

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5353-TDI/462

APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMA DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE
INUNDAÇÃO NO PANTANAL

JOÃO DOS SANTOS VILA DA SILVA

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada
pelo Dr. Hermann J. H. Kux, aprovada em outubro de 1991.

INPE
São José dos Campos
Outubro de 1991

Publicado por:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**Solicita-se intercâmbio
We ask for exchange**

Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.

INPE-5353-TDI/462

**APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMA DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE
INUNDAÇÃO NO PANTANAL**

JOÃO DOS SANTOS VILA DA SILVA

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada
pelo Dr. Hermann J. H. Kux, aprovada em outubro de 1991.

INPE
São José dos Campos
Outubro de 1991

528.711.7(817.2)

VILA DA SILVA, J.S.

Aplicações de técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na avaliação da dinâmica de inundações no Pantanal / J.S. Vila da Silva. -- São José dos Campos: INPE, 1991. 161p. -- (INPE-5353-TDI/462)

1. Dinâmica de inundação. 2. Manejo de bovinos. 3. Hidrologia. 4. Pantanal. 5. Título

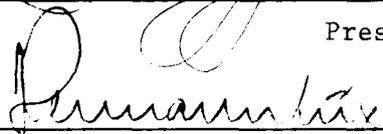
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Antonio Roberto Formaggio



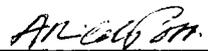
Presidente

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux



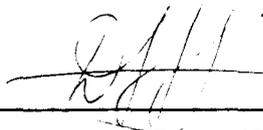
Orientador

Dr. Arnildo Pott



Membro da Banca
- Convidado -

Dr. Diógenes Salas Alves



Membro da Banca

Dra. Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo



Membro da Banca

Candidato: João dos Santos Vila da Silva

São José dos Campos, 25 de outubro de 1991

CITAÇÃO

"Se um pergaminho traz más notícias, a culpa é do pergaminho ou do que está descrito nele? Se o pergaminho é portador de boas novas, de que forma pode diferir daquele que traz más notícias?"

"Começamos a vida como uma lousa aparentemente vazia - e, embora os escritos que gradativamente aparecem nessa lousa não nos pertençam, nosso julgamento das coisas escritas determinam o que somos e o que nos tornaremos. Da mesma forma, nossa obra será julgada pela maneira como as outras pessoas a aproveitam.... Portanto, a questão passa a ser a seguinte: como podemos controlar o seu uso quando escapa ao nosso controle, passando para as mãos de pessoas sobre as quais não temos qualquer controle?"

"Os ensinamentos mais antigos da Casta dos Sacerdotes apregoam que o desempenho de nosso trabalho com a vontade e o desejo seja pela melhoria do homem e do mundo, e nós lhe concedemos nossa bênção, que reduzirá o desejo do usuário de aproveitá-la para propósitos destrutivos. Sem dúvida, há alguma verdade nisso - mas redução não é prevenção."

- De Marion Zimmer Bradley em "A Queda de Atlântida".

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho

Ao Tárík

A Luana

A Edna

A Heraldo, Pedro Luís e "Tonho" (in memoriam)

A Maria Aparecida, Rosângela, Ramona e Ana

A dona Tereza e a dona Maranda

Ao "Boiadeiro" e ao Sr. Antonio (in memoriam)

Pelo apoio, pelos ensinamentos, pela
compreensão, pelo incentivo e principalmente por me amarem
além do que eu jamais poderia imaginar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar a convivência com instituições que colocaram sua infraestrutura à minha disposição, bem como às pessoas que contribuíram para a realização deste estudo;

à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do seu Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantana (CPAP);

ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do Departamento de Sensoriamento e Meteorologia (DSM), do Departamento de Processamento de Imagem (DPI) e do Laboratório de Tratamento de Imagem Digital (LTID); e

à Fazenda Bodoquena S/A.

Agradeço também às pessoas relacionadas a seguir as discussões sobre a concepção e o desenvolvimento da pesquisa; o estímulo e amizade; o desenvolvimento e implementação de algoritmos; o apoio na realização do trabalho de campo; e a organização metodológica desta dissertação: Antonio Carlos Zonato (Supervisor de Segurança da Fazenda Bodoquena S/A); Araê Boock (EMBRAPA/CNPGC); Carlos Alberto Felgueiras (INPE/DPI); Domingos Lopes (Peão da Fazenda Bodoquena S/A); Evlyn Márcia Leao de Moraes Novo (INPE/DSM); Fernanda A. Leite Rodrigues Lobo (INPE/LTID); Flávio Jorge Ponzoni (INPE/DSM); Hermann J. H. Kux (INPE/DSM - Orientador); João Argemiro C. Paiva (INPE/DPI); João Carlos Marson (Diretor Superintendente da Fazenda Bodoquena S/A); Júlio Cesar Lima D'Alge (INPE/DPI); Maria Ribeiro de Araújo (Chefe Técnico do CPAP); Myrian de Moura Abdon (INPE/DSM); Nivaldo Petzold Gomes (EMBRAPA/CPAP);

Sílvia Shizue Ii (INPE/DPI); Tereza Galotti Florenzano (INPE/DSM); Urbano Gomes Pinto de Abreu (Chefe Geral do CPAP); Vera Gabriel da Silva (INPE/LTID).

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica de inundação numa seção do Pantanal, a partir da análise e integração de dados de sensoriamento remoto com dados de campo, usando um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foram utilizados dados de cotas fluviométricas tomados nos leitos dos rios e na planície de inundação, imagens do satélite Landsat 5-TM, fotografias aéreas verticais pancromáticas, fotografias aéreas oblíquas de 35mm e documentos cartográficos disponíveis da área de estudo. Elaboraram-se 5 mapas temáticos do estado de inundação no ano hidrológico de 1989, referentes às datas de 09/04/89, 11/05/89, 12/06/89, 14/07/89 e 16/09/89, os quais foram armazenados e quantificados através do SIG e impressos por uma plotadora Versatec. A integração dos dados de área inundada obtidos das imagens de satélite com os dados de níveis de inundação foi fundamentada nas análises de correlação e regressão linear simples e múltipla. A análise de correlação demonstrou que os níveis fluviométricos do leito do rio e da planície de inundação estão altamente correlacionados com a extensão da área inundada e entre si, apresentando coeficientes de correlação superiores a 0,95 em muitos casos. Com base nessas correlações, ajustaram-se equações de regressão para a estimativa de área inundada e níveis de inundação na região avaliada. As observações de campo e os valores das cotas fluviométricas na planície permitiram identificar 5 seções com características próprias de inundação. Através das séries temporais dos dados fluviométricos do posto de Ladário no rio Paraguai e do posto de Tição de Fogo no rio Miranda, estimaram-se os períodos de retorno de inundação para 5, 10 e 15 anos. Estimou-se a defasagem dos picos de inundação entre os postos fluviométricos de Miranda e Tição de Fogo. Este estudo servirá de subsídio para o estabelecimento de opções de manejo desta região.

APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS (GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM) TECHNIQUES TO THE EVALUATION OF
FLOODING DYNAMICS WITHIN THE PANTANAL

ABSTRACT

The objective of this study is to perform an evaluation of the dynamics of flooding in a section from the Pantanal based on remote sensing data integrated with field data, by using a GIS (Geographic Information System). The following materials were used: data from hydrographs obtained at the river beds and floodplains, Landsat 5-TM images, panchromatic aerial photographs, 35mm aerial photographs and topographic maps available from the area under study. Five thematic maps on the status of inundation for the hydrologic year 1989 (dates: April 9,89; May 11,89; June 12,89; July 14,89; September 16,89) were elaborated. By using a GIS, these maps were stored and quantified and, finally, printed by a Versatec plotter. Data integration among satellite and field (hydrographs) data were based on simple and multiple correlation analysis and linear regression. The correlation analysis showed that the hydrographs along river beds and floodplains are highly correlated among each other, but also with the flooded area, presenting frequently correlation coefficients above 0.95. Based on these correlations, regression equations were fitted to estimate the flooded area and the levels of inundation in the area under study. Field observations and data of the hydrographs located at the floodplain allowed the identification of five characteristic sections with different flooding aspects. By using the time series of hydrographic data from both Ladario (at Rio Paraguai) and Tição de Fogo (at Rio Miranda) stations, the recurrence time of inundations for 5, 10 and 15 years was estimated. Furthermore, the time delay of inundation peaks between the hydrographic stations of Miranda and Tição de Fogo was estimated. This study is intended to be a contribution to the options of management of this region.

SUMÁRIO

	<u>pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xix
LISTA DE TABELAS.....	xxi
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
1.1 - Identificação do problema e justificativas.....	2
1.2 - Objetivo.....	5
<u>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</u>	<u>7</u>
2.1 - Aquisição de dados do Satélite Landsat 5-TM.....	7
2.2 - Avaliação do comportamento espectral dos alvos relacionados com o processo de inundação.....	8
2.2.1 - Comportamento espectral da vegetação.....	10
2.2.2 - Comportamento espectral da água.....	13
2.2.3 - Comportamento espectral do solo.....	14
2.3 - Resultados obtidos através de técnicas de senso- riamento remoto em estudos de avaliação de áreas inundadas.....	16
2.4 - Sensoriamento remoto em Hidrologia.....	21
2.5 - Previsão de enchentes.....	25
2.5.1 - Período de Retorno (T_R).....	26
2.5.2 - Método de Gumbel.....	27
2.6 - Correlação e Regressão.....	29
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODO.....</u>	<u>33</u>
3.1 - Identificação da área.....	33
3.1.1 - Localização geográfica.....	33
3.1.2 - Clima.....	33
3.1.3 - Regime hidrológico.....	34

3.1.4 - Vegetação.....	35
3.1.5 - Solo.....	38
3.2 - Materiais.....	40
3.2.1 - Produtos do Landsat 5-TM.....	40
3.2.2 - Fotografias aéreas verticais.....	40
3.2.3 - Fotografias aéreas oblíquas de 35mm.....	41
3.2.4 - Base cartográfica.....	41
3.2.5 - Dados fluviométricos e pluviométricos.....	42
3.2.6 - Sistema de Informações Geográficas (SIG).....	42
3.3 - Metodologia.....	46
3.3.1 - Seleção das parcelas amostrais.....	46
3.3.2 - Seleção das bandas TM/Landsat 5.....	47
3.3.3 - Trabalho de campo.....	51
3.3.3.1 - Identificação e colocação das réguas fluviométricas nas parcelas amostrais.....	51
3.3.3.2 - Coleta das medidas das cotas fluviométricas..	51
3.3.3.3 - Obtenção das fotos aéreas oblíquas das parcelas.....	52
3.3.4 - Análise e interpretação visual das imagens	52
3.3.4.1 - Classificação das áreas inundadas.....	52
3.3.4.2 - Atualização da base cartográfica.....	53
3.3.4.3 - Delimitação das parcelas no mapa e nas imagens.....	53
3.3.5 - Digitalização dos planos de informação (PIs)...	53
3.3.6 - Tratamento estatístico.....	53
3.3.6.1 - Estatística descritiva.....	54
3.3.6.2 - Correlação e Regressão.....	54
3.3.7 - Previsão de enchentes.....	54
3.3.8 - Espacialização temática.....	55
3.3.8.1 - Geração e edição de cartas.....	55

<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	57
4.1 - Interpretação visual das imagens e uso do SIG....	57
4.1.1 - Classificação temática e atualização cartográfica da área.....	57
4.1.2 - Descrição dos temas e dificuldades na interpretação.....	58
4.1.3 - Digitalização e cálculo da área dos temas.....	74
4.1.4 - Impressão dos mapas temáticos através da plotadora.....	76
4.2 - Caracterização da dinâmica de inundação.....	77
4.2.1 - Análise dos dados pluviométricos.....	77
4.2.2 - Análise dos dados fluviométricos.....	78
4.2.2.1 - Análise dos hidrogramas dos rios Aquidauana, Miranda e Paraguai no ano hidrológico de 1987	80
4.2.2.2 - Estimativa da defasagem entre picos de inundação.....	86
4.2.3 - Análise de correlação e de regressão na integração de dados de satélite e de campo.....	88
4.2.3.1 - Ajuste da equação de regressão linear para estimativa de inundação em Tição de Fogo.....	96
4.2.3.2 - Caracterização da distribuição espacial e temporal da água na área de estudo.....	96
4.2.3.3 - Correlações entre as cotas fluviométricas....	100
4.2.3.4 - Correlações entre dados de satélite e de campo, e ajuste das equações de regressão linear.....	105
4.3 - Período de Retorno de inundação associado à extensão da área inundada.....	110

<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u>	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
APÊNDICE A - MAPA DO ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 09/04/89...	131
APÊNDICE B - MAPA DO ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 11/05/89...	133
APÊNDICE C - MAPA DO ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 12/06/89...	135
APÊNDICE D - MAPA DO ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 14/07/89...	137
APÊNDICE E - MAPA DO ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 16/09/89...	139

LISTA DE FIGURAS

	<u>pág.</u>
2.1 - Parâmetros que influenciam nas respostas radiométricas dos alvos inseridos nas imagens do satélite Landsat 5-TM.....	9
2.2 - Posicionamento das bandas TM do Landsat 5 e curvas da reflectância espectral características dos alvos relacionados com o processo de inundação...	11
2.3 - Representação esquemática do fluxo de radiação incidente em um corpo d'água.....	15
2.4 - Papel de Gumbel utilizado para verificação de ajustamento dos dados.....	31
3.1 - Localização geográfica da área de estudo.....	36
3.2 - Detalhamento cartográfico da área de estudo e posicionamento da órbita/ponto 226/74A da imagem do Landsat 5-TM.....	37
3.3 - Fluxo metodológico das etapas desenvolvidas na pesquisa.....	48
3.4 - Pontos de observação dos níveis de inundação na área de estudo.....	50
4.1 - Presença de plantas aquáticas no Corixo Mutum...	60
4.2 - Feição fitofisionômica Campo na época seca.....	61
4.3 - Feição fitofisionômica Campo na época cheia.....	62
4.4 - Feição fitofisionômica Mata.....	64
4.5 - Feição fitofisionômica Espinheiral na época cheia. Alagamento na parcela 107 e adjcências...	65
4.6 - Feição fitofisionômica Carandazal. Parcela 14....	66
4.7 - Feições formadas por Paratudais com cipós e pastagem nativa alta, às margens do rio Miranda.....	67
4.8 - Feição Mista alagada, formada por Mata, Carandazal, Paratudal, Espinheiral e Macrófitas.....	68
4.9 - Detalhe da inundação em vegetação esparsa.....	69
4.10 - Feição fitofisionômica Caapão.....	73

4.11 - Precipitação média em Guaicurus e Fazenda Acurizal dos anos hidrológicos de 1985-91.....	79
4.12 - Rede de drenagem responsável pela inundação da área de estudo.....	81
4.13 - Hidrogramas do rio Miranda em 1987.....	82
4.14 - Hidrogramas do rio Aquidauana em 1987.....	83
4.15 - Hidrogramas do rio Paraguai em 1987.....	84
4.16 - Régua fluviométrica no ponto 64, feição fitofisionômica de Paratudal.....	90
4.17 - Régua fluviométrica no ponto 30, feição fitofisionômica de Carandazal.....	91
4.18 - Régua fluviométrica no ponto 90, feição fitofisionômica de Canjiqueiral.....	92
4.19 - Régua fluviométrica no ponto 107, feição fitofisionômica de Espinheiral.....	93
4.20 - Régua fluviométrica no ponto 86, feição fitofisionômica de Mata (ao fundo).....	94
4.21 - Régua fluviométrica no ponto 56, feição fitofisionômica de Campo.....	95
4.22 - Distribuição temporal das cotas fluviométricas e extensão da área inundada em 1989.....	98
4.23 - Hidrogramas dos rios Paraguai e Miranda em 1989.	107
4.24 - Períodos de retorno de inundação para o rio Miranda em Tição de Fogo.....	115
4.25 - Períodos de retorno de inundação para o rio Paraguai em Ladário.....	116

LISTA DE TABELAS

	<u>pág.</u>
2.1 - Estudos aplicados na avaliação do processo de inundação através de técnicas de sensoriamento remoto.....	18
2.2 - Variável reduzida, probabilidade e período de retorno.....	28
2.3 - Valores esperados da média e desvio-padrão da variável reduzida em função do número de anos....	28
3.1 - Produtos do Landsat 5-TM na escala de 1:100000 utilizados na realização do estudo.....	41
3.2 - Relação dos postos hidrométricos localizados na área de influência de inundação da Fazenda Acurizal.....	43
3.3 - Áreas amostrais onde foram tomadas as medidas de cotas fluviométricas em 1989. Fitofisionomia dominante e época de inundação na Fazenda Acurizal.	49
4.1 - Caracterização dos Planos de Informação (PIs) gerados no SIG.....	74
4.2 - Área (em ha), gerada no SIG, das seções inundadas e das seções secas em 5 épocas diferentes.....	75
4.3 - Área inundada (AI) em ha, cotas fluviométricas (cm) observadas na planície da Fazenda Acurizal e nos rios Paraguai (Lad=Ladário, Esp=Porto Esperança) Aquidauana (Pal=Palmeira) e Miranda (Mir=Miranda, TFg=Tição de Fogo) no ano hidrológico de 1989.....	89
4.4 - Matriz de correlação das cotas fluviométricas e extensão das áreas inundadas ao nível de significância de 5%.....	101
4.5 - Equações de regressão linear ajustadas para estimativas de profundidade e extensão de inundação..	108

4.6 - Período de retorno (T_r) em anos e probabilidade (P) de inundação.....	111
4.7 - Área inundada (ha) associada aos períodos de retorno (T_r) em anos e probabilidade (P) de ocorrência de inundação.....	113

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto abrange um conjunto de técnicas que permitem obter informações dos recursos naturais da superfície terrestre sem haver contato com os alvos de interesse, através de sistemas sensores a bordo de satélites e aeronaves, em conjunto com estações de recepção e processamento em Terra, ou de sistemas sensores operados em campo, tais como os radiômetros. A caracterização das propriedades dos alvos na superfície terrestre é efetuada através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante refletida ou emitida por estes alvos. Esses dados são processados por computadores mediante técnicas específicas para extração das informações e posterior utilização pela comunidade de usuários.

A energia detectada por esses sensores revela características intrínsecas de determinados alvos em escala micro e macroscópica. A abordagem microscópica relaciona-se com aspectos microestruturais, tais como características morfológicas (forma, orientação espacial, geometria etc), fisiológicas (pigmentação e estresses) e a composição química. A abordagem macroscópica diz respeito às inter-relações dos componentes de uma cena, tais como a configuração espacial, a complexidade estrutural, a fisionomia vegetal, o contexto, o relevo, o substrato, e as variáveis climáticas e atmosféricas, proporcionando uma visão holística do ambiente.

A avaliação do processo de inundação está mais relacionada com esta última abordagem, uma vez que a radiação eletromagnética percebida pelos sensores é o resultado integrado de informações advindas da água, do

solo, da vegetação e da atmosfera presente na área.

Neste contexto, produtos de sensoriamento remoto como imagens orbitais, imagens de radar aerotransportado e fotografias aéreas, são amplamente utilizados em análise ambiental. Trabalhos relacionados com a detecção e mapeamento de planícies de inundação e da vegetação nativa nesses ambientes, com o acompanhamento da variação da lâmina d'água em reservatórios e com a previsão de inundações, através de observações sistemáticas e/ou alimentação de modelos hidrológicos utilizados nessa previsão foram desenvolvidos por Farnsworth et al. (1984), Schultz (1988), Ali et al. (1989) e Ponzoni et al. (1989).

1.1 - IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVAS

No Brasil há extensas áreas sujeitas a inundações sazonais, com predomínio de vegetação nativa, entre as quais se destacam as "várzeas" na Amazônia e o Pantanal, embora estas regiões sejam diferentes quanto aos tipos de formações vegetais e à intensidade de inundação.

Em ambas existem extensas faixas de terras passíveis de aproveitamento pecuário, desde que seja estabelecido um manejo adequado e obtidos conhecimentos confiáveis, se possível quantificados, das variações da lâmina d'água ao longo do ciclo hidrológico.

O Pantanal, localizado na Bacia do Alto Paraguai, integra áreas territoriais do Brasil, Bolívia e Paraguai. Com seus 139.111km² em território brasileiro (Adâmolli, 1982), estende-se pelos Estados de Mato Grosso (37%) e Mato Grosso do Sul (63%), estando localizado entre os paralelos de 16° e 22° de latitude sul e os meridianos de 55° e 58° de longitude oeste.

Esta extensa área sedimentar corresponde a uma grande planície aluvial drenada pelo alto curso do rio Paraguai e afluentes. A planície é cortada por numerosos rios, vazantes e corixos, os quais determinam alagamentos periódicos, variáveis em intensidade, extensão e permanência da inundação intra-anual e interanual. Caracteriza-se por reduzida declividade: de 30 a 50 cm/km no sentido leste-oeste e de 3 a 15cm/km no sentido norte-sul (Franco e Pinheiro, 1982), o que causa o lento escoamento das águas. É uma região impropriamente conhecida como "Pantanal", uma vez que nela não ocorrem capeamentos generalizados de detritos vegetais ou acumulações típicas de matéria orgânica, comuns nos ambientes de gênese pantaneira (Sánchez, 1977). Faixas relativamente estreitas, denominadas "Pantanal Baixo", são alagadas por numerosos rios. Um grande número de lagoas periódicas surgem; outras, permanentes, crescem por ocasião do período de cheia.

Nesta região foi desenvolvido um dos maiores criatórios naturais de bovinos do País. A pecuária extensiva é ajustada a um regime de alternância dos períodos de excesso e déficit de água. A base da alimentação do gado são as pastagens nativas, com um mínimo de aplicações de insumos pecuários (Cadavid García, 1986).

Durante as grandes inundações anuais, as terras aproveitadas pela atividade pecuária são atingidas pelas águas, interrompendo as vias de comunicação. Cessadas as enchentes, as águas restantes formam lençóis freáticos a pequenas profundidades, que alimentam as vazantes e os corpos descontínuos de água, como as baías e pequenos braços de rios (Silva, 1986).

O Pantanal, longe de ser uma área homogênea, apresenta diversos ecossistemas com características próprias. Franco e Pinheiro (1982), utilizando imagens de radar aerotransportado (na escala de 1:250000) e baseando-se nos sistemas hidrográficos, na litologia, solos e na altimetria relativa, individualizaram oito conjuntos de bacias que correspondem a oito diferentes pantanais. Por outro lado, Adámoli (1982), usando imagens do satélite Landsat (sensor MSS), identificou diferentes províncias fitogeográficas no Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai. Esse autor reconheceu a existência de dez pantanais com características próprias, ecológica e floristicamente diferenciáveis. Entretanto, em ambos os trabalhos, o nível de detalhe está aquém do desejado, visto que os mapas foram apresentados nas escalas de 1:5200000 e 1:5000000, respectivamente.

Um conjunto de fatores ambientais, sócio-econômicos e tecnológicos, entre outros, limitam o desenvolvimento regional, com destaque para o conhecimento insuficiente do regime hidrológico, condicionador da vida e desenvolvimento do Pantanal (EMBRAPA, 1987).

Parte das ações de pesquisa definidas no Programa Nacional de Pesquisa do Pantanal (EMBRAPA, 1987) objetivam a caracterização do regime hidrológico, para o qual o uso de modernas técnicas, como a informática e o sensoriamento remoto, constituem meios relativamente econômicos e de grande eficiência.

1.2 - OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar, através da integração de técnicas de sensoriamento remoto e de trabalhos de campo, a dinâmica de inundação numa área teste no Pantanal, a fim de fornecer subsídios para manejo da pecuária extensiva de corte, vida silvestre e aproveitamento pesqueiro da região.

Para que esse objetivo fosse alcançado, definiram-se algumas metas de trabalho descritas a seguir:

- a) Confeccionar 5 mapas temáticos sequenciais das áreas submetidas a inundação no ano hidrológico de 1989, na escala de 1:100000, a partir de imagens do satélite Landsat 5 - TM.
- b) Determinar a correlação entre cotas fluviométricas (planície de inundação e leito do rio) e extensão da área inundada obtida por imagens do satélite Landsat 5 - TM ao longo do ciclo hidrológico, para estabelecer um sistema de alerta de inundação.
- c) Determinar os períodos de retorno para os diferentes níveis de inundação e associá-los à extensão das áreas inundadas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em estudos que visam a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, é imprescindível considerar a forma de aquisição dos dados, o comportamento espectral dos alvos a serem analisados, e as técnicas de análise de dados empregadas na obtenção e apresentação dos resultados. A seguir são revisados esses procedimentos.

2.1 - AQUISIÇÃO DE DADOS DO SATÉLITE LANDSAT 5-TM

As imagens orbitais mais utilizadas atualmente no Brasil são aquelas obtidas através do sensor TM a bordo do Landsat 5. Este sistema sensor capta informações em 7 faixas do espectro eletromagnético, com uma resolução espacial de 30x30m no terreno (exceto na banda 6 - faixa do Infravermelho Termal - cuja resolução é de 120x120m), imageando a mesma área a cada 16 dias. Em NASA (1984) e Novo (1989), estão ordenadas estas faixas espectrais, com suas principais aplicações.

Este sensor, ao detectar a radiação refletida ou emitida da superfície terrestre, transforma-a em sinais digitais, cuja quantização é de 8 bits, ou seja, 256 níveis digitais, com exceção da banda 6, com quantização de 7 bits e 128 níveis digitais. Estes dados são transmitidos via telemetria para uma estação receptora na Terra, onde são gravados em fitas magnéticas de alta densidade. Em seguida, no laboratório de processamento de imagens, esses dados são transformados em imagens fotográficas ou fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT).

A Figura 2.1 apresenta sinteticamente os parâmetros que influenciam nas respostas radiométricas dos alvos inseridos nas imagens de satélite. Convém ressaltar que um dos efeitos mais prejudicial e de difícil eliminação nas imagens de sensores óticos é a interferência atmosférica, visto que a energia radiante, antes de atingir o detector, atravessa a atmosfera duas vezes.

Além desses fatores, devem ser considerados os discutidos por Markham e Barker (1987), inerentes à exatidão radiométrica registrada pelo sistema de imageamento: procedimentos e padrões radiométricos de pré-lançamento do satélite, efeitos dos sensores e do processamento.

2.2 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS RELACIONADOS COM O PROCESSO DE INUNDAÇÃO

O conhecimento de como a radiação solar interage com cada alvo é fundamental para poder interpretar, processar e avaliar suas contribuições na resposta final detectada pelos sensores. O espectro da radiação refletida ou emitida pelos alvos na superfície da Terra depende de suas propriedades físico-químicas e, quando detectado por um sistema sensor, permite sua identificação.

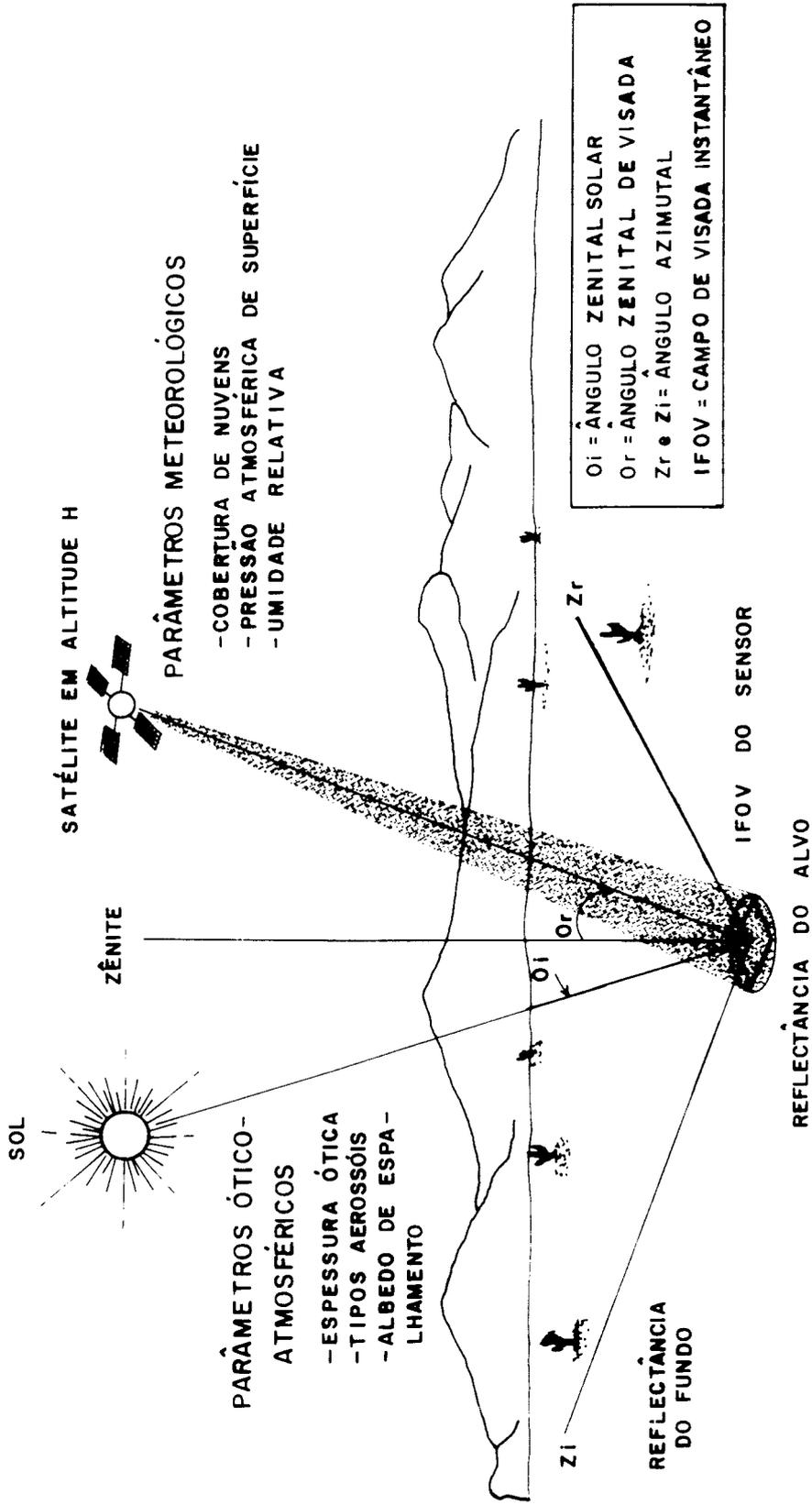


Fig. 2.1 - Parâmetros que influenciam nas respostas radiométricas dos alvos inseridos nas imagens do satélite Landsat 5-TM.

