INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

MONOGRAFIA PARA O EXAME INTEGRADO DO CURSO DE MESTRADO DE

SENSORIAMENTO REMOTO

TEMA GERAL:

"TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS PARA APLICAÇÕES GEOLÓGICAS"

BRITALDO SILVEIRA SOARES FILHO Nº 21822

.

ORIENTADOR: Dr. RAIMUNDO ALMEIDA FILHO

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, Fevereiro de 1988

ÍNDICE

		pg
1.	INTRODUÇÃO	1
2.	PARÂMETROS BÁSICOS QUE INFLUEM NA RESPOSTA ESPECTRAL	
	DE ALVOS GEOLÓGICOS	1
	2.1. Comportamento espectral de rochas	2
	2.2. Cobertura vegetal	2
	2.3. Condições de iluminação	2
	2.4. Atmosfera	3
	2.5. Atividade Antrópica	3
3.	CONCEITO DE IMAGEM DIGITAL	3
4.	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	3
	4.1. Manipulação de Contraste	4
	4.1.1. Realce de contraste linear por saturação	5
	4.1.2. Ampliações de contraste logarítmico e	
	exponencial	5
	4.1.3. Modificação de contraste por segmentos	
	. lineares	6
	4.1.4. Equalização do histograma	6
	4.2. Filtragem espacial	6
	4.3. Razão de bandas	8
	4.4. Análise de componentes principais	10
	4.5. Transformação Canônica	12
	4.6. Decorrelação de bandas	13
	4.7. Realce por transformação IHS	14
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem sido uma importante ferramenta de auxílio aos trabalhos de mapeamento e prospecção geológica desde da década de 50, com o ínicio da utilização da fotografia aérea. A partir do lançamento de satélites de recursos naturais - série Landsat, na década de 70, um grande impulso foi alcançado nesta área, com o desenvolvimento de novos conceitos e tecnologias modernas.

A princípio o sensoriamento remoto orbital foi empregado para mapeamentos regionais com ênfase nas grandes feições estruturais. Seus produtos foram avaliados, segundo métodos clássicos da fotointerpretação baseados nos atributos espaciais. Com o advento das imagens digitais multiespectrais, e consequente possibilidade de emprego de computadores, houve necessidade de uma nova abordagem metodológica que enfocasse parâmetros tais como os comportamentos espectrais das diferentes feições superficiais do terreno.

Na década atual, com o lançamento de novos sistemas sensores: TM, Landsat-5, HRV-spot, que produzem imagens com melhores resoluções espacial, radiométrica e espectral, inclusive portanto o primeiro uma banda espectral específica para a geologia - canal 7/TM; amplia-se a utilização desta ferramenta na área geológica, a um grau de informação e nível de detalhe cada vez maior. Por outro lado o grande volume de dados contidos nas imagens exige a constante evolução de sistemas processadores mais rápidos e o desenvolvimento de algoritmos mais poderosos de realce de imagens.

2. PARÂMETROS BÁSICOS QUE INFLUEM NA RESPOSTA ESPECTRAL DE ALVOS GEO-LÓGICOS

Somente em situações especiais os sistemas sensores coletam informações direta da rocha, registrando na maioria dos casos resposta proveniente de produtos de alteração intempérica e da cobertura vegetal. A maior eficiência na extração da informação geológica requer pois a compreensão dos componentes integrantes da paisagem como também eliminação da interferência atmosférica e seleção da melhor condição de iluminação.



Fig. 1 - Principais elementos que contribuem para a coleta de dados em sensoriamento remoto. Fonte - Vitorello e Almeida Fº (1984)

Podem-se enumerar os seguintes parâmetros básicos:

2.1. <u>Comportamento espectral de rochas</u> - Trabalhos experimentais de Salisbury e Hunt (1974) in Almeida (1983) demonstraram a particularidade das curvas de reflectância, albedo e bandas de absorção para cada tipo de litologia. Como em países tropicais, rochas frescas raramente afloram, faz-se necessário compreender as modificações espectrais ocasionadas pelo processo de intemperismo.

