



AUTORES / AUTHORS PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS

DADOS TM-LANDSAT
INUNDAÇÃO
BACIA DO PARNAÍBA

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY

Marco Antonio Reupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL / RESPONSIBLE AUTHOR

Teresa Gallotti Florenzano
Teresa G. Florenzano

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Madalena Niero Pereira
Madalena Niero Pereira

CDU/UDC

528.835:556.166

DATA / DATE

Maio 1988

TÍTULO / TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO INPE-4570-RPE/566
	UTILIZAÇÃO DE DADOS TM-LANDSAT PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO NA BACIA DO RIO PARNAÍBA
AUTORES / AUTHORSHIP	Teresa Gallotti Florenzano Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto Mário Valério Filho Evelyn M.L. Moraes Novo Hermann J.H. Kux

ORIGEM / ORIGIN

DPA

PROJETO / PROJECT

INUNDA/ANÁLISE AMBIENTAL

Nº DE PAG. / NO OF PAGES

60

ÚLTIMA PAG. / LAST PAGE

A.1

VERSÃO / VERSION

Nº DE MAPAS / NO OF MAPS

01

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Dados digitais e analógicos do TM-LANDSAT, referentes aos períodos de cheia e vazante, foram utilizados para identificar e mapear áreas submetidas à inundação na bacia do rio Parnaíba, setor compreendido entre sua foz e a cidade de Amarante. As imagens analógicas foram analisadas na forma de papel fotográfico, em preto e branco, bandas 3 e 4, na escala 1:100.000 e de transparências coloridas positivas, compostas com as bandas 5, 3 e 4, na escala 1:100.000. Através das imagens digitais (CCTs) foram obtidas composições coloridas multitemporais, multiespectrais e multitemporal-multiespectrais que serviram de suporte para a análise das imagens analógicas. Como resultado foram obtidas doze cartas temáticas na escala 1:100.000 com a indicação das áreas submetidas à inundação durante a cheia ocorrida em 1985.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

ABSTRACT

Digital and analogic TM-LANDSAT data, for both normal and flood discharge, were used to identify and map those areas subject to inundation along the floodplain of Rio Paranaíba (NE-Brazil) at its middle and lower section. Analogic images (b/w paper prints) at bands 3 and 4, scale 1:100.000, as well as positive color transparencies, band 3, 4, 5, scale 1:100.000, were analysed. Using CCT's, multispectral, multitemporal and multitemporal-multispectral color composites were obtained, in order to complement the analysis of analogic data. The result of this study is a set of 12 thematic maps, at 1:100.000, showing up those floodplain sections that underwent inundation during the flood of 1985.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODO</u>	3
2.1 - Área de estudo	3
2.2 - Material	5
2.2.1 - Dados TM-LANDSAT	5
2.2.2 - Cartas topográficas	5
2.2.3 - Sistemas de Análise de imagens digitais	5
2.2.4 - Projetor - ampliador PROCOM-2	5
2.3 - Método	6
2.3.1 - Seleção dos dados TM-LANDSAT	6
2.3.2 - Processamento digital das imagens TM-LANDSAT	10
2.3.3 - Análise visual dos dados TM - elaboração das cartas de áreas submetidas à inundação	14
<u>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS</u>	17
3.1 - Processamento digital das imagens TM-LANDSAT	17
3.1.1 - Realçamento de imagens	17
3.1.2 - Composições coloridas multiespectrais	31
3.1.3 - Composições coloridas multitemporais	37
3.1.4 - Composições coloridas multitemporal-multiespectrais	40
3.2 - Interpretação de imagens analógicas TM-LANDSAT	42
<u>CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES</u>	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÊNDICE A - CARTA DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Localização da área de estudo	4
2.2 - Diagrama de fluxo de atividades	9
2.3 - Localização dos módulos submetidos a processamento digital	12
3.1 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, sem realçamento, situação de vazante	19
3.2 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 4, sem realçamento, situação de vazante	20
3.3 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 5, sem realçamento, situação de vazante	21
3.4 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, realçada por ampliação linear de contraste, situação de vazante	22
3.5 - Histograma de níveis de cinza, da banda 4, realçada por ampliação linear de contraste, situação de vazante	23
3.6 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, sem realçamento, situação de cheia	24
3.7 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 4, sem realçamento, situação de cheia	25
3.8 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 5, sem realçamento, situação de cheia	26
3.9 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, realçada por ampliação linear de contraste, situação de cheia	27
3.10 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 4, realçada por ampliação linear de contraste, situação de cheia	28
3.11 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 5, realçada por ampliação linear de contraste, situação de cheia	29
3.12 - Imagem TM da banda 3 sem realçamento, módulo de Parnaíba, período de cheia	30
3.13 - Imagem TM da banda 3 com realçamento, módulo de Parnaíba, situação de cheia	30
3.14 - Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho), para a situação de vazante, módulo de Parnaíba	33
3.15 - Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho), para a situação de cheia, módulo de Parnaíba	33

3.16 - Composição colorida multiespectral TM7 (azul), TM5 (verde) e TM4 (vermelho), para a situação de cheia, módulo de Parnaíba	34
3.17 - Composição colorida multiespectral TM5 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho), para a situação de cheia, módulo de Parnaíba	34
3.18 - Composição colorida multiespectral TM3 (azul), TM5 (verde) e TM4 (vermelho), para a situação de cheia, módulo de Parnaíba	35
3.19 - Curvas de comportamento espectral de alvos e bandas TM-LANDSAT	36
3.20 - Imagem da banda 4, período de vazante, módulo de Parnaíba, realçada por ampliação linear de contraste	38
3.21 - Imagem da banda 4, período de cheia, módulo de Parnaíba, realçada por ampliação linear de contraste	39
3.22 - Composição colorida multitemporal obtida pela superposição das bandas 4 dos períodos de cheia e vazante, módulo de Parnaíba, associadas às cores cian e vermelho, respectivamente	39
3.23 - Procedimento de obtenção de composição colorida multitemporal (adaptado de Eyton, 1983)	40
3.24 - Composição multitemporal-multiespectral, para o módulo de Parnaíba, obtida a partir das bandas 1 e 4 do período de cheia e banda 4 da vazante, associadas às cores azul, verde e vermelho, respectivamente	41
3.25 - Escala de níveis de cinza das imagens TM-LANDSAT	43

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Especificação dos dados TM-LANDSAT utilizados	8
2.2 - Composições coloridas multiespectrais (associação de bandas TM-LANDSAT com cores)	11
2.3 - Composições coloridas multitemporais	13
2.4 - Composições coloridas multitemporal-multiespectrais	13

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta a metodologia e os resultados alcançados no projeto desenvolvido em cooperação técnica com o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), no que se refere à identificação de áreas submetidas à inundação através de dados orbitais do LANDSAT.

Este trabalho foi desenvolvido em uma seção da bacia do rio Parnaíba, que compreende todo o setor a jusante da cidade de Amarante, o qual foi submetido a um significativo processo de inundação, ocorrido no período de março a maio de 1985. A seleção deste setor da bacia do rio Parnaíba justifica-se também pela presença de expressivas áreas de planície aluvial ao longo daquele canal fluvial, ampliadas nas proximidades da foz de alguns tributários principais. Também este setor representa importante área de ocupação antrópica, como pode ser verificado através da presença de centros urbanos, destacando-se as cidades de Teresina e Parnaíba.

O trabalho foi realizado utilizando imagens TM-LANDSAT dos períodos de cheia e de vazante, considerando suas características multiespectrais e multitemporais proporcionadas por aquele sistema orbital de sensoriamento remoto.

Os dados dos satélites da série LANDSAT têm sido utilizados para a detecção de eventos de inundação através do acompanhamento da variação da lâmina d'água e as suas marcas deixadas na superfície. Neste sentido diversos trabalhos foram desenvolvidos, podendo-se exemplificar os publicados por Halberg et alii (1973), Currey (1977), Deutsch e Ruggles (1978), Kruus et alii (1979), Novo e Santos (1981), Novo et alii (1981), Novo (1983), Eyton (1983), Brooner e Binaghi (1983), Niero et alii (1984) e Pinto et alii (1985).

Deve-se salientar que todos esses trabalhos mencionados referem-se à utilização de dados obtidos do sensor MSS que operou a bordo dos LANDSAT 1 a 4. De um modo geral esses trabalhos têm dado ênfase ao acompanhamento da variação da lâmina d'água utilizando informações coletadas através de imagens analógicas e de fitas compatíveis com computador (CCTs), comparando-se as condições de cheia e vazante. Neste particular o trabalho de Deutsch e Ruggles (1978) sugere uma inovação através da superposição de imagens analógicas temporais, em transparências, para detectar as mudanças ocorridas nos eventos de inundação.

Por sua vez, os trabalhos de Novo (1983) e Niero et alii (1984) apresentam modificação à abordagem de Deutsch e Ruggles (1978) ao utilizarem superposição temporal e multiespectral de imagens digitais (CCTs) para analisar problemas de inundação em setores dos rios Paraná e Amazonas, respectivamente.

Neste trabalho, o fato de terem sido utilizados dados TM-LANDSAT representa uma maior potencialidade de detecção de áreas submetidas à inundação, uma vez que os produtos gerados por este sistema sensor apresentam melhor resolução geométrica (30 metros), e são obtidos em 7 bandas espectrais, o que aumenta de forma significativa a quantidade de informações coletadas sobre os alvos imageados.

CAPÍTULO 2

MATERIAL E MÉTODO

2.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o setor do vale do rio Parnaíba, que se estende de Amarante (PI) até sua foz, na divisa do litoral do Maranhão com o Piauí (Figura 2.1).

A bacia hidrográfica do rio Parnaíba está inserida na unidade geológica denominada bacia sedimentar do Parnaíba ou do Piauí-Maranhão, seqüência de depósitos sedimentares paleozóicos de origem marinha, litorânea e continental. As formas de relevo desenvolvidas nessa área pertencem ao domínio morfoclimático de transição entre a caatinga do nordeste semi-árido e o amazônico úmido, de terras baixas e florestas equatoriais (Mabessone, 1978).

O Parnaíba pela sua magnitude e condição de rio perene atuou como importante eixo do povoamento ao longo do qual foram surgindo vários núcleos populacionais, destacando-se os centros urbanos de Teresina e Parnaíba.

Numa região caracterizada principalmente pela vegetação de cerrado e de babaçu e pelo predomínio de solos de baixa condição de fertilidade, particularmente no Estado do Piauí, a planície aluvial do rio Parnaíba desempenha um papel importante nas atividades agrícolas da área, predominantemente agropastoril extrativa (Melo, 1983), a medida que concentra os solos de maior fertilidade, renovada pelas inundações periódicas.

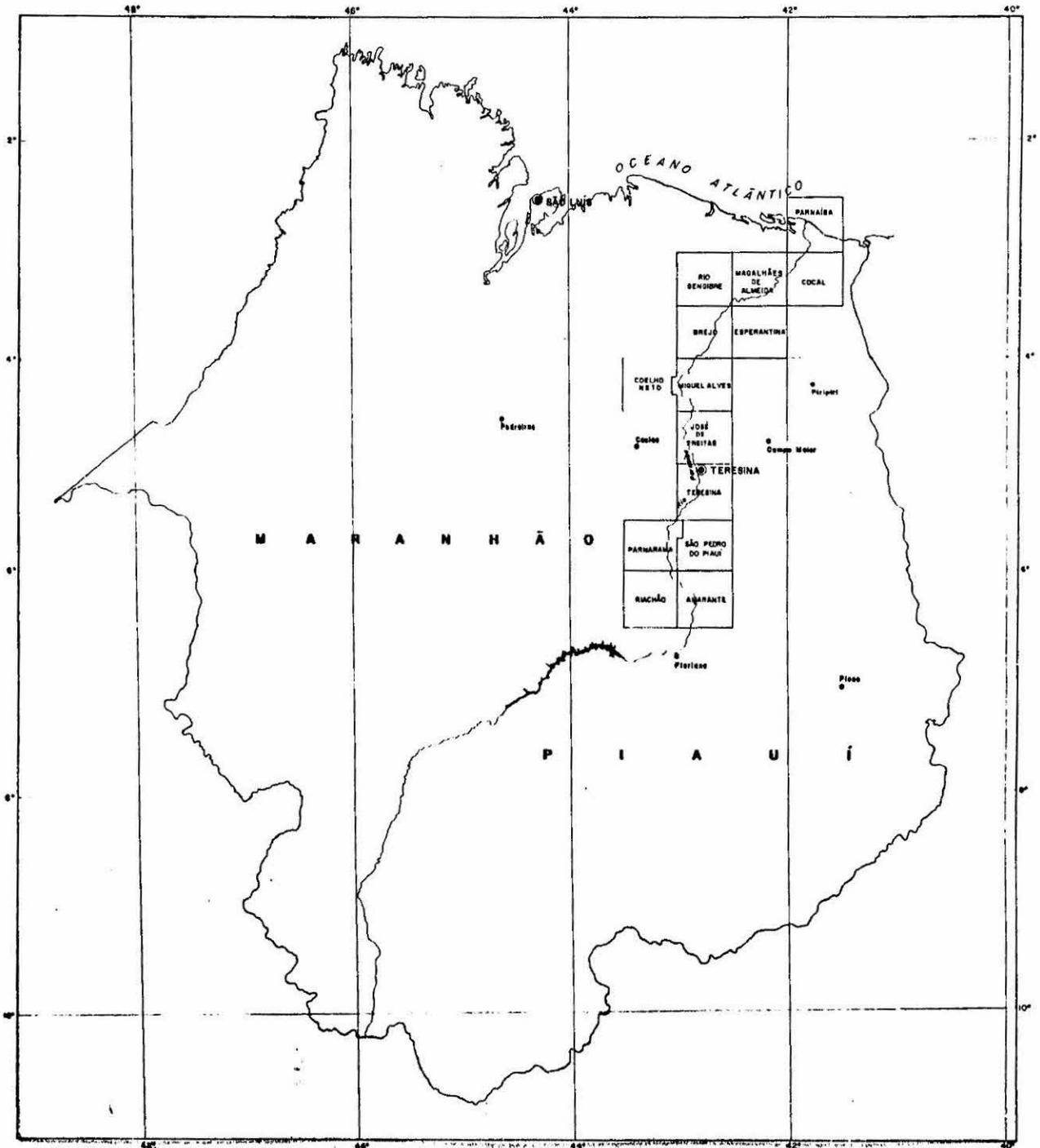


Fig. 2.1 - Localização da área de estudo.

2.2 - MATERIAL

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados os materiais relacionados a seguir.

2.2.1 - DADOS TM-LANDSAT

Os dados TM-LANDSAT foram adquiridos através de imagens em preto e branco, em papel fotográfico, nas bandas 3 (vazante) e 4 (cheia e vazante), na escala 1:100.000; em transparências coloridas positivas, na escala 1:1.000.000; em fitas compatíveis com computador (CCTs).

Na Tabela 2.1 encontram-se especificados os dados TM-LANDSAT utilizados neste trabalho.

2.2.2 - CARTAS TOPOGRÁFICAS

Foram utilizadas cartas topográficas, na escala 1:100.000, publicadas pela DSG, FOLHAS: PARNAÍBA; COCAL; MAGALHÃES DE ALMEIDA; RIO GENGIBRE, ESPERANTINA; BREJO; MIGUEL ALVES; COELHO NETO; JOSÉ DE FREITAS; TERESINA; PARNARAMA; SÃO PEDRO DO PIAUÍ; RIACHÃO; AMARANTE.

2.2.3 - SISTEMAS DE ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS

O processamento digital dos dados TM-LANDSAT (CCTs) foi realizado através dos sistemas analisadores de imagens digitais, disponíveis no INPE em São José dos Campos: IMAGE-100 e SITIM, este último disponível também no laboratório regional do INPE em Campina Grande.

2.2.4 - PROJETOR - AMPLIADOR PROCOM-2

O projetor-amplificador PROCOM-2 da Gregory Geoscience LIMITED, disponível no INPE em São José dos Campos, foi utilizado para a projeção e ampliação das transparências coloridas positivas para a escala 1:100.000.

