1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-3655-PRE/818		*Set., 1985*	☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita

4. Origem	Programa
DDS/DTM	*TRANSF*

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)

SENSORIAMENTO REMOTO
HIDROGEOLOGIA

7. C.D.U.: *528.711.7:556.3(81)*

8. Título *INPE-3655-PRE/818*

BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E APLICAÇÕES EM HIDROGEOLOGIA

10. Páginas: *31*

11. Última página: *22*

12. Revisada por

Paulo Veneziani

9. Autoria *Paulo Roberto Martini*

13. Autorizada por

Marco Antônio Raupp
Diretor Geral

Assinatura responsável *Paulo R. Martini*

14. Resumo/Notas

São descritas as características dos satélites de Sensoriamento Remoto e dos subsistemas sensores dos LANDSATs 1, 2, 3, 4 e 5. São apresentados alguns atributos espaciais, espectrais e temporais contidos nas imagens. As aplicações em Hidrogeologia se referem ao realce digital de feições lineares em regiões cársticas; ao levantamento de aquíferos aluvionares e a identificação de zonas estruturais favoráveis à acumulação de água subterrânea.

15. Observações *Conferência apresentada no I Simpósio Nacional de Água Subterrânea em Rochas Fraturadas. Promoção da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas ABAS. Belo Horizonte 7-9 agosto 1985.*

ABSTRACT

The characteristics of Remote Sensing satellites as well as on board subsystems of LANDSATs 1, 2, 3, 4 and 5 are described. Some spatial, spectral and temporal image attributes are presented. Applications to Hydrogeology are concerned with digital enhancements of linear features from karstic regions; mapping of alluvial aquifers; and the identification of structural zones for groundwater accumulation.

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 imagens 6

3.3 - Métodos de extração e análise dos atributos 12

4. CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS 12

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES EM HIDROGEOLOGIA 13

5.1 - O caso estudo de Januária e Itacambira (MG) 14

5.2 - A experiência do projeto Ceará 15

5.2.1 - Levantamento dos corpos hídricos superficiais 15

5.2.2 - Mapeamento de áreas aluvionares 15

5.3 - A experiência do projeto Sergipe 16

5.3.1 - Levantamento estrutural para água subterrânea no estado do Sergipe 16

6. COMENTÁRIOS E PERSPECTIVAS 19

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 21

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, imageado no infravermelho próximo (canal 7)..... 9

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

5 - Imagem MSS-7 da região do Careiro (AM) na estação de cheia.... 11

LISTA DE TABELAS

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 e 5 5

1. INTRODUÇÃO

O advento do satélite como plataforma de coleta de dados de recursos naturais ocorreu em julho de 1972. As aplicações desenvolvidas desde então demonstraram que novas perspectivas se abriram aos técnicos e cientistas envolvidos em mapeamento e prospecção dos recursos da Terra.

O INPE vem atuando desde 1968 na área de Sensoriamento Remto 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 hidrogeologia 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 pelso alvos na superfície da Terra, e que esta técnica, por motivos históricos, está realcionada com recursos naturais, as plataformas orbitais relacionadas com Sensoriamento têm características bastante particulares. Resumidamente, podem ser mencionadas:

a) Órbita: polar, heliossíncrona.

b) Resolução espacial: alta resolução, dimensões de "pixel" menores que 80 x 80 m.

c) Largura de bandas: bandas estreitas (< 1μm) no espectro refletido, 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 IV distante (termal).

e) Repetitividade: ciclo nominal de recobrimento que varia entre 10 e 20 dias.

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

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 1 km na série NOAA e 8 km 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 satélites meteorológicos. Estes foram desenhados para estudas e monitorar eventos oceanográficos e meteorológicos de grande dinâmica, própria, sob o ponto de vista temporal. Embora estas características dos satélties meteorológicos inibam o desenvolvimento de aplicações em recursos terrestres, existem exemplos de utilização de imagem 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 pel NASA em julho de 1972; dotado de dois subsistemas sensores, o Imageador Multiespectral (MSS) e um conjunto de tres câmaras Vidicon (RBV), Tabela 1. O LANDSAT 1 operou até 1975.O LANDSAT 2, lançado 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. A mesma configuração foi mantida para o LANDSAT 5,lançado em março de 1985 (Tabela 4).

