

UTILIZAÇÃO DE DADOS DO SISTEMA LANDSAT NO ACOMPANHAMENTO DA VARIAÇÃO DA LÂMINA D'ÁGUA  
VISANDO O CONTROLE DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO AMAZÔNICA

E.M.L.M. Novo, M. Niero e S.A.F. Pinto

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

P. Custódio e M.A.M. Nascimento

Instituto de Terras do Amazonas

69000 - Manaus, AM, Brasil

RESUMO

O trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de dados do sistema LANDSAT no estudo da variação da lâmina d'água, visando-se ao controle de inundação nas várzeas Amazônicas. Foram utilizadas fitas compatíveis com computador referentes aos anos de 1973, 1976, 1977, 1978 e 1979, para a análise dos períodos de cheia e vazante. Para a realização do estudo, foi escolhida como área teste a região de Terra Preta do Limão. A interpretação automática de dados foi feita utilizando-se o Analisador de Imagens Multiespectrais I-100. Os dados foram analisados a partir da aplicação do algoritmo MAXVER. A análise temporal foi feita através da superposição de imagens de diferentes épocas. A partir da classificação automática foram identificadas as classes: Água Preta, Água Barrenta 1, Água Barrenta 2, Área Úmida, Mata de Terra Firme, Capoeira, Área Agrícola e Depósito Arenoso. As classes Água Barrenta 1 e Água Barrenta 2 correspondem a áreas de maior e menor concentração de sedimentos em suspensão, respectivamente. Através da análise dos resultados obtidos, pôde-se concluir que os dados MSS do LANDSAT permitem o acompanhamento da extensão da lâmina d'água em diferentes épocas. A baixa frequência de imagens sem cobertura de nuvens, entretanto, prejudicou o processo de seleção de passagens mais significativas para a análise do fenômeno de inundação.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate LANDSAT data for flooding control. Computer compatible tapes referring to 1973, 1976, 1977, 1978 and 1979 were used to monitor low and high water river stages. Barreirinha was used as test site and is situated in Amazon Region. Multispectral scanner data of computer compatible tapes were analysed using IMAGE-100. MAXVER algorithm was applied to the data and the following classes were obtained: Black Water, Turbid Water-1, Turbid Water-2, Moist Area, Forest of Terra Firme, Secondary Forest, Sandy Deposit, and Crop Areas. Turbid Water-1 and Turbid Water-2 were distinguished by their different degrees of load suspended sediments. The results obtained from the analysis of multispectral data (MSS) by applying MAXVER algorithms allowed the following conclusions: LANDSAT DATA can be used to monitor flooding, but the low frequency of cloud-free multispectral scanner data from LANDSAT over Amazon region makes it difficult to choose meaningful pass to analyse flooding phenomenon.

1 - INTRODUÇÃO

Face à necessidade de expansão da fronteira agrícola nas várzeas amazônicas, a Comissão Estadual de Planejamento Agrícola - CEPA/AM solicitou ao Instituto de Pesquisas Espaciais um estudo para avaliar a utilização de dados do sistema LANDSAT para controle de inundação.

Trabalhos anteriores como os de Robinove (1978), Novo e Santos (1981) já haviam demonstrado que os dados sequenciais do sistema LANDSAT constituem uma fonte importante de informações sobre a dinâmica de corpos d'água.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial dos dados MSS/

LANDSAT para acompanhamento da variação da lâmina d'água nas várzeas amazônicas entre os períodos de cheia e vazante através de análise automática.

Para a realização deste trabalho selecionou-se a área de Terra Preta do Limão (Figura 1), que cobre cerca de 196 km<sup>2</sup> e tem como ponto de referência o paranã do Ramos.

