General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.

- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.

- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.

- This document is paginated as submitted by the original source.

- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

Produced by the NASA Center for Aerospace Information (CASI)

(E85-10015 NASA-CR-168572) WATER RESOURCES BY ORBITAL REMOTE SENSING: EXAMPLES OF APPLICATIONS (Instituto de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 36 p HC A03/MF A01 CSCL 05B G3/43

N85-11428

Unclas 00015

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPUBLICA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

NASA-CR-168572

E85-10015

RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: 9-3-84
DCAF NO. 002999
PROCESSED BY
☑ NASA STI FACILITY
☐ ESA - SDS ☐ AIAA

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-3157-RPE/457		*Junho, 1984*	☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem *DDS/DTM*	Programa *RECSAT*		

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)
SENSORIAMENTO REMOTO
RECURSOS HÍDRICOS

7. C.D.U.: *528.711.7:556*

8. Título *INPE-3157-RPE/457*

RECURSOS HÍDRICOS POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL: EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

10. Páginas: *39*

11. Última página: *30*

12. Revisada por

Evlyn M.L. Moraes Novo

9. Autoria *Paulo Roberto Martini*

13. Autorizada por

Nelson de Jesus Parada
Diretor Geral

Assinatura responsável *Paulo Roberto Martini*

14. Resumo/Notas

Este relatório apresenta uma seleção de aplicações de Sensoriamento Remoto Orbital em Recursos Hídricos desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Espaciais. São descritas as especificações gerais que definem os satélites de Sensoriamento Remoto e apresentadas as características técnicas dos subsistemas dos LANDSATs 1,2,3 e 4. São discutidos os atributos espaciais, temporais e espectrais da água nas imagens, bem como os métodos de análise para aplicações em recursos hídricos. Os exemplos de aplicações se referem ao monitoramento de lâmina de água, à análise de sedimentos em suspensão, à distribuição espacial de poluentes, ao levantamento de corpos hídricos superficiais e ao mapeamento de aquíferos aluvionares.

Original photography may be purchased
from EROS Data Center
Sioux Falls, SD 57198

15. Observações

ABSTRACT

This paper reports selected applications of orbital remote sensing to water resources undertaken by INPE. General specifications of earth application satellites and technical characteristics of LANDSAT 1, 2 3 and 4 subsystems are described. Spatial, temporal and spectral image atributes of water as well as methods of image analysis for applications to water resources are discussed. Selected examples are referred to flood monitoring, analysis of water suspended sediments, spatial distribution of pollutants, inventory of surface water bodies and mapping of alluvial aquifers.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	*v*
LISTA DE TABELAS	*vii*
1. INTRODUÇÃO	1
2. SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO	1
2.1 - Definição	1
2.2 - Satélites LANDSAT	2
3. DADOS DE SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO	5
3.1 - Imagens	5
3.2 - Atributos de imagem	6
3.3 - Métodos de extração e análise dos atributos	12
4. RECURSOS HÍDRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO	12
4.1 - Considerações metodológicas	12
4.2 - Atributos da água nas imagens MSS	13
5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES	17
5.1 - Monitoramento de lâmina d'água	17
5.2 - Qualidade de água	20
5.3 - Experiência do projeto Ceará	22
5.3.1 - Mapeamento de áreas aluvionares	23
5.3.2 - Levantamento dos corpos hídricos superficiais	25
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1 - Imagem MSS-5 da região de Santa Vitória do Palmar (RS) 7

2 - Imagem MSS, canal 5 (faixa do visível), da região de Vilhena (RO) 8

3 - Região de Vilhena, Rondônia, imageada no infravermelho próximo (canal 7) 9

4 - Imagem MSS-7 da região do Careiro (AM) na estação seca 10

5 - Imagem MSS-7 da Região do Coreiro (AM) na estação chuvosa.. 11

6 - Curvas de atenuação de diferentes tipos de água 14

7 - Imagem MSS-5 da costa adjacente à Guyana 15

8 - Imagem MSS-5 da região de Manaus 16

9 - Imagem MSS-7 da região de Manaus 17

10 - Classificação automática da lâmina d'água do Paraná do Ramos na região de Terra Preta do Limão, município de Barreirinha (AM), com base em dados LANDSAT de 1 de julho de 1979 18

11 - Classificação automática da mesma área da figura anterior a partir de dados LANDSAT de 7 de julho de 1976 19

12 - Exemplo de superposição de imagens obtidas em diferentes épocas através da técnica de registro 20

13 - Classificação automática das águas da Baía da Guanabara obtida a partir de dados MSS-LANDSAT de 23 de junho de 1976.. 22

14 - Aluviões e lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza em julho de 1978 24

15 - Lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza em setembro de 1983 26

16 - Imagem MSS, canal 7, do LANDSAT de julho de 1976 que mostra a situação da lâmina d'água do Açude Orós 27

17 - A imagem MSS, canal 7, de julho de 1983 mostra a situação da lâmina d'água do Açude Orós depois de 5 anos de estiagem 27

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

PAGE iv INTENTIONALLY BLANK

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1 - Bandas espectrais e resoluções espaciais dos subsistemas sensores do LANDSAT 1 3

2 - Bandas espectrais e resoluções espaciais dos subsistemas sensores do LANDSAT 2 3

3 - Bandas espectrais e resoluções espaciais dos subsistemas sensores do LANDSAT 3 4

4 - Bandas espectrais e resoluções espaciais dos subsistemas sensores do LANDSAT 4 5

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

PAGE vi INTENTIONALLY BLANK

1. INTRODUÇÃO

O advento do satélite como plataforma de coleta de dados de recursos naturais acaba de completar 10 anos. As aplicações desenvolvidas neste tempo demonstraram que novas perspectivas se abriram aos técnicos e cientistas envolvidos com mapeamento e prospecção dos recursos da Terra.

O INPE vem atuando desde 1968 na área de Sensoriamento Remoto aplicando esta nova tecnologia e desenvolvendo novos métodos de mapeamento. Parte deste trabalho foi realizado na área de recursos hídricos e alguns exemplos relacionados com inventário de mananciais serão aqui apresentados.

2. SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO

2.1 - DEFINIÇÃO

Desde que Sensoriamento Remoto pode ser definido como a técnica de coleta, processamento e análise da radiação eletromagnética emitida, refletida ou espalhada pelos alvos na superfície da Terra, e que esta técnica por motivos históricos está relacionada com recursos naturais, as plataformas orbitais relacionadas com Sensoriamento Remoto têm características bastantes particulares. Resumidamente, podem ser mencionadas:

a) Órbita: polar, heliossíncrona.

b) Resolução espacial: alta resolução, tamanho de "pixel" do sensor deve variar de 80 x 80 m até 30 x 30 m, ou menor.

c) Largura de bandas: bandas estreitas ($\leq$ 1 μm), centradas nos picos de absorção ou reflexão dos principais alvos naturais como água, vegetação, solos, rochas, etc.

d) Distribuição das bandas espectrais: dentro do espectro emitido ou refletido, várias bandas tanto na região do visível, quanto no infravermelho próximo, e médio. Uma banda pelo menos no IR distante (termal).

e) Repetividade: ciclo nominal de recobrimento variando entre 10 e 20 dias.

f) Quadro sinótico: imageamento simultâneo ao nível regional e quadros discretos não superiores a 35.000km².

Estas características entre outras definem os satélites de Sensoriamento Remoto ou de recursos terrestres. Um outro grande conjunto de satélites que também se utiliza de técnicas de sensoriamento remoto é aquele dos satélites meteorológicos. Divididos em dois grupos, os de órbita geoestacionária da série SMS-GOES e os de órbita polar da série NOAA; estes satélites operam com resolução espacial mais baixa, porém com repetitividade sensivelmente maior. Assim, a resolução espacial dos satélites meteorológicos é de 1km na série NOAA e 8km na série GOES, enquanto a repetitividade é respectivamente de 4 horas e de 30 minutos. Estas características diferem bastante os satélites de sensoriamento remoto de recursos terrestres dos satélite meteorológicos. Estes foram desenhados para estudar e monitorar eventos oceanográficos e meteorológicos de grande dinâmica, própria sob o ponto de vista temporal. Embora estas características dos satélites meteorológicos inibam o desenvolvimento de aplicações em recursos terrestres, existem exemplos de utilização de imagens NOAA para levantamento de recursos naturais. (Berg et alii, 1981) (Tarpley e McGinnis Jr., 1984).