2.2. Cobertura vegetal pode encobrir completamente a resposta espec-

tral de solo e rocha. A intensidade que isto ocorre depende da densidade e de seu estado fenológico como também da banda espectral utilizada. A vegetação pode, porém, prestar importante auxílio quanto a informação rocha-solo, quando esta representar associações geobotânicas específicas. Numerosos artigos foram escritos associando áreas mineralizadas e litologias a indicadores geobotânicos, Birnie e Francica (1981), Collins et al (1983), Labovitz et al (1983) e Darch e Barken (1983), entre outros in Almeida (1983), Vitorello e Almeida Fº (1984) sugerem uma abordagem multisazonal para estudos geobotânicos.

2.3. <u>Condições de iluminação</u> - Imagens obtidas sob ângulo de iluminação. mais baixo realçam os atributos espaciais, este realce dependerá ainda do ângulo azimutal relativo entre a fonte de iluminação e direção das feições topográficas. Para análise espectral buscam se imagens com pouco sobreamento e alto ângulo de elevação solar. 2.4. <u>Atmosfera</u> altera os dados coletados por plataformas orbitais, diminuindo o contraste entre alvos distintos. A atmosfera interfere atenuando o sinal proveniente do alvo, através da transmitância atmosférica (Υ) e adiciona um componente de radiação espalhada denominada radiação de trajetória.

2.5. Atividade Antrópica, através de desmatamento e queimadas, modi-

fica o comportamento espectral de associações paisagistícas naturais.

3. CONCEITO DE IMAGEM DIGITAL

A imagem digital é uma representação numérica de forma matricial, onde a cada elemento discreto denominado pixel está associado um valor numérico equivalente à conversão analógica da radiância medida pelo sensor de uma pequena área dentro da cena correspondente ao elemento de resolução do terreno (ERT).

Os valores digitais são normalmente referidos como níveis de cinza ou valores de brilho. Quanto maior for o número de elementos da m<u>a</u> triz para uma mesma área imageada, maior será a resolução espacial e quanto maior for o número de níveis de cinza ou bits maior será a resolução radiométrica.



Fig. 2 - Representação dos valores de brilho dos pixeis da imagem. Fonte - Meneses (1986)

4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

A manipulação numérica de uma imagem via computador é qualificada de processamento digital de imagens. O processo inclui preprocessamento, realce e classificação (Schowengerdt, 1983).

O preprocessamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração com a radiometria da imagem, corrigir distorções e • remover ruído. O realce de imagens produz uma nova imagem mais fácil de interpretar visualmente do que a original e a classificação de imagens leva o processamento digital a um passo alêm substituindo a interpretação visual por decisões matemáticas, o que gera como saída um mapa temático onde cada pixel original está classificado em várias classes ou temas.

Genericamente o processamento está dividido em dois tipos de tran<u>s</u> formações: pontuais, onde o novo nível de cinza gerado depende apenas de cada nível de cinza individual; e transformação pela vizinhança que depende do nível de cinza do pixel a ser transformado e também dos níveis de cinza dos pixeis contidos na vizinhança (Schowengerdt, op cit).

Dentro das técnicas de processamento digital serão discutidos os métodos de realce mais empregados em trabalhos de análises geológicas, compreendendo ampliação de contraste, filtragens espaciais, razão de bandas, análise por componentes principais e canômica, decorrelação de bandas e IHS.



· (a) PIXEL TRANSFORMATION



Fig. 3 - Os dois tipos gerais de processamentos de imagens. Fonte - Schowengerdt (1983)

4.1. Manipulação de Contraste

Manipulação de contraste é uma transformação radiométrica pixela-pixel adequada para realgar a discriminação visual de feições com baixo contraste na imagem. Esta transformação pode ser implementada com simples arranjo de "software" ou através de tabela de realce (look up table) via "hardware", a vantagem da última é a não alteração dos valores originais na imagem (Richards, 1986).

Um passo preliminar e importante para o sucesso deste método é o exame do histograma da imagem. Este é análogo a função de densidade de probabilidade na estatística, especificando o número total de pixeis para cada nível de cinza sem mostrar a distribuição espacial destes através da imagem.



