



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.24.11.48-TDI

INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOMORFOLÓGICOS COM INFORMAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS PARA REALCE E INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

José Alberto Quintanilha

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Ícaro Vitorello, aprovada em 25 de maio de 1988

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37HJNEB>>

INPE
São José dos Campos
2011

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) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.24.11.48-TDI

INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOMORFOLÓGICOS COM INFORMAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS PARA REALCE E INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

José Alberto Quintanilha

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Ícaro Vitorello, aprovada em 25 de maio de 1988

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/37HJNEB>>

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q45i Quintanilha, José Alberto.
Integração de dados geomorfológicos com informação de imagens digitais para realce e interpretação geológica / José Alberto Quintanilha. – São José dos Campos : INPE, 2011.
xvi+108 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.24.11.48-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

Orientador : Dr. Ícaro Vitorello.

1. Integração de dados. 2. Processamento de imagens . 3. Geomorfologia. 4. Geologia. 5. Componentes principais. 6. Sistemas de informações geográficas. I.Título.

CDU 004.932

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Luiz Alberto Vieira Dias

Luiz Alberto Vieira Dias

Presidente

Dr. Ícaro Vitorello

Ícaro Vitorello

Orientador

Dr. Waldir Lopes Ponçano

Waldir Lopes Ponçano

Membro da Banca
-convidado-

Dr. Liu Chan Chiang

Liu Chan Chiang

Membro da Banca

Candidato: José Alberto Quintanilha

São José dos Campos, 25 de maio de 1988

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Ícaro Vitorello, orientador desta dissertação, pela atenção, dedicação, apoio e paciência que dedicou aos problemas encontrados no decorrer dos trabalhos e cuja intervenção foi fundamental para a concretização dos mesmos.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A - IPT, que financiou parte das atividades realizadas e, principalmente, concedeu o tempo necessário à realização dos trabalhos.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais que colocou toda a sua infra - estrutura à disposição.

Ao colega Guaraci José Erthal, do Departamento de Processamento de Imagens do INPE, pela dedicação e paciência na utilização do SGI.

Ao colega Mário Lincoln Etchebehere, do Agrupamento de Recursos Minerais da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do IPT, pelas valiosas sugestões e discussões no decorrer dos trabalhos.

Ao colega Saul B. Suslick, pelo apoio e incentivo nas diversas etapas do trabalho.

À equipe de analistas e operadores do I - 100 e SITIM, do INPE, o matemático José Carlos Moreira e os técnicos: Adriana Abraão, Gilberto Rodrigues Jr., Moacir Godoy Jr., Sérgio Henrique Babá e Valéria A. Pedolan, pelo apoio nos processamentos realizados nesses sistemas.

Ao colega Wougran Soares Galvão pelo paciente apoio no decorrer dos processamentos no I-100 e SITIM.

À equipe de analistas do SGI, do departamento de Processamento de Imagens do INPE, engenheiros Carlos Alberto Felgueiras e João Argemiro Paiva, pelo apoio nos processamentos realizados nesse sistema.

Aos colegas Ari Ferreira Pontes, Ana C. M. Cavani e Carlos Carlucci, pelo inestimável auxílio na preparação e montagem deste trabalho.

À colega Marlene Santana, pelo valioso serviço de revisão e datilografia.

RESUMO

Este trabalho é uma revisão metodológica das técnicas de integração de dados geológicos com a informação espectral obtida de imagens de satélites. Foram discutidos diferentes tipos de pré processamento com o intuito de realçar e/ou melhor discriminar a informação contida nas imagens digitais para fins de integração, dependendo do tipo de estudo focado. Técnicas de integração foram aplicadas a dados topográficos, sendo, para isso, utilizado o Sistema Geográfico de Informações do INPE. Os resultados obtidos tentam correlacionar a informação topográfica, com a espectral (níveis de cinza e tonalidade).

**GEOMORPHOLOGIC DATA AND DIGITAL IMAGE INFORMATION
INTEGRATION TO STRETCH AND UNDERSTAND GEOLOGICAL ASPECTS.**

ABSTRACT

This study is a revision of techniques of integration of geological data and remote sensing imagery. In this respect, discussions will be presented on algorithms for enhancement of geological information within digital imagery. Integration techniques were applied to topographic data with the use of INPE's Geographic Information System.

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELA E QUADROS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 - Razões para integrar dados	1
1.2 - Revisão de trabalhos anteriores sobre integração de dados '	5
1.2.1 - Integração de diferentes tipos de dados com da- dos de Radar	6
1.2.2 - Integração de diferentes tipos de dados com ima- gens LANDSAT	8
1.2.3 - Integração de dados de sensoriamento remoto com A informação geológica	12
1.3 - Materiais e Métodos	28
1.3.1 - Satélite LANDSAT	28
1.3.2 - Sensor TM	28
1.3.3 - O analisador de imagens digitais 1-100	30
1.3.4 - O sistema de tratamento de Imagens (SITIM)	31
1.3.5 - O sistema geográfico de Informações - SGI	32
CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	34
2.1 - Compatibilização dos dados	34
2.2 - Análise de dados	42
2.2.1 - Técnicas de realce	42
2.2.2 - Processos de classificação e discriminação	46

2.3 - Análise espacial	47
2.4 - Técnicas computacionais para integração de dados	50
2.4.1 - Sistemas Geográficos de Informação - SGI	50
2.4.1.1 - Desenvolvimentos anteriores: bancos de dados geográficos	51
2.4.1.2 - Desenvolvimento atual: sistemas baseados no Conhecimento.....	60
2.4.2 - Utilização da transformação de cores IHS para o processamento de dados Integrados	62
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS OBTIDOS.....	75
3.1 - Alvos selecionados	75
3.2 - Métodos quantitativos selecionados	77
3.3 - Considerações finais	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1.1 - Esquema de tratamento de dados espacialmente distribuídos	2
FIGURA 1.2 - Parâmetros orbitais do LANDSAT 5	27
FIGURA 2.1 - Seleção de áreas a serem correlacionadas nas duas imagens	39
FIGURA 2.2 - Correlação entre a janela e as áreas de pesquisa	40
FIGURA 2.3 - Processo de reamostragem	41
FIGURA 2.4 - Exemplo de variograma com patamar ("sill")	49
FIGURA 2.5 - Estruturas de dados vetoriais e por varredura ("raster")	53
FIGURA 2.6 - Estrutura de árvore espacial ("quadtree")	57
FIGURA 2.7 - Dados espacialmente registrados, quando transformados no formato "quadtree", resultam numa floresta de "quadtree".....	58
FIGURA 2.8 - Diagrama de cromaticidade CIE	65
FIGURA 2.9 - Cubo de cores vermelho-verde-azul	67
FIGURA 2.10 - O modelo "hexcone".....	70
FIGURA 2.11 - Transformação de coordenadas do NC adquirido para tonalidade, saturação e intensidade	73
FIGURA 2.12 - Representação simplificada do IHS	75
FIGURA 3.1 - Localização da área estudada	76

FIGURA 3.2 - Composição colorida com os canais 3, 4 e 5 do sensor TM	79
FIGURA 3.3 - Imagem preto e branco da 1-componente principal realçada dos canais 3, 4 e 5 originais	80
FIGURA 3.4 - Composição colorida com as três componentes principais obtidas dos canais 3, 4 e 5	80
FIGURA 3.5 - Imagem topográfica da área estudada	81
FIGURA 3.6 - Composição colorida com a topografia e os canais 3 e 4 do sensor TM	81
FIGURA 3.7 - Composição colorida da topografia e os canais 4 e 5 do sensor TM	82
FIGURA 3.8 - Composição colorida da topografia e as duas primeiras componentes prin- cipais obtidas dos canais 3, 4 e 5 TM	82
FIGURA 3.9 - Composição colorida da topografia (R e B) e a primeira componente prin- cipal (G) dos canais 3, 4 e 5	83
FIGURA 3.10 - Composição colorida das três pri- meiras componentes principais obtidas da topografia e dos canais 3,4 e 5	83
FIGURA 3.11 - Composição colorida das duas pri- meiras componentes principais obtidas da topografia e dos canais 3,4 e 5	84
FIGURA 3.12 - Imagem preto e branco da componente de In- tensidade (I) da composição entre a topo- grafia e os canais 3 e 5 do sensor TM	84

FIGURA 3.13 - Imagem preto e branco da componente de tonalidade (H) da composição entre a topografia e os canais 3 e 5 do sensor TM	85
FIGURA 3.14 - Imagem preto e branco da componente de saturação (S) da composição entre a topografia e os canais 3 e 5 do sensor TM	85
FIGURA 3.15 - Composição colorida das componentes I, H e S obtidas da topografia e dos canais 3 e 5 do sensor TM	86
FIGURA 3.16 - Composição colorida das componentes I, H e S reconvertidas para o espaço de cores RGB, obtidas da topografia e dos canais 3 e 5 do sensor TM	86
FIGURA 3.17 - Histograma da distribuição dos níveis de cinza da imagem topográfica	92

LISTA DE TABELA E QUADROS

TABELA 1.1 - Parâmetros do sensor TM	30
QUADRO 1 - Resultados estatísticos da aplicação da transformação em componentes principais dos canais 3,4 e 5	91
QUADRO 2 - Resultados estatísticos da aplicação da transformação em componentes principais da topografia e dos canais 3, 4 e 5	93

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 RAZOES PARA INTEGRAR DADOS

O crescente avanço nas técnicas e equipamentos utilizados na pesquisa geológica e na prospecção mineral nos últimos anos e o advento do computador como ferramenta chave na análise de dados em todos os campos do conhecimento tem tido seus reflexos, em particular, na geologia e mineração. Alie-se a isso o fato de que os métodos de pesquisa e prospecção em si sós, não esgotam todas as possibilidades existentes na condução das pesquisas, nem na orientação das mesmas, tornando as técnicas de integração de dados hoje, ferramentas indispensáveis no planejamento e otimização da distribuição de recursos e da melhor utilização dos conhecimentos de uma área no decorrer de uma pesquisa. A Figura 1.1 mostra um esquema de como dados espacialmente distribuídos podem ser tratados, em função dos recentes avanços tecnológicos.

Assim sendo, um novo tipo de informação pode somar-se aquelas comumente utilizadas na seleção de novos alvos de pesquisa e/ou no refinamento das interpretações já existentes, e pode ser obtida com o incremento dos dados provenientes de imagens multiespectrais. Tais dados são

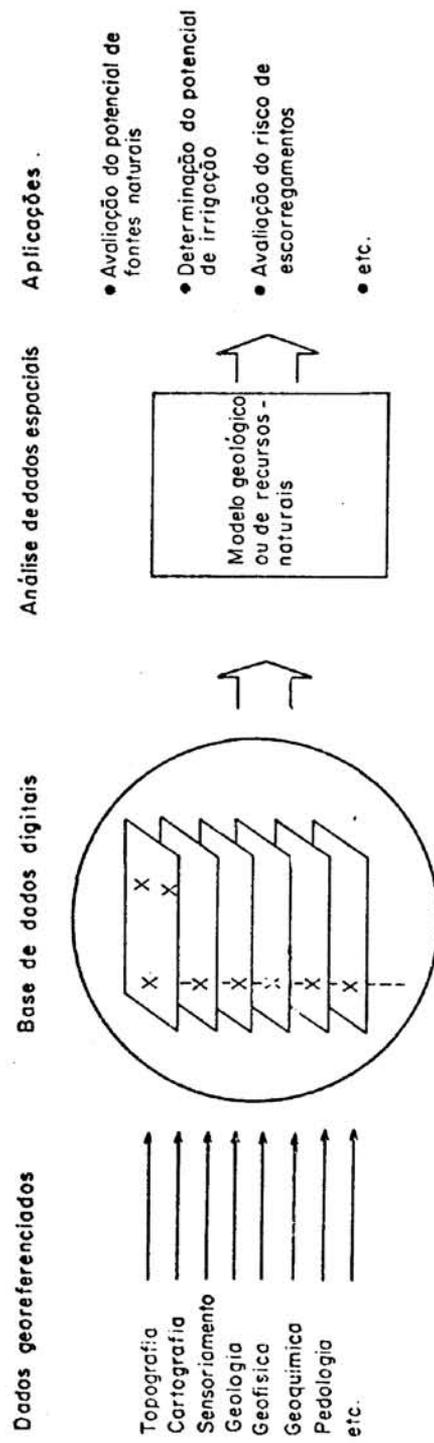


FIGURA 1.1 - Esquema de tratamento de dados espacialmente distribuídos (Fonte: Lauer, 1983, pág. 188, Figura 2).

obtidos através de satélites apropriados, dentre eles a série norte-americana LANDSAT, sendo que o quinto modelo dessa série tem como característica particular, o sensor TM ("Thematic Mapper") de boa resolução espacial, melhor que os anteriores e algumas faixas espectrais que permitem uma melhor discriminação geológica.

O principal objetivo desse trabalho será de apresentar e discutir alguns dos métodos de integração de dados de sensoriamento remoto, com informações sobre a superfície (geologia, geoquímica, topografia, etc) e subsuperfície da Terra (geofísica), com vistas a aumentar os subsídios para uma possível pesquisa geológica, desde a seqüência metodológica, passando pela escolha das variáveis e transformações pertinentes, até a definição de prioridades seja na indicação de áreas, seja na definição do tipo de prospecto. Assim sendo, serão discutidos e apresentados todo o ferramental e potencial metodológico envolvido numa integração de dados geológicos e de sensoriamento remoto e, ao mesmo tempo, será apresentado um exemplo de como isso se processa, quais as dificuldades, vantagens e desvantagens desse procedimento.

A motivação do desenvolvimento desse tipo de trabalho pode ser ilustrada tomando-se como exemplo a pesquisa mineral, onde informações tais como: geologia, geofísica, geoquímica e aplicações de dados de sensoriamento remoto (imagens LANDSAT e dados de radar) são considerados individualmente, sendo o caráter coletivo dado pelo(s) próprio(s) intérprete(s) (Crawford, 1981). Além disso, o grande desenvolvimento da área computacional na década passada

encorajou o estabelecimento de bases de dados integradas, bem como o avanço dos sistemas de gerenciamento das bases de dados de imagens tornaram possível a extração de informações integradas. Tais fatos, além de permitirem a utilização das imagens de satélite e dados de superfície espacialmente registrados, traz as vantagens de se poder utilizar as técnicas de análise automática, tais como: os métodos de classificação, resultados quantitativos mais exatos (como medidas de área, por exemplo), uso de maior dimensionalidade dos dados, e mapas temáticos produzidos com maior rapidez e menor custo.

A integração de dados espacialmente distribuídos pode ser definida como o processo de combinar diferentes tipos de dados espaciais e prepará-los para armazenamento, recuperação, análise e edição, esta última entendida como a forma de se apresentar os dados e/ou resultados (Knapp, 1980). Tal integração incorpora uma grande variedade de técnicas de manipulação e processamento de dados as quais estão diretamente relacionadas as características dos dados e as peculiaridades dos programas ("software") e equipamentos ("hardware") utilizados. A relação entre as características computacionais dos dados espacialmente distribuídos (estrutura, formato e volume) e os equipamentos/programas (capacidade de memória, algoritmos de manipulação de dados, procedimentos de gerenciamentos de dados e existência de periféricos e suas características), é estabelecida através da forma de obtenção dos dados, a qual se refere tanto aqueles observados em formatos diretamente compreendidos pelo computador (caso das imagens de satélite e, em alguns casos, da geoquímica e da geofísica, por exemplo), quanto

das fontes de material não-digital, os quais serão transferidos para a máquina numa forma que permita o seu manuseio através do computador.

A integração de dados via computador utilizando-se das informações radiométricas obtidas de satélites de imageamento, tem encontrado muitas e variadas aplicações em diversos campos do conhecimento, os quais utilizam dados espacialmente distribuídos. São exemplos dessa aplicação o uso dessas técnicas na agricultura e reflorestamento (Ponzoni, 1984; Martin, 1985), na cartografia (na qual os russos definem os "geoicones", incorporando as teorias e técnicas de processamento e interpretação de imagens a cartografia - Berlyant, 1986) e na climatologia (Cybula e Nyquist, 1987).

1.2 - REVISÃO DE TRABALHOS ANTERIORES SOBRE INTEGRAÇÃO DE ----- DADOS -----

No texto que segue, apresenta-se uma revisão e um resumo dos trabalhos levantados sobre integração de dados, considerando variáveis geológicas e/ou de imagens de satélite. A ênfase dessa revisão será a utilização dessas variáveis na pesquisa mineral, uma vez que grande parte do desenvolvimento das técnicas de integração tem ocorrido nesse campo da pesquisa geológica, talvez em função dos custos que uma análise desse tipo possa vir a economizar na fase de prospecção.

Evidentemente essa revisão não esgota o assunto, nem no seu conteúdo e forma, nem nas possibilidades de aplicação. No entanto, objetiva esclarecer como se tem feito

a integração de dados em diferentes aplicações, mostrar o seu potencial e apresentar as idéias mais importantes referentes a esse assunto, na área de conhecimento mencionada e restrita principalmente à bibliografia relativa ao sensoriamento remoto orbital.

Alguns termos utilizados comumente na formalização de uma integração de dados, tais como: ponto de controle, correlação, etc, serão definidos e/ou melhor esclarecidos no Capítulo 2, embora acredite-se que isso não influirá no entendimento do texto a seguir.

1.2.1 - INTEGRAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE DADOS COM DADOS DE ----- IMAGENS DE RADAR -----

O objetivo principal da integração nesse caso é facilitar o entendimento das características dos sistemas de imageamento de radar de abertura sintética e explorar eficientemente a imagem por eles produzida (Zobrist e outros, 1979). O registro de imagens de radar com imagens LANDSAT é dificultado devido a variação na aparência das feições nas duas imagens, impedindo o uso de medidas de correlação automática, uma vez que a localização de coincidências (pontos de controle) é imprecisa e insegura, impossibilitando a obtenção de uma distribuição uniforme dessas coincidências no campo de visada considerado.

A solução nesse caso é o ajuste de funções polinomiais de ordem variável, a um conjunto de pontos coincidentes, manualmente localizados.

Quando se obtém imagens de áreas com súbitas variações topográficas, a sobreposição pode introduzir dis-

torções locais as quais não são removidas pela transformação geométrica polinomial. Para evitar isso, utilizam-se dados topográficos digitais, que removem as feições produzidas pelas variações em suas altitudes. A capacitação, atualmente em desenvolvimento nessa área, consiste em remover efeitos topográficos grosseiros estimando uma componente topográfica de radiação refletida, baseada numa superfície normal, no ângulo de iluminação e em modelos matemáticos que descrevem os mecanismos de espalhamento. O desenvolvimento desse procedimento pode permitir, no mínimo, algumas inferências sobre a composição da superfície em áreas de topografia ativa, onde tais determinações são excluídas pela drástica variação de brilho existente entre declives recebendo iluminação direta versus iluminação oblíqua.

Uma modificação do enfoque tradicional de integração de imagens de sensoriamento remoto, é unir dados de imagens nos formatos digital e filme, obtidos por diferentes sensores, mas apoiados num mesmo mapa topográfico, com o fim de ou facilitar a revisão do próprio mapa ou a extração de informações temáticas (Welch, 1984).

1.2.2 - INTEGRAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE DADOS COM IMAGENS ----- LANDSAT -----

Procedimentos de integração tem sido desenvolvidos de maneira que possam gerar produtos úteis tanto para análises subjetivas quanto para que procedimentos quantitativos possam ser utilizados. Assim sendo, um mínimo de cuidados e procedimentos básicos tem sido levantados e discutidos na literatura existente sobre o assunto. Assim, Welch (1984) descreve um conjunto de passos necessários a integração de dados:

a) delineamento da área de estudo em todos os conjuntos de dados e a conversão de mapas e imagens em filme para o formato digital;

b) localização dos pontos de controle em um sistema de coordenadas padrão (por ex.: U.T.M.) e a determinação das coordenadas da imagem ("pixel" e linha de valores) para todos os pontos de controle, com a ajuda de um sistema interativo de processamento de imagens digitais;

c) retificação de cada conjunto de dados no sistema de coordenadas de referência através do uso de polinômios, incluindo a reformatação/reamostragem dos "pixels" para uma dimensão uniforme (por ex.: 50m);

d) correções de primeiro grau, interativas, para qualquer má classificação residual detectada nos conjuntos de dados retificados;

e) edição ("display") e análise dos conjuntos de dados integrados.

Lauer (1986) ressaltou que os recentes avanços

em equipamento e "software" e com pessoal adequadamente treinado, a síntese manual de dados díspares tem sido gradualmente substituída por base de dados cartográficos digitais e técnicas de processamento de informação espacial. Alguns dos itens por ele levantados são:

a) as informações necessárias, os esquemas de classificação das fontes de dados (se geológico, geomorfológico, estrutural, etc.) e a exatidão das saídas (nível de detalhes, formatos de edição, etc) são alguns dos fatores que precisam ser definidos;

b) identificação da fonte do material, caracterizando-os como pontos, linha, polígono, célula, superfície, etc. (topografia geralmente está em intervalos regulares, informações de mapas estão em formato vetorial, dados LANDSAT na forma de "pixel", etc);

c) construção da base de dados digitais: formato dos dados (malha ou vetor), geometria dos dados (projeção dos mapas), referência geográfica (sistema de coordenadas) e resolução (nível de detalhe espacial), os quais caracterizarão a base de dados digital;

d) performance da análise computacional: 1) apresentação e pré-processamento dos dados LANDSAT brutos; 2) registro de um mapa-base (seleção e digitalização de pontos de controle, gerar transformações, reamostrar e registrar os dados); 3) produzir limites ou máscaras adminis-

(1) tratativas (digitalizar limites dos mapas usados ou derivados dos dados da linha digitalizada, registrar com dados LANDSAT e criar máscaras); 4) estratificar os dados LANDSAT brutos (identificar áreas e agrupar esses blocos em classes espectrais); 5) produção das estatísticas de treinamento (calcular e avaliar as estatísticas das classes de treinamento); 6) realizar a classificação preliminar (escolher as regras de decisão da classificação, classificar os blocos de treinamento dentro dos estratos, atribuir classes espectrais às categorias preliminares); 7) verificação de campo; 8) classificação final (editar as estatísticas dos grupos, aplicar a regra de decisão da classificação à área inteira e agregar classes espectrais em categorias de classificação final dos materiais);

e) geração das saídas.

Richards (1984) ressalta que a maior vantagem na integração de diferentes bases de dados é simplesmente tornar possível a avaliação de imagens e dados auxiliares espacialmente registrados, possibilitando que melhores métodos de recuperação ("data retrieval") de dados possam ser desenvolvidos, análises possam ser feitas visualmente e métodos de análise automática possam ser usados, o que aumenta a precisão dos resultados quantitativos que possam ser obtidos, além de permitir que dados de alta dimensiona-

(1) máscaras administrativas = delimitadores das áreas a serem trabalhadas, em geral com formas geométricas regulares (quadrado, hexágono).

lidade possam ser manipulados e mapas temáticos possam ser produzidos de forma rápida e não muito dispendiosa. Ressalta também, que algumas operações não são tão facilmente automatizáveis, como por exemplo a detecção e análise da forma, uma característica importante em mistura de dados, na definição da precisão e custos de classificação. Outro aspecto levantado por Richards (op.cit.), é a atenção a ser dada as metodologias e algoritmos usados, uma vez que processos de classificação tais como os gerados por estimativas de máxima verossimilhança não deverão ser aplicados diretamente nos dados misturados, desde que suas pressuposições básicas estarão violadas (normalidade, matrizes de variância-covariância positivas e definidas, observações independentes, etc).