FONTE: Adaptada de Bowker et al. (1985), p. 13.

Em sensoriamento remoto, o parâmetro mais importante para a caracterização dos alvos é a energia refletida por eles, quantificada pela reflectância espectral. Na Figura 2.2 observam-se as curvas das reflectâncias espectrais característica de vegetação sadia, de solo seco (arenoso e argiloso) e de águas de rio (túrbida e transparente), além do posicionamento das bandas do Landsat 5 - TM, exceto a banda TM6.

2.2.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

A curva da reflectância espectral da vegetação (Figura 2.2) apresenta quatro regiões características de absorção, das quais duas se encontram na faixa do visível (0,38 a 0,5 e 0,63 a 0,69 micrometros), devido à presença de clorofila e demais pigmentos, e duas encontram-se na faixa do infravermelho próximo (1,4 a 1,45 e 1,95 a 2,0 micrometros), devido à presença de água na estrutura interna da folha.

Segundo Knipling (1970), a folha de uma planta possui baixa reflectância na região do espectro visível (0,4 a 0,7 micrometros) devido à forte absorção pela clorofila e outros pigmentos; reflectância alta no infravermelho próximo (0,7 a 1,3 micrometros), por causa do espalhamento interno da folha e ausência de absorção por parte de pigmentos; e entre 1,3 a 2,7 micrometros, a reflectância decresce gradualmente em decorrência da forte absorção pela água.

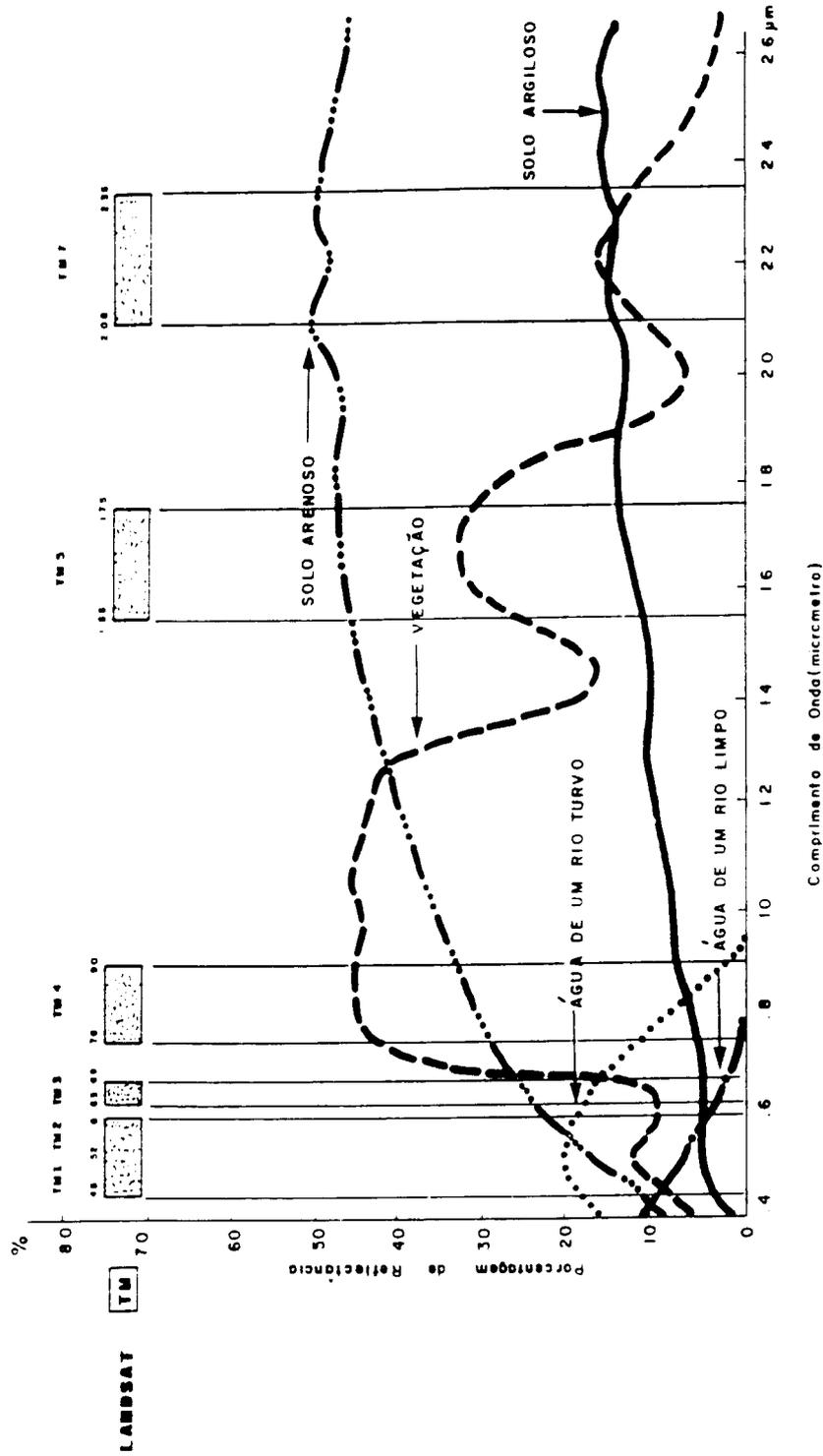


Fig. 2.2 - Posicionamento das bandas TM do Landsat 5 e curvas da reflectância espectral características dos alvos relacionados com o processo de inundação.
 FONTE: Florenzano et al. (1988), p. 36.

Kumar (1972), após profunda revisão de trabalhos de vários pesquisadores, concluiu que as causas da reflectância por parte de uma folha são principalmente de caráter interno. Grande parte dessa reflectância ocorre no mesófilo, que é o tecido no qual estão localizados os pigmentos fotossintéticos e no qual as células apresentam variações em seu arranjo espacial, de forma a permitir a presença diferenciada de ar nos espaços intercelulares. Estes dois fatores - pigmentos e ar ocupando os espaços intercelulares - afetam a trajetória da radiação eletromagnética dentro da folha, ora permitindo sua maior absorção, ora aumentando a probabilidade de múltiplo espalhamento.

A reflectância no dossel da planta é similar à da folha, porém modificada pela não uniformidade da radiação solar incidente, estrutura da planta, área da folha, sombras e refletividade do substrato (Knipling, 1970). Colwell (1974) assinala que o comportamento espectral de folhas isoladas não é suficiente para explicar o comportamento do dossel, visto que outros componentes influenciam esse comportamento, tais como a geometria de visada e de iluminação (ângulos de visada, zenital solar e azimutal), a reflectância e a transmitância hemisférica das folhas e das estruturas de suporte (caule, tronco, ramos e pecíolo), a área e a orientação das folhas (distribuição angular), bem como as sombras e o efeito de fundo.

2.2.2 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA

A energia radiante, ao incidir sobre a superfície da água de uma forma direta ou espalhada pela atmosfera, é refletida, transmitida ou absorvida, sendo ainda uma parte retroespalhada. A radiação captada pelo sensor é o resultado do espalhamento de superfície, da radiação - que é retroespalhada no fundo e emerge na superfície - e do acréscimo da atmosfera nessa trajetória. Deve-se ressaltar também que, antes de a energia retroespalhada emergir na superfície, ela sofre reflexões internas, como pode ser observado na Figura 2.3.

Com relação ao comportamento espectral da água, verifica-se (Figura 2.2) que a reflectância da água limpa (transparente) é maior na região do espectro que compreende a faixa do azul (0,4 a 0,5 micrometros), seguida da faixa do verde (0,5 a 0,6 micrometros), onde estão inseridas as bandas TM1 e TM2, respectivamente. A partir de 0,55 micrometros esta reflectância diminui consideravelmente em direção à faixa do vermelho (0,6 a 0,7 micrometros), onde se situa a banda TM3. Segundo Kirk (1986), um metro de lâmina d'água absorve 35% da radiação incidente em 0,68 micrometros. Entre 0,73 e 2,6 micrometros praticamente toda a energia que chega à superfície da água é absorvida.

Segundo o mesmo autor, nos corpos d'água encontrados na natureza, a absorção da luz pode ser atribuída a quatro componentes distintos: à água em si, às substâncias amarelas dissolvidas ou compostos orgânicos (ácidos orgânicos), aos pigmentos fotossintéticos encontrados no fitoplâncton e às frações de partículas inorgânicas.

A reflectância da água turbida é maior do que a reflectância da água transparente em toda a região do espectro eletromagnético apresentada na Figura 2.2. Porém, como no caso da água transparente, praticamente toda a radiação refletida encontra-se na faixa do visível (0,4 a 0,7 micrometros), ou seja, onde se situam as bandas TM1, TM2 e TM3. O pico da reflectância ocorre em torno de 0,5 micrometros, decrescem na faixa do infravermelho próximo, a partir de 0,7 micrometros até se anular completamente em torno de 0,9 micrometros. Este aumento de reflectância nas águas turbidas é devido, entre outros fatores, à concentração de sedimentos em suspensão na camada superficial. Novo et al. (1989) concluíram que diferentes tipos de sedimentos afetam a reflectância, o que é mais visível nos pequenos comprimentos de onda.

Como a radiância que chega ao sensor traz informações da subsuperfície, estas podem ser utilizadas em estimativas de profundidade d'água (Polcyn e Lyzenga, 1973; Ross, 1973; Meireles, 1980; Hathout, 1985), ou na identificação de alvos submersos (Ackleson e Klemas, 1987).

2.2.3 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO SOLO

Com relação ao comportamento espectral do solo (Figura 2.2), observa-se uma baixa reflectância para solos argilosos na maior parte do espectro eletromagnético (0,4 a 2,6 micrometros). O solo arenoso possui reflectância relativamente alta ao longo desse espectro, alcançando o pico na região do infravermelho entre 2,1 e 2,3 micrometros.

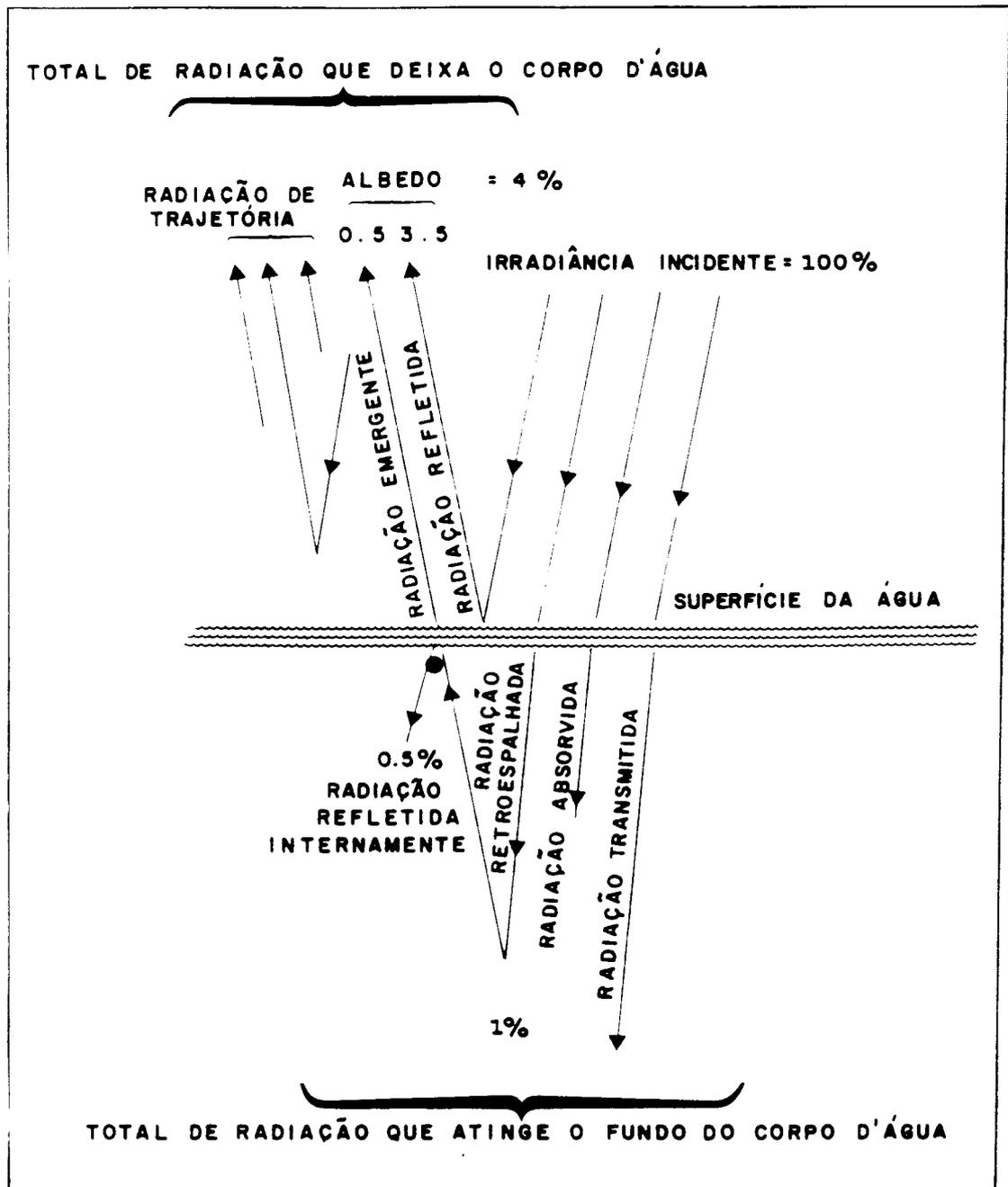


Fig. 2.3 - Representação esquemática do fluxo de radiação incidente em um corpo d'água.

FONTE: Adaptada de Szekiolda (1988), p. 82

Hoffer e Johannsen (1969) obtiveram medidas de reflectância de solos argilosos e arenosos com diferentes teores de umidade, e constataram que as curvas da reflectância espectral de ambos os solos são altamente dependentes do teor de umidade, isto é, quanto mais úmido estiver o solo, menor será sua reflectância. Resultado semelhante foi obtido com Latossolo Vermelho Escuro por Epiphanyo e Formaggio (1982), que concluíram que a reflectância está inversamente relacionada com o conteúdo de umidade do solo.

Segundo Montgomery (1974), o comportamento espectral do solo, além de ser dependente do conteúdo de umidade, é também dependente da concentração de matéria orgânica, da rugosidade superficial na escala micro, de óxidos de ferro (não significativo ao nível de 5%), da umidade relativa, da cor, da capacidade de troca catiônica e da composição granulométrica (textura), devido à presença de silte, argila ou areia.

Cada um desses fatores pode influenciar o comportamento espectral do solo isoladamente, ou atuar como um efeito somatório, gerando resultados específicos de um determinado parâmetro ou uma ponderação desses efeitos.

2.3 - RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DE ÁREAS INUNDADAS

Fundamentado nos princípios físicos que regem o comportamento espectral dos alvos, nas características multitemporais e multiespectrais, e na resolução espacial dos sensores que estão a bordo dos satélites, há uma série de estudos que utilizaram as mais diversas técnicas e metodologias, envolvendo ou não as

interações de água-solo-vegetação, os quais podem ser observados na Tabela 2.1.

Analisando essa tabela, verifica-se que em virtude das mais variadas dimensões das planícies inundáveis e da complexidade dos fenômenos que aí ocorrem, a avaliação desse processo requer diferentes níveis de precisão, de acordo com o objetivo do estudo. Esta precisão depende da qualidade (resolução espacial e espectral ou escala, controle de campo, sistema de processamento e/ou classificação temática) e da quantidade (resolução temporal e verdade terrestre) dos dados disponíveis.

A alta exatidão de mapeamento obtida por Rhode et al. (1976), bem como aquela determinada por Philipson e Hafker (1981), deve-se principalmente à simplicidade e homogeneidade dos ambientes analisados, não encontrados em regiões tropicais com vegetação nativa sujeita a extremos de sazonalidade como o Pantanal. Além disso, o ambiente Pantanal caracteriza-se por uma grande variedade de biótopos e ecossistemas, o que o torna um ambiente altamente diversificado.

Atualmente há uma gama de algoritmos disponíveis para as classificações que auxiliam na interpretação dos produtos orbitais, dentre os quais se destacam os Modelos Numéricos do Terreno, que implementados em um SIG (Almeida, 1989) viabilizam novos enfoques na análise hidrológica, uma vez que estes modelos simulam elevações do terreno e perfis batimétricos.

TABELA 2.1 ESTUDOS APLICADOS NA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE INUNDAÇÃO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

AUTOR	PRODUTO	BANDA	SENSOR	MÉTODOS e/ou RESULTADOS
Deutsch e Ruggles (1974)	Digital	4, 5, 6 e 7	MSS	Superposição multitemporal, multiespectral e multitemporal-espectral na avaliação regional, na escala de 1:250000. Vale do rio Mississippi.
Rhode et al. (1976)	Fotos IV coloridas na escala de 1:20000; Digital	4, 5 e 7	MSS	MAXVER e amostragem de múltiplo-estágio para avaliação de área agrícola inundada. Dakota do Sul
Darch (1979)	Digital Papel	4, 5 e 7	MSS 7 MSS	Razão 5/7, fatiamento, combinação de bandas e filtros não convencionais. Pantanal
Kruss et al. (1981)	Fotos Papel fotográfico Digital			Revisão de técnicas utilizadas na avaliação de inundação: amostragem de múltiplo-estágio, superposição multitemporal, multiespectral e multitemporal-espectral.
Philipson e Hafker (1981)	Digital Fotos PAN Negativo de 70mm	4, 5, 6 e 7	MSS	Superposição multitemporal e multiespectral, classificação supervisionada e não-supervisionada, "additive viewer colour" e combinações de filtros espectrais. New York.
Rooy (1982)	Transparência P/B na escala de 1:500000	5 e 7	MSS	Interpretação visual no "colour composite viewer" e confecção de 6 mapas temáticos multitemporais na escala de 1:150000. Pantanal.
Novo et al. (1982)	Digital	4, 5, 6 e 7	MSS	MAXVER, multitemporal e trabalho de campo para análise da variação da lâmina d'água, qualidade da água, sedimentos em suspensão e variação da largura do canal. Amazônia.

(Continua)

Tabela 2.1 - Continuação

AUTOR	PRODUTO	BANDA	SENSOR	MÉTODOS e/ou RESULTADOS
Novo e Santos (1982)	Digital Transparência positiva na escala de 1:500000	5 e 7 MSS 4, 5 e 7 MSS	MAXVER e multitemporal.	Associaram diferentes respostas espectrais nas bandas 4 e 5 a sedimentos em suspensão e determinaram condicionadores de inundação, tais como fatores morfo-estruturais explicativos (dissecação em colinas e cristas, planícies aluviais e deltaicas) e estruturais circulares (morros, depressões e escarpas erosivas). Vale do rio Doce.
Lind (1983)	Negativo P/B na escala de 1:250000		6 MSS	Associação visual das tonalidades claras de cinza na imagem com maiores profundidades da água. Delta do Mekong, Vietnam.
Niero et al. (1984)	Digital e Transparência P/B na escala de 1:1000000		7 MSS	MAXVER, fatiamento e trabalho de campo. Análise multitemporal da variação da lâmina d'água baseada em níveis de cinza. Amazônia.
Silva (1985)	Fotos IV coloridas na escala de 1:40000 Digital	4, 5, 6 e 7 MSS		MAXVER, K-médias, fatiamento e trabalho de campo para mapeamento multitemporal da vegetação e variação da lâmina d'água. Pantanal.
Pinto e Niero (1985)	Digital		7 MSS	MAXVER, Multitemporal para análise da expansão da lâmina d'água, época seca e cheia. Amazônia
Pinto et al. (1985)	Papel fotográfico na escala de 1:250000		5 e 7 MSS	Interpretação visual multitemporal para análise da variação da lâmina d'água na época seca e cheia; variação da geometria do canal, padrão e forma; áreas de risco de inundação. Rio Paraná, divisa MS/SP.

(Continua)

Tabela 2.1 - Conclusão

AUTOR	PRODUTO	BANDA	SENSOR	MÉTODOS e/ou RESULTADOS
Ackleson e Klemas (1987)	Digital Digital Fotos PAN na escala de 1:24000	4 e 5 1, 2 e 3	MSS TM	Registro imagem-mapa, reamostragem de pixel para 60m (MSS) e 28m (TM), vizinho mais próximo, cluster. Determinação de vegetação submersa em profundidade superior a 1,9m. Baía de Chesapeake.
Florenzano et al. (1988)	Papel fotográ- fico na escala de 1:100000 Transparência na escala de 1:1000000 Digital	3 e 4 Combinação 2, 3, 4 e 5 1, 2, 3, 4 5 e 7	TM TM TM TM	Superposição multitemporal, multiespectral e multitemporal-espectral, contraste linear, registro e trabalho de campo para elaboração de cartas de áreas submetidas a inundação na escala de 1:100000. Vale do rio Parnaíba.
Ponzoni et al. (1989)	Papel fotográ- fico na escala de 1:100000 Digital Foto aérea de 35mm	3, 4 e 5 3, 4 e 5	TM TM	MAXVER, multitemporal, multiespectral e trabalho de campo na elaboração de mapa fisionômico-ecológico da vegetação na escala de 1:100000. Pantanal.
Almeida (1989)	Digital Digital Papel fotográ- fico e trans- parência na escala de 1:100000 Fotos IV P/B na escala de 1:100000	5, 6 e 7 4	MSS TM TM	Dados batimétricos, trabalho de campo, composições coloridas, modelo digital de terreno, registro e correção geométrica; conseguiram-se bons resultados na atualização de cartas náuticas e no monitoramento do canal fluvial.

Alguns dos problemas citados na literatura, tais como a baixa resolução espacial e a dificuldade na sobreposição de informações geocodificadas, encontram-se em parte resolvidos, dada a introdução de novos sistemas sensores após o MSS, tais como o TM (30x30m) e o SPOT/HRV (20x20m ou 10x10m) e a precisão na superposição da imagem com o mapa através do algoritmo de registro, quando se dispõe de pontos de controle confiáveis no terreno. Estes avanços proporcionam maior confiabilidade nas estimativas dos parâmetros que interferem no regime de inundação.

No entanto, essa mesma disponibilidade de dados obtidos pelos sistemas sensores orbitais (GOES, NOAA, Landsat, SPOT) acarretará dificuldades nas suas compatibilizações se forem consideradas, por exemplo, as diferenças de IFOV, largura das bandas e precisão geométrica de cada sensor. Este problema ainda não está resolvido.

2.4 - SENSORIAMENTO REMOTO EM HIDROLOGIA

A Hidrologia trata dos fenômenos naturais complexos encontrados no ciclo hidrológico. Processos como precipitação, evaporação, infiltração e escoamento em rios dependem de um grande número de fatores, o que dificulta a análise quantitativa e qualitativa desses fenômenos (Tucci, 1987).

Para Farnsworth et al. (1984), a descrição do ciclo hidrológico de uma bacia é chamado modelo hidrológico. Uma das maneiras mais práticas de descrever as relações entre precipitação, evaporação e escoamento para estimativa de água disponível ou para prognósticos é através do uso de modelos matemáticos.

Entretanto, a precisão obtida em cada estudo depende da qualidade e da quantidade de dados disponíveis para aferir o modelo. O uso de sensoriamento remoto possibilita o desenvolvimento ou adaptação de métodos viáveis para aquisição rápida de um considerável número de dados. Essas informações podem ser obtidas, atualmente, através de fotografias aéreas e através dos satélites SPOT, Landsat, NOAA/AVHRR ou GOES.

As variáveis obtidas pelas técnicas de sensoriamento remoto que podem ser utilizadas em Hidrologia ou em modelos hidrológicos existentes foram avaliadas por Peck et al. (1981), Wilkening e Ragan (1982), Martinec et al. (1983), Mauser (1984), Farnsworth et al. (1984), France et al. (1987), Schultz (1988) e Silva et al. (1989).

Peck et al. (1981) avaliaram a utilização atual e perspectivas de dados de sensoriamento remoto em modelagem hidrológica. Os autores discutiram as características de sete modelos hidrológicos relacionados com a avaliação de escoamento em bacias hidrográficas a fim de otimizar o uso desses dados. Para esses modelos foram indicadas as modificações mínimas ou adaptações necessárias para que as variáveis obtidas por sensoriamento remoto fossem usadas na configuração atual. Por exemplo, as variáveis que podem ou não ser utilizadas diretamente, e a fase em que ela deverá ser implementada - calibração, atualização e/ou alimentação. Desses testes realizados foram identificadas treze variáveis obtidas por sensoriamento remoto, que poderão ser utilizadas no modelos hidrológicos com certo grau de sucesso. Para a utilização dos modelos no Brasil, as variáveis mais importantes referem-se à extensão das áreas inacessíveis, à extensão da área inundada, à densidade e ao tipo de vegetação e uso da terra.

Wilkening e Ragan (1982) estruturaram um modelo para utilizar umidade do solo próximo à superfície, determinado através de técnicas de sensoriamento remoto. Realizaram uma série de experimentos numéricos com equações de Richards para um arranjo de condições previstas em bacias hidrográficas a fim de desenvolver relações funcionais que descrevam a taxa de infiltração temporal como uma função do tipo de solo e condições iniciais de umidade.

Martinec et al. (1983) incluíram no SRM (Snow Melt-Runoff) a utilização de sensoriamento remoto para se obterem, entre outros, dados de extensão de área coberta de neve. O modelo foi desenvolvido inicialmente para simular e prever diariamente as cheias em bacias de montanhas, onde o escoamento do degelo é o fator de maior influência. Utilizando dados do Landsat, o modelo foi aplicado com sucesso em grandes bacias nos Estados Unidos. Para a otimização do modelo é necessário considerar a área mínima da bacia para utilização das informações dos diferentes tipos de satélites. Para os satélites da série Landsat, a área mínima é 10km^2 , para NOAA - 200km^2 e para GOES - 1000km^2 .

Mauser (1984), utilizando a estrutura de um modelo hidrológico baseado na hidrógrafa unitária, estimou os picos de descarga numa bacia hidrográfica a sudoeste da Alemanha. Além dos parâmetros hidrológicos básicos, o modelo requer como entrada outros parâmetros obtidos através de uma base geográfica de dados e de sensoriamento remoto, tais como área da bacia, uso da Terra, tipos de solo e declividade. Foram calculados os períodos de retorno de inundação através do método Lognormal e Distribuição de Pearson para 2, 5, 10, 50 e 100 anos.

Outro parâmetro fundamental para aplicação de modelos hidrológicos de bacia hidrográfica é a rede de drenagem (hierarquia de canais fluviais e densidade de drenagem). France et al. (1987) avaliaram os produtos TM, MSS e fotografias aéreas na escala de 1:50000 para o mapeamento da rede de drenagem. O TM mostrou-se eficiente na definição da rede de drenagem e bastante preciso no delineamento do contorno das bacias e na estimativa de área, principalmente para pequenas bacias. Este sensor forneceu, ainda, informações sobre parâmetros geomorfológicos que detectam lagos de até 0,6ha de tamanho e pequenos córregos com 3 a 5m de largura.

O potencial de utilização de sensoriamento remoto em Hidrologia é imenso. Schultz (1988) elaborou uma minuciosa revisão sobre esse aspecto, discutindo sobre as principais plataformas e sensores de coleta de dados relevantes à Hidrologia, e sobre como esses dados são utilizados nas análises de estrutura dos modelos matemáticos hidrológicos tanto como "input" como para estimativa de parâmetros do modelo. São avaliadas nesse trabalho as futuras aplicações de informações de sensoriamento remoto em Hidrologia referentes à evapotranspiração, umidade do solo, chuva, água superficial, neve e gelo, sedimento e qualidade de água.

