

AVALIAÇÃO DA ÁREA DE INUNDAÇÃO DO CANAL DE SÃO GONÇALO ATRAVÉS DE IMAGENS TM-LANDSAT 5

C. Hartmann***, R.A.C. Lamparelli*, R. Rosa*, E.E. Sano*

*Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia

Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

**Fundação Universidade do Rio Grande

Departamento de Geociências

Caixa Postal 474, 96200 - Rio Grande, RS, Brasil

RESUMO

Apresentam-se aqui os resultados adquiridos da interpretação automática realizada no I-100 (INPE - São José dos Campos - SP) de duas imagens TM/Landsat. Fez-se uma análise da área de inundação da região do canal de São Gonçalo através da comparação entre uma imagem de cheia excepcional (11-06-84) e outra de vazante normal (04-12-84). Os estudos foram elaborados numa escala de detalhe (1:50.000), obtendo-se, através da classificação automática, um mapa na escala 1:100.000, onde são delimitadas as áreas de inundação. Esta pesquisa permitiu demonstrar a utilidade desta técnica na delimitação de áreas inundáveis e na identificação de zonas que podem sofrer com a ação deste fenômeno.

ABSTRACT

Two Landsat TM images were digitally processed on the I-100 Image Analyser of INPE (São José dos Campos, São Paulo). The floodable area of the canal de São Gonçalo was studied. One image associated to an exceptional high inundation (06-11-84) and one image associated with a normal water level (12-04-84) were compared. The digital classification (1:50,000 scale) led to a map (1:100,000 scale) showing the limits of the flooding areas. This work demonstrated the usefulness of remote sensing techniques to demilitate and identify floodable areas.

1. INTRODUÇÃO

A Região Sul do Brasil, no inverno de 1984, sofreu um período de intensa precipitação pluviométrica, causada por uma atividade excepcional dos sistemas meteorológicos que atuam nesta região.

Esta alta taxa pluviométrica provocou um aumento no nível das águas das lagoas dos Patos e Mirim, que fazem parte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. As lagoas são interligadas pelo canal de São Gonçalo, uma das regiões que mais sofre com o efeito das inundações.

Embora as inundações sejam frequentes no inverno, aquelas com características excepcionais são mais raras, podendo-se citar as de maio de 1941 e junho de 1984. Esta última é analisada neste trabalho através do estudo das áreas de inundação da região do canal de São Gonçalo.

Os fatores que mais influem nas inundações da planície aluvial do canal de São Gonçalo estão relacionados com a baixa declividade do canal, com a atuação dos ventos e com os níveis de água de ambas as lagoas. Estes fatores, associados à alta precipitação desta época, tiveram fortes e imediatas consequências socio-econômicas, uma vez que a região apresenta intensa atividade agrícola e industrial, além de um importante sistema viário.

As áreas inundadas são avaliadas através de dados digitais do sistema sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5, analisados no sistema analisador de imagens I-100 do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos

Campos (SP), utilizando o algoritmo de classificação temática "single-cell" (General Electric, 1975).

2. TRABALHOS ANTERIORES

Atualmente diversos trabalhos sobre análise de áreas de inundação, utilizando dados de sensoriamento remoto, estão disponíveis. Dentre outros, destaca-se o de Robinove (1978) que realizou estudos sobre área sujeita à inundação de Queensland, Austrália, através de imagens MSS-Landsat 1 de duas estações distintas, seca e chuvosa.

Novo e Santos (1981), trabalhando com dados temporais do Landsat na região do baixo vale do Rio Doce, verificaram que estes poderiam auxiliar na análise do fenômeno das enchentes, bem como no levantamento de seus condicionantes naturais.

Novo et alii (1982), através da superposição das imagens MSS-Landsat de cinco diferentes épocas, avaliaram o potencial destas imagens no estudo da variação da lâmina d'água em várzeas amazônicas.