Combinar dados de imagem e dados colaterais espacialmente distribuídos é visto por Strahler e outros (1980), como um problema de combinar variáveis contínuas e categóricas, e sugerem a utilização de modelos "logit" (Wrigley, 1976) para se juntar tipos de dados díspares, observando que estes podem ser usados diretamente como classificadores ou indiretamente como estimadores de probabilidades a priori para a classificação de máxima verossimilhança. Meehan (1980) utiliza transformações Z e Box/Cox (Box e Cox, 1964) a um conjunto de 28 variáveis geológicas, geofísicas, geoquímicas, radiométricas e outras delas derivadas e classifica-as segundo métodos paramétricos (análise discriminante "stepwise"), e não-paramétricos (Specht, 1967).

Depreende-se dos trabalhos previamente citados, que embora a integração de diferentes e diversas

bases de dados seja fundamental no sentido em que permite uma avaliação mais completa, rápida e eficiente dos dados disponíveis (através do uso das técnicas computacionais de processamento de imagens), cuidados devem ser tomados não apenas do ponto de vista da integração (escala das fontes de dados, existência e distribuição dos pontos de controle etc.) quanto nos aspectos computacionais envolvidos no processo, desde o armazenamento (recuperação dos dados) até a utilização ou não dos algoritmos tradicionais de processamento de imagens (caso da classificação por verossimilhança, citada por Richards, 1982). Além disso, deve-se ter o cuidado de considerar as características estatísticas das variáveis consideradas (se contínuas ou discretas, escala de medida, categorias, etc.).

Também é importante observar que os principais sistemas em uso, são aplicados a base de dados digitais já existentes e consistidas, ou seja, os dados já estão de alguma forma armazenados em computador e já foram previamente corrigidos à fase de integração.

1.2.3 - INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO COM A ----- INFORMAÇÃO GEOLOGICA -----

O principal objetivo da integração de dados de sensoriamento remoto com aqueles de origem e conteúdo geológico, é a previsão da localização de possíveis áreas de destaque em termos geológicos, geofísicos, geoquímicos, estruturais, etc.

As razões para se valer dessa integração variam conforme a natureza da pesquisa, o conhecimento que

se tem da área a ser pesquisada e do tipo e qualidade da informação existente. Assim, por exemplo, Zhuang e outros (1985) postulam que um caminho para a exploração mineral pode ser obtido através do estabelecimento de modelos geológicos e matemáticos de metalogenia, baseados na integração da informação sobre elementos estruturais interpretados de imagens e os dados obtidos do material geológico, geofísico e geoquímico, de modo a prever províncias metalogenéticas prospectivas.

O projeto "Data Integration/Remote Sensing" do Los Alamos National Laboratory, foi elaborado para desenvolver métodos de integração de diversos conjuntos de dados para acelerar o processo de avaliação (Freeman e outros, 1983). Os maiores objetivos desse projeto foram: (1) desenvolvimento de técnicas simples que permitam rápidas análises do total de dados geológicos; (2) entendimento do interrelacionamento dos diferentes tipos de dados; e (3) aplicação do conhecimento derivado para resolver problemas em geociências. Nesse projeto, diferentes conjuntos de dados contendo diversas resoluções espaciais e obtidos de uma grande variedade de formatos (tabelas, mapas, formas digitais), foram registrados e integrados espacialmente antes que pudessem ser examinados estatisticamente para correlações e reconhecimento de padrões significantes (Bolivar e outros, 1983).

Os resultados obtidos indicam que a análise de dados integrados é uma maneira eficiente de rapidamente se identificar feições e correlações, sejam elas evidentes ou não.

Green (1984) ressalta que um sistema de aná-

lise de imagens facilita a identificação e o mapeamento de regiões com base em características interativamente pré-determinadas. Cita, por exemplo, que o critério geoquímico que define a característica metalogenética identificada sobre uma assembléia de metais básicos, pode ser aplicado diretamente na análise de imagens e no mapeamento de ocorrências que se assemelham, na geoquímica multi-elemento, a outros lugares e assim definir alvos de exploração. Nesse trabalho, a integração foi totalmente feita através das técnicas computacionais usuais, de modo que os dados geoquímicos foram transformados em imagens através de interpolação numérica, gerando uma rede de "pixels" de 512 x 512, codificados no chamado formato "byte" (8 "bits") e que permite o armazenamento de decimais no intervalo de 0 a 255. O arquivo de imagens geológicas foi criado dentro de um sistema de análise de imagens pela criação de polígonos contendo os "pixels" digitalmente codificados por apenas dois números, 0 e 1 (a ocorrência de uma particular unidade geológica é inserida num(s) polígono(s) compreendendo um grupo de "pixels" codificados como 1, e a não-ocorrência como "pixels" 0). Técnicas de integração numérica foram usadas para gerar os arquivos-imagens de dados estimados localmente (ex.: médias-móveis). Os resultados mostrados pelo autor nesse trabalho, apenas evidenciam as facilidades de mapeamento e identificação de regiões baseadas nas vantagens dos sistemas de análise de imagens, de maneira visual, sem outras aplicações de técnicas computacionais ou estatísticas.

Craig e Green (1984) utilizaram-se de técnicas semelhantes para integrar topografia, geologia, geoquímica e

sensoriamento remoto a fim de definir anomalias geoquímicas com maior certeza. As imagens LANDSAT foram reamostradas para uma malha regular de 50m e a topografia teve os seus contornos digitalizados a cada 20m de separação vertical, gerando uma imagem digital posteriormente interpolada em uma malha regular, considerando até 8 direções e uma distância de até 40 "pixels". No caso das amostras de sedimento de corrente, foi observado que a vizinhança topológica de um ponto amostrado não envolve apenas o ponto, mas deve-se considerar toda a área de bacia à montante, tal que a cada amostra à jusante, existe uma contribuição gradual natural da vizinhança. Neste caso, em função da consideração da vizinhança topológica de cada ponto, o processamento foi extremamente penalizado a ponto de ser necessário um processamento específico para cada elemento químico considerado.

Green e Craig (1984) discutem a relação entre a qualidade da informação geológica e o sucesso dos processos de integração e classificação e dividem os dados necessários em três tipos: dados observados, modelo físico e mapa geológico. Os primeiros representam os vários tipos de informação que podem ser coletados em um programa de exploração regional; o modelo físico fornece a conexão entre o dado e as propriedades físicas e químicas da rocha. O mapa geológico fornece a informação espacial essencial a qualquer procedimento. Segundo esses tipos de dados, as discrepâncias eventualmente observadas, podem advir de uma de três causas:

- i) o modelo é inadequado;
- ii) o mapa geológico está errado;

111) as propriedades das rochas estão erradas; assim sendo, eles postulam que qualquer sistema computacional voltado para integração de dados geológicos, deva ser capaz não só do simples desenvolvimento de modelos, como também permitir ao usuário desenvolver seus próprios modelos e modificá-los.

No trabalho de Mellinger e outros (1984) o tema principal é a exploração geoquímica, o conjunto de informações de outras variáveis, sendo considerado como centrais as variáveis químicas, ao qual outras informações podem ser integradas. Dois tipos básicos de integração de dados não-químicos com dados químicos são considerados: superposição de informações provenientes de várias fontes, mas que tem interpretação no contexto químico; e, interação entre os vários conjuntos de variáveis, desde que essas informações possam ser quantificadas, para integração, no contexto químico. Na prática, ambos os tipos podem fazer parte de um único processo interpretativo. As etapas de um processo de integração considerando essas colocações e utilizando dados geográficos e geofísicos, foram identificadas pelos autores como:

a) uso de sobreposições ("overlays"): as estruturas dos dados selecionados são projetadas no sistema de coordenadas geográficas e sobrepostas aos dados geográficos e/ou geofísicos. A integração é obtida por superposição e resulta num processo de tomada de decisão hierárquico;

b) correções: algumas variações dos dados têm causas conhecidas e podem ser corrigidas (ex.: variações sazonais na concentração de elementos em água ou vegetação, ou variações devidas a co-precipitação de hidróxidos de

ferro e manganês ou matéria orgânica);

c) seleção de subarquivos: divisão dos dados em conjuntos homogêneos, permitindo a supressão das variações devidas aos efeitos da compartimentação subpopulacional (ex.: subarquivo litogeoquímico pelos maiores tipos de rocha, ou por grupos de elementos);

d) análise de dados multivariados por blocos: cada conjunto de variáveis (por exemplo, somente os elementos químicos) são estudados separadamente, considerado como um "bloco", e comparado com um outro "bloco" (ex.: variáveis petrofísicas são estudadas por processo similares para o mesmo conjunto de amostras). Procedimentos estatísticos multivariados são utilizados para estimar a correlação das estruturas de dados entre esses blocos disjuntos. As estruturas "interblocos" resultantes podem ser consideradas como a "transformação da informação" entre as fontes de informação;

e) projeção direta: variáveis não químicas podem ser dispostas no espaço químico e assim a sua relação com a estrutura de dados do espaço químico pode ser observada e avaliada.

Crawford (1981) trabalha com a integração de dados de sensoriamento remoto, espectrometria de raios gama e aeromagnetismo, mas o critério utilizado para seleção de dados e o método de análise de dados integrados pode ser aplicado a outros tipos de informações geológicas, geofísicas e geoquímicas. Seu estudo dedica-se essencialmente ao uso de dados integrados para discriminação litológica, utilizando-se de métodos de interpretação fotogeológicos e

estatísticos, a fim de estudar mais sobre a geologia da superfície e a pouca profundidade ("near-surface geologic environment").

Neste trabalho de Crawford, os dados combinados foram inicialmente analisados pela superposição dos conjuntos iniciais de dados através de um sistema de computador interativamente controlado, onde se observou que feições lineares e circulares vistas nas imagens LANDSAT, correspondiam a diferentes características geofísicas. Métodos de classificação supervisionada e não-supervisionada foram usados nos dados combinados, a fim de se discriminar os diferentes tipos de rocha na área e para prever possíveis alvos de exploração. Em seus resultados, obteve indicação de que as variáveis geofísicas (raios gama e magnéticas) discriminavam vários domínios geológicos, sendo que a informação espectral pouco contribuiu para a geologia, talvez devido ao fato da área considerada ter uma cobertura vegetal densa, o que limitava a resposta captada pelo sensor (no caso o MSS).

Missallati e outros (1979) utilizaram um enfoque totalmente estatístico (análise discriminante), sem nenhum modelo geológico prévio (ao contrário de Crawford, o qual tinha um modelo geológico e um correspondente modelo de sensoriamento, baseado em tamanho, forma, mineralogia e associações de tipos de rocha), para localizar áreas com maior potencial para mineralização de urânio. Ao invés disso (dos modelos), utilizou áreas de treinamento com mineralizações conhecidas para calcular a função discriminante (o que, implicitamente, descreve um modelo para o depósito procurado), estabelecendo critérios consistentes e gerais para a

detecção de depósitos radioativos, definindo estatisticamente quais variáveis são indicadoras de ocorrências de urânio. Além disso, esse esquema permitiu o uso de técnicas estatísticas de classificação e agrupamentos, para pesquisa de áreas similares próximas e em outros lugares ("assinatura de extensão") através do conhecimento obtido da área estudada ("assinaturas extraídas").

Marston e outros (1982) demonstraram a utilidade de pesquisas integradas para priorização de pesquisas em áreas onde as ocorrências minerais são bem conhecidas, através de dados de LANDSAT, geofísica e geoquímica. Nesse trabalho, distritos minerais da região considerada são classificados de acordo com o seu tipo genético e possível resposta espectral (modelos geológico e de sensoriamento como em Crawford, op.cit.) e concluem que imagens LANDSAT fornecem importantes informações sobre ocorrências minerais somente quando a geologia próxima a superfície reflete o processo de mineralização dominante.

Slaney (1985) utilizou-se de uma combinação de dados MSS-LANDSAT e geofísicos (espectrometria de raios gama) para discriminar granitos de metassedimentos, dentro de um sistema de análise de imagens. Neste caso, devido ao fato de que a superfície do terreno influenciou fortemente a análise dos dados radiométricos, a falta de padrão observada nas cenas MSS facilitou as comparações entre os mapas, através de superposição destes com as imagens, uma vez que essa específica informação (falta de padrão nas imagens) foi usada para identificar padrões de fraturamento.

Briggs e outros (1984) usam dados de altitude, para realce, recuperação e análise de dados de sensoriamento. Descrevem a formação de um modelo de altitude aumentando sua exatidão, a derivação de informações sobre fluxo de água a partir da altitude e uma aplicação destas para exploração geoquímica e poluição de bacias.

Dennen e Barrell (1983), através da combinação de dados estruturais obtidos a partir de processamentos em imagens LANDSAT (observação de lineamentos e densidade de lineamentos), informações em áreas de possível alteração hidrotermal e dados químicos, produziram uma base de dados em formato digital a qual foi usada para definir o potencial geológico, energético e mineral (GEM: "Geological, Energetical and Mineralogical") da área considerada. Os autores concluem que o modelo proposto, embora muito genérico, pode ser aplicado em áreas nas quais o potencial GEM é importante e para as quais um modelo possa ser desenvolvido para pesquisas de interesse.

Patterson e Walker (1984) utilizam dados MSS LANDSAT e imagens geofísicas para ajudar a interpretação da estrutura interna de plutons graníticos do Proterozóico. Neste caso particularmente, as relações entre dados geofísicos (dados magnéticos e imagens radiométricas de K, U, Th e contagem total) e as imagens LANDSAT não foram totalmente exploradas e tentativas de classificação supervisionada mostraram uma fraca capacidade de distinguir entre diferentes tipos de granitos, embora estes, como um todo, fossem perfeitamente mapeados nas imagens.

Meehan (1980) também se vale da integração de dados para mapeamento litológico, comparando técnicas de

classificação paramétricas e não-paramétricas. Foram utilizadas 28 variáveis geológicas, geofísicas, geoquímicas e dados espectrais, além de outras variáveis derivadas das anteriores (tais como componentes principais, variância e desvio-padrão espectral, intersecções de lineamentos, etc.). Neste caso, o autor conclui que não existe diferença significativa entre os métodos classificatórios usados e não explica as diferenças observadas.

Mielke (1981) combina técnicas de sensoriamento com geoquímica de solo e métodos fitogeográficos para mapear sítios mineralizados, em áreas de florestas e vegetação densa. Após a determinação das assinaturas vegetais e geoquímicas, foi feita a classificação para o potencial de localização de comunidades florais sensíveis a minerais. Neste caso, uma característica importante do sensoriamento remoto é a sua reprodução temporal, que permitiu o reconhecimento imediato de feições através dessa característica da técnica.

No trabalho de Critchley e outros (1984), o objetivo era aumentar a eficiência na exploração de metais básicos, estabelecendo modelos de correlação estatística de diferentes conjuntos de dados, os quais pudessem discriminar entre áreas mineralizadas e não mineralizadas. Nesse caso, o uso, processamento e interpretação dos dados de satélite partiu da premissa de que as mineralizações estavam associadas a falhas, tornando assim, relevante a interpretação de lineamentos. A análise estatística conduzida sobre os lineamentos foi baseada no trabalho de Pretorius e Partridge (1974) e a discriminação entre áreas mineralizadas e

as não-mineralizadas foi obtida por métodos estatísticos de análise discriminante, usando dados geoquímicos, geofísicos e estruturais. Os autores concluem que integrações seguindo essa metodologia, podem significar diminuição de custos e tempo de exploração, além de aumentar as chances de sucesso.

Conradsen e outros (1984) estudam a aplicabilidade das técnicas de sensoriamento remoto na exploração de urânio em áreas do cristalino ártico. Para tanto, valem-se de dados dos satélites LANDSAT 2 e 3, dados geoquímicos, geofísicos e espectrométricos (gamma). Para integrar esses dados, após aplicar uma série de transformações nos mesmos a fim de compatibilizá-los, aplicam a técnica do IHS ("coordenadas de Munseil"), observando feições e anomalias que não puderam ser explicadas pelo conhecimento geológico disponível à época, indicando no caso, a necessidade de trabalhos posteriores de pesquisa e mapeamento.

Aronoff e outros (1986) desenvolveram um procedimento para localizar mineralizações de tungstênio associadas a intrusões, utilizando-se de um modelo de depósito, imagens LANDSAT e geoquímica de superfície, e definindo um índice por eles chamado de índice de co-ocorrência. Tal índice é baseado em feições curvelíneas observadas em imagens LANDSAT, imagens geoquímicas interativamente geradas sobre várias tentativas de definição de anomalias, distribuição espacial das anomalias de tungstênio e identificação das coincidências geoquímicas, e que avalia graficamente a significância espacial de todos os elementos os quais sejam geneticamente ou espacialmente associados as mineralizações consideradas. O mesmo autor (Aronoff, 1985) divide as técnicas de integração em duas classes: integração visual e

integração analítica, ressaltando que na segunda categoria se inclui a componente espacial de co-ocorrência, neste artigo aplicada a prospecção de petróleo e usando o conceito de anomalia dilatada, ou seja, ao invés das técnicas usuais de interpolação usadas em dados geoquímicos, o autor define uma vizinhança-limite para cada elemento químico, e atribui pesos maiores a essa vizinhança. Em outro trabalho (Aronoff e Goodfellow, 1985) utilizam-se somente das técnicas de processamento de imagens para integrar dados geoquímicos, mapa geológico, mapa topográfico e mapa de ocorrências minerais, realizando uma comparação da relação custo/benefício entre as pesquisas conduzidas com e sem integração de dados, concluindo ser esse tipo de conduta, um procedimento poderoso e aparentemente eficiente na busca de depósitos minerais, uma vez que grandes somas poderiam ser dispendidas na pesquisa de falsas anomalias.

Eliason e outros (1983) avaliam a utilidade de se apresentar dados radiométricos e campo potencial como imagens realçadas e a correlação estatística entre as variáveis medidas e os padrões de alteração geoquímicos de superfície e subsuperfície, concluindo que o estágio atual das técnicas de processamento de imagens é suficientemente avançado para se verificar a correlação entre dados radiométricos e de campo potencial para a pesquisa de petróleo.

Kowalik e Glenn (1987) também avaliam as técnicas de processamento de imagens para realçar dados aeromagnéticos e LANDSAT para melhorar a interpretação estrutural de três prospectos minerais. Os resultados foram analisados de forma qualitativa (sem processamento das imagens

criadas) e verificaram que esse método aumenta a confiabilidade da análise estrutural e levanta questões relativas a origem de estruturas que aparecem somente em imagens LANDSAT.

Poscolieri e outros (1986) integram dados digitais de diferentes fontes para inferir as relações entre geologia, geofísica, geomorfologia e dados espectrais LANDSAT para pesquisa de corpos mineralizados. O objetivo de seu trabalho é a detecção de estruturas circulares e pseudo-circulares com base na integração das informações da rede de drenagem, análise de lineamentos, imagens LANDSAT e mapas de avaliação geofísica e topográficos. As informações obtidas de cada tipo de dado são, em geral, complementares e consideradas pelos autores como uma ferramenta adicional bastante útil na detecção de alvos minerais.

Blusson e outros (1984) fazem uma comparação entre as análises manuais e automáticas de dados obtidos por satélites orbitais a diferentes escalas, corrigidos a dados de campo e mapas geofísicos. O objetivo principal era apresentar a análise estrutural como uma importante característica observável nesses dados para estudos tectônicos. Nesse estudo, é utilizado o conceito de imagem deslocada ("shift images"), através da translação de dois "pixels" da imagem original e conseqüente subtração dessas duas imagens, realçando as estruturas perpendiculares a direção de translação. Os autores também se valem de técnicas de detecção de bordas ("brightness edges"), permitindo assim, que os lineamentos fossem obtidos diretamente das imagens e seus respectivos diagramas de roseta produzidos automaticamente. Esses resultados foram comparados aqueles manualmente obtidos,

observando-se a pouca diferença entre as rosáceas manual e automaticamente obtidas, enquanto as imagens deslocadas permitiram a identificação de importantes falhamentos confirmados pelas anomalias gravimétricas e conectar feições descontínuas em superfície as quais refletiam um fenômeno de embasamento contínuo.

Aarnisalo (1984) descreve três níveis de processamento e integração de diferentes tipos de dados em áreas densamente vegetadas: processamento digital ou convencional de imagens e dados, composições fotográficas preto-e-branco ou coloridas e transparências e sobreposições manuais. A ênfase do trabalho é na exploração direta dos resultados obtidos, ou seja, interpretações estruturais ou litológicas dos dados integrados não são separadamente discutidas, havendo apenas algumas observações de algumas feições regionais.

Franklin (1987) estudou a discriminação de tipos de solo através da integração de modelos digitais de terreno ("digital terrain mapping") com a informação espectral e geomorfológica. A análise desses dados pode ser subdividida em dois estágios: análise de correlações (relações entre padrões espectrais e a topografia e a geometria do terreno) e análise discriminante (determinação de classes de estruturas através de informação de campo e classificação supervisionada de outras áreas).

Assim sendo, da bibliografia consultada, pode-se depreender não só o potencial da integração de dados, mas também as etapas e finalidades desse processo. O potencial do processo de integração relativo à qualidade, importância

e eficiência pode ser avaliado pelos resultados obtidos nas diferentes áreas da geociências citadas, em particular na pesquisa mineral, notadamente se considerarmos as informações geradas, adicionais àquelas já conhecidas. Fica evidente também que: a escolha dos métodos de integração, das técnicas de seleção das informações para integração, e das técnicas de análise de dados integrados, são fases importantes em qualquer processo de integração de dados, sendo determinantes para um melhor desempenho do mesmo. Observa-se também que, no caso da integração para fins de análise geológica, fatores tais como: custo de obtenção e de análise de dados, tipos de dados disponíveis e tipo de terreno são importantes, mas a existência de um modelo geológico é o fator primordial, uma vez que esse modelo é que orientará basicamente a escolha do método de integração, das variáveis a serem consideradas e do tipo de análise a ser utilizada. A Figura 1.2 apresenta um esquema resumido e genérico originado fundamentalmente da revisão bibliográfica.

Pode-se verificar também que, na maioria dos processos da integração citados, o objetivo comum foi a tentativa de gerar dados (e/ou variáveis) que facilitassem o uso das técnicas de reconhecimento de padrões multivariados, principalmente os processos de classificação ("cluster analysis"), os quais normalmente não produzem bons resultados em análises geológicas feitas sobre produtos de sensoriamento remoto.