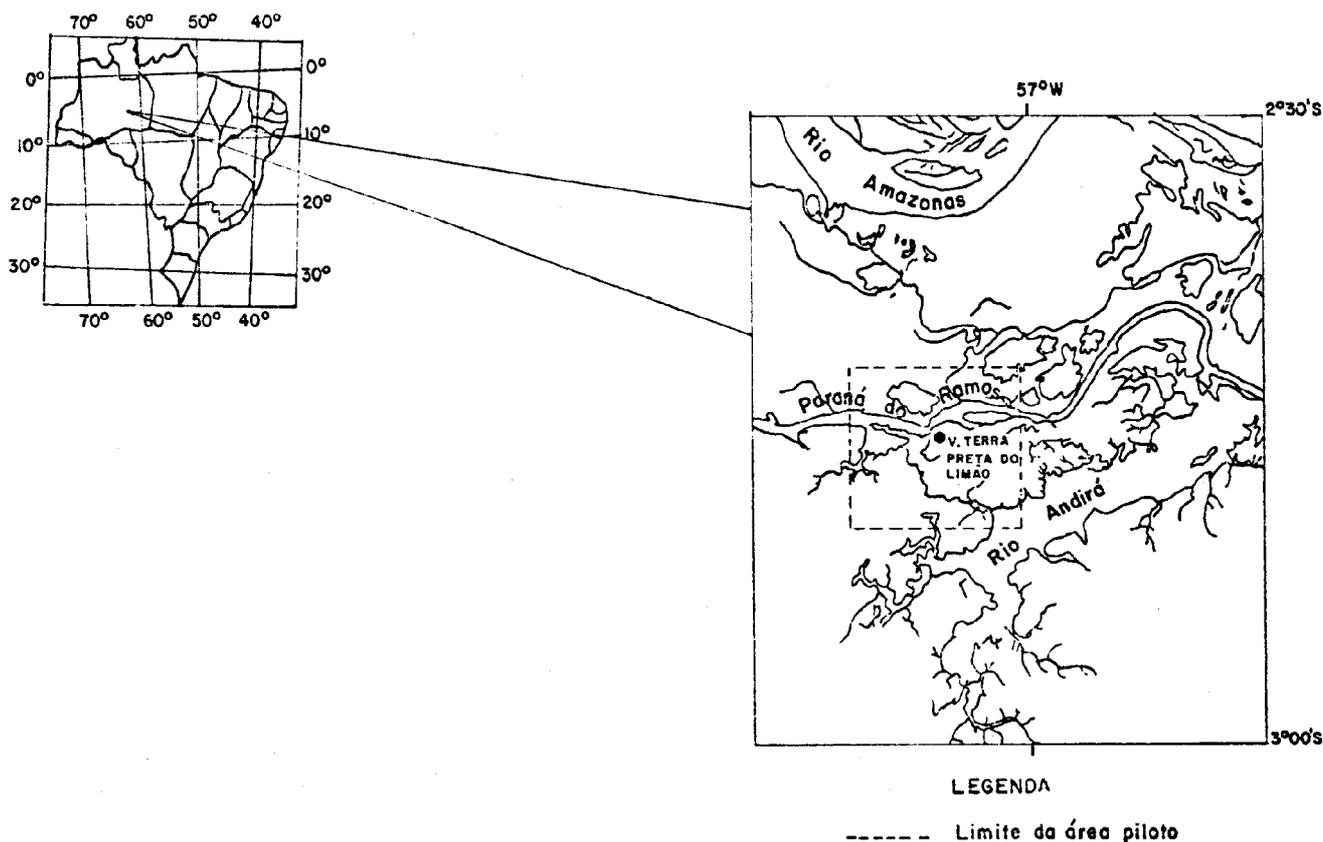


Fig. 1 - Localização da área piloto - Terra Preta do Limão.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho baseou-se na análise temporal de imagens MSS/LANDSAT referentes à órbita 318/14, conforme Tabela 1, sob o formato de fitas compatíveis com computador (CCTs).

TABELA 1

RELAÇÃO DE IMAGENS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA LÂMINA D'ÁGUA

VAZANTE	CHEIA
10/agosto/1973	07/julho/1976
12/agosto/1976	11/julho/1977
16/agosto/1977	15/julho/1978
24/agosto/1979	01/julho/1979

Estes dados foram analisados com o auxílio do sistema IMAGE-100 (General Electric Company, 1975), utilizando-se a opção de classificação por Máxima Verossimilhança (Velasco et alii, 1978) e outros programas auxiliares, tais como: cálculo de área, ampliação, impressão alfanumérica.

Como material de apoio foram utilizadas cartas planimétricas na escala de 1:100.000, geradas a partir de ampliações de mosaicos não-controlados, produzidos pelo RADAM. Foram utilizadas também dados fluviométricos fornecidos pelo DNAEE, referentes aos períodos analisados.

O trabalho desenvolveu-se conforme as seguintes etapas:

### 1. Análise Automática de Dados Multiespectrais do sistema LANDSAT

A análise automática foi realizada conforme os seguintes procedimentos:

- Localização da área de estudo e sua ampliação para a escala de 1:100.000 no vídeo do sistema IMAGE-100.
- Superposição da área de estudo, em diferentes épocas, utilizando-se uma passagem como referência.
- Classificação temática das imagens referentes aos diferentes períodos selecionados.

- Determinação da área dos temas através do programa "Cálculo de área".
- Obtenção de mapas alfanuméricos na escala aproximada de 1:42.000, através da impressora de linhas do sistema IMAGE-100.

## 2. Análise Temporal

Esta análise baseou-se nos seguintes procedimentos:

- Confeção de tabelas para avaliar as variações temporais da área ocupada pelos temas de interesse.
- Determinação da largura da lâmina d'água do paranã do Ramos, em diferentes épocas, através do posicionamento de 25 seções transversais equidistantes em 1,2 cm, correspondentes a 500 metros no terreno. Essas seções transversais foram posicionadas nos mapas alfanuméricos resultantes da análise automática.
- Análise de variância para examinar as diferenças existentes entre as medidas de largura do Paranã do Ramos nas diferentes épocas analisadas.
- Comparação entre os dados de fluviometria e aqueles derivados de imagens LANDSAT.

## 3. Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado no período de 13 a 16 de dezembro de 1981, com o objetivo de avaliar o grau de precisão das classes identificadas nas imagens.

Durante o trabalho de campo foram executadas as seguintes atividades:

- Localização de áreas para a confeção de perfis através de pontos notáveis (curvas de rios, ilhas, etc.).
- Execução de percursos transversais ao eixo do paranã do Ramos, avaliando as diferenças topográficas e de cobertura vegetal.
- Confeção de perfis com informações relativas à variação topográfica, umidade de solo e cobertura vegetal.
- Registro fotográfico de aspectos característicos do terreno, em termos de morfologia e dinâmica fluvial.

## 3. RESULTADOS

A classificação automática de dados permitiu a identificação das seguintes classes:

Água Preta, Água Barrenta 1, Água Barrenta 2, Área Úmida, Depósito Arenoso, Mata de Terra Firme, Capoeira e Área Agrícola.