Fig. 4 - Características de histogramas de diferentes tipos de cena. Fonte - Schowengerdt (1986)

A transformação linear mais simples é comumente denominada ampliação linear de contraste (contrast streach).É implementada em primeiro, aumentando o nível de cinza original por um fator de ganho e subtraindo o resultado por um valor arbitrário de nível de cinza. y = f(x) = ganho.x + offset. Demonstra-se que este tipo de transformação linear não resulta em modificações em um processo de classificação automática.

4.1.1. Realce de contraste linear por saturação

O realce de contraste linear pode ser usado com algum grau de saturação nas terminações branco e preta do histograma. As faixas de valores extremos próximos de 0 a 255 são agrupadas nos valores limites respectivamente do histograma permitindo que uma região de interesse com valores intermediários de brilho seja expandida para toda faixa dinâmica do equipamento.



Fig. 5 - Transformação de contraste com saturação. Fonte - Richards (1986)

4.1.2. Ampliações de contraste logarítmico e exponencial

São úteis para realçar feições escuras e claras respectivamente (Richards, 1986). A função está exibida na fig.6 junto com a expressão matemátiça.



Fig. 6 - Transformações logarítmica e exponencial Fonte - Richards (1986)

4.1.3. Modíficação de contraste por segmentos lineares (piecewiese)

É um procedimento flexível e útil para imagens que tenham uma quantidade de saturação em um dos extremos do histograma podendo com isso reduzir a assimetria do histograma da imagem.



Fig. 7 - Transformação "Piecewiese" Fonte - Richards (1986)

4.1.4. Equalização do histograma

É uma função de transformação representada pela função de distribuição de probabilidade acumulada da imagem original. Após a transformação a imagem resultante terá um histograma uniforme na qual, a princípio cada nível de cinza terá a mesma probabilidade de ocorrer na imagem.

4.2. Filtragem espacial, realce de borda

É um processo para se aumentar o detalhe geométrico em uma imagem digital para o realce dos atributos espaciais visando facilitar a fotointerpretação de feições lineares estruturais, tais como falhas, fraturas e foliações.

O método baseia-se na descontinuidade entre valores de brilho no limite entre dois objetos diferentes. Tal descontinuidade é chamada

borda (Schowengerdt, 1983), ela separa duas regiões relativamente uniformes mas com diferentes níveis de cinza ou textura. Dentro do domínio das técnicas de imagens o realce de borda é realizado essencialmente pelo método de filtragem espacial. A filtragem espacial ē uma operação dependente do contexto ou níveis de cinza da vizinhança (vide fig. 3). Ela pode ser realizada tanto no domínio de frequência diretaespacial - transformada de Fourgier (Schowengerdt op cit.) ou mente no domínio espacial. Neste último, a filtragem pode ser implementada através de operações de convolução entre máscaras ou operadores com a imagem original.

Exemplos de operadores para deteção de bordas é mostrado abaixo. Através da utilização de um desses operadores pode-se selecionar a direção da feição linear a ser realçada. O realce de todas direções requer aplicações em sequência destas quatro mascáras sobre a imagem:

-1	0	+1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1 0
-1	0	+1	0	0	0	-1	0	-1	1	Q -1
-1	0	+1	1	1	1	-1	-1	0	0	-1 -1
vertical		ho	oria	zontal			diagor	nais		

Os filtros passa -alto são outros tipos de operadores, eles atuam removendo ecomponentes de baixa frequência de uma cena original, realçando os finos detalhes da imagem. Alguns tipos de mascáras que atuam como filtro passa -alto estão mostrados abaixo. A soma dos pesos dentro das mascáras tem que ser igual a 1 para não alterar a média dos valores radiométricos da imagem. A medida que se aumenta as dimensões da janela, menos componentes de baixa frequência serão removidos resultando em filtros passa -alto mais suaves.