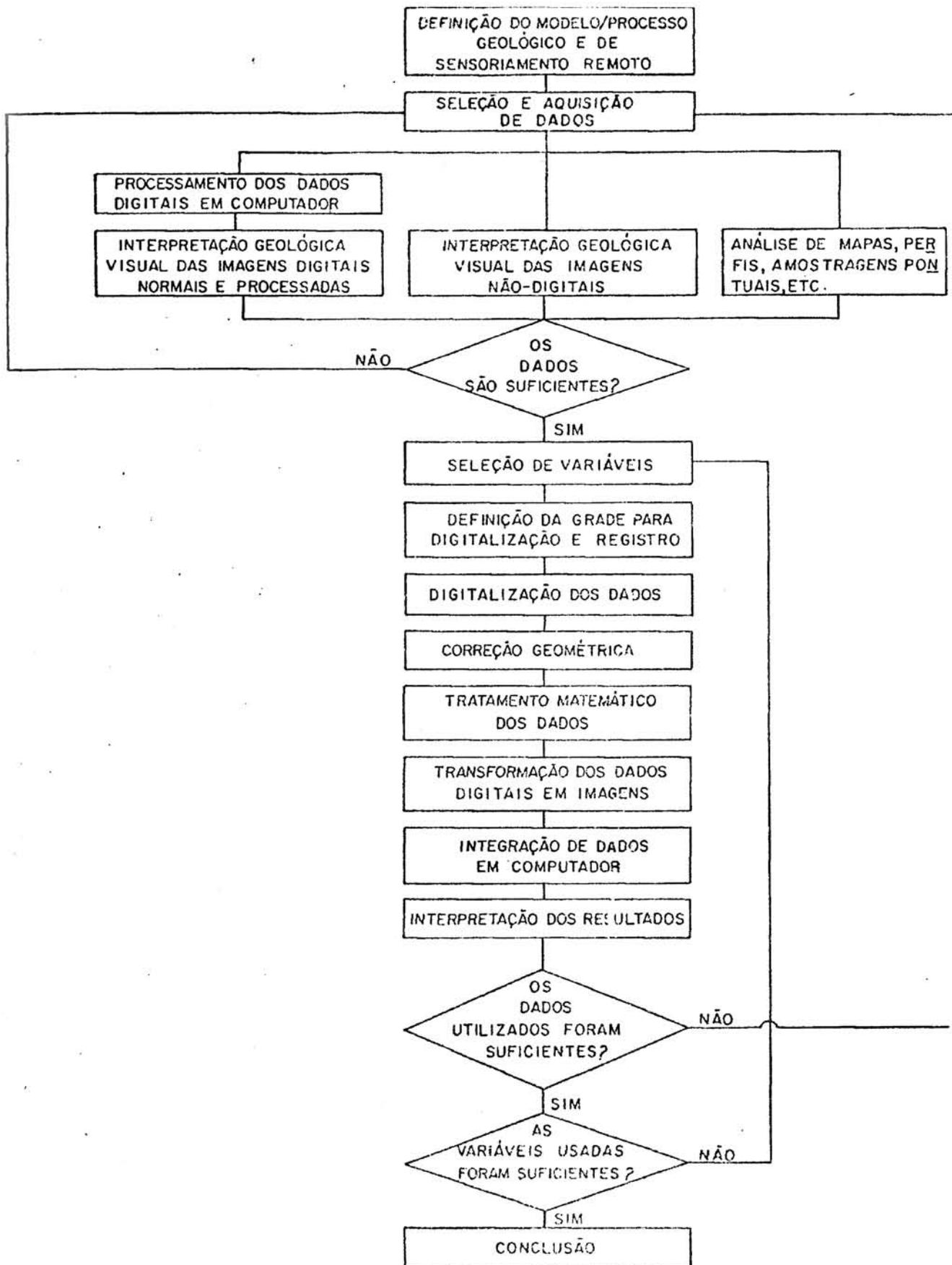


FIGURA 1.2 - Esquema genérico de integração de dados geológicos e a informação radiométrica digital.

1.3 MATERIAIS E METODOS

1.3.1 SATELITE LANDSAT 5

O satélite LANDSAT 5, lançado em março de 1984, é de fabricação norte-americana e opera a uma altitude de 705,3 km em relação ao Equador, o qual cruza de norte para sul aproximadamente às 9:45 horas, hora local. Sua órbita é sol-síncrona e quase polar, formando um ângulo de 98° com o plano equatorial, enquanto o seu período corresponde a 98.9 minutos, como mostra a Figura 1.3. Cada órbita é imageada numa extensão de 185 km no terreno e o ciclo de repetição de imageamento de uma mesma superfície é de 16 dias (Sano, 1987 e Irons, 1985).

1.3.2 SENSOR TM

O sensor TM, à época de seu lançamento, representava um grande avanço tecnológico com relação aos seus antecessores. Além dos melhoramentos introduzidos no próprio sistema LANDSAT 4 e 5 (melhor controle da atitude da plataforma e transmissão de dados diretamente para uma estação receptora no solo durante a aquisição dos dados), o avanço tecnológico introduzido permitiu que esse sistema sensor tivesse uma resolução espacial mais fina, bandas espectrais localizadas em novas regiões do espectro eletromagnético e um maior número de níveis de quantização dos dados, o que aumentou as vantagens de um realce da sensibilidade radiométrica.

Esse sensor imageia num ângulo de $15.4^{\circ} \pm 7.7^{\circ}$ do nadir, tem seis bandas localizadas nas regiões do visível e do infravermelho refletido (1 a 5 e 7), mais uma na região do infravermelho termal (banda 6), cujos IFOV's no solo (resolução espacial) são respectivamente de 30 e 120 metros.

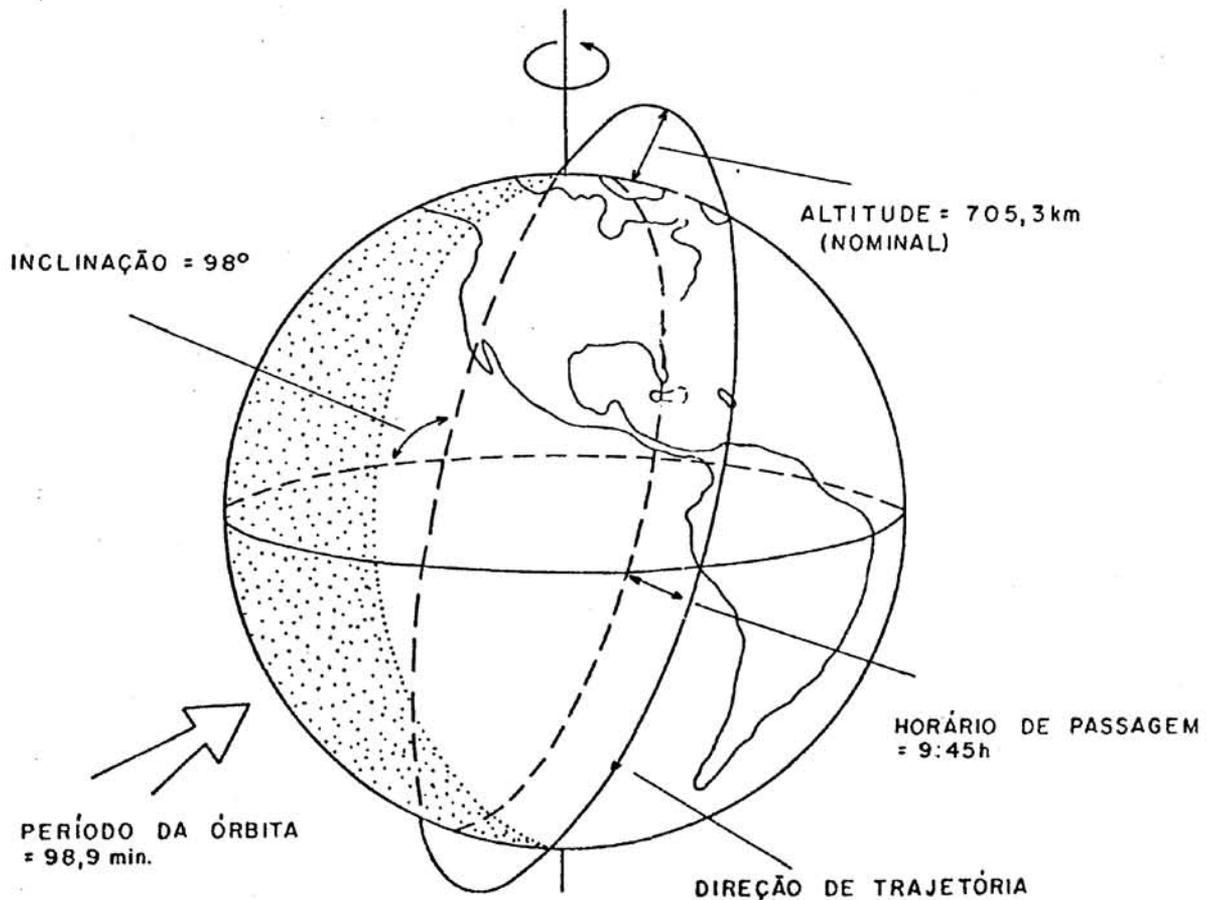


FIGURA 1.3 - Parâmetros orbitais do LANDSAT 5 (Fonte: Irons, 1985, p.11-26).

Os dados são obtidos a uma taxa de 84.9 MBPS (milhões de bytes por segundo) e quantizados em 256 níveis de cinza (8 bits). A Tabela 1.1 mostra as faixas espectrais do sensor TM.

Tabela 1.1: Parâmetros do sensor TM.

Faixa Espectral (um)	N. detetores	NE Δ q (%)
0,45-0,51 (TM 1)	16 silício monolítico	0,8
0,52-0,60 (TM 2)	16 silício monolítico	0,5
0,63-0,69 (TM 3)	16 silício monolítico	0,5
0,76-0,90 (TM 4)	16 silício monolítico	0,5
1,55-1,75 (TM 5)	16 fotodiodos InSb	1,
10,4-12,5 (TM 6)	4 AgCdTe	0,5 (NETD)
2,08-2,35 (TM 7)	16 fotodiodos InSb	2,4

FONTE: adaptado de NASA Technical Memorandum 86149 - A Prospector for Thematic Mapper Research in the Earth Sciences, July 1984.

NE Δ q(%) = noise equivalent range in surface reflectance

NETD = noise equivalent temperature difference

1.3.3 - O ANALISADOR DE IMAGENS DIGITAIS I-100

O analisador multiespectral I-100 (General Electric, 1975), disponível no Instituto de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos (MCT/INPE) (SP), está conectado a um computador PDP11-45, e é o equipamento que permite a visualização de imagens de satélite, sua manipulação (transformações) e/ou cálculos estatísticos sobre os dados espec-

trais das imagens.

A visualização é feita através de um terminal gráfico, sendo que nela pode ser representada toda a cena, parte dela ou as transformações sobre ela efetuadas. Esse monitor, com as três cores primárias, permite que se faça composições coloridas com quaisquer três bandas espectrais, originais ou transformadas. Esse mesmo monitor é dotado de um cursor, que permite ao usuário obter a informação espectral nele contida, e calcular estatísticas do tipo média e variância, em cada banda solicitada, além de gráficos sobre a distribuição dos níveis de cinza dessa área, mostrados em outra tela gráfica não colorida.

Os resultados obtidos no I-100 podem ser registrados através de filmes fotográficos convencionais (papel ou "slide") ou emitidos através de impressoras gráficas.

1.3.4 - O SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGENS (SITIM)

Esse sistema é destinado a extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto, obtidos principalmente por satélites. Esta extração de informações pode se dar de forma qualitativa, através da observação de imagens realçadas pelo sistema, ou de forma quantitativa, através da utilização de procedimentos de classificação automática cujas saídas são imagens temáticas e tabelas da área associada a cada classe discriminada na imagem (Manual do Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM - 1987).

O SITIM é constituído basicamente por um microcomputador (e seus periféricos) e uma unidade visualizadora de imagens, composta de um "hardware" especializado e

um monitor de tv.

A imagem a ser analisada entra no sistema através de fita magnética ou disco flexível, e através desse sistema ela pode ser visualizada no monitor de tv na escala especificada pelo usuário. A seguir podem ser realizados os mesmos processamentos citados no sistema I-100.

1.3.5 - O SISTEMA GEOGRAFICO DE INFORMAÇÕES - SGI

O Sistema Geográfico de Informações - SGI - é um banco de dados geográficos que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente (Câmara e outros, 1987b).

O SGI é um banco de dados não convencional porque se utiliza de dados espaciais gráficos e não-gráficos, bi ou tri-dimensionais. Seus principais objetivos são: integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de diferentes fontes; combinar essas informações para gerar outros produtos; gerenciar uma base de dados geo-codificados.

O SGI é capaz de tratar dados nos seguintes formatos:

- vetorial: coordenadas 2D que delimitam regiões temáticas ou representam redes;
- amostras 3D: valores esparsos de uma grandeza, correspondentes a coordenadas 3D;
- "raster" (varredura): matriz 2D de valores inteiros, limitados numa certa gama (geralmente 0 a 255);
- grade regular: matriz 2D de valores reais,

que indicam a estimativa para o valor de uma grandeza (ex.: cota topográfica, teor de elemento químico) em posições geográficas pré-determinadas;

- ponto: elementos geográficos individuais no espaço 3D.

A configuração básica do SGI tem as seguintes características:

- microcomputador 16 bits, co-processador de ponto flutuante e memória principal de 512 kbytes:

- "winchester" de pelo menos 40 Mbytes, unidade de disco de 5 1/4", terminal de vídeo alfanumérico de fósforo verde;

- terminal gráfico UVI-150: unidade visualizadora de imagens, com 4 planos;

- mesa digitalizadora: formatos A4 e A0;

- plotadora: formatos A4 e A0;

- controlador gráfico CGA: terminal gráfico de baixa resolução, com várias opções.

Atualmente, a entrada de dados no SGI é feita ou através da mesa digitalizadora ou através de imagens armazenadas em discos flexíveis previamente preparados ou no I-100 ou no SITIM.

CAPITULO 2: DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO

2.1 - COMPATIBILIZAÇÃO DOS DADOS

O primeiro problema, e talvez o maior, a ser enfrentado quando da integração de dados de diferentes bases, a diferentes escalas de representação e medida, é a compatibilização dessas bases de dados. O processo de compatibilização cobre um amplo espectro de situações e procedimentos para cada conjunto de dados ou condições e que podem incluir ou não processamentos para essa compatibilização se concretize de forma satisfatória.

Assim, alguns pré-processamentos podem ser considerados na integração de dados de fontes múltiplas, a fim de corrigi-los. Ahern (1985) divide esses pré-processamentos em quatro categorias genéricas: pré-processamento geométrico, pré-processamento radiométrico, pré-processamento espacial e inclusão de dados auxiliares.

O pré-processamento geométrico é necessário para se obter o correto registro da imagem com a(s) base(s) de dado(s). O pré-processamento radiométrico se faz necessário no caso de integração temporal (usando imagens de diferentes épocas) ou de múltiplos sensores, a fim de padronizar os conjuntos de dados e garantir a qualidade das inferências, retirando ou minimizando ruídos eventualmente introduzidos por características próprias do sensor, variações atmosféricas e geometria da coleta de dados (condições de iluminação, ângulo de visada, etc).

O pré-processamento espacial é mais fortemente dependente dos objetivos do trabalho do que os outros pré-processamentos, sendo as operações de filtragem espacial as mais comuns, tanto no decorrer da correção geométrica quanto imediatamente após essas operações. Entrada de dados auxiliares (a qual pode até ser feita via um sistema geográfico de informações), em alguns casos é conveniente para as fase de registro e reamostragem da integração.

Fases da compatibilização

Registro e reamostragem são duas etapas importantes no processo de integração de dados, uma vez que erros produzidos nessa fase dos trabalhos, podem conduzir a interpretações erradas. O registro de dados é a fase mais demorada e que envolve um maior número de operações, porque é feita manualmente. Já o processo de reamostragem pode ser feito automaticamente via computador.

A etapa de registro consiste basicamente na adequação de uma imagem ou mapa a outra imagem/mapa, com características já conhecidas (por exemplo: as coordenadas de pontos facilmente identificáveis tais como aeroportos, cruzamentos de estradas ou rios, etc). A reamostragem executa a correção de todos os "pixels" da imagem de saída (ou dos pontos do mapa de saída) em função dos resultados do registro.

a) Escolha dos pontos de controle

Denomina-se ponto de controle aquelas características físicas previamente conhecidas e facilmente identificáveis nos produtos manipulados (carta, mapa ou imagem) (Bernstein, 1976), e a sua escolha adequada condiciona sobremaneira os resultados do registro e da reamostragem, bem como das demais operações que porventura existam posteriormente.

Assim sendo, o desempenho do processo de compatibilização dos dados, seja qual for, é altamente dependente tanto da quantidade desses pontos de controle quanto de sua distribuição na imagem, uma vez que tanto poucos pontos quanto a concentração dos mesmos em determinadas áreas da imagem ou mapa, reduzem drasticamente a qualidade do processo geral de integração. Alguns processos e cuidados na escolha desses pontos podem ser encontrados em Shlien (1979), Wong (1975), Von Wie e Stein (1977) os quais descrevem técnicas para localizar pontos de controle (intersecção de estradas, aeroportos, drenagens e limites de florestas ou culturas são usados comumente) e Ballew e Lyon (1977) que usam imagens produzidas em impressoras, nas escalas dos mapas e mosaicos disponíveis, para tentar eliminar o problema de insuficiência de pontos de controles.

b) Registro das Informações

b.1 Registro manual

Schowengerdt (1985) referencia-se a esse tipo de registro para aquelas aplicações que não requerem muita precisão ou nas quais é difícil de se estabelecer numericamente uma correlação entre os produtos a serem registrados. Esse processo é particularmente eficiente com a ajuda de um monitor de vídeo com cursor móvel, que possa fornecer as coordenadas do "pixel" (ou ponto) na imagem (mapa) observado. Neste caso, operações lineares podem corrigir escala, translação e rotação, transformando as antigas coordenadas (X, Y) em novas coordenadas (X', Y'), através da transformação afim (ou função de registro segundo Crawford, 1981);

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix}$$

ou

$$X' = aX + bY - e$$

$$Y' = cX + dY - f$$

o que se reduz a um modelo de regressão linear múltipla.

Segundo Ince (1983), esse processo é bom apenas para pequenas áreas. Para modelos complexos com maior precisão, podem ser utilizados métodos de modelagem estatística ou polinômios de graus elevados ou ainda aproximações por elementos finitos.

b.2 Registro automático

Técnicas computacionais eficientes têm sido desenvolvidas para localizar ponto de controle em matrizes de dados digitais (Bernstein, 1976). Estas são baseadas no Algoritmo de Detecção de Similaridade Seqüencial (SSDA - Sequential Similarity Detection Algorithms), ou técnicas de template. Para isso, é necessário determinar a similaridade (ou distância) entre dois elementos (definição de uma métrica). Uma medida de similaridade é, por exemplo, a correlação linear entre as áreas sobrepostas (ou registradas) das imagens ou mapas.

A procura de pontos com coordenadas em uma imagem que seja mais similar aos de outra imagem é chamado de registro translacional. Nesse processo é selecionada uma área de N "pixels" por N "pixels" numa imagem e uma área de "busca" de M "pixels" por M "pixels" ($M > N$) em outra imagem. A correlação (similaridade) é calculada entre as duas áreas (Figuras 2.1 e 2.2) numa área de busca central de L "pixels" por L "pixels", resultando no cálculo de todas as L possíveis correlações, das quais seleciona-se a maior (se o critério for de similaridade).

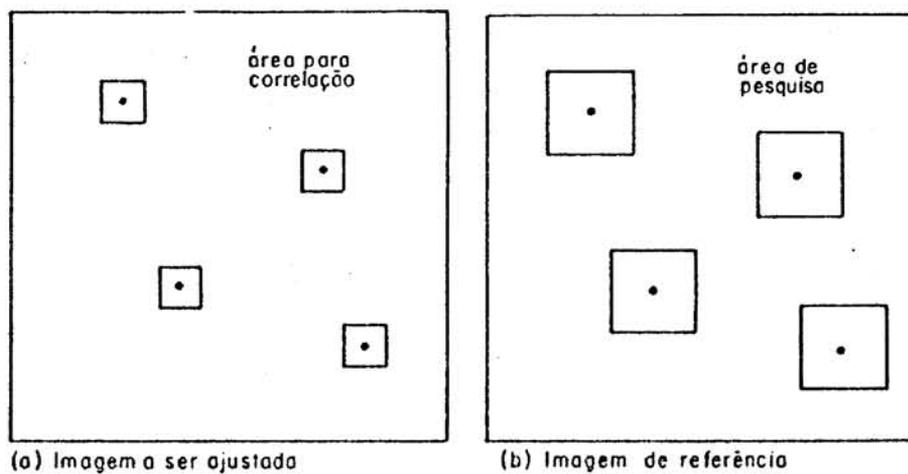


FIGURA 2.1 - Seleção de áreas a serem correlacionadas nas duas imagens (Fonte: Schowengerdt, 1983, p.101, Figura 2-28).

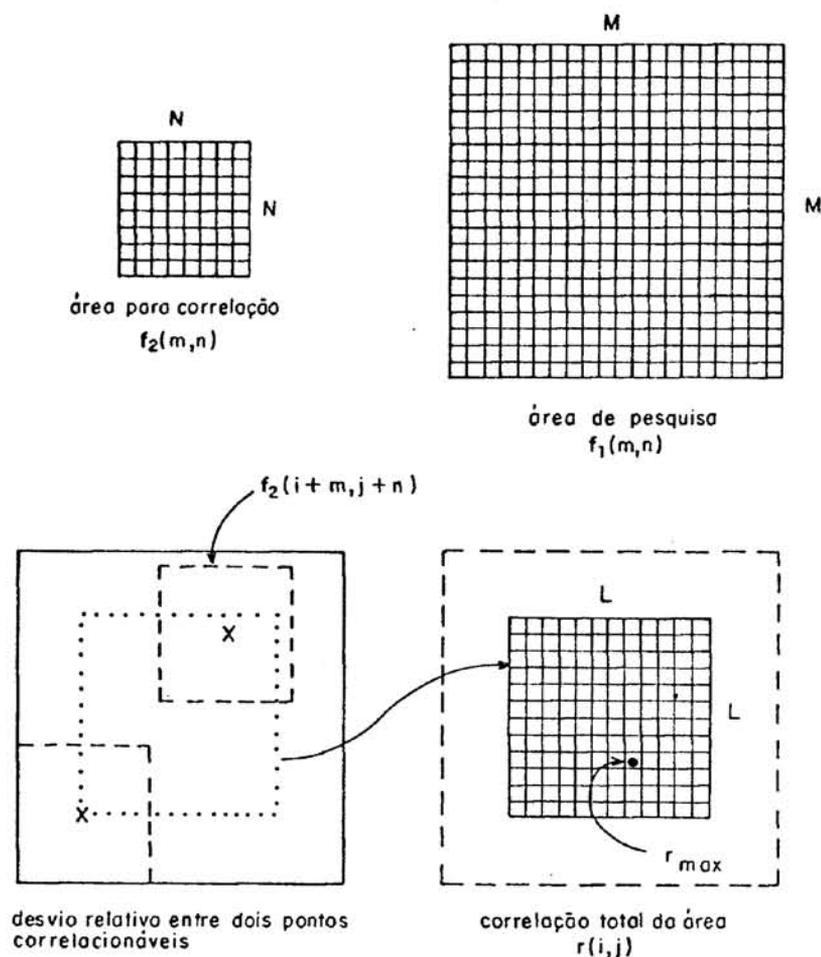


FIGURA 2.2 - Correlação entre a janela e as áreas de pesquisa (Fonte: Schowengerdt, 1983, p.102, Figura 2-29).

b. Erros no registro

As principais fontes de erro no registro são devidas a localização dos pontos de controle e a erros na digitalização dos mesmos. Outras possíveis fontes são: sobreamostragem do imageador na trajetória do voo e a posição das imagens ou mapas no momento do registro.

c) Reamostragem

O passo seguinte na compatibilização de dados para a integração é a reamostragem dos atributos. O processo de reamostragem consiste na sobreposição de uma malha com geometria conhecida sobre os produtos (imagens ou mapas) e o cálculo dos valores dos atributos nesses pontos da malha.