2.2 - SATÉLITES LANDSAT

O primeiro satélite de Sensoriamento Remoto foi o LANDSAT 1, lançado pela NASA em julho de 1972. Dotado de dois subsistemas sensores, o imageador multiespectral (MSS) e um conjunto de 3 câmeras Vidicon (RBV), (Tabela 1). O LANDSAT 1 operou até 1975. O LANDSAT 2 lan

çado neste mesmo ano manteve a configuração do MSS, modificando o número e a faixa de sensibilidade das câmeras Vidicon (Tabela 2). Em 1978 foi lançado o LANDSAT 3 que incorporou ao subsistema MSS um canal na faixa do infravermelho termal (10,4 - 12,6μm), (Tabela 3).

TABELA 1

BANDAS ESPECTRAIS E RESOLUÇÕES ESPACIAIS DOS SUBSISTEMAS SENSORES DO LANDSAT 1

LANDSAT 1		
	RBV	MSS
Canal (μm)	1: 0,475 - 0,575 2: 0,580 - 0,680 3: 0,690 - 0,830	4: 0,5 - 0,6 5: 0,6 - 0,7 6: 0,7 - 0,8 7: 0,8 - 1,1
Resolução (metros)	40	80

TABELA 2

BANDAS ESPECTRAIS E RESOLUÇÕES ESPACIAIS DOS SUBSISTEMAS SENSORES DO LANDSAT 2

LANDSAT 2		
	RBV	MSS
Canal (μm)	1: 0,505 - 0,750	4: 0,5 - 0,6 5: 0,6 - 0,7 6: 0,7 - 0,8 7: 0,8 - 1,1
Resolução (metros)	40	80

TABELA 3

BANDAS ESPECTRAIS E RESOLUÇÕES ESPACIAIS DOS SUBSISTEMAS SENSORES DO LANDSAT 3

LANDSAT 3		
	RBV	MSS
Canal (μm)	1: 0,505 - 0,750	4: 0,5 - 0,6 5: 0,6 - 0,7 6: 0,7 - 0,8 7: 0,8 - 1,1 8:10,4 - 12,6
Resolução (metros)	40	80 250 (canal 8)

Em julho de 1982 foi lançado o LANDSAT 4 que manteve a configuração do MSS e marcou o advento de uma nova geração de sensores orbitais através do Mapeador Temático (TM - Thematic Mapper), com características técnicas muito superiores ao MSS, principalmente no que se refere à resolução espacial e ao número e intervalos das bandas espectrais.

O INPE, dede julho de 1973, portanto um ano após o lançamento do LANDSAT 1, coleta, processa e distribui dados destes satélites através da Estação de Recepção de Cuiabá (MT) e do Laboratório de Processamento Eletrônico e Fotográfico de Cachoeira Paulista.

TABELA 4

BANDAS ESPECTRAIS E RESOLUÇÕES ESPACIAIS
DOS SUBSISTEMAS SENSORES DO LANDSAT 4

LANDSAT 4		
	MSS	TM
Canal (μm)	4: 0,5 - 0,6 5: 0,6 - 0,7 6: 0,7 - 0,8 7: 0,8 - 1,1	1: 0,45 - 0,52 2: 0,52 - 0,60 3: 0,63 - 0,69 4: 0,76 - 0,90 5: 1,55 - 1,75 6:10,4 - 12,5 7: 2,08 - 2,35
Resolução (metros)	80	30 120 (canal 6)

3. DADOS DE SATÉLITE DE SENSORIAMENTO REMOTO

3.1 - IMAGENS

Os dados coletados pelos sistemas sensores destes satélites são níveis de radiação emitidos ou refletidos pelos alvos dentro de determinados intervalos de comprimento de onda. Estes níveis são coletados linha por linha, na direção transversal ao deslocamento do satélite. São registrados ponto a ponto, em fitas magnéticas de alta densidade e, posteriormente, no laboratório de processamento, formatados em fitas compatíveis com computador (CCT) e em negativos ou positivos (1:3.600.000), que permitem reproduções e ampliações fotográficas, em papel, até escalas de 1:250.000 (MSS) ou 1:100.000 (RBV). Na forma digital (fitas CCT) são formatados apenas dados MSS e, nesta forma, são possíveis diversos tipos de manipulação via computador, quer

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

para o realce dos padrões de imagem, quer para a classificação automática destes padrões. Para tanto, o INPE se utiliza de um Sistema Analisador de Imagens Digitais com um pacote de rotinas cujo "software" foi totalmente desenvolvido na instituição.

3.2 - ATRIBUTOS DE IMAGEM

Pode-se definir *atributos* como elementos mensuráveis ou passíveis de ser extraídos de um conjunto de dados.

As imagens, digitais ou fotográficas, possuem três tipos de atributos: os espaciais, os espectrais e os temporais. Os atributos espaciais são aqueles relacionados com a forma e o tamanho dos alvos. Swain e Davis (1978) assinalaram que a própria distribuição espacial dos níveis de cinza na cena é um atributo espacial. Assim, as formas e as dimensões apresentadas pela áreas preparadas para cultivo da Figura 1 são atributos espaciais das imagens.

Os atributos espectrais são aqueles relacionados com os intervalos espectrais de observação do sensor, ou seja, com o comportamento, em termos de resposta, que um alvo assume em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Assim, as diferentes tonalidades apresentadas pela vegetação, no visível (Figura 2) e infravermelho (Figura 3), são atributos espectrais dela.

Os atributos temporais estão relacionados com as diferenças que um alvo apresenta, quer do ponto de vista espacial, quer do ponto de vista espectral; quando imageado em diferentes estações ou anos (Figuras 4 e 5).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. 1 - Imagem MSS-5 da região de Santa Vitória do Palmar (RS).

Imagem MSS, canal 5, do LANDSAT 4 obtida em novembro de 1982. As glebas em tonalidade cinza-claro são áreas preparadas para o cultivo do arroz. Suas formas e dimensões são atributos espaciais característicos das imagens.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

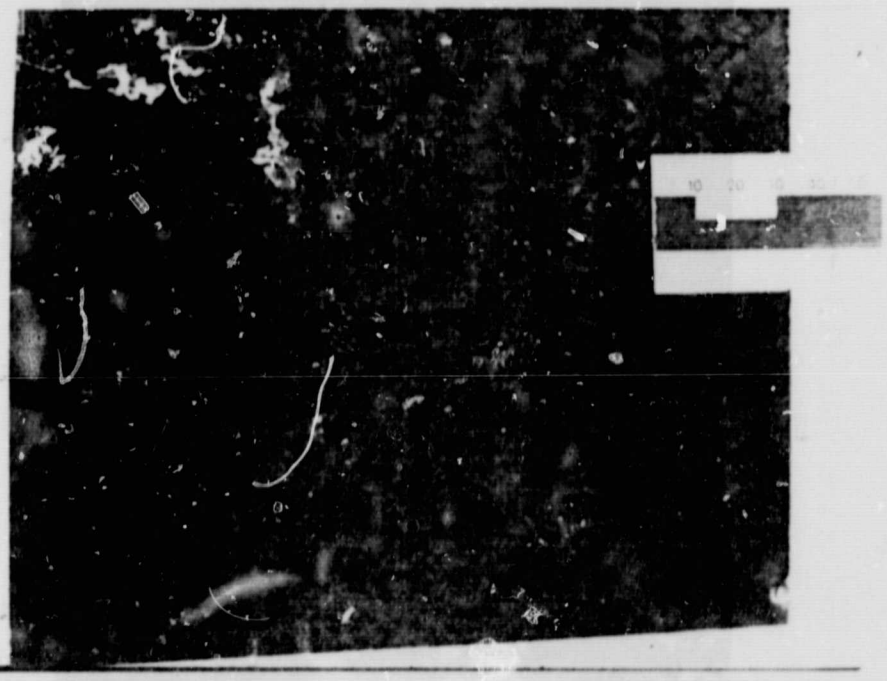

Fig. 2 - Imagem MSS, canal 5 (faixa do visível), da região de Vilhena (RO).