Estas classes foram definidas através da seleção de áreas de treinamento, exigidas pelo algoritmo de classificação. Entretanto, como não se dispunha nessa primeira fase do trabalho, de informações de campo, aquelas áreas de treinamento foram determinadas em função do conhecimento teórico do comportamento espectral dos alvos. Desta forma, algumas classes tiveram seu significado alterado após o trabalho de campo.

A classe Água-Preta foi definida sobre o rio Andirá e caracteriza-se pelos níveis de cinza mais baixos nos quatro canais do MSS/LANDSAT, conforme a Tabela 2.

A classe Água Barrenta, que teoricamente representa corpos d'água com maior teor de sedimentos em suspensão, foi subdividida em Água Barrenta 1 e 2, face à falta de homogeneidade interna. A classe Água Barrenta 1, definida sobre a lâmina d'água do paranã do Ramos, apresenta em todos os canais MSS níveis de cinza mais claros que os da classe Água Barrenta 2, correspondentes às lagoas marginais existentes a sua esquerda. Durante o trabalho de campo, verificou-se que as lagoas marginais mais próximas ao paranã são a ele conectadas através de "furos". Na vazante aquelas lagoas marginais são alimentadas através dos furos, pelo excesso de água do paranã do Ramos, o que explica o caráter de transição da classe Água Barrenta 2, em termos de resposta espectral. (Tabela 2).

A classe área úmida representa regiões de tonalidade mais escura no canal 7 e encontra-se adjacente às lagoas marginais. Através de trabalho de campo, verificou-se que estas áreas sofrem inundações periódicas devido ao transbordamento do paranã do Ramos, ao reflexo do transbordamento do rio Amazonas através de numerosos "furos" existentes na área, bem como ao excesso de precipitação no período chuvoso, associado ao alto poder de retenção de umidade das formações superficiais argilosas aí existentes. A Figura 2 ilustra o nível alcançado pelas águas (marcas escuras deixadas nos troncos das árvores) durante o período de cheia. Segundo moradores da região, estas áreas, conhecidas como várzeas baixas, ficam totalmente tomadas pelas águas durante o período de abril a agosto.

A classe Depósito Arenoso foi definida em setores de alta reflectância nos canais 4, 6 e 7, localizados predominantemente junto às lagoas marginais. Durante o trabalho de campo, observou-se que em alguns casos essa classe era representativa de áreas de ocupação

agrícola com alta densidade de solo exposto. Junto aos lagos, esta classe representa áreas sem vegetação ou com vegetação pioneira (gramínea), resultante da diminuição da extensão

da lâmina d'água durante o período de vazante. São áreas constituídas por material argiloso, fortemente "gleyzados".

TABELA 2

RESPOSTAS ESPECTRAIS DAS DIFERENTES CLASSES ANALISADAS,  
UTILIZANDO-SE 4 CANAIS DO MSS DO LANDSAT  
(Passagem de 12/08/76)

CLASSES	CANAL MSS			
	4	5	6	7
Água Preta	29,21	13,04	1,14	10,11
Água Barrenta 1	35,69	23,07	5,32	14,11
Água Barrenta 2	32,26	16,71	1,39	11,16
Área Úmida	39,07	22,82	40,61	55,40
Depósito Arenoso	44,00	25,78	64,68	81,78
Mata de Terra Firme	33,46	17,36	43,63	67,47
Capoeira	35,26	18,75	54,85	79,50
Área Agrícola	43,79	32,51	48,52	66,47



Fig. 2 - Nível das águas no período da cheia.

As demais classes (Mata de Terra Firme, Capoeira, Área Agrícola) foram também definidas para refinar a classificação como um todo.

A análise temporal foi realizada através da superposição da área de estudo em diferentes épocas. Essa superposição foi realizada sempre em relação à última passagem analisada, o que acentuou problemas de posicionamento dos limites da área de estudo face às distorções geométricas das imagens.

Dois tipos de procedimentos foram adotados para a análise dos dados: análise da classificação temática e análise de seções transversais ao paraná do Ramos.

#### 1. Análise da Classificação Temática

Em cada ano analisado, obteve-se o valor de área ocupada pelas diferentes classes. Devido às distorções geométricas observadas da variação de atitude do satélite, o tamanho da

área piloto variou de uma passagem para ou tra. Assim sendo, para fins comparativos os dados brutos de área foram convertidos em percentuais. Esses resultados encontram-se exemplificados nas Tabelas 3 e 4

No ano de 1973 (Tabela 3) só havia dados disponíveis para o período de início de vazante, o que não permitiu comparações de variação da lâmina d'água em relação à época da cheia.