2.3 - MÉTODO

A metodologia utilizada neste trabalho foi fundamentada nos estudos realizados por Deutsch e Ruggles Jr. (1978); Kruus et alii (1979); Novo e Santos (1981); Novo et alii (1981); Eyton (1983); Novo (1983); Niero et alii (1984); Pinto et alii (1985) e encontra-se esquematizada na Figura 2.2.

2.3.1 - SELEÇÃO DOS DADOS TM-LANDSAT

O sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT-5 (lançado em março de 1984), opera simultaneamente em 7 bandas espectrais, com um campo de visada instantânea ou resolução espacial equivalente a 30m (bandas do visível e infravermelho refletido) e 120m (banda do infravermelho termal) no terreno, e uma repetitividade de imageamento de 16 dias.

Tendo em vista a disponibilidade de dados do TM em 7 bandas espectrais, optou-se pela utilização dos seguintes dados:

- a) TM 1 (0,45-0,52 μ m) é uma banda que permite a detecção de áreas atingidas pela inundação através dos depósitos nelas deixados. Tais depósitos constituídos de areia e seixos permanecem sobre a vegetação graminóide e/ou herbácea durante um longo tempo e produzem um padrão de reflexão elevado na região do azul/verde.
- b) TM 2 (0,52-0,60 μ m) é uma banda alternativa para a detecção de tais depósitos marginais, uma vez que o TM 1 é mais sujeito à interferência atmosférica, o que eventualmente poderia provocar uma redução de contraste entre áreas inundadas e não-inundadas.
- c) TM 3 (0,63-0,69 μ m) é uma banda que apresenta alto contraste entre áreas vegetadas e áreas não vegetadas, as quais permitem a identificação de áreas de solo exposto, cidades, edificações rurais, estradas, estas informações são necessárias ao tratamento cartográfico da informação.

- d) TM 4 (0,76-0,90 μ m) corresponde à região onde há uma elevada atenuação da radiação eletromagnética pela água e/ou umidade superficial contida nos solos, ao mesmo tempo em que há uma alta reflexão de energia por parte da vegetação. Desta maneira, esta banda espectral pode ser utilizada para delimitar as áreas submersas na data da passagem do satélite. É interessante observar que nesta banda a vegetação afetada pela inundação terá também uma redução da reflectância em relação àquela não afetada.
- e) TM 5 (1,55-1,75 μ m) corresponde à banda em que há absorção de energia pela água foliar. Supõe-se que nas áreas afetadas pelas enchentes haja o arraste de culturas, plantas, árvores, o que provocaria o seu murchamento e morte. Desta maneira, nesta banda poder-se-iam identificar áreas em que a vegetação foi destruída sob ação da inundação.
- f) TM 7 (2,08-2,35 μ m) pode contribuir com informações referentes à umidade retida pelo material argiloso depositado na superfície do solo, que pode ocorrer em setores da planície de inundação.

A opção pelos tipos de combinações de bandas e cores indicadas na Tabela 2.1, para as transparências coloridas positivas, foi feita com base em alguns testes preliminares com imagens digitais e devido ao fato de que esses tipos de composições coloridas têm sido os mais utilizados em diferentes áreas de aplicação.

A área de estudo foi atingida pelas cheias do final de abril a meados de maio de 1985 com um espraiamento das águas em torno de 2km em média, o que viabiliza a detecção das áreas afetadas através de dados de sensoriamento remoto em nível orbital. Nesta área houve uma permanência da lâmina d'água fora do leito do rio durante um mês, em média, o que aumentou a probabilidade de detectar as áreas atingidas pelas enchentes.

TABELA 2.1

ESPECIFICAÇÃO DOS DADOS TM-LANDSAT UTILIZADOS

FORMATO	ÓRBITA	PONTO	QUADRANTE	BANDAS	ESCALA	DATA
IMAGENS EM PRETO E BRANCO (PA PEL FOTÓ GRÁFICO)	219	62	E	4	1:100.000	31/05/85
	219	62	E	3,4	1:100.000	06/08/86
	219	62	C	4	1:100.000	31/05/85
	219	62	C	3,4	1:100.000	06/08/86
	219	63	A	4	1:100.000	31/05/85
	219	63	A	3,4	1:100.000	06/08/86
	219	63	C	4	1:100.000	16/06/85
	219	63	C	3,4	1:100.000	06/08/86
	219	64	A	4	1:100.000	16/06/85
	219	64	A	3,4	1:100.000	06/08/86
	219	64	C	4	1:100.000	16/06/85
	219	64	C	3,4	1:100.000	06/08/86
* TRANSPA RÊNCIAS COLORIDAS POSITIVAS	219	62	CENA	2,3 e 4	1:1.000.000	31/05/85
	219	62	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	31/05/85
	219	62	CENA	2,3 e 4	1:1.000.000	06/08/86
	219	62	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	06/08/86
	219	63	CENA	2,3 e 4	1:1.000.000	31/05/85
	219	63	CENA	2,3 e 4	1:1.000.000	16/06/85
	219	63	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	31/05/85
	219	63	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	16/06/85
	219	63	ÇENA	2,3 e 4	1:1.000.000	06/08/86
	219	63	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	06/08/86
	219	64	CENA	2,3 e 4	1:1.000.000	16/06/85
	219	64	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	16/06/85
	219	64	CENA	2,3 e 4	1:1.000.000	06/08/86
	219	64	CENA	5,3 e 4	1:1.000.000	06/08/86
IMAGENS DIGITAIS (CCTs)	219	62	E	1,2,3,4,5e7	-	31/05/85
	219	62	E	1,2,3,4,5e7	-	06/08/86
	219	63	W	1,2,3,4,5e7	-	31/05/85
	219	63	W	1,2,3,4,5e7	-	06/08/86
	219	64	A	1,2,3,4,5e7	-	16/06/85
	219	64	A	1,2,3,4,5e7	-	06/08/86

- * - Composição colorida com as bandas 2, 3 e 4 associadas às cores azul, verde e vermelho, respectivamente;
- Composição colorida com as bandas 5, 3 e 4 associadas às cores azul, verde e vermelho, respectivamente.

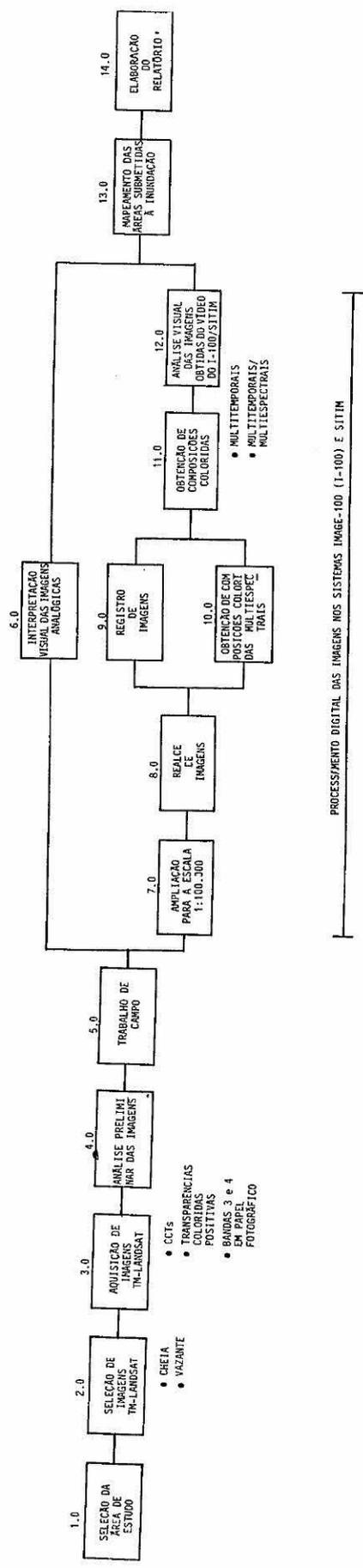


Fig. 2.2 - Diagrama de fluxo de atividades.

Em função disso e da disponibilidade dos dados TM-LANDSAT, foram selecionadas imagens de 31.05.85 e de 16.06.85 para a análise do período de cheia.

Segundo dados fluviométricos (BRASIL-MME-DNAEE, 1980) para a análise do período correspondente aos fluxos de vazante, os meses mais adequados para a seleção das imagens TM-LANDSAT seriam setembro-outubro. Entretanto, devido à qualidade dos dados desse período (problemas de cobertura de nuvens), foram selecionadas imagens de 06.08.86.

2.3.2 - PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS TM-LANDSAT

As imagens digitais adquiridas em fitas compatíveis com computador (CCT's), referentes ao período de vazante (06.08.86) e ao período de cheia (31.05.85 e 16.06.85), foram submetidas a processamento digital através dos sistemas analisadores de imagens digitais: IMAGE-100 e SITIM.

Inicialmente foram selecionados 8 módulos (Figura 2.3) correspondentes a segmentos representativos da área de estudo, de aproximadamente 200km² cada.

Esses módulos foram ampliados para a escala aproximada de 1:50.000. Após este procedimento foram aplicadas técnicas de realce (ampliação linear de contraste) e registro (superposição) de imagens.

A técnica de ampliação linear de contraste consiste basicamente em aplicar à imagem original uma transformação matemática (equalização) que expanda o intervalo original de informações para toda a escala de níveis de cinza disponíveis, aumentando a variância dos dados e, conseqüentemente, o contraste da imagem (Florenzano, 1986).

Para a aplicação da técnica de constraste linear, é fornecido pelo analista, com base no histograma da imagem, o intervalo de níveis de cinza, ou seja, os níveis de cinza mínimo e máximo considerados na imagem. Estes níveis de cinza, mínimo e máximo, são transformados

respectivamente em zero e 255, sendo todos os demais níveis de cinza da imagem distribuídos linearmente entre zero e 255.

Com base nos histogramas das imagens, foram selecionados, por banda, os intervalos de níveis de cinza (limite inferior e superior) e foi aplicada a técnica de realce por ampliação linear de contraste.

A partir das imagens (bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7) realçadas por ampliação linear de contraste, foram obtidas composições coloridas multiespectrais com diferentes combinações de bandas e associações de cores, como indica a Tabela 2.2.

TABELA 2.2

COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTIESPECTRAIS
(ASSOCIAÇÃO DE BANDAS TM-LANDSAT COM CORES)

AZUL	VERDE	VERMELHO
TM 1	TM 2	TM 3
TM 1	TM 3	TM 4
TM 1	TM 5	TM 7
TM 2	TM 3	TM 4
TM 2	TM 5	TM 4
TM 2	TM 7	TM 4
TM 3	TM 1	TM 4
TM 3	TM 4	TM 5
TM 3	TM 5	TM 4
TM 3	TM 7	TM 4
TM 5	TM 2	TM 4
TM 5	TM 3	TM 4
TM 5	TM 7	TM 4
TM 7	TM 2	TM 4
TM 7	TM 3	TM 4
TM 7	TM 5	TM 4

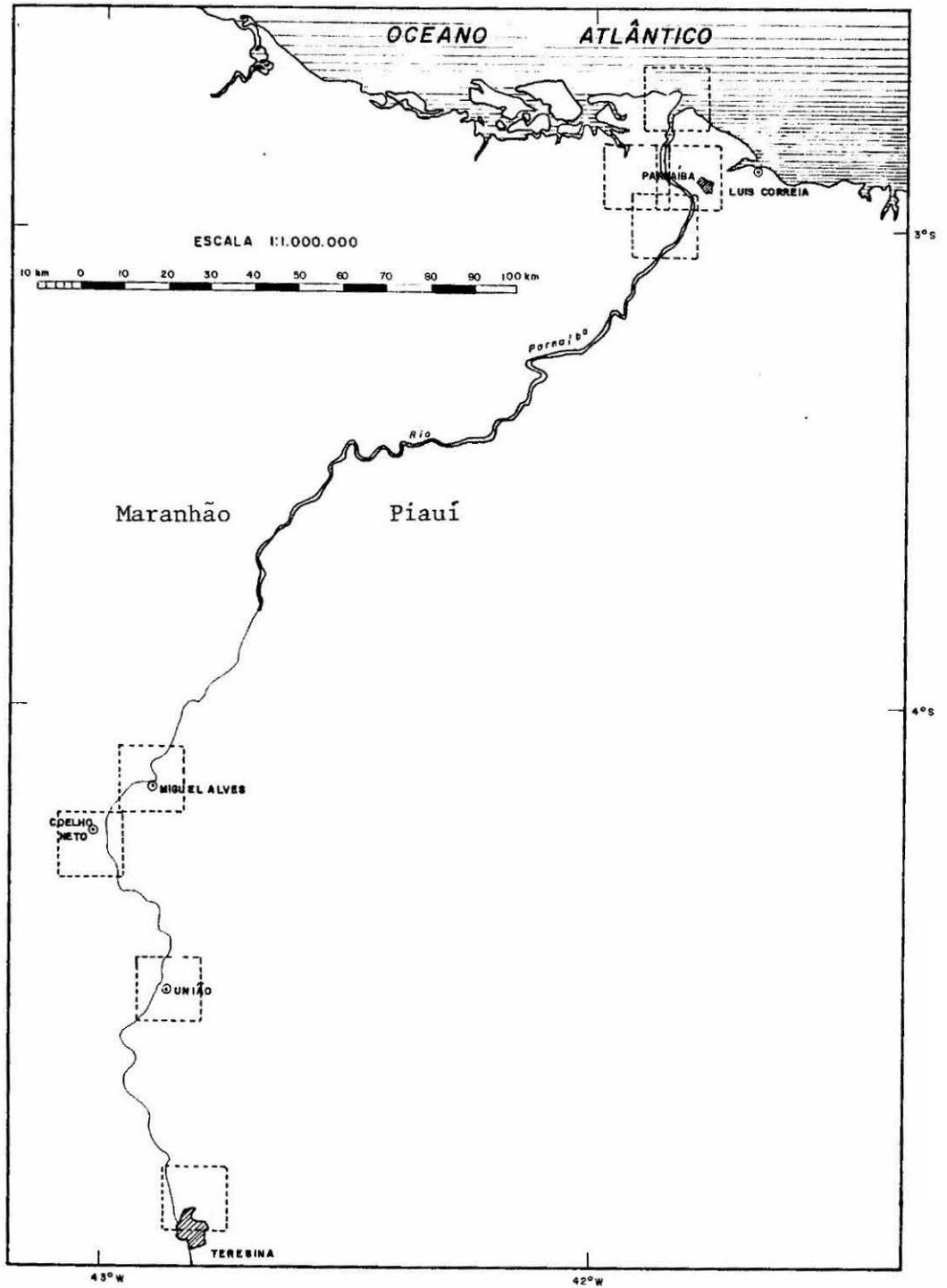


Fig. 2.3 - Localização dos módulos submetidos a processamento digital.

Através da utilização da técnica de registro de imagens (Eyton, 1983; Novo, 1983; Niero et alii, 1984), foram superpostas imagens das duas datas selecionadas (na mesma banda espectral) as quais associadas a cores permitiram a obtenção das composições coloridas multitemporais indicadas na Tabela 2.3.

TABELA 2.3

COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTITEMPORAIS

BANDAS \ CORES	1		2		4		5	
	CHEIA	VAZANTE	CHEIA	VAZANTE	CHEIA	VAZANTE	CHEIA	VAZANTE
AZUL	X		o		Δ		*	
VERDE	X		o		Δ		*	
VERMELHO		X		o		Δ		*

Os símbolos X, o, Δ e * indicam as associações de bandas com cores.

Foram obtidas ainda composições coloridas multitemporal-multiespectrais (Novo, 1983), combinando as bandas espectrais das duas datas selecionadas, associadas a diferentes cores (Tabela 2.4).

TABELA 2.4

COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTITEMPORAL-MULTIESPECTRAIS

BANDAS \ CORES	AZUL	VERDE	VERMELHO
4 (Vazante)	X	Δ	o
4 (Cheia)	Δ	o X	
1 (Cheia)	o		Δ X

Os símbolos X, Δ e o indicam as associações de bandas com cores.