A imagem mostra a região adjacente a BR-364 (Cuiabá-Porto Velho) no trecho entre Vilhena e Barracão Queimado. Quatro tons de cinza estão associados a quatro diferentes tipos de cobertura vegetal: cinza-escuro corresponde à mata densa, cinza-médio à vegetação de cerrado, o cinza claro está associado ao campo cerrado, principalmente no quadrante NW da imagem. Neste quadrante os tons de cinza mais claros se associam a áreas sem qualquer cobertura vegetal.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

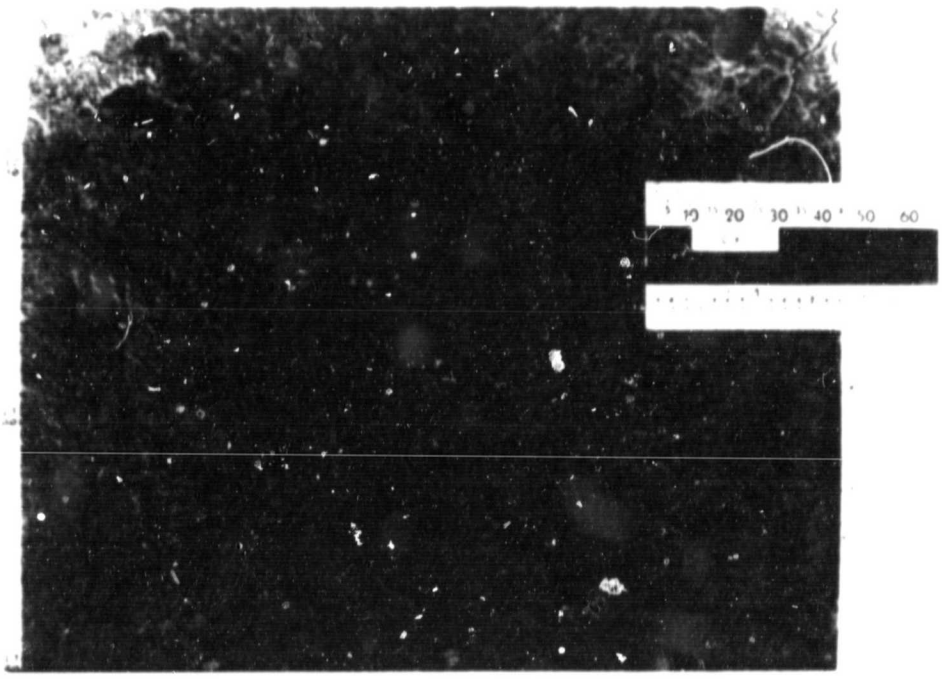

Fig. 3 - Região de Vilhena, Rondônia, imageado no infravermelho próximo (canal 7).

Neste canal o tom de cinza-claro está agora associado à vegetação mais alta e mais densa; o cinza médio ao cerrado e o cinza-escuro ao campo-cerrado. Este comportamento diferente de cobertura vegetal em diferentes bandas, são atributos espectrais do alvo *vegetação* nas imagens.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. 4 - Imagem MSS-7 da região do Careiro (AM) na estação seca.

Imagem MSS, canal 7, do LANDSAT 3 obtida em dezembro de 1981. A imagem mostra as águas do rio Negro, do rio Solimões, do Rio Amazonas, do paraná do Careiro e dos lagos interiores por ocasião do final da estação seca na região.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. 5 - Imagem MSS-7 da Região do Careiro (AM) na estação chuvosa.

A mesma região da Figura 4, imageada em julho de 1977, no início da vazante. Observam-se diferenças marcantes na distribuição da lâmina d'água, principalmente nos rios Negro e Solimões, bem como nos lagos interiores quando comparadas com a figura anterior. Estas diferenças observadas no tempo são exemplos de atributos temporais das imagens.

3.3 - MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E ANÁLISE DOS ATRIBUTOS

Dois métodos de análise são utilizados para extrair os atributos da imagem: a análise visual e a análise automática. Ambos, entretanto, dependem da capacitação do técnico para a interpretação da informação extraída.

A análise visual se vale sobremaneira dos métodos convencionais de fotoanálise, somando a estes os aspectos multiespectrais, temporais e sinóticos das imagens. Neste caso, as respostas espectrais dos alvos são diretamente correlacionadas a tons de cinza.

A análise automática se baseia na qualificação das respostas espectrais dos alvos em termos numéricos. Neste caso, não se trata de tons de cinza mas de níveis de cinza. Tratados numericamente, ponto a ponto, os dados de resposta espectral dos alvos poderão ser pré-processados (somados, divididos, multiplicados, etc.), realçados (ampliando contrastes, selecionando componentes) ou classificados (métodos determinísticos e estatísticos, supervisionados ou não).

4. RECURSOS HÍDRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO

4.1 - CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Admite-se a superfície da Terra como o domínio imediato do sensoriamento remoto, porque a informação contida na radiação refletida se refere aos primeiros milímetros da área imageada pelo sensor que opera na região refletida do espectro eletromagnético. Estas informações referentes à parte iluminada dos alvos, quando convenientemente interpretadas, permitem a análise do domínio interior à paisagem superficial. Neste contexto, tanto os corpos hídricos superficiais como os lençóis subterrâneos podem ser estudados através das imagens de satélites de sensoriamento remoto.

Uma vez conhecidos os atributos da água como alvo, o inventário e o monitoramento dos espelhos d'água superficiais, bem como a discriminação do alvo *água* em relação aos alvos adjacentes, é perfeitamente possível pela combinação da análise visual com a análise automática de imagens.

Por outro lado, conhecidos os atributos dos principais condicionadores de aquíferos subterrâneos (estrutura geológica e rochas armazenadoras), é possível indicar as áreas mais favoráveis para ocorrência de água, tanto ao nível de mapeamento regional, a partir da análise visual, quanto de semidetalhe, a partir da análise digital.

4.2 - ATRIBUTOS DA ÁGUA NAS IMAGENS MSS

Segundo Herz (1977) a radiação eletromagnética ao penetrar na água sofre as seguintes interações: parte é refletida e parte é absorvida ou espalhada no meio líquido num processo seletivo que depende do seu estado físico-químico e do comprimento de onda da radiação. Este efeito conjunto da absorção e espalhamento pode ser denominado atenuação.

Como a atenuação e a refletividade acontecem de maneira seletiva, isto é, se condicionam ao estado físico-químico da água, pode-se considerar que diferentes tipos de água refletem diferentemente a radiação incidente. Assim, Polcyn e Rollin (1968) apresentaram graficamente curvas de atenuação para diversos tipos de água em função do comprimento de onda (Figura 6).

Através do gráfico da Figura 6, pode-se observar que os menores coeficientes de atenuação correspondem à água destilada e à água oceânica. Os coeficientes crescem à medida que as águas se aproximam de regiões costeiras onde a concentração de sedimentos em suspensão aumenta em volume, ocorrendo também um aumento do tamanho da partícula. Tanaka et alii (1982) assinalam que partículas em suspensão e contaminantes na água servem para reduzir a transmissão da luz. Consi

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

derando que a transmissão tem uma correlação inversa com a reflectância, o aumento de concentração das partículas em suspensão em corpos d'água tende a aumentar a reflectância (Figura 7).