TABELA 3

PORCENTAGEM DE ÁREA OCUPADA PELAS DIFERENTES CLASSES (1973)

PASSAGEM CLASSES	PORCENTAGEM	
	CHEIA	VAZANTE
		10/Agosto
Água Preta	-	10
Água Barrenta 1	-	5
Água Barrenta 2	-	2
Área Úmida	-	22
Depósito Arenoso	-	5
Mata de Terra Firme	-	42
Capoeira	-	9
Área Agrícola	-	4
Não Classificado	-	1

TABELA 4

PORCENTAGEM DE ÁREA OCUPADA PELAS DIFERENTES CLASSES (1976)

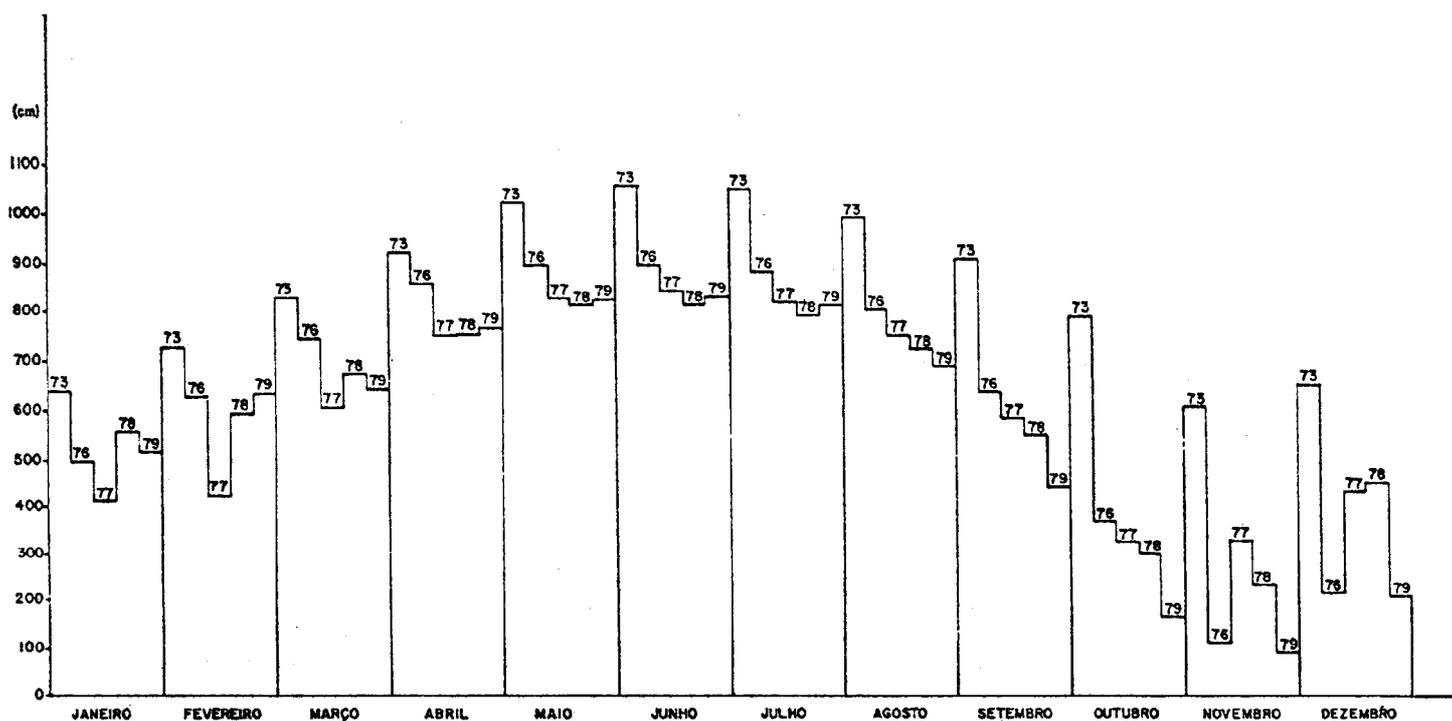
PASSAGEM CLASSES	PORCENTAGEM	
	CHEIA	VAZANTE
	7/Julho	10/Agosto
Água Preta	13	8
Água Barrenta 1	6	5
Água Barrenta 2	-	6
Área Úmida	36	24
Depósito Arenoso	-	10
Mata de Terra Firme	31	23
Capoeira	9	20
Área Agrícola	5	4
Não Classificado	-	-

A Tabela 4 permite a análise das modificações do comportamento dos corpos d'água no período da cheia para vazante no ano de 1976. No período da cheia não foi possível discriminar as classes Água Barrenta 2 e Depósito Arenoso devido ao transbordamento das lagoas marginais.

Comparando-se o total da área ocupada por corpos d'água (Água Preta, Água Barrenta 1, Água Barrenta 2) nos dois períodos, verifica-se que não há diferença de uma época para outra. Observa-se apenas uma modificação qua-

litativa dos corpos d'água. A ausência de modificações em áreas ocupadas pela lâmina d'água pode ser explicada pela pequena diferença de tempo entre as passagens analisadas e pelo fato de já ser reconhecida a pequena amplitude de vazão entre cheia e vazante do rio Amazonas devido ao fenômeno da interferência (Soares, 1977). Através do gráfico da Figura 3 observa-se a pequena amplitude entre as cotas referentes ao mês de julho (880 cm) e agosto (800 cm), conforme dados fluviométricos da estação mais próxima (Parintins).

ESTAÇÃO DO RIO AMAZONAS - PARINTINS  
ESTADO DO AMAZONAS



FONTE: DNAEE

Fig. 3 - Variação de cotas fluviométricas máximas mensais.

