solimões-Amazon river, Brazil. **Geological Society of America Bull.** IN PRESS.

Gibbs, R.J. The geochemistry of the Amazon river system. I. the factors that control he salinity and the composition and concentration of suspended solids. **Geological Society of America Bull.**, 78:1203-1232, 1967.

Goulding, M.; Smith, N.J.H., Mahar, D.J.. **Floods fortune - ecology and economy along the Amazon.** Colombia University Press, New York, 1996, 193p.

Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, 35, p.11-27, 1991.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Sistema Geográfico de Informações: manual de referência do usuário.** São José dos Campos, 1990.

Junk, W.J. As Águas da Região Amazônica. IN: Salati, E.; Junk, W.J.; Shubart, H.O R.; Oliveira, A E. **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia.** São Paulo, Brasiliense, 1983.

Junk, W.J.; Howard-Williams, C. Ecology of aquatic macrophytes in Amazonia. IN: Sioli, H. ed. **THE AMAZON. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Boston, Dr.W.Junk Publishers, 1984, Chap. 10, p.269-293.

Kauth, R.J.; Thomas, G.S. The tasseled cap – a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT. IN: Symposium Machine Processing of Remote Sensing Data. West Lafayette, IN. **Proceedings**, 1976, p.41-51.

Maling, D.H. Coordinate System and Map Projections. 2. ed., Oxford, 1993, 476p.

Martini, P.R.; Garcia, J.W. Depicting the headwaters of the Amazon River through the use of Remote Sensing Data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.** V. XXXI, Part B7. Viena, 1996.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely –sensed images: an Introduction.** Willey. Nova York, 1987, 352p.

Meade, R.H. Suspended sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982-1984. Denver, CO, U.S. Geological Survey, 1985. (Open-file Report 85-492).

Mertes, L.A.K. Rates of floodplain sedimentation on the central Amazon River. **Geology**, 22, p.171-174, 1994.

Mertes, L.A. K.; Dunne, T., Adams, J.B. Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, v.43:281-301, 1993.

Mertes, L.A.K.; Daniel, D.L.; Melack, J.M.; Nelson, B.; Martinelli, L.A.; Forsberg, B.R. Spatial patterns of hydrology, geomorphology, and vegetation on the floodplain of the Amazon River in Brazil from a remote sensing perspective. **Geomorphology**, (13):215-232, 1995.

Mertes, L.A.K.; Dunne, T.; Martinelli, L.A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v.108(9):1089-1107, 1996.

Novo E.M., Shimabukuro, Y.E. Identification and mapping of the Amazon habitats using a mixing model. **International Journal of Remote Sensing**, v.18(3):663-670, 1997.

PCI **Using PCI Software, Version 6.1**, January, Ontario, 1997.

Putzer, H. The geological evolution of the Amazon basin and its mineral resources. IN: Sioli, H. ed. **THE AMAZON. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Boston, Dr.W.Junk Publishers, 1984, Chap. 2, p:16-46.

Salati, E.; Marques, J. Climatology of the Amazon region. IN: Sioli, H. ed. **THE AMAZON. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Boston, Dr.W.Junk Publishers, 1984, Chap. 4, p:85-126.

Sioli, H. Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica, *Boletim Técnico do Instituto de Agronomia do Norte*, 24:3- 44, 1951.

Sioli, H. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses and river types. IN: Sioli, H. ed. **THE AMAZON. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Boston, Dr.W.Junk Publishers, 1984, Chap. 5, p:127-165.

Slater, P.N. **Remote Sensing, optics and optical systems.** Londres, Addison-Wesley, 1980, 575 p.

## APÊNDICE A

PONTOS DE CONTROLE PARA A CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM TM  
226-60