Um terceiro tipo de operador corresponde aos operadores diferenciais gradiente e laplaciano. O vetor gradiente em uma imagem é definido por ∇y (x,y) = $\frac{2}{9}$ g (x, y)i + $\frac{2}{9}$ g (x, y)j, onde i e j são $\frac{1}{9}$ x

um par de vetores unitários. Para o realce de bordas utiliza-se a magnitude do gradiente definido por $|\nabla| = \sqrt{\nabla_1^2 + \nabla_2^2}$ e a direção é dada por Ø (x, y) = Tan $\frac{\nabla_2}{\nabla_1}$. Os gradientes $\nabla_1 \in \nabla_2$ podem ser estimados através dos operadores abaixo:

b 1 .			F		6.L.1	1	2	1		-1	0	1
Koberts	0	-1	-1	$\frac{-1}{0}$ 0 1	Sopet	00	0	T	-2	0	2	
	1	10	0			-1	-2	-1	T	-1	0	1

Outro método de realce é subtrair o laplaciano digital da imagem original y fornecendo o realce $9e = 9 - \sqrt{9}^{2}$ onde um elemento de ge é dado por:

ge (j, k) = 5g (j, k) - [g (j+1, k) + g (j-1, k) + g (j, k + 1) + g (j, k - 1)

Uma preocupação importante antes do realce de bordas é a eliminação do ruído (alta taxa de frequência espacial). Um bom método para isso é a aplicação do filtro da mediana.

Após o realce de borda o passo seguinte é a extração dessa feição, implementada pela técnica de limiarização, que consiste em segmentar a imagem em duas classes definidas por um simples nível de cinza limiar. O resultado é o aparecimento de linhas nos limites das, bordas. Como exemplo de aplicação cita-se Abrams et al(1985) que desenvolveram um trabalho de extração automática de lineamentos e construção de imagem de textura a partir das técnicas de filtragem espacial.

4.3. Razão de bandas

Consiste na divisão do valor, em níveis de cinza, dos pixeis de um canal pelos valores dos respectivos pixeis de outro canal. Como a razão entre os canais resulta em valores reais e contínuos, para discretização destes valores, multiplicam-se os quocientes por um ganho e adiciona-se um valor (offset). O ganho deve ser alto para maximizar a variância e o "offset" baixo (comumente negativo) de modo a deslocar a média para próximo do nível 127 impedindo a saturação. A equação de transformação é a seguinte VDR = VDA x Ganho + offset, onde VDB VDR, VDA e VDB são respectivamente os valores digitais da dívisão e dos canais A eB.

Um fator de ganho comum a duas bandas pode ser removido por esta técnica. Este tipo de realce pode tornar a imagem menos dependente das variações de iluminação causadas pela topografia,(Almeida Fº e Vitorello (1982)). Recomenda-se que antes de realizar a divisão de ca-

nais, faça-se a correção atmosférica da radiância de trajetória, fator aditivo. Um método prático para isto (Taranik, 1977 in Almeida Fº e Vitorello op. cit.) consiste em diminuir para cada banda o valor mínimo do histograma encontrado em áreas sombreadas ou em corpos d' água límpida presentes na imagem.

Através da razão de bandas, a imagem resultante fica menos dependente das condições de iluminação. Esta terá uma faixa dinâmica de valores digitais menor devido a eliminação de extremos provocados pelo efeito da topografia. Com isso pode-se realçar o contraste entre vários tipos de alvos que serão visualizados através de composições coloridas com as imagens produzidas neste processo (Chavez et al 1982 in Schowengerdt op cit).

Outra vantagem é a redução da dimensão dos dados pois torna-se possível obter composições coloridas com informações de quatro ou mais canais (por exemplo: 4/5 - azul, 5/6 verde, 6/7 vermelho, usando canais MSS Landsat).

A técnica de razões de bandas é mais eficiente quando existe uma lógica ou sentido a priori para escolher os canais e razões a serem executadas. É desaconselhada a aplicação deste método sem umà análise prévia dos dados e da situação pesquisada, devido ao grande número de razões e composições coloridas, possíveis de gerar. Esta técnica máximiza diferenças espectrais entre materiais com curvas de reflectáb tia que mostram diferentes gradientes, sendo muito útil para identificar materiais geológicos baseados no reconhecimento diagnóstico de bandas de absorção.