Silva et al. (1989), analisando o potencial do uso de imagens TM e MSS na obtenção de parâmetros para calibração de um modelo matemático hidrológico de planície de inundação, concluíram podem ser extraídos importantes parâmetros para modelagem de planície de inundação. Através das imagens pode-se delinear com precisão as dimensões do canal principal, dos canais secundários derivados diretamente do canal principal, bem como detectar a

variação contínua da largura superficial da água na planície e a ocorrência de repiquete (ocorrência de dois picos consecutivos).

2.5 - PREVISÃO DE ENCHENTES

Quando as águas extravasam o canal natural do rio, caracteriza-se uma inundação; caso contrário, havendo somente uma vazão relativamente grande de escoamento superficial, porém sem extravasar o canal natural do rio, tem-se uma enchente ou cheia.

De maneira geral, segundo Pinto et al. (1976), as análises hidrológicas baseiam-se na quase repetição dos regimes de precipitação e de escoamento dos rios, ao longo do tempo. Ainda que a sucessão histórica das variáveis envolvidas, constatada no passado, não se repita exatamente no futuro, suas tendências mantêm-se aproximadamente as mesmas. Em resumo, as avaliações são baseadas em elementos do passado, considerando-se ou não a probabilidade de se verificarem alterações.

Segundo esses mesmos autores, a maneira de avaliar os estudos hidrológicos pode ser bastante distinta, conforme se dê maior ênfase à interdependência entre os diversos fenômenos tais como chuva, evaporação, infiltração e escoamento superficial, procurando-se estabelecer suas relações de causa e efeito, ou considerando a natureza probabilística de sua ocorrência.

A Hidrologia oferece uma série de métodos para a estimativa de cheias de cursos d'água. Todos os métodos fornecem valores mais ou menos aceitáveis, dependendo sempre da aplicação correta dos resultados obtidos.

Na realidade, a previsão de cheias aplica-se ao cálculo de uma enchente de uma determinada área/bacia por extrapolação dos dados históricos para condições mais críticas. Pode ser, por exemplo, o cálculo da vazão máxima provável de acontecer ou ser superada uma vez a cada 20 anos. Isto pode ser determinado calculando o Período de Retorno para essa dada enchente.

2.5.1 - PERÍODO DE RETORNO (T_r)

O Período de Retorno de qualquer evento é o tempo médio em anos a que esse evento é igualado ou superado pelo menos uma vez (Vilella e Matos, 1975). Se P é a probabilidade de esse evento ocorrer ou ser superado num ano qualquer, tem-se a relação $T_r=1/P$. Na probabilidade de não ocorrência a relação é $p=1-P$.

Como geralmente não se conhece a probabilidade teórica P , faz-se uma estimativa a partir da frequência (F) dos eventos observados. Assim tomam-se, por exemplo, N anos de observações de vazões de um determinado rio e seleciona-se a maior delas ocorrida em cada ano.

Quando N é muito grande, o valor de F é bastante próximo do valor de P ; quando há poucas observações, pode haver grande afastamento entre estes valores. Segundo Vilella e Mattos (1975), dentre os vários métodos para estimar P (Curva normal, Foster, Gumbel e Fuller), não se pode eleger o melhor, porém o Método de Gumbel é considerado um dos mais precisos conceitualmente.

2.5.2 - MÉTODO DE GUMBEL

A descrição do Método de Gumbel encontra-se em Vilella e Matos (1975) e Pinto et al. (1976). Os valores extremos considerados neste método, referem-se, no presente estudo, aos valores máximos das cotas fluviométricas.

Gumbel demonstrou que

$$P = 1 - e^{-e^{-y}}, \quad (2.1)$$

onde P é a probabilidade de a máxima cota fluviométrica (H) de um ano qualquer ser maior ou igual a H;

$e = 2,7128\dots$

y é a variável reduzida, que é dada por:

$$y = (H - H_f) * (S_y/S_H). \quad (2.2)$$

Para calcular H_f (moda dos valores extremos) utiliza-se:

$$H_f = H_m - S_H * (y_m/S_y), \quad (2.3)$$

onde H_m e S_H são, respectivamente, a média e o desvio padrão das N cotas fluviométricas máximas; e y_m e S_y são a média e o desvio padrão da variável y.

O período de retorno é:

$$T_r = 1 / P \quad (2.4)$$

Nas Tabelas 2.2 e 2.3 encontram-se listados os valores necessários à utilização deste método.

TABELA 2.2 - VARIÁVEL REDUZIDA, PROBABILIDADE E PERÍODO DE RETORNO. EQUAÇÃO 2.1

VARIÁVEL REDUZIDA (y)	PERÍODO DE RETORNO (Tr)	PROBABILIDADE (P)	PROBABILIDADE (1 - P)
0,000	1,58	0,632	0,368
0,367	2,00	0,500	0,500
0,579	2,33	0,429	0,571
1,500	5,00	0,200	0,800
2,250	10,00	0,100	0,900
2,970	20,00	0,050	0,950
3,395	30,00	0,033	0,967
3,902	50,00	0,020	0,980
4,600	100,00	0,010	0,990
5,296	200,00	0,005	0,995
5,808	300,00	0,003	0,997
6,214	500,00	0,002	0,99
6,907	1000,00	0,001	0,999

FONTE: Adaptada de Vilella e Matos (1975), p.147

TABELA 2.3 - VALORES ESPERADOS DA MÉDIA E DESVIO-PADRÃO DA VARIÁVEL REDUZIDA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANOS

ANOS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	ANOS	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
20	0,52	1,06	80	0,56	1,19
30	0,54	1,11	90	0,56	1,20
40	0,54	1,14	100	0,56	1,21
50	0,55	1,16	150	0,56	1,23
60	0,55	1,17	200	0,57	1,24
70	0,55	1,19	>200	0,57	1,28

FONTE: Vilella e Matos (1975), p.147.

Uma outra facilidade para a aplicação deste método é o Papel de Gumbel. Nesse papel, o eixo da parte superior paralelo à abscissa, onde estão marcados os valores de y , pode ser graduado em tempos de retorno através da Equação 2.4. Na ordenada fixam-se os valores das cotas fluviométricas. Desta maneira, a cada enchente corresponde um período de retorno. Na Figura 2.4 observam-se detalhes desse papel.

2.6 - CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

Segundo Yevjevich (1972), as análises de correlação e regressão, múltiplas ou simples, são importantes técnicas estatísticas empregadas em Hidrologia. O principal objetivo dessas análises é transferir informações entre pontos nos quais a mesma variável foi observada, ou entre duas em diversas variáveis observadas simultaneamente.

A correlação é mais do que uma pura relação funcional; estas associações são relações básicas encontradas na prática hidrológica. A correlação é definida como a associação de duas ou mais variáveis aleatórias, que indicam o grau de relacionamento existente entre as variáveis envolvidas no processo.

A regressão representa a equação matemática de como uma variável aleatória se relaciona com outra ou com várias variáveis aleatórias. A equação de regressão pode ser uma função factível de ser ajustada para um conjunto de pontos das variáveis observadas. Essas equações podem representar associações lineares ou não. Usualmente há dois tipos de associações correlativas em Hidrologia (Yevjevich, 1972):

- 1) Relações baseadas em causa-efeito, onde a variável aleatória, y , está relacionada correlativamente com fatores causais, x_i , que produzem ou afetam o resultado de y ; por exemplo, a relação chuva-escoamento, porque a chuva é um fator causal básico de escoamento.

- 2) Relações de variáveis aleatórias, que têm os mesmos fatores causadores, tal como a associação correlativa de escoamento de um rio para o escoamento de um rio adjacente.

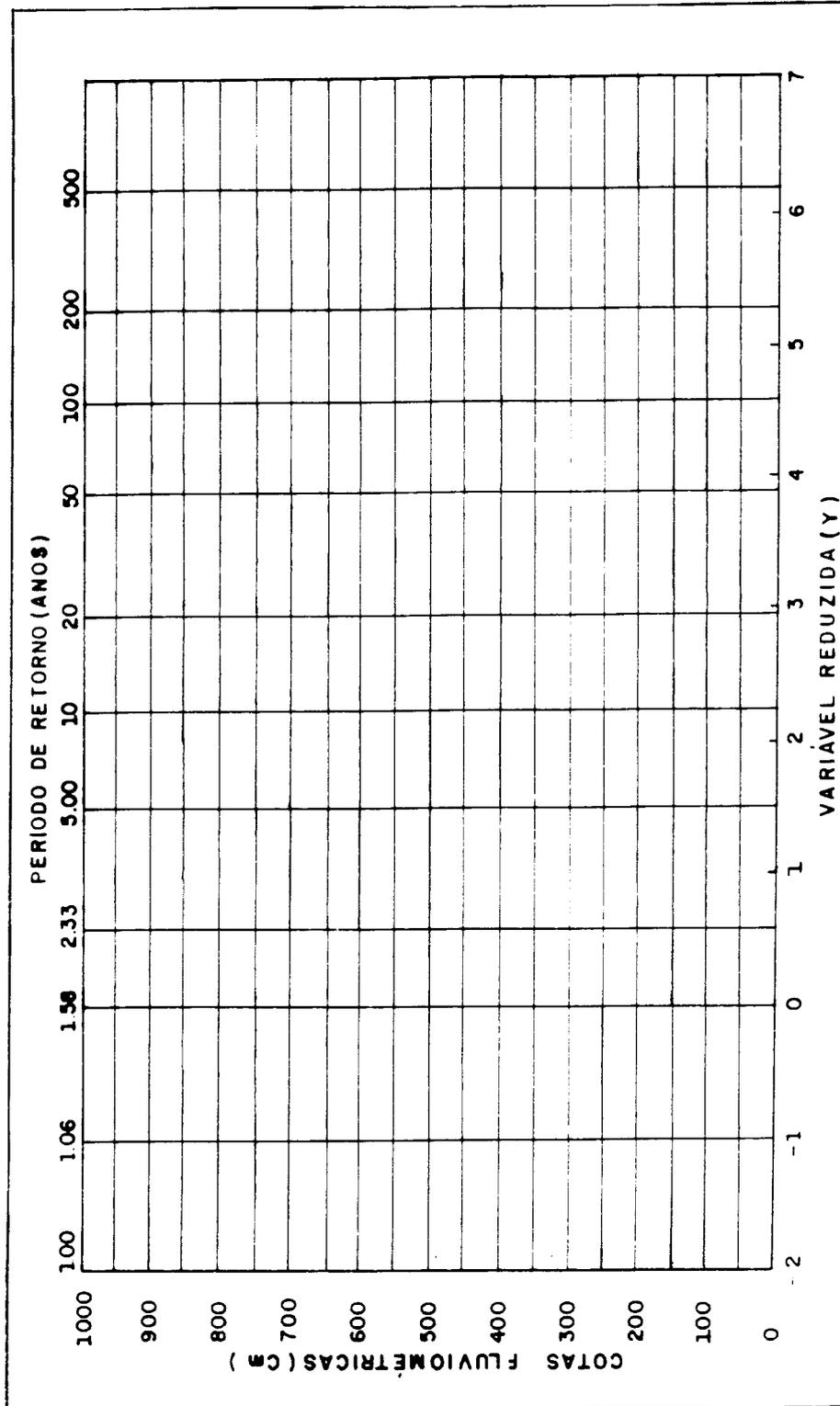


Fig. 2.4 - Papel de Gumbel utilizado para verificação do ajustamento dos dados.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODO

3.1 - IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA

Nesta seção apresentam-se as características ambientais da área de estudo, a saber, sua localização geográfica, clima, regime hidrológico, vegetação e solos.

3.1.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área selecionada para a realização deste estudo é a Fazenda Acurizal e adjacências, com 203.828ha de terras utilizadas para a pecuária extensiva de corte. Localiza-se nas sub-regiões do Nabileque e Miranda, Pantanal (Figura 3.1).

Ocupando área nos municípios de Miranda e Corumbá, Estado do Mato Grosso do Sul, a região em estudo é delimitada ao norte pelo rio Miranda; ao sul pela Serra da Bodoquena; a oeste pelo rio Paraguai e a leste pelas terras da Agropecuária LS e seus sucessores. A Figura 3.2 apresenta o detalhamento cartográfico da área em estudo, bem como o posicionamento da órbita/ponto da imagem do satélite Landsat 5 utilizada neste trabalho.

3.1.2 - CLIMA

O clima no Pantanal está relacionado com fatores climáticos da Bacia do Alto Paraguai e com fatores orográficos que influenciam os movimentos das massas de ar (Cadavid García, 1984). Para o setor Sul do Pantanal, onde está inserida a área de estudo, esse autor estimou as seguintes normais climáticas anuais, com seu respectivo

desvio-padrão: pressão atmosférica de 1002,6 (2,3mb), com seus maiores valores entre junho e agosto; umidade relativa de 72,7 (8,3%), registrando-se seus menores valores entre julho e setembro; a temperatura do ar correspondente às temperaturas média, média máxima e média mínima anual é 24,7 (2,5C°), 31,0 (1,6C°) e 19,3 (3,4C°), respectivamente. A velocidade média do vento é de 65 (12km/dia).

Cadavid García e Rodriguez Castro (1986) identificaram, pela primeira vez no Pantanal, cinco conglomerados que correspondem a igual número de regiões geográficas homogêneas quanto aos parâmetros macroclimáticos (distribuição mensal de chuva) e do relevo, associados com outros fatores macroclimáticos. A área de estudo foi classificada por esses autores como de clima subúmido megatérmico, com a precipitação média estimada em 1102mm, para um intervalo de confiança de 89mm ao nível de significância de 10%, e índice de concentração de chuva de 67,8% nos meses de outubro a março.

3.1.3 - REGIME HIDROLÓGICO

Essa região apresenta um regime de inundação de uma marcada complexidade, onde os efeitos provocados pelos transbordamentos fluviais não dependem de um único rio (Adámoli e Azevedo, 1983). As inundações nessa área ocorrem devido ao transbordamento dos rios Taquari, Negro, Miranda, Vermelho, Aquidauana e Paraguai. Os rios Aquidauana e Miranda têm seus picos de cheias nos meses de janeiro a fevereiro. Os rios Taquari, Vermelho e Negro, com período de cheia de janeiro a março, alcançam o pico de cheia em fevereiro. O rio Paraguai em Ladário (Corumbá) e Porto Esperança, depois de receber a contribuição de todos os rios que formam sua bacia em território brasileiro, apresenta dois ciclos de cheias; o primeiro, influenciado

pelos rios Aquidauana, Miranda, Negro, Vermelho e Taquari, com inundações nos meses de fevereiro-março e o principal, com a chegada das águas procedentes da Alta Bacia do Rio Paraguai (Rios Cuiabá, São Lourenço, Itiquira, Piquiri e Jauru), em abril-junho.

3.1.4 - VEGETAÇÃO

Os tipos de formação vegetal predominantes nessa área foram definidos de acordo com Boock et al. (1988), segundo a classificação por categorias estruturais adaptadas de Eiten (1968). Nessa região há várias subunidades de vegetação que são reconhecidas regionalmente segundo as características do estrato arbóreo e as variações de fisionomias dominantes. Tais subunidades fitofisionômicas foram adotadas como classes e são listadas a seguir:

- 1) Paratudal - arbórea aberta ou savana arbórea.
- 2) Carandazal- arbórea aberta e arbórea arbustiva aberta (10 a 60% de cobertura); savana arbórea e savana arbustiva (<10% de cobertura).
- 3) Canjiqueiral - arbustiva aberta ou savana arbustiva.
- 4) Espinheiral - arbustiva densa.
- 5) Mata - arbórea fechada.
- 6) Campo - campos de gramíneas e ervas.
- 7) Caapão - arbórea fechada.

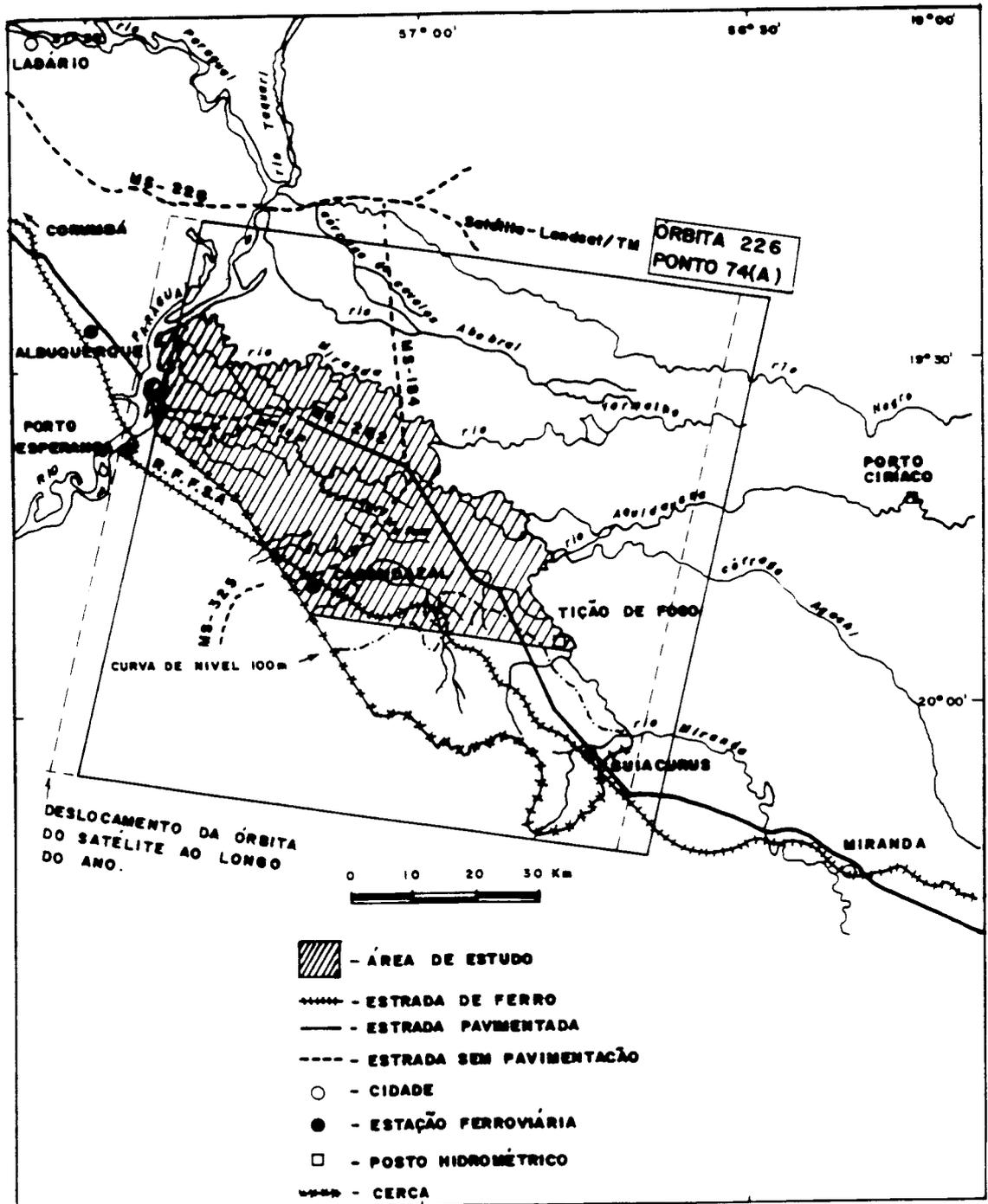


Fig. 3.2 - Detalhamento cartográfico da área de estudo e posicionamento da órbita/ponto 226/74A da imagem do Landsat 5-TM.

3.1.5 - SOLO

As informações sobre solo, em escala de semidetalhe, baseiam-se em Fazenda Bodoquena (1990), a qual adotou as normas usadas pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS/EMBRAPA) para a sua classificação.

A identificação e a subdivisão das diversas classes de solo foram realizadas em função das seguintes características: atividade das argilas, saturação de bases e teor de alumínio, tipo de horizonte A, hidromorfismo e características intermediárias entre classes

A área caracteriza-se por solos de textura variável, com a presença dos seguintes grupamentos: textura muito argilosa (mais de 60% de argila), textura argilosa (35 a 60% de argila), textura média (15 a 35% de argila e menos de 50% de silte), textura arenosa (areia e areia franca com menos de 15% de argila).

Quanto à drenagem interna, os solos da área apresentam a seguinte variação: bem drenados, moderadamente drenados, imperfeitamente drenados e mal drenados.

Nessa área identificam-se oito classes de solo:

- 1) Planossolo Eutrófico - ocorre em áreas de Canjiqueiral, Vazantes e Paratudais, sujeitas a inundação.
- 2) Solonetz Solodizado - ocorre em áreas de Paratudal, associado a Carandá e Angico.

- 3) Vertissolo - ocorre nas áreas de campos de várzea, Paratudal e Carandazal, sendo o tipo pedológico de maior ocorrência.
- 4) Solonchak - ocorre na área de transição entre Mata e Carandazal.
- 5) Calcimórficos - ocorrem nos Caapões.
- 6) Aluviais Eutróficos - ocorrem na Mata Ciliar, Campo de várzea e Espinheirais.
- 7) Areias Quartzosas Hidromórficas - ocorrem em áreas de Canjiqueiral e áreas de vazantes que contatam Paratudal.
- 8) Rendzina - ocorre somente no Morro do Azeite, sendo o tipo pedológico de menor ocorrência.

3.2 - MATERIAIS

Nesta seção apresentam-se as características dos materiais utilizados no estudo, referentes ao software e aos dados orbitais e fluviométricos.

3.2.1 - PRODUTOS DO LANDSAT 5-TM

Foram adquiridas imagens em papel fotográfico preto e branco e composição colorida nas bandas 3, 4 e 5, ambas na escala de 1:100000 e projeção UTM, da órbita/ponto 226/74A.

Selecionaram-se cinco imagens relativas a igual número de datas diferentes, dentro do ano hidrológico 1989 (outubro de 1988 a setembro de 1989), das quais uma é imagem da época seca e quatro são imagens da época cheia.

Um dos maiores obstáculos a este tipo de estudo foi adquirir imagens sem cobertura de nuvens, uma vez que a enchente coincide com a época chuvosa. As informações sobre essas imagens encontram-se na Tabela 3.1.

3.2.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS VERTICAIS

Estas fotos referem-se às fotografias aéreas pancromáticas na escala aproximada de 1:20000, obtidas de uma missão aerofotográfica efetuada em maio de 1974, com recobrimento de toda a área.

TABELA 3.1 - PRODUTOS DO LANDSAT 5-TM NA ESCALA DE 1:100000
UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DO ESTUDO

PRODUTO	ÉPOCA DE INUNDACAO	DATA DA PASSAGEM	BANDA	NUVEM
1) Papel preto e branco	Cheia	09/04/89	4	0%
2) Papel preto e branco	Cheia	11/05/89	4	0%
3) Papel preto e branco	Cheia	12/06/89	4	20%
4) Papel preto e branco	Cheia	14/07/89	4	0%
5) Papel preto e branco	Seca	16/09/89	3 e 4	0%
Papel colorido	Seca	16/09/89	3,4,5	0%

Obs.: NUVEM = Percentual de cobertura de nuvens.

3.2.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS OBLÍQUAS DE 35 MM

Foram utilizadas fotografias aéreas oblíquas de 35mm, coloridas, obtidas em sobrevôos realizados em 19/01/90, 07/03/90 e 26/06/91, com a finalidade de auxiliar na complementação do registro e identificação das feições da vegetação, bem como das parcelas amostrais nas imagens. O último sobrevôo serviu para avaliar a confiabilidade do mapeamento.

3.2.4 - BASE CARTOGRÁFICA

Para a elaboração da base cartográfica utilizaram-se cartas topográficas na escala de 1:100000, na projeção UTM, editadas pela DSG/IBGE. Na relação a seguir cada coluna representa, respectivamente, o código internacional, o MI, o ano e o nome de cada carta:

- 1) SE-21-V-D-III 2470 1980 Albuquerque.
- 2) SE-21-V-D-VI 2508 1969 Porto Esperança.
- 3) SE-21-Z-C-IV 2509 1969 Barranco Vermelho.

3.2.5 - DADOS FLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOMÉTRICOS

Os dados fluviométricos referem-se às medidas de cotas fluviométricas tomadas no campo da Fazenda Acurizal no ano hidrológico de 1989 e às provenientes das séries temporais das observações dos postos hidrométricos existentes na área de influência de inundação da região avaliada. Na Tabela 3.2 observa-se a relação desses postos.

Os dados pluviométricos foram obtidos dos postos localizados na sede das Fazendas Acurizal e Bodoquena (Guaicurus), e cobrem o período de 1985 a 1991.

3.2.6 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Neste sistema, desenvolvido pelo INPE, é possível armazenar, manipular, reproduzir, visualizar e plotar o conteúdo de uma base de dados geocodificados.

TABELA 3.2 - RELAÇÃO DOS POSTOS HIDROMÉTRICOS LOCALIZADOS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE INUNDAÇÃO DA FAZENDA ACURIZAL

POSTO/LOCAL	RIO	UF	ALT(m)	LAT S	LAT W	SÉRIE TEMPORAL(FALHAS)
1. Aquidauana	Aquidauana	MS	132,81	20° 29'	55° 47'	1968/89 (68, 82, 89 parcial)
2. Palmeira	Aquidauana	MS	161,87	20° 27'	55° 30'	1966/89 (89 parcial)
3. Porto Ciríaco	Aquidauana	MS	103,00	19° 43'	56° 16'	1969/87 (83, 85, 87 parcial)
4. Estrada MT-738	Miranda	MS	132,78	20° 44'	56° 07'	1970/89 (89 parcial)
5. Miranda	Miranda	MS	107,96	20° 17'	56° 24'	1966/91 (85, 90 parcial)
6. Tição de Fogo	Miranda	MS	92,03	19° 56'	56° 47'	1969/87 (80 a 85 parcial)
7. Ladário	Paraguai	MS	82,15	19° 02'	57° 33'	1900/91
8. Porto Esperança	Paraguai	MS	79,66	19° 37'	57° 27'	1964/90 (90 parcial)

FONTE: Banco de dados da EMBRAPA/CPAPantanal, DNOS, CPRM e Hidrologia S/A.

Ele permite integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de diversas fontes, tais como mapas temáticos (solo, vegetação, geopolítico etc), dados tabulares de forma não-gráfica (censo, cadastro urbano e rural), Modelos Numéricos de Terreno (topografia, contornos etc) e imagens obtidas de satélites e aerolevamentos etc (Felgueiras e Erthal, 1988; Engespaço, 1990). O conjunto de dados de interesse da região a ser estudada é organizado dentro da estrutura do SIG na forma de projeto, correspondente a um referencial geográfico distinto, definido pelo usuário. Cada projeto é formado por diferentes planos de informação (PIs), que reúnem todas as representações de um mesmo dado geográfico, como por exemplo drenagem, estradas, uso do solo e outros.

O SIG é composto por 5 módulos, descritos sucintamente a seguir:

- 1) **Definição:** As funções existentes neste módulo permitem a montagem do ambiente do sistema de trabalho, isto é, cria e ativa as estruturas de um projeto e de seus PIs para as funções de entrada. Caso seja necessário, possibilita a alteração em qualquer momento dos parâmetros de um projeto ou de um PI, ou a exclusão de um PI e todos os dados a ele associados. Permite ainda redefinir os atributos de cor e tipo de preenchimentos classes de um PI, bem como configurar o sistema quanto ao tipo de periférico, portas de comunicação etc.

- 2) **Entrada:** Permite, através de uma mesa digitalizadora ou de um teclado, a inserção de mapas temáticos, Modelos Numéricos de Terreno (MNT), textos e símbolos. Permite, também, a transferência de uma imagem de satélite do

Sistema de Tratamento de Imagem (SITIM) para o SIG e a criação de uma biblioteca de símbolos.

- 3) **Conversão:** Neste módulo são realizadas as transformações de formatos. Permite a conversão de dados no formato vetorial (polígono) para varredura (imagem) e vice-versa, e de grade para vetorial e para varredura. Possibilita a transformação de uma grade regular num arquivo de imagem (valores discretos), com maior densidade de pontos, e gera mapas de isolinhas (vetoriais) a partir de grades regulares. É possível também alterar a resolução do formato varredura de um PI de categoria área para fins de cruzamento e transformar as coordenadas de um PI, inserindo esses dados em outro projeto, de acordo com sua projeção.
- 4) **Manipulação:** A utilização deste módulo permite obter novas informações a partir do inter-relacionamento entre os dados de um ou mais PIs.

Para a execução deste módulo, os PIs de categoria área e MNT, com dados no formato vetorial, devem passar pelas funções de conversão, pois as operações de manipulação são realizadas sobre os PIs no formato varredura (exceto as funções reclassificar por polígono e geração de perfis).

Neste módulo estão disponíveis 14 opções, entre as quais se destacam a de cálculo de área para todas as classes de um PI, gerando um relatório das áreas calculadas; geração de um mapa de declividade a partir de um MNT; cruzamento de até 10 planos de informação e eliminação de pontos isolados dentro de uma imagem temática

através da uniformização de temas.

- 5) **Saída:** Este módulo se destina à visualização e listagem das informações existentes na base de dados. Permite a apresentação de relatórios sobre os dados do projeto ativo e de seus PIs. Define e gera documentos cartográficos e temáticos com suas respectivas legendas e reproduz estes documentos através de uma plotadora do tipo TDD21R, DZT ou Versatec. Possibilita também a visualização em três dimensões dos MNTs (Modelos Numéricos de Terreno) e a geração de imagens sintéticas e tabulação cruzada.