Pinto e Niero (1984), na análise da variação de lâmina d'água para os períodos de cheia e vazante na ilha do Careiro (AM), obtiveram, através de dados MSS-Landsat, oito classes que permitiram a detecção de áreas afetadas pelo processo de inundação.

Pinto et alii (1985), tendo como objetivo a identificação da extensão da área inundada e a sua relação com parâmetros físicos como geome-

metria do canal fluvial, padrão e forma do canal, distribuição das pluviosidades, etc., numa seção do alto curso do rio Paraaná, divisa entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, mostraram a utilidade dos dados MSS-Landsat.

Todos estes trabalhos apresentam a grande aplicação de dados de sensoriamento remoto, principalmente pela sua resolução temporal, os quais permitem o acompanhamento de comportamentos dinâmicos, ou mais especificamente, de comportamentos hidrodinâmicos, como é o caso deste trabalho, como também a avaliação de área de inundação, utilizando duas imagens de épocas diferentes.

A limitação da resolução espacial grosseira de 80 metros do tradicional sistema sensor MSS utilizado nos trabalhos acima referidos e enfatizada por exemplo em Calabrese e Thomé (1981) e Pinto e Niero (1984), é em parte solucionada pela maior resolução de 30 metros do novo sistema TM, aqui utilizado.

3. ÁREA DE ESTUDO

O canal de São Gonçalo localiza-se na planície costeira do Rio Grande do Sul, aproximadamente entre as coordenadas $31^{\circ}45'$ e $32^{\circ}20'$ de latitude sul e $52^{\circ}05'$ e $52^{\circ}50'$ de longitude oeste (Figura 1).

Sua planície aluvial ocupa uma depressão plana com largura variável entre 6 e 14 km, com 80 km de comprimento, alongada na direção sudoeste-nordeste, onde as cotas oscilam entre 2 a 4 metros de altitude (Vieira, 1982). Quanto ao canal, possui aproximadamente 76 km de comprimento e uma largura média de 240 metros. A profundidade está em torno de 6 metros, embora também tenham sido observadas profundidades de 23 metros.

Ao longo do seu curso, o canal recebe afluentes, sendo os da margem esquerda os mais importantes, destacando-se o Rio Piratini.