2.3.3 - ANÁLISE VISUAL DOS DADOS TM - ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO

A elaboração das cartas temáticas referentes ao episódio de cheia ocorrida no período abril-maio de 1985, em setores da bacia do rio Parnaíba, foi conduzida tomando como base as informações coletadas a partir, principalmente, da análise interpretativa das imagens TM na banda 4. Foram selecionadas imagens para os períodos de cheia e vazante, conforme mostra a Tabela 2.1

A análise das imagens analógicas seguiu critérios de foto interpretação convencional, considerando entretanto as características espectrais dos dados TM-LANDSAT. Desta forma, a identificação e a delimitação das áreas submetidas à inundação foram conduzidas a partir da obsservação de classes de níveis de cinza específicas para as áreas atingidas pelos processos de cheia. A determinação destas classes teve como suporte a escala de níveis de cinza que acompanha os produtos fotográficos TM em preto e branco.

Com base na variação de níveis de cinza, na banda 4 das passagens do período de cheia, caracterizaram-se as áreas submetidas à inundação através de indicadores diretos e indiretos. A identificação direta foi conduzida a partir da presença da própria lâmina d'água e da umidade superficial ainda presentes em setores da planície aluvial do Parnaíba.

O critério indireto para identificar o tema em questão foi aplicado principalmente em imagens referentes à data mais distante do pico da cheia. Neste caso, adotou-se a análise de determinados elementos observáveis nas imagens que podem constituir indicadores da planície aluvial submetida à inundação. Estes elementos, textura, formas lineares, presença de pequenos corpos d'água lagunares marginais, em associação com níveis de cinza das imagens auxiliam a caracterização da extensão do evento de inundação no período considerado. Por outro lado, devido a problemas de cobertura de nuvens sobre alguns setores da planície aluvial, em imagens do período considerado como cheia, os limites da inunda

ção foram inferidos através da análise das imagens do período de vazante, com o apoio das cartas topográficas.

A interpretação das imagens da banda 4, em preto e branco, foi complementada através da análise das transparências coloridas positivas na escala 1:1.000.000, composições falsa-cor com as bandas TM-5 (azul), TM-3 (verde) e TM-4 (vermelho), e TM-2 (azul), TM-3 (verde) e TM-4 (vermelho), ampliadas para a escala 1:100.000 e ajustadas sobre as bases cartográficas da DSG, através do sistema PROCOM-2.

Deve-se mencionar que esta interpretação recebeu também o suporte de composições coloridas multiespectrais e multitemporais obtidas dos módulos da área de estudo submetidos ao processamento digital nos sistemas Imagem-100 e SITIM.

Como subsídio à interpretação preliminar dos dados LANDSAT, foi executado o trabalho de verificação de campo. Os dados de campo foram obtidos através de percursos terrestres, definidos no sentido de amostrar pontos representativos em função da interpretação preliminar. Também foram realizados sobrevôos como complemento às transecções terrestres.

Algumas informações complementares e de apoio cartográfico, como cidades e rodovias, foram obtidas a partir das imagens TM da banda 3 e das composições coloridas em transparências.

A partir da integração dos dados de interpretação preliminar e dados de apoio de campo, conduziu-se a análise final das imagens TM elaborando as cartas de áreas submetidas à inundação em 1985, na escala 1:100.000, as quais cobrem o setor selecionado da bacia do rio Parnaíba.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3.1 - PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS TM-LANDSAT

3.1.1 - REALÇAMENTO DE IMAGENS

Os dados TM-LANDSAT contidos nas fitas compatíveis com computador (CCT's) foram submetidos a processamento digital, nos sistemas Image-100 e SITIM, através de algoritmos implementados e disponíveis.

Inicialmente foram identificados módulos de interesse com apoio das cartas topográficas, nas cenas LANDSAT selecionadas, e apresentados na forma ampliada para a escala 1:50.000, no display do sistema Image-100. Estes módulos posicionam-se na área de estudo conforme apresentados na Figura 2.3.

Para exemplificação dos resultados obtidos com este procedimento, selecionou-se o módulo próximo à foz do canal fluvial principal, que contém a cidade de Parnaíba.

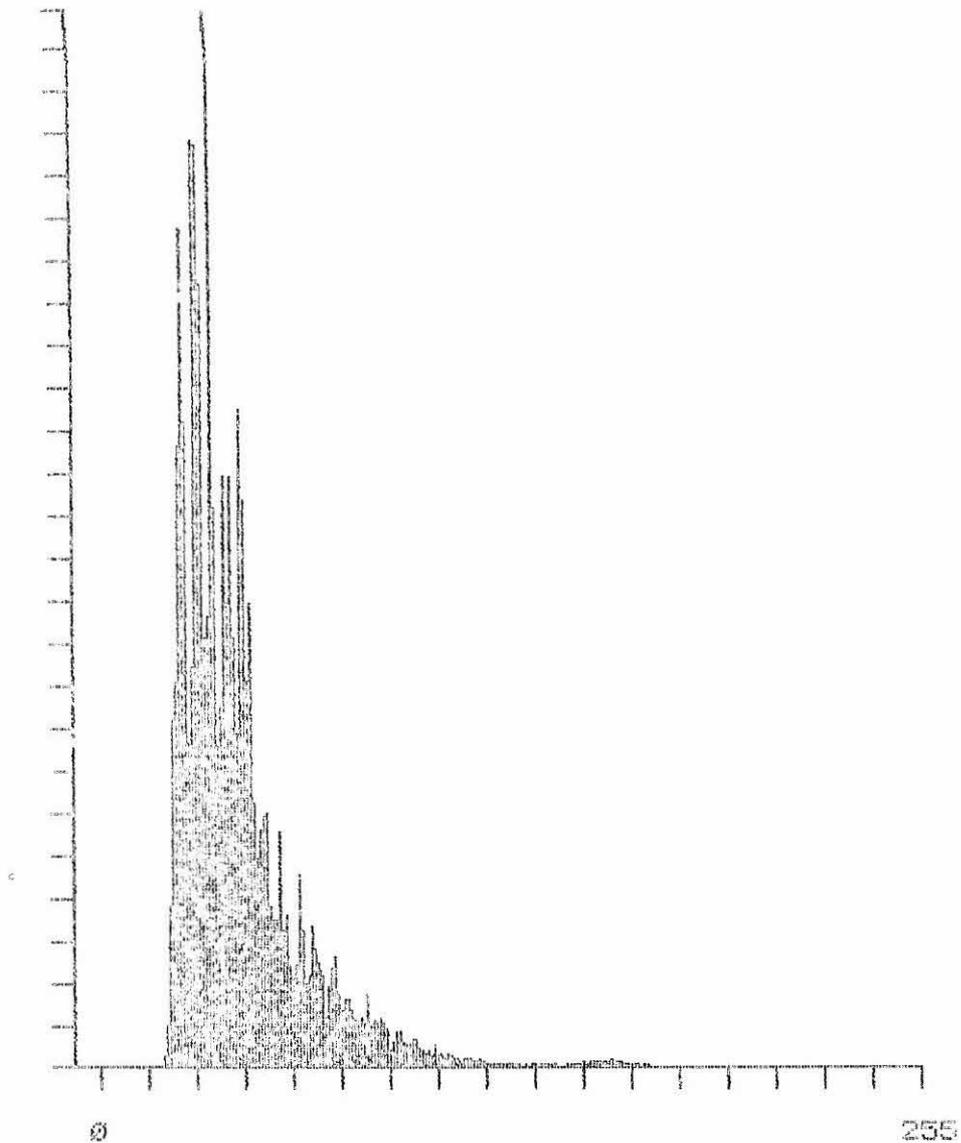
Após a ampliação do módulo para a escala aproximada de 1:50.000, os dados foram submetidos a um processamento para melhorar o aspecto da imagem, no sentido de maximizar diferenças de níveis de cinza e, em consequência, aumentar o poder de discriminação dos alvos contidos na cena. Neste contexto, optou-se por utilizar o algoritmo de ampliação linear de contraste, que consiste em uma modificação na qualidade da imagem com base na alteração dos histogramas das bandas espectrais analisadas.

O realçamento por ampliação linear de contraste considera a modificação dos histogramas de distribuição de níveis de cinza através da alteração dos seus limites inferior e superior, promovendo uma redistribuição dos níveis de cinza para toda a escala disponível (255 níveis).

Este procedimento encontra-se ilustrado nas Figuras 3.1 a 3.11 que mostram os histogramas das bandas 3, 4 e 5 do TM, referentes às situações de vazante e cheia do módulo de Parnaíba.

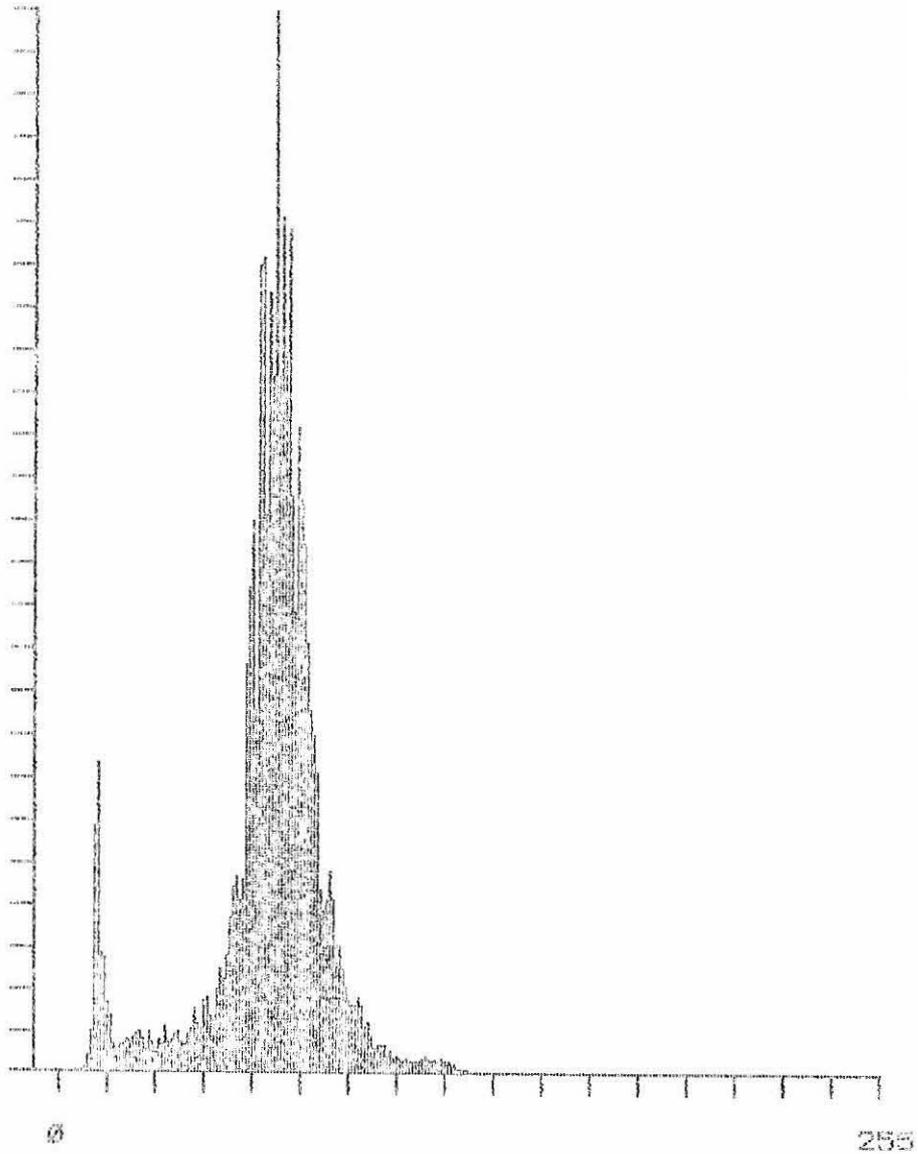
As Figuras 3.1 a 3.3 exemplificam os histogramas sem realçamento para as bandas 3, 4 e 5 da situação de vazante, enquanto as Figuras 3.4 e 3.5 referem-se às bandas 3 e 4, da mesma cena, submetidas ao realçamento linear de contraste. Para este caso, a imagem da banda 5 não foi realçada devido à melhor distribuição dos níveis de cinza, como pode ser observado pelo histograma da Figura 3.3. Os histogramas das bandas 3, 4 e 5, da situação de cheia analisada, encontram-se ilustrados, respectivamente, nas Figuras 3.6 a 3.8, sem realçamento, e nas Figuras 3.9 a 3.11, com realçamento.

O resultado visual da imagem realçada pode ser observado comparando as imagens da banda 3 do módulo de Parnaíba, período de cheia, mostradas nas Figuras 3.12 e 3.13, imagem sem e com contraste, respectivamente.



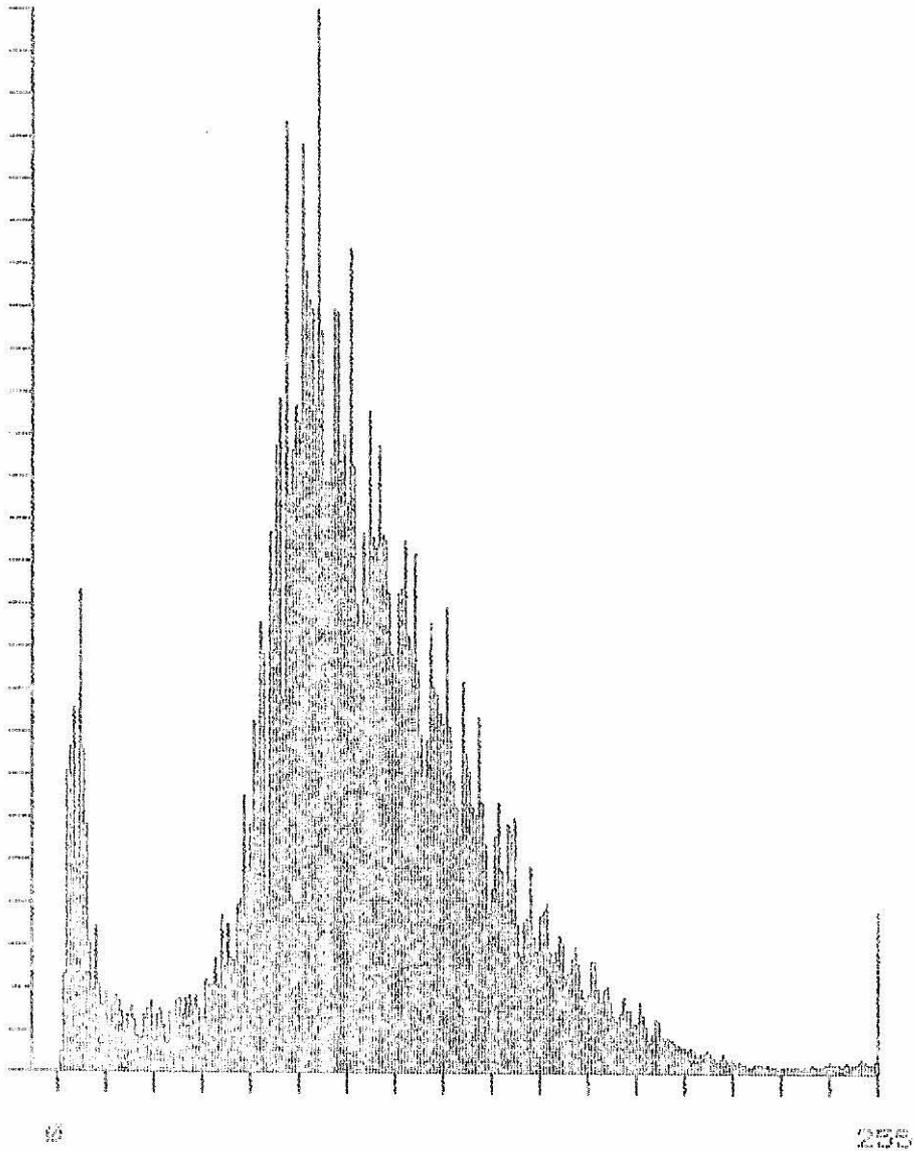
CANAL = 1
NIVEL MINIMO DE CINZA = 18
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 203
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 13632.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.1 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, sem realçamento, situação de vazante.