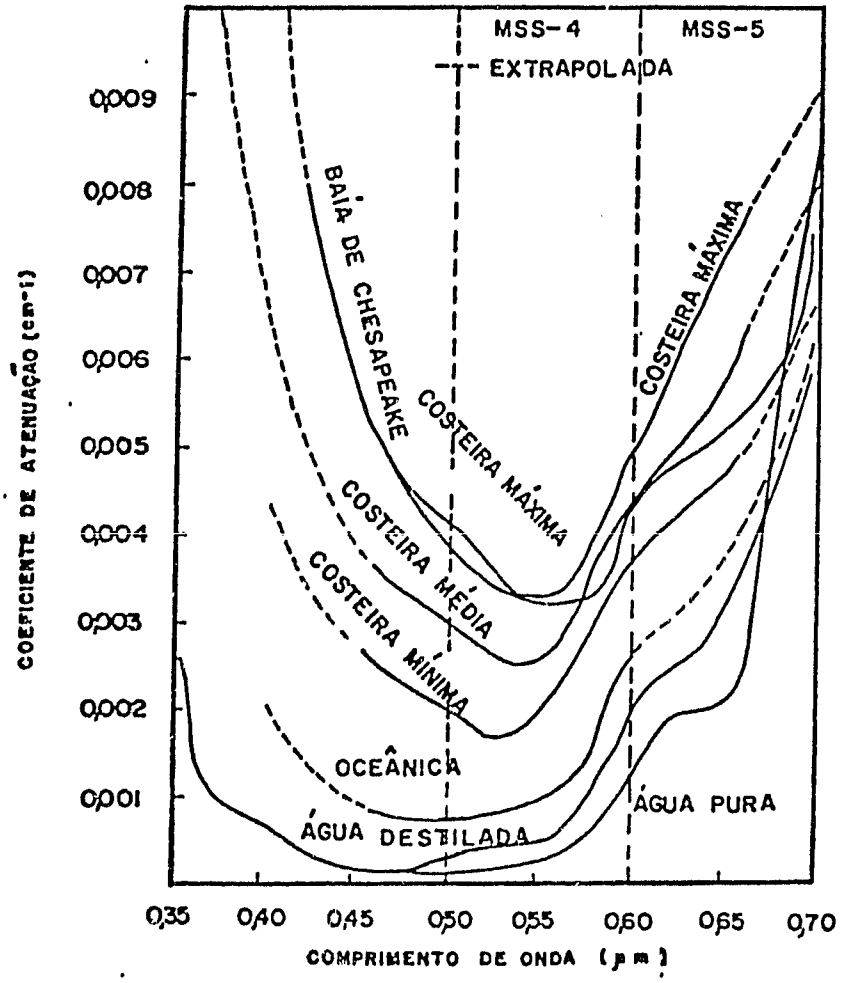

Fig. 6 - Curvas de atenuação de diferentes tipos de água.

FONTE: Polcyn e Rollin (1968).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

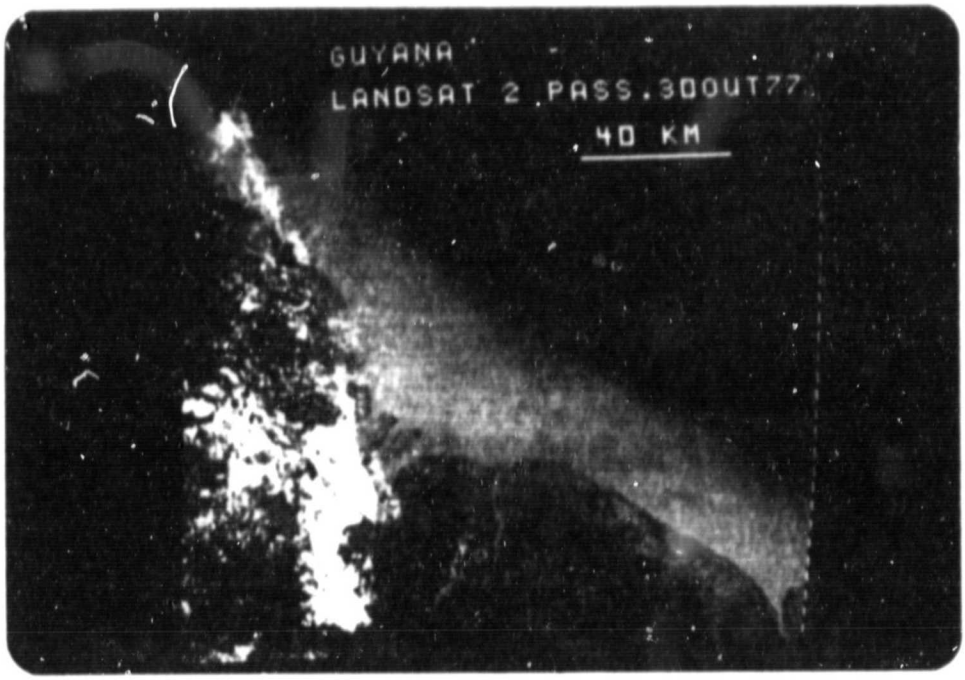

Fig. 7 - Imagem MSS-5 da costa adjacente à Guyana.

Imagem do LANDSAT 2 obtida em outubro de 1977. Águas costeiras e oceânicas adjacentes à Guyana. As águas costeiras, com maior volume de sólidos em suspensão, tendem a apresentar uma resposta espectral mais clara nesta região do espectro (reflectância mais alta = tom de cinza mais claro) devido ao índice de atenuação mais alto, quando comparado com as águas oceânicas com menor índice de atenuação e consequentemente com resposta espectral em tons de cinza escuro.

Nas imagens de satélite este comportamento diferencial da água é traduzido em tons ou em níveis de cinza, principalmente nas faixas do verde (canal 4) e vermelho (canal 5) (Figura 8) onde se localizam as maiores variações em atenuação da Figura 6. Na região do infravermelho se localizam picos de absorção de radiação de todos os tipos de água. Nas imagens MSS este comportamento se traduz pelos tons escuros contínuos que os corpos d'água apresentam no canal 7, o que permite uma análise muito detalhada de suas formas e dimensões (Figura 9). Neste sentido é bastante simples inventariar os corpos d'água superficiais quanto à área e localização.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

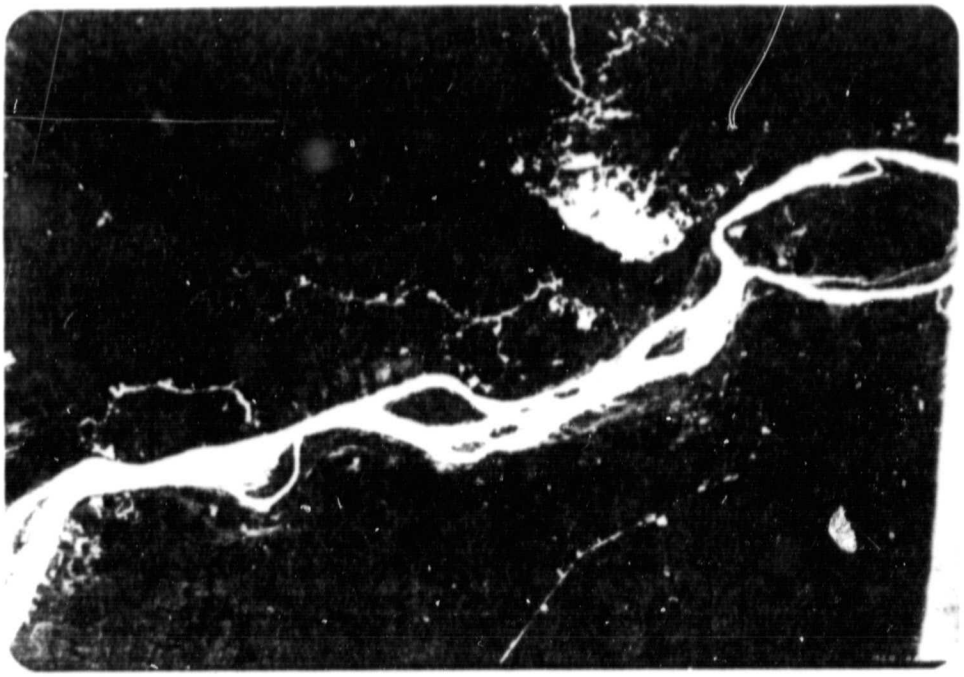

Fig. 8 - Imagem MSS-5 da região de Manaus.