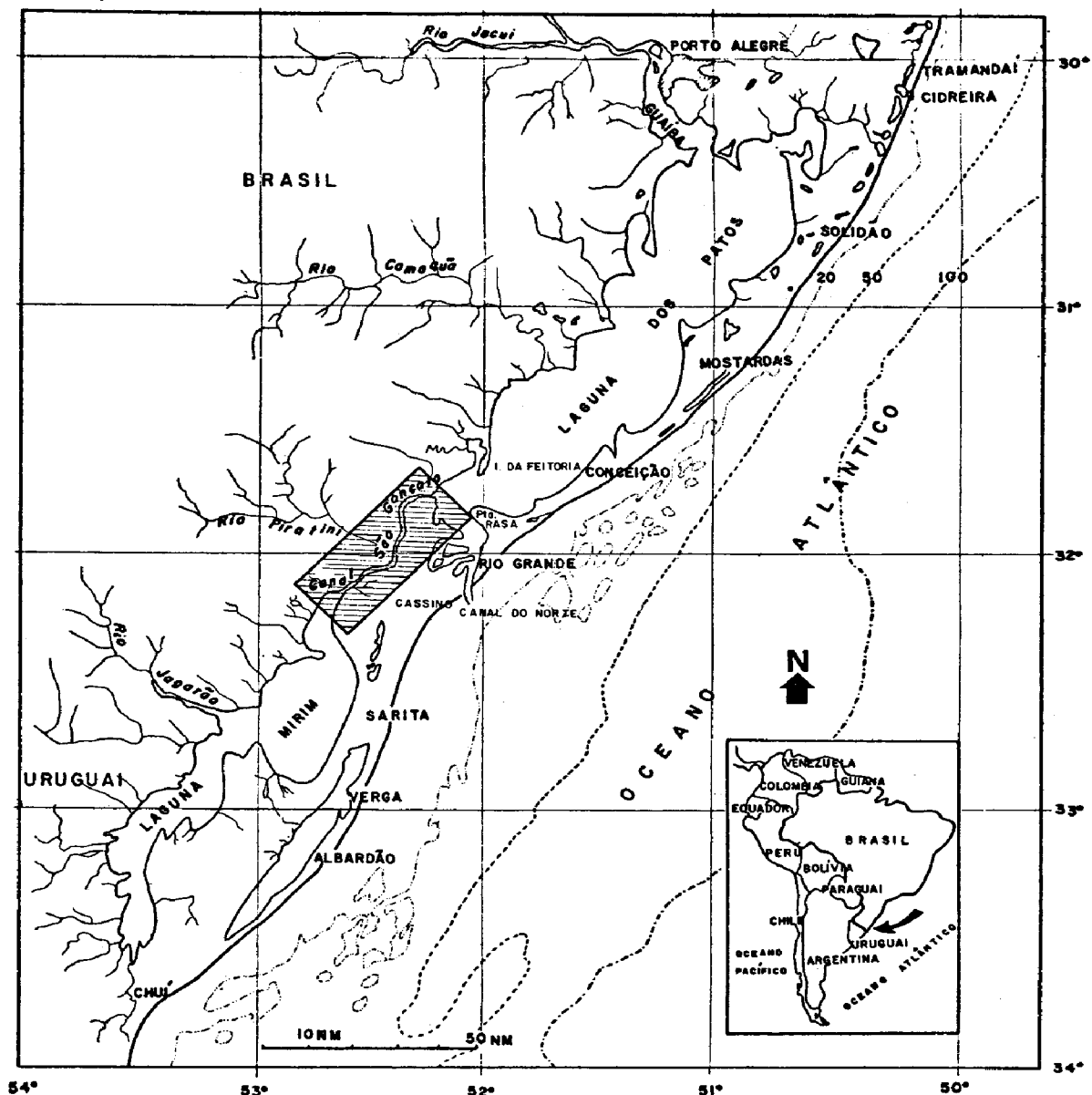


Fig. 1 - Localização da área de estudo

A Região Sul, num contexto mais amplo, apresenta as frentes como as perturbações climáticas mais significativas. Estas frentes, formadas do encontro de duas massas de ar, polar e tropical, são as responsáveis pelas condições de instabilidade as quais controlam os elementos hidrometeorológicos (Paz, 1984). Sua intensidade é maior na época chuvosa, outono e inverno, onde o fluxo de água de vazante pelo Canal do Norte (desembocadura da laguna dos Patos) supera o das enchentes (entrada da água do mar).

Uma atividade excepcional destas frentes na época chuvosa (outono e inverno) de 1984 é verificada, comparando as médias mensais de precipitação nas lagunas dos Patos e Mirim para os períodos de 1982, 1983 e 1984 (Figura 2). A média da precipitação em ambas as lagunas foi, em 1984, de aproximadamente 220 mm, enquanto em 1982 e 1983 foram respectivamente de 160 e 180 mm.

Um outro fator que deve ser levado em consideração na descarga do canal de São Gonçalo e no escoamento da laguna dos Patos para o oceano é a ação dos ventos que está em função direta da sua direção, duração e força preferencial. Na região da laguna dos Patos, os ventos principais são de direção NE, coincidentes com o eixo principal das lagunas, o que facilita o escoamento das águas no sentido do oceano e provoca o represamento ou diminuição da vazão do canal de São Gonçalo. Já os ventos SE e SW (quadrante sul) provocam o represamento das águas lagunares e facilitam a entrada da água do mar. Estudos sobre evolução das massas de água na laguna dos Patos através de dados Landsat podem ser encontrados em Hartmann e Sano (1986).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Como material básico, foram utilizadas duas imagens do sistema sensor TM do satélite Landsat 5, na forma de fitas compatíveis com computador (CCTs). Uma imagem, do dia 11 de junho de 1984, corresponde ao período de inundação e a outra, do dia 4 de dezembro de 1984, apresenta um período de vazante normal.