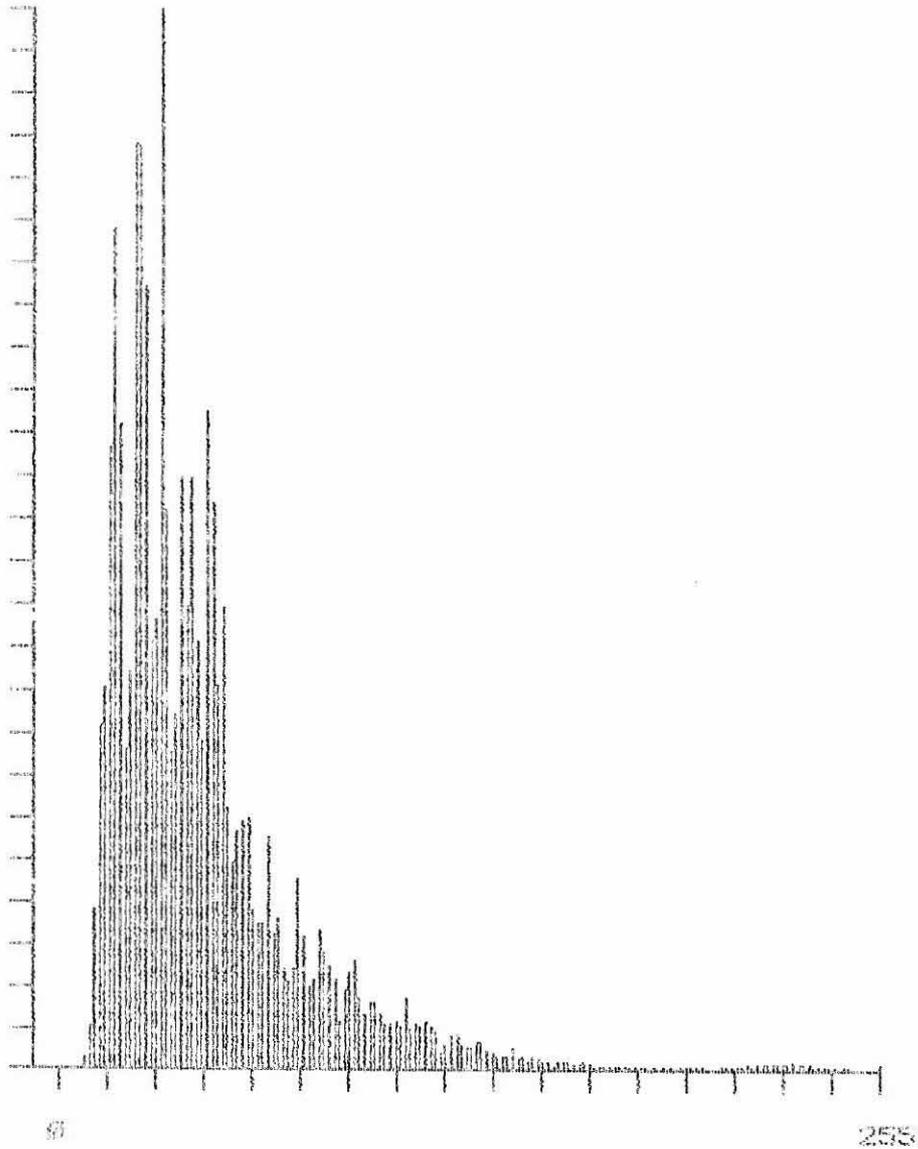
CANAL = 1
NIVEL MINIMO DE CINZA = 7
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 153
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 13456.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.2 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 4, sem realçamento, situação de vazante.



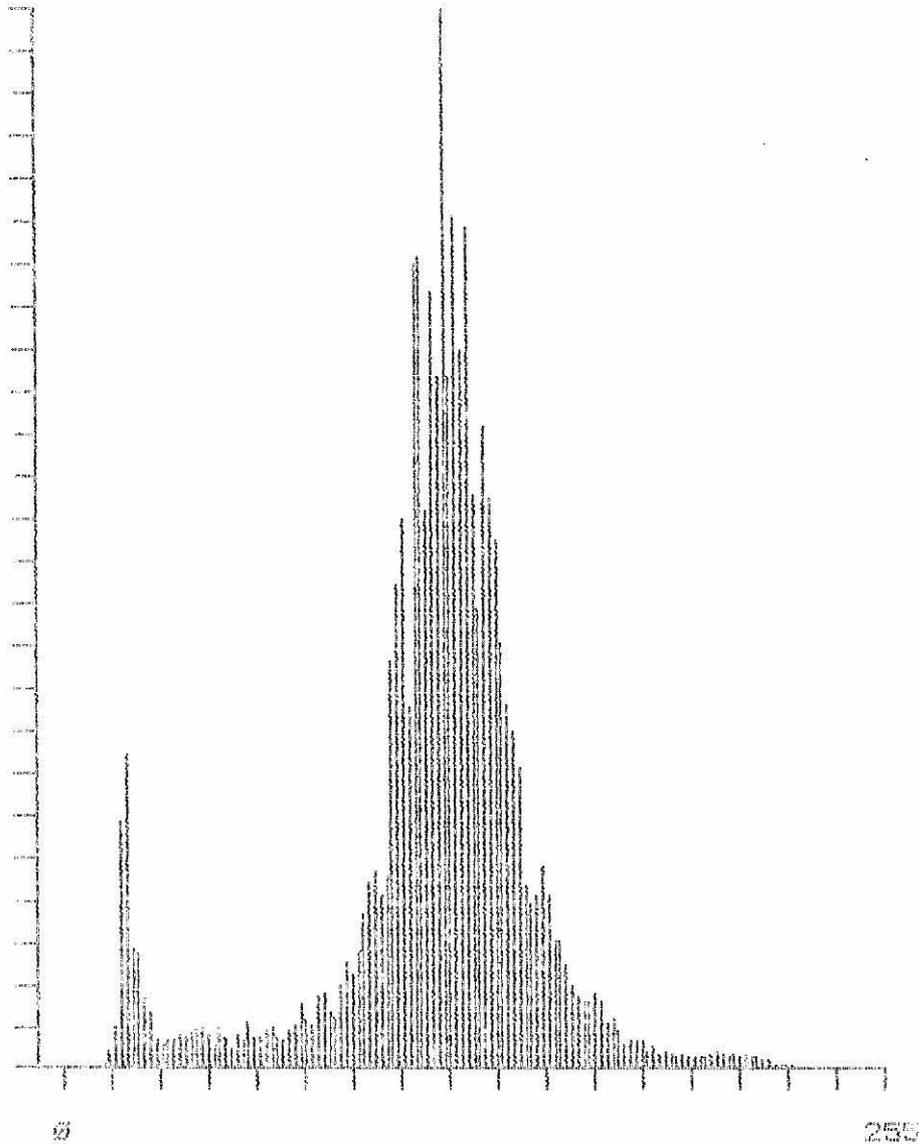
CANAL = 2
NIVEL MINIMO DE CINZA = 1
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 3180.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.3 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 5, sem realçamento, situação de vazante.



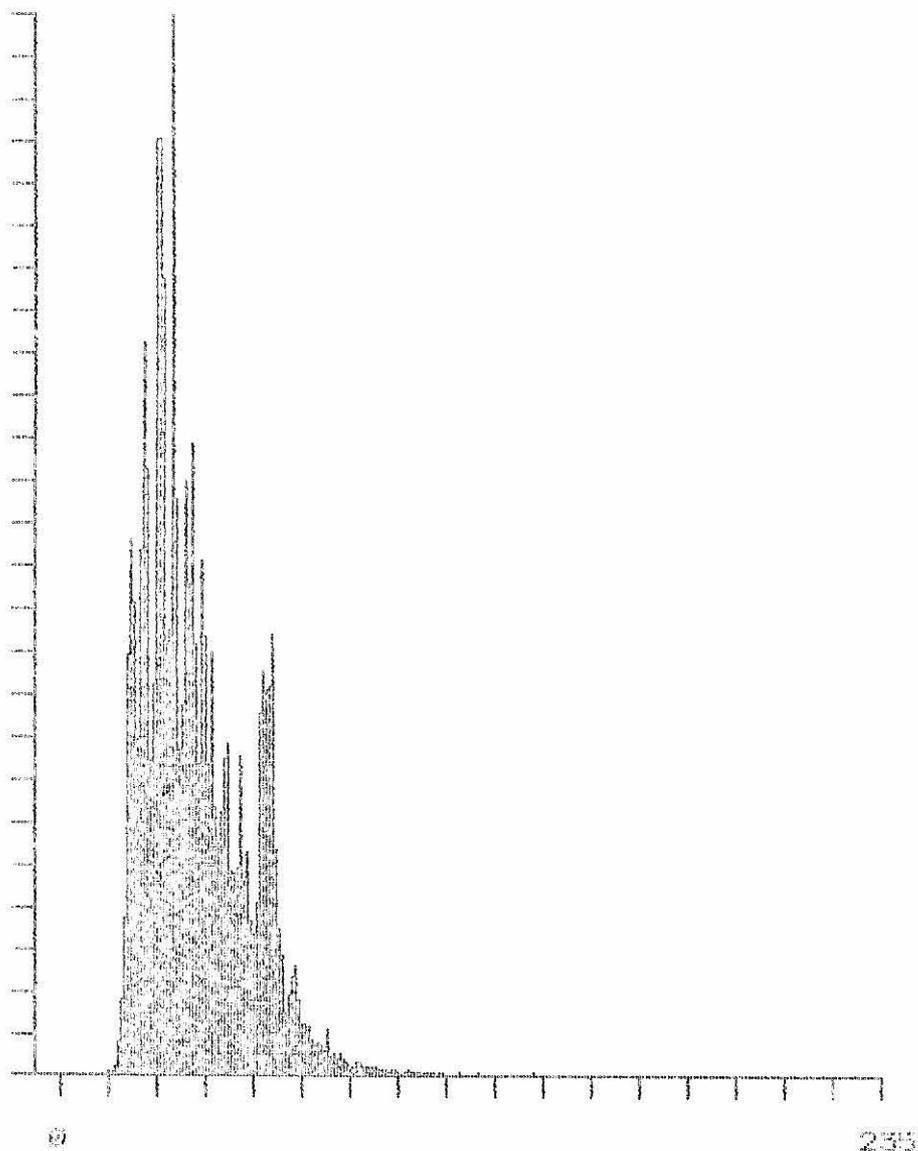
CANAL = 1
NIVEL MINIMO DE CINZA = 1
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 13625.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.4 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, realçada por ampliação linear de contraste situação de vante.



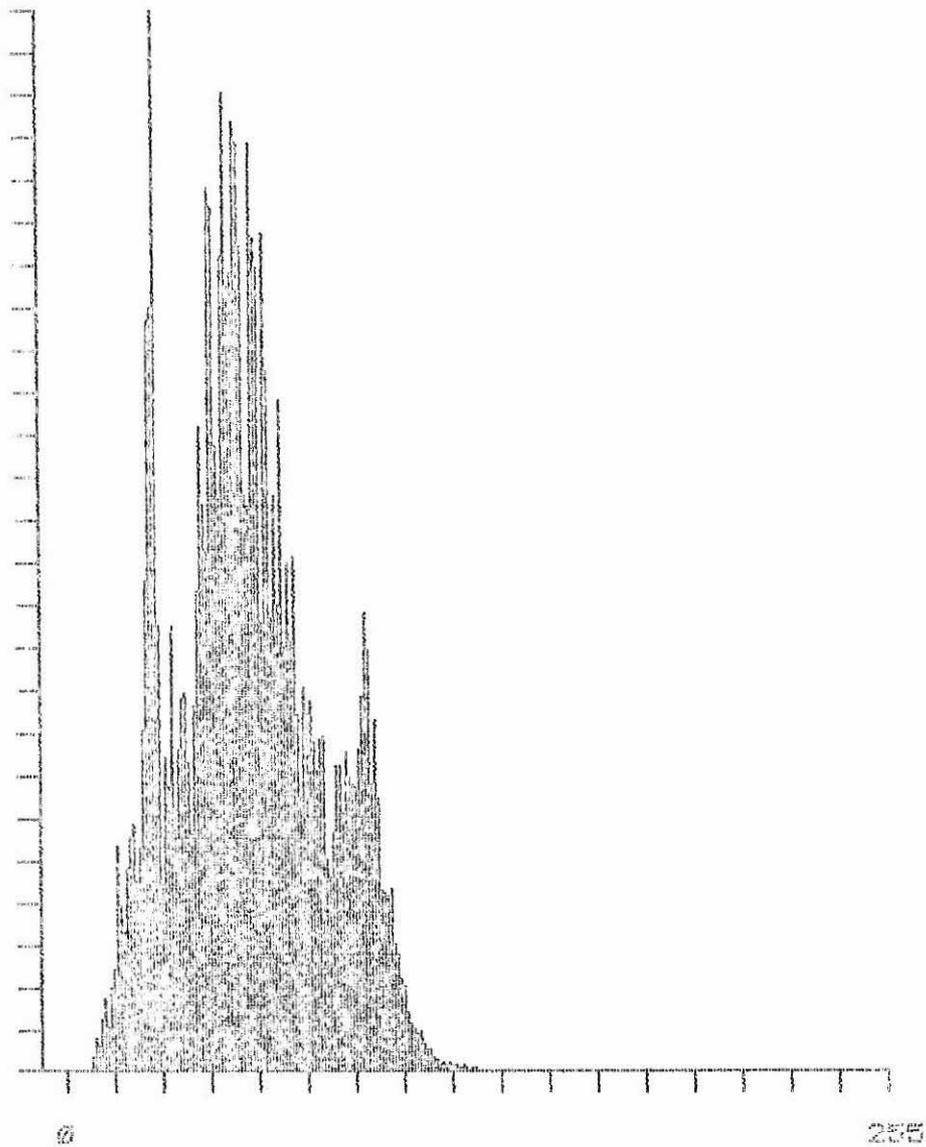
CANAL = 2
NIVEL MINIMO DE CINZA = 11
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 13450.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.5 - Histograma de nıveis de cinza, da banda 4, realçada por ampliação linear de contraste, situação de vazante.



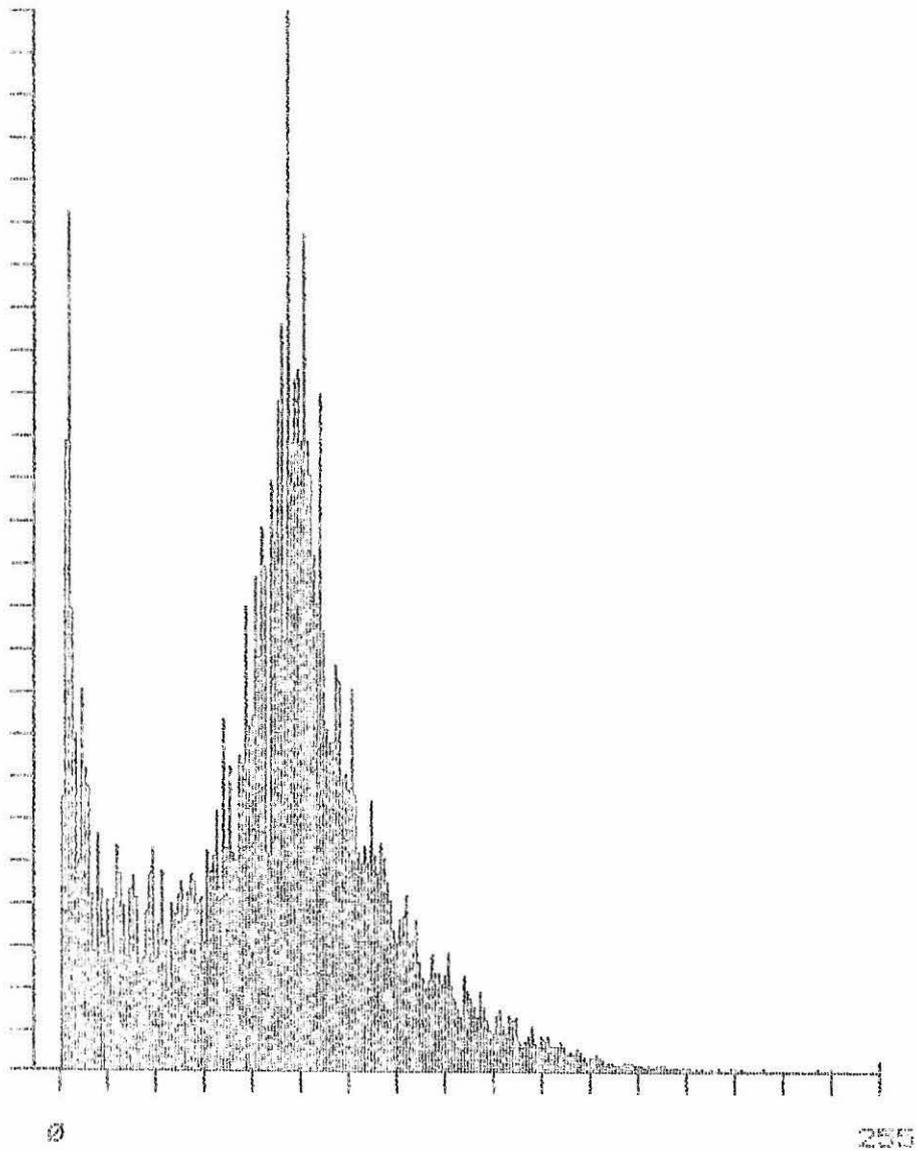
CANAL = 1
NIVEL MINIMO DE CINZA = 14
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 217
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 12272.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.6 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, sem realçamento, situação de cheia.