Maiores informações podem ser encontradas em Engespaço (1990).

3.3 - METODOLOGIA

Na realização deste estudo, utilizaram-se tanto as técnicas de sensoriamento remoto (Tratamento Digital e Interpretação Visual de imagens de satélite) como as de trabalho de campo. Um fluxograma das atividades desenvolvidas encontra-se na Figura 3.3.

Com relação ao tratamento dos produtos cartográficos e temáticos, foram utilizados algoritmos específicos implementados no Sistema de Informações Geográficas (SIG).

3.3.1 - SELEÇÃO DAS PARCELAS AMOSTRAIS

Considerando as fitofisionomias dominantes, o acesso ao local e as áreas de ocorrência de inundação, foram definidas, com auxílio de fotos aéreas verticais, 21

parcelas amostrais de 1km² cada uma para instalação das réguas fluviométricas. Procurou-se, assim, representar todo o universo, tanto da vegetação quanto de inundação da área estudada. Na Tabela 3.3 estão listadas as áreas amostrais, a feição fitofisionômica dominante e a época de inundação. Na Figura 3.4 são apresentadas a localização e a distribuição das parcelas amostrais na área de estudo.

3.3.2 - SELEÇÃO DAS BANDAS TM/LANDSAT 5

Optou-se pela banda TM4 para determinar a área inundada em virtude da alta separabilidade entre vegetação e água nessa faixa espectral, pois a vegetação reflete muito a energia nesta região do espectro eletromagnético, enquanto a água a absorve. Portanto, foi a banda mais indicada para os objetivos deste trabalho, uma vez que as reduções na reflectância (tonalidades cinza escuro na imagem) são provocadas pela lâmina d'água. Ainda assim é extremamente difícil essa separabilidade devido às diferentes densidades nas coberturas vegetais, onde a radiação não chega a atingir o fundo.

Não foi utilizada a banda TM5, porque nesta banda a radiação é absorvida inicialmente pela água foliar e posteriormente pela lâmina d'água, causando problemas na distinção entre áreas úmidas e áreas secas. Apesar de a reflectância da vegetação ser bastante alta neste intervalo de comprimento de onda, não foi possível caracterizar onde está ocorrendo a absorção de energia.

A banda TM3 e as composições coloridas - 3 (azul), 4 (verde) e 5 (vermelho) - foram utilizadas para atualização da base cartográfica, especialmente para a localização de estradas e cercas.

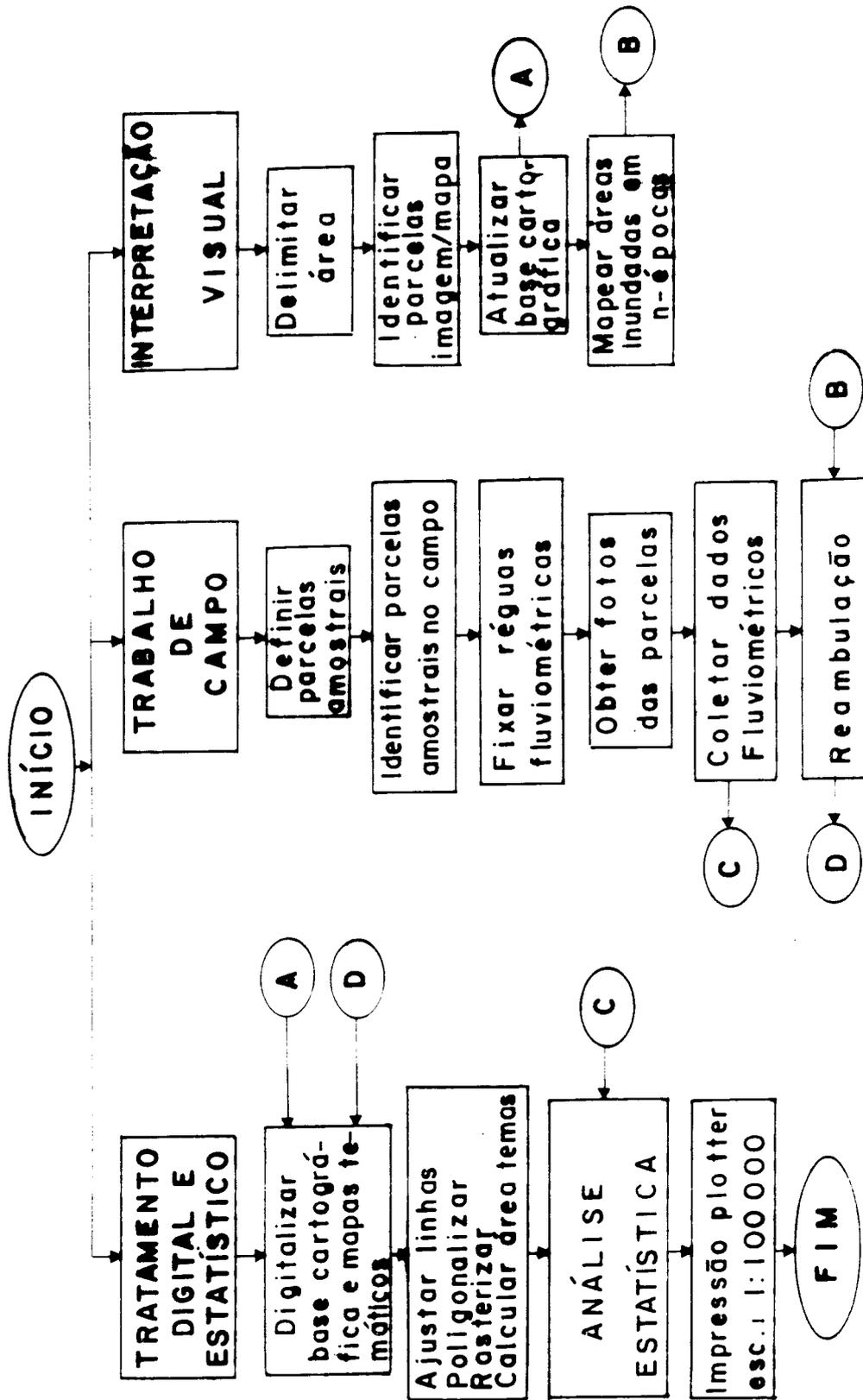


Fig. 3.3 - Fluxo metodológico das etapas desenvolvidas na pesquisa.

TABELA 3.3 - ÁREAS AMOSTRAIS ONDE FORAM TOMADAS AS MEDIDAS DE COTAS FLUVIOMÉTRICAS EM 1989, FITOFISIONOMIA DOMINANTE E ÉPOCA DE INUNDAÇÃO NA FAZENDA ACURIZAL

Nº DO PONTO	FITOFISIONOMIA DOMINANTE	MÊS DE INUNDAÇÃO
1) 01	Corixo Mutum - Carandá com Espinheiro	1-6
2) 02	Campo	1-7
3) 03	Campo	1-6
4) 04	Corixo Mutum no Retiro Acurizal	-
-	Rio Miranda em Tição de Fogo	-
5) 11	Espinheiral com Carandá	12/1-5/6
6) 13	Carandá com Paratudo	12-4
7) 14	Carandá e Campo	1-6
8) 24	Paratudal	1-7
9) 27	Espinheiral com Paratudo	1-6
10) 30	Carandá com Espinheiral e Paratudo	12-4
11) 48	Canjiqueiral	1-6
12) 54	Campo com Espinheiral	1-6
13) 56	Campo com Paratudo e Caapão	1-7
14) 60	Campo	1-7
15) 64	Paratudal	2-7
16) 78	Carandá	1-6
17) 86	Paratudal próximo a Espinheiral	12/1-5
18) 90	Canjiqueiral	1-6
19) 105	Campo	3-7
20) 107	Espinheiral	1-8/9
21) DEP	Paratudal denso	12-5

FONTE: Dados da pesquisa.

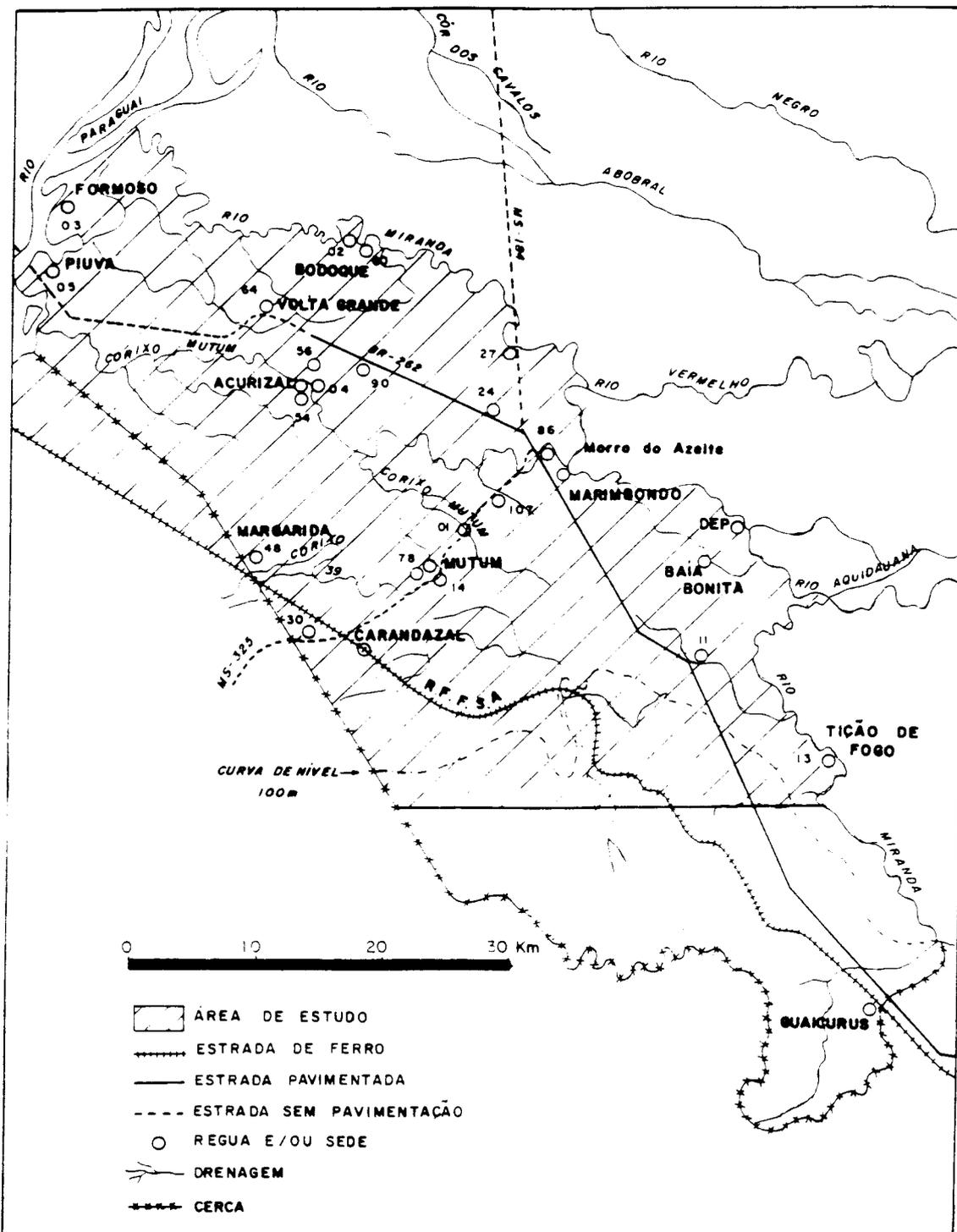


Fig. 3.4 - Pontos de observação dos níveis de inundação na área de estudo.

3.3.3 - TRABALHO DE CAMPO

Nesta seção são abordadas as etapas de trabalho conduzidas em campo, para as quais, de 1989 a 1991, foram realizadas 22 campanhas na área de estudo através de barco, jipe Toyota e/ou avião.

3.3.3.1 - IDENTIFICAÇÃO E COLOCAÇÃO DAS RÉGUAS FLUVIOMÉTRICAS NAS PARCELAS AMOSTRAIS

Cada parcela selecionada previamente através da análise das fotos aéreas foi identificada no campo; em seguida definiu-se um ponto em cada uma delas. Para facilitar a sua localização, optou-se preferencialmente pelo centro da parcela ou por seções com acesso em qualquer condição de inundação. Em fevereiro de 1989 fixou-se, em cada ponto, uma régua de madeira a um poste. As alturas eram de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 ou 4,0 metros, dependendo do nível de inundação esperado nesses locais. Tirou-se uma foto desses pontos para registro e identificação futura, em fevereiro de 1989 e abril de 1990.

3.2.3.2 - COLETA DAS MEDIDAS DAS COTAS FLUVIOMÉTRICAS

Durante o ano hidrológico 1989, foram coletados valores de altura da lâmina d'água nos pontos preestabelecidos no campo, concomitantes à passagem do satélite Landsat 5. A obtenção de informações durante todas as passagens do satélite foi para assegurar a aquisição de pelo menos uma imagem com menos de 10% de cobertura de nuvens em cada mês, bem como garantir a aquisição da série temporal dos dados fluviométricos na planície, a ser utilizada na correlação com os dados fluviométricos dos postos hidrométricos nos leitos dos rios.

3.2.3.3 - OBTENÇÃO DAS FOTOS AÉREAS OBLÍQUAS DAS PARCELAS

Com um avião monomotor Cessna, de propriedade da Fazenda Bodoquena, foram obtidas fotografias aéreas oblíquas de 35mm em 19/01/90, 07/03/90 e 26/06/91 que complementaram a verificação da extensão das áreas inundadas, o registro e a identificação dos padrões de vegetação, bem como das parcelas amostrais nas imagens de satélite.

3.3.4 - ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS IMAGENS

Esta seção refere-se ao modo de utilização das imagens do Landsat 5-TM. Optou-se por trabalhar somente com imagens analógicas, porque, segundo Vila da Silva e Kux (1991), as classificações digitais através das bandas TM3, TM4 e TM5 não proporcionaram boa discriminação entre os temas propostos (água e áreas inundada, úmida e seca) para esta seção do Pantanal.

3.3.4.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS

A interpretação visual das imagens na banda TM4, para obtenção das classes temáticas Lâmina d'água, Área inundada e Área seca, foi efetuada procurando identificar os padrões de tonalidade, forma e textura nos diferentes ambientes para a época analisada. Esta interpretação está fundamentada nos estudos realizados por Philipson e Hafker (1981), Rooy (1982), Novo et al. (1982), Novo e Santos (1982), Pinto e Niero (1985), Pinto et al. (1985), Florenzano et al. (1988) e Ponzoni et al. (1989), e seguiu os critérios de fotointerpretação convencional

(Fotoleitura, Fotoanálise e Fotointerpretação), considerando-se as características radiométricas e geométricas das imagens TM.

3.3.4.2 - ATUALIZAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

A partir da imagem obtida na banda TM3 e da composição colorida em papel fotográfico, foram obtidos os seguintes subsídios para atualização da base cartográfica: localização da ferrovia (RFFSA), das rodovias BR262, MS184 e MS325, bem como a localização de algumas cercas de divisão interna e externa da Fazenda Acurizal.

3.3.4.3 - DELIMITAÇÃO DAS PARCELAS NO MAPA E NAS IMAGENS

Para identificação e delimitação das parcelas amostrais no mapa e nas imagens, foram utilizadas as fotografias aéreas oblíquas, as fotografias aéreas verticais pancromáticas na escala de 1:20000 do ano de 1974, e as informações adquiridas nos trabalhos de campo.

3.3.5 - DIGITALIZAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO (PIs)

Através de uma mesa digitalizadora acoplada a um SIG, é possível armazenar e manipular figuras que contêm polígonos, bem como mapas temáticos e cartográficos. Desta maneira, os produtos cartográficos e temáticos da área foram digitalizados, obedecendo à definição do projeto de trabalho e dos respectivos planos de informações (PIs).

3.3.6 - TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para análise das informações quantitativas, foram empregados métodos estatísticos, tanto descritivos como inferenciais.

3.3.6.1 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Foram apresentados e discutidos resultados de estatística descritiva, tais como gráficos que demonstram o comportamento das cotas fluviométricas, precipitação e extensão da inundação ao longo do período analisado, bem como as suas possíveis relações, além de medidas básicas de dispersão e concentração.

3.3.6.2 - CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

Gerou-se uma matriz de correlação múltipla entre as variáveis: altura da inundação no campo, extensão da inundação obtida por sensoriamento remoto e cotas fluviométricas dos rios Miranda, Aquidauana, Paraguai e do corixo Mutum. Para as variáveis que apresentaram uma boa correlação, ajustou-se o modelo de regressão apropriado.

3.3.7 - PREVISÃO DE ENCHENTES

Foi adotado o Método de Gumbel para a estimativa dos períodos de retorno de enchentes. Devido à indisponibilidade dos dados de vazão, tomaram-se os dados de cota fluviométrica como parâmetro a ser avaliado. Além do cálculo dos períodos de retorno utilizando as cotas máximas anuais, como prevê este método, foram estimados os períodos de retorno mensais, utilizando as máximas mensais.

3.3.8 - ESPACIALIZAÇÃO TEMÁTICA

A confecção dos mapas temáticos das áreas submetidas a inundação ao longo do ano hidrológico em estudo obedeceu às normas de precisão cartográfica para dados do TM Landsat, segundo D'Alge (1987), na escala apropriada de 1:100000.

3.3.8.1 - GERAÇÃO E EDIÇÃO DE CARTAS

Nesta fase foram definidos e gerados os produtos temáticos, utilizando funções específicas implementadas no SIG. Estes produtos foram editados através de uma plotadora Versatec.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS IMAGENS E USO DO SIG

Os resultados e as dificuldades encontradas na interpretação visual e no uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) serão discutidos a seguir. Nesta etapa concluiu-se o objetivo de confecção de mapas temáticos das áreas submetidas a inundações no ano hidrológico de 1989 na escala de 1:100000.

4.1.1 - CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA E ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA

A fim de minimizar os erros de digitalização, tais como deformação do papel, ajuste do mapa na mesa e ajuste de linhas, confeccionou-se em papel terkron uma única base cartográfica da área de estudo na escala de 1:100000, proveniente das três folhas topográficas descritas na Seção 3.2.4 desta dissertação. Esse mapa foi inserido em ambiente SIG e, posteriormente, plotaram-se 5 bases em papel terkron.

Sobre essas bases cartográficas, utilizando a banda TM4 em papel fotográfico, realizou-se a interpretação das áreas submetidas a inundação ao longo do ano de 1989, nas datas de passagem do Landsat 5-TM, conforme a Tabela 3.1. As 4 cenas interpretadas na época cheia referem-se aos meses de abril, maio, junho e julho, e uma cena da época seca refere-se ao mês de setembro.

Dado que as imagens do Landsat 5-TM são compatíveis com mapas cartográficos nessa escala (D'Alge,

1987), estas imagens não deveriam apresentar distorções quando sobrepostas à respectiva base. Entretanto, as imagens em papel fornecidas pelo INPE, na projeção UTM, não se sobrepõem perfeitamente à base cartográfica desta região.

Para a classificação temática, assim como para a atualização das Rodovias BR262, MS184 e MS325 e de algumas cercas internas perceptíveis a olho nu, segmentou-se a imagem em pequenos quadrantes de 8x8km. Esta segmentação foi efetuada onde havia feições de caráter permanente (rios, corixos, estrada de ferro etc), identificáveis na imagem e no mapa, objetivando desta maneira distribuir o erro por todo o mapeamento. Para esta semi-restituição, com finalidade de atualização, foram utilizadas as imagens de 16/09/89 (época seca) nas bandas TM3, TM4 e a composição colorida nas bandas TM3, TM4 e TM5.

Estes erros cartográficos observados foram atribuídos principalmente às distorções oriundas da elaboração das cartas topográficas (adoção do Datum Córrego Alegre) e àquelas inerentes ao sistema de processamento do produto (imagem) final (adoção do Datum SAD 69).

4.1.2 - DESCRIÇÃO DOS TEMAS E DIFICULDADES NA INTERPRETAÇÃO

Foram mapeadas três classes temáticas, a saber: Lâmina d'água, Áreas inundadas e Áreas secas.

- 1) **Lâmina d'água:** refere-se ao espelho d'água dos canais (rios, corixos e vazantes), baías, caixas de empréstimo, ao lado das estradas e até mesmo açudes. Nesta classe certamente houve subestimativa de área, devido à presença de plantas aquáticas, que ocupam extensas

superfícies, constituindo uma camada vegetal densa que oculta a água imediatamente abaixo desta. Ponzoni et al. (1989) também encontraram esse tipo de problema na classificação de fisionomias vegetais em outra parte do Pantanal. Na banda TM4 este tema aparece com tonalidade negra, pouco brilho e textura homogênea, devido à absorção da radiação pela água.

Na Figura 4.1 observam-se áreas ocupadas por macrófitas aquáticas no corixo Mutum, localizado na porção central da área de estudo. Sob estas condições de cobertura vegetal, a separabilidade desta classe tornou-se extremamente difícil.

Na área próxima ao rio Paraguai, entre o rio Miranda e a BR262, nas imediações da parcela 105 no Retiro Piúva e da parcela 60 no Retiro Bodoque, à medida que a lâmina d'água sobe, há um aumento significativo dessas macrófitas na superfície d'água. Há também um aumento na densidade da pastagem (capim), pois o seu crescimento acompanha o nível de inundação. No período da vazante, porém, ela se inclina em função da correnteza e do seu tamanho, ocultando a água abaixo dela, o que causa confusão na diferenciação da resposta espectral entre esses alvos. Na Figura 4.2 observam-se ambas as áreas no período seco (01/90) e na Figura 4.3 pode ser analisada a dificuldade da interpretação quando essas áreas estão alagadas.

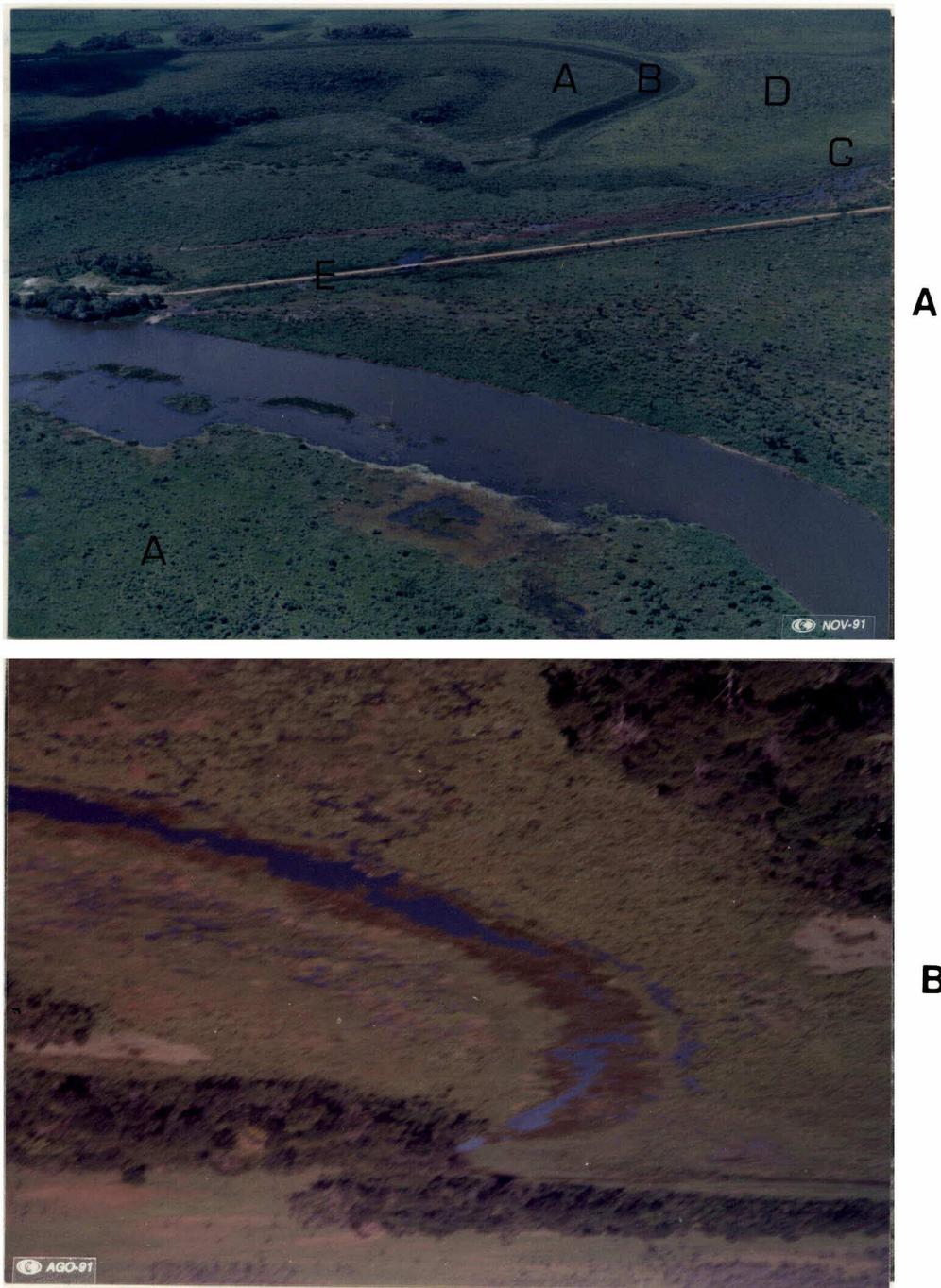


Fig. 4.1 - Presença de plantas aquáticas no Corixo Mutum.

A-Invernada da entrada da Fazenda Acurizal.

Espinheiral (A), Macrófitas (B), Vazante com Campo (C), Paratudal (D), acesso à BR-262 (E).

B-Área próxima à sede da Fazenda Acurizal.



A



B

Fig. 4.2 - Feição fitofisionômica Campo na época seca.

A-Rio Miranda, próximo ao Retiro Bodoque. Parcela 60. Caapões (A) e Vazantes (B).

B-À esquerda, meandro abandonado do rio Paraguai no Retiro Piúva, parcela 105.

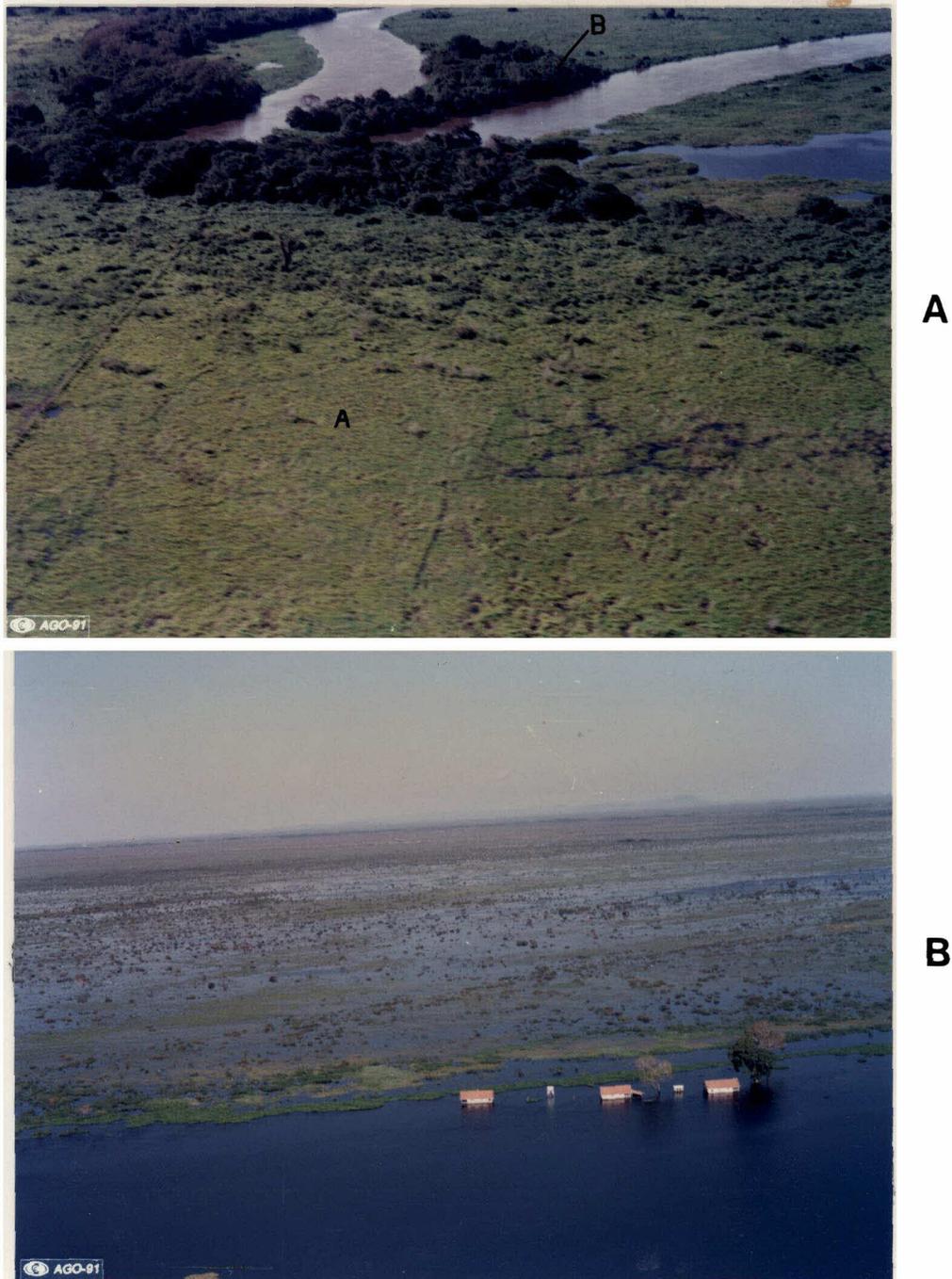


Fig. 4.3 - Feição fitofisionômica Campo na época cheia.
A-Parcela 60. Campo (A) e Mata Ciliar (B).
B-Parcela 105. Macrófitas e Pastagem natural adaptada à inundação.