O INPE, desde julho de 1973, portanto um ano após o lançamento do LANDSAT 1, coleta, processa e distribui dados destes satélites através da Estação Receptora 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 E 5

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 e TM). Na forma digital (fitas CCT) são formatados dados MSS e TM; nesta forma são possíveis diversos tipos de manipulação via computador, quer 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

Podem-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 pelas 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 (Figura 4 e 5).

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.

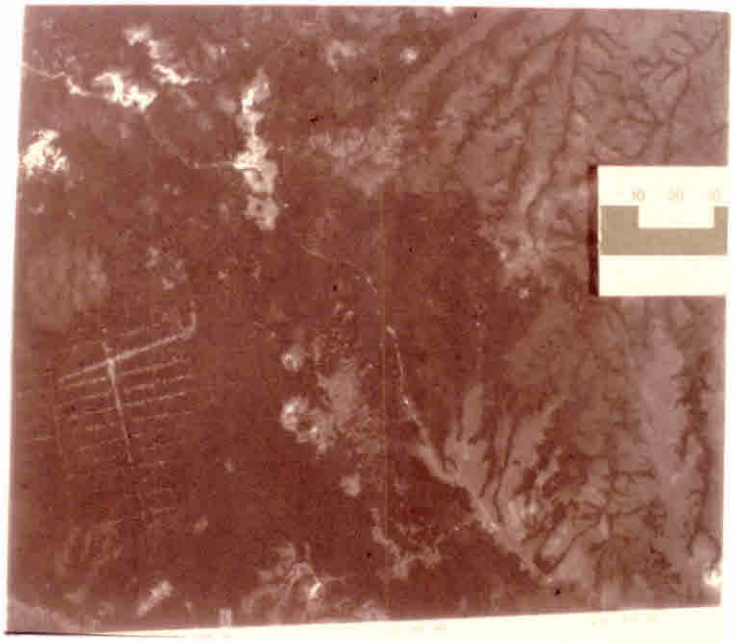

Fig. 2 - Imagem MSS, canal 5 (faixa do visível) da região de Vilhena(RO).

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-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.

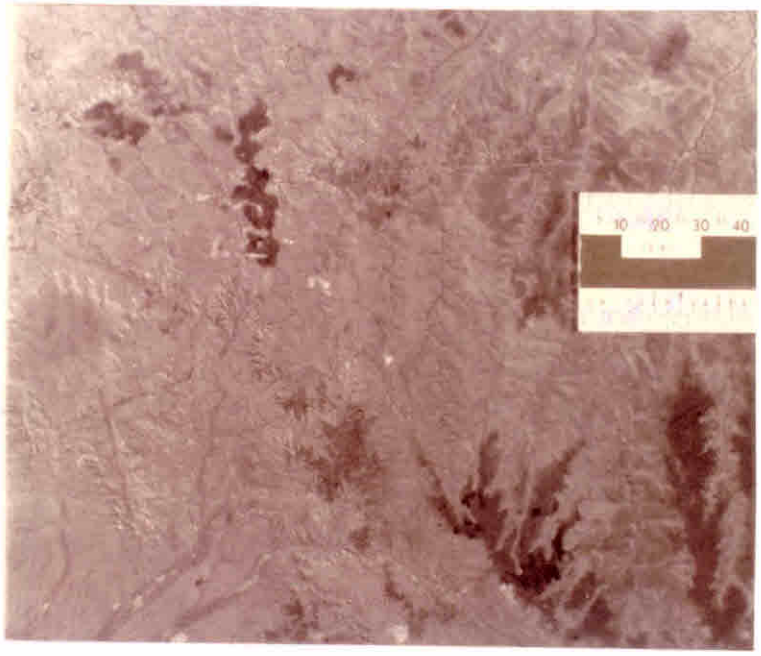

Fig. 3 - Região de Vilhena, Rondônia, imageado no infravermelho próximo (canal 7).

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.

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

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.

Fig. 5 - Imagem MSS-7 da região do Careiro (AM) na estação de cheia.

A mesma região da Figura 4, imageada em julho de 1977, no início da 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 utiliza em parte os 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. 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 perfei

tamente possível pela combinação da análise visual com a análise automática de imagens.

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

5. EXEMPLOS DE APLICAÇÕES EM HIDROGEOLOGIA

Salomonson (1983) define o Sensoriamento Remoto Hidrológico como o estudo dos recursos hídricos da Terra através da radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre em comprimentos de onda compreendidos entre 0,3 μm e 3m. O autor assinala também que a análise hidrogeológica em imagens é uma das aplicações mais complexas do Sensoriamento Remoto, uma vez que o alvo "água subterrânea" não está disposto diretamente nos dados; obrigando o hidrogeólogo a estudar os indicadores superficiais para inferir as condições interiores.