Antes de iniciar os processamentos digitais, as imagens foram corrigidas radiometricamente. Estas correções são importantes para atenuar as distorções e ruídos que as imagens Landsat apresentam, decorrentes das interferências dos efeitos atmosféricos, desajustes na calibração dos detetores, erros na recepção e transmissão dos dados, etc.

Após estas correções, a área de inundação é avaliada, numa escala de detalhe (1:50.000), utilizando o algoritmo de classificação "single-cell". A idéia básica deste algoritmo, determinístico e supervisionado, é estabelecer um intervalo de valores digitais máximo e mínimo para cada classe e cada banda, através da utilização de áreas de treinamento. Um ponto desconhecido da imagem é classificado como pertencente a uma classe conhecida, se o seu valor digital estiver contido dentro deste intervalo máximo e mínimo. Maiores detalhes sobre este algoritmo podem ser encontradas em General Electric (1975).

Neste trabalho, os valores máximo e mínimo para a classe água foram determinados a partir de amostras extraídas da porção central do canal, próxima à confluência dos principais afluentes e nas áreas em que havia bruscas mu-

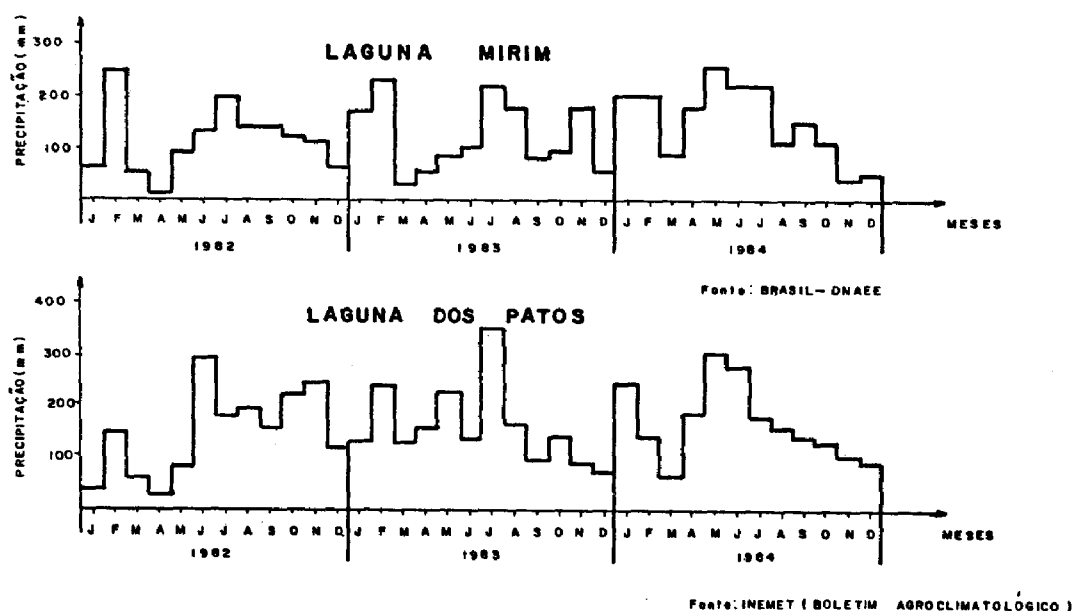


Fig. 2 - Médias mensais de precipitação nas lagunas dos Patos e Mirim.

danças de direção do canal fluvial. Estas áreas de treinamento caracterizam-se pela sua fácil e imediata identificação do corpo d'água nas duas imagens.