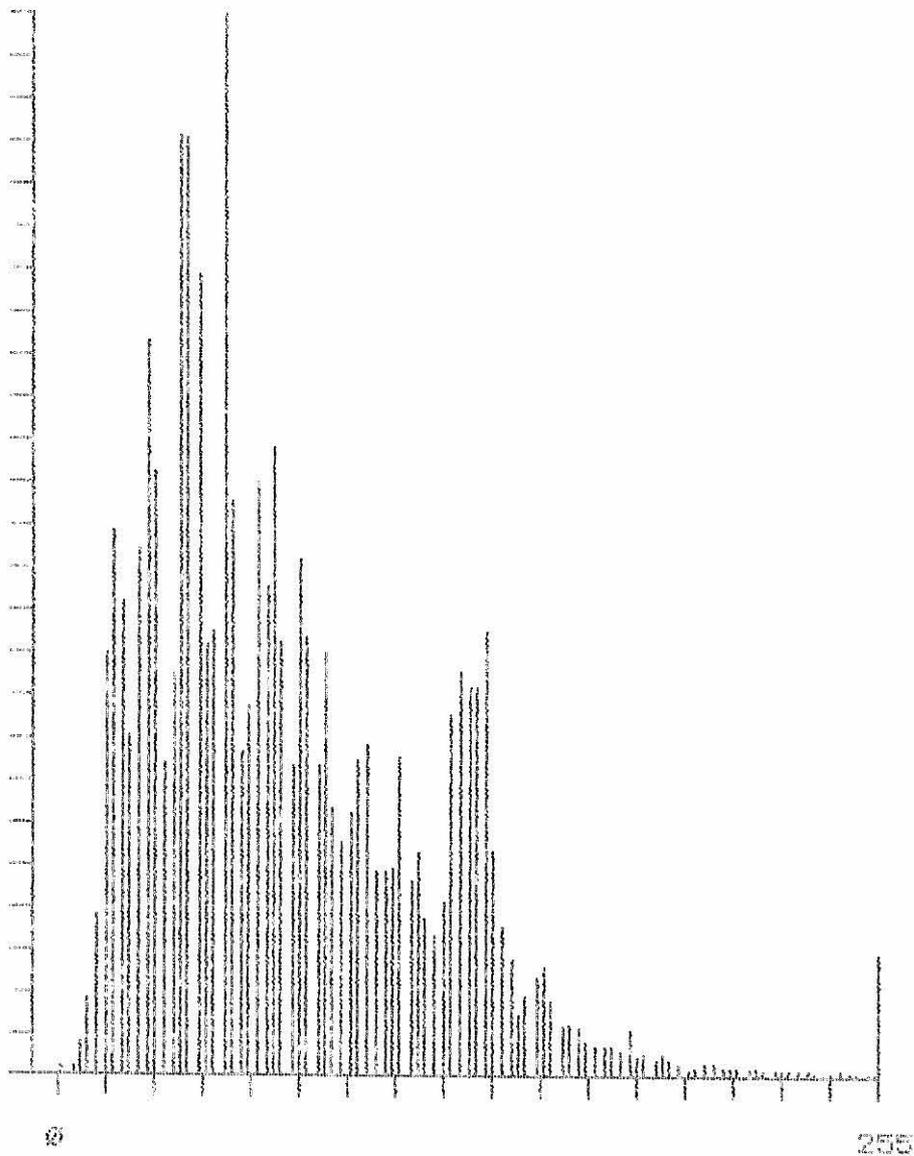
CANAL = 2
NIVEL MINIMO DE CINZA = 7
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 159
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 6582.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.7 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 4, sem realçamento, situação de cheia.



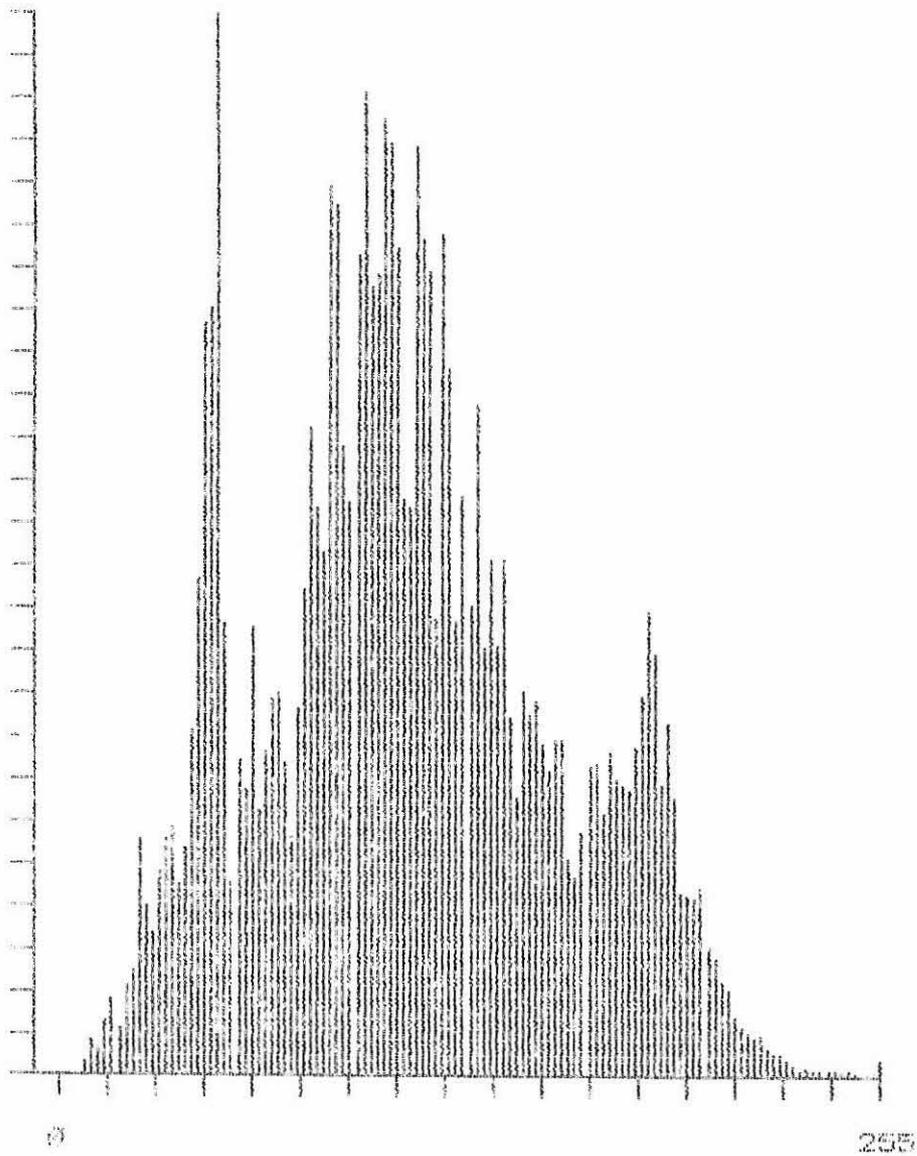
CANAL = 3
NIVEL MINIMO DE CINZA = 1
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 7145.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.8 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 5, sem realçamento, situação de cheia.



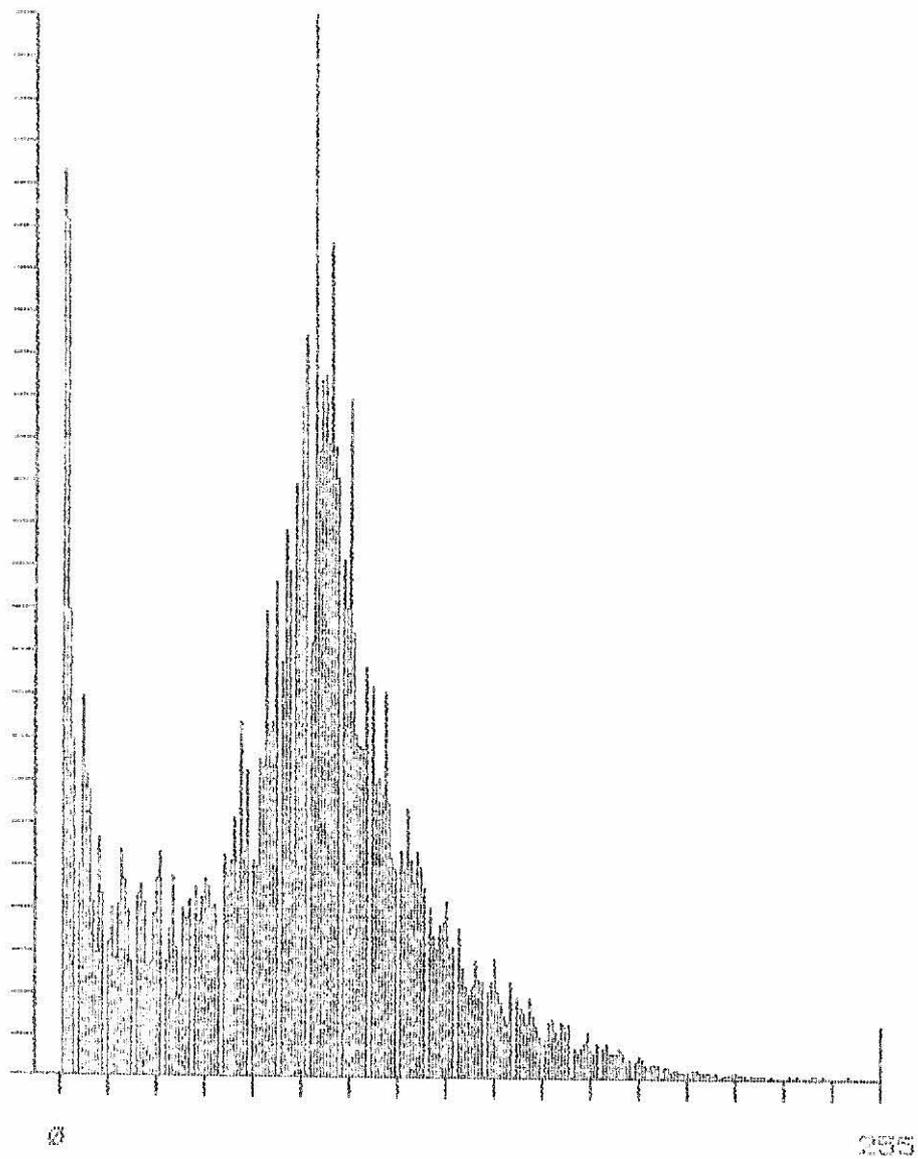
CANAL = 3
NIVEL MINIMO DE CINZA = 1
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 12320.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.9 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 3, realçada por ampliação linear de contraste, situação de cheia.



CANAL = 4
NIVEL MINIMO DE CINZA = 4
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 6598.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.10 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 4, realçada por ampliação linear de contraste, situação de cheia.



CANAL = 1
NIVEL MINIMO DE CINZA = 1
NIVEL MAXIMO DE CINZA = 255
FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 7228.00
EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

Fig. 3.11 - Histograma de distribuição de níveis de cinza da banda 5, realçada por ampliação linear de contraste, situação de cheia.

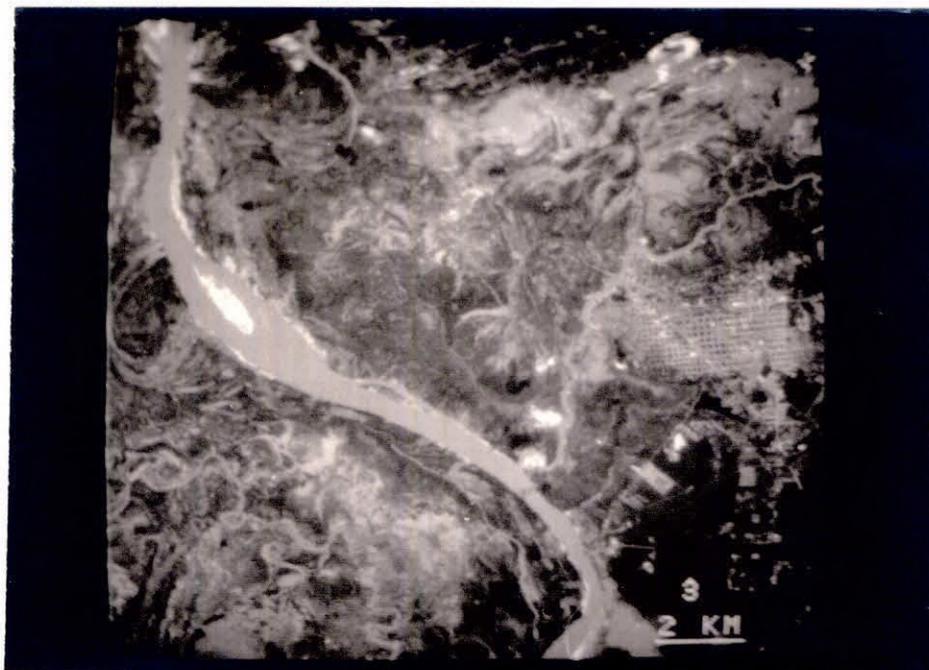


Fig. 3.12 - Imagem TM da banda 3 sem realçamento, módulo de Parnaíba, pe
ríodo de cheia.

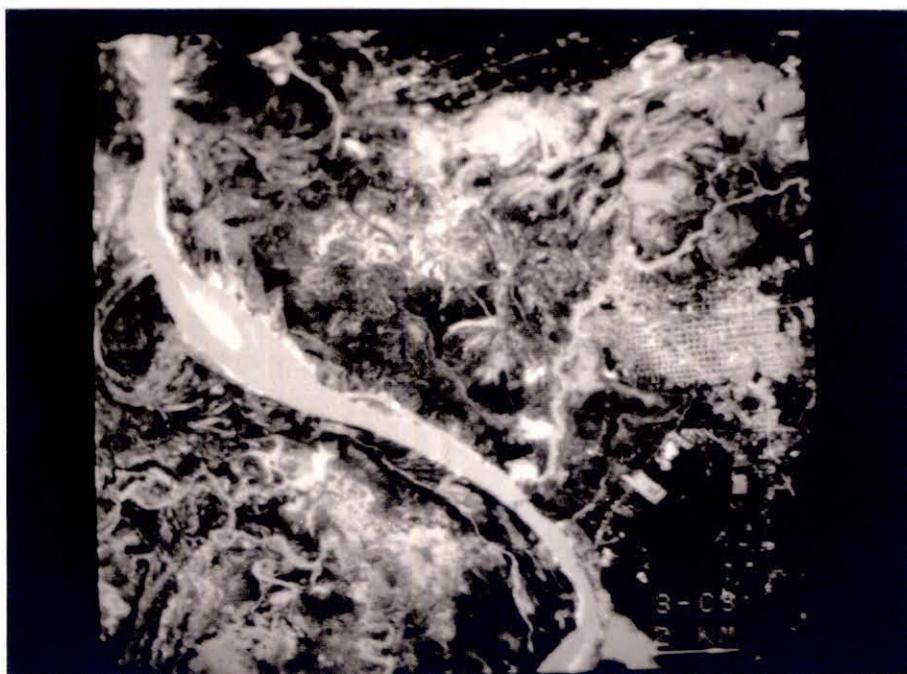


Fig. 3.13 - Imagem TM da banda 3 com realçamento, módulo de Parnaíba,
situação de cheia.