Exemplo do comportamento de diferentes tipos de água na banda espectral correspondente ao vermelho (0,6 - 0,7 μm). As águas do rio Negro aparecem em tom de cinza marcadamente escuro. As águas do Solimões em cinza muito claro. Os lagos interiores em cinza-escuro. As águas do Amazonas mostram um limite tonal muito nítido entre as águas do Solimões e do Negro.

A repetitividade do imageamento orbital permite a análise sazonal dos corpos d'água tanto em relação à quantidade e tipo, bem como quanto à variação da lâmina d'água em função de enchentes.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

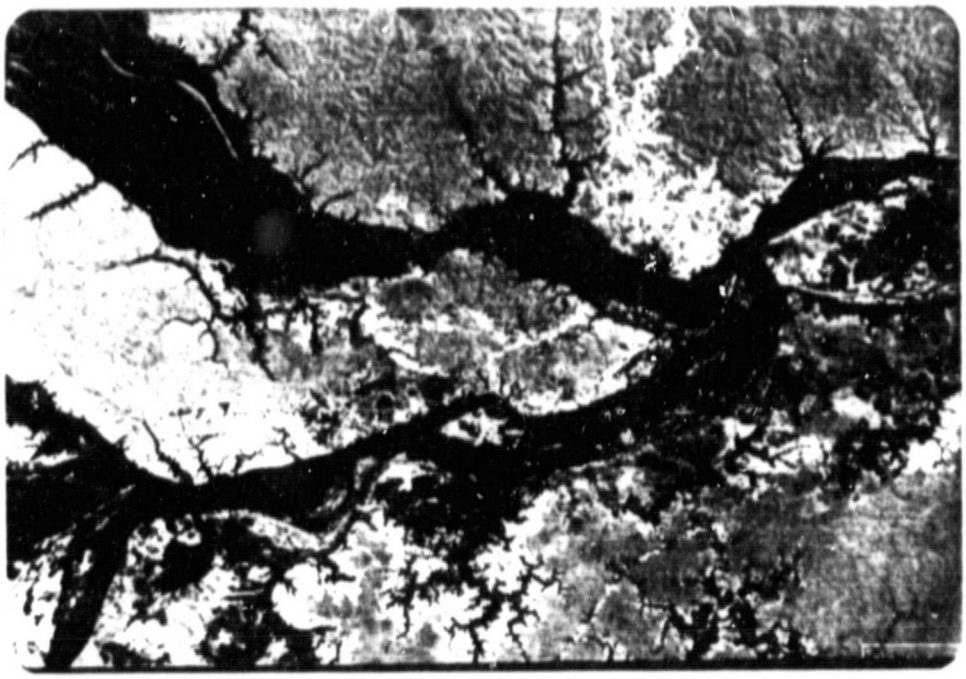

Fig. 9 - Imagem MSS-7 da região de Manaus.

Exemplo do comportamento da água na região do infravermelho (0.8 - 1,1 μm). Independente dos tipos de água, todos os corpos hídricos superficiais mostram idêntica resposta espectral: forte absorção da radiação infravermelha incidente e tom cinza-escuro generalizado.

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

5.1 - MONITORAMENTO DE LÂMINA D'ÁGUA

Novo et alii (1981), utilizando dados digitais do Imageador Multiespectral (MSS) do LANDSAT, avaliaram a viabilidade de monitorar a lâmina d'água visando o controle de inundações.

A área teste selecionada foi o paraná de Ramos, um braço do rio Amazonas, na região de Barreirinha (AM). O paraná de Ramos, como grande parte dos rios amazônicos, se caracteriza por amplas várzeas, sazonalmente inundadas, com períodos de cheia e vazante relativamente demorados, em que o processo de inundação é lento; uma dinâmica portan

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

to bastante diferente daquela encontrada normalmente nos rios da região sul, e mais compatível com a resolução temporal dos satélites LANDSAT (16 dias).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados dados de satélite do período compreendido entre 1973 e 1979. Os dados foram analisados a partir de técnicas de tratamento digital tanto para classificação temática quanto para a abordagem sazonal/temporal da lâmina d'água. Na classificação automática das diversas passagens do satélite foram identificadas e quantificadas, em porcentagem, as seguintes classes: Água Preta, Água Barrenta 1, Água Barrenta 2 e Áreas Úmidas (Figura 10).

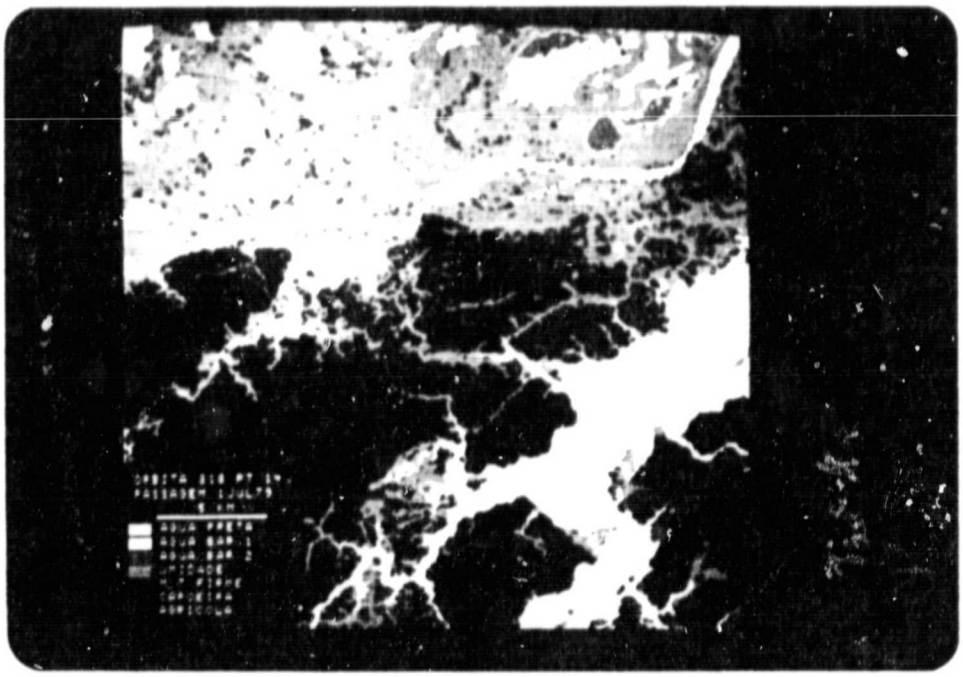

Fig. 10 - Classificação automática da lâmina d'água do paraná do Ramos na região de Terra Preta do Limão, município de Barreirinha (AM), com base em dados LANDSAT de 1 de julho de 1979.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

A análise temporal foi realizada mediante a superposição dos diversos módulos referentes às diferentes épocas.

Foi possível avaliar as larguras máxima e mínima do paraná do Ramos no período, bem como a variação média da largura da lâmina d'água. Assim, a largura máxima do paraná do Ramos foi de 700m (1976) (Figura 11), enquanto a largura mínima foi de 500m (1973) no trecho analisado.

Análises temporais de lâmina de água vêm sendo realizadas no INPE mediante técnicas de registro de imagens que permitem a superposição digital de diferentes passagens (Figura 12).