Os exemplos aqui apresentados se referem exclusivamente a métodos desenvolvidos pelo INPE na pesquisa de recursos hídricos, particularmente no de sítios favoráveis à ocorrência de água subterrânea. Embora muito da experiência do INPE em Geologia Estrutural, Geomorfologia, Mapeamento Geológico e noutras áreas ligadas à Hidrogeologia permita desenhar um amplo panorama de aplicações de Sensoriamento Remoto, nesta oportunidade, dar-se-á ênfase àquelas atividades desenvolvidas objetivamente para a prospecção de água subterrânea.

Neste contexto serão tratados os trabalhos relatados por Meneses (1980), Barbosa (1984) e Mattos e Veneziani (1985), através dos quais, objetivamente, podem-se perceber as contribuições e as limitações de Sensoriamento Remoto Orbital quando aplicado à Hidrogeologia.

5.1 - O CASO ESTUDO DE JANUÁRIA E ITACAMBIRA (MG)

Meneses (1980) aplicou técnicas de realce e classificação digitais de dados MSS-LANDSAT no sentido de analisar seu desempenho no levantamento de informações importantes para a caracterização de recursos hídricos subterrâneos em regiões cársticas.

Duas linhas de trabalho foram desenvolvidas: a primeira consistiu no realce de feições lineares de imagem através da utilização de filtragens digitais, enquanto a segunda avaliou algoritmos de classificação automática para mapeamento de dolinas. A área de trabalho foi dividida em 3 módulos, na escala 1:100.000, medindo cada uma aproximadamente 700 km^2.

Na região analisada as filtragens curtas bidimensionais evidenciaram duas direções principais de lineamentos tonais: a nordeste e a noroeste. Em se tratando de uma região uniformemente plana, recoberta por uma cobertura detrítica arenosa, os lineamentos se caracterizaram por finas linhas de tonalidade escura, não se associando portanto com alinhamentos de drenagem ou de relevo. Com estas constatações o autor (op. cit.) assinala que não deve ser esperada uma correspondência grande entre os lineamentos extraídos de fotos aéreas com aqueles extraídos de imagem, em contexto geomórfico semelhante ao analisado. Isto porque a escala de tons de cinza das fotos aéreas é sensivelmente menor do que os 256 níveis da escala de cinza atribuídos aos dados MSS digitalizados.

Com relação ao uso de técnicas de classificação automática para mapeamento de dolinas, o autor afirma que a resolução das imagens MSS(80m) não foi suficiente para uma amostragem precisa de dolinas como áreas de treinamento, conseqüentemente os resultados obtidos a partir da classificação supervisionada foram negativos.

5.2 - A EXPERIÊNCIA DO PROJETO CEARÁ

Dentro do quadro crítico de disponibilidade de água no Estado do Ceará em julho de 1983, sua Comissão Especial de Recursos Hídricos solicitou ao INPE, em clima de urgência, um diagnóstico da situação dos recursos hídricos superficiais do Estado bem como o levantamento dos aquíferos aluvionares para implantação de cacimbas e cacimbões nas áreas criticamente atingidas pela seca. Esta experiência desenvolvida exclusivamente com base em dados MSS/LANDSAT é descrita por Barbosa (1984), Martini (1984) e Barbosa e Novaes (1985).

De acordo com as prioridades formuladas pelo Governo do Estado do Ceará todas as áreas críticas foram progressivamente estudadas até se completar o levantamento de todo o Estado, num prazo de 60 dias.

5.2.1 - LEVANTAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

O levantamento se baseou na extração de informação de imagens digitais e analógicas MSS/LANDSAT a partir da análise dos atributos espectrais da água, bem como dos atributos espaciais e temporais dos corpos hídricos. Desta forma, a baixa refletividade da água no infravermelho permitiu discriminar todos os corpos hídricos superficiais do Estado na época crítica da seca (julho/agosto 1983).

A refletividade seletiva da água com diferentes níveis de turbidez, na região do visível permitiu a separação de águas turvas e cristalinas nos reservatórios maiores. A análise temporal das imagens infravermelhas permitiu avaliar a variação, em área, da lâmina de água dos principais açudes, no período compreendido entre 1976 e 1983.