Os métodos de reamostragem são baseados em interpolações (vizinho mais próximo, bilinear, krigagem, convolução cúbica), onde cada linha e cada coluna (x' , y') na imagem (mapa) processada corresponderá uma coordenada (x , y) na imagem original (Figura 2.3).

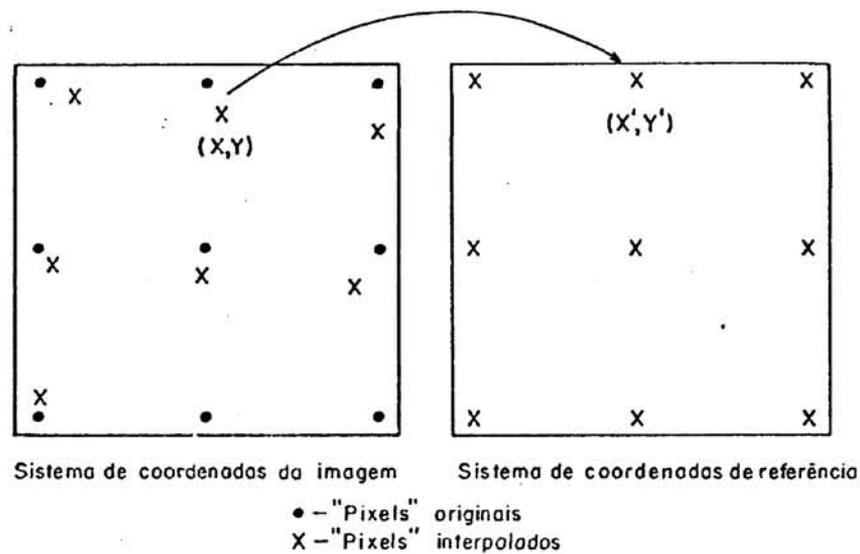


FIGURA 2.3 - Processo de reamostragem (Fonte: Schowengerdt, 1983, p.111, Figura 2-19).

2.2 - ANÁLISE DE DADOS

No processo de integração de dados, a análise (ou o manuseio) desses dados assume caráter dos mais importantes, uma vez que essa observação crítica dos mesmos é que possibilitará ou não a obtenção de resultados com a qualidade desejada. Para discutir esse assunto, subdividiu-se as técnicas de análise de dados para fins de integração de dados, em três grupos mais genéricos: técnicas de realce das informações, processos de classificação e discriminação da informação e técnicas estatísticas para dados espacialmente distribuídos (Menezes, 1986).

2.2.1 - TECNICAS DE REALCE

As técnicas de realce tem como objetivos principais, acentuar ou minimizar a influência ou a representatividade de uma variável ou grupo delas. Sua importância dentro do contexto da integração de dados está no fato de permitir não só selecionar aquelas variáveis que mais representem o fenômeno em estudo, quanto também para reduzir o número de variáveis a serem consideradas através da eliminação de possíveis redundâncias sem perda substancial do conteúdo da informação.

A escolha do tipo de realce bem como a possibilidade de sucesso nos resultados obtidos são dependentes de vários fatores, dentre os quais pode-se destacar: o objetivo da pesquisa (se pesquisa mineral ou apenas análise estrutural, por exemplo), qualidade dos dados (principalmente daqueles que dependem de amostras e medidas

de campo), escala de medida e de representação das variáveis, etc.

No caso específico do sensoriamento remoto, as técnicas de realce são de uso comum entre os analistas, sendo as mais usuais as razões entre canais ("ratios"), o aumento linear de contraste ("contrast stretch"), os filtros digitais bidirecionais ("digital filters"), as composições coloridas e as transformações lineares sobre as respostas espectrais dos diferentes canais (componentes principais e correlações canônicas). Essas mesmas técnicas, embora com algumas diferenças e eventualmente outras denominações também são utilizadas no processamento e análise de dados espacialmente distribuídos como, por exemplo, aqueles apresentados sobre um mapa e que são a forma de dados mais comuns para integração com os dados espectrais.

Assim, para citar apenas o exemplo de dados geoquímicos e os de sensoriamento remoto, faremos um paralelo entre as diferentes técnicas de realce citadas e suas aplicações nos tipos de dados. O aumento linear de contraste utilizado nas imagens de satélite é obtido através da redistribuição dos níveis de cinza de cada banda analisada no intervalo de variação dessas medidas (no caso do TM, de 0 a 255) é feito da mesma maneira na seleção e realce das anomalias, ou seja, através da forma de distribuição dos teores no intervalo de variação do elemento químico considerado. Do mesmo modo a razão entre canais TM é utilizada em Geologia para eliminar ou equalizar a influência de fatores externos às respostas do alvo, mas que condicionam a resposta no sensor, como é o caso da topogra-

fia, composição litológica e condições atmosféricas. Seu equivalente em Geoquímica refere-se aos mesmos fatores, topografia e litologia, a exceção da atmosfera, a qual é eventualmente substituída por condições de intemperismo na área estudada.

A filtragem digital direcional realça feições lineares estruturais tais como: falhas, fraturas, lineamentos e foliações, que tenham direções concordantes com as dos filtros digitais.

Uma forma de realce muito utilizada nos processamentos de imagens é a composição colorida através da reconstrução da cor natural de cena (caso do MSS - LANDSAT) ou através de composições "falsa-cor", a qual permite que dados espectrais fora da amplitude de percepção humana sejam representadas por uma cor convencional (azul, verde ou vermelho). Imagens multiespectrais geralmente são formadas por processos aditivos das cores do dispositivo de saída (monitor de TV, em geral), o que permite uma melhor visualização de cena e distinção das nuances cromáticas de cada cor, além de se observar três diferentes imagens em uma única composição (ou seja, também reduz a dimensionalidade dos dados).

A decomposição da imagem nas componentes I ("intensity"), H ("hue") e S ("saturation"), o chamado sistema de cores de Munsell (Kruse e Raines, 1984), também pode ser usado para o realçamento da aparência de imagens coloridas, através do aumento de contraste da sua componente S (saturaçãõ), em geral de pouca variação para o total da amplitude digital permitida. Esse processo permite evidenciar ou realçar as diferenças de "pixels" com a mesma

cor.

As transformações lineares de componentes principais e correlação canônica também são técnicas de realce mas, ao contrário das já citadas, trabalham com todos os canais disponíveis (no caso do sensoriamento remoto) ou das variáveis em estudo (caso de observações multivariadas em mapas, por exemplo). A aplicação de tais técnicas tem o objetivo precípuo de ressaltar o tipo de informação dominante numa imagem ou mapa, como por exemplo, a influência da litologia, ou presença de óxidos, etc. Tem ainda, o caráter de redutor das dimensões originais dos dados uma vez que estes estarão ordenados na direção decrescente de sua importância, podendo-se assim, perder um mínimo aceitável da informação total disponível, sem comprometer o resultado final. Tanto a análise de componentes principais quanto a correlação canônica, baseiam-se em transformações lineares da matriz de variância-covariância, sendo que uma procura os eixos de máxima variação e a outra é baseada numa decomposição dessa matriz em covariância entre e dentro de categorias, exigindo pois, que os dados estejam agregados em categorias (Merembeck e outros, 1977).

2.2.2 - PROCESSOS DE CLASSIFICAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO

Os processos de classificação, em sensoriamento remoto, referem-se aos processo de alocar os "pixels" de uma cena a um número distinto de classes ou grupos com base nos dados espectrais associados a cada "pixel". Essas classes podem corresponder a diferentes características geográficas ou padrões da cobertura do terreno da cena.

No caso de integração de dados, esses processos tomam uma importância ainda mais destacada, uma vez que uma quantidade maior de informação estará sendo utilizada nesse processo classificatório.

O método mais comum de classificação é o bayesiano, baseado na distribuição normal. Nesse processo, elementos (no caso de imagens, "pixels") são alocados em classes de modo que a probabilidade de classificação errada seja mínima. A regra de classificação é de que um elemento ("pixel") seja atribuído a uma classe cuja probabilidade a posteriori, dados uma probabilidade a priori e um vetor de dados, seja a maior possível.

Nesses processos de classificação, supõe-se que o vetor de médias e a matriz de covariância são conhecidos para cada uma das classes consideradas. Na prática isso não acontece e eles são estimados a partir dos próprios dados (cenas). O processo de estimação de parâmetros em classificação é chamado de treinamento. Na classificação supervisionada supõe-se que áreas específicas são conhecidas e que cada classe de interesse da cena está representada nessa área. Os dados aí contidos são usados para calcular a

média amostral e a matriz de covariância amostral para cada uma das classes consideradas. A performance da classificação pode ser estimada reclassificando-se cada elemento ("pixel") das amostras de treinamento e observando-se a proporção de classificação errada.

Nos casos onde não se tem conhecimento à priori das condições no solo, um esquema de classificação não supervisionada é utilizado para definir as classes e estimar os parâmetros. Nesse enfoque, áreas serão designadas como de treinamento e os "pixels" nessas áreas serão agrupados em classes segundo alguma regra de agrupamento ("cluster analysis"). Essas classes serão usadas do mesmo modo que na classificação supervisionada.

2.3 - ANÁLISE ESPACIAL

A análise espacial a ser aqui considerada refere-se particularmente a aplicação da chamada geoestatística às imagens de satélite. Essa análise é basicamente uma extensão da análise de séries temporais para o espaço bidimensional, na qual a periodicidade tem um papel menos importante (Elphinston e outros, 1985). A geoestatística originalmente foi desenvolvida para a indústria mineira, na análise estatística de amostras de minérios (Rendu, 1978).

A principal ferramenta da geoestatística é o semivariograma, cuja aplicação nesse campo do conhecimento foi introduzida na década de 60 por Georges Matheron. O semivariograma é uma medida da dependência espacial entre amostras de uma mesma variável observada no espaço, onde a idéia é de que quanto maior a distância entre duas observa-

ções, maior a sua independência.

Os modelos de semivariograma geralmente são funções monotônicas crescentes com a distância e são dados por:

$$\text{gama}(h) = 1/2 * E [(Z_t - Z_{t+h})^2]$$

onde:

h = distância ou passo

Z_t = valor observado da variável no ponto t (também chamada de variável regionalizada ou espacial).

$E[]$ = valor esperado da variável (no caso, quadrado das diferenças entre dois pontos)

Teoricamente, a mesma observação feita duas vezes no mesmo ponto ($h = 0$), tem $\text{gama}(h) = 0$. No entanto, na prática, o semivariograma tem uma descontinuidade em sua origem, o chamado efeito pepita, N , nome vindo da mineração. A Figura 2.4 ilustra a definição.

Os dados de imagens de satélite são eminentemente apropriados para análises geoestatísticas (Fatti e outros, 1985), particularmente devido ao fato de que uma imagem digitalizada constitui-se num conjunto completo de dados distribuídos sobre uma malha regular. Valores de "pixels" não são pontuais mas estão distribuídos sobre a área do "pixel". Assim, a direção de estimação de um semivariograma a partir dos valores de "pixels" produz um variograma regularizado, diferente do variograma pontual, o qual é comumente aplicado a dados espacialmente distribuídos.

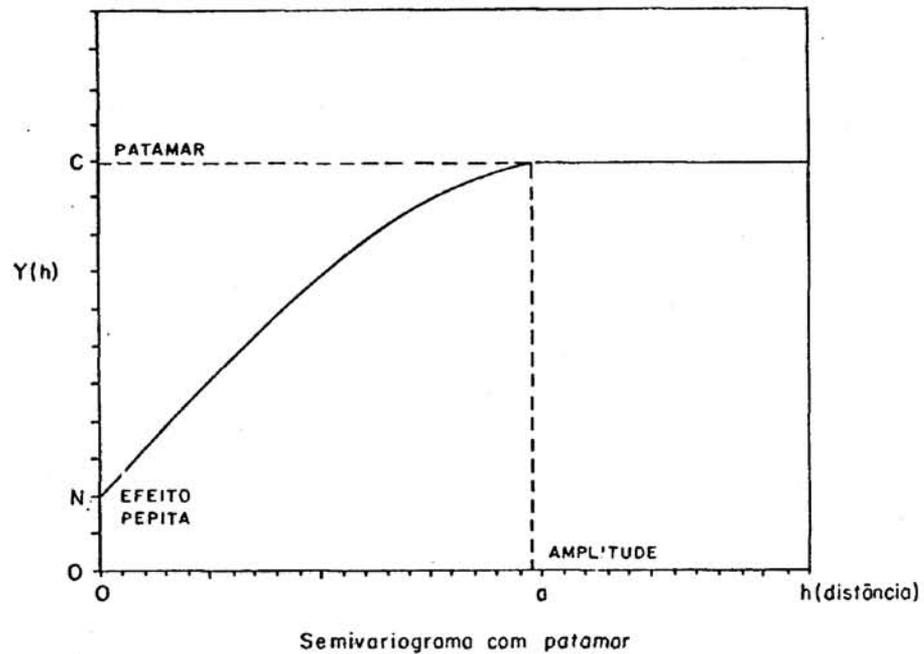


FIGURA 2.4 - Exemplo de variograma com patamar ("Sill")
 (Fonte: Elphinstone e outros, 1985, pag. 71,
 Figura 6.1).

O semivariograma fornece uma medida da dependência espacial, ou seja, quantifica a correlação entre "pixels" (amostras), como uma função da distância que os separa. Desse modo, a utilidade do variograma pode ser sentida, por exemplo, quando se necessita de uma ponderação objetiva para a classificação ou para se obter informação sobre a persistência espacial de alguns constituintes da imagem (ocorrências minerais, por exemplo). Pode ser usado, também, para medir aspectos texturais da imagem, tais como tamanho, tonalidade e direcionalidade de sub-padrões na imagem. A tonalidade (textura) e o tamanho podem ser medidos

através do efeito pepita e a direcionalidade pode ser detectada estimado-se o semivariograma em diferentes direções.

No caso da ponderação para a classificação a geoestatística tem uma ferramenta denominada Krigagem, a qual permite a incorporação dos níveis de cinza dos "pixels" vizinhos na classificação.

2.4 TECNICAS COMPUTACIONAIS PARA INTEGRAÇÃO DE DADOS

2.4.1 SISTEMAS GEOGRAFICOS DE INFORMAÇÕES, SGI

Segundo Short (1982), um SGI é um sistema georeferenciado para aquisição, armazenamento, recuperação e manipulação de dados. Uma base de dados ("data base") é um arquivo integrado e compartimentado de dados armazenados. Um sistema de gerenciamento de dados é um programa ("software") que gerencia o acesso e as modificações da base de dados (Star e Cosentino, 1984).

Dados espaciais são aqueles com atributos posicionais, entram no sistema acompanhados de suas coordenadas geodésicas e podem ter ou não atributos espaciais (ex.: topografia). Bases de dados espaciais tendem a ser muito grandes e algumas vezes incluem muitos tipos de estruturas de dados (escalar, vetorial, "raster"), e a conversão desses diversos dados a uma forma comum, é um dos principais objetivos de um SGI.

A subdivisão abaixo colocada é baseada na classificação de sistemas proposta por Rodrigues (1987), a qual tem as seguintes categorias: aplicativos, de informação e especialistas, sendo que as duas últimas categorias contêm o desenvolvimento verificado nos sistemas geográficos de informação.

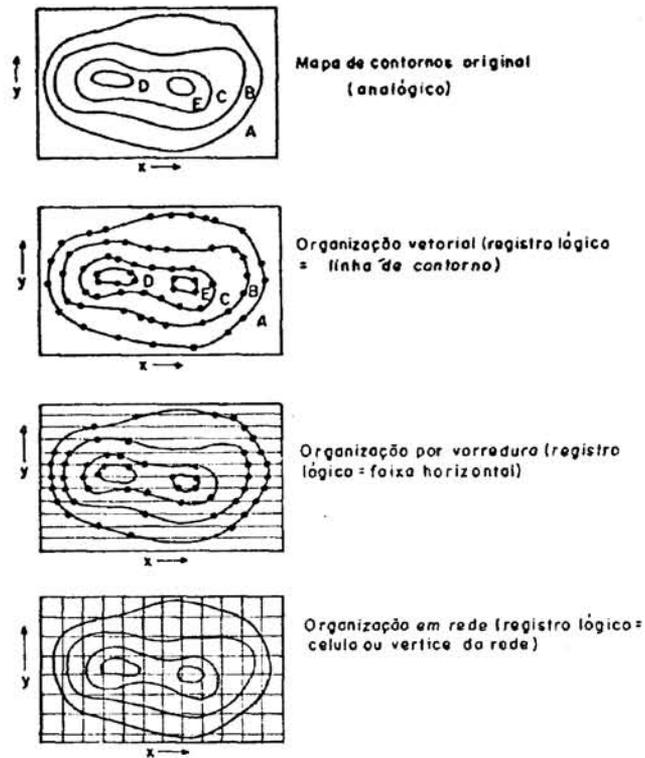
Resumos seletivos sobre sistemas geográficos existentes podem ser encontradas em Nagy e Wagle (1979), de Man (1984) e Lauer (1986) e informações gerais, inclusive com descrição de sistemas, em Marble e outros (1984) e Câmara e outros (1987a).

2.4.1.1 - Desenvolvimentos anteriores: bancos de dados geográficos

A cartografia temática digital conheceu uma série de estágios distintos, sendo um dos primeiros o desenvolvimento do "hardware" que tornou possível a aquisição de dados espacialmente distribuídos e sua edição e reprodução em formas semelhantes a mapas, através de recursos dos gráficos e traçadores gráficos ("plotters"). O estágio seguinte foi a redução dos custos e do trabalho necessário para se gerar produtos assemelhados a mapas. O esforço exigido na digitalização e edição de dados tornaram esses objetivos difíceis de serem conseguidos e os benefícios da velocidade e flexibilidade foram bastante enfatizados no desenvolvimento da tecnologia. O estágio

seguinte concentrou-se no "software" de mapeamento e no planejamento de um sistema o qual produzisse uma variedade de mapas rapidamente.

O banco de dados cartográfico foi inicialmente desenvolvido com a idéia de estabelecer um arquivo de dados o qual pudesse ser apresentado em muitas combinações diferentes, a diferentes escalas e projeções, e com uma série de formas de apresentação. Para se obter a flexibilidade necessária ao desenvolvimento de um banco de dados genérico, restrições tiveram que ser impostas no seu planejamento a fim de evitar convenções gráficas específicas e introduzir estruturas de dados mais flexíveis. A linha "vetorial" (formato de armazenamento de dados espacialmente distribuídos, onde entidades cartográficas são transladadas linha a linha ou ponto a ponto na forma digital) (Figura 2.5) foi adotada por muitos daqueles que se dispuseram a fazer tais arquivos, codificando de cada feição armazenada, as suas características perimetrais e os atributos neles contidos (Jackson e Mason - 1986).



Tipos de organização de dados

FIGURA 2.5 - Estruturas de dados vetoriais e por varredura ("raster") (Fonte: Marble e Peuquet, 1983, pg. 925, Figura 2).

O estágio seguinte no desenvolvimento ocorreu com ênfase a geração de produtos e mapas convencionais orientados para a manipulação e análise de dados espacialmente distribuídos, tornando a cartografia digital não apenas uma representação gráfica mas também um instrumento de análise.

O banco de dados cartográficos torna-se integralmente desenvolvido quando da existência de um sistema geográfico de informações (SGI) sobre uma base de dados espaciais integrada e bem estruturada, permitindo também, além dos dados de mapas na forma vetorial, considerar outros dados correlatos espacialmente

referenciados. Duas dessas formas de dados adicionais são importantes (Jackson e Mason - 1986): estatísticas de pontos espacialmente referenciados ("point-referenced spatial statistics") e dados na forma de imagem, em formato "raster".

A maioria dos SGI's existentes não foi planejada para usar dados de sensoriamento remoto (Marble e Peuquet - 1983): eles representam ou uma fonte potencial de elementos de dados novos, ou uma forma alternativa de captura de dados para um ou mais elementos de dados já definidos e incorporados no sistema. O uso das facilidades do sensoriamento remoto e do processamento de imagens juntamente com a cartografia digital tem ainda como maior obstáculo, o "hardware", o "software" e os dados, vetorialmente orientados em cartografia e o sistema "raster" (tem a estrutura de uma rede ou matriz de dados, onde a unidade lógica é um "pixel" ou uma célula de uma malha regular) (Figura 2.5) para o processamento e aquisição dos dados captados por satélites orbitais. Os sistemas relacionados ao sensoriamento remoto utilizam-se dos sistemas de informações baseados em imagens (Bryant e Zobrist, 1977), onde a base de dados deve incorporar uma interface entre os sistemas geocodificados já existentes (na forma tabular ou gráfica), com um sistema geocodificado em formato "raster".

As atribuições de um SGI podem ser divididas em cinco grandes categorias (Marble e Peuquet - 1983):

1. entrada de dados no sistema, a partir de mapas poligonais;
2. criação de registros de dados e adequação de arquivos de

dados já existentes no sistema com outros gerados pelos usuários;

3. recuperação de dados a partir da base de dados (ou de itens dela selecionados) ou por um descritor ou por um valor obtido na imagem;

4. manipulação dos dados recuperados tais como cálculos de área, perímetro, comprimento de feições lineares, sobreposição de diversos conjuntos de dados e conversão de dados poligonais para a forma de dados de uma malha regular;

5. saídas gráficas em termos de tabelas-resumo, mapas e outros arquivos digitais.

Uma base de dados é definida como (Marble e Peuquet - 1983): uma coleção de dados interrelacionados armazenados de forma conjunta, com características comuns controláveis para servir a uma ou mais aplicações da melhor forma, independente dos programas os quais usam esses dados. Uma característica comum e controlada é usada na adição de novos dados e na modificação e recuperação daqueles existentes na base de dados (a isso no passado, dava-se o nome de banco de dados).

O desenvolvimento dos sistemas geográficos de informação deve-se, em grande parte, às contribuições de diferentes disciplinas provenientes de diferentes áreas do conhecimento. Assim, geodésia e fotogrametria são importantes para a compreensão e a mensuração do espaço: a computação para tornar operacional esse entendimento, e as geociências para aplicações a problemas reais (adaptado de Peucker, 1980). A fotogrametria tem grande influência em áreas tais como: modelos digitais de terreno (DTM),

interpolação, amostragem de dados espaciais e o sensoriamento remoto quantitativo. Da computação, são de interesse: a computação gráfica, o processamento de imagem, o reconhecimento de padrões e a estruturação de dados. As geociências contribuem de duas maneiras: através de análises quantitativas desenvolvidas com o uso do computador e através do mapeamento assistido por computador (CAM), o que permite análise e interpretação sobre os mesmos.

O problema central do planejamento de uma base de dados espaciais integrada é a identificação da estrutura de dados capaz de permitir a junção de todas as formas de dados espacialmente distribuídos ("rasters", pontos, linhas, polígonos), numa forma compacta a qual permita uma recuperação e um processamento eficientes.

O modelo de dados hierárquicos tradicionalmente adotado para a integração de bases de dados espacialmente distribuídos atualmente, é baseado nas chamadas "quadrees" (Samet e outros, 1984) e as "quadrees" lineares (Gargantini, 1982) embora outras estruturas também sejam potencialmente possíveis de serem utilizadas tais como as "hextrees", as "octrees" e outras formas matemáticas de construção de redes e/ou mosaicos ("tesselations and amalgamations").