imagem 226-60 rms X 1.76, Y 1.85

pontos	mir n°	latitude S	longitude W
1	64	00°33'58.29"	52°34'31.67"
2	64	00°39'49.36"	52°31'22.05"
3	64	00°26'49.84"	52°42'02.66"
4	64	00°08'34.84"	52°56'20.04"
5	64	00°07'46.69"	52°40'33.34"
6	64	00°09'06.16"	52°31'40.46"
7	64	00°19'31.64"	52°31'31.11"
8	49	00°16'07.11"	52°48'10.86"
9	49	00°08'11.71"	52°30'30.16"
10	49	00°24'33.11"	52°34'20.15"
11	49	00°31'24.39"	52°38'02.92"
12	49	00°38'43.95"	52°44'38.11"
13	49	00°44'07.65"	52°50'18.22"
14	49	00°28'54.09"	52°52'42.69"
15	49	00°53'51.56"	52°47'23.69"
16	49	00°48'21.03"	52°31'16.17"
17	49	00°38'53.60"	52°34'51.49"
18	50	00°46'34.06"	52°21'02.78"
19	50	00°40'45.80"	51°50'32.16"
20	50	00°37'41.55"	51°45'44.96"
21	50	00°33'26.27"	51°58'52.24"
22	50	00°37'06.30"	51°12'12.20"
23	50	00°18'35.75"	51°08'36.78"
24	50	00°15'21.74"	52°11'07.61"
25	50	00°02'12.78"	51°29'28.41"
26	50	00°09'43.40"	52°09'47.66"
27	50	00°37'45.31"	51°01'49.87"
28	50	00°06'37.43"	51°00'30.94"
29	50	00°02'55.31"	51°42'57.28"
30	50	00°09'08.63"	51°34'34.74"
31	50	00°13'02.55"	51°34'18.00"
32	50	00°44'25.67"	51°35'13.20"
33	50	00°41'35.63"	51°22'44.07"
34	50	00°14'37.08"	51°22'27.23"
35	50	00°27'05.98"	51°47'39.75"
36	50	00°19'22.88"	51°53'24.24"

(continua)

## Conclusão

	50	00°15'33.72"	51°48'13.19"
38	50	00°24'51.39"	51°32'11.20"
39	50	00°19'20.56"	51°41'52.71"
40	65	00°12'43.21"	52°27'04.12"
41	65	00°02'09.71"	51°55'43.42"
42	65	00°10'20.21"	51°46'07.68"
43	65	00°16'45.48"	51°36'15.81"
44	65	00°16'30.09"	52°10'26.42"
45	65	00°28'27.02"	52°03'45.27"
46	65	00°26'10.46"	52°17'17.20"
47	65	00°34'24.88"	52°08'30.68"
48	65	00°32'17.61"	51°32'51.25"
49	65	00°37'24.16"	51°36'32.06"
50	65	00°45'08.41"	51°37'00.66"
51	65	00°17'14.08"	52°01'18.04"
52	65	00°07'43.22"	51°40'45.01"
53	65	00°08'39.94"	51°30'58.10"
54	65	00°36'07.89"	51°46'11.80"
55	50	00°46'46.61"	52°10'32.55"

## APÊNDICE B

### PROGRAMA PARA A GERAÇÃO DAS IMAGENS "GREENNESS" E "BRIGHTNESS"

```

! model program to calculate TM greenness and brightness images
!
! get input parameters
! INPUT "Enter output channel for greenness : " %gm ;
! INPUT "Enter output channel for brightness : " %brt ;
! INPUT "Enter gain,offset values for band 1 : " #g1,#o1
! INPUT "Enter gain,offset values for band 2 : " #g2,#o2
! INPUT "Enter gain,offset values for band 3 : " #g3,#o3
! INPUT "Enter gain,offset values for band 4 : " #g4,#o4
! INPUT "Enter gain,offset values for band 5 : " #g5,#o5
! INPUT "Enter gain,offset values for band 7 : " #g7,#o7
! INPUT "Enter solar zenith for acquisition : " #szen;
!
#szen = 42; (angulo solar zenital particular de cada imagem TM)
!
! Gains and Offsets hardwired for Landsat 5
#o1 = -1.520;
#o2 = -2.840;
#o3 = -1.170;
#o4 = -1.151;
#o5 = -0.370;
#o7 = -0.150;
#g1 = 0.6024;
#g2 = 1.1751;
#g3 = 0.8058;
#g4 = 0.8145;
#g5 = 0.1081;
#g7 = 0.0570;
!
! calculate sun angle factor - cos(40)/cos(s_zen)
! and multiply by gain before using in equation
!
#sunfact = cos(40.0/57.29578)/cos(#szen/57.29578);
#g1 = #g1 * #sunfact;
#g2 = #g2 * #sunfact;
#g3 = #g3 * #sunfact;
#g4 = #g4 * #sunfact;
#g5 = #g5 * #sunfact;
#g7 = #g7 * #sunfact;
!
! calculate greenness and brightness
!
%7 = ( ((%1 * #g1 + #o1) * -.2848) + ((%2 * #g2 + #o2) * -.2435) +