5.2.2 - MAPEAMENTO DE ÁREAS ALUVIONARES

O mapeamento dos aluviões foi baseado no comportamento espectral típico das areias secas e grosseiras, com pequena ou nenhuma

cobertura vegetal, que mantêm refletividades constantemente altas tanto no visível quanto no infravermelho. Este comportamento se traduz, nas imagens do período de estiagem, em tons de cinza constantemente claros ou em níveis digitais sistematicamente altos. A distribuição espacial destes padrões ao longo dos tributários de 1ª e 2ª ordens permitiu o mapeamento rápido dos aluviões, principalmente na área cristalina do Estado do Ceará.

As áreas aluvionares, extraídas de imagens MSS, na escala 1:250.000, foram transportadas para cartas topográficas na escala 1:100.000 e, a partir daí, serviram para orientar os trabalhos de seleção de áreas para locação de poços amazonas.

Barbosa (1984) assinala que perfis de campo comprovaram a ocorrência de aluviões, em todas as áreas indicadas pelas imagens. Durante os trabalhos de campo, cerca de 40 áreas aluvionares extraídas das imagens MSS foram visitadas, no sentido de verificar a ocorrência de água. A água de subsuperfície foi detectada em 38 áreas, numa profundidade que variou entre 2 e 5 metros.

5.3 - A EXPERIÊNCIA DO PROJETO SERGIPE

O projeto visou a delimitação de áreas mais favoráveis à pesquisa de água subterrânea através também do mapeamento de áreas aluvionares e, principalmente, do levantamento de feições estruturais como subsídio à locação de poços amazonas e profundos. O mapeamento de áreas aluvionares seguiu a mesma rotina de trabalho descrita no item anterior.

O levantamento das estruturas será descrito com detalhes no item que se segue.

5.3.1 - LEVANTAMENTO ESTRUTURAL PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DO SERGIPE

O levantamento estrutural que visava subsidiar a delimitação de áreas mais favoráveis para a pesquisa de água subterrânea se

guiu as seguintes premissas básicas:

1 - caracterização, ao nível regional (escala 1:250.000), das principais feições estruturais associadas a deformações rúpteis e rúpteis-dúcteis;

2 - delimitação das áreas mais favoráveis em função da convergência de evidências obtida através da análise dos seguintes dados:

- Geológicos/litoestratigráficos: mapeamentos preexistentes;
- Estruturais: mapeamentos preexistentes, fotoanálise e fotointerpretação de produtos de Sensoriamento Remoto e trabalhos de campo espeficamente voltados para o levantamento de elementos de tectônica de fraturamento;
- Hidrológicos: mapeamento detalhado da rede de drenagem na escala 1:250.000 e
- Hidrogeológicos: dados de poços e perfis preexistentes.

Para caracterizar, ao nível regional, as principais feições estruturais associadas a eventos de deformação rúptil e rúptil-dúctil, foram analisadas imagens de radar (mosaicos do RADAMBRASIL) e imagens do MSS/LANDSAT, ambas na escala de 1:250.000. Os elementos extraídos, lineamentos, alinhamentos e lineações, relacionam-se à estruturação do relevo e drenagem. Os critérios de extração adotados são reportados por Mattos e Veneziani (1985) e Veneziani e Anjos (1982).

Para realizar uma estimativa a priori dos principais blocos estruturais e inferir os movimentos tectônicos associados, responsáveis pela tectônica de fraturamento (tensional e cisalhante), foram gerados mapas tectônicos de alinhamentos e lineações de relevo e drenagem, extraídos dos produtos de Sensoriamento Remoto, segundo os critérios dos autores citados.

Através destes mapas e de outros dados obtidos sobre as imagens e cartas da rede de drenagem, previamente reduzidas para a escala de 1:250.000, novos temas foram gerados:

6. COMENTÁRIOS E PERSPECTIVAS

Os exemplos aqui apresentados servem de pontos básicos para uma discussão mais ampla que envolve Sensoriamento Remoto e Hidrogeologia.