No caso das "quadrees" tradicionais, estas tem sido implementadas na forma de árvores (Figura 2.6) obtidas pela repetida subdivisão do mapa ou imagem em quadrantes até que todos os pontos (ou pixels) tenham as mesmas características (no caso de imagem, pode ser a intensidade), cujas raízes correspondem ao mapa/imagem inteiros, cada ramo (nó não terminal) tem quatro filhos, e as folhas (nós termi-

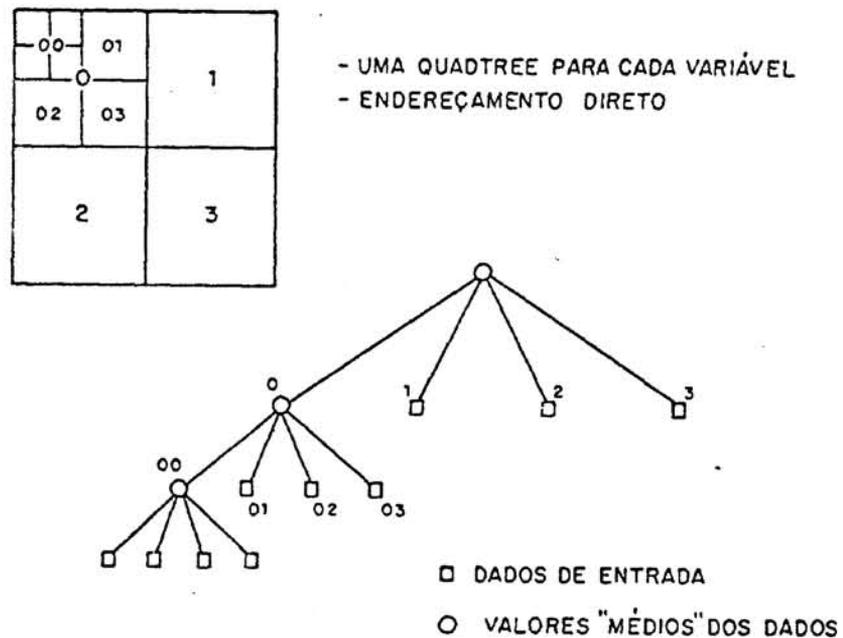
interpolação, amostragem de dados espaciais e o sensoriamento remoto quantitativo. Da computação, são de interesse: a computação gráfica, o processamento de imagem, o reconhecimento de padrões e a estruturação de dados. As geociências contribuem de duas maneiras: através de análises quantitativas desenvolvidas com o uso do computador e através do mapeamento assistido por computador (CAM), o que permite análise e interpretação sobre os mesmos.

O problema central do planejamento de uma base de dados espaciais integrada é a identificação da estrutura de dados capaz de permitir a junção de todas as formas de dados espacialmente distribuídos ("rasters", pontos, linhas, polígonos), numa forma compacta a qual permita uma recuperação e um processamento eficientes.

O modelo de dados hierárquicos tradicionalmente adotado para a integração de bases de dados espacialmente distribuídos atualmente, é baseado nas chamadas "quadrees" (Samet e outros, 1984) e as "quadrees" lineares (Gargantini, 1982) embora outras estruturas também sejam potencialmente possíveis de serem utilizadas tais como as "hextrees", as "octrees" e outras formas matemáticas de construção de redes e/ou mosaicos ("tesselations and amalgamations").

No caso das "quadrees" tradicionais, estas tem sido implementadas na forma de árvores (Figura 2.6) obtidas pela repetida subdivisão do mapa ou imagem em quadrantes até que todos os pontos (ou pixels) tenham as mesmas características (no caso de imagem, pode ser a intensidade), cujas raízes correspondem ao mapa/imagem inteiros, cada ramo (nó não terminal) tem quatro filhos, e as folhas (nós termi-

nais) correspondem aos blocos uniformes (Figura 2.7). Tanto os dados em formato "raster" quanto aqueles em formato vetorial, podem ser colocados na forma de "quadrees", embora tipos diferentes de "quadrees" sejam necessários para representar pontos e linhas. No caso das "quadrees" lineares, cada conjunto de regiões é tratado como uma coleção de nós de folhas e cada folha é representada pelo uso de um código de posição correspondente a seqüência de códigos direcionais que localizam a folha ao longo do caminho a partir da raiz.



ESTRUTURA DE UMA ÁRVORE ESPACIAL GENÉRICA

FIGURA 2.6 - Estrutura de árvore espacial ("quadrees")
(Fonte: Peuquet, 1984, pg. 380, Figura 2).

As principais vantagens dos modelos hierárquicos baseados nas "quadrees" são (Jackson e Mason, 1986):

- (1) todas as relações espaciais estão implicitamente presentes no modelo de dados;
- (2) permitem recuperações mais rápidas do que os modelos vetoriais e "raster" tradicionais;
- (3) permitem processamentos mais rápidos, uma vez que

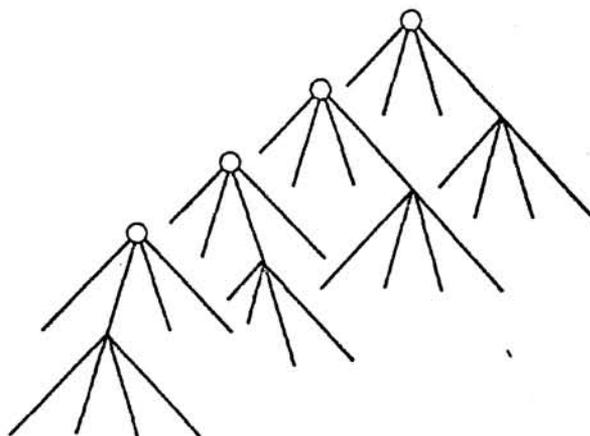
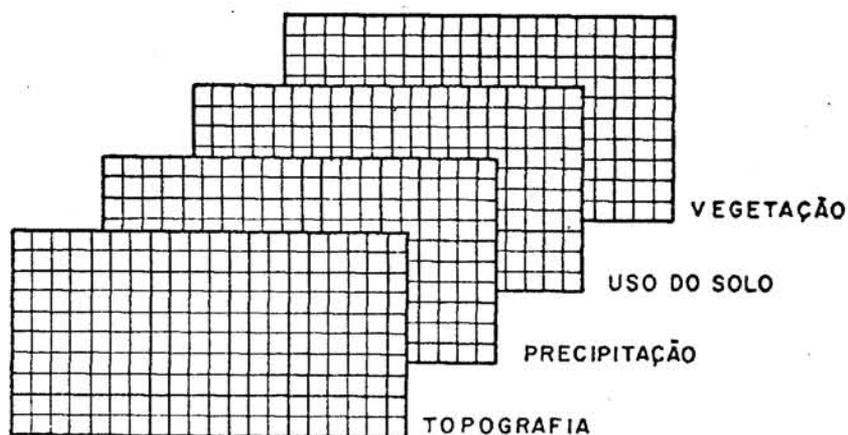


FIGURA 2.7 - Dados espacialmente registrados, quando transformados no formato "quadtree", resultam numa floresta de "quadrees". (Fonte: Peuquet, 1984, pg. 381, Figura 3).

operações sobre uma folha da "quadtree" só precisa ser feita uma vez para cada folha, ao invés de todos os pontos/pixels do formato "raster";

(4) dados no formato "raster" podem ser compactados, sendo que a compactação depende do grau de homogeneidade do mapa/imagem. O uso das "quadtrees" pode não resultar numa maior compactação da imagem original, no entanto, imagens "raster" geralmente ainda podem ser classificadas ou generalizadas pelas "quadtrees";

(5) permitem que os mapas/imagens possam ser vistos sob diferentes níveis de generalização, isto é, uma imagem pode ser vista a um nível de resolução mais baixo, olhando-se simplesmente para um nível mais alto na árvore, o que pode ser vantajoso no caso de grandes volumes de dados, onde a visão de um "resumo" ou imagem compacta pode ajudar na pesquisa e/ou interpretação dos dados.

Algumas desvantagens podem ser notadas através do uso das "quadtrees": a sua forma de decompor regularmente o mapa/imagem, não explora explicitamente a estrutura inerente a organização espacial e a transformação de dados vetoriais para o formato "quadtree" pode representar a perda de resolução, se o espaço de coordenadas usado por ambas for o mesmo.

2.4.1.2 - Desenvolvimento atual: sistemas baseados no conhecimento

Programas computacionais para manuseio dos dados espaciais estão tipicamente relacionados à estrutura de dados. Não existe nenhuma separação explícita da manipulação espacial dos dados a elas associados. Possibilidades permitidas para um tipo de estrutura tornam-se compreensíveis somente quando as várias funções espaciais dentro de uma base de dados podem ser relacionadas a outras, com relação a essa representação dos dados (Guptill, 1983). Conceitualmente, existem cinco grandes componentes num sistema de manuseio de dados espaciais:

- 1) bases de dados espaciais: um conjunto de bases de dados sobre ciências da terra (cartografia, geografia, geologia, geofísica, etc) irão constituir a "base de conhecimento" para o sistema;
- 2) sistema de gerenciamento da base de dados: além de cumprir as várias funções administrativas do sistema (segurança, estatísticas de uso e geração de relatórios), o sistema deve ser capaz de extrair a informação requerida da "base de conhecimento" em resposta a formulações espaciais;
- 3) linguagem de questionamento espacial: um interpretador será necessário para fazer as translações de sintaxe nos vários tipos de questões relacionadas com a componente espacial e invocar os operadores espaciais necessários (união, intersecção, comprimento, área, etc.);
- 4) operadores espaciais: operações usadas para criar

subesquemas da base de dados ou fazer manipulações para aumentar o poder analítico do sistema;

5) aplicações de regras básicas: perguntas irão desencadear uma série de regras de aplicação (definindo cada passo necessário para fazer uma análise do conjunto), obrigando que uma série de operadores sejam utilizados para resolver um problema particular.

Tais sistemas baseados no conhecimento estão sendo desenvolvidos para resolver problemas em geociências e o sistema PROSPECTOR é um exemplo desses sistemas (Duda e Gasching, 1981, Hart e outros, 1978).

A estrutura de sistemas baseados no conhecimento pode variar consideravelmente, mas tipicamente ela se constitui de três componentes grandes e distintos (Jackson e Mason, 1986): (i) um conjunto de regras (a base do conhecimento), (ii) a base de dados sobre a qual tais regras devem operar e, (iii) um interpretador de regras ou de inferências. O que se espera com a introdução de um sistema com essas características é que problemas relacionados a dados espacialmente distribuídos, tais como (Peuquet, 1984):

- a) limites geográficos impostos aos dados tendem a ser contorcidos e irregulares, o que dificulta a criação de uma definição suscinta ou a sua previsão matemática, tornando as bases de dados espaciais extremamente grandes;
- b) os dados, em sua forma digital tendem a ser incompletos, imprecisos e propensos a erros devido às próprias dependências que possuem com relação ao contexto e as características dos processos de obtenção dos dados;
- c) relações espaciais tendem a ser confusas ("fuzzy") ou específicas de cada aplicação, e o número de possíveis

interrelações espaciais tende a ser muito grande;

possam ser melhor resolvidos, uma vez que tais sistemas têm maior volume de capacidade de dados, eficiência computacional e um espectro maior de aplicações do que as estruturas tradicionais de SGI.

Tais sistemas podem permitir outros tipos de aplicações tais como (Peuquet, 1984): capacidade de aprendizado, ou seja, uma pergunta já feita anteriormente é mais rapidamente respondida; permite o desenvolvimento de procedimentos de busca em bases de dados mais complexas de forma mais eficiente (através do desenvolvimento de técnicas de busca heurísticas que limitem a porção da base de dados a ser pesquisada); permite a classificação das imagens de satélite antes da sua inclusão na base de dados, através da incorporação no processo de classificação, de conhecimentos contidos nos dados já armazenados na base de dados, obtido ou de mapas existentes da mesma região ou derivados dos conhecimentos de especialistas.

2.4.2 - UTILIZAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO DE CORES IHS PARA O PROCESSAMENTO DE DADOS INTEGRADOS

O primeiro problema para a apresentação em forma de imagem de dados integrados, segundo Haydn e outros (1982), é de apresentar todo o conjunto de dados processados, na forma de uma imagem, a qual retenha muitas das características de uma fotografia mas que também incorpore os novos tipos de dados incrementados e os resultados do processamento de dados, de maneira que apenas complemente as

formas de conhecimento anterior, sem confundir o intérprete ou interferir em suas técnicas de interpretação tradicionais. O segundo problema é que as características do dispositivo de apresentação/edição podem contribuir, não intencionalmente, no processamento.

Pela combinação de imagens de várias partes do espectro ou mesmo de inferências estatísticas produzidas artificialmente, é possível derivar mais informações da imagem resultante que das componentes. Um método conveniente de combinar imagens múltiplas (King e outros, 1984) é considerando componentes das imagens monocromáticas como intensidade, tonalidade e saturação (I = intensity, H = hue, S = saturation), e transformando a imagem resultante de volta em coordenadas vermelho, verde, azul (RGB) para apresentação via tubo de raios catódicos (CRT) convencional (monitor de tv colorida).

A utilização do IHS para a integração de dados pode se dar de diferentes formas, tais como: utilizar somente as componentes de intensidade de cada conjunto de dados (até três), atribuindo uma cor (azul, verde ou vermelho) a cada um ou, tendo-se uma ordem de prioridade das variáveis (essa prioridade pode ser estabelecida em função da importância dos dados, ou de sua precisão, ou por já se tratar de uma síntese, no caso de componentes principais ou canônicas, etc), atribuir esses dados às componentes IHS seguindo essa prioridade (segundo Kruse, 1984 e Kruse e Raines, 1984, a maior informação espectral se encontra na intensidade e na tonalidade, sendo que a saturação tem pouca variabilidade).

Existem várias técnicas de representação de

dados de imagens multiespectrais em cores. No sentido de analisar e talvez otimizar o processo de representação de cores, as várias técnicas devem ser expressas matematicamente e incluídas como parte da estratégia geral do processamento da imagem. Geralmente, duas maneiras são usadas para descrever matematicamente as cores (Haydn e outros, 1982):

1. valores tri-estímulos ("tristimulus values")
2. cromaticidade.

Valores tri-estímulos são baseados em três curvas espectrais diferentes, os quais podem representar filtros (no caso onde o valor tri-estímulos é a energia total que passa pelo filtro) ou podem representar o espectro de emissão (sendo o valor tri-estímulos a energia total emitida). Se escolhermos para curvas espectrais os coeficientes tri-estímulos CIE (Comission Internationale de l'Éclairage), os valores tri-estímulos são aqueles mostrados na Figura 2.8 (triângulo B-G-R). Qualquer conjunto de valores tri-estímulos pode ser transformado em outro conjunto usando uma matriz de transformação 3×3 , cujos elementos são os produtos integrados dois-a-dois dos dois conjuntos de três curvas espectrais.

A representação de cromaticidade consiste da luminosidade do objeto e de dois quocientes dessa luminosidade. Esses dois valores podem ser representados em coordenadas triangulares ou polares, resultando em duas versões para a representação IHS. A Figura 2.8 mostra a representação de cromaticidade baseada em valores tri-estímulos CIE e usando coordenadas cartesianas, onde as cores

espectrais puras formam um U-invertido contendo todas as cores visíveis, estando o branco ("white") próximo ao seu centro. O triângulo RGB ("red, green and blue") mostrado dentro dessa curva, corresponde as coordenadas de um monitor de tv colorido típico e somente cores que caem dentro desse triângulo e que podem ser representadas.

O espaço das cores pode, portanto, ser representado por dois diferentes tipos de sistemas de coordenadas:

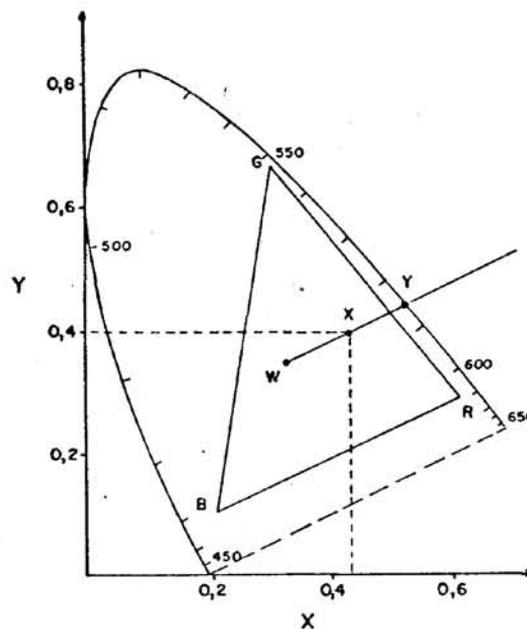


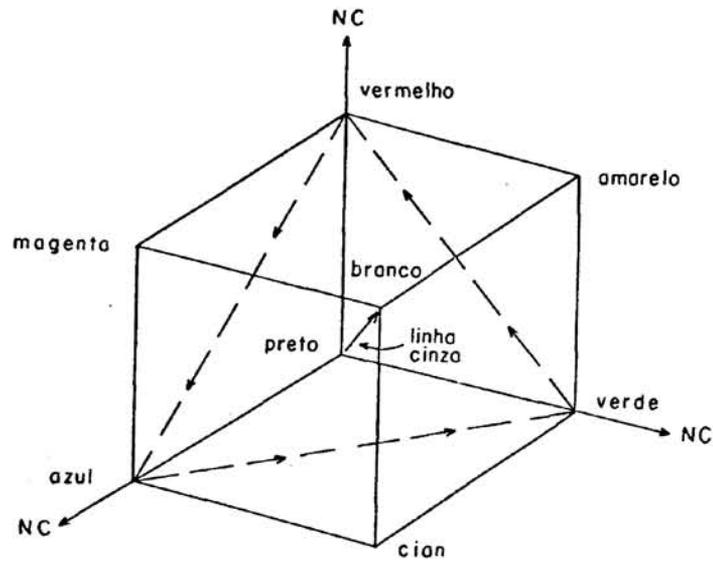
FIGURA 2.8 - Diagrama de cromaticidade CIE (Fonte: Haydn e outros, 1982, pág. 606, Figura 1).

1) Sistema de Coordenadas RGB

Todos os sistemas CRT ("catod radio tube") coloridos utilizam para representação de imagens digitais, um sistema de composição colorida "aditivo" com as três

cores primárias: vermelho, verde e azul. As vantagens da codificação RGB são: simplicidade; outras representações de cores devem ser transformadas do (para) RGB a fim de serem mostradas em monitores coloridos; se a matriz 3×3 resultante de uma transformação for diagonal, então as cores podem ser precisamente reproduzidas; o uso da matriz de transformação 3×3 permite correções precisas de cores.

Os níveis de cinza de cada componente na representação RGB constituem os eixos ortogonais de um espaço de cores tridimensional; o nível de cinza máximo possível em cada canal da representação, definem o cubo de cores RGB (Figura 2.9) onde cada "pixel" representado neste sistema pode ser representado por um vetor que está em algum lugar dentro do cubo de cores. A linha que vai da origem do cubo ao seu vértice oposto é conhecida como linha cinza (ou eixo acromático) porque os pontos sobre ela têm iguais contribuições de azul, verde e vermelho.



Cubo de cores azul-verde-vermelho
(NC= nível de cinza)

FIGURA 2.9 - Cubo de cores vermelho-verde-azul (Fonte: Schowengerdt, 1983 - pág. 119, Figura 2-39).

2) Sistema de coordenadas IHS

Uma particular transformação do sistema RGB é a transformação IHS, do inglês: "intensity", "hue" e "saturation", que descrevem as sensações subjetivas de "brilho", "cor" e "saturação", respectivamente, e que são aqui denominadas: intensidade, tonalidade e saturação, e que podem ser definidas como (Gillespie, 1980): intensidade - medida da energia total refletida de um objeto, sem considerar o comprimento de onda; tonalidade - é o comprimento de onda médio da luz refletida por um objeto (azul, verde, amarelo e laranja são quatro tonalidades); saturação - faixa

em torno do comprimento de onda médio da região espectral na qual uma quantidade significativa de luz é refletida de um objeto.

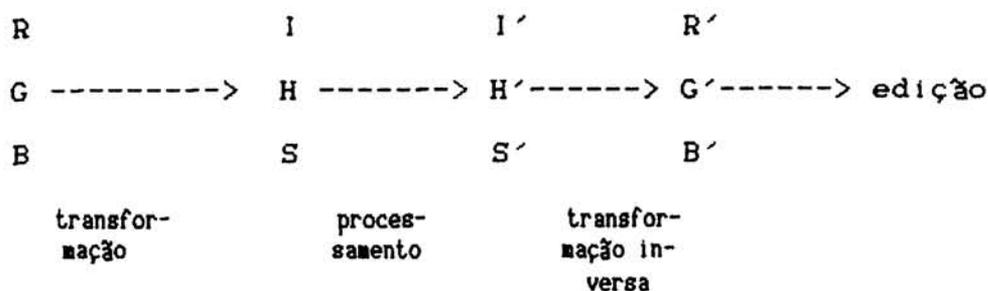
Burnhan e outros (1963) afirmam que existe uma tendência natural das pessoas em organizar seu espaço perceptivo de cores, em um sistema de coordenadas cilíndricas cujas dimensões são: intensidade, tonalidade e saturação e, sugerem um conjunto de definições para os termos (Meyer, 1986):

1. Tonalidade ("hue") é a dimensão da cor que se refere a uma escala de percepções variando do vermelho até o amarelo, verde, azul e (circularmente) voltando ao vermelho.

2. Saturação ("saturation") é a dimensão da cor que se refere a uma escala de percepções representando o grau de distanciamento de uma cor de um eixo acromático (de tonalidade indistinguível) e de mesma intensidade ("brightness").

3. Intensidade ("brightness") é a dimensão da cor que se refere a uma escala de percepções representando uma cor similarmente a alguma outra de uma série de cores acromáticas, variando de "muito opaco" (escuro) a "muito claro" (brilhante).

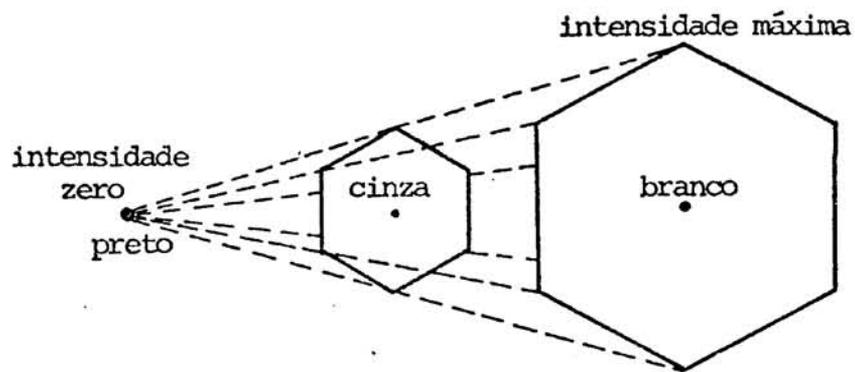
Para a visualização dessa transformação, as imagens IHS devem ser reconvertidas ao RGB, conforme o esquema a seguir (Schowengerdt, 1983):



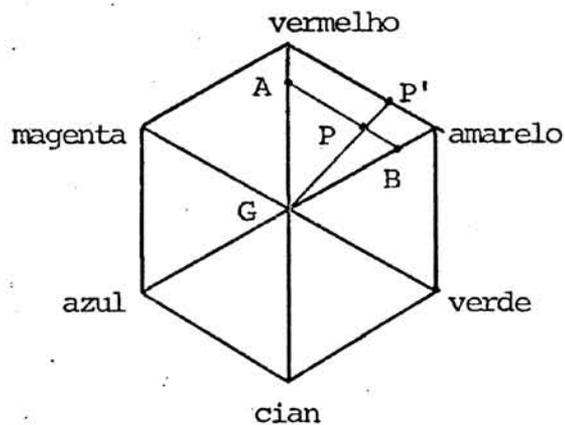
Existem várias formulações matemática dessa transformação, alguns dos quais podem ser encontrados em Schowengerdt (1983), King e outros (1984), Gillespie (1980), Short e Stuart (1982), Haydn (1982), Gillespie e outros (1986 e 1987). Um resumo dessas formulações é apresentado a seguir:

a) modelo "hexcone": é um modelo heurístico, sem embasamento de qualquer teoria de cor, mas que é representativo de muitos algoritmos usados em processamento de imagem e gráficos coloridos (Figuras 2.10).