A principal diferença entre os períodos analisados foi a diminuição observada na porcentagem de área ocupada pela classe Área Úmida (12%). Esta classe, na Vazante (Tabela 4), perdeu área para a classe Depósito Arenoso, que representa áreas de solo exposto resultantes da diminuição do nível das lagoas marginais. Esta classe não foi detectada no período da cheia devido ao maior teor de umidade dos solos. Comparando-se os dados de Vazante para os anos de 1973 (Tabela 3) e 1976 (Tabela 4), observa-se uma diferença de 2% na área ocupada pelos corpos d'água. Em agosto de 1973, a lâmina d'água ocupava 17% do total da área, enquanto em agosto de 1976 o total era 19%. Estes dados não coincidem com os fornecidos pelo DNAEE (Figuras 3 e 4) que representam o ano de 1973 como o de maior vazão para o período em estudo. Entretanto, segundo relatório preliminar apresentado pela CEPA/AM (1981a), a maior cheia verificada nos últimos anos foi a de 1976, quando a várzea alta foi totalmente inundada. Portanto, os dados obtidos a partir do sistema LANDSAT apresentam-se mais coerentes com as informações coletadas em campo, pela equipe de recursos naturais da CEPA/AM.

Nos demais períodos analisados, a extensão da lâmina d'água variou da seguinte forma:

- em 1977 não houve modificações na extensão total dos corpos d'água;
- em 1978 a lâmina d'água apresentou uma redução em 2% da área em relação à cheia de 1977. Estes dados são coerentes com as informações do DNAEE (Figura 3);
- em 1979 também analisou-se apenas o período de cheia. Nesta época a lâmina d'água ocupou 19% da área em estudo.

Os resultados da análise de variância demonstraram que não existiam diferenças significativas entre os valores de largura do canal nas diferentes épocas consideradas (tratamentos), a um nível de significância de 0,01.

Através do cálculo do coeficiente de variação (Tabela 5) para cada ano estudado verificou-se que, com exceção do período de cheia de 1977, os dados relativos aos períodos de cheia apresentam uma menor dispersão relativa na largura do canal. Isto pode sugerir, que, nessa época, a água que extravasa os limites do leito normal do rio determina menor variação da lâmina d'água.

# ESTACÃO DO RIO AMAZONAS EM PARINTINS - MUNICÍPIO DE PARINTINS ESTADO DO AMAZONAS

- - - - - AGOSTO 73
- - - - - JULHO 76
- - - - - AGOSTO 76
- - - - - JULHO 77
- - - - - AGOSTO 77
- - - - - JULHO 78
- - - - - JULHO 79

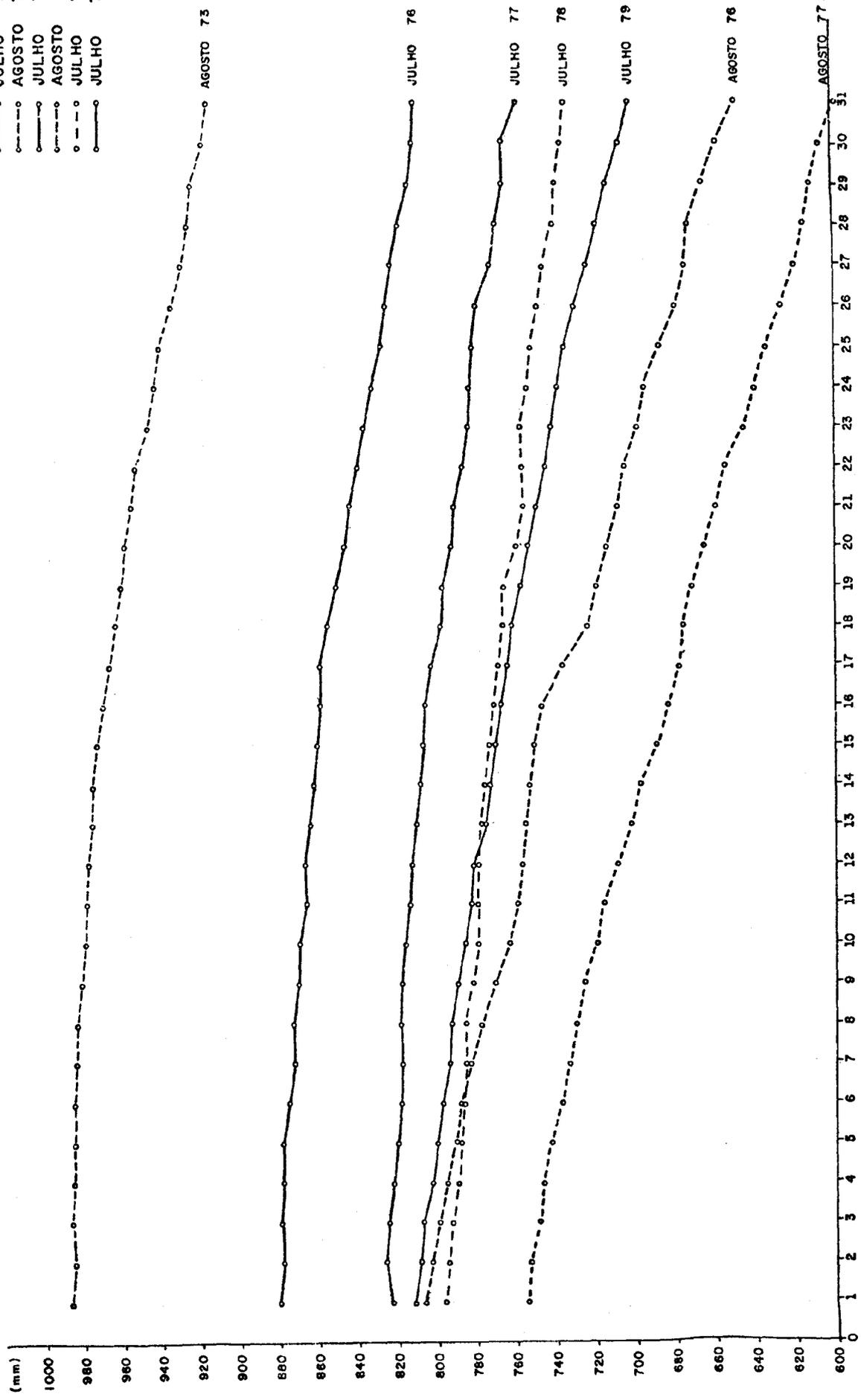


Fig. 4 - Variação diária do nível d'água na estação Parintins.