```



$$((\%3 * \#g3 + \#o3) * -.5436) + ((\%4 * \#g4 + \#o4) * .7243) +$$
$$((\%5 * \#g5 + \#o5) * .0840) + ((\%6 * \#g7 + \#o7) * -.1800) + 100.5);$$

!

$$\%8 = ( ((\%1 * \#g1 + \#o1) * .3037) + ((\%2 * \#g2 + \#o2) * .2793) +$$
$$((\%3 * \#g3 + \#o3) * .4743) + ((\%4 * \#g4 + \#o4) * .5585) +$$
$$((\%5 * \#g5 + \#o5) * .5082) + ((\%6 * \#g7 + \#o7) * .1863) + 0.5);$$

!

## APÊNDICE C

## PROGRAMA PARA A CRIAÇÃO DAS MÁSCARAS SOBRE OS ALVOS CLAROS E ESCUROS DA IMAGEM REFERÊNCIA E DA IMAGEM A SER RETIFICADA

```

10 rem
20 rem          TARSEL.EAS
30 rem
40 rem  A procedure to interactively sets thresholds for creating
45 rem  target masks and iterates by control of the user until a
46 rem  sufficient set of targets have been obtained
60 rem
70 rem  jaime 1/20/95
80 rem
90 local #gchan,#bchan,#g1,#g2,#b1,#b2,#gmask,#bmask,#targets
92 local #tmp,#aseg
93 local $keep,$which,$redo,$ans
95 p "This procedure allows the user to iteratively select thresholds"
96 p "for creating masks using both THR and BLO. Procedure expects "
97 p "that you have imgworks running and that you have greenness and"
98 p "brightness loaded into image planes and that at least 3 graphics"
99 p "planes are available. Any necessary masks for clouds, etc. are "
100 p "assumed to exist and the user will be prompted for the Seg. #"
100 $redo = "false"
101 print " "
110 ask "Enter file name > " file
112 input "Enter channel for greenness > " #gchan
113 input "Enter channel for brightness > " #bchan
124 rem *** beginning of loop for target selection ***
125 p " "
126 print "*** Load parameters for greenness mask *** "
130 ask "Enter mask name (for DBSN) > " dbsn
133 ask "Enter description (for DBSD) > " dbsd
135 input "Enter target thresholds for greenness > " #g1,#g2
136 dbiw =
137 dbic = #gchan
140 dbob =
150 tval = #g1,#g2
152 r thr
156 #gmask = lasc(1)
159 dbib = #gmask
160 vdob = 2
165 r ivb
169 if ($which = "g") or ($which = "G") goto 249
170 p " "
175 print "*** Load parameters for brightness mask ***"
180 ask "Enter mask name (for DBSN) > " dbsn

```

```

185 ask "Enter description (for DBSD) > " dbsd
190 input "Enter target thresholds for brightness > " #b1,#b2
195 dbic = #bchan
200 dbob =
216 tval = #b1,#b2
218 r thr
220 #bmask = lasc(1)
232 dbib = #bmask
235 vdob = 3
247 r ivb
249 p " "
250 print "**** Perform logical AND of grns and brtns masks ****"
260 p " segments ",#gmask," and ",#bmask
261 ask "Enter mask name (for DBSN) > " dbsn
262 ask "Enter description (for DBSD) > " dbsd
263 input "Additional bitmaps to AND with the targets? [y/n] > " $ans
265 if ($ans = "y") or ($ans = "Y") goto 270 \ goto 273
270 input "Enter Seg # of image mask > " #aseg
273 dbib = #bmask,#gmask \ logfunc = "AND" \ dbob =
275 r blo
280 case ($ans) "Y";282 , "y";282, "N";293, "n";293
282 #tmp = lasc(1)
284 p "executing additional BLO run with mask "
285 dbib = #tmp,#aseg
290 r blo
293 dbsl=#tmp \ dasm="dele" \ r das
293 #targets = lasc(1)
294 dbib = #targets
295 vdob = 4
300 r ivb
304 print " the result of BLO is now in graphics plane 4 "
305 p " the following is a histogram showing the number of points"
310 dbic = #gchan\gmod="off"\cmmod="off"\pcmo="off"\report="term
313 mask=#targets\report="term
315 r his onerror goto 317 \ goto 323
317 p " "
318 p "bitmap does not exist or is empty, must redo input mask(s) "
320 p " "
321 goto 333
323 input " Do you wish to keep this mask or redo [k/r] > " $keep
325 if ($keep = "k") or ($keep = "K") goto 999
333 input " Redo grns, brtns, all? [g/b/a/Q] > " $which
335 if ($which = "a") or ($which = "A") goto 340
337 if ($which = "b") or ($which = "B") goto 370
338 if ($which = "g") or ($which = "G") goto 405
339 if ($which = "q") or ($which = "Q") goto 999
340 rem -----redo all masks
1     p "deleting segments ",#bmask,#gmask,#targets