Imagine-se a projeção de um cubo de cores RGB sobre o plano, com o vértice mais longe da origem definido por um ponto sobre a linha cinza e sobre um plano perpendicular à linha cinza nesse ponto. Movendo-se o vértice do preto para o branco, resulta numa série de hexágonos de tamanhos crescentes, tal que o hexágono no ponto preto degenera num ponto, e no branco, fica o maior dos hexágonos. A essa série de hexágonos dá-se o nome de "hexcone", onde a distância do ponto preto ao longo da linha cinza define a intensidade de cada projeção hexagonal e, para uma dada intensidade, a tonalidade e a saturação são geometricamente definidos no hexágono apropriado.



(a) geração do "hexcone"



$$\text{tonalidade} = |AP| / |AB|$$

$$\text{saturação} = |GP| / |GP'|$$

(b) definição das cores componentes de um "pixel" com intensidade não-nula no ponto P

FIGURA 2.10 - O modelo "hexcone" (Fonte: Schowengerdt, 1983 pág. 124, Figura 2.42).

A tonalidade de um ponto em cada hexágono é determinada pelo ângulo em torno do hexágono e a saturação pela distância do ponto ao centro, isto é, ao ponto cinza do hexágono. O uso de distâncias lineares simples para definir tonalidade e saturação torna o algoritmo "hexcone" mais eficiente que transformações similares envolvendo funções trigonométricas (item b);

b) modelo de coordenada esférica: o sistema de coordenadas IHS é relacionado, por um processo, de escalonamento não-linear, a um sistema de coordenadas esféricas (THETA, PHI, RHO) (King e outros 1984 e Gillespie, 1980).

Além disso, um sistema de coordenadas cartesianas intermediário xyz (o qual é resultado de uma transformação das coordenadas esféricas em cartesianas do sistema de coordenadas (THETA, PHI, RHO)) é usado devido ao seu relacionamento rotacional com o sistema de coordenadas RGB. Assim sendo, as coordenadas IHS podem ser descritas como:

$$\text{THETA} = \tan^{-1} (-x/z) \quad (2.1)$$

$$\text{PHI} = \cos^{-1} (y/RHO) \quad (2.2)$$

$$\text{RHO} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \text{ PHI} \neq 0 \quad (2.3)$$

$$x^2 + y^2 + z^2 \neq 0 \quad (2.4)$$

onde x, y, z são coordenadas cartesianas relativas ao RGB (Figura 2.11).

THETA é tida como a longitude, PHI como latitude e RHO como o raio, os quais correspondem respectivamente, a H, S e I. Essa representação é apropriada porque

tonalidade (H) é algumas vezes descrita por uma "roda de cores", que é o plano equatorial da esfera. Nesse caso, o eixo polar é equivalente a linha diagonal $NC_1 = NC_2 = NC_3$ o qual é usado para representar o espaço cartesiano. Assim, as coordenadas (x, y, z) de (2.1, 2.2 e 2.3) podem ser substituídas por (NC''_1, NC''_2, NC''_3) após o sistema de coordenadas NC ser rotacionado de 45° duas vezes sucessivas, no sentido horário em torno de NC_2 , e de 54,7° no sentido horário em torno de NC_3 (Figura 2.11):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} NC''_1 \\ NC''_2 \\ NC''_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/3 & 2/3 \\ 0 & -2/3 & 1/3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} NC_3 \\ NC_2 \\ NC_1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Como os dados de imagens recaem dentro do primeiro quadrante do espaço RGB, não ocorrem grandes valores de S: os valores máximos variam de 35,3 a 54,7 como uma função de H. Intensidade é então definida como a soma escalar de NC_1, NC_2 e NC_3 , tal que (x, y, z) sejam dados por NC''_1, NC''_2 e NC''_3 .

Para manter essa convenção é necessário redefinir (x, y, z) como (NC''_3, NC''_2, NC''_1) como mostrado na equação anterior e teremos:

$$\begin{bmatrix} x^2 \\ y^2 \\ z^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & -1/2 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/6 & -2/3 & 1/6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} NC_3 \\ NC_2 \\ NC_1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

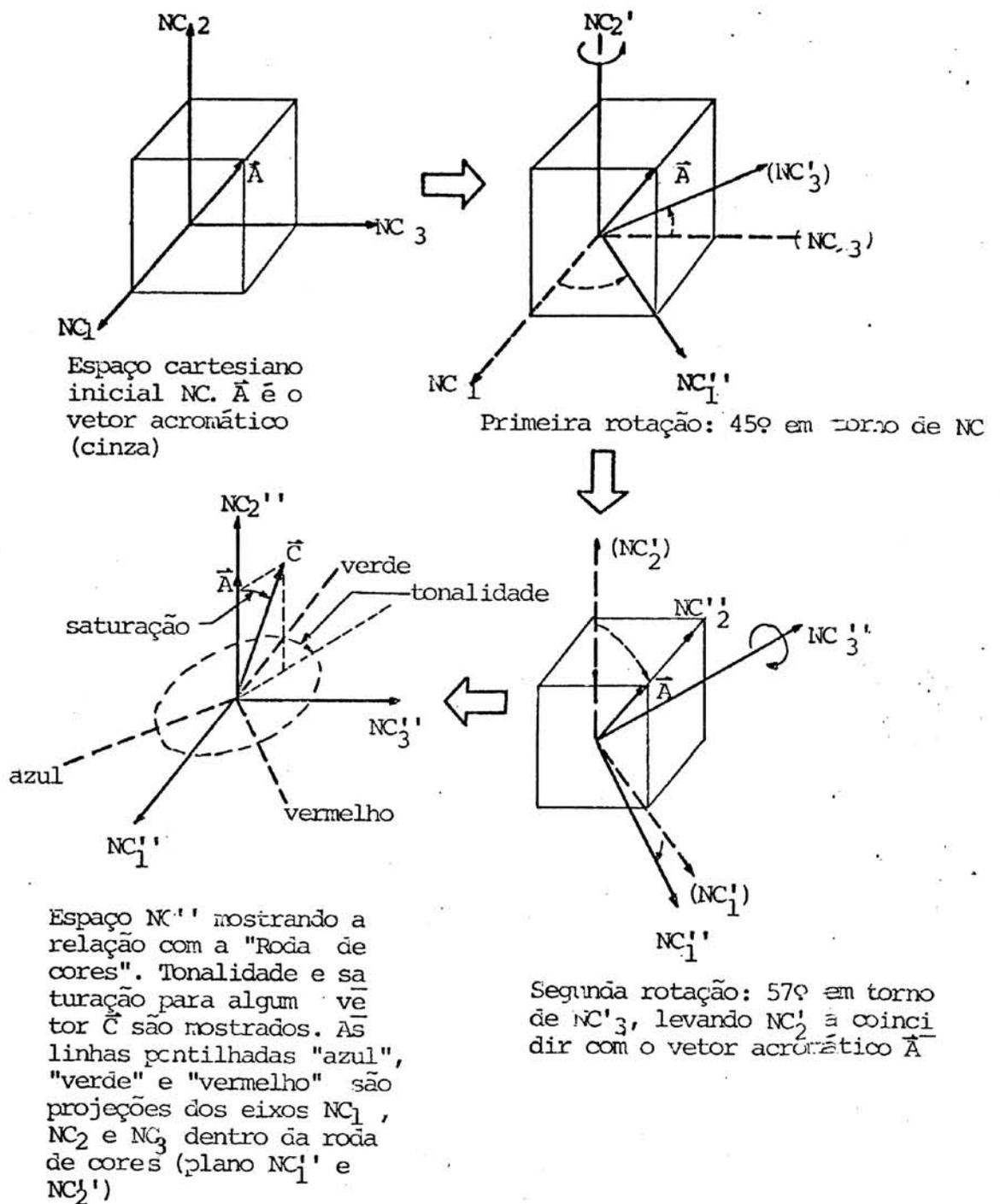


FIGURA 2.11 - Transformação de coordenadas do NC adquirido para tonalidade, saturação e intensidade. Rotações de coordenadas descritas pela equação (2.5). (Fonte: Alan R. Gillespie, pág. 205, Figura 6.29(a), em Remote Sensing in Geology, Siegel e Gillespie, 1980, Chapter 6: "Digital techniques of image enhancement").

O espaço IHS é então definido por:

$$H = \tan^{-1} (\sqrt{R''}/-\sqrt{B''}) + n\pi \quad (2.7)$$

$$S = \cos^{-1} (\sqrt{G''}/\sqrt{B+G+R}) \text{PHI}_m^{-1}(H) \quad (2.8)$$

$$I = (B+G+R) \text{RHO}_m^{-1}(H, \text{PHI}), \quad (2.9)$$

onde $\text{PHI}_m^{-1}(H)$ é a colatitude mínima permitida para um dado H e $\text{RHO}_m^{-1}(H, \text{PHI})$ é a intensidade máxima permitida para dada saturação e dada colatitude.

c) representação simplificada do IHS: é obtida uma relação gráfica entre IHS e RGB através de um triângulo (Figura 2.12 e Figura 2.8), onde num lado deste, o valor de H varia de 0 a 1 no sentido horário, podendo chegar a 3 (contornando o perímetro inteiro do triângulo); S varia de 0 (centro) a 1 (triângulo) e as equações de transformação podem ser deduzidas da figura como:

$$I = R + G + B \quad (2.10)$$

$$H = (G - B)/(I - 3B) \quad (2.11)$$

$$S = (I - 3B)/I \quad (2.12)$$

$$R = 1/3 * I * (1 + 2S - 3SH) \quad (2.13)$$

$$G = 1/3 * I * (1 - S + 3SH) \quad (2.14)$$

$$B = 1/3 * I * (1 - S) \quad (2.15)$$

as quais valem para $0 \leq H < 1$ e podem ser extendidas para $1 \leq H < 3$ através de correções a cada passo.

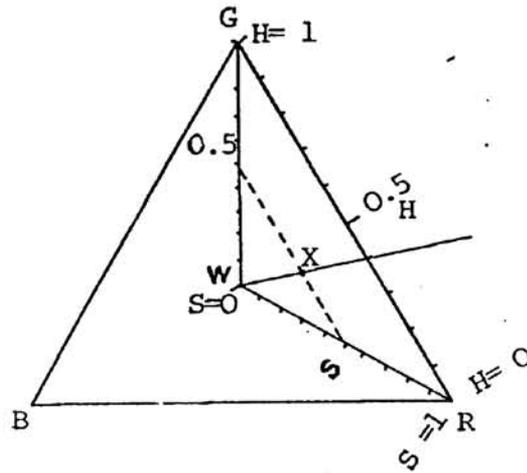


FIGURA 2.12 - Representação simplificada do IHS (Fonte: Haydn e outras, 1982, pág. 606, Figura 2).

CAPITULO 3 - RESULTADOS OBTIDOS

3.1 - ALVO SELECIONADO

A área escolhida para aplicação das técnicas de integração de dados aqui discutidas compreende a região norte do Estado de São Paulo e sul do Estado de Minas Gerais, onde atualmente o Instituto de Pesquisas Espaciais desenvolve experimento para aplicação e desenvolvimento de técnicas geofísicas, sendo toda sua extensão associada ao Grupo Bauru, na Bacia do Paraná (Figura 3.1).

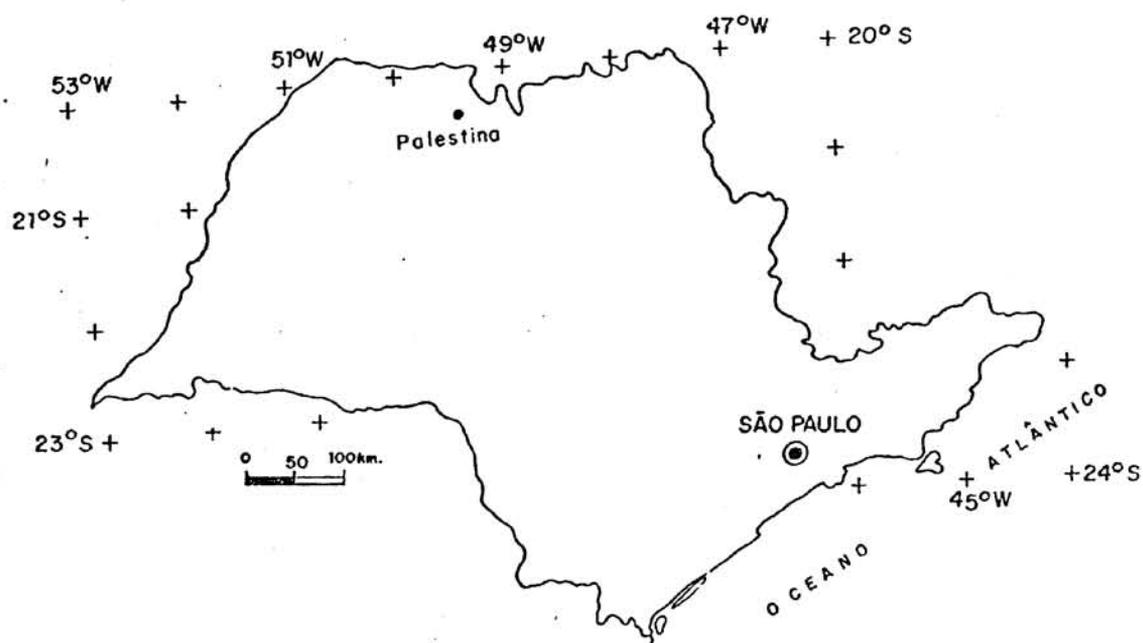


FIGURA 3.1 - Localização da área estudada.

Nessa área, foram buscadas algumas subáreas que propiciassem a aplicação das técnicas de integração, com vistas a estudos geomorfológicos, litológicos, etc.

As prioridades para seleção dessas áreas, seguiram diferentes critérios, os quais variaram deste o reconhecimento visual das estruturas de interesse, até a disponibilidade de mapas em escalas compatíveis e informação relevante (existem mapas muito antigos e não atualizados que dificultariam as tentativas de integração com base nesses mapas).

3.2 - METODOS QUANTITATIVOS UTILIZADOS

Com o objetivo de ressaltar a informação em estudo ou a facilitar a sua entrada nos processos de integração, foram utilizados vários processamentos. No caso do estudo geomorfológico, as técnicas de composição colorida e análise dos componentes principais produziram resultados mais relevantes, ao passo que na discriminação litológica, o uso da transformação IHS, forneceu as melhores caracterizações.

O estudo geomorfológico teve continuidade com a gravação das imagens em disquetes e conseqüente integração com a informação topográfica, retirada de folha topográfica de Palestina 1:50 000 do IGG - Primeira Edição de 1966, o qual apesar da defasagem de tempo (a imagem utilizada é de 1985), serviu para os propósitos requeridos, através do Sistema Geográfico de Informações - SGI do INPE, desenvolvido pelo Departamento de Processamento de Imagens dessa Instituição. Nesse sistema, devido as grandes diferenças de posicionamento das feições geográficas existentes entre o mapa e a imagem (estradas, tamanho de cidades, etc), optou-se por "distorcer" o mapa em relação a imagem, ou seja, a imagem tornou-se a base de referência principal.

A partir do mapa topográfico digitalizado via SGI, e da imagem digital em disquetes, pode-se fazer os registros das mesmas e obter-se composições as quais ressaltassem a informação geomorfológica.

No exemplo desenvolvido utilizou-se, além da folha topográfica, imagens digitais do sensor TM do LANDSAT

5, canais 3, 4, 5, passagem 221-74, quadrante C de 16/7/1985. A escolha dos canais prendeu-se a existência de outras passagens no INPE, cobrindo parte da área do Projeto: Estudos Magnetotelúricos na Bacia do Paraná, a qual também se integra a área em questão, e que dispunham desses canais.

A escolha da região da cidade de Palestina, foi efetivada após uma série de processamentos e análises de toda a área coberta pelo referido Projeto, os quais resultaram na seleção de uma série de alvos estruturais e litológicos possíveis de serem estudados via recursos de sensoria-mento remoto. Em função da escassez de tempo e da disponibi-lidade de recursos existentes para se explorar todos os alvos delimitados, optou-se pela seleção da área citada, também em razão da observação das características geomorfo-lógicas existentes, embora já se soubesse da não existência de outros dados possíveis de se utilizar no processo de integração, na escala considerada.

Assim sendo, digitalizou-se o mapa topográfico considerando-se as curvas de 20m em 20m (originalmente, no mapa, estão de 10m em 10m), via Sistema Geográfico de Informações, e o sistema de drenagem presente, registrados e corrigidos segundo a primeira componente principal dos ca-nais 3, 4 e 5 anteriormente gerada no I-100. A seguir, também via SGI, foram geradas as imagens do relevo (topo-gráfico) e da drenagem, a qual não foi utilizada.

A imagem topográfica gerada a partir dos pon-tos digitalizados do mapa topográfico foi criada no SGI, utilizando procedimentos padrões de interpolação (seis vizi-nhos mais próximos, inverso do quadrado das distâncias,

malha de 100 x 100 pontos) e de varredura ("rasterização", onde cada "pixel" tem dimensão 30,05m x 30,05m) gerando uma imagem de 512 x 512 "pixels".

As composições geradas estão mostradas nas Figuras de 3.2 a 3.16, onde se observa composições coloridas do tipo RGB: da imagem topográfica com as imagens radiométricas; da imagem topográfica e dos canais-espectrais com as componentes principais das imagens radiométricas. Obteve-se também, as componentes principais da imagem topográfica com algumas composições de canais e a decomposição de cores I (intensidade), H (tonalidade) e S (saturação) da topografia e composição de pares de canais espectrais, as quais também são mostradas nas figuras.



FIGURA 3.2 - Composição colorida com os canais 3, 4, 5 do sensor TM na área estudada.

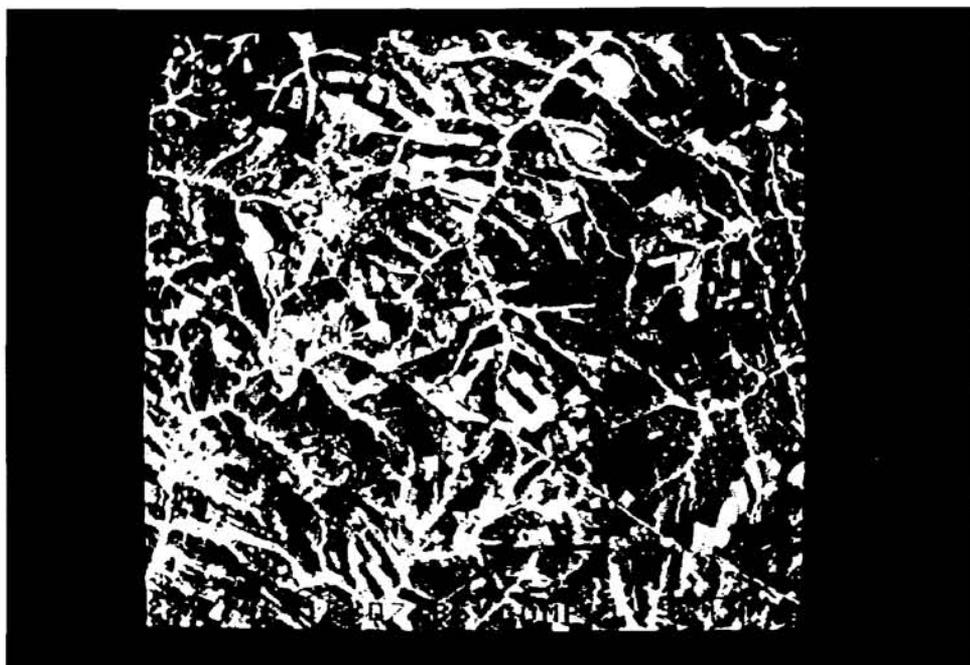


FIGURA 3.3 - Imagem preto e branco da 1-^a componente principal realçada, dos canais 3, 4 e 5 originais.



FIGURA 3.4 - Composição colorida com as três componentes principais obtidas dos canais 3, 4 e 5.



FIGURA 3.5 - Imagem topográfica da área estudada obtida via SGI, a partir da folha topográfica do IGGSP 1:50 000, Palestina, 1966.

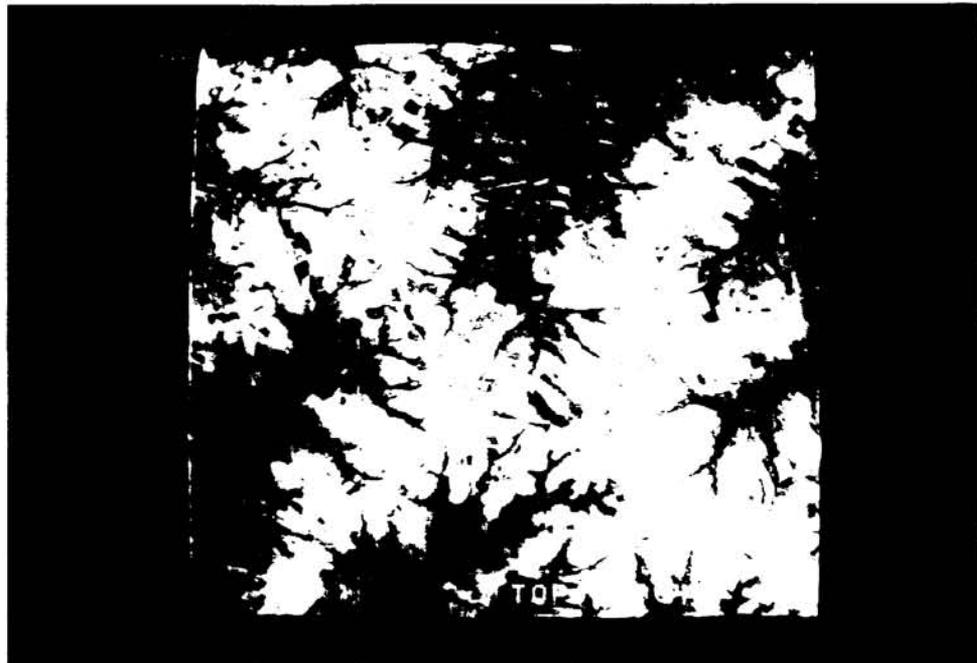


FIGURA 3.6 - Composição colorida com a topografia e os canais 3 e 4 do sensor TM. 1987, p. 59-65.