2) **Áreas inundadas:** São aquelas onde o solo se encontra totalmente coberto pela lâmina d'água. Um aspecto crítico deve ser considerado nesta classificação, no que diz respeito à dificuldade na identificação da lâmina d'água sob vegetação densa, como mata ciliar e alguns cordões de mata próximos ao rio Paraguai, situados entre os paleocanais (Figura 4.4).

Além dessa área, destacam-se também as áreas de espinheiral (Figura 4.5) próximas à sede da Fazenda Acurizal, do Retiro Marimbondo e da parcela 107, bem como a área de carandazal (Figura 4.6), situada na faixa das parcelas 30, 78 e 14.

Todavia, as áreas de maior confusão referem-se **aquelas em torno da parcela DEP e proximidades da Baía Bonita (Figura 4.7), composta de Paratodais** com cipó e pastagem nativa extremamente alta e da parcela 11 (Figura 4.8), onde há uma mistura de Mata, Carandazal, Paratudal denso, Espinheiral e Macrófitas.

Por outro lado, quando a vegetação é menos densa, como aquela identificada na Figura 4.9, a interpretação é mais precisa. Na foto A dessa figura, a inundação encontra-se no pico, ultrapassando a pastagem e a vegetação rasteira. A área da foto B, com a altura da lâmina d'água de 20cm, encontra-se no final da cheia; porém, **a vegetação esparsa deixa aparecer** nitidamente o espelho d'água, tanto nas fotografias de 35mm como nas imagens TM4.

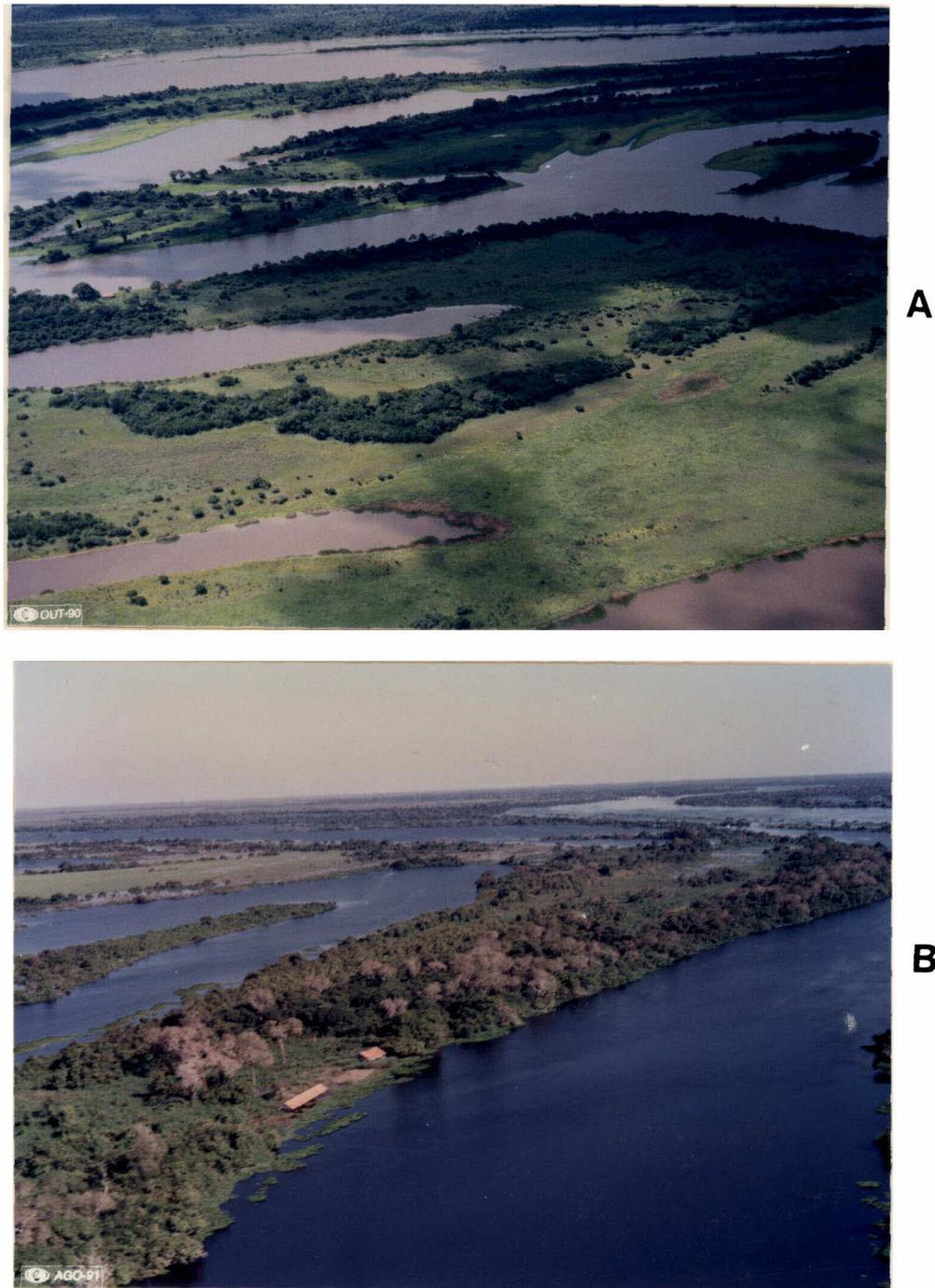


Fig. 4.4 - Feição fitofisionômica Mata. Retiro Formoso na época seca (A) e na época cheia (B). Mata Ciliar ao longo do rio Paraguai e cordões de Mata entre paleocanais.



Fig. 4.5 - Feição fitofisionômica Espinheiral na época cheia. Alagamento na parcela 107 e adjacências.

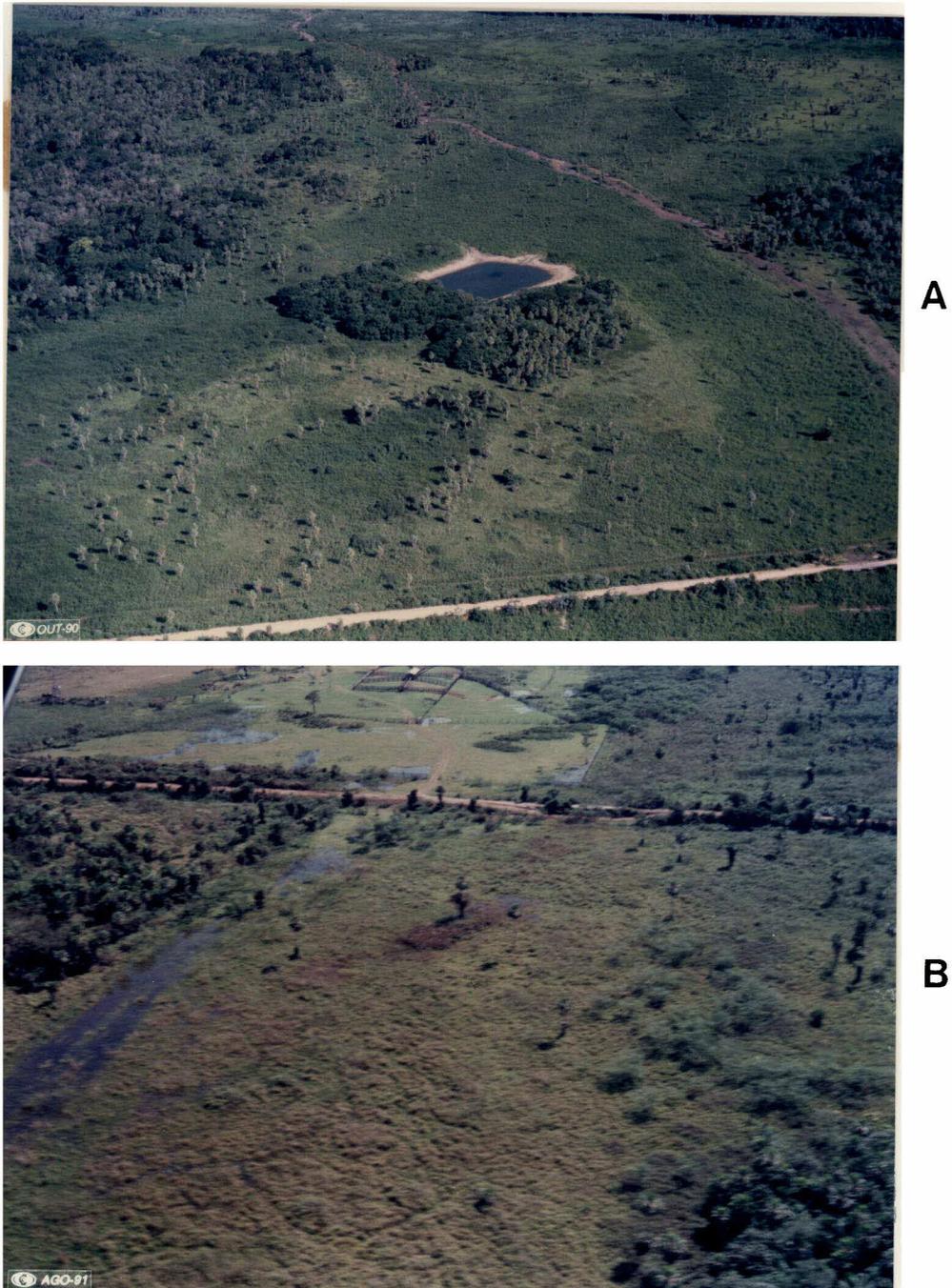


Fig. 4.6 - Feição fitofisionômica Carandazal. Parcela 14.
A-Época seca. Observam-se caapões de Mata Carandã à direita e à esquerda. Açude ao centro na passagem da vazante.
B-Época cheia.

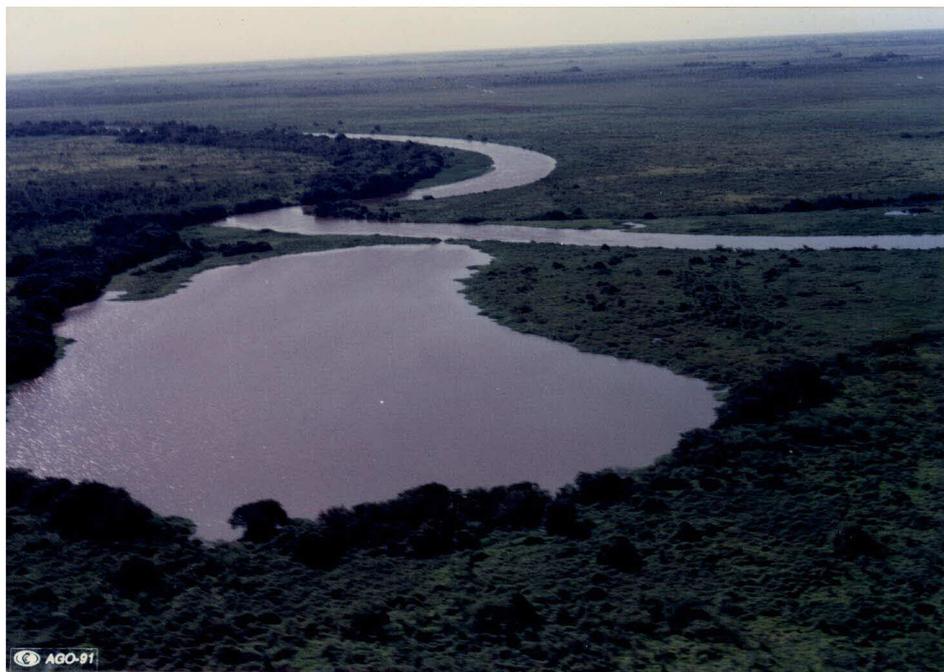
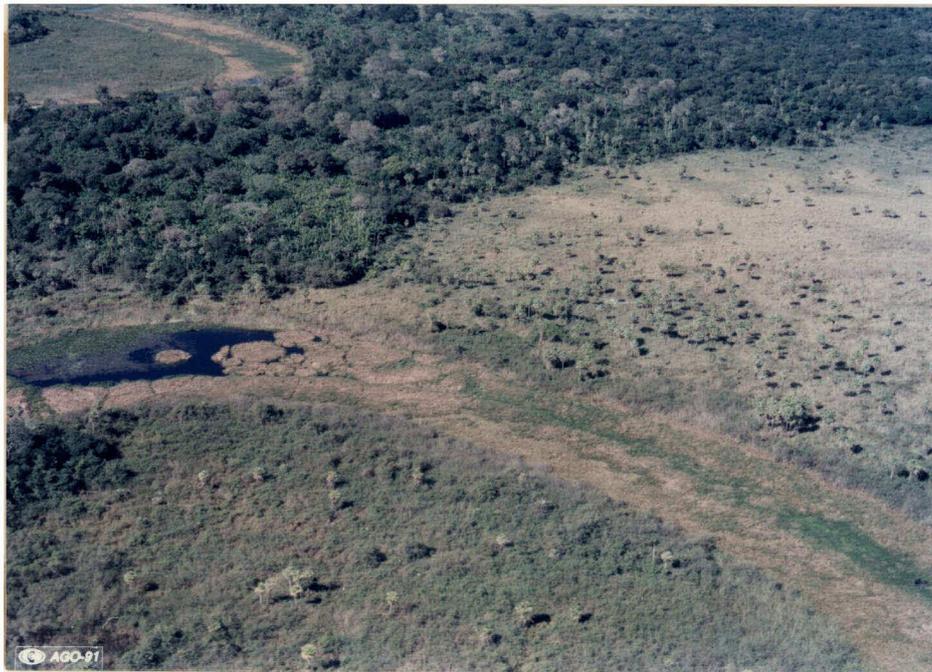
**A****B**

Fig. 4.7 - Feições formadas por Paratudais com Cipós e Pastagem nativa alta, às margens do rio Miranda. A-Parcela DEP, B-Baía Bonita.



A



B

Fig. 4.8 - Feição Mista alagada, formada por Mata, Carandazal, Espinheiral e Macrófitas.
A-Parcela 11.
B-Detalhe da área inundada próxima à parcela 11.

**A****B**

Fig. 4.9 - Detalhe da inundação em vegeta o esparsa.
A- rea alagada pelo rio Paraguai, às margens do Corixo Mutum. Aproximadamente a 5km da Fazenda Acurizal, entre Porto Esperança e Morrinho.
B-Parcela 64. Paratudal ralo alagado.

Estas dificuldades decorrem do emaranhado de folhagens e galhos formado pela vegetação, o que não permite a penetração de luz até o substrato. Isto faz com que a radiação captada pelos sensores a bordo do satélite seja proveniente da vegetação, quando na realidade deveria ser de água, ou pelo menos uma mistura de ambas. Problema semelhante a esse foi detectado por Ponzoni et al. (1989), em cujo trabalho salientou que não foi possível identificar alagamentos sob vegetação com cobertura do solo acima de 70%.

Neste estudo, além do uso das imagens TM, a interpretação foi efetuada com o auxílio da declividade (base cartográfica), das características próprias do ambiente (planície de inundação dos rios Miranda e Paraguai, presença de corixos e/ou vazantes), e das anotações sobre nível da lâmina d'água no campo na data da passagem do satélite.

As áreas inundadas aparecem na banda TM4 com tonalidade cinza escuro e menor brilho. Verificou-se, nas imagens, que é possível discriminar duas classes distintas de vegetação segundo as características de seus elementos texturais. A primeira classe, apresentando-se com textura homogênea, foi associada às áreas com vegetação herbácea (campos inundados); a segunda classe, com textura heterogênea, foi associada às áreas com vegetação arbórea alta e média. Neste estudo ambas as classes foram agregadas ao tema "área inundada". Nas pesquisas em andamento no Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, relacionadas com fisionomia vegetal, há possibilidade de essas classes serem mapeadas.

Os cordões de mata e as matas ciliares observados na Figura 4.4, apesar de se apresentarem com tonalidade cinza claro na banda TM4 (indicativa de ausência de água), confundindo-se portanto com áreas secas, foram incluídos neste tema. Isto foi feito com base nas campanhas de campo e coleta das cotas fluviométricas concomitantes à obtenção das imagens.

3) Áreas secas: Foram consideradas como "áreas secas" as seções onde não foi detectada a presença de água, as quais podem ser formadas por vegetação herbácea, arbustiva e/ou arbórea. Observa-se na Figura 4.2 uma feição característica desta classe. Na banda TM4 este tema aparece com tonalidade cinza claro.

Os caapões de mata (pequenas elevações de terreno de 1 a 2 metros, observados na Figura 4.10) são feições típicas no Pantanal; apesar de algumas aparecerem com tamanho inferior a 2mm nas imagens TM, na escala de 1:100000, são áreas perfeitamente mapeáveis, devido à vegetação densa nelas existente. Estas feições fitofisionômicas são de extrema importância nesta região por servirem de refúgio tanto para animais domésticos como para animais silvestres, pois quando ocorrem os picos das inundações, estas áreas não são atingidas.

Por ocasião dos trabalhos de campo em 1990, não foi possível a confirmação da verdade terrestre referente aos mapas temáticos das áreas inundadas, uma vez que nesse ano a inundação na área de estudo foi extremamente baixa, com o nível máximo do rio Paraguai em Ladário atingindo 450cm. Destarte, em 1991 o nível máximo do rio Paraguai em Ladário atingiu 550cm, inferior ao de 1989 (ano da confecção dos mapas) em 62cm; e o rio, Miranda

na cidade de Miranda, em 1991 atingiu o nível máximo de 774cm, o que determinou uma inundação inferior em 80cm com relação à de 1989. Contudo, ambos os rios provocaram extravasamento do canal para o campo, o que causou inundação generalizada na área entre janeiro e agosto de 1991.

Portanto, pôde-se concluir, através das observações em campo, que a inundação de 1991 em termos de extensão foi semelhante à de 1989. Para chegar a essa conclusão foram realizadas no período de 16/06/91 a 26/06/91, por meio de jipe Toyota, barco e aeronave, verificações em campo, através das quais se detectou que a extensão das áreas alagadas nesse período mostrou-se muito semelhante à das áreas mapeadas em 12/06/89 e 14/07/89. Nas Figuras 4.3 a 4.10 podem ser observados aspectos da área inundada em 26/06/91.

**A****B**

Fig. 4.10 - Feição fitofisionômica Caapão.

A-Caapões ao lado do Corixo Mutum, próximo à ponte da Estrada MS-325. Época seca.

B-Caapão isolado em Campo inundável, inverna da Faz. Acurizal. Parcela 56 na época cheia.

4.1.3 - DIGITALIZAÇÃO E CÁLCULO DA ÁREA DOS TEMAS

As bases cartográficas existentes e as informações temáticas obtidas visualmente foram inseridas, via mesa digitalizadora, no ambiente SIG para posterior manipulação. Na Tabela 4.1 estão definidos e caracterizados os Planos de Informações (PIs) gerados. Executadas as fases de digitalização, ajuste de linhas e poligonalização, o Sistema permite associar cada tema a uma cor, bem como a sua visualização no vídeo.

TABELA 4.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO (PIs)
GERADOS NO SIG

NOME	IDENTIFICAÇÃO	PROJEÇÃO	ESCALA	CATEGORIA
COOR	Coordenadas UTM	UTM	100000	mapa poligonal
LIM	Limite da propriedade	UTM	100000	mapa poligonal
DREN	Rios, corixos e vazantes	UTM	100000	mapa poligonal
CERC	Cercas internas	UTM	100000	mapa poligonal
EST	Rodovias e ferrovia	UTM	100000	mapa poligonal
PARC	Contorno das parcelas	UTM	100000	mapa poligonal
IN49	Inundação em abril/89	UTM	100000	mapa poligonal
IN59	Inundação em maio/89	UTM	100000	mapa poligonal
IN69	Inundação em junho/89	UTM	100000	mapa poligonal
IN79	Inundação em julho/89	UTM	100000	mapa poligonal
IN99	Inundação em setembro/89	UTM	100000	mapa poligonal

Concluída essa etapa, cada mapa temático foi rasterizado, isto é, executando-se a função para converter os dados vetoriais em varredura, as informações temáticas poligonais foram transformadas em imagens temáticas. Cada imagem foi criada com resolução espacial de 30m. Este procedimento é necessário para que se possa executar a função cálculo de área.

Na Tabela 4.2 observa-se a área dos temas calculada para cada mês do período estudado. Ressalta-se que, dos 3 temas descritos na Seção 4.1.2, para efeito de análise e impressão, o tema "lâmina d'água" foi incluído no tema "área inundada", porque os temas de interesse à pesquisa referem-se a áreas alagadas e a áreas não alagadas.

TABELA 4.2 - ÁREA (EM HA), GERADA NO SIG, DAS SEÇÕES INUNDADAS E DAS SEÇÕES SECAS EM 5 ÉPOCAS DIFERENTES

TEMAS	ÉPOCAS				
	09/04/89	11/05/89	12/06/89	14/07/89	16/09/89
Inundada	147.120	134.445	118.492	68.153	23.070
Seca	56.708	69.383	85.336	135.675	180.758
Total	203.828	203.828	203.828	203.828	203.828
Número de					
Polígonos	779	1.089	922	596	857

Para o gerenciamento no SIG, de uma área excessivamente grande como a região avaliada, precisam ser tomados os seguintes cuidados: digitalizar somente linhas com menos de 1000 pontos; não ultrapassar 100 linhas por polígono; não inserir mais de um centróide (identificação dos polígonos) em um polígono e ajustar as linhas sempre que se for alterá-las. Isto é necessário, pois a não observação destes procedimentos não permitirá a poligonalização do PI, que, conseqüentemente não executará nenhuma outra operação que dependa desta função. Além deste problema, corre-se o risco de utilizar inúmeras horas de trabalho no computador a fim de identificar os erros.

Todavia o principal problema encontrado refere-se ao número de "filhos" (quantidade de polígonos inseridos em um polígono) admitidos pelo Sistema para cada polígono. Na época de definição deste projeto de pesquisa (1990), o número máximo permitido era 20. Isto causava inúmeras dificuldades pelo fato de haver necessidade de seccionar o polígono envolvente em vários polígonos, sempre obedecendo ao número de "filhos" admitido, o que gerava várias linhas indesejáveis no produto final.

A partir de junho de 1991 o Sistema passou a admitir qualquer número de "filhos". Porém, o problema encontrado agora refere-se à capacidade de memória do microcomputador, que não suporta tão grande quantidade de informações. Tome-se por exemplo o PI de 14/07/89, com 596 polígonos (Tabela 4.2), no qual são praticamente inviáveis algumas operações imprescindíveis, como a poligonalização e edição de cartas.

4.1.4 - IMPRESSÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS ATRAVÉS DA PLOTADORA

Esta é a última fase de gerenciamento no ambiente SIG. Através da função "geração de legenda", foi possível gerar todas as legendas necessárias à compreensão dos mapas temáticos. As funções "geracarta" e "edita carta" possibilitaram a criação dos mapas com seus respectivos PIs, bem como a subsequente impressão através da plotadora.

Ao todo foram gerados e impressos, sobre a base cartográfica atualizada, 5 mapas temáticos na escala de 1:100000, identificados da seguinte maneira: Mapas temáticos de 09/04/89 (Apêndice A), 11/05/89 (Apêndice B), 12/06/89 (Apêndice C), 14/07/89 (Apêndice D) e 16/09/89 (Apêndice E).

4.2 - CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DE INUNDAÇÃO

Nesta seção são analisados os dados pluviométricos e fluviométricos, integrados aos trabalhos de campo e aos resultados quantitativos da interpretação temática. Com isto fica concluído o objetivo de determinar a correlação entre cotas fluviométricas (planície de inundação e leito do rio) e extensão da área inundada obtida por imagens do satélite Landsat 5-TM ao longo do ciclo hidrológico.

4.2.1 - ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Considerando que Cadavid Garcia e Rodriguez Castro (1986) estimaram 1013 a 1191mm como intervalo de confiança para a precipitação ao nível de significância de 10% nesta seção do Pantanal, verifica-se que o ano avaliado, 1989, é representativo da distribuição de chuva para a região. Tomando Acurizal como referência, com precipitação anual de 1105mm neste ano, observa-se que este valor se insere nesse intervalo.

Analisando a Figura 4.11, verifica-se que o volume precipitado não é homogêneo para toda a extensão da área de estudo. Foram obtidos dados pluviométricos dos últimos sete anos da sede da Fazenda Acurizal (centro da área de estudo), a uma altitude aproximada de 87m, e da sede da Fazenda Bodoquena (Seção Guaicurus), no sudeste da área de estudo, a uma altitude de 142m. Esta última encontra-se na área de contato com a Serra da Bodoquena. Para a Fazenda Acurizal o valor médio anual é de 948mm, com coeficiente de variação (CV) de 24%, e para a Seção Guaicurus o valor médio é de 1271mm, com CV de 13%. Porém, em ambos os postos pluviométricos as precipitações concentram-se nos meses de outubro a março em 73% e 76%

para Guaicurus e Acurizal, respectivamente, e entre junho e julho tem início a estação seca, ou seja, a época das vazantes.

Essa diferença de volume precipitado é atribuída ao efeito orográfico da Seção Guaicurus, por sua posição topográfica de "pé de morro" na base da Serra da Bodoquena.

Através do coeficiente de variação, pode-se verificar a variabilidade do volume de chuva mensal numa série temporal. Analisando esses valores (Figura 4.11), conclui-se que tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem a precipitação não é uniforme, apresentando CVs acima de 40%, com exceção do mês de novembro na Seção Guaicurus, cujo CV é de 23%, o que demonstra variabilidade bastante reduzida ao longo do período.

4.2.2 - ANÁLISE DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Fundamentado na classificação interanual das inundações no Pantanal, proposta por Adámoli e Galdino (1990), na qual consideraram como referência os valores máximos das cotas fluviométricas do rio Paraguai atingidos no período de 1900-90 em Ladário, as inundações dos anos hidrológicos de 1987, 1989 e 1991 foram classificadas respectivamente como Alta (450 - 525cm), Excepcionalmente Alta (>600cm) e Muito Alta (525 - 600cm). Portanto, as inundações destes três anos hidrológicos evidenciados na pesquisa são representativas da inundação generalizada na área de estudo.

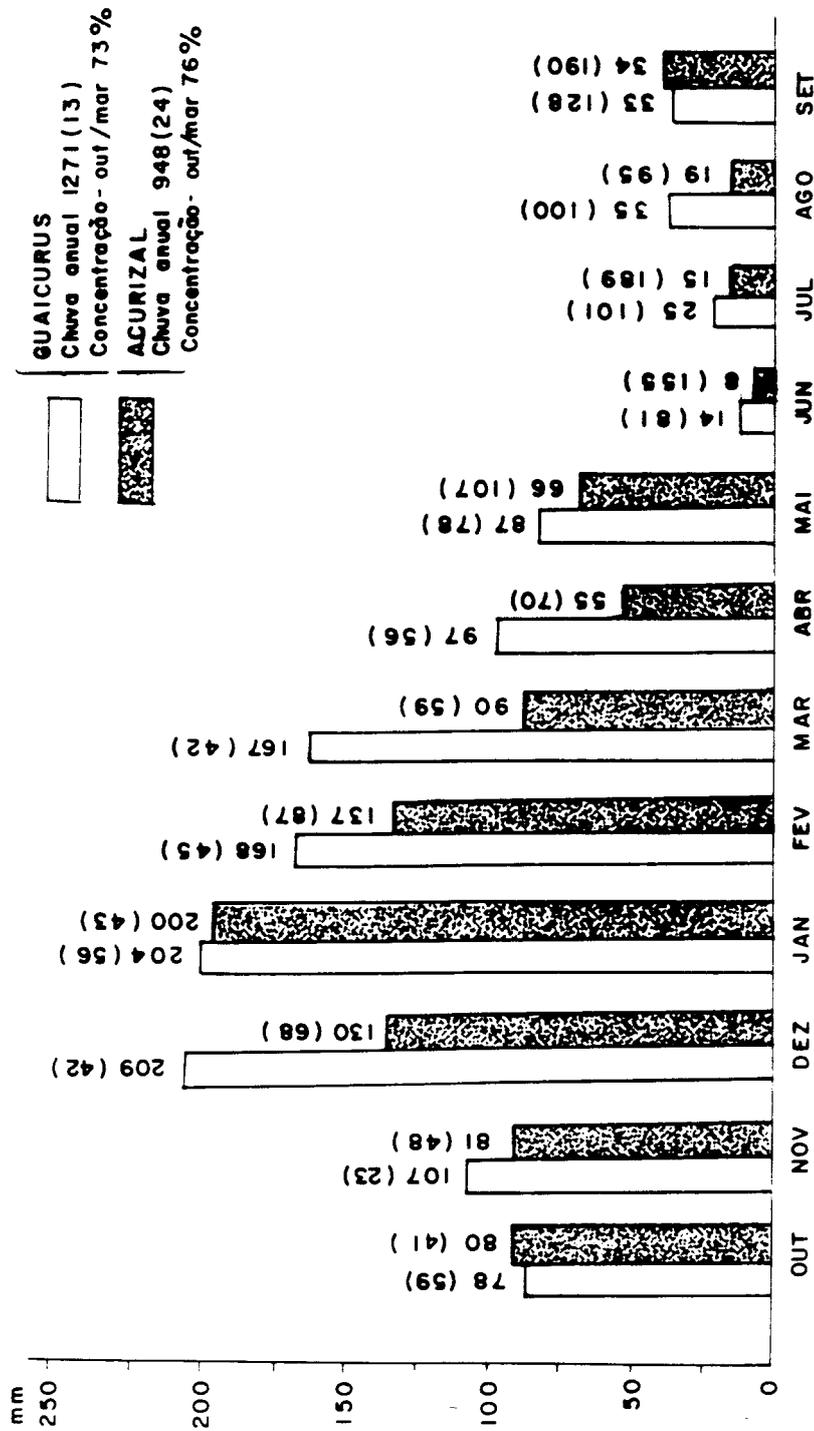


Fig. 4.11 - Precipitação média em Guaicurus e Fazenda Acurizal dos anos hidrológicos de 1985-91.