```

```
1    dbsl = #bmask,#gmask,#targets
1    dasm = "DELE
1    r das
1    goto 125
360 rem -----redo brtns and BLO masks
1    p "deleting segments ",#bmask,#targets
1    dbsl = #bmask,#targets
1    dasm = "DELE
1    r das
1    goto 170
400 rem -----redo grns and BLO masks
1    p "deleting segments ",#gmask,#targets
1    dbsl = #gmask,#targets
1    dasm = "DELE
1    r das
1    goto 125
999 p " "
1010 P "Finished target selection .....or just fed up! "
1020 p " "
```

## APÊNDICE D

### PROCESSO DE RETIFICAÇÃO RADIOMÉTRICA

#### 1) Resultados do programa "TARSEL.EAS"

Imagem:			Nº:	
bandas	escuro		claro	
	intervalo	segmento	intervalo	segmento
greenness				
brightness				
intersecção	nome:		nome:	

#### 2) Resultados do Programa "HIS" do PCI

Bandas	Alvo Claro		Alvo Escuro	
	Média	D.Padrão	Média	D.Padrão
1				
2				
3				
4				
5				
7				



## APÊNDICE E

## DADOS DE ENTRADA PARA O PROGRAMA "MODEL" DO PCI

```

!
! RETIFICACAO DA IMAGEM LANDSAT TM 230-62 - REFERENCIA: TM 231-62
!
#br1 = 67.923;
#br2 = 32.336;
#br3 = 35.463;
#br4 = 67.216;
#br5 = 92.558;
#br7 = 27.999;
!
#dr1 = 52.313;
#dr2 = 15.619;
#dr3 = 11.842;
#dr4 = 5.684;
#dr5 = 0.705;
#dr7 = 0.094;
!
#bs1 = 67.196;
#bs2 = 32.314;
#bs3 = 35.234;
#bs4 = 70.861;
#bs5 = 84.745;
#bs7 = 23.584;
!
#ds1 = 52.513;
#ds2 = 18.832;
#ds3 = 16.356;
#ds4 = 12.624;
#ds5 = 5.992;
#ds7 = 0.733;
!
! BANDA 1
!
#m1 = (#br1 - #dr1)/(#bs1 - #ds1);
!
#b1 = (#dr1*#bs1 - #ds1*#br1)/(#bs1 - #ds1);
!
%9 = %1*#m1 + #b1;
!
! BANDA 2
!
#m2 = (#br2 - #dr2)/(#bs2 - #ds2);

```

```

!
#b2 = (#dr2*#bs2 - #ds2*#br2)/(#bs2 - #ds2);
!
%10 = %2*#m2 + #b2;
!
! BANDA 3
!
#m3 = (#br3 - #dr3)/(#bs3 - #ds3);
!
#b3 = (#dr3*#bs3 - #ds3*#br3)/(#bs3 - #ds3);
!
%11 = %3*#m3 + #b3;
!
! BANDA 4
!
#m4 = (#br4 - #dr4)/(#bs4 - #ds4);
!
#b4 = (#dr4*#bs4 - #ds4*#br4)/(#bs4 - #ds4);
!
%12 = %4*#m4 + #b4;
!
! BANDA 5
!
#m5 = (#br5 - #dr5)/(#bs5 - #ds5);
!
#b5 = (#dr5*#bs5 - #ds5*#br5)/(#bs5 - #ds5);
!
%13 = %5*#m5 + #b5;
!
! BANDA 7
!
#m7 = (#br7 - #dr7)/(#bs7 - #ds7);
!
#b7 = (#dr7*#bs7 - #ds7*#br7)/(#bs7 - #ds7);
!
%14 = %6*#m7 + #b7;
!
! FIM
!

```