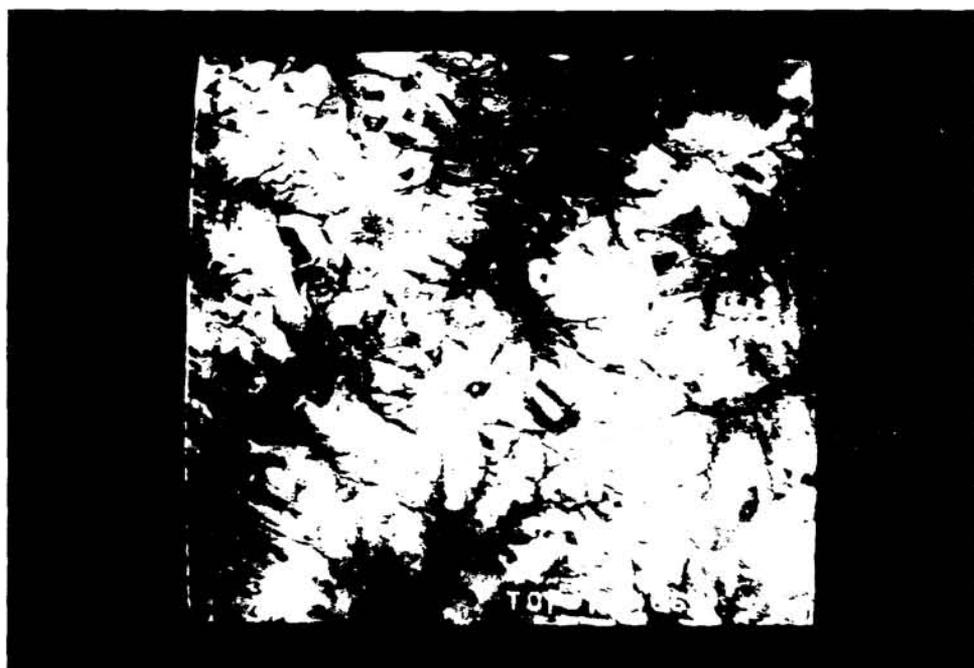


FIGURA 3.7 - Composição colorida da topografia e os canais 4 e 5 do sensor TM.



FIGURA 3.8 - Composição colorida da topografia e as duas primeiras componentes principais obtidas dos canais originais 3, 4 e 5 do TM.



FIGURA 3.9 - Composição colorida da topografia (R e B) e a primeira componente principal (G) obtida dos canais 3, 4 e 5 do TM.



FIGURA 3.10 - Composição colorida das três primeiras componentes principais obtidas da topografia e dos canais 3, 4 e 5 do TM.

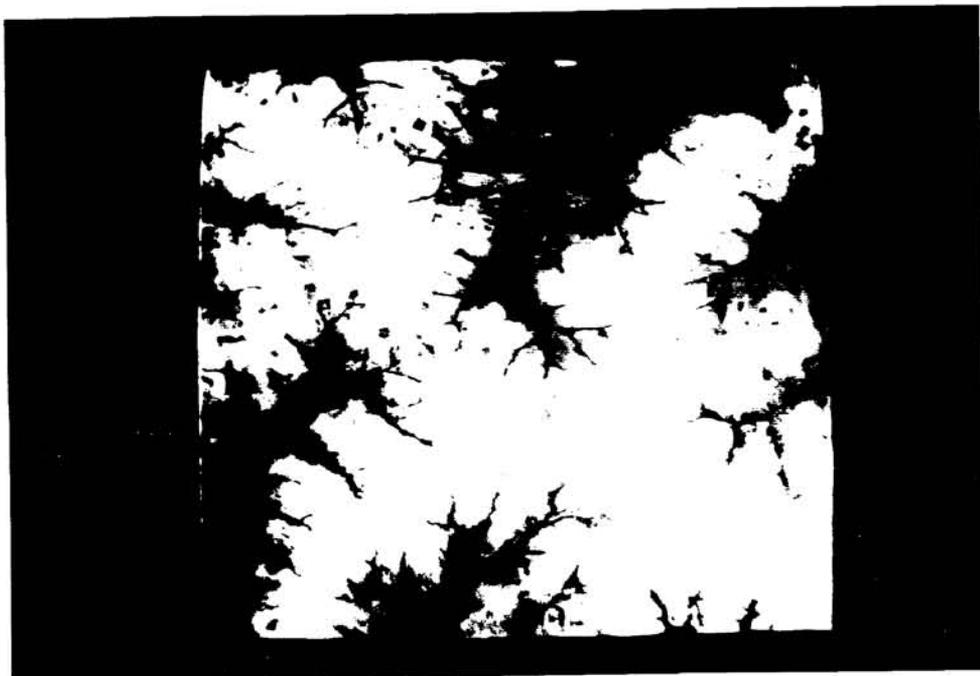


FIGURA 3.11 - Composição colorida das duas primeira componentes principais obtidas da topografia e dos canais 3, 4 e 5 do TM (1- componente em azul e vermelho e a segunda em verde).

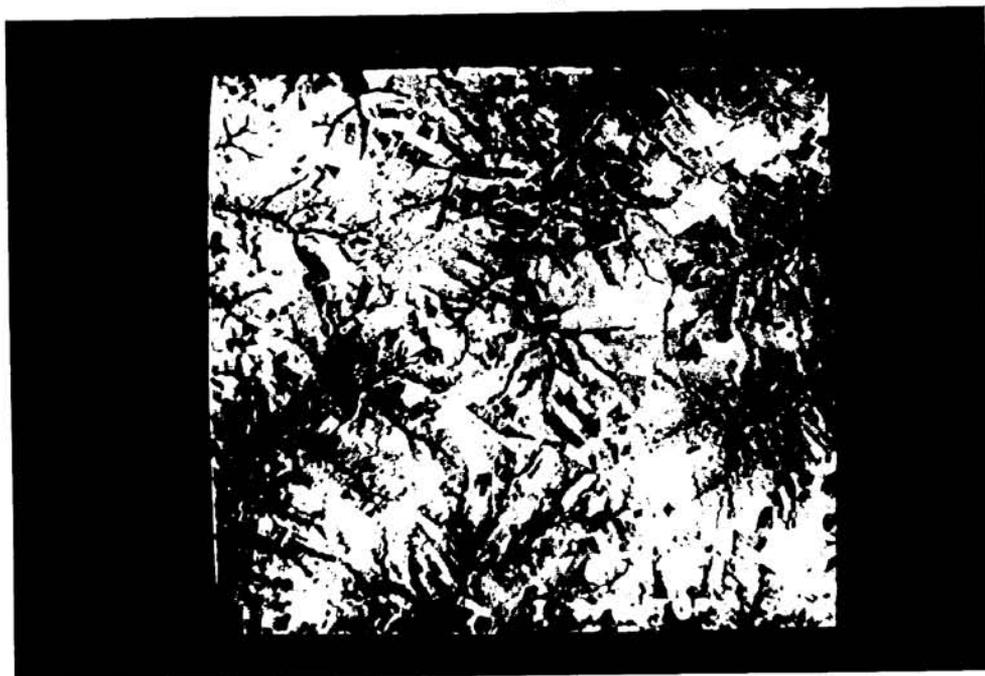


FIGURA 3.12 - Imagem preto e branco da componente de intensidade (I) da composição entre a topografia, e os canais 3 e 5 do sensor TM.

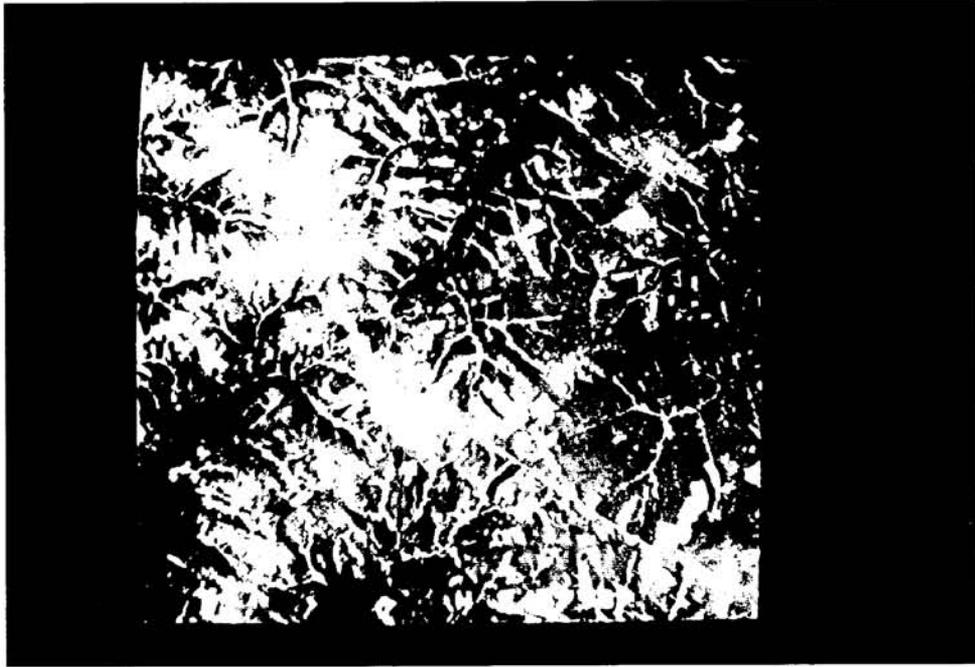


FIGURA 3.13 - Imagem preto e branco da componente de tonalidade (H) da composição entre a topografia e os canais 3 e 5 do sensor TM.

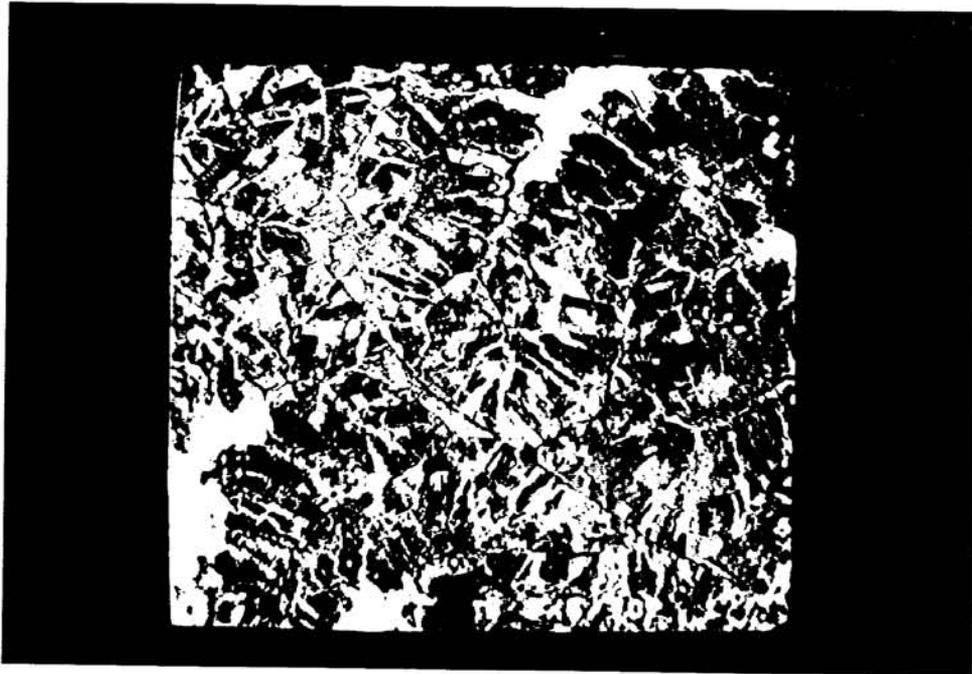


FIGURA 3.14 - Imagem preto e branco da componente de saturação (S) da composição entre a topografia e os canais 3 e 5 do sensor TM.

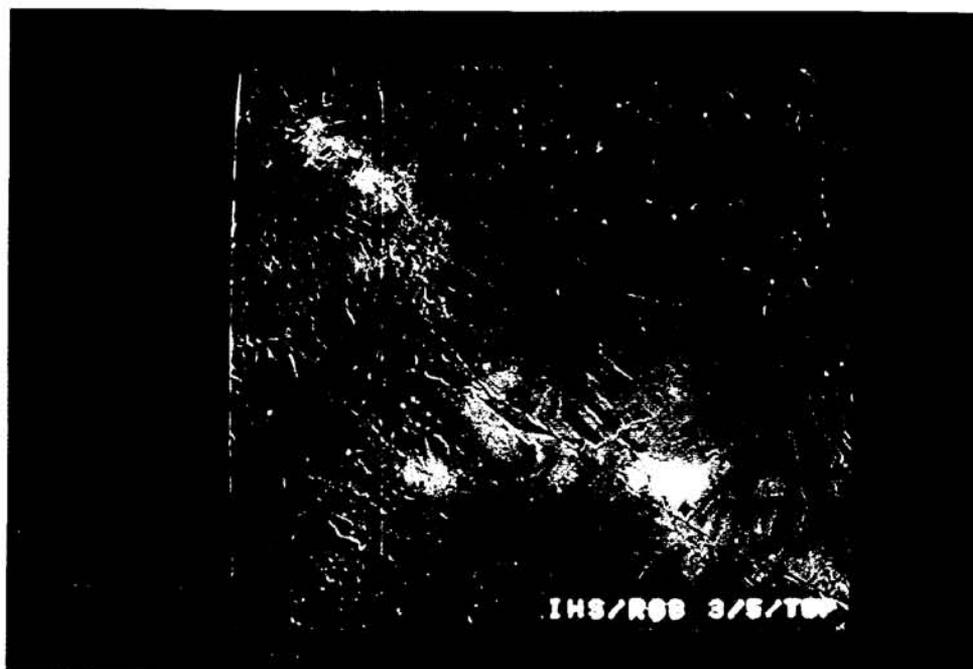


FIGURA 3.15 - Composição colorida das componentes I, H e S obtidas da topografia e dos canais 3 e 5 do

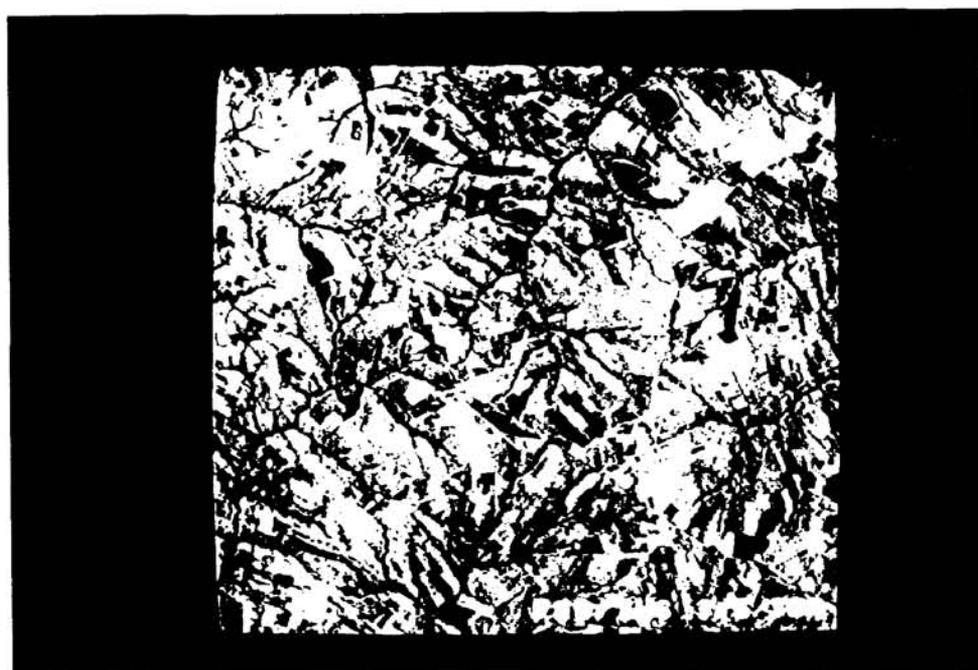


FIGURA 3.16 - Composição colorida das componentes I, H e S reconvertidas para o espaço de cores R (vermelho), G (verde) e B (azul), obtidas da topografia e dos canais 3 e 5 do sensor TM.

3.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o exemplo proposto, observa-se na Figura 3.2 (composição colorida dos canais 3, 4 e 5) a existência de uma forma circular no centro da fotografia contendo inclusive, a própria cidade de Palestina, e a rede de drenagem existente. Nas Figuras 3.3 e 3.4, a primeira componente principal dos canais 3, 4 e 5 (fotografia em preto e branco) e uma composição colorida das três principais componentes principais, verifica-se além daquelas características já citadas, um maior destaque ao uso e ocupação do solo na região, sendo que em alguns pontos, a drenagem é confundida com estradas e cortes provenientes da ação humana.

Os resultados estatísticos (obtidos através do analisador de imagens I-100) provenientes dessa transformação estão mostrados no Quadro 1 onde se vê que a primeira componente principal contém 92.9% da variação total da cena e está fortemente correlacionada ao canal 5 (o de maior variância).

A Figura 3.5 mostra a imagem digital gerada da topografia e os níveis de cinza nela mostrados estão diretamente relacionados às curvas topográficas digitalizadas (de 440m a 540m, de 20m em 20m), conforme mostra a Figura 3.17. As composições coloridas dessa imagem com os canais 3 e 4 (Figura 3.6) e com os canais 4 e 5 (Figura 3.7), pouco diferem entre si em termos de reconhecimento visual além do fato de, com relação às anteriores, darem um maior destaque às estruturas de drenagem e relevo. Já a composição da

topografia com as duas primeiras componentes principais (Figura 3.8), além de manter as características observáveis nas componentes principais, incrementa o destaque da drenagem e mostra uma grosseira separação dos níveis de altitude (amarelo nas regiões mais baixas e azul, cor do canal topográfico, nas mais altas). A composição da topografia com a primeira componente principal (Figura 3.9), mascara as características observáveis nas componentes principais e é quase uma binarização entre regiões baixas (com drenagens) e altas (sem drenagem).

Os resultados obtidos pela transformação em componentes principais da topografia digital e dos três canais espectrais (Figuras 3.10 e 3.11), são muito semelhantes àqueles na Figura 3.9 e, ao menos visualmente, nada acrescentam às observações já formuladas. As estatísticas relativas a essa transformação são mostradas no Quadro 2, onde se observa a fraca correlação da topografia com os canais originais e uma alta correlação com a primeira componente principal gerada (0.996%), talvez como função da sua enorme variância (2281) com relação à dos canais originais (49, 25 e 29, respectivamente).

Nas figuras 3.12 a 3.16, estão mostradas, em preto e branco, as componentes I, H e S da respectiva transformação e, em cores: as componentes da transformação IHS mostradas respectivamente nos canais vermelho, verde e azul (RGB), e a composição IHS reconvertida novamente ao sistema RGB, da topografia e os canais 3 e 5 do sensor TM (as composições topografia - 3-4 e topografia - 4-5 também foram tentadas, mas os resultados obtidos foram muito parecidos, optando-se por apresentar aquela composição melhor fotogra-

fada). Para essas composições, os canais originais 3 e 5 foram realçados e, após a transformação IHS, a componente S também foi realçada através do programa RESCALE do I-100.

Nessas figuras é interessante observar, no caso das composições coloridas, a semelhança da composição RGB da transformação IHS reconvertida (Figura 3.16) com a composição colorida da topografia e as duas primeiras componentes principais dos canais 3, 4 e 5 originais (Figura 3.8), sendo a Figura 3.16 claramente mais nítida, (provavelmente em função dos realces realizados e pelo fato de que a componente principal é baseada em variância, tendendo portanto, a ressaltar também os ruídos das imagens) (Kruse e Rainer, 1984). A composição colorida da transformação IHS (Figura 3.15) não apresenta outras informações às já observadas, além da de ressaltar a estrutura de drenagem. No caso das imagens preto e branco das componentes I, H e S, individualmente, verifica-se claramente, uma diferença na qualidade e na quantidade do conteúdo da informação, reconhecendo-se características em uma às quais não são encontradas em outras. E, por exemplo, o caso da imagem de tonalidade (H) (Figura 3.13), a qual tem muito menos informação que as outras duas, I (Figura 3.12) e S (Figura 3.14).

Essas diferenças devem ser creditadas às próprias definições dessas componentes, pois a tonalidade (H) é atributo das cores (verde, vermelho e azul) e suas misturas; a saturação representa a pureza de cada cor (ou seja, um vermelho mais forte significa que aquele ponto é mais vermelho) e a intensidade é o brilho de cada cor.

Assim, a Figura 3.12 mostra as regiões mais e

menos brilhantes da área nos canais usados na composição (topografia - 3-5); a Figura 3.13 indica uma maior mistura das informações dos canais nas partes mais afastadas das drenagens e a Figura 3.14, o contraste entre os canais considerados.

Desta forma, uma imagem-síntese daquilo que se poderia analisar em termos de reconhecimento de características geométricas e/ou morfológicas nos produtos utilizados (mapa topográfico e imagens TM) é a Figura 3.16, uma vez que nela é possível se observar os padrões de drenagem (dendríticos) e de relevo (anelares) presentes, mantém a informação sobre uso e ocupação do solo e ainda dá idéia daquilo que, a grosso modo e na escala e precisão dos produtos utilizados, se pode chamar de mapeamento dos divisores de águas e extensão das áreas de bacia de drenagem, informações que podem ser importantes caso se deseje, por exemplo, incrementar processos de classificação considerando tamanhos e direções das bacias de drenagem.

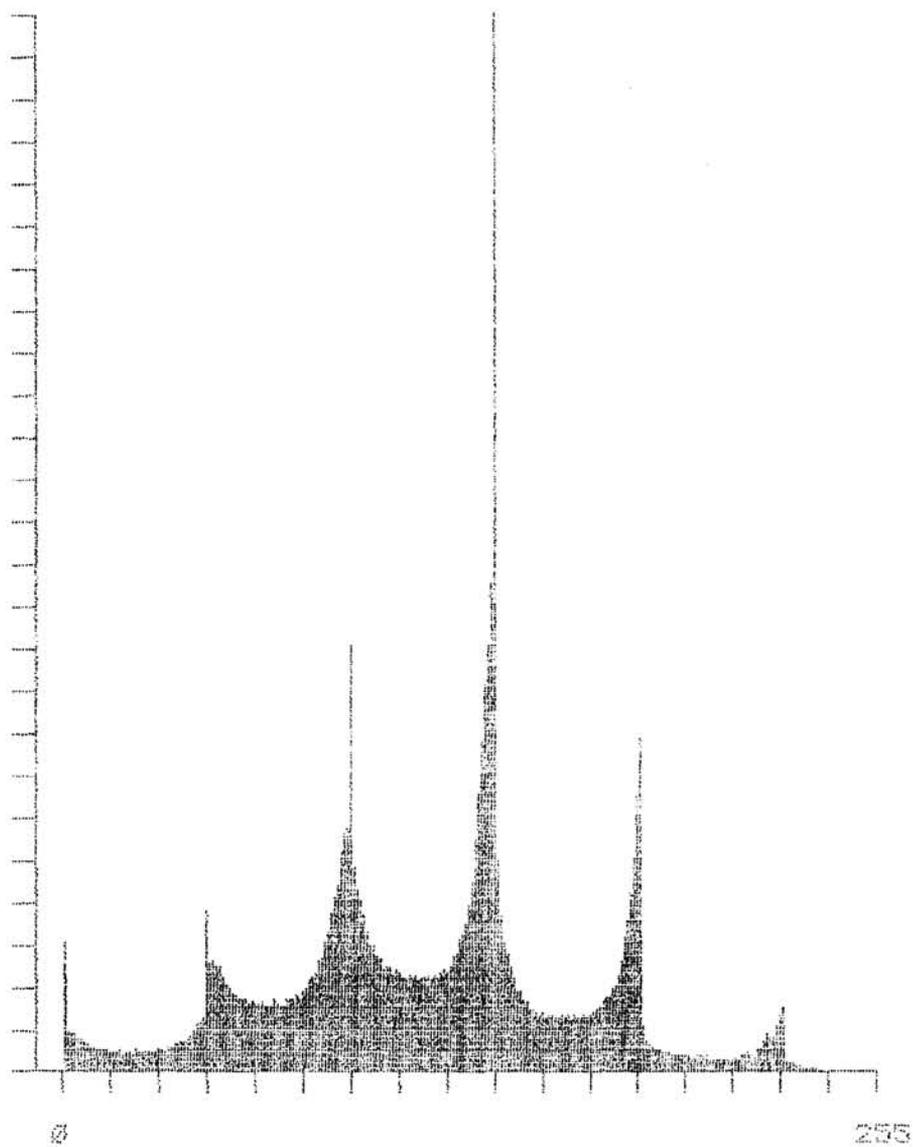
Assim sendo, no exemplo considerado, verificou-se que a combinação dados de sensoriamento remoto-topografia realçou a informação de carácter geomorfológico da área. Entretanto, em vista dos produtos (imagens) geradas com a informação disponível e os procedimentos utilizados, pode-se mostrar o potencial da integração de dados na análise geológica, fato este já ressaltado na revisão bibliográfica.