FONTE: DNAEE / D.C.R.H.

TABELA 5

COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DA LARGURA DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

DATA	10/08/73	12/08/76	16/08/77	07/07/76	11/07/77	15/07/78	01/07/79
Coefficiente de Variação	53	50	47	43	52	46	48

A variação da largura média do paranã do Ramos, no período analisado, pode ser observada na Figura 5. Esta figura mostra uma menor extensão da lâmina d'água em 1973 que em 1976.

A amplitude da extensão da lâmina d'água encontra-se representada na Figura 6. Observam-se setores com maior amplitude de variação, que pode ser associada ao estreitamento e à mudança de direção no canal.

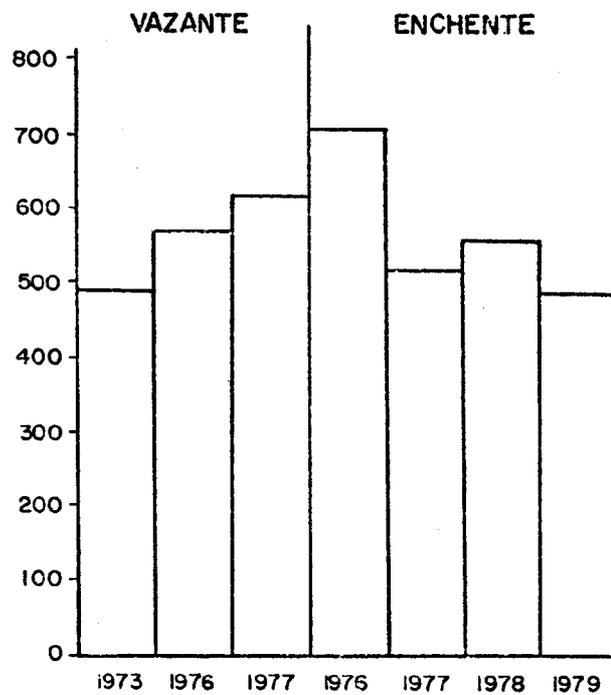


Fig. 5 - Variação média da largura do paranã do Ramos.

Uma informação útil à caracterização do comportamento hidrológico nas áreas adjacentes aos corpos d'água é a avaliação da taxa de modificação da lâmina d'água no tempo. Segundo relatório da CEPA/AM (1981b), no ano de 1976, apesar de os níveis d'água terem alcançado valores excepcionais, a permanência d'água foi relativamente curta (entre 3 e 4 meses).

O gráfico da Figura 7 mostra uma comparação do comportamento do paranã do Ramos no ano de 1976 (cheia e início de vazante). Através deste gráfico também podem-se observar os setores em que o vazamento d'água se deu mais rapidamente.

O conhecimento da variação da extensão da lâmina d'água ao longo dos rios pode ser de grande utilidade para o planejamento da implantação de atividades agrícolas nas várzeas. Segundo relatório da CEPA/AM (1981b), o agricultor utiliza uma faixa de até 2000

metros ao longo do leito do rio. Uma variação de 280 metros na lâmina d'água, como a verificada no paranã do Ramos (Figura 7), representa uma diminuição na área agricultável superior a 10% em alguns trechos.

Durante o trabalho de campo, através da construção de perfis topográficos esquemáticos, pôde-se verificar que os dados coletados através das imagens se aproximam das condições reais (Figura 8). Através desta figura, observa-se que a faixa recoberta regularmente pela lâmina d'água nas cheias está em torno de 200 metros.

O acompanhamento temporal mais intenso da variação da extensão da lâmina d'água em alguns anos típicos (ano padrão chuvoso, seco e médio - Monteiro, 1973), poderia dar subsídios à determinação da probabilidade de risco de inundação em diferentes setores da várzea.