A área de estudo foi dividida em seis módulos na escala de 1:50.000 (Figura 3). Em cada módulo, após a classificação do tema "água" para ambas as imagens, foi feita uma sobreposição das duas imagens na tela do I-100, através de um ajuste visual, levando em consideração a morfologia do canal e outras feições facilmente identificadas em ambas as imagens. Desta maneira, as áreas inundadas na imagem de cheia podem ser visualizadas.

A análise foi feita utilizando a banda 4 (0,76 - 0,90 μm) do TM, situada na faixa do infravermelho próximo do espectro eletromagnético e favorável à delimitação de corpos de água (NASA, 1984).

Nesta faixa, a radiação é quase que totalmente absorvida pela água, já na superfície. Sverdrup et alii (1942) citam que 95,5% da radiação eletromagnética é absorvida nos primeiros 5,3 cm.

Portanto, os valores digitais correspondentes aos corpos d'água nesta banda são baixos, o que contrasta nitidamente com os alvos terrestres que geralmente possuem valores mais altos de reflectância.

5. RESULTADOS

Após a classificação da água, obtiveram-se para cada módulo, na escala 1:50.000, as porcentagens em área de água para o período de cheia vazante normal (Tabela 1). As áreas inundadas distribuem-se de maneira desigual, sendo que os módulos A, C e E são os que apresentam porcentagens mais elevadas.

O módulo A localiza-se junto à desembocadura do canal no extremo SW na laguna dos Patos. Portanto, as inundações nesta área estão diretamente relacionadas com o nível das águas da laguna dos Patos e também com a direção preferencial do vento.

O rio Piratini, por ser o maior tributário do canal, é também o maior responsável pelo aumento de nível dele, influenciando diretamente nas inundações que ocorrem junto à sua desembocadura

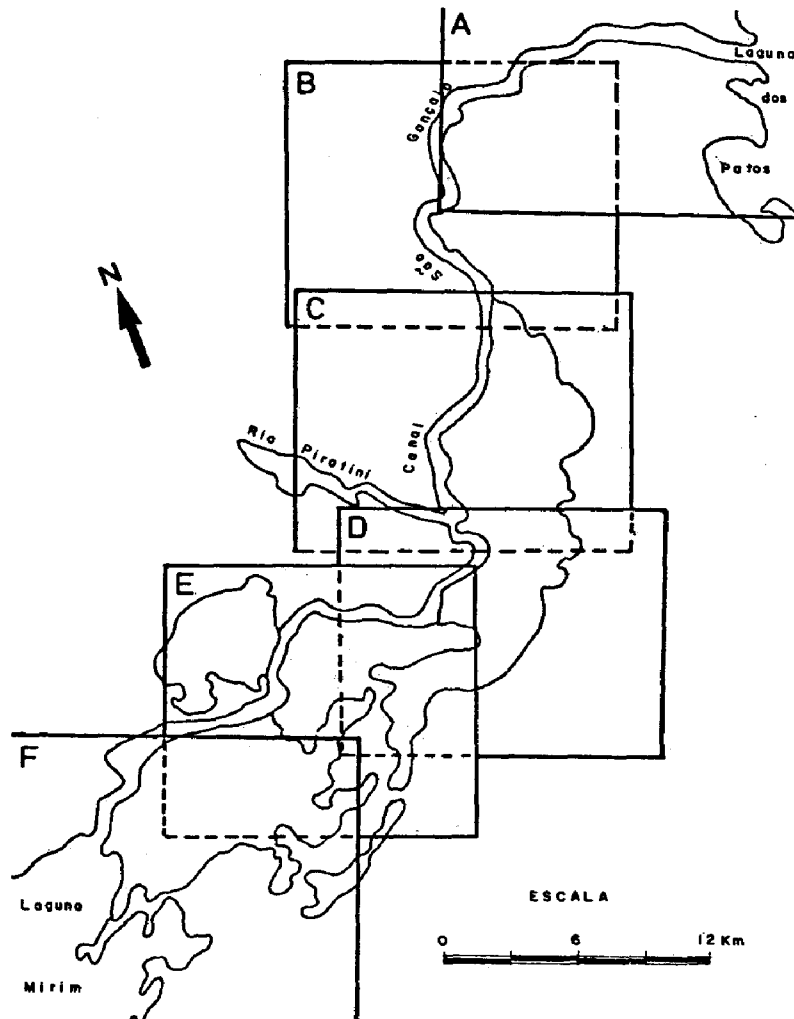


Fig. 3 - Localização dos módulos.