Alguns dos tópicos citados e discutidos na bibliografia, tais como: critérios de seleção dos tipos de informação a serem integradas e as técnicas de se analisar o conjunto de dados integrados não foram discutidos em função

de não haverem dados disponíveis nessa área, na escala considerada.

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO				
1.000	0.280	0.767	0.746	
0.280	1.000	0.346	0.342	
0.767	0.346	1.000	0.992	
0.746	0.342	0.992	1.000	
MATRIZ DE COVARIÂNCIA				
51.005	10.133	91.968	88.830	
10.133	25.736	29.471	28.921	
91.968	29.471	281.724	277.786	
88.830	28.921	277.786	278.297	
MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO				
1 AUTO-VETOR	-0.231	-0.075	-0.689	-0.683
2 AUTO-VETOR	-0.146	-0.983	0.060	0.096
3 AUTO-VETOR	-0.957	0.169	0.087	0.217
4 AUTO-VETOR	-0.093	-0.010	0.717	-0.690
AUTOVALORES		% DE INFORMAÇÃO		
	591.423		92.9	
	22.597		3.5	
	20.695		3.2	
	2.047		0.3	

QUADRO 1 - Resultados estatísticos da aplicação da transformação em componentes principais dos canais 3, 4 e 5 do TM (o canal 5 foi repetido para que a transformação fosse possível no I-100).



CANAL = 1
 NIVEL MINIMO DE CINZA = 1
 NIVEL MAXIMO DE CINZA = 254
 FREQUENCIA MAXIMA NA ESCALA VERTICAL = 13687.00
 EIXO VERTICAL = FREQUENCIA DE REPETICAO DOS NIVEIS DE CINZA
 EIXO HORIZONTAL = NIVEIS DE CINZA (CADA PONTO CORRESPONDE A UM NIVEL)

FIGURA 3.17 - Histograma da distribuição dos níveis de cinza da imagem topográfica.

MATRIZ DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

1.000	0.259	0.101	0.208
0.259	1.000	0.271	0.762
0.101	0.271	1.000	0.341
0.208	0.762	0.341	1.000

MATRIZ DE COVARIANÇA

2280.928	86.301	24.364	165.490
86.301	48.787	9.556	88.912
24.364	9.556	25.548	28.747
165.490	88.912	28.747	278.719

MATRIZ DE TRANSFORMAÇÃO

1 AUTO-VETOR	0.996	0.042	0.012	0.084
2 AUTO-VETOR	-0.093	0.311	0.103	0.940
3 AUTO-VETOR	0.001	0.102	-0.992	0.075
4 AUTO-VETOR	0.013	-0.944	-0.072	0.322

AUTOVALORES

% DE INFORMAÇÃO

2298.710	87.3
294.888	11.2
22.359	0.8
18.024	0.7

QUADRO 2 - Resultados estatísticos da aplicação da transformação em componentes principais da topografia e dos canais 3, 4 e 5 do TM.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AARNISALO, J. - Image processing and integration of geophysical, Landsat and other data as a tool for mineral exploration in glaciated Precambrian terrain - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. Third Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, Colorado Springs, Colorado, Ap. 1984, p. 107-128.
- AHERN, F. J. - Preprocessing for multi-source data integration - Nineteenth INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Ann Arbor, Michigan, Oct. 1985, p. 95-103.
- ARONOFF, S. - Image Processing for data integration in mineral exploration - 9th CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 1985, p. 423-432.
- ARONOFF, S. & GOODFELLOW, W. - Image processing for the effective analysis of regional geochemical data, in Advanced technology for monitoring and processing global environmental data, 10-12 Sept. 1985, London, UK.
- ARONOFF, S. GOODFELLOW, W., BONHAM-CARTER, G. F. & ELWOOD, D.J. - Integration of surficial geochemistry and Landsat imagery to discover skarn tungsten deposits using image analysis techniques - Proc. of IGARSS'86 SYMPOSIUM, Zurich, Sep. 1986, Ref. ESA SP-254, p. 513-520.
- BALLEW, G. I. E LYON, R.J.P. - The display of Landsat data

- at large scales by matrix printer - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 43, p. 1147-1150, 1977.
- BELGANT, A.M. - Integration of cartographic and remote sensing methods - Mapping Sciences and Remote Sensing, 1986, 23, pg.175-188.
- BERNSTEIN, R. - Digital image processing of earth observation sensor data - IBM Journal of Research and Development, vol. 20, Jan. 1976, p. 40-57.
- BLOM, R.G. E DAILY, M. - Radar Image Processing for Rock-Type Discrimination - IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-20, n.3, July 1982.
- BLUSSON, A., ABRAMS, M., NGUYEN, P.T. E MASSON, P. - Structural analysis of the Cevennes (France) using multiple data types - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Third Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, Colorado Springs, Colorado, April 1984, p. 417-423.
- BOLIVAR, S.L.; FREEMAN, S.B. E WEAVER, T.A. - Evaluation of integrated data sets - four examples; Computer and Geosciences, Vol. 9, N.1, pg. 7-15, 1983.
- BOX, G.E.P. E COX, D.R. - An analysis of transformations - Journal Royal Statistical Society, Series B, V.26, pg. 211-243, 1964.
- BRIGGS, I., O'CALLAGHAN, J. E MARK, D. - Elevation data processing for integration with remotely sensed data - in

THIRD AUSTRALASIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, Queensland,
1984.

BRYANT, N.A. E ZOBRIST, A.L. - IBIS: A geographic
information system based on image processing and image
raster data type - IEEE Transactions on Geoscience
Electronics, vol. GE-15 n.3, July 1977, 152-158.

BURNHAM, R.W., HANES, R.M., BARTLESON, C.J. - Color: a guide
to facts and concepts. John Wiley & Sons, New York,
1983.

CÂMARA, G.; ERTHAL, G. E ALVES, D.S. - Modelos de dados geo-
relacional: uma visão conceitual de um sistema geográfico
de informações - 1987a.

CÂMARA, G., ERTHAL, G., ALVES, D.S., PAIVA, J.A., FELGUEI-
RAS, C.A. E OLIVEIRA, E.A. - Especificação da versão 2.0
do SGI - INPE, Agosto de 1987b.

CONRADSEN, K.; NILSSON, G. E THYRSTED, T. - Application of
integrated Landsat, geochemical and geophysical data in
mineral exploration - Proc. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Third Thematic Conference,
Remote Sensing for Exploration Geology, Colorado Springs,
Colorado, April 1984, p. 499-511.

CRAIG, M. E GREEN, A. - Integration of topographic,
geological, geochemical and remote sensing data for the
Fosayth 1:100 000 map sheet - THIRD AUSTRALASIAN REMOTE
SENSING CONFERENCE, Queensland, 1984.

CRAWFORD, M.F. - The simultaneous use of LANDSAT and

- geophysical data in exploration for non-renewable resources - Dissertation submitted to the Department of Applied Earth Sciences and the Committee on Graduate Studies of Stanford University, for the degree of Doctor of Philosophy - 1981.
- CRITCHLEY, M.F.; PHILLIPS, W.E.A. E COLLER, D.W. - Methods for correlating geological, geochemical and geophysical data with satellite imagery in Central Ireland - PROCEEDING INTEGRATED APPROACHES IN REMOTE SENSING, Guilford UK, April 1984, Ref. ESA SP-214, Aug 1984, p.51-53.
- CYBULA, W.G. E NYQUIST, M.O. - Use of topographic and climatological models in a geographical data base to improve LANDSAT MSS classification for Olympic National Park. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(1):62-65, 1987.
- DENNEN, R.S. E BARRELL, S. - Multivariate analysis for geology, energy and minerals potential - in Renewable Resources Management - Applications of Remote Sensing - Proc. of the RNRF SYMPOSIUM ON THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TO RESOURCE MANAGEMENT, Seattle, Washington, May 22-27, 1983.
- DUDA, R.O. E GASHING, J.G. - Knowledge-based expert systems come of age - Byte, vol. 6, n.9, Sept. 1981, p.238-279.
- ELIASON, P.T.; DONAVAN, T.J. E CHAVEZ JR., P.S. - Integration of geologic, geochemical, and geophysical data of the Cement oil field, Oklahoma, using spatial array processing - 1983 - Geophysics, vol. 48, n.10, Oct. 1983,

ELPHINSTONE, C.D.; LONERGAN, A.T.; FATTI, L.P. E HAWKINS, D.M. - An empirical investigation into the application of some statistical techniques to the classification of remotely sensed data. National Research Institute for Mathematical Sciences - CSIR - Special Report - SWISK 40-1985.

FATTI, L.P.; HAWKINS, D.M.; MARKAM, R. E ELPHINSTONE, C.D. - A statistical evaluation of discriminant and cluster analysis applied to supervised classification - National Research Institute for Mathematical Sciences, Internal Report n.1 495, Scientia, Pretoria, July 1983.

FRANKLIN, S.E. - Terrain analysis from digital patterns in geomorphometry and LANDSAT MSS spectral response - Photogrammetric Engineering Remote Sensing, vol. 53, n.1, Jan. 1987, p. 59-65.

FREEMAN, S.B.; BOLIVAR, S.L., E WEAVER, T.A. - Display techniques for integrated data sets - Computers and Geosciences, vol. 9, n.1, pp.59-64, 1983.

GARGANTINI, I. - An effective way to represent quadtrees - Communication of the ACM 25, 12, Dec. 1982, pg 905-910.

GENERAL ELECTRIC - Image-100 user manual. Daytona Beach, FL, 1975, 119 p.

GILLESPIE, A.R. - In: REMOTE SENSING IN GEOLOGY, ed. Barry S. Siegel e Alan R. Gillespie, Chapter 6: Digital Techniques of Image Enhancement, N.Y.: John Willey & Sons.

- GILLESPIE, A.R.; KAHLE, A.B. E WALKER, R.E. - Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI contrast stretch - Remote Sensing of Environment 20:209- 235, 1986.
- GILLESPIE, A.R.; KAHLE, A.B. E WALKER, R.E. - Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques, Remote Sensing of Environment 22, 1987, pg. 343-365.
- GREEN, A.A. E CRAIG, M. - Integrated analysis of image data for mineral exploration - PROC. INT. SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 1984.
- GREEN, P.M. - Digital image processing of integrated geochemical and geological information - Journal of Geological Society of London, vol. 141, pp 941-949 - 1984.
- GUPTILL, S.C. - The role of digital cartographic data in the geosciences - Computers and Geosciences, vol. 9, 1983, n.1, 23-26.
- HART, P.E.; DUDA, R.O. E EINAUDI, M.T. - PROSPECTOR - A computer - based consultation system for mineral exploration - International Journal Association of Mathematical Geology, 1978, vol.10, n.5, p.589-610.
- HAYDN, R.; DALKE, G.W.; HUNKEL, J.; BASE, JH.E. - Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement, INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF ARID AND SEMI-ARID LANDS, Cairo, Egypt, Jan. 1982.

- INCE, F. - Digital image processing systems and remote sensing - International Journal Remote Sensing, 1983, vol. 4, n.1, p.129-148.
- INSTITUTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DE SÃO PAULO - Região Sul do Brasil - 1:50 000, Palestina, Folha SF-22-E-II-3, Primeira Edição, 1966.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - Sistema de tratamento de Imagens - SITIM - Manual do Sistema. 1987.
- IRONS, J.R. - An overview of LANDSAT-4 and thematic Mapper. In: LANDSAT-4 SCIENCE CHARACTERIZATION EARLY RESULTS SYMPOSIUM, Grunbelt, MD, Feb. 22-24, 1983. Proceedings. Washington, DC, NASA Goddard Space Fligh Center, 1985, V.2 - Thematic Mapper (TM), Part 1, p.II. 15-II. 46 (NASA CP-2355).
- JACKSON, M.J. E MASON, D.C. - The development of integrated geo-information systems - International Journal of Remote Sensing, vol. 7, n.6, 723-740, 1986.
- KING, R.W.; KAUP, V.H.; WHITE, W.P. E MACDONALD, H.C. - Digital color space transformation - Proc. IGARSS' 84 SYMPOSIUM, Strasbourg, Aug. 1984, ESA SP-215, 1986.
- KNAPP, E.M. - Spatial Data Integration - in Map Data Processing (eds. Herbert Freeman e Goffredo G. Pieroni), pags. 47 a 61, Academic Press, 1980.
- KOWALIK, W.S. E GLENN, W.E. - Image processing of aeromagnetic data and integration with LANDSAT images for improved structural interpretation - 1987 - Geophysics,

vol. 52, n.7, July 1987, p. 875-884.

KRUSE, F.A. - Munsell color analysis of LANDSAT color-ratio-composite - Images of limonitic areas in southwest New Mexico, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Third Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, Colorado Springs, Colorado, April 16-19, 1984, pg. 761-773.

KRUSE, F.A. e RAINES, G.L. - A technique for enhancing digital color images by contract stretching in Munsell color space, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Third Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, Colorado Springs, Colorado, April 16-19, 1984, pg.755-760.

LAUER, D.T. - Applications of LANDSAT data and the data base approach - PROCEEDINGS OF THE RNF SYMPOSIUM ON THE APPLICATIONS OF REMOTE SENSING TO RESOURCE MANAGEMENT - 1983 - pg.186-196.

LAUER, D.T. - Applications of LANDSAT Data and the Data Base Approach - Photogrametric Engineering and Remote Sensing, vol. 52, n.8, August 1986, 1139-1199.

de MAN, W.K.E. (ed.) - Conceptual framework and guidelines for establishing geographic information systems capable of integrating natural resources data and socio-economic data for development-oriented planning, monitoring and research: preliminary version - General Information Programme and UNISIST - Paris: Unesco, 1984.

- MARBLE, D.F.; CALKINS, H.W. E PEUQUET, D.J. (eds.) - Basic Readings in Geographic Information Systems - SPAD Systems, Ltd., 1984.
- MARBLE, D.F. E PEUQUET, D.J. - Geographic information systems and remote sensing - in Manual of Remote Sensing, vol. 1, Theory, Instruments and Techniques - second edition - Ed. Ch. Robert N. Colwell - 1983 - American Society of Photogrammetry - capter 22 - 923-958.
- MARSTON, R.A.; GOODEL, P.C.; HOFFER, R.L. E KELLER, G.R. - An integrated LANDSAT-geological-geophysical-geochemical survey for mineral occurrence in West-Central Utah, in INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Second Thematic Conference, Remote Sensing of Exploration Geology, Fort Worth, Texas, Dec. 6-10, 1982.
- MARTIN, F.C. - Using a geographic information system for forest land mapping and management - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 51, n.11, Nov. 1985, p. 1758-1759.
- MEEHAN, K.T. - Spatial classification of multisource data type for lithologic mapping in southwestern Idaho - Proceedings of Remote Sensing for Natural Resources - A Symposium - Sept. 10-14, 1979 - Univ. of Idaho, Moscow, Idaho - 1980.
- MELLINGER, MN.; CHORK, S.C.Y.; DIJKSTRA, S.; ESBENSEN, K.H.; KURZL, H.; LINDQVIST, L.; SAHEURS, J.P.; SCHGERMANN, O.; SIEWERS, U. E WESTWERBERG, K. - The multivariate chemical space, and the integration of the chemical, geographical,

and geophysical spaces - Journal of Geochemical Exploration, 21, pp. 143-148 - 1984.

MENEZES, P.R. - Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. Tese de Doutorado em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1986, 233 p.

MEREMBECK, B.F.; BORDEN, F.Y.; PODURYSOCKI, M.H. E APPLGATE, D.N. - Application of canonical analysis to multispectral scanner data, in Application of Computer Methods in the Mineral Industry - Proceedings of the Fourteenth Symposium, October 4-8, 1976, edited by R.V. Ramani, SMEAIMMPE, Inc., New York, 1977.

MEYER, G.W. - Tutorial on color science - The visual Computer International Journal Computer Graphics, vol. 2, n.5, Sept. 1986, Image Synthesis.

MIELKE, H.W. - The application of LANDSAT, geochemical, and phytogeographical methods to mineral exploration in vegetated regions, Proc. PECORA VII SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING: An input to Geographic information systems in the 1980's (ed. Benjamin F. Richason, Jr.) - 1982.

MISSALATI, A.; PRELAT, A.E. E LYON, J.P. - Simultaneous use of geological, geophysical, and LANDSAT digital data in uranium exploration - Remote Sensing of Environment 8:187-210 - 1979.

NAGY, G. E WAGLE, S. - Geographic data processing - Computing Surveys, vol. 11, n.2, June 1979, p.139-181.

- PATTERSON, D.J. E WALKER, R.N. - An application of image analysis of LANDSAT and geophysical data in a mineralised granite terrain. Northwest Queensland - Third Australasian Remote Sensing Conference, 1984.
- PEUCKER, T.K. - Literature for geographic information systems - Urban, Regional, and State Government Applications of Computer Mapping (plus Computer Mapping in Education), Harvard Library of Computer Graphics, 1980 Mapping Collection.
- PEUQUET, D.J. - Data structures for a knowledge-based geographic information system - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, Zurich, August 1984, vol. 2, p.372-391.
- PONZONI, F.J. - Desenvolvimento de um sistema de armazenamento e superposição de informações regionais mediante microcomputador - Tese apresentada a Universidade Federal de Viscosa para obtenção do título de "magister Scientae", 1984.
- POSCOLIERI, M.; LORENZINI, M.; ONORATI, G. E SALVI, S. - Integrated analysis of geological and remote sensing data aimed at mineral deposits detection in the Monapo area (northern Mozambique) - Proc. of IGARSS' 86 SYMPOSIUM, Zurich, Sept. 1986, Ref. ESA SP-254, p. 485-490.
- PRETORIUS, J.P.G. E PARTRIDGE, T.C. - The analysis of angular atypicality of lineaments as an aid to mineral exploration - Journal of the South African Institute of

RENDU, J.M. - An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation - South African Institute of Mining and Metallurgy. Monograph Series, 1978.

RICHARDS, J.A. - Analysis of integrated image and data base workshop THIRD AUSTRALIAN REMOTE CONFERENCE - Queensland, 1984, pg.745-749.

RODRIGUES, M. - Geoprocessamento - Tese de Livre- Docência apresentada junto a Escola Politécnica da USP, 1987, 347 páginas.

SAMET, H.; ROSENFELD, A. E SHAFFER, C.A. - Use of hierarchical data structures in geographical information systems - Proc. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, Zurich, August 1984, Vol.1, p.392-403.

SANO, E.E. - Contribuição à prospecção mineral regional de depósitos de ferro e à discriminação litológica da porção norte do Estado da Bahia através da técnicas de processamento digital de imagens do TM-LANDSAT-5. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1987, 173 p.

SCHOWENGERDT, R.A. - Techniques for image processing and classification in remote sensing Chapter 2: Digital Image Processing - 1983 - Academic Press, Inc. - 249 páginas.

SHLIEN, S. - Geometric correction, registration and resampling of LANDSAT imagery - Canadian Journal Remote Sensing, vol. 5, p.74-89, 1979.

- SHORT, N.M. - The LANDSAT Tutorial Workbook - Basics of Satellite Remote Sensing. NASA Reference Publication n. 1078, 1982.
- SHORT, N.M. E STUART, L.M. - The Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) - Anthology, Chapter 5 - NASA SP-465, 1982.
- SLANEY, V.R. - LANDSAT MSS airborne geophysical data combined for mapping granite in Southwest Nova Scotia - in MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 1985.
- SPECTH, D. - Generation of polynomial discriminant function for pattern recognition. I.E.E.E. Transactions on Electronic Computer, V.EC-16, N.13, June 1967, pg. 308-319.
- STAR, J.L.; COSENTINO, M.J. E FORESMAN, T.W. - Geographic information systems: questions to ask before it's too late - 1984 - MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 194-197.
- STRAHLER, A.H.S.; ESTES, J.E.; MAYNARD, P.F.; MERTZ, F.C. E STOW, D.A. - Incorporating collateral data in LANDSAT classification and modelling procedures - Proceeding of 14th INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT - Costa Rica - 1980.
- VON WIE, P. E STEIN, M. - A LANDSAT digital image rectification system. IEEE Transaction Geoscience, vol. GE-15, n.3, p.130-137.
- WELCH, R.A. - Merging LANDSAT and SIR-A image data in digital formats - Imaging Technology in Research and Development, July 1984, pp.11-12.

- WONG, K.W. - 1975 - Geometric and cartographic accuracy of ERTS-1 imagery - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol.41, p.621-635.
- WRILEY, N. - An introduction to the use of logit models in geography. Concepts and techniques in modern geography, 10, Norwich: Geo Abstracts Ltda. - 1976.
- ZHUANG, P.S.; LEI, Q.X. E XU, C.Y. - Integration of geologic structural analysis based on remote sensing images, geophysical and geochemical data for mineral exploration - Fourth Thematic Conference: "Remote Sensing for Exploration in Geology" - San Francisco, California, April 1-4, 1985.
- ZOBRIST, A.L.; BLACKWELL, R.J. E STRONBERG, W.D. - Integration of LANDSAT, Seasat, and others geo-data sources - 130. SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT - 1979.

**PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS
EDITADAS PELO INPE**

RELATÓRIOS DE PESQUISA

- Reportam resultados de pesquisa tanto de natureza técnica quanto científica.

PUBLICAÇÕES DIDÁTICAS

- Apostilas, notas de aula e manuais didáticos

NOTAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS

- Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, software, sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados e atlas, e documentação de projetos de engenharia.

TESES E DISSERTAÇÕES

- Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

MANUAIS TÉCNICOS

- Descrevem normas, procedimentos, instruções e orientações.

PUBLICAÇÕES SERIADAS

- Periódicos Técnico-Científicos: Boletim de Sensoriamento Remoto, Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática.
- Anais de Eventos