No ano hidrológico de 1991 foi computada somente a precipitação até junho; Os números entre parênteses são os coeficientes de variação (CV) em %.

Na Figura 4.12 observa-se a rede de drenagem que contribui para a inundação da área de estudo. Os rios Miranda e Paraguai extravasam diretamente nessa planície e o rio Aquidauana, por ser um afluente do Miranda, com sua foz na região analisada, contribui também para a inundação através do extravasamento pela sua margem esquerda, que em dado momento se juntará às águas do rio Miranda e atingirá a região. Dos postos hidrométricos identificados nessa figura, há 6 postos a montante, um no início e um a jusante da área avaliada. A série temporal dos dados fluviométricos desses postos está descrita na Tabela 3.2.

4.2.2.1 - ANÁLISE DOS HIDROGRAMAS DOS RIOS AQUIDAUANA, MIRANDA E PARAGUAI DO ANO HIDROLÓGICO DE 1987

Através dos hidrogramas das estações sucessivas (mesmo rio) ou adjacentes (rios adjacentes), pode-se acompanhar o deslocamento dos picos de inundação. Para verificar essa hipótese, plotaram-se os hidrogramas dos postos hidrométricos existentes no rio Miranda, Aquidauana e Paraguai (Figuras 4.13, 4.14 e 4.15, respectivamente). Selecionou-se o ano de 1987 por ser o ano com dados de cotas completo mais próximo do período analisado.

Analisando essas três Figuras (4.13 a 4.15), identificam-se 3 grupos de hidrogramas:

- 1) No Grupo 1 estão os hidrogramas dos postos de Porto Esperança e Ladário no rio Paraguai (Figura 4.15), localizados na planície de inundação do Pantanal propriamente dita. Apresentam um único pico anual, seguido por um decréscimo das cotas fluviométricas; portanto, não evidenciam uma relação direta com a pluviometria local.

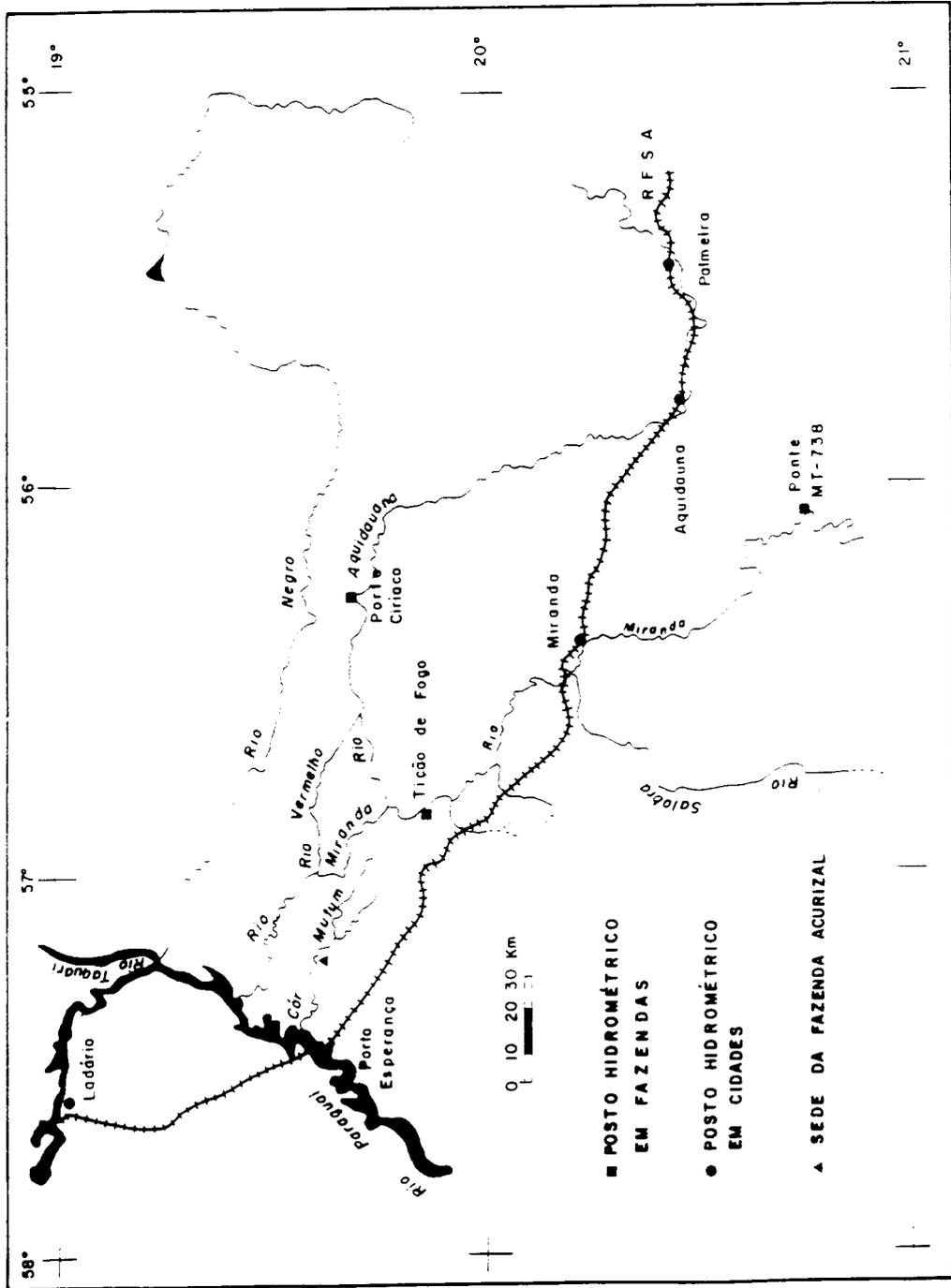


Fig. 4.12 - Rede de drenagem responsável pela inundação da área de estudo.

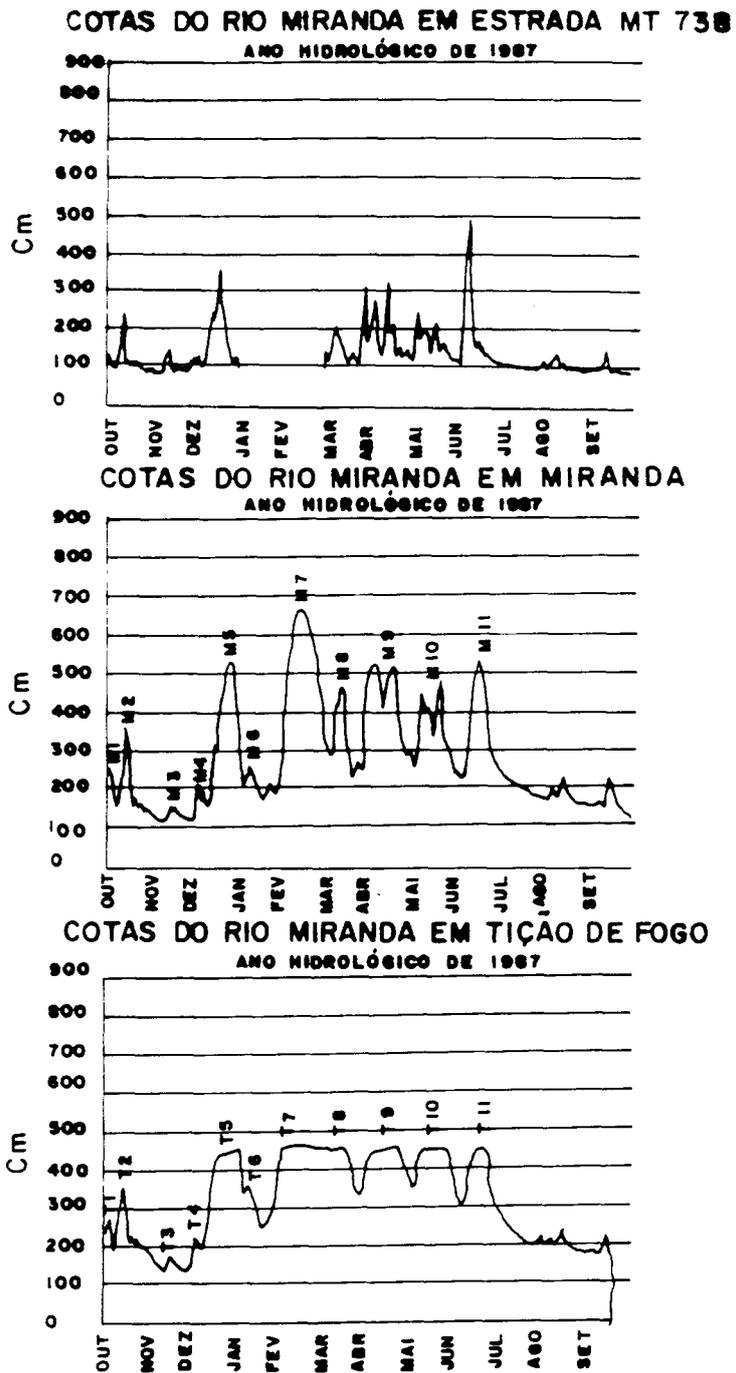


Fig. 4.13 - Hidrogramas do rio Miranda em 1987.

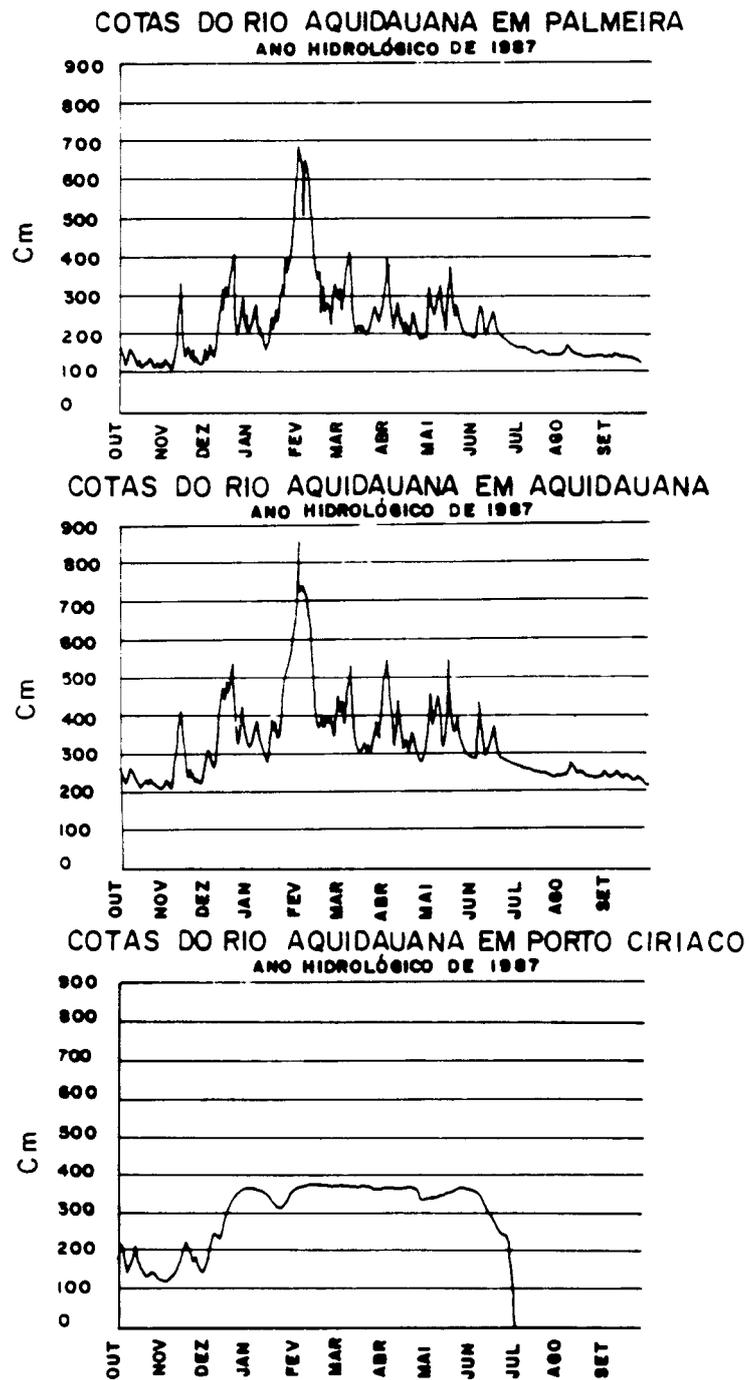


Fig. 4.14 - Hidrogramas do rio Aquidauana em 1987.

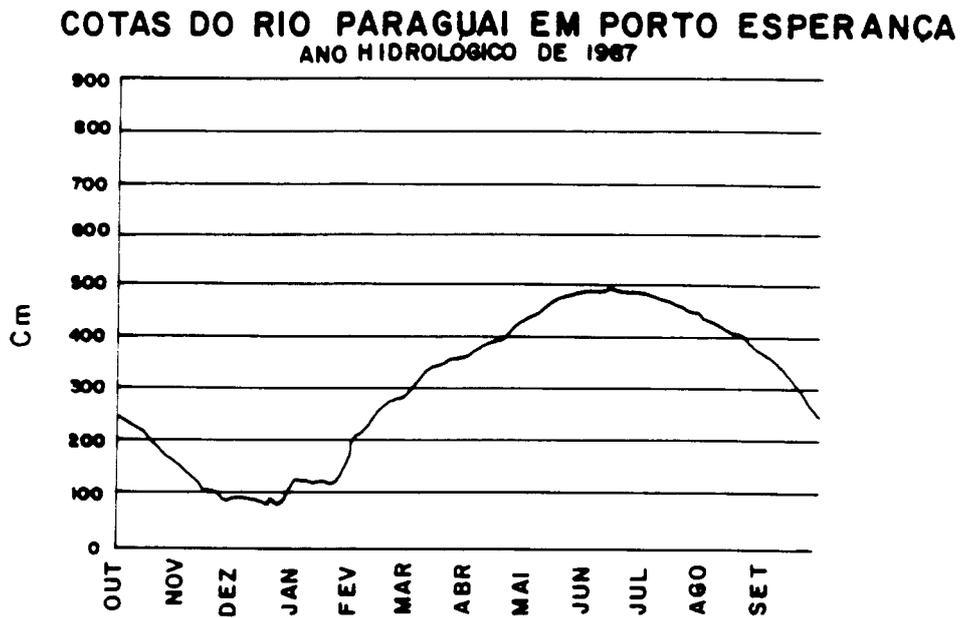
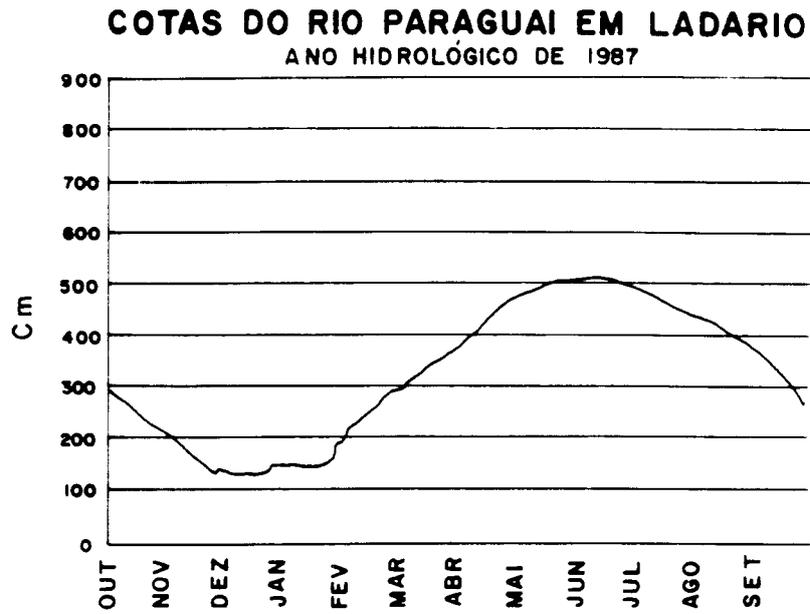


Fig. 4.15 - Hidrogramas do rio Paraguai em 1987.

- 2) No Grupo 2 estão os hidrogramas dos postos de Miranda e Estrada MT-738 no rio Miranda (Figura 4.13) e dos postos de Aquidauana e Palmeira no rio Aquidauana (Figura 4.14), identificados como postos de cabeceiras de rio, onde estes se encontram encaixados nos seus leitos. Estes hidrogramas apresentam picos e vales bem definidos, o que evidencia forte correlação com a precipitação sobre a área.

- 3) No Grupo 3 estão os hidrogramas dos postos de Tição de Fogo no rio Miranda e Porto Ciríaco no rio Aquidauana (Figuras 4.13 e 4.14, respectivamente), localizados também na planície de inundação, porém numa região onde a inundação é de menor proporção, atingindo níveis de extravasamento inferiores aos do grupo 1. Provavelmente estes postos são afetados pela proximidade da área de transição entre o Planalto adjacente e o Pantanal. Estes hidrogramas apresentam características mistas, pois possuem tanto um pico anual seguido por um decréscimo, como também uma forte correlação com a precipitação local e com os postos situados a montante, observados através de picos e vales.

Estes resultados concordam parcialmente com os alcançados por Rooy (1982).

Os trechos horizontais dos hidrogramas de Tição de Fogo e Porto Ciríaco indicam transbordamentos de suas margens, isto é, esses rios não comportam nesse período toda a água recebida da montante.

Comparando os hidrogramas do rio Miranda (Figura 4.13) com os hidrogramas do rio Aquidauana (Figura 4.14), verifica-se pela análise pico a pico (Palmeira e Estrada MT-738, Aquidauana e Miranda, Porto Ciríaco e Tição de Fogo) de cada posto adjacente que o comportamento de enchentes em ambos é semelhante, isto é, ambos extravasam ao mesmo tempo e nas mesmas proporções.

Assim sendo, para o cálculo da defasagem dos picos de inundação entre as estações do setor leste e sudeste da área, foram utilizados apenas os postos Miranda como referência e Tição de Fogo a jusante, ambos no rio Miranda. No setor oeste foram considerados os postos de Ladário e Porto Esperança, ambos no rio Paraguai.

Pela comparação dos hidrogramas dos postos sucessivos do rio Miranda (Figura 4.13), conclui-se que há uma estreita relação entre os hidrogramas de Miranda e os da Estrada MT-738.

4.2.2.2 - ESTIMATIVA DA DEFASAGEM ENTRE PICOS DE INUNDAÇÃO

Para as cotas máximas anuais, tem-se no período de 1974/91 (atual ciclo de inundação do Pantanal) a defasagem média de 8 dias com CV de 91% entre Ladário e Porto Esperança no rio Paraguai, e uma defasagem média de 18, dias com CV de 83% entre Miranda e Tição de Fogo. Diante de tamanha variabilidade anual entre picos, conclui-se que é inadmissível criar maiores expectativas quanto a um sistema de alerta de inundação baseado apenas nessa informação.

Na Figura 4.13, relacionando-se os 11 picos (M1 a M11) do hidrograma de Miranda com os correspondentes 11 picos (T1 a T11) do hidrograma de Tição de Fogo,

estimou-se a defasagem média de 4 dias entre picos com CV de 70%. Nota-se, nesta estimativa intra-anual, uma grande variabilidade entre os picos.

A necessidade de minimização dos erros fez com se trabalhasse com os dados de início de extravasamento dos rios. Através de observações em campo, verificou-se que o transbordamento do rio Miranda em Tição de Fogo tem início quando a régua fluviométrica atinge níveis superiores a 449cm. Desta maneira estimou-se, para o período de 1974/87, a defasagem de 6 dias com CV de 45% entre os primeiros picos em Miranda e Tição de Fogo, a partir do instante em que o rio alcançou esse nível e continuou até o pico da inundação. Este resultado, ainda que aquém do ideal, foi o que apresentou menor variabilidade, podendo ser utilizado com restrições para um sistema de alerta.

Para Ladário e Porto Esperança no rio Paraguai admitiu-se, como referência, a cota de alerta de 400cm utilizada pela Defesa Civil da região. Entretanto em 50% das vezes, no período de 1974/91, a régua fluviométrica de Porto Esperança atingiu a cota de alerta antes de Ladário. Isto demonstra que as primeiras águas a atingir essa área não passam por Ladário, mas são provenientes das chuvas e do escoamento superficial dos rios Miranda, Aquidauana, Taquari e Negro; portanto, não permitem estimar a defasagem com este procedimento.

Uma possível solução, objeto de futuras pesquisas, seria utilizar informações dos postos hidrométricos no rio Paraguai, localizados a montante de Ladário.

4.2.3 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E DE REGRESSÃO NA INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE E DE CAMPO

Para efetuar as análises e a integração das informações desta seção, obtiveram-se, de forma concomitante, os dados de campo e de satélite no ano hidrológico de 1989, cujos valores encontram-se listados na Tabela 4.3. Salienta-se que cada linha representa o estado de inundação da área naquela data. Além dos dados contidos nesta tabela, utilizaram-se também os dados das séries temporais descritas na Tabela 3.2.

Nas Figuras 4.16 a 4.21, observam-se as réguas fluviométricas nas seguintes feições fitofisionômicas características: Paratudal, Carandazal, Canjiqueiral, Espinheiral, Mata e Campo, respectivamente. A foto A de cada figura foi tomada em fevereiro de 1989, em pleno período de alagamento; a foto B, em abril de 1990, quando a área já se encontrava seca, exceto na feição fitofisionômica de Espinheiral (Figura 4.21), cuja área é a última a secar.

Os dados da Tabela 4.3 referem-se às medidas de altura de inundação em centímetros (cm) dos pontos de observação no campo da Fazenda Acurizal, do leito do rio Paraguai em Ladário (Lad) e em Porto Esperança (Esp), do rio Miranda no município de Miranda (Mir) e Tição de Fogo (TFg) e do rio Aquidauana em Palmeira (Pal). Foram incluídos também os valores das áreas inundadas (AI) em hectares (ha), obtidos através de interpretação das imagens do satélite Landsat 5-TM.

**TABELA 4.3 - ÁREA INUNDADA (AI) EM HA, COTAS FLUVIOMÉTRICAS
(CM) OBSERVADAS NO CAMPO DA FAZENDA ACURIZAL E NOS RIOS
PARAGUAI (LAD=LADÁRIO, ESP=PORTO ESPERANÇA), AQUIDAUANA
(PAL=PALMEIRA) E MIRANDA (MIR=MIRANDA, TFG=TIÇÃO DE FOGO)
NO ANO HIDROLÓGICO DE 1989**

DATA	RÉGUAS FLUVIOMÉTRICAS														
	86	24	27	DEP	90	54	04	56	107	01	14	13	78	30	11
20/02	110	90	95	80	77	28	126	110	195	295	62	25	27	37	100
24/03	93	86	98	52	83	43	143	113	170	275	51	15	21	34	120
09/04	45	50	78	25	57	25	125	93	143	237	18	10	0	29	45
25/04	16	28	55	14	26	4	105	72	126	220	10	5	0	22	28
11/05	5	11	5	5	10	0	95	52	115	210	5	0	0	10	45
27/05	0	0	0	0	0	0	85	41	105	200	0	0	0	0	15
12/06	0	0	0	0	0	0	80	37	75	189	0	0	0	10	12
28/06	0	0	0	0	0	0	48	30	65	no	0	0	0	10	5
14/07	0	0	0	0	0	0	38	29	65	48	0	0	0	5	0
30/07	0	0	0	0	0	0	22	20	30	37	0	0	0	5	0
15/08	0	0	0	0	0	0	18	13	20	25	0	0	0	0	0
16/09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	48	03	105	60	02	64	TFg	Lad	Mir	Pal	Esp	AI			
20/02	72	10	19	115	5	65	472	370	657	364	433	no			
24/03	72	138	150	118	8	68	462	511	490	274	534	no			
09/04	63	197	210	118	8	72	458	578	416	no	577	147.120			
25/04	39	210	223	119	9	78	456	605	490	219	598	no			
11/05	no	205	225	110	10	80	405	611	294	118	606	134.445			
27/05	10	200	220	105	5	76	no	607	216	96	604	no			
12/06	0	182	211	75	0	66	264	592	347	263	595	118.492			
28/06	0	rd	185	65	0	56	no	566	210	93	582	no			
14/07	0	rd	165	45	0	22	240	532	198	74	557	68.153			
30/07	0	rd	130	20	0	0	no	498	170	65	528	no			
15/08	0	rd	85	8	0	0	214	467	196	61	501	no			
16/09	0	rd	0	0	0	0	237	414	257	155	448	23.070			

no = não observado; rd = régua desaparecida na enchente.



A



B

Fig. 4.16 - Régua fluviométrica no ponto 64, feição fitofisionômica de Paratudal.
A-Época cheia (fev/89), B-Época seca (abr/90).

**A****B**

Fig. 4.17 - Régua fluviométrica no ponto 30, feição fitofisionômica de Carandazal.
A-Época cheia (fev/89), B-Época seca (abr/90).

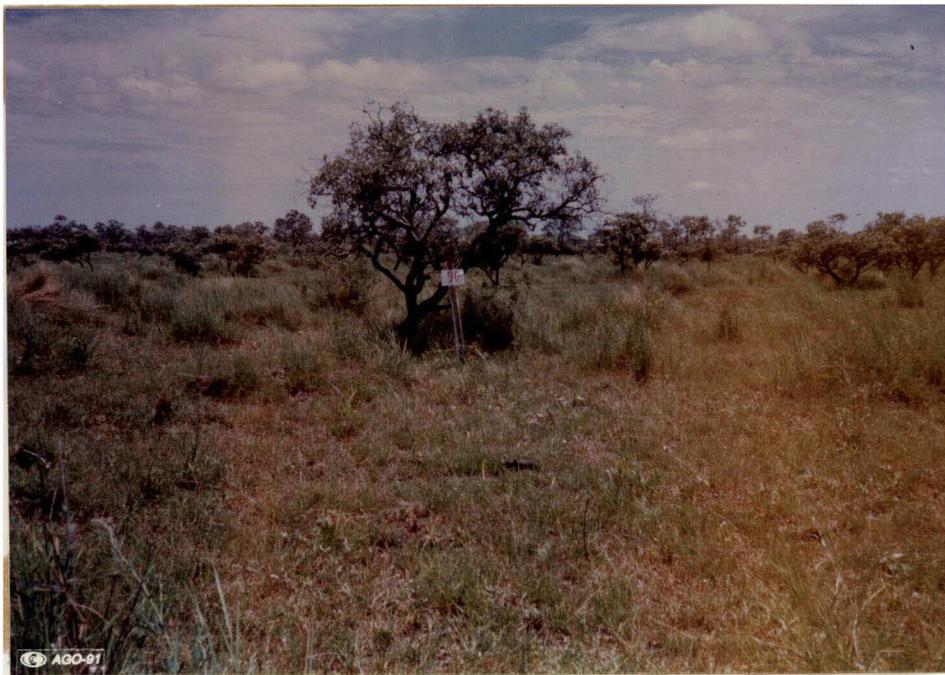
**A****B**

Fig. 4.18 - Rêgua fluviométrica no ponto 90, feição fitofisionômica de Canjiqueiral.
A-Época cheia (fev/89), B-Época seca (abr/90).

**A****B**

Fig. 4.19 - Régua fluviométrica no ponto 107, feição fitofisionômica de Espinheiral.
A-Época cheia (fev/89), B-Época seca (abr/90).