TABELA 1
PORCENTAGEM EM ÁREA DE ÁGUA EM CADA MÓDULO

MÓDULO	VAZANTE NORMAL	CHEIA EXCEPCIONAL	DIFERENÇA
A	11,20	42,26	31,06
B	6,53	25,82	19,29
C	9,51	46,13	36,62
D	11,08	25,93	14,85
E	8,43	40,93	32,50
F	17,94	34,26	16,32

ra. Então, o rio Piratini é o maior responsável pela alta porcentagem de água no módulo C.

Quanto ao módulo E, a proximidade da laguna Mirim e uma extensa planície de inundação com baixas altitudes explicam a sua elevada porcentagem de água. Aliás, a influência deste último fator também é válida para os dois módulos anteriores.

Como produto final, elaborou-se um mapa na escala 1:100.000, através de projeções de "slides" obtidos da tela do I-100, os quais tinham a escala 1:50.000 (Figura 4). Neste mapa, estão delimitados tanto os corpos d'água de vazante normal como os resultantes da cheia excepcional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que a grande utilidade dos dados MSS-Landsat nos estudos das inundações, confirmadas em muitos trabalhos até agora realizados, é extensiva aos dados do novo sistema sensor TM. As melhores resoluções espectral, espacial, temporal e radiométrica favorecem ainda mais este tipo de estudo.

O principal fator responsável pela inundação na região do canal de São Gonçalo foi inicialmente uma atividade excepcional das frentes que atuam na região. A elevação do nível da água nas lagoas dos Patos e Mirim, associada à baixa declividade do canal e à direção preferen-

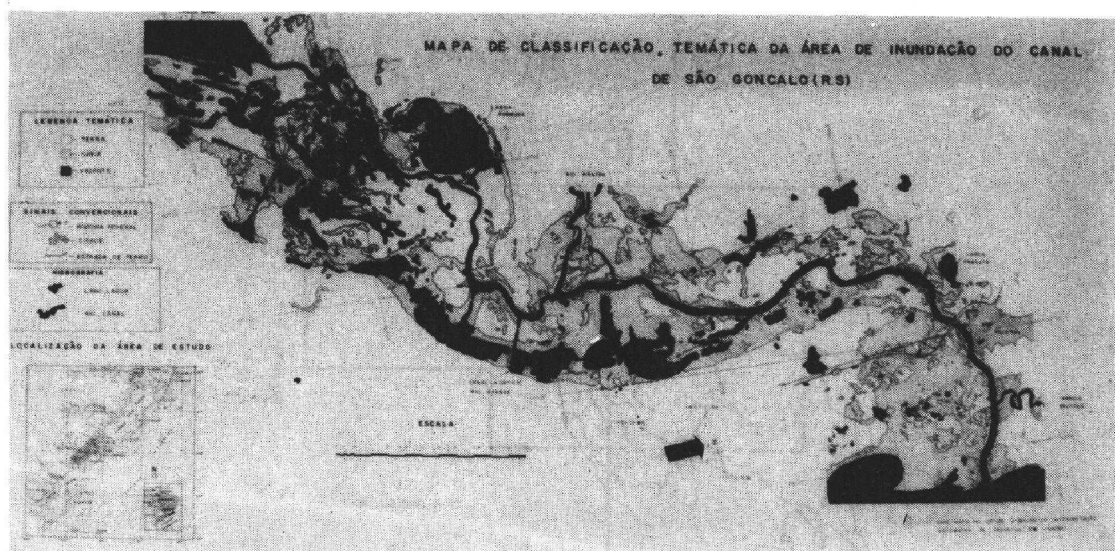


Fig. 4 - Mapa de classificação temática da área de inundação do canal de São Gonçalo - RS