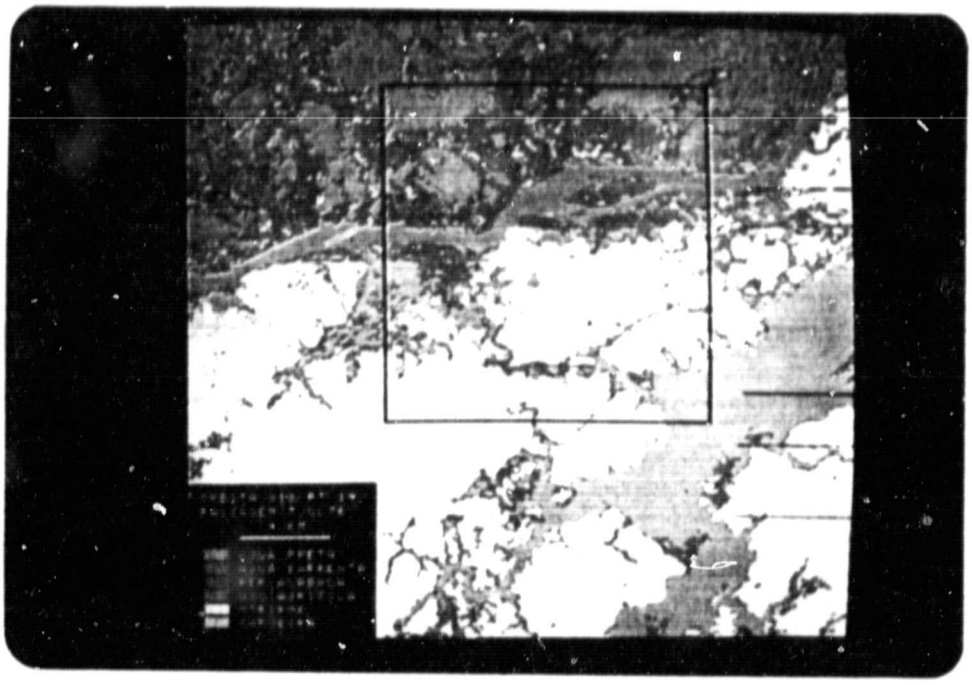

Fig. 11 - Classificação automática da mesma área da figura anterior a partir de dados LANDSAT de 7 de julho de 1976.

Embora estas duas imagens tenham sido obtidas no final do período de cheia, observam-se diferenças bem marcantes na largura do paraná do Ramos, principalmente no trecho circunscrito pelo cursor.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

Fig. 12 - Exemplo de superposição de imagens obtidas em diferentes épocas através da técnica de registro.

Neste caso, a imagem do período de vazant (1 de dezembro de 1981) da região adjacente a Manaus foi superposta à imagem obtida no final do período de cheia (31 de julho de 1977) com diferentes filtros. A diferença da área ocupada pela lâmina d'água entre os dois períodos aparece em vermelho.

5.2 - QUALIDADE DE ÁGUA

Sausen (1981) desenvolveu um método de utilização de imagens MSS para verificar o relacionamento entre o comportamento espectral/temporal associado à dispersão/concentração de sedimentos no reservatório de Três Marias e a dinâmica de sua bacia abastecedora. Imagens MSS nos canais 4, 5 e 7 foram utilizadas e analisadas tanto nas estações secas quanto nas chuvosas dos anos de 1973, 1975, 1977 e 1978 para compartimentar a camada superior do reservatório. Esta compartimentação foi desenvolvida em função dos níveis de cinza, os quais foram correlacionados à concentração de sedimentos avaliada com o disco de Secchi e à medidas de radiância in situ da água.

Com base nesta compartimentação, foram reconhecidos os setores do reservatório que recebiam maiores quantidades de detritos. A partir desta constatação foram analisados a rede de drenagem, os padrões de dissecação e o uso do solo da bacia abastecedora.

A utilização das imagens MSS referentes a dois períodos sazonais (seco e chuvoso) evidenciou variações na qualidade das águas no interior do reservatório comprometendo-o como fonte de água potável e de energia, no tempo. A integração dos atributos sazonais com a análise da rede de drenagem, da morfologia e do uso do solo permitiu a identificação das áreas fontes ou áreas críticas de erosão e transporte na bacia abastecedora do reservatório.

Bentancurt (1981) desenvolveu estudos da qualidade da água da Baía da Guanabara a partir de dados LANDSAT, com base na resposta espectral condicionada por elementos contaminantes ou em suspensão. Às diversas classes de concentração de poluentes foram atribuídas cores, sendo classificada toda a região da Baía bem como a região costeira adjacente (Figura 13).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

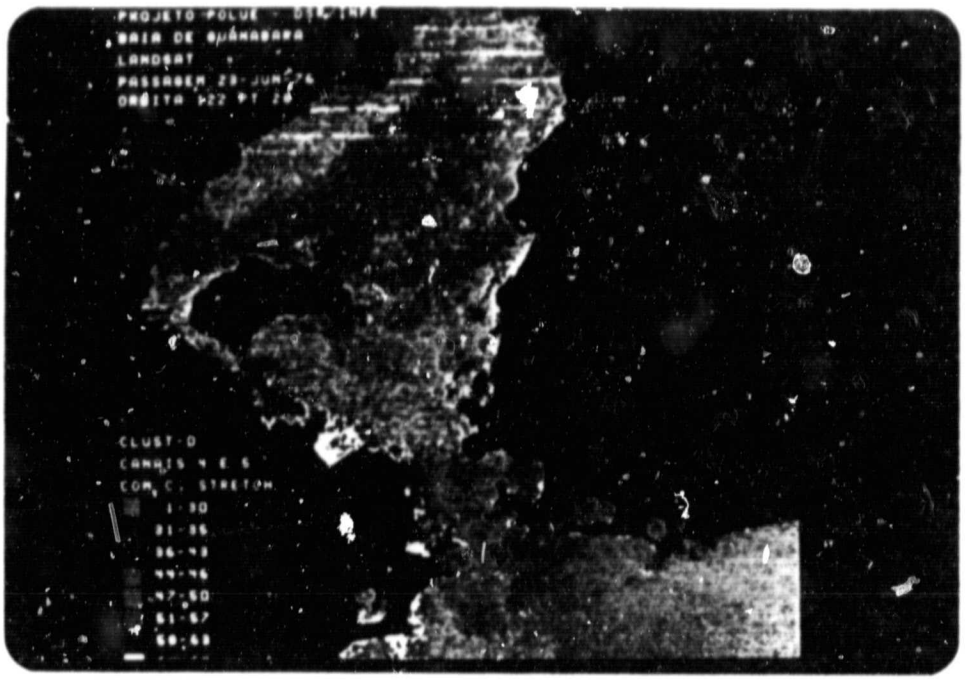

Fig. 13 - Classificação automática das águas da Baía da Guanabara obtida a partir de dados MSS-LANDSAT de 23 de junho de 1976.

Às cores se associam valores digitais de resposta espectral diretamente correlacionadas à concentração de poluentes na baía. A cor verde corresponde a águas menos poluídas. O branco corresponde aos níveis mais altos de concentração de poluentes.

5.3 - EXPERIÊNCIA DO PROJETO CEARÁ

Dentro do quadro crítico do Estado do Ceará em julho de 1983, o Governo do Estado, através da Secretaria de Obras e Serviços Públicos, da Secretaria da Agricultura e da Comissão Especial de Recursos Hídricos, desenvolveu um trabalho de avaliação da situação de abastecimento de água no Estado. Baseando nos resultados deste levantamento o Governo do Estado optou pelo desenvolvimento de 6 programas prioritários:

1) construir e recuperar poços amazonas,

2) recuperar e instalar poços profundos onde não for possível a solução por poços amazonas,

3) construir e ativar miniadutoras,

4) inspeção e conclusão de pequenas barragens,

5) controle sanitário da água consumida,

6) monitoramento dos recursos hídricos em função da evolução da estiagem.