A



B

Fig. 4.20 - Régua fluviométrica no ponto 86, feição fitofisionômica de Mata (ao fundo).

A-Época cheia (fev/89), B-Época seca (abr/90).

**A****B**

Fig. 4.21 - Régua fluviométrica no ponto 56, feição fitofisionômica de Campo.
A-Época cheia (fev/89), B-Época seca (abr/90).

4.2.3.1 - AJUSTE DA EQUAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR PARA ESTIMATIVA DE INUNDAÇÃO EM TIÇÃO DE FOGO

Para a comparação quantitativa pico a pico no ano de 1987 entre os postos de Mir e Tfg no rio Miranda *(Figura 4.13), determinou-se o coeficiente de correlação ($r=0,92$), significativo ao nível de significância (NS) de 5%. Esta alta correlação confirma a semelhança entre os hidrogramas.

Ajustou-se a equação de regressão linear para o período de 02/10/86 a 01/01/87, fase de ascendência do ano **hidrológico** até o instante do primeiro pico de extravasamento em Tfg. Para a equação $TFg=87cm+0.653Mir$, estimada ao NS de 5%, o coeficiente de determinação (r^2) foi de 0,97, ou seja, 97% da variação das cotas fluviométricas de Tfg é explicada pelas cotas fluviométricas de Mir.

Utilizando a equação acima pode-se estimar a cota fluviométrica em Mir, que corresponderá ao primeiro extravasamento em Tfg. De fato, considerando 449cm como a cota fluviométrica necessária para a fuga de água do rio Miranda em Tfg, admite-se que a cota em Mir alcance pelo menos 554cm.

4.2.3.2 - CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO

Para melhor compreensão das discussões a seguir, recomenda-se o uso da Figura 3.4.

Através da Tabela 4.3, é possível diagnosticar algumas características da distribuição

espacial e temporal da água na área estudada. Por exemplo, a primeira região a secar é onde se localizam as parcelas 54, 13 e 78; as últimas são aquelas onde se encontram as parcelas 04, 56, 107, 01, 105 e 60. Através das observações em campo, verificou-se que as feições fitofisionômicas de Mata, Carandazal, Campo e Espinheiral estão associadas em ordem crescente ao tempo de permanência de inundação.

Os gráficos que mostram a distribuição temporal das cotas fluviométricas e da extensão da área inundada estão na Figura 4.22. Através da similaridade dos picos de inundação observada nessa figura ou na Tabela 4.3, associadas às observações em campo, tais como tempo de permanência de inundação e distribuição espacial das réguas fluviométricas verificaram-se cinco seções com características diferentes de inundação. Grande parte das réguas são inundadas ora pelo rio Miranda, ora pelo rio Paraguai, ou por ambos ao mesmo tempo; outras pelo pelo corixo Mutum, defasado no tempo.

A seção 1, composta pelas parcelas 24, 27 86 e DEP, está na região de influência direta dos rios Miranda e Aquidauana.

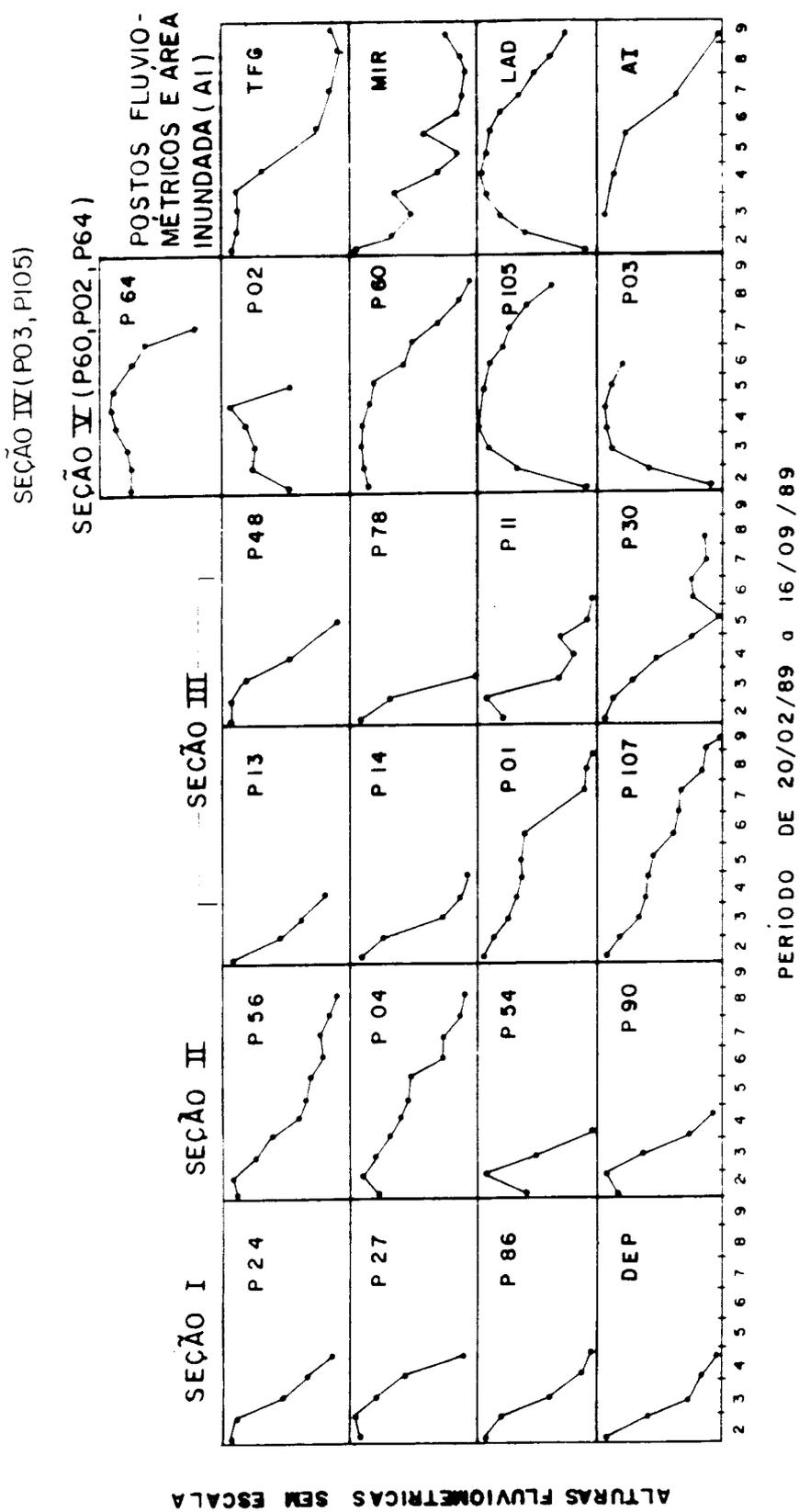


Fig. 4.22 - Distribuição temporal das cotas fluviométricas e extensão da área inundada em 1989.

A seção 2, composta pelas parcelas 90, 54, 04 e 56, é a região próxima à sede da Fazenda Acurizal, onde o efeito da inundação também é provocado pelo transbordamento do rio Miranda, porém defasado no tempo, através do Corixo Mutum.

O comportamento da inundação da seção 3, composta pelas parcelas 107, 01, 14, 13, 78, 30, 11 e 48, está associado à captação de grande parte da vazão do rio Miranda pelo Corixo Mutum e seu posterior escoamento sobre sua área de drenagem, além de inúmeros córregos drenando para esses locais, provenientes da Serra da Bodoquena, no período chuvoso.

A seção 4, formada pelas parcelas 105 e 03, recebe diretamente o extravasamento do rio Paraguai. A subida repentina dos níveis de água no campo deve-se ao grande volume de descarga desse rio, depois de coletar a água dos afluentes da Alta Bacia do rio Paraguai.

A seção 5, formada pelas parcelas 60, 02 e 64, é drenada inicialmente pelas águas do rio Miranda. No começo da inundação, este escoamento chega a atingir até a parcela 105 na seção 4. No entanto, depois de um certo período na planície, este escoamento passa a ser influenciado pelo extravasamento do rio Paraguai, que ocorre no sentido inverso, o que resulta no seu represamento. Isto torna-se claro quando se comparam as réguas 105 e 64. Por exemplo, em 20/02/89 a régua 105 acusava 19cm de cota fluviométrica e a régua 64 registrava 65cm. Esta água seria proveniente somente do escoamento superficial do rio Miranda, pois nessa data o rio Paraguai ainda encontrava-se em seu leito. Porém, em 11/05/89 a régua 64 acusava 80cm de lâmina d'água e a régua 105

registrava 225cm. Deduz-se, então, que nessa data o escoamento superficial do rio Paraguai atingiu a parcela 64 na invernada Volta Grande através do represamento das águas do rio Miranda.

4.2.3.3 - CORRELAÇÕES ENTRE AS COTAS FLUVIOMÉTRICAS

Com os dados da Tabela 4.3 construiu-se uma matriz de correlação ao nível de significância (NS) de 5%. Neste caso, estas associações são do tipo relações de variáveis aleatórias, isto é, o escoamento de um ponto de observação para outro ponto adjacente tem os mesmos fatores causadores.

Na Tabela 4.4 são apresentados somente os coeficientes de correlação mais significantes para a pesquisa. Os 5 agrupamentos destacados nessa tabela referem-se às réguas fluviométricas das seções de inundações detectadas anteriormente.

O menor "r" estimado para as réguas da seção 1 é 0,90, entre os pontos 27 e DEP. Isto é compreensível, considerando a distância percorrida pela água do ponto DEP até o ponto 27. O mesmo não acontece entre os pontos DEP e 86, ou entre os pontos 86 e 24, ambos com $r=0,99$, devido em parte, à proximidade entre ambos e ao caminho preferencial das águas, conforme observado nas imagens de satélite e confirmado em campo. Através dos valores de "r" obtidos para esta seção, conclui-se que, à medida que aumenta a distância entre as réguas, a correlação tende a diminuir.

TABELA 4.4 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS COTAS FLUVIOMÉTRICAS E EXTENSÃO DAS ÁREAS INUNDADAS
AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5%

	p86	p24	p27	pdp	p90	p54	p04	p56	p07	p01	p14	p13	p30	p11	p48	p03	p05	p60	p02	p64	TFg	Lad	Mir	Fal	AI
p86	1																								
p24	0,99	1																							
p27	0,93	0,97	1																						
pdp	0,99	0,97	0,90	1																					
p90					1																				
p54					0,97	1																			
p04					0,81	0,75	1																		
p56					0,94	0,88	0,95	1																	
p07									1																
p01									0,96	1															
p14									0,81	0,70	1														
p13									0,81	0,69	0,98	1													
p30									0,88	0,81	0,89	0,91	1												
p11									0,87	0,80	0,95	0,88	0,88	1											
p48									0,91	0,84	0,90	0,92	0,95	0,92	1										
p03															1										
p05															0,99	1									
p60																	1								
p02																	0,85	1							
p64																	0,96	0,76	1						
TFg	0,73	0,82	0,87	0,73	0,83	0,72	0,92	0,93	0,93	0,91	0,72	0,73	0,91	0,81	0,95		0,27	0,93	0,90	0,83	1				
Lad																0,99	0,98	0,43 ^a	0,37 ^a	0,57 ^b	0,16	1			
Mir																					0,84	1			
Fal																					0,67 ^a	0,94	1		
AI																					0,98	0,81 ^b	0,93	0,26 ^a	1

^a Não significativo ^b Significativo ao nível de significância de 10%.

Na seção 2, teoricamente, o "r" entre os pontos 54 e 04 deveria ser o maior, pois estão a menos de 1000m de distância um do outro. Todavia isto não ocorreu. Com $r=0,75$, estas réguas apresentaram a menor correlação. Porém, nesse trecho, a margem esquerda do Corixo Mutum é mais alta do que sua margem direita. A régua 04 está localizada num ponto de fuga na sua margem direita, enquanto a régua 54, localizando-se a aproximadamente 400m de sua margem esquerda, na cabeceira da pista de pouso, é influenciada pela parte alta onde está construída a sede da Fazenda Acurizal; portanto, não se encontra no caminho preferencial das águas do Mutum.

Aparentemente as réguas 54 e 90 estão situadas sobre uma mesma cota altimétrica, pois somente isto explica o alto coeficiente de correlação ($r=0.99$) encontrado. Nesta seção estas réguas são as mais afastadas entre si.

Os "r" estimados para a seção 3 são os que apresentaram maior variabilidade, determinando o comportamento complexo do regime de inundação nessa área, cuja proximidade de "pé de morro", contornando a Serra da Bodoquena, é influenciada, em parte, pelo escoamento superficial do rio Miranda, defasado no tempo, pelo córrego Bodoquena e pelo corixo 39, além da precipitação local.

Dentro dessa seção é possível distinguir duas áreas de inundação. A primeira, formada pelas parcelas 13, 11 e 107, com "r" entre 0,81 a 0,88, sugere a influência do escoamento superficial do rio Miranda, do corixo Mutum e da precipitação local; a segunda, formada pelas parcelas 14, 30 e 48, com "r" entre 0,89 a 0,95, sugere influência da precipitação local da drenagem do córrego Bodoquena e do corixo 39 e, muito raramente,

extravasamento do corixo Mutum, com $r=0,81$ estimado entre os pontos 01 e 30.

Nessa primeira região observa-se fraca correlação das réguas 13 e 11 com 01 no corixo Mutum. Já o mesmo não acontece entre as réguas 107 e 01, onde existe uma correlação muito forte, estimada em $r=0,96$, favorecida pela localização da régua 107 na área de drenagem desse corixo. Não há, no escopo desta pesquisa, uma explicação física para $r=0,84$, estimado entre os pontos 48 e 01.

É indiscutível o alto grau de correlação ($r=0,997$) entre as réguas 03 e 105 na seção 4, pois ambas encontram-se aproximadamente a 500m da margem do rio Paraguai; portanto, recebem diretamente o extravasamento desse rio, quase ao mesmo tempo.

Como a régua 02 está localizada na área próxima à sede do Retiro Bodoque, estando portanto alguns centímetros mais elevada que os pontos 60 e 64, é perfeitamente compreensível a baixa correlação encontrada. No entanto, entre as réguas 60 e 64, estimou-se uma correlação ($r=0,96$) bastante forte, que indica uma tendência de escoamento semelhante entre os pontos.

A seguir serão comparados e discutidos os níveis hidrométricos dos rios Paraguai e Miranda, com as réguas fluviométricas existentes no campo.

As relações existentes entre os níveis hidrométricos do rio Paraguai em Ladário são fortemente correlacionadas com as réguas 105 e 03, apresentando "r" de 0,98 e 0,99, respectivamente. Os coeficientes 0,43 e 0,37, não significativos, estimados respectivamente para as réguas 60 e 02, evidenciam a pouca influência do escoamento

superficial do rio Paraguai nessa área. Apesar da fraca correlação ($r=0,57$) entre Lad e 64, significativa somente ao NS de 10%, em um dado momento as águas desse rio atingem a área da invernada Volta Grande. Para as demais réguas não se justifica a estimativa da correlação, pois são influenciadas pela inundação do rio Miranda ou pela precipitação local.

Comparando as cotas fluviométricas do rio Miranda em TFg com as réguas no campo, constata-se um valor "r" maior ou igual a 0,90 para as seguintes réguas: 04, 56, 107, 01, 30, 60 e 02, consideradas para esta análise, com forte correlação. Para as réguas 24, 27, 90, 11 e 64, estimou-se "r" entre 0,80 e 0,89, classificadas como moderadamente correlacionadas. Para as demais réguas estimou-se uma fraca correlação ("r" menor que 0,79).

A inclusão das réguas 30 e 48 no grupo com forte correlação dificilmente deveria ocorrer. Esperava-se uma fraca correlação entre TFg e o ponto 30, pois esta régua, localizada na seção 3, está fora do alcance do escoamento superficial do rio Miranda. Todavia, considerando que esse rio em TFg e o córrego Bodoquena na seção dos pontos 30 e 48 são influenciados pela precipitação local e pela proximidade com a Serra da Bodoquena, observa-se um período de extravasamento semelhante entre ambos. Isto torna possível essa alta correlação.

Para as réguas 04 e 01, pelas suas localizações no corixo Mutum, é natural que isso ocorra, assim como às réguas 56 e 60, localizadas em áreas de campo de pastagem nativa. A primeira se encontra na região de vazante drenada pelo ponto de fuga do corixo Mutum no ponto

04; a segunda, na região de vazante drenada pelo ponto de fuga do rio Miranda.

A baixa correlação entre TFg e a régua 13, localizada na margem esquerda do rio Miranda, na localidade de Tição de Fogo, é devida à posição topográfica dessa régua, instalada no pátio desse retiro.

A distância percorrida pela água, bem como a diferença de posicionamento topográfico local de poucos centímetros entre algumas régua, são fatores que explicam os coeficientes de correlação moderados e fracos estimados.

4.2.3.4 - CORRELAÇÕES ENTRE DADOS DE SATÉLITE E DE CAMPO, E AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR

A seguir encontra-se a parte desta pesquisa onde se propõe a integração dos dados obtidos em campo com os dados obtidos por satélite. É abordada a possibilidade de associar diferentes níveis fluviométricos observados no campo e nos leitos dos rios às extensões das áreas inundadas, calculadas através da interpretação das imagens de satélite. Ressalta-se que só foi possível a aquisição de 5 imagens para esse cálculo, o que restringiu consideravelmente a eficiência da análise.

Verifica-se na Tabela 4.4 que a correlação entre área inundada (AI) e os níveis observados no rio Miranda, no município de Miranda (Mir), e no rio Aquidauana, em Palmeira (Pal), além de muito baixa, não foi significativas nem ao NS de 10%. É factível admitir que utilizando somente dados desses postos não há possibilidade de inferências precisas sobre a área de estudo.

Estimaram-se correlações a partir de 0,89 entre AI e as réguas 04, 56, 107, 01, 105, 60, 64 e Lad, ao NS de 5% (Tabela 4.3). Para as réguas 30, 11 e Mir, as correlações destas com AI foram respectivamente, 0,81, 0,86 e 0,81, ao NS de 10%.

Estas correlações encontradas indicam os pontos de referência para a observação dos níveis de inundações na área de estudo, os quais, associados à extensão da inundação obtida das imagens, compõem um importante subsídio para o manejo da pecuária extensiva de corte. Da associação dessas informações com suas respectivas datas, é possível estipular o início da colocação do gado nos campos naturais, bem como sua retirada.

Tomando-se como referência a distribuição espacial das réguas e o alto grau de correlação apresentado, ajustou-se uma série de equações de regressão linear a serem usadas para estimativas da altura e extensão de inundações.

Para o ajuste dessas equações, utilizaram-se os dados do período descendente do ano hidrológico de 1989, exceto aqueles referentes a Ladário e à régua 105, onde foi possível obter informações antes e depois da curvatura do hidrograma. A Figura 4.23 exemplifica esses detalhes. É claro que as equações são aplicáveis somente dentro dos intervalos de níveis fluviométricos cujos valores, quando utilizados nas respectivas equações, não determinem uma estimativa de área inundada menor que zero, nem tampouco maior que 203.828ha (total da área avaliada).

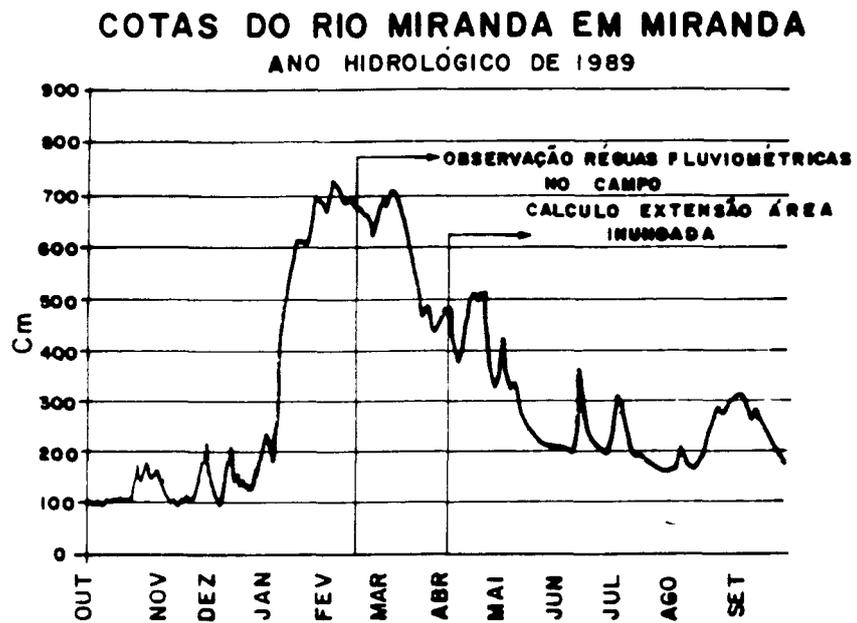
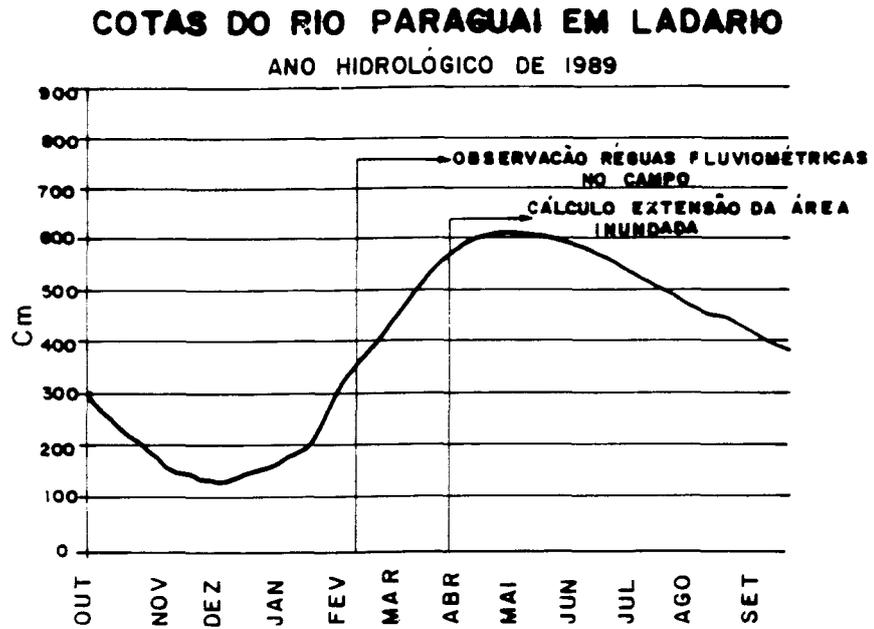


Fig. 4.23 - Hidrogramas dos rios Paraguai e Miranda em 1989.

Genericamente uma equação de regressão linear simples é do tipo $y=b_0+b_1x$, onde y é a variável dependente, x a variável independente e b_0 e b_1 são os parâmetros a serem estimados em função dos pares de valores das variáveis. No caso de regressões lineares múltiplas, a equação toma a forma $y=b_0+b_1x+\dots+b_n$. Na Tabela 4.5 encontram-se as equações ajustadas.

TABELA 4.5 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR AJUSTADAS PARA ESTIMATIVAS DE PROFUNDIDADE E EXTENSÃO DE INUNDAÇÃO

EQUAÇÕES	COEFICIENTES	
	r	r ²
1) AI = 28892 + 1445*P64	0,98	0,96
2) AI = -233413 + 608*Lad	0,93	0,87
3) AI = 16026 + 507*P05	0,92	0,84
4) AI = 25294 + 1048*P60	0,99	0,97
5) AI = -212684 + 200*TFg + 452*Lad	0,98	0,97
6) ^a AI = - 65787 + 14*TFg + 202*Lad + 730*p04	0,99	0,98
7) AI = 28022 + 1039*P04	0,99	0,98
8) AI = 32307 + 482*P01	0,99	0,97
9) P05 = -362 + 0,97*Lad	0,98	0,96
10) P04 = - 68 + 0,42*TFg	0,92	0,85
11) P11 = - 73 + 0,31*TFg	0,81	0,65
12) P60 = - 64 + 0,40*TFg	0,93	0,86
13) P64 = - 36 + 0,24*TFg	0,83	0,69
14) P07 = - 90 + 0,53*TFg	0,92	0,85
15) P27 = - 83 + 0,34*TFg	0,87	0,76

^a Significativa ao nível de 10%.

Através dessas equações, é possível estimar a profundidade de inundação em pontos estratégicos definidos na Fazenda Acurizal, baseando-se nas cotas

fluviométricas dos rios Paraguai, em Ladário e Miranda, em Tição de Fogo. Além disso, dada uma determinada cota, é possível, utilizando as cotas fluviométricas desses rios e as réguas estrategicamente instaladas no campo, estimar quantos hectares de terra estarão inundados.

Tome-se como exemplo uma dado real. No dia 16/06/91 o rio Paraguai em Ladário registrava uma cota fluviométrica de 540cm; o rio Miranda em Tição de Fogo, 370cm; e a régua 04 em Acurizal 73cm. Utilizando a equação 5 da Tabela 4.5, a área inundada estimada será de 105.396ha. Este valor está bastante próximo da área calculada através da imagem em 12/06/89, equivalente a 118.492ha. Isto foi confirmado visualmente conforme documentado pelas fotos aéreas oblíquas de 26/06/91, apresentadas anteriormente neste estudo, considerando que a inundação de 1991 foi semelhante à de 1989. Convém assinalar que a equação utilizada explica 97% da associação entre as variáveis, ao NS de 5%. Através da equação 10, ao NS de 5%, estimou-se uma cota fluviométrica da ordem de 87cm para a régua 04, portanto, próxima dos 73cm observados.

A diferença que ocorreu na estimativa de área inundada e da cota fluviométrica através da equação utilizada é devida provavelmente, entre outros fatores, à defasagem de tempo em que a água percorre a distância de um ponto a outro, ao reduzido número de observações, a complexidade da drenagem da região e ao espaço temporal entre as observações (16 dias). Isto significa que é necessário eliminar esses problemas para que se possa obter um modelo com um mínimo de erro.

Mesmo que alguns resultados sejam altamente significativos, suas aplicações devem ser restritas e as

inferências a partir delas precisam ser cautelosas, pois somente um maior número de observações futuras poderá validá-los.

4.3 - PERÍODO DE RETORNO DE INUNDAÇÃO ASSOCIADO À EXTENSÃO DA ÁREA INUNDADA

Nesta seção são determinados os períodos de retorno para os diferentes níveis de inundação e associados à extensão das áreas inundadas, obtendo-se assim, a meta "c". Para tanto estimaram-se, com base nas séries temporais da Tabela 3.2, os períodos de retorno de inundação para os postos de TFG e Lad. Foi utilizado o Método de Gumbel, juntamente com os valores listados nas Tabelas 2.2 e 2.3. Esses resultados constam na Tabela 4.5 e referem-se as estimativas de ocorrência das cotas fluviométricas anuais e dos meses de abril, maio, junho, julho e setembro. Na Tabela 4.6, H é obtido através da Equação 2.2, e os valores de y para cada período de retorno encontram-se na Tabela 2.2.

Comparando as prováveis cotas a serem registradas em TFG e Lad, verifica-se que, pelo fato de TFG possuir uma reduzida série temporal, o modelo não apresentou resultados coerentes, devido à alta variabilidade das cotas fluviométricas nos meses do período analisado, estimada através do desvio padrão.

TABELA 4.6 - PERÍODO DE RETORNO (Tr) EM ANOS E
PROBABILIDADE (P) DE INUNDAÇÃO

ÉPOCA	H _m	Sh	N	y _m	S _y	H _f	H	Tr e P de H ocorrer ou ser superada		
								5(20%)	10(10%)	20(5%)
<u>Rio Miranda em Itião de Fogo</u>										
Abril	430	62	18	0,52	1,06	400	58#y + 400	487	530	572
Maió	415	54	17	0,52	1,06	388	51#y + 388	464	503	539
Junho	358	90	18	0,52	1,06	314	85#y + 314	441	505	566
Julho	325	89	19	0,52	1,06	282	84#y + 282	408	471	531
Setembro	271	96	18	0,52	1,06	224	91#y + 224	360	429	494
Anual	474	17	20	0,52	1,06	466	16#y + 466	490	502	514
<u>Rio Paraguai em Ladário</u>										
Abril	359	155	92	0,56	1,202	287	129#y + 287	480	577	670
Maió	397	154	92	0,56	1,202	325	128#y + 325	517	613	705
Junho	405	146	92	0,56	1,202	337	121#y + 337	518	609	696
Julho	389	141	92	0,56	1,201	324	117#y + 324	499	587	671
Setembro	290	149	92	0,56	1,201	220	124#y + 220	406	499	588
Anual	421	147	92	0,56	1,202	352	122#y + 352	535	626	714

H = máxima cota fluviométrica prevista; H_m = média; Sh = desvio-padrão;
H_f = moda; N = número de observações; y_m = média da variável reduzida Y;
S_y = desvio-padrão da variável reduzida y.

Por exemplo, espera-se para o período de 10 anos que a régua fluviométrica nesse posto, no mês de abril, atinja, com 90% de probabilidade, no máximo 530cm de altura. Tal fato não poderia ocorrer dado que, para essas mesmas condições, a cota anual provável é de 502cm.