3.1.2 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTIESPECTRAIS

As bandas TM realçadas através do sistema analisador de imagens multiespectrais, utilizando a opção de ampliação linear de contraste, serviram de base para obter imagens em composições coloridas multiespectrais para os módulos selecionados, as quais foram apresentadas na escala aproximada de 1:50.000 no display daquele sistema.

Diferentes tipos de composições coloridas foram obtidas, conforme apresentado na Tabela 2.2, associando três bandas TM às cores azul, verde e vermelho, para as situações de vazante e cheia.

Para exemplificar a potencialidade de discriminação de alvos superficiais através das composições coloridas, foram selecionadas as seguintes combinações de bandas, referentes ao módulo de Parnaíba:

- TM2 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho)
- TM7 (azul), TM5 (verde) e TM4 (vermelho)
- TM5 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho)
- TM3 (azul), TM5 (verde) e TM4 (vermelho)

As Figuras 3.14 a 3.18 ilustram essas composições, sendo que a Figura 3.14 refere-se à situação de vazante e as demais correspondem ao período da cheia.

Através da análise comparativa dessas composições coloridas e considerando principalmente os alvos referentes à lâmina d'água, verifica-se que a separabilidade aumenta com a combinação TM2, TM3 e TM4 para a TM3, TM5 e TM4, conforme indicado na própria seqüência acima. A composição TM7, TM5 e TM4 apresenta um poder de discriminação intermediário, podendo as TM5, TM3 e TM4 e TM3, TM5 e TM4 serem consideradas como as mais informativas.

A combinação de duas bandas no visível e uma no infravermelho próximo, como é o caso da TM2, TM3 e TM4 (Figura 3.15), sofre influência de interferência de névoas, que afetam especificamente a banda 2 (0,52 a 0,60 μ m), e não apresenta discriminação satisfatória entre lâmina d'água de inundação e determinadas superfícies de solo exposto; este fato é exemplificado na Figura 3.15 pelas letras A e B, respectivamente. Entretanto, deve-se salientar que a banda TM2 é favorável à detecção de variação de turbidez de água, conforme se pode observar no gráfico da Figura 3.19, uma vez que a sua faixa correspondente encontra-se posicionada próxima ao pico de reflectância da curva de comportamento espectral genérica de água turbida.

Por sua vez, a combinação TM7, TM5 e TM4, que compreende as três bandas do infravermelho, apresenta boa discriminação entre terra e água em consequência da absorção da radiação pela água naquelas faixas espectrais, conforme se pode observar na Figura 3.19. As lâminas d'água apresentam-se em preto e não se observam variações de qualidade de água. Entretanto, determinados setores contendo lâmina d'água de inundação muito rasa e turbida ou mesmo umidade (solo úmido) não são diferenciadas nesta composição.

As combinações TM5, TM3 e TM4 e TM3, TM5 e TM4 apresentam maior poder discriminatório no contexto dos objetivos deste trabalho; no entanto, a segunda define melhor pequenos canais fluviais do que a primeira, conforme indicado pela letra A. Desta forma, a utilização da banda 3 (faixa do visível - 0,63 a 0,69 μ m) e das bandas 4 e 5 (faixa do infravermelho - 0,76-0,90 μ m e 1,55-1,75 μ m) nas composições coloridas podem ser indicadas como favoráveis para trabalhos que visam analisar corpos d'água.



Fig. 3.14 - Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho) para a situação de vazante, módulo de Parnaíba.

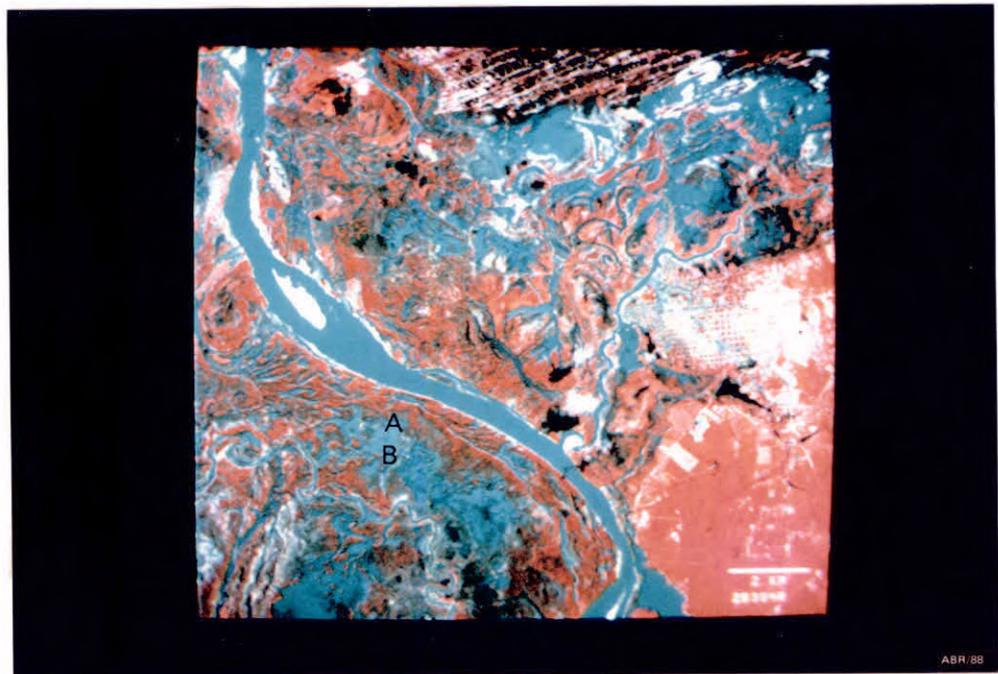


Fig. 3.15 - Composição colorida multiespectral TM2 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho) para a situação de cheia, módulo de Parnaíba.

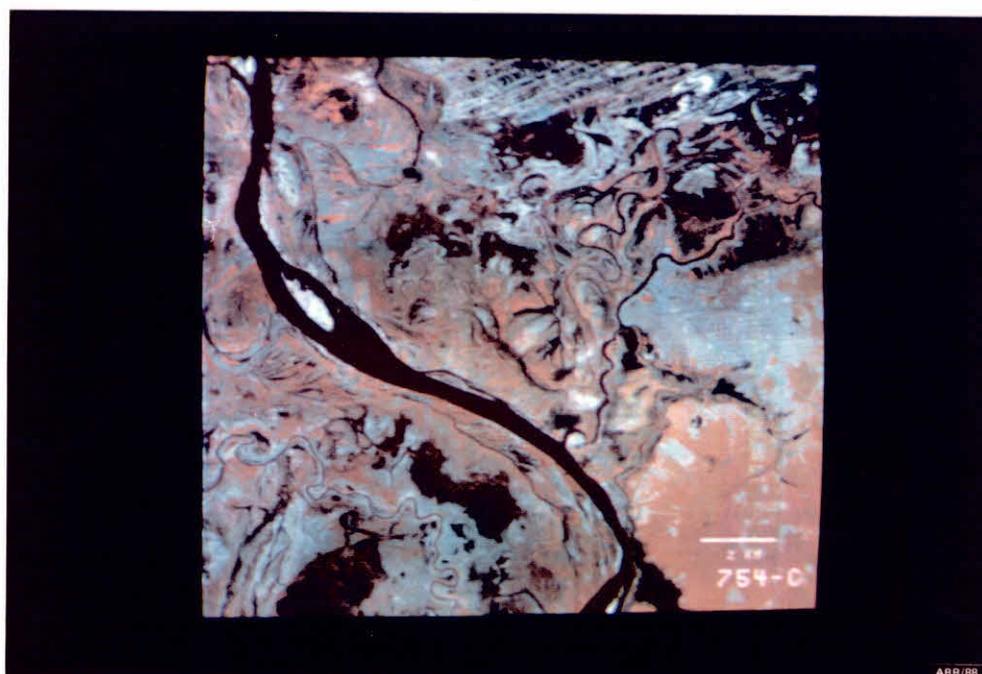


Fig. 3.16 - Composição colorida multiespectral TM7 (azul), TM5 (verde) e TM4 (vermelho) para a situação de cheia, módulo de Parnaíba.

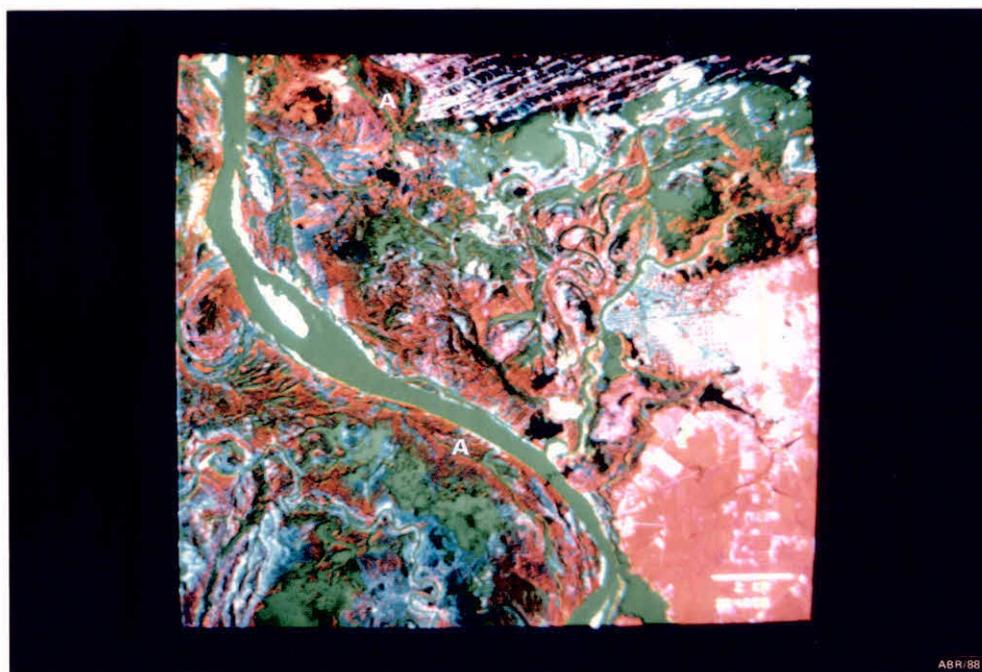


Fig. 3.17 - Composição colorida multiespectral TM5 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho) para a situação de cheia, módulo de Parnaíba.

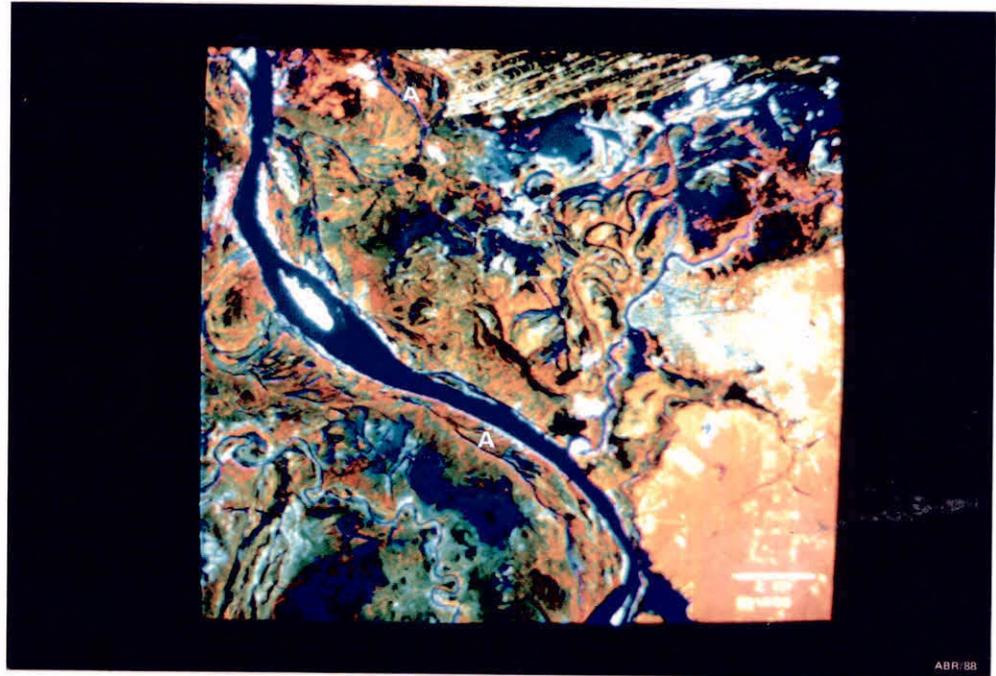


Fig. 3.18 - Composição colorida multiespectral TM3 (azul), TM5 (verde) e TM4 (vermelho) para a situação de cheia, módulo de Parnaíba.

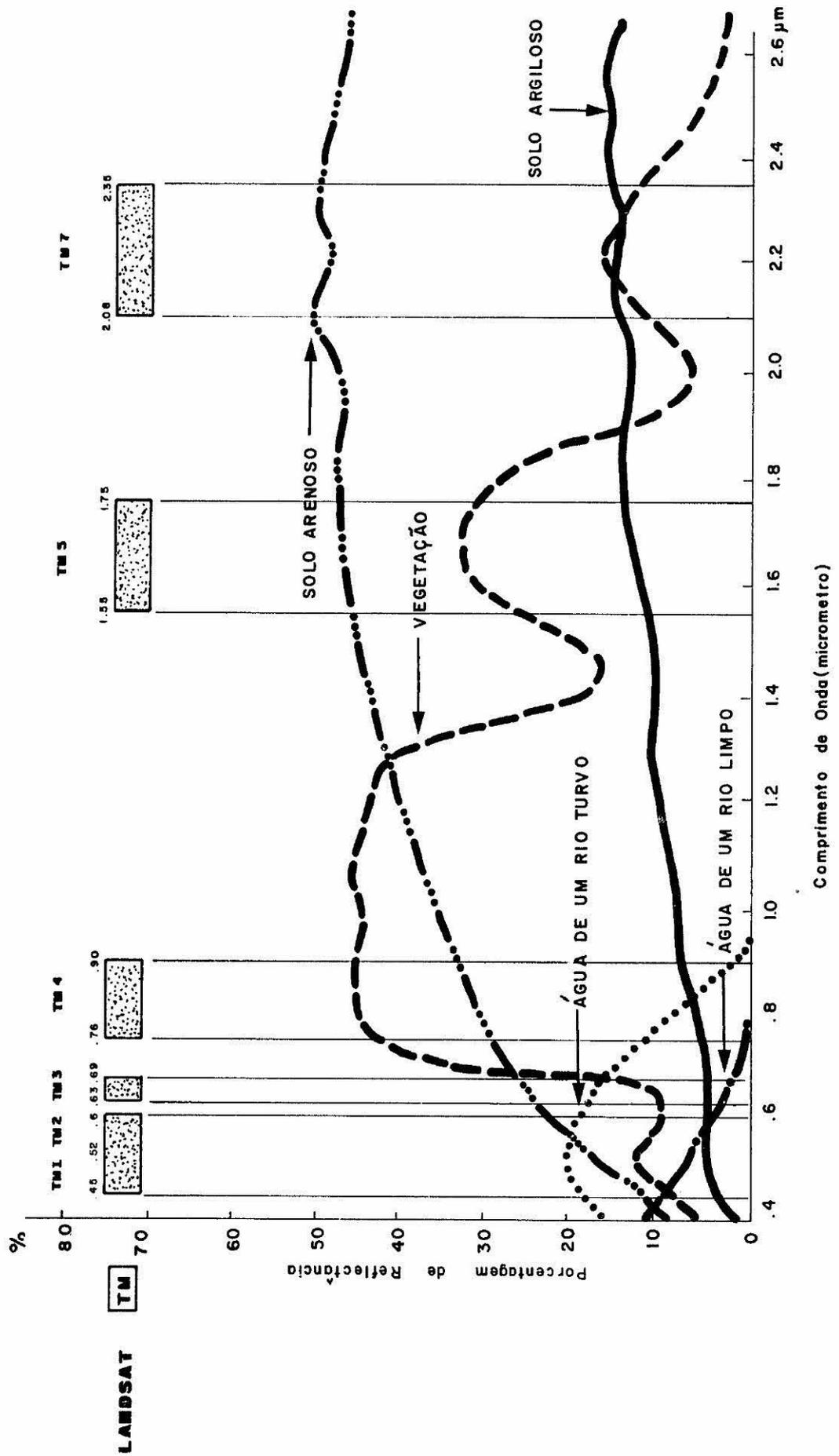


Fig. 3.19 - Curvas de comportamento espectral de alvos e bandas TM-LANDSAT.