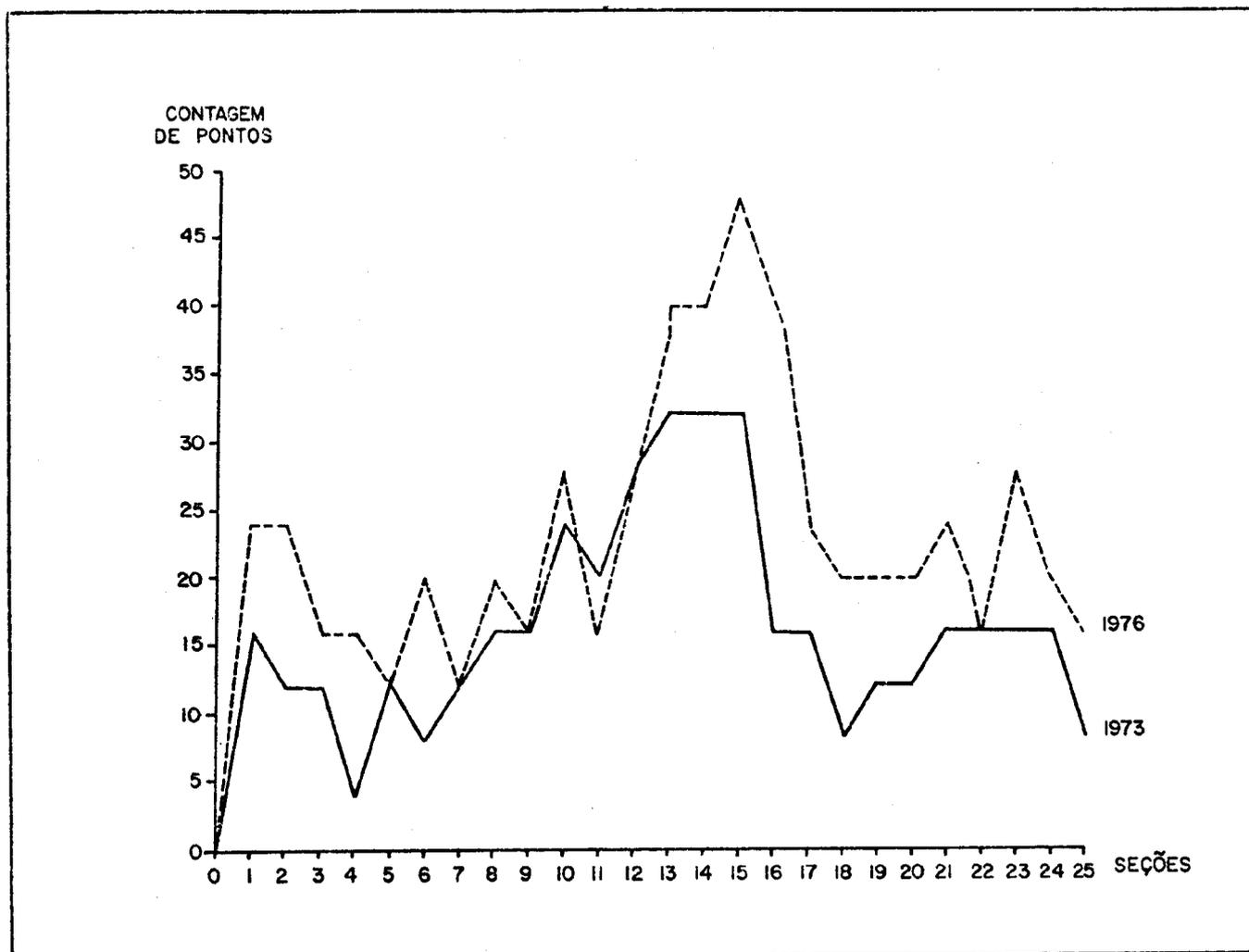


Fig. 6 - Comparação entre as diferentes seções do paranã do Ramos nos anos de 1973 e 1976.