No caso do posto hidrométrico de Ladário, com 92 anos de observação, o modelo mostrou-se mais consistente. Observa-se, na Tabela 4.6, a reduzida variação entre as estimativas do desvio padrão. Entretanto, quando o coeficiente de variação é alto, como no mês de setembro (51%), as cotas previstas divergem acentuadamente da realidade.

Supondo que o leitor esteja interessado em estimar outros períodos de recorrência de inundação para qualquer uma das épocas apresentadas na Tabela 4.6, ele deverá então recorrer à Figura 4.24 para o caso de Tição de Fogo e à Figura 4.25 para o caso de Ladário. Nessas figuras foram plotados a variável reduzida (y) versus o Período de Retorno (T_r) em anos, no Papel de Gumbel.

Admitindo a alta correlação entre os níveis fluviométricos do rio Miranda em TFg e do rio Paraguai em Ladário com a área inundada na planície, conforme discutido na Seção 4.2.3, é factível associar a extensão das áreas inundadas aos períodos de retorno estimados para esses rios. Na Tabela 4.7 encontram-se essas estimativas.

Considere-se por exemplo o mês de abril para essa avaliação, visto que neste ano hidrológico (1989) ambos os rios estão extravasando nessa época. Verifica-se na Tabela 4.7 que, para Tição de Fogo, espera-se nos próximos 4 anos que o rio atinja até o nível de 458cm, pelo menos uma vez com 75% de chance.

TABELA 4.7 - ÁREA INUNDADA (HA) ASSOCIADA AOS PERÍODOS DE RETORNO (Tr) EM ANOS E PROBABILIDADE (P) DE OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÃO

ÉPOCA	Área (ha)	Cotas (H) cm		Variável reduzida (y)		Tr e P de H ocorrer ou ser superada ano (P)	
		TFg	Lad	(TFg)	(Lad)	TFg	Lad
Abril	147120	458	578	0,986	2,241	4,00 (25%)	7,47 (13%)
Maiο	134445	405	611	0,340	2,231	1,94 (51%)	7,43 (13%)
Junho	118492	264	592	-0,600	2,091	1,00	6,97 (14%)
Julho	68153	240	532	-0,504	1,768	1,00	5,89 (17%)
Setembro	23070	237	414	0,143	1,571	1,74 (57%)	5,24 (19%)

Para o posto de Ladário, a ocorrência provável de a cota de 578cm ser atingida é de pelo menos uma vez em 7,47 anos, com probabilidade de 87%. Extrapolando essa relação para o valor da área inundada obtida da imagem de satélite, conclui-se que nessas condições, para os próximos 4 anos, há uma probabilidade entre 75% e 87% de que os 147120ha de terras venham a sofrer inundação no mês de abril pelo menos uma vez.

O manejo estratégico do rebanho bovino a ser adotado pelo produtor, baseado nas estimativas de ocorrência de cheias, precisa ser cuidadosamente avaliado. Efetivamente estas estimativas permitem somente uma idéia do risco possível num investimento.

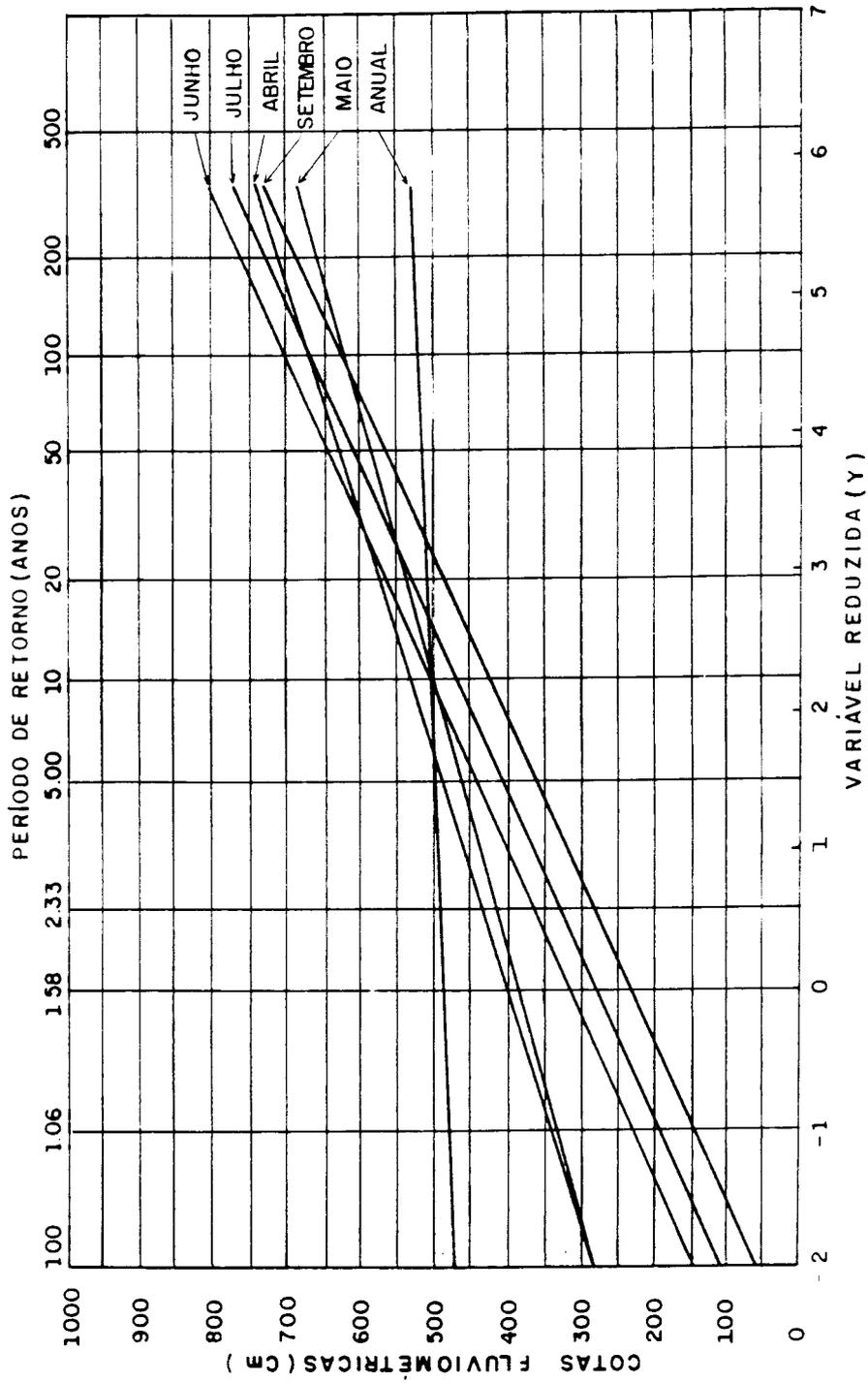


Fig. 4.24 - Períodos de retorno de inundação para o rio Miranda em Tição de Fogo.

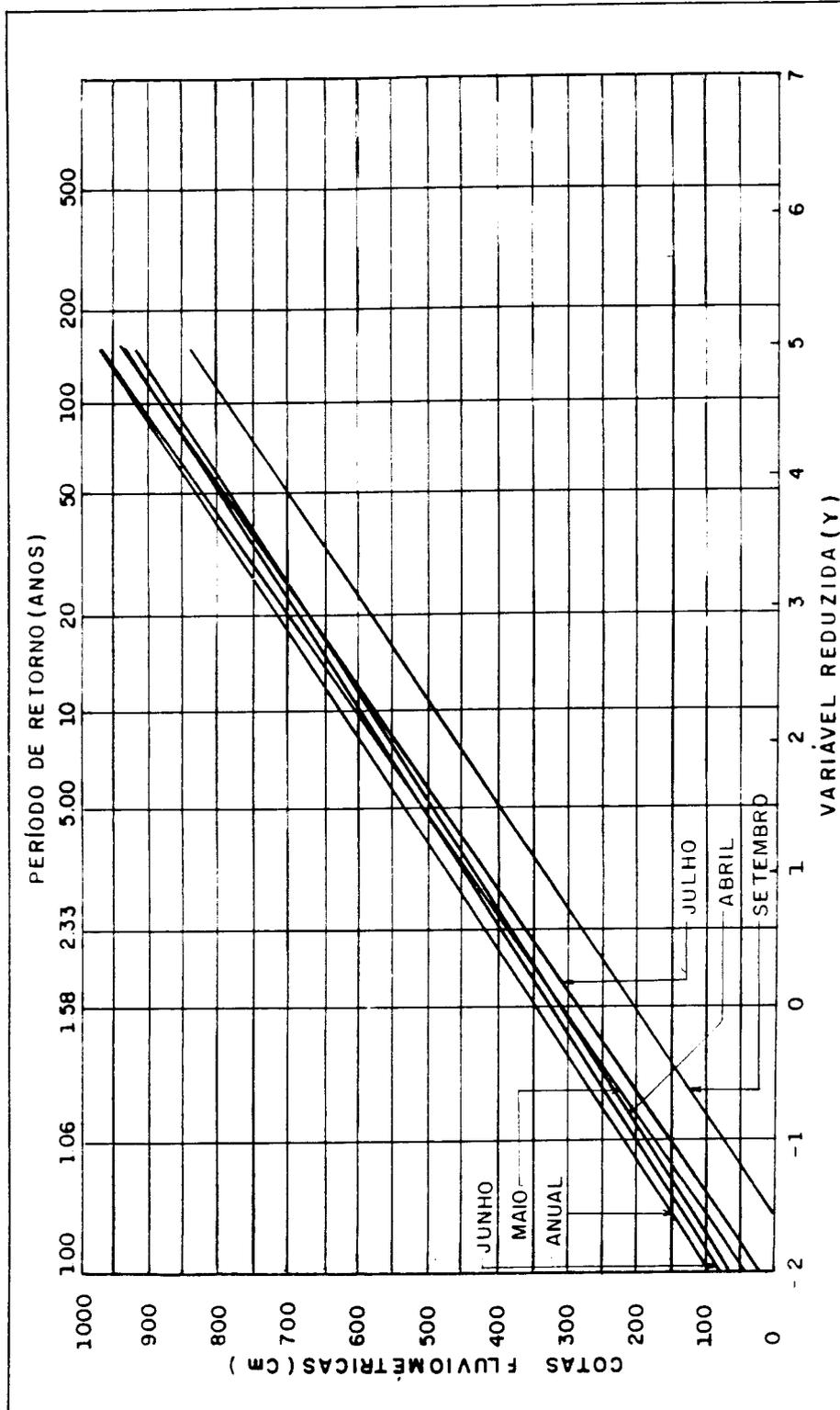


Fig. 4.25 - Períodos de retorno de inundação para o rio Paraguai em Ladário.

CAPÍTULO 5CONCLUSÕES E SUGESTÕES

No período de cheia, a classificação do espelho d'água foi altamente subestimada. A confusão na resposta espectral é devida à presença de macrófitas aquáticas e ao aumento da densidade da pastagem nativa, cujo crescimento acompanha o nível de inundação; no período da vazante esta pastagem se inclina em função da correnteza e do seu tamanho, ocultando a água abaixo dela. Sob essas condições de cobertura vegetal, a separabilidade tornou-se extremamente difícil. O desenvolvimento de pesquisas específicas, utilizando classificação digital com todas as bandas do TM, poderia definir uma metodologia para detecção e mapeamento detalhado nesses ambientes.

Outro aspecto a ser considerado é a dificuldade na identificação da lâmina d'água sob vegetação densa, como a Mata e o Espinheiral. Esta dificuldade é decorrente do emaranhado de folhagens e galhos formado pela vegetação, que não permite a penetração de luz até o solo. Isto faz com que a radiação captada pelos sensores a bordo do satélite seja proveniente do dossel, quando na verdade deveria ser da água, ou pelo menos da integração de ambos.

A eficiência do Sistema de Informações Geográficas (SIG) é limitada pela qualidade do hardware atualmente existente no mercado brasileiro. O gerenciamento de grande quantidade de informações, como as que foram manipuladas neste estudo, requer maior capacidade de memória de computador.

As imagens em papel fornecidas pelo INPE, na projeção UTM, não se sobrepõem perfeitamente à base

cartográfica da região avaliada. Essas distorções observadas foram atribuídas principalmente aos problemas oriundos da elaboração das cartas topográficas (adoção do Datum Córrego Alegre) e daquelas inerentes ao sistema de processamento do produto (imagem) final (adoção do Datum SAD 69).

Visto que a região do Pantanal é anualmente inundada, as plantas são adaptadas a esse ecossistema. Isto reduz consideravelmente a possibilidade de interpretação das áreas inundadas através de outros fatores como estresse hídrico ou morte das plantas. Sugere-se avaliar essas características através de imagens de radar, dado que atualmente encontra-se em órbita o satélite ERS-1 para imageamento na faixa de microondas. Teoricamente, as imagens obtidas por esse sensor trariam informações do substrato.

Estimou-se, para o período de 1974/87, a defasagem de 6 dias, com coeficiente de variação de 45% entre os primeiros picos do rio Miranda em Miranda até Tição de Fogo, a partir do instante em que o rio no posto de Miranda subisse o suficiente para que o nível atingisse 449cm em Tição de Fogo e continuasse até o pico da inundação. Este resultado, ainda que aquém do ideal, foi o que apresentou menor variabilidade, podendo ser utilizado com restrições para um sistema de alerta de inundação.

Pela equação $TFg = 87cm + 0,653 * Mir$, 97% da variação das cotas fluviométricas de TFg é explicada pelas cotas fluviométricas do posto de Miranda; assim, é possível estimar a cota em Miranda que corresponderá ao primeiro extravasamento em Tição de Fogo, considerando 449cm como a cota de transbordamento nesse posto.

Para o rio Paraguai, entre Ladário e Porto Esperança, não foi possível estimar a defasagem. Uma possível solução, objeto de futuras pesquisas, seria utilizar as informações dos postos hidrométricos no rio Paraguai, localizados a montante de Ladário.

Quanto à distribuição espacial e temporal da inundação, identificaram-se cinco seções com características diferentes de inundação. Sugerem-se suas delimitações e espacializações temáticas, bem como detalhamento na drenagem de captação.

As equações estimadas na Tabela 4.4 necessitam de posterior validação, dado que o modelo foi ajustado para o ano hidrológico de 1989, e eventuais variações no comportamento dos hidrogramas poderão alterá-lo. Esta validação é possível mediante a continuação das coletas dos níveis de inundação nos pontos fluviométricos pertinentes e a obtenção de maior número de imagens para quantificação da área inundada.

As Equações 5, 6 e 10 da Tabela 4.4 comportaram-se satisfatoriamente para os dados de 1991. Não obstante, há necessidade de séries de dados maiores para um refinamento dessas avaliações. Neste estudo, no entanto, demonstrou-se a alta correlação entre os níveis fluviométricos e a extensão da área inundada obtida das imagens do satélite Landsat - TM.

A adoção ou não de um manejo estratégico do rebanho bovino pelos produtores, baseado na probabilidade de ocorrência ou não de inundação, deve ser exaustivamente analisada, pois o que se pode obter efetivamente com as estimativas em termos de período de retorno é a idéia do risco num investimento.

Todas as informações obtidas neste estudo serão integradas com as informações de solos e da qualidade das pastagens nativas existente para a região. A partir da análise dessas interações, será otimizado o manejo do rebanho bovino, factível de adoção ou não.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackleson, S.G.; Klemas, V. Remote sensing of submerged aquatic vegetation in Lower Chesapeake Bay: a comparison of Landsat MSS to TM imagery. Remote Sensing of Environment, 22(2):235-248, 1987.
- Adâmoli, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados; discussão sobre o conceito de "Complexo do Pantanal". In: Congresso Nacional de Botânica, 32., Teresina, 1981. Anais. Teresina, Sociedade Botânica do Brasil, 1982, p. 109-119.
- Adâmoli, J.; Azevedo, L.G. de O Pantanal da Fazenda Bodoquena: as inundações e o manejo do gado. Brasília, Fazenda Bodoquena, 1983. 35 p.
- Adâmoli, J.; Galdino, S. Sistema de previsão das tendências hidrométricas do rio Paraguai: relatório final de consultoria. Corumbá, EMBRAPA/CPAP, 1990. 8 p.
- Ali, A.; Quadir, D.A.; Huh, O.K. Study of river flood hydrology in Bangladesh with AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 10(12):1873-1891, 1989.
- Almeida, W.S. de Metodologia de sensoriamento remoto para estudo de dinâmica fluvial e atualização de cartas náuticas. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989. 197 p. (INPE-4863-TDL/374).
- Boock, A.; Araújo, M.R.; Pott, A.; Pessoti, J.E.; Silva, M.P. da, Pott, V.J.; Souza, O.C. Estratégia de ocupação e uso das pastagens nativas do Pantanal do Nabileque em Mato Grosso do Sul. [Campo Grande], [1988].

Bowker, D.E.; Davis, R.E.; Myrick, D.L.; Stacy, K.; Jones, W.T. Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies. Hampton, VA, NASA/STIB, Jun. 1985, 184 p. (NASA RP-1139).

Cadavid García, E A. O clima no Pantanal Mato-grossense. Corumbá. EMBRAPA-UEPAE de Corumbá, 1984. 42 p. (EMBRAPA-UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 14).

Cadavid García, E.A. Análise técnico-econômica da pecuária bovina do Pantanal; sub-região da Nhecolândia e dos Paiaguás. Corumbá, EMBRAPA/CPAP, 1986. 92 p. (EMBRAPA/CPAP, Circular Técnica, 15).

Cadavid García, E.A.; Rodriguez Castro, L.H. Análise da frequência de chuva no Pantanal Mato-grossense. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 21(9):909-925, 1986.

Colwell, J.E. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3(3):175-183, 1974.

D'Alge, J.C.L. Qualidade geométrica de imagens TM do Landsat 5. Congresso Brasileiro de Cartografia, 13., Brasília, jul. 1987.

Darch, J.P.A. A study of moisture conditions in the Pantanal of Brazil using satellite imagery. Remote Sensing of Environment. 8(4):331-348, 1979.

Deutsch, M.; Ruggles, F. Optical data processing and projected applications of the ERTS-1 imagery covering the 1973 Mississippi River Valley Floods. Water Resources Bulletin, 10(5):1023-1039, 1974.

- Eiten, G. Vegetation forms: a classification of stands vegetation based on structure, growth form of the components and vegetative periodicity. Boletim do Instituto de Botânica (São Paulo), (4):1-67, dez. 1968.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal. Programa Nacional de Pesquisa do Pantanal. Corumbá, MS, EMBRAPA/CPAP, 1987. 91 p.
- Engenharia Espacial Indústria e Comércio (Engespaço). Sitim 150, Sistema Geográfico de Informações: manual do usuário. São José dos Campos. 1990. v.1. Versão 2.1 R01.
- Epiphânio, J.C.N.; Formaggio, A.R. Estudo de umidade do solo através de dados de reflectância. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto., 2., Brasília, 10-14, maio. 1982. Anais. [São José dos Campos], INPE, 1982. v. 1, p. 269-284.
- Farnsworth, A.R.K.; Barret, E.C.; Dhanju, M.S. Application of remote sensing to hydrology including ground water. Paris, UNESCO, 1984. 122 p. (Technical Documents in Hydrology).
- Fazenda Bodoquena. Solos do Pantanal. [Piracicaba], [1990]. v.1, 107 p.
- Felgueiras, C.A.; Erthal, G.J. Aplicações de modelos numéricos de elevação e integração com imagens digitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 11-15 out. 1988. Anais. São José dos Campos, CNPq/INPE, 1988, v.1, p. 485-490.

- Florenzano, T.G.; Pinto, S. dos A.F; Valério Filho, M.; Novo, E.M.L.M.; Kux, H.J.H. Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento de áreas submetidas à inundação na bacia do Rio Parnaíba. São José dos Campos, INPE, 1988. 60 p. (INPE-4570-RPE/566).
- France, M.J.; Collins, W.G.; Chidley, T.R.E. Extraction of hydrological parameters from Landsat Thematic Mapper imagery. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 20., Nairobi, Kenya, Dec. 4-10, 1986. Proceedings. An Arbor, MI, Environmental Research Institute of Michigan, 1987, v.3, p. 1165-73.
- Franco, M.S.M.; Pinheiro, R. Geomorfologia. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SE-21 Corumbá e parte da Folha SE-20. Rio de Janeiro, DNPM, 1982. p. 161-224. (Levantamento de Recursos Naturais, 27)
- Hathout, S. The use of enhanced Landsat imagery for mapping Lake depth. Journal of Environmental Management, 20(3):253-261, 1985.
- Hoffer, R.M.; Johannsen, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: Johnson, P.L. ed. Remote Sensing in Ecology. Athens, University of Georgia Press, 1969. p. 1-16.
- Kirk, J.T.O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. London, Cambridge University Press. 1986. cap3, p. 42-68.
- Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, 1(3):155-159, 1970.

- Kruss, J.; Deutsch, M.; Hansen, P.L.; Ferguson, H.L. Flood applications of satellite imagery. In: Deutsch, M.; Wiesnet, D.R.; Rango, A.; ed. Satellite Hydrology. Minneapolis, MN. 1981. p.641-647. Proceedings of the Fifth Annual William T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing. Sioux Falls, South Dakota, Jun 10-15. 1979.
- Kumar, R. Radiation from plants - reflection and emission: a review. Purdue, Purdue University. 1972. 80 p. (Research Project 5543).
- Lind, A. Inundation of the Mekong Delta, Vietnam: a Landsat view. Photo Interpretation, 83(3):5.1-5.6, 1983.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. Radiometric properties of US processed Landsat MSS data. Remote Sensing of Environment, 22(1):39-71, 1987.
- Martinec, J.; Rango, A.; Major, E. The snowmelt-runoff model (SRM); user's manual. Greenbelt, MD, NASA/GSFC, 1983. 118 p. (NASA RP-1100).
- Mauser, W. Calculation of flood hydrographs using Landsat-derived land-use information in the Dreisam watershed, South-West Germany. Advance Space Research, 4(11):211-216, 1984.
- Meireles, D.S. Aplicação de técnicas de sensores remotos na hidrologia, com ênfase à batimetria. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1980. 239 p. (INPE-1673-TDL/013).

- Montgomery, O.L. The effects of the physical and chemical properties of soil on the spectral reflectance of soils. West Lafayette, IN, Purdue University, 1974. 110 p.
- Nasa. A prospectus for thematic mapper research in the Earth sciences. Greenbelt, MD, NASA, 1984. 71 p. (NASA TM-86149).
- Niero, M.; Pinto, S. dos A.F.; Martini, P.R.; Andrade, G.B. Aplicação de dados multitemporais do Landsat no acompanhamento da variação da lâmina d'água na área do programa CARREIRO/PDRI-AM. São José dos Campos, INPE, 1984. 56 p. (INPE-3176-RTR/055).
- Novo, E.M.L. de M.; Santos, A.P. Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto: Ex. do Vale do Rio Doce. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., Brasília, 10-14 mai. 1982. Anais. [São José dos Campos], INPE, 1982, v. 2, p. 381-394.
- Novo, E.M.L. de M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo, Edgard Blucher, 1989. 308 p.
- Novo, E.M.L. de M.; Hanson, J.D.; Curran, P.J. The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspend sediment concentration. International Journal of Remote Sensing, 10(7):1283-1289, 1989.
- Novo, E.M.L. de M.; Niero, M.; Pinto, S.A.F.; Nascimento, M.A.M. Utilização de dados do Sistema Landsat no acompanhamento da variação da lâmina d'água visando o controle de inundação da região Amazônica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., Brasília, 10-14 maio, 1982. Anais. [São José dos Campos], INPE, 1982, v. 2, p. 431-441.

- Peck, E.L.; Keefer, T.N.; Johnson, E. R. Remote sensing and hydrology models. Part 2: strategies for using remotely sensed data in hydrologic models. Greenbelt, MD, NASA/GFSC, 1981. 77 p. (AgRISTARS Document CP-GI-04151, NASA CR-166729).
- Philipson, W.R.; Hafker, W.R. Manual versus digital Landsat analysis for delineating river flooding. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 47(9):1351-1356, 1981.
- Pinto, N.L. de S.; Holtz, A.C.T.; Martins, J.A.; Gomide, F.L.S. Hidrologia Básica. São Paulo, Edgard Blucher, 1976. 278 p.
- Pinto, S. dos A.F.; Niero, M. Aplicação de dados multitemporais do Landsat no monitoramento de variação da lâmina d'água. São José dos Campos, INPE. 1985, 10 p. (INPE-3468-PRE/711).
- Pinto, S. dos A.F.; Novo, E.M.L. de M.; Niero, M.; Rosa, R. Utilização de dados multitemporais para a identificação de setores da planície fluvial sujeitos à inundação. São José dos Campos, INPE, 1985. 25 p. (INPE-3445-PRE/699).
- Polcyn, F.C.; Lyzenga, D.R. Calculations of water depth from ERTS-MSS data. In: Symposium Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite, 1., New Carrollton, Mar. 5-9, 1973. Proceedings. New Carrollton, NASA/GSFC, 1973, v. 1-B, p. 1433-1441.

Ponzoni, F.J.; Hernandez Filho, P.; Pereira, M.T.; Lorenzi, C.J. A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Matogrossense: Uma análise temporal. São José dos Campos. INPE. 1989. 61 p. (INPE-4809-RPE/589).

Rhode, G.W.; Taranik, J.V.; Nelson, C.A. Inventory and mapping of flood inundation using interactive digital image analysis techniques. In: Annual William T. Pecora Memorial Symposium, 2., Sioux Falls, SD, Oct. 25-29, 1976. Proceedings. [Sioux Falls], [1976], p. 131-143.

Rooy, C. Avaliação da interpretação visual de imagens Landsat MSS na quantificação de áreas inundadas no Pantanal Matogrossense. Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., Brasília, 10-14 mar. 1982. Anais. São José dos Campos, INPE, 1982, v. 2, p. 395-411.

Ross, D.S. Water depth estimation with ERTS-1 imagery. In: Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite, 1., New Carrollton, 1973, Mar. 5-9, 1973. Proceedings. New Carrollton, NASA/GSFC, 1973, v. 1-B, p. 1423-1432.

Sánchez, R.O. Las unidades geomorficas del Pantanal y sus connotaciones biopedoclimaticas. "Programa de Desarrollo Regional de la OEA". Convênio Governo Brasileiro-UNDP-PEA. s.l., EDIBAP, 1977. 31 p.

Schultz, G.A. Remote sensing in hydrology. Journal of Hydrology, 100(1/3):239-268, 1988

- Silva, D. Mapeamento das formações vegetais e da variação da lâmina d'água em parte do Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense e adjacências, através de técnicas de sensoriamento remoto. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. INPE, 1985. 80 p. (INPE-3657-TDL/200).
- Silva, R.C.V. da; Pinto, S. dos A.F.; Pereira, M.N. Potencialidade do uso de dados de satélite no mapeamento de planícies de inundação. São José dos Campos, INPE, 1989. 14 p. (INPE-4968-PRE/1537).
- Silva, T.C. da Contribuição da geomorfologia para o conhecimento e valorização do Pantanal. In: Simpósio Sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal, 1., Corumbá, MS, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 77-89. (EMBRAPA/CPAP, Documentos, 5).
- Szekiela, K.H. Satellite monitoring of the earth. New York, John Wiley & Sons. 1988. cap. 4, p. 74-119.
- Tucci, C.E.M. Modelos determinísticos. In: Barth, F.T; Pompeu, C.T.; Fill, D.D.; Tucci, C.E.M; Kelman, J.; Braga Jr, B.P.F. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo, nobel, ABRH, 1987. cap. 3, p. 312-96.
- Vila da Silva, J. dos S.; Kux, H.J.H. Remote sensing techniques to the detection and mapping of flooding dynamics within the Pantanal, Mato Grosso do Sul State, Brazil: Preliminary results. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 24., Rio de Janeiro, 27-31 May, 1991.

Vilella, S.M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

Wilkening, H.A.; Ragan, R.M. A model for estimating time-variant rainfall infiltration as a function of antecedent surface moisture and hydrologic soil type. Beltsville, MD, USDA-ARC, 1982. 104 p. (NASA CR-169776, E83-10142). AgRISTARS- Conservation and Pollution Project.

Yevjevich, V. Probability and statistics in hydrology. Fort Collins, CO, Water Resources Publications, 1972. 302 p.

A P P E N D I C E A

A P P E N D I C E B

ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 11/05/89

Fazenda Acuzal e adjacências

Parte das Sub-regiões do Nabileque e Miranda - Pantanal,
Apoio EMBRAPA/CPAP - INPE - Faz. Bodoquena S/A.



A P P E N D I C E C

ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 12/06/89

Fazenda Acurizal e adjacências

Parte das Sub-regiões do Nabileque e Miranda - Pantanal,

Apoio EMBRAPA/CPAP - INPE - Faz. Bodoquena S/A.



A P P E N D I C E D

A P Ê N D I C E E

ESTADO DE INUNDAÇÃO EM 16/09/89

Fazenda Acurizal e adjacências

Parte das Sub-regiões do Nabileque e Miranda - Pantanal,

Apoio EMBRAPA/CPAP - INPE - Faz. Bodoquena S/A.