Dentro deste contexto, o INPE se propôs a contribuir com o desenvolvimento das seguintes atividades no Estado do Ceará:

1) Atividades a curto prazo (60 dias):

- mapeamento de áreas aluvionares como subsídio à locação de poços amazonas,
- mapeamento da rede de açudes para verificar a disponibilidade de água superficial no Estado em julho/agosto de 1983,
- transferência dos métodos aplicados mediante curso de treinamento intensivo a técnicos do Governo do Estado.

2) Atividades a médio prazo:

- mapeamento estrutural de áreas cristalinas como subsídios aos trabalhos de prospecção de água subterrânea,
- inventário dos açudes do Estado nos anos de 1978 e 1983 e cálculo da variação das lâminas de água no período.

5.3.1 - MAPEAMENTO DE ÁREAS ALUVIONARES

O mapeamento das áreas aluvionares foi baseado no padrão de resposta espectral representado por tons de cinza-claro, bastante característicos, no caso das areias secas e grosseiras, ricas em quartzo que se depositam ao longo das calhas dos rios, principalmente

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

na região do cristalino. Este padrão de resposta é típico tanto no canal 5 quanto no canal 7 do MSS/LANDSAT (Figura 14).

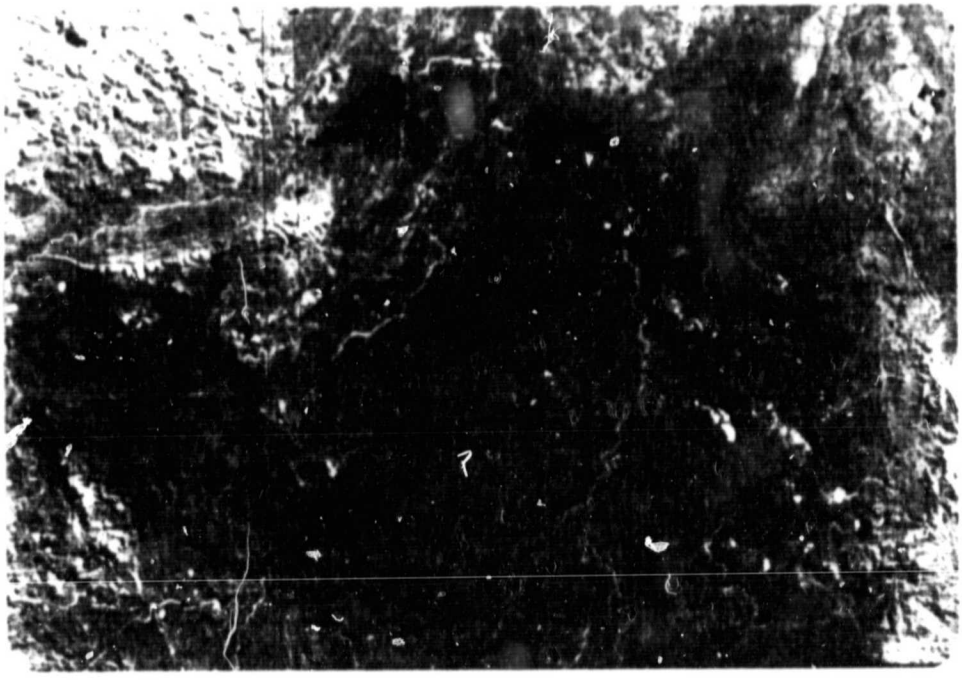

Fig. 14 - Aluviões e lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza em julho de 1978.

Imagem MSS canal 7 do LANDSAT que mostra os aluviões (faixas de tom cinza claro) nas calhas dos tributários que alimentam os açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza no Estado do Ceará. A imagem obtida em julho de 1978 mostra a situação da lâmina d'água nos reservatórios no início da prolongada estiagem que afetou a região durante 5 anos.

Desta forma, as áreas aluvionares foram extraídas das imagens MSS 1:250.000 e transpostas para cartas topográficas na escala de 1:100.000. Estas cartas, com a indicação das ocorrências dos aluviões, serviram para orientar os trabalhadores de seleção de áreas para locação e construção de cacimbas e cacimbões no Estado do Ceará durante o período crítico de estiagem.

Perfis de campo realizados entre Fortaleza e Jaguaribe, e desta em direção a Santa Quitéria, indicaram a ocorrência de áreas aluvionares em todas as zonas mapeadas a partir das imagens MSS (Barbosa, no prelo).

Durante estes trabalhos de reconhecimento, 40 áreas aluvionares foram observadas em termos de ocorrência de água, sendo que em 38 foi encontrado água em subsuperfície numa profundidade que varia entre 2 e 5 metros (Barbosa, no prelo).

5.3.2 - LEVANTAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

O levantamento dos corpos hídricos superficiais do Estado do Ceará se baseou na análise dos atributos da água conforme estão descritos nas legendas das Figuras 8 e 9. A análise temporal dos dados contidos nas imagens dc canal 7 de 1983 e de 1976 permitiu avaliar a variação da lâmina d'água no período de estiagem. A análise do canal 5, por outro lado, permitiu discriminar diferentes graus de turbidez dos reservatórios maiores.

A água superficial do Estado do Ceará em agosto de 1983, portanto após 5 anos de estiagem, se condicionava principalmente aos açudes maiores como o Orós, o Araras, o Banabuiú, Pentecostes, General Sampaio e Ayres de Souza, bem como os rios perenizados como o Jaguaribe e Acaraú. Na data analisada os açudes Pentecostes, General Sampaio e Araras se apresentaram com suas lâminas d'água seriamente comprometidas, no que se refere à área (Figuras 14 e 15). Mesmo o açude de Orós mostrava um decréscimo sensível na sua lâmina d'água, se comparada com a lâmina de 1976 (Figuras 15 e 17).

Os açudes pequenos situados na região dos Inhamuns e na periferia de chapada do Araripe estavam secos na data analisada, enquanto que na zona da mata eles ainda mantinham uma lâmina d'água perceptível por satélite.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

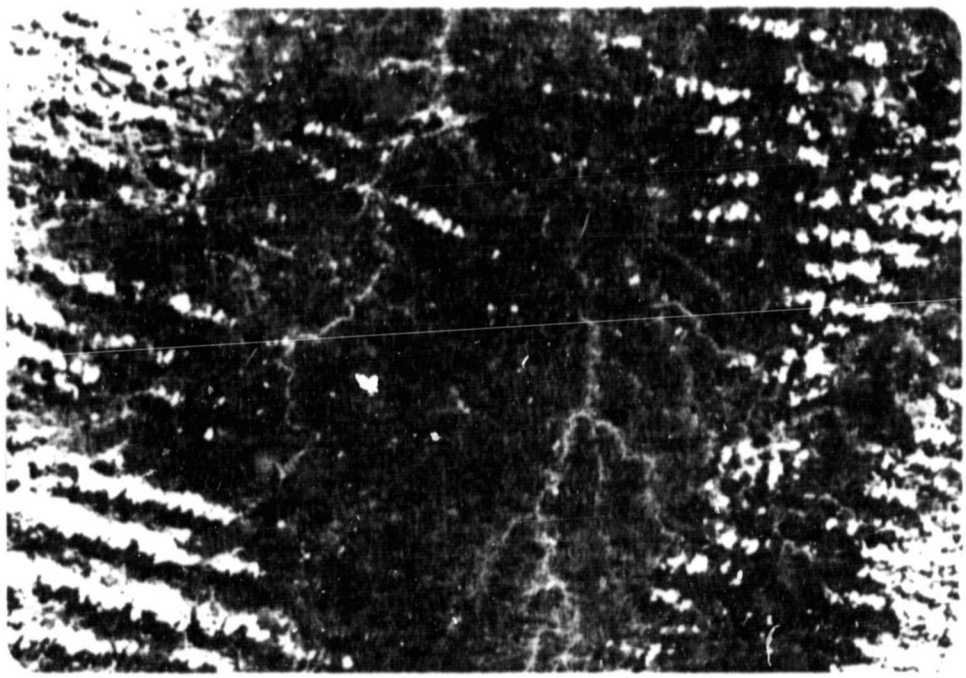

Fig. 15 - Lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza em setembro de 1983.