Deve ser considerado, inicialmente, que nos exemplos referidos foram usados dados do Scanner Multispectral (MSS), um sensor orbital comelemento de resolução no terreno (ERT) de 80 metros, sensível a 4 intervalos de comprimentos de onda, na faixa refletida do espectro eletromagnético (0,4 - 1,1 μm). Os dados de microondas, também utilizados, foram obtidos por um radar de visada lateral, aerotransportado,que opera na banda x (3 cm), portanto, não-repetitivo. O País se encontra hoje totalmente recoberto por imagens MSS e mosaico SLAR, portanto,qualquer atividade de pesquisa hidrogeológica regional e semidetalhe (TM) pode ser desenvolvida com o apoio de Sensoriamento Remoto.

Outra colocação igualmente importante é que, sob o ponto de vista temporal, espectral e geométrico, não foi ainda esgotado o conteúdo de informação hidrogeológica dos dados MSS e SLAR, a despeito do esforço desenvolvido por diversas instituições. Esta colocação se torna mais relevante quando se observa o panorama atual e futuro do Sensoriamento Remoto Orbital. Em se tratando, por exemplo, dos sensores óticos, está operacional desde março de 1984 o Mapeador Temático (TM), um sensor orbital de segunda geração dotado de 6 bandas no espectro refletido e com resolução espacial de 30 metros, como já citado neste trabalho. Este subsistema apresenta significativo aumento no conteúdo de informação, quando comparado com o MSS (a relação é de 5 para 1).

Os dados TM, através de processamento e realce digitais, permitem a extração de padrões radiométricos em imagens geometricamente corrigidas, até escalas de 1:50.000 e 1:25.000. Sob o ponto de vista geométrico, o advento de sensores orbitais de varreduras eletrônicas trará importantes avanços no presente limiar da resolução espacial. Os instrumentos HRV colocados a bordo do satélite SPOT permitirão resolu

ções da ordem de 20 e 10 metros, com precisão geométrica no terreno de 0,5 "pixel". A capacidade destes instrumentos imagearem até 27^{o} fora do nadir deverá criar a geometria de imageamento adequada para estereoscopia. O lançamento deste satélite está previsto para 15/11/85 e deverá estar operacional a partir de 15/01/86.

As novas janelas espectrais abertas pelo Mapeador Temático, bem como a resolução radiométrica fina (<2,4% NE_{ρ}) para as bandas de reflexão permitem novas abordagens temáticas e quantitativas do contexto hidrogeológico. Assim, a banda TM 5 (1,55 - 1,75μm) é apropriada para análise de conteúdo de umidade das folhas e do solo. A banda TM 7 (2,08 - 2,35μm) está centrada em banda de absorção do íon OH, sendo portanto apropriada para mapeamento de solos argilosos.

Além dos pontos considerados, os dados de Sensoriamento Remoto Orbital, por suas características sinópticas e repetitivas, permitem uma integração muito eficiente com medidas pontuais no terreno, obtidas por métodos convencionais ou não. Esta integração pode dar origem a um sistema geocodificado de dados, ou seja, um banco de dados hidrogeológicos.

Os resultados apresentados neste trabalho, bem como os pontos discutidos, sugerem que o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta valiosa para pesquisas e aplicações em Hidrogeologia.

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, Irançuba, São Luiz do Curu.* São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3061-NTE/216).

BARBOSA, M.P.; NOVAES, R.A. *Relatório de atividades do Projeto Ceará.* São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-2988-RPE/452).

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

CLOOS, E. Experimental analysis of frature patterns *Bulletim Geological Society of America.* 66:241-258, 1955.

MARTINI, P.R. *Recursos hídricos por sensoriamento remoto orbital: exemplos de aplicações.* São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3157-RPE/457).

MATTOS, J.T.; VENEZIANI, P. *Projeto Sergipe.* São José dos Campos, INPE, 1985. Inédito.

MENESES, P.R. *O uso de filtragens digitais bidirecionais no realce de lineamentos estruturais em regiões cársticas.* São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1917-RPI/026).

RAMSAY, J.C. Shear zone geometry: a review. *Journal Struct. Geol.*, 2 (12):83-99, 1980.

READING, H.C. Characteristics and Recognition of Strike slip fault systems. *Spec. Publ. int. Ass. Sediment*, 4:7-26, 1980.

SADOWSKI, G.R. *Sobre a geologia Estrutural de Cinturões de cisalhamento continentais.* Tese de Livre Docência. São Paulo, IG/USP 1983.

SALOMONSON, V.V. Water Resources Assessment In: Estes J.E., ed *Manual of remote sensing.* Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1983. V.2, p. 1497-1570.

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

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

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia.* São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE 2227-MD/014).