3.1.3 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTITEMPORAIS

As imagens da banda 4 após terem sido submetidas à técnica de ampliação linear de contraste foram utilizadas para a obtenção de composições coloridas multitemporais através do sistema analisador de imagens, associando cores às imagens.

Estas composições foram obtidas através da superposição das imagens da banda 4 referentes às situações de cheia e vazante, para os módulos selecionados, e apresentadas na escala 1:50.000 no display do sistema analisador de imagens.

Para essa superposição, tomou-se como referência a imagem da situação de vazante, na qual foram selecionados pontos de controle, também identificados na imagem LANDSAT do período de cheia.

Com base nesses pontos, as imagens são ajustadas visualmente no display e, posteriormente, é aplicado a elas um algoritmo, o qual através de uma função polinomial determina o ajuste final das imagens.

Neste procedimento a banda 4 da situação de vazante (Figura 3.20) foi associada à cor vermelha e a banda 4 da cheia (Figura 3.21) associada à cor cian (azul+verde); o resultado é ilustrado na Figura 3.22. Este tipo de composição é útil para a detecção de mudanças ocorridas na superfície, conforme já enfatizado por Eyton (1983), Novo (1983) e Niero et alii (1984). Neste caso, a lâmina d'água presente nas duas imagens LANDSAT utilizadas aparece em preto em consequência da filtragem das cores, conforme ocorre por exemplo com o rio Paraíba. Por sua vez a cor vermelha representa as áreas submetidas à inundação, uma vez que a presença da lâmina d'água de inundação bloqueia a cor cian, a qual está associada à situação de cheia. As graduações da cor vermelha correspondem a diferentes intensidades da inundação.

As cores claras que tendem para o branco indicam áreas não-alteradas de uma data para outra, enquanto a presença da cor cian indica setores de tonalidade cinza mais escuro no período de vazante e mais claro na cheia, provavelmente associadas às características (densidade e vigor) da cobertura vegetal. O esquema representado na Figura 3.23 ilustra este procedimento.

A superposição temporal de outras bandas TM foram também testadas, mas não mostraram desempenho satisfatório, uma vez que a resposta espectral da água confunde-se com outros alvos da superfície, como ocorre com as bandas referentes à faixa do visível (bandas 1 e 2). Por sua vez a banda 5, apesar de ser informativa quanto à lâmina d'água, não oferece bom desempenho para a identificação de áreas úmidas em decorrência da interferência da vegetação, uma vez que esta banda discrimina a cobertura vegetal com estresse hídrico.

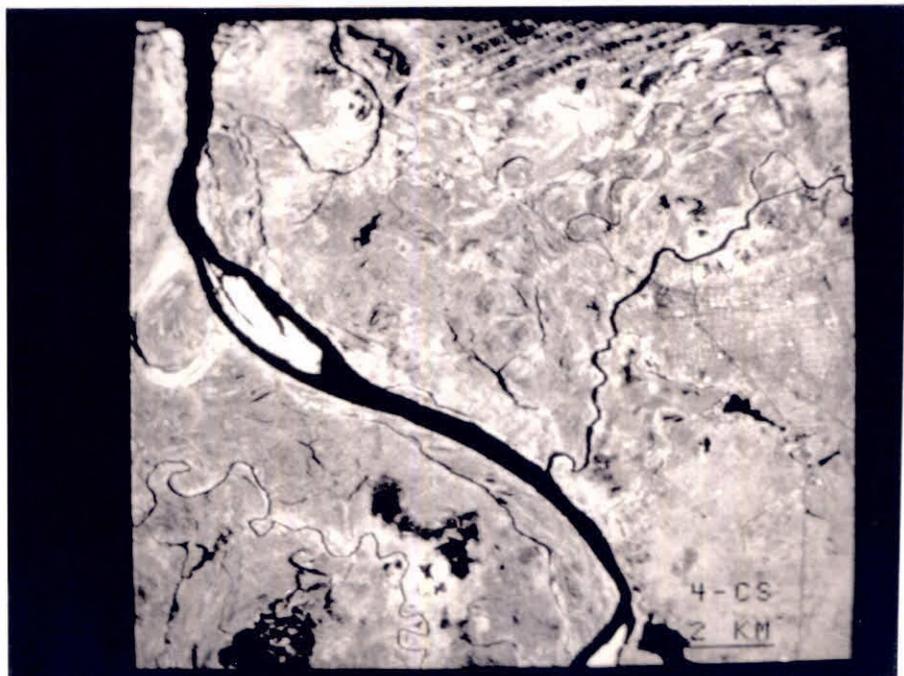


Fig. 3.20 - Imagem da banda 4 do período de vazante, módulo de Parnaíba, realçada por ampliação linear de contraste.

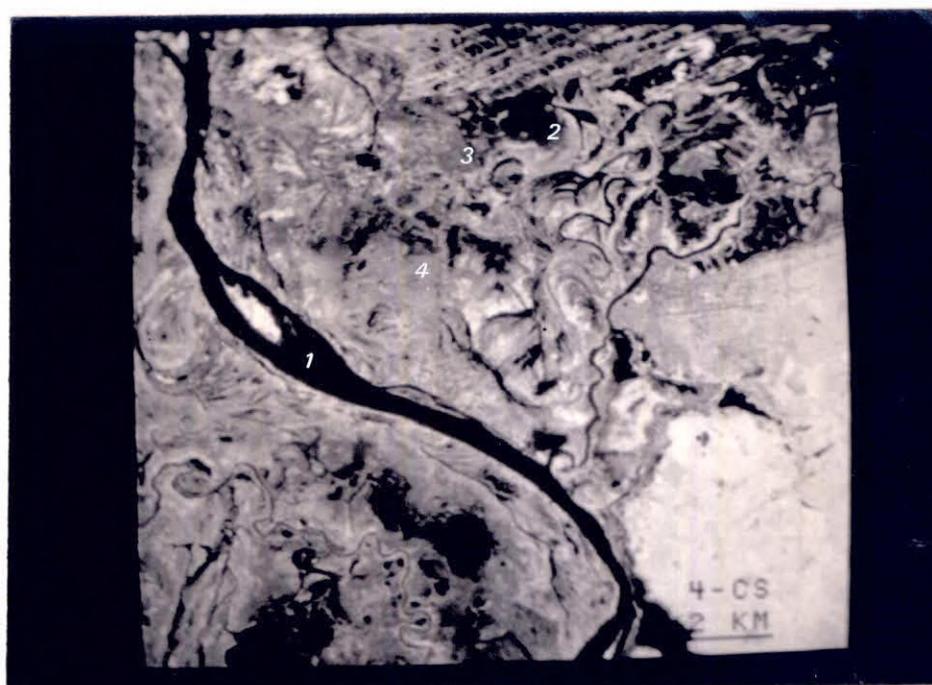


Fig. 3.21 - Imagem da banda 4 do período de cheia, módulo de Parnaíba, realçada por ampliação linear de contraste.

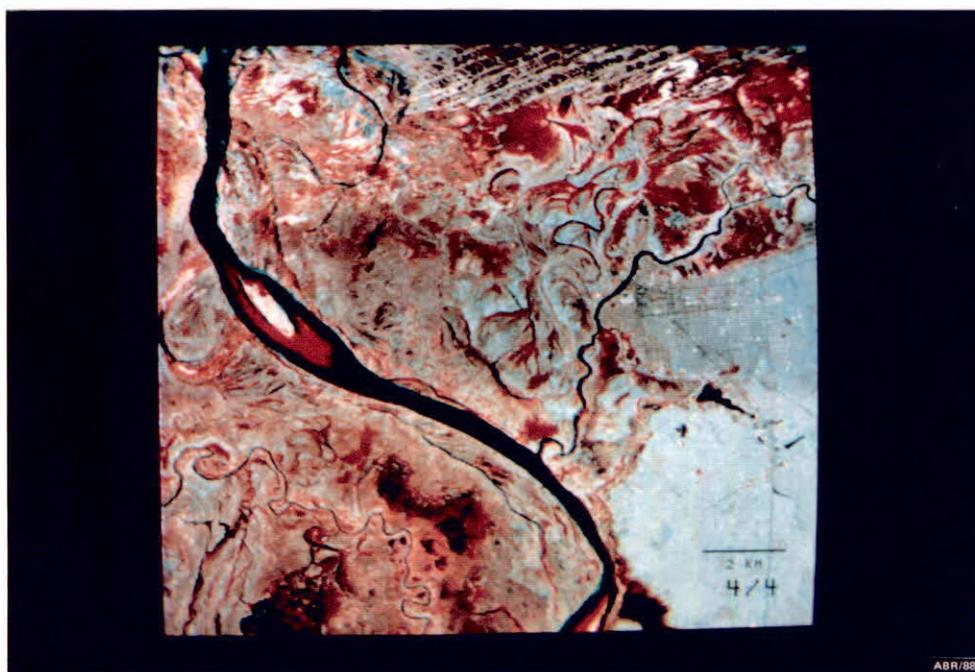


Fig. 3.22 - Composição colorida multitemporal, obtida pela superposição das bandas 4 dos períodos de cheia e vazante, módulo de Parnaíba, associadas às cores cian e vermelho, respectivamente.

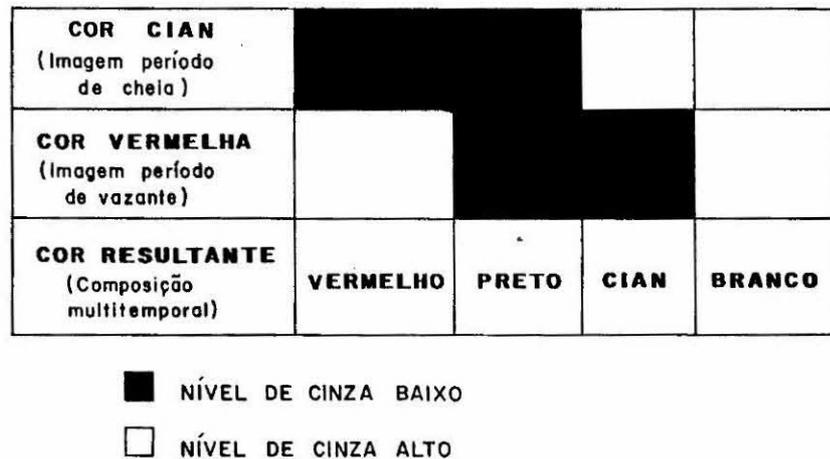


Fig. 3.23 - Processo de obtenção de uma composição colorida multitemporal (adaptado de Eyton, 1983).

3.1.4 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS MULTITEMPORAL-MULTIESPECTRAIS

Os dados TM-LANDSAT podem ser utilizados também associando suas características temporal e multiespectral. Através desta associação pode-se obter uma composição colorida multitemporal-multiespectral.

Neste trabalho esse tipo de imagem foi obtida a partir da composição multitemporal, superposição das bandas 4 da vazante e cheia (conforme já comentado na Seção 3.1.3), associada à banda 1 da situação de cheia, também realçada por ampliação linear de contraste.

A Figura 3.24, ilustra esse tipo de composição colorida. Neste caso, a banda 1 foi associada à cor azul, a banda 4 da cheia à cor verde e a banda 4 da vazante à cor vermelha. Esta composição colorida além de detectar variações temporais quanto à extensão da lâmina d'água, indica os setores que apresentam características diferenciadas em termos de turbidez. As cores vermelha e magenta estão associadas às

áreas atingidas pela água de inundação, sendo a cor magenta a que apresenta a lâmina d'água com maior turbidez. As lâminas d'água em preto significam as que não sofreram alterações de uma data para outra, apresentando a mesma tonalidade nas duas bandas espectrais (1 e 4) analisadas, e os setores associados às cores claras que tendem para o branco representam aqueles que não foram atingidos pela inundação.

Por sua vez a cor azul-escura do canal fluvial do rio Parnaíba refere-se basicamente à contribuição da banda 1, que apresenta tons de cinza-médio a cinza-escuro. Deve-se mencionar ainda que a cor amarelo-esverdeada que aparece em setores da imagem deve-se basicamente à maior contribuição conjunta das bandas 4, de cheia e vazante, as quais estão associadas às cores claras, o que denota a quase ausência de alteração temporal nas condições daquelas superfícies.



Fig. 3.24 - Composição multitemporal-multiespectral para o módulo de Parnaíba, obtida a partir das bandas 1 e 4 do período de cheia e banda 4 da vazante, associadas as cores azul, verde e vermelha, respectivamente.

3.2 - INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS ANALÓGICAS TM-LANDSAT

A delimitação das áreas submetidas à inundação foi obtida basicamente a partir da interpretação visual das imagens em preto e branco da banda 4, referentes aos períodos de cheia e vazante, e das transparências coloridas, compostas com as bandas 5, 3 e 4, associadas às cores azul, verde e vermelha, respectivamente.

Os critérios utilizados para a delimitação das áreas inundadas nessas imagens refere-se às características de tonalidade, textura, forma e contexto.

Com relação às imagens em preto e branco da banda 4, o critério de tonalidade foi avaliado com o apoio da escala de níveis de cinza que sistematicamente acompanha as imagens LANDSAT, em papel fotográfico.

A Figura 3.25 mostra o segmento de interesse da escala de nível de cinza utilizado como apoio para identificar as lâminas d'água e os demais setores submetidos à inundação.

Os níveis apresentados na escala da Figura 3.25 receberam valores numéricos arbitrários, visando facilitar a análise comparativa entre os alvos.

Desta forma, os níveis 1 e 2 da Figura 3.25 correspondem aproximadamente à resposta espectral dos corpos d'água na banda 4. Estes níveis de cinza mais escuros representam o resultado da absorção da radiação incidente pela água na faixa espectral correspondente à banda 4 do TM.

As áreas submetidas à inundação, mas que não apresentam lâmina d'água na imagem LANDSAT disponível, foram identificadas indiretamente através dos níveis 3 e 4 que estão associados basicamente às áreas com maior conteúdo de umidade superficial da cobertura pedológica.