cial dos ventos, determinou a invasão das águas nas áreas marginais ao canal de São Gonçalo. Os ventos que predominaram na região do canal na época da cheia foram do quadrante norte, principalmente NE, os quais aumentaram o fluxo de vazante em direção ao canal do Norte, desembocadura da laguna dos Patos, diminuindo o fluxo do canal de São Gonçalo.

Considerando que o canal de São Gonçalo é uma região bastante importante pelo seu sistema viário e por intensa atividade agroindustrial, estudos de detecção de áreas inundadas como os aqui realizados, através da superposição multitemporal de dados TM, tornam-se importantes, podendo ser de grande valor no auxílio à tomada de medidas contra as calamidades que advêm das inundações.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à pesquisadora Tânia Maria Sausen pela revisão técnica do trabalho e ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) pela oportunidade de executar esta pesquisa.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DNAEE). DIVISÃO DE CONTROLE DE RECURSOS HÍDRICOS (DNAEE/DCRH). Alturas pluviométricas em milímetros. Brasília - DF. 1982-1983-1984.
- CALABRESE, M.A.; THOMÉ, P.G. NASA water resources/hidrology remote sensing program in the 1980's. In: Deutsch, M.; Wisnet, D. R.; Rango, A. (eds.). *Satellite hidrology*. Mineapolis, American Water Resources Association, Mineapolis, 1981, p. 9-15.
- GENERAL ELECTRIC. *Image 100 User Manual*. Flórida. 1975. 119p.
- HARTMANN, C.; SANO, E.E. *Contribuição ao estudo da hidrodinâmica e evolução das massas de água na laguna dos Patos através de imagens MSS/Landsat no período de 1979 a 1983*. São José dos Campos, INPE, 1986. 43p. (INPE-3800-PRE/894).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA - INEMET. Boletim Agroclimatológico. Ministério da Agricultura, janeiro 1982 a dezembro de 1984.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. *Landsat data user notes*, Washington. USGS/EDC. 1984.
- NOVO, E.M.L.M.; SANTOS, A.P. *Monitoramento de enchentes através de sensoriamento remoto orbital: exemplo do vale do Rio Doce*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2109-RPE/335).
- NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; PINTO, S.A.F.; CUSTÓDIO, P.; 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. 1982. *Anais*. Brasília, INPE/CNPq. 1982. p. 431-441.
- PAZ, R.S. Aspectos meteorológicos da lagoa dos Patos, RS. *I Seminário sobre Pesquisa da Lagoa dos Patos*. Porto Alegre, RS, nov. 1984 (nô prelo).
- PINTO, S.A.F.; NIERO, M. Aplicação de dados multitemporais do Landsat no monitoramento de variação da lâmina d'água. *Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en percepción Remota. IV Reunión Plenaria SELPER*. Santiago, Chile, 1984, p. 185-194.
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; ROSA, R. *Utilização de dados multitemporais do LANDSAT para a identificação de setores da planície fluvial sujeitas às inundações*. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3445-PRE/699).
- ROBINOVE, C.J. Interpretation of LANDSAT image of an unusual flood phenomenon in Australia. *Remote Sensing of Environment*, 7:219-225, 1978.
- SVERDRUP, H.V.; JOHNSON, M.W.; FLEMING, R.H. Physical properties of sea water. In: Sverdrup, H.V.; Johnson, M.W.; Fleming, R. H. *The oceans - their physics, chemistry and general biology*. New Jersey, Prentice-Hall, Chap. 3, p.80-89, 1942.
- VIEIRA, H. *Aspectos sedimentológicos do canal de São Gonçalo*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de pós-graduação em Geociências. Porto Alegre, RS, 1982. 132 p.