Imagem MSS, canal 7, do LANDSAT obtida em setembro de 1983 que mostra a mesma região da figura anterior e, portanto, a situação da lâmina d'água dos açudes General Sampaio, Pentecostes e Ayres de Souza, depois de cinco anos de estiagem na região.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

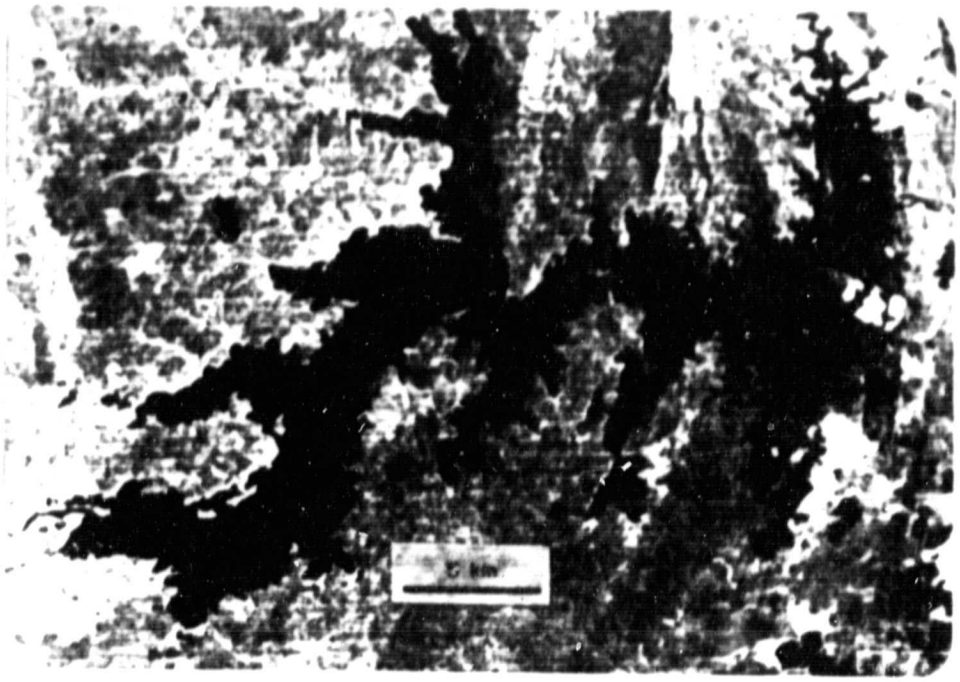

Fig. 16 - Imagem MSS, canal 7, do LANDSAT de julho de 1976 que mostra a situação da lâmina d'água do açude Orós.

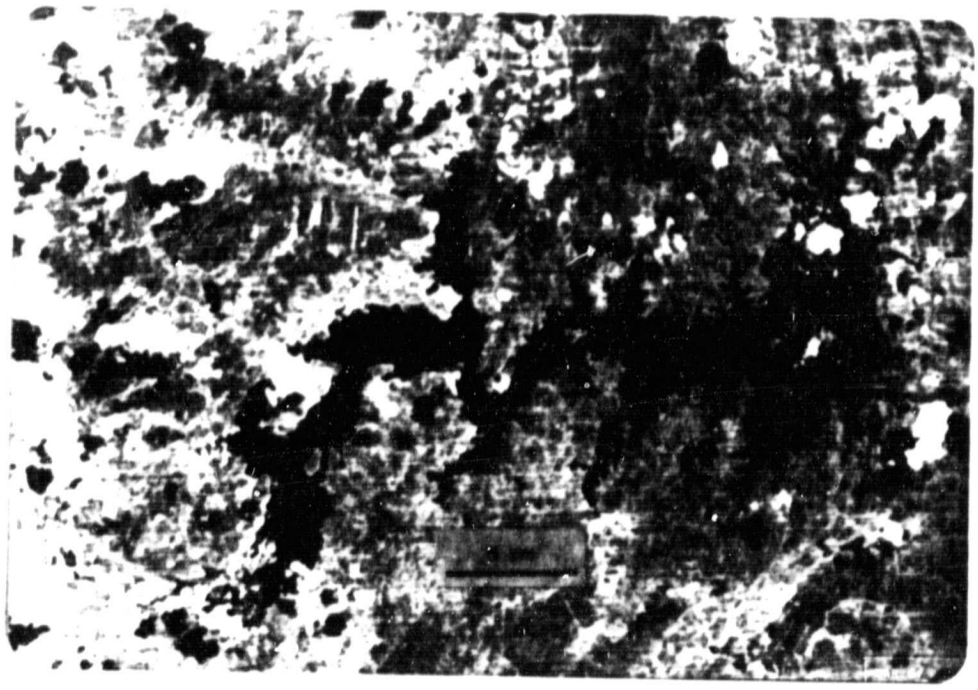

Fig. 17 - A imagem MSS, canal 7, de julho de 1983 mostra a situação da lâmina d'água do açude Orós depois de 5 anos de estiagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os exemplos aqui apresentados mostram que os dados de satélite permitem abordagens rápidas e precisas tanto em aspectos qualitativos quanto em aspectos quantitativos dos mananciais. A repetitividade e o imageamento sinótico permitem diagnósticos efetivos de situações críticas como as que afetam a Região Nordeste.

O advento da segunda geração de sensores remotos orbitais como o Mapeador Temático, com resolução espacial de 30m e o Visível de Alta Resolução (20m e 10m), irá ampliar as perspectivas de aplicações de Sensoriamento Remoto na área de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M.P. *Relatório do trabalho de reconhecimento de campo de áreas aluvionares no Estado do Ceará. Folhas 1:100.000: Fortaleza, Canindé, Taperuaba, Santa Quitéria, Sobral, Irauçuba, São Luiz do Curu.* São José dos Campos, INPE, 1984. No prelo.

BERG, P.C.; WIESNET, D.R.; MATSON, M. Assessing the Red River of the North 1978 flooding from NOAA satellite data. In: ANNUAL WILLIAM T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, 5., Sioux Falls, SD, 1979. *Proceedings.* Mineapolis, MN, AWRA, 1981, p. 309-315.

BENTANCURT, J.J.V. *Processamento de dados multiespectrais obtidos por plataformas orbitais da série LANDSAT para estudos de qualidade da água na Baía da Guanabara.* São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2181-TDL/058).

HERZ, R. *Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos. Contribuição metodológica ao estudo de processos lagunares e costeiros do Rio Grande do Sul, através da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto.* Tese de Doutorado, São Paulo, USP. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, 1977.

NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; PINTO, S.A.F. *Relatório preliminar do projeto CNPq-INPE/CEPA-AM (Área Piloto - Terra Preta do Limão).* São José dos Campos, INPE, out. 1981. (INPE-2245-RTR/004).

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).

POLCYN, F.C.; ROLLIN, R.A. *Remote sensing techniques for location and measurement of shallow water features*, Ann Arbor, MI, University of Michigan, 1968. Willow Run Lab. 196. (Report nº 8973-10-P).

SAUSEN, T.M. *Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e reservatório de Três Marias através de imagens MSS/LANDSAT.* São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2249-TDL/066).

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach.* New York, McGraw-Hill, 1978.

TANAKA, K.; INOSTROZA, H.M.; BENTANCURT, J.J.V. *Interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em oceanografia*. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2368-MD/019).

TARPLEY, J.D.; McGINNIS JUNIOR, D.F. Vegetation cover mapping for satellite. *LANDSAT Data Users Notes*, (30):9-12, mar. 1984.