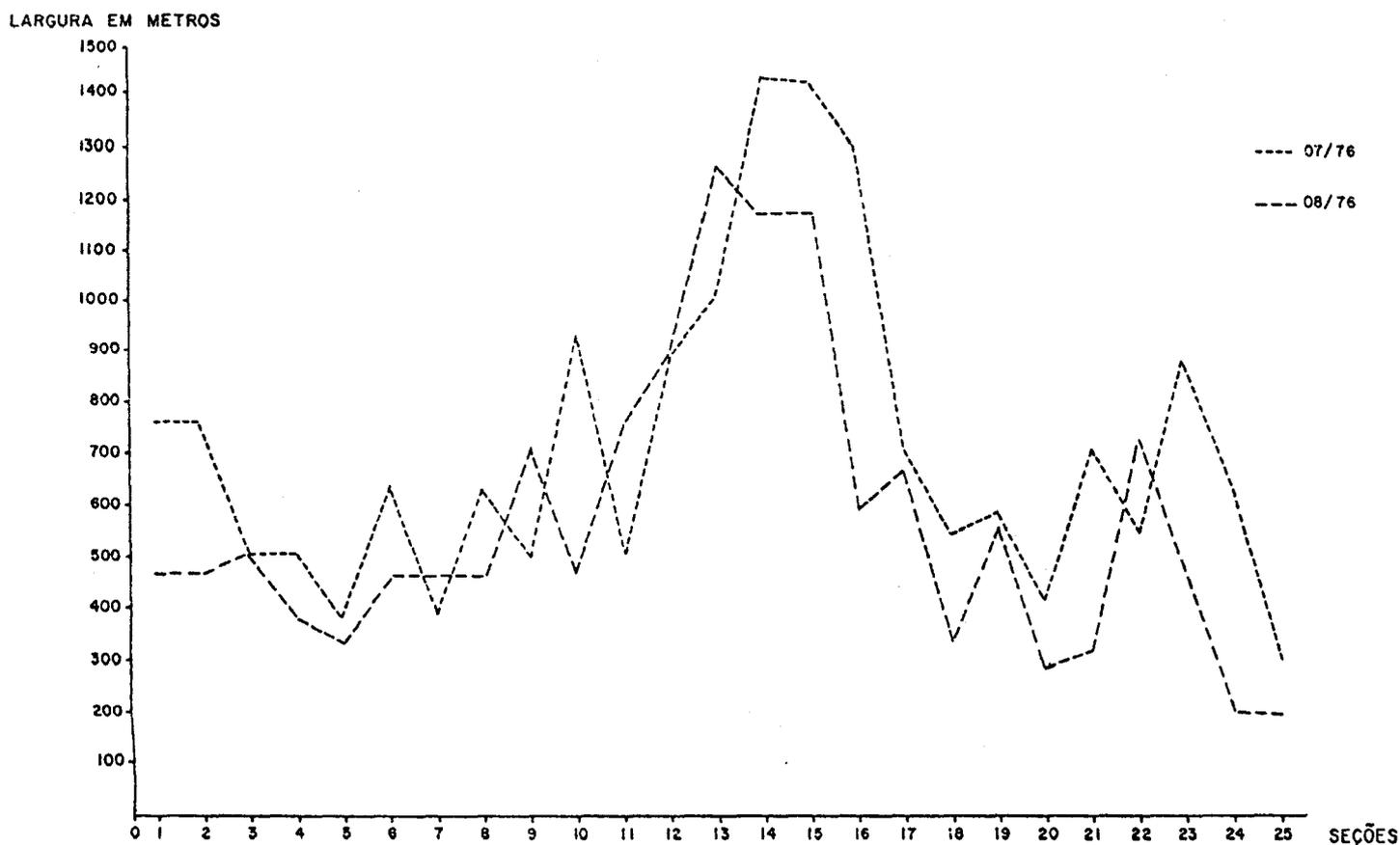


Fig. 7 - Variação da lâmina d'água em diferentes seções transversais do paranã do Ramos.

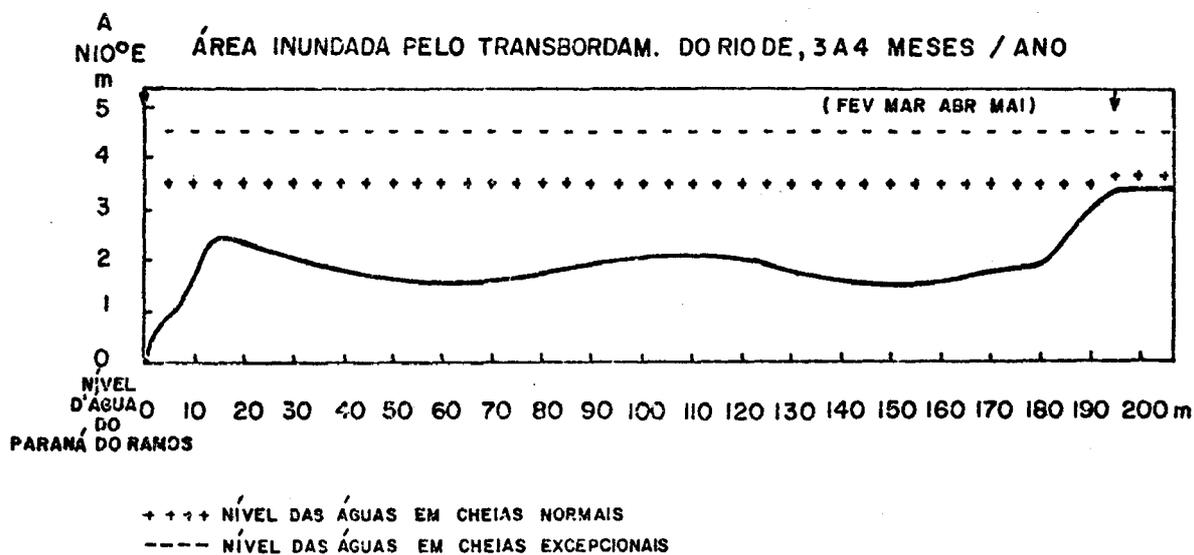


Fig. 8 - Perfil topográfico esquemático.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que os dados LANDSAT são essenciais ao acompanhamento da variação da lâmina d'água em diferentes épocas. Entretanto a baixa frequência de passagens com níveis aceitáveis de cobertura de nuvens prejudica o processo de seleção de imagens.

Além do acompanhamento temporal da variação da lâmina d'água, as imagens permitem a diferenciação de qualidade de água quanto aos tipos de sedimentos em suspensão.

Quanto à análise temporal, as distorções geométricas constituem a principal limitação metodológica, pois dificulta a superposição adequada de imagens de diferentes épocas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COMISSÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DO AMAZONAS (CEPA/AM). *Projeto de Desenvolvimento Rural Integrado do Amazonas - Recursos Naturais*. Manaus, 1981a.
- COMISSÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DO AMAZONAS (CEPA/AM). *Relatório de viagem de estudo e coleta de informações nas áreas programadas do PDRI - Equipe de Recursos Naturais*. Manaus, 1981b.
- GENERAL ELECTRIC. *Image 100: user manual*. Daytona, 1975.
- MONTEIRO, O.A.F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. São Paulo, USP, 1973.
- NOVO, E.M.L.M.; SANTOS, A.P. *Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto orbital: exemplo do baixo vale do Rio Doce*. São José dos Campos, INPE, jun.1981. (INPE-2109-RPE/335).
- ROBINOVE, C.G. Interpretation of a LANDSAT image of an unusual flood phenomenon in Australia. *Remote Sensing of Environment*, 7:219-225, 1978.
- SOARES, L.C. Hidrografia. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Geografia do Brasil, Região Norte*. Rio de Janeiro, 1977. v. 1, cap. 4, p. 95-164.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul. 1978. (INPE-1315-NTI/110).