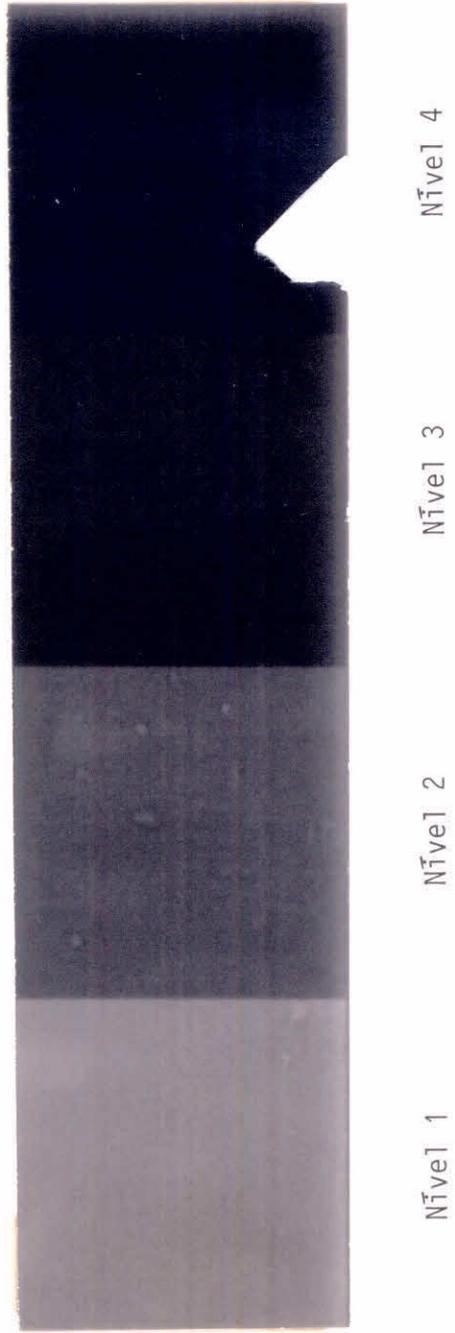


Fig. 3.25 - Escala de níveis de cinza das imagens TM/LANDSAT.

Esse processo de análise visual é exemplificado pelos números 1, 2, 3 e 4 na imagem da banda 4 (Figura 3.21), os quais correspondem, respectivamente, aos níveis 1, 2, 3 e 4 da Figura 3.25.

Além do critério de tonalidade, essas áreas foram também caracterizadas através de feições superficiais, tais como: presença de corpos d'água lagunares residuais e formas lineares estriadas promovidas pelos cordões arenosos das deposições fluviais na planície de inundação.

A partir da análise da imagem da banda 4 da vazante, foram extraídas as informações de lâmina d'água dos canais fluviais e dos corpos lagunares permanentes.

As informações relativas aos períodos de vazante e cheia foram plotadas em um mesmo "overlay", que foi ajustado à base cartográfica de 1:100.000 da DSG.

As informações cartográficas de apoio como estradas e áreas urbanas foram extraídas através da análise das imagens da banda 3, a qual contribuiu de forma significativa para a discriminação daqueles alvos, permitindo ainda uma atualização dessas informações contidas nas cartas topográficas. Isto pode ser observado comparando as imagens das bandas 3 e 4 das Figuras 3.13 e 3.21, respectivamente.

A identificação da planície de inundação e corpos d'água foi complementada pela análise das transparências coloridas positivas, projetadas e ampliadas para a escala 1:100.000 e ajustadas às bases cartográficas através do sistema PROCOM-2.

Entre os dois tipos de composição colorida em transparências analisadas, destaca-se a contribuição da combinação das bandas 5, 3 e 4, associadas às cores azul, verde e vermelha, respectivamente, conforme comentado na Seção 3.1.2.

Através da análise dessas imagens, verificou-se uma grande contribuição para a extração de informações de apoio cartográfico como rodovias e áreas urbanas. Com relação às áreas urbanas, constatou-se ainda melhor desempenho das imagens do período úmido, em consequência do alto contraste entre áreas urbanizadas e alvos de entorno.

A análise interpretativa dos dados TM-LANDSAT teve o suporte de informações obtidas durante o trabalho de campo, realizado em julho de 1987, através de percurso terrestre e sobrevôo. Apesar da defasagem do apoio de campo, é importante salientar que as observações de algumas feições superficiais na área da planície de inundação serviram como indicadores da abrangência dos processos de inundação.

Com base na interpretação dos dados TM-LANDSAT utilizados, foram elaboradas 12 cartas de áreas submetidas à inundação, na escala 1:100.000, que compõem um Atlas. Este Atlas é composto das seguintes cartas: Parnaíba, Cocal, Magalhães de Almeida, Rio Gengibre, Esperantina, Brejo, Miguel Alves, José de Freitas, Teresina, Parnarama, Riachão e Amarante. Também fazem parte da área de estudo os setores contidos nas cartas topográficas de Coelho Neto e São Pedro do Piauí que, por razões técnicas, foram inseridas neste Atlas na forma de encarte, respectivamente, nas cartas de Miguel Alves e Parnarama. O Apêndice A exemplifica uma das cartas inseridas no referido Atlas.

Ainda com referência à análise dos dados TM-LANDSAT, deve-se salientar que os produtos utilizados se complementaram em decorrência de vantagens e limitações específicas de cada um deles. Assim, na imagem da banda 4 em preto e branco dos períodos de cheia, bem como na composição colorida multitemporal com esta banda, foi possível discriminar lâminas d'água e áreas superficialmente úmidas inseridas na planície de inundação. Por outro lado, as composições coloridas multi-espectrais e multitemporal-multiespectrais além de permitir complementar a delimitação das áreas inundadas, forneceram informações referentes à qualidade de água em termos de turbidez, como um indicador das contribuições das águas de inundação de origem exclusivamente pluvial e daquelas provenientes do extravasamento dos canais fluviais.

As composições coloridas multiespectrais e multitemporal multiespectrais foram úteis também para eliminar algumas dúvidas de interpretação das imagens da banda 4 como, por exemplo, a presença de nuvens e sombras, e de glebas agrícolas localizadas na planície aluvial, estas submetidas a queimadas e apresentando a mesma tonalidade da lâmina d'água nesta banda. Nestes casos, informações diferenciadas, contidas nas bandas espectrais que compõem aquelas imagens coloridas, contribuíram para a discriminação daqueles alvos através principalmente da tonalidade, além de aspectos de ordem espacial como forma e localização.

Para a delimitação da planície de inundação, é importante salientar a contribuição do aspecto temporal dos dados TM-LANDSAT, através da análise conjunta das imagens das situações de cheia e vazante, tanto no que se refere às imagens da banda 4 como às composições coloridas multiespectrais. Neste sentido, cabe destacar ainda a contribuição adicional das informações extraídas das composições coloridas multitemporais, obtidas através da técnica de registro de imagens.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

- As imagens TM-LANDSAT constituem importante fonte de dados para o estudo do comportamento hidrológico dos canais fluviais, especialmente para o acompanhamento de processos de inundação.
- O acompanhamento da variação da lâmina d'água é viabilizado principalmente através da característica multitemporal do sistema LANDSAT, analisando-se dados relativos às situações de cheia e vazante.
- A superposição de imagens digitais da banda 4 referentes às situações de cheia e vazante, através da técnica de registro com a obtenção de composições coloridas multitemporais, permite a visualização das áreas atingidas pelos processos de inundação.
- Entre as composições coloridas multiespectrais obtidas através de processamento digital de imagens, as combinações TM 5 (azul), TM 3 (verde) e TM 4 (vermelho); TM 3 (azul), TM 5 (verde) e TM 4 (vermelho) foram aquelas que apresentaram melhor desempenho para a caracterização do evento de inundação analisado.
- Entre as composições coloridas multitemporal-multiespectrais o melhor resultado foi apresentado por aquela obtida com as bandas 1 e 4 do período de cheia e banda 4 do período de vazante, associadas às cores azul, verde e vermelho, respectivamente.
- As imagens preto e branco da banda 4 mostraram-se altamente informativas para a identificação e mapeamento das áreas submetidas à inundação, sendo importante entretanto a contribuição das informações extraídas das composições coloridas multiespectrais e multitemporais. Isto confirma o caráter complementar das informações extraídas através da utilização de diferentes tipos de dados e técnicas de Sensoriamento Remoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

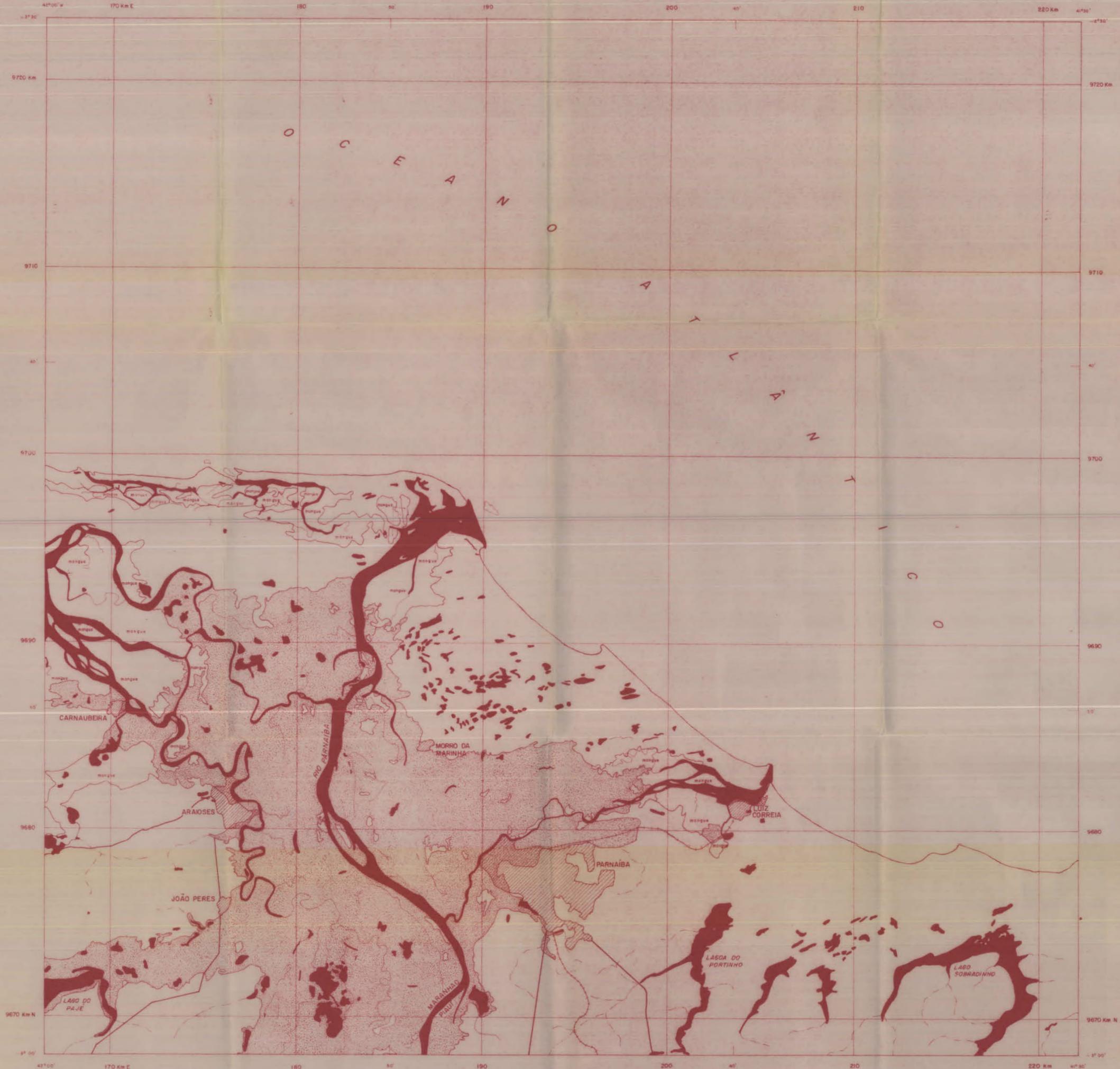
- BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA-MME; DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA-DNAEE. *Boletim fluviométrico*, série F. 301: Bacia do Atlântico Norte-Nordeste (dados atualizados até 1975). Brasília, 1980.
- BROONER, W.G.; BINAGHI, C.M.V. LANDSAT monitoring of temporal hydrological variations on the Pilcomayo river - 1972-1981. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 17, ANN ARBOR, MI, *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1983, p.399-407.
- CURREY, D.T. Identifying flood water movement. *Remote Sensing of Environment*, 6:51-61, 1977.
- DEUTSCH, M.; RUGGLES, Jr., F.H. Hydrological applications of LANDSAT imagery used in the study of the 1973 Indus river flood, Pakistan. *Water Resources Bulletin*, 14(2):261-274, 1978.
- EYTON, J.R. LANDSAT multitemporal color composites. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(2):231-235, 1983.
- FLORENZANO, F.G. *Avaliação de dados MSS-LANDSAT-4 para o mapeamento geomorfológico no semi-árido como suporte ao planejamento regional: uma abordagem integrada (Área teste - região de Juazeiro-BA)*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE-3984-TDL/236).
- HALBERG, G.R.; HOYER, B.E.; RANGO, A. Application of ERTS-1 imagery to flood inundation mapping. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1, A, NEW CARROLLTON, MD, 1973. *Proceedings*. Washington, D.C., NASA, 1973, p. 745-754.
- KRUUS, J.; DEUTSCH, M., HANSEN, P.L.; FERGUSON, H.L. *Flood applications of satellite imagery*. In: Dentsch, M.; Wisnet, D.R.; RANGO, A. ed. *Satellite Hydrology*. Mineapolis, American Water Resources Association, 1979, p. 292-301.

- MABESSONE, J.M. Panorama geomorfológico do nordeste brasileiro. *Geomorfologia*, nº 56, São Paulo, USP-Instituto de Geografia, 1978, 16p.
- MELO, M.L. de. *O Meio-Norte*, Série Estudos Regionais, Recife, SUDENE, 1983.
- NIERO, M.; PINTO, S.A.F.; MARTINI, P.R.; ANDRADE, G.B. *Aplicação de dados multitemporais do LANDSAT no acompanhamento da variação da lâmina d'água na Área Programa do Careiro/PDRI-AM*. São José dos Campos, INPE, jul. 1984. (INPE-3176-RTR/055).
- NOVO, E.M.L.M. *Aplicaciones de los sensores remotos a problemas hidrológicos e inundaciones*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2896-PRE/415).
- NOVO, E.M.L.M.; SANTOS, A.P. *Monitoramento de enchentes através de sensoriamento orbital: Exemplo do Vale do Rio Doce*. São José dos Campos, INPE, out. 1981. (INPE-2109-RPE/335).
- NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; PINTO, S.A.F. *Relatório preliminar do Projeto CNPq-INPE/CEPA-AM (Área Piloto-Terra Preta do Limão)*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2245-RTR/004).
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; ROSA, R. *Utilização de dados multitemporais do LANDSAT para a identificação de setores da planície fluvial sujeito à inundação*. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3445-PRE/699).

APÊNDICE A

CARTA DE ÁREAS SUBMETIDAS À INUNDAÇÃO

INPA-1570-EP/155c



SINAIS CONVENCIONAIS

- Rodovias
- Ferrovias
- Áreas urbanas

LEGENDA TEMÁTICA

- Lâmina d'água na vazante (Ago/86)
- Áreas submetidas à inundação (Mai/85)
- Limite inferior de áreas submetidas à inundação
- Rio temporária

ÍNDICE DE IMAGENS TM / LANDSAT

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO	ORBITA	PONTO/GUARDANTE	DATA	BANDA
COMPOSIÇÃO COLORIDA 1:100.000	219	42	11/07/85 04/08/86	3, 4, 5
PRETO E BRANCO 1:100.000	219	42	11/07/85 04/08/86	3, 4

ESCALA 1:100.000

PROJEÇÃO UTM
1987

FASES DO PROJETO

- Processamento das imagens: Abr / 87
- Interpretação das imagens: Jun / 87
- Trabalho de campo: Jul / 87
- Reinterpretação: Ago / 87
- Desenho: Ago / 87

A unidade mínima de representação temática adotada neste mapeamento é de 1mm (100 metros no terreno).

NOTA DE CRÉDITO

Base cartográfica extraída da folha Parnaíba, escala 1:100.000 publicada pela DSE em 1978 e atualizada por imagens TM/LANDSAT.

Informações temáticas obtidas através de interpretação de imagens TM/LANDSAT dos períodos de cheia (Mai e Jun/85) e vazante (Ago/86).

SITUAÇÃO DA FOLHA NOS ESTADOS



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