Entre as desvantagens do método pode-se citar a perda de característica espacial devido a atenuação do sombreamento e a possibilidade de eliminar diferenças entre materiais com albedos distintos, mas com gradientes proporcionais, o que resulta em valores de razões semelhantes.

Como exemplo de aplicação cita-se os trabalhos de Raines et al. -1978), Almeida Filho (1983) e Paradella (1983), Podysocki et al. -(1983) sugerempara aplicações geológicas as seguintes razões de banda para os canais TM: TM 5/7 para determinar minerais com banda de absorção na região de 2,1 a 2,4 µm do espectro eletromagnético. TM 3/1 e TM 5/2 para deteção de linonita e TM 3/4 para separação de vegetação e alvos minerais

4.4. Análise de componentes principais

Frequentemente bandas individuais de imagens multiespectrais são altamente correlacionadas (vide fig. 8), sendo numérico e visualmente similares (Schowengerdt op cit). Isto é devido à redundância de informações entre as várias bandas em função da natureza da resposta espectral dos alvos naturais, largura e posição das bandas no espectro eletromagnético (Schowengerdt op cit).

A transformação por componentes principais é uma técnica de préclassificação que produz a redução da dimensionalidade dos dados e e liminação da informação redundante. Ao contrário das técnicas anteriores independe de qualquer informação a priori do comportamento espectral dos alvos contidos na cena, assumindo um caráter genérico para o realce (Menezes, 1986).

Esta técnica produz novos canais (variáveis, DN/núméro... digital) a partir de transformação linear, rotação e translação do sistema original de coordenadas da função de densidade de probabilidade n-dimensional dos canais (variáveis) originais. O novo conjunto de eixos ou canais CP não são correlacionados e ortogonais entre si.



Os dados para transformação são obtidos a partir da matriz de covariânčia.das imagens, K. Para criar imagens independentes, deve-se encontrar a transformação de K para K' de tal forma que em K' os elementos Kij sejam iguaisa O para i≠j. O primeiro passo é encontrar os autovalores de K' que representam a variância dos canais transformados em canais CP. Os autovalores são obtidos pela resolução do polinômio do determinante da matriz da covariância que é igual a zero, pois é simétrica.

	Kll-X	K12	K13	Kln
к =	K21	к22-λ	K23	K2n
K –	K31	K32	кзз-λ	K3n
	:	:	:	:
	Knl	Kn2	Kn3	Knn - A

Para o caso bidimensional [K] = (K11- λ). (K12- λ) - (K12 K21) $\lambda^2 - \lambda$ (K11 + K12) + (K11.K22 - K12.K21) = 0

Em seguida determina-se os autovetores pela substituição dos autovalores na matriz K e resolução do sistema de equação

> $(K11-\lambda) \times 1 + K12 \cdot \times 2 + K13 \cdot \times 3 = 0$ $K21 \times 1 + (K22 - \lambda) \times 2 + K23 \times 3 = 0$ $K31 \times 1 + K32 \cdot \times 2 + (K33 - \lambda) \cdot \times 3 = 0$

A matriz de autovetores normalizada define a transformação linear ou rotação que se deve aplicar nos canais originais para produzir os componentes principais.

 $\begin{array}{cccc}
 DN'_{1} & & \\
 & = a \\
 DN'_{2} & & \\
\end{array}
\begin{array}{cccc}
 cose & sene \\
 sene & cose \\
 & \\
 DN_{2} \\
\end{array}
\begin{array}{cccc}
 DN_{1} \\
 DN_{2} \\
 & \\
 \end{array}
\begin{array}{cccc}
 bn_{1} \\
 bn_{2} \\
 \end{array}$

 $DN'_1 \in DN'_2$ são os novos canais componentes principais, $\underline{\Theta} \in O$ ângulo rotação e <u>a</u> e <u>b</u> fatores de escalonamento para adequar os valores à faixa dinâmica de saída do equipamento.

Este tipo de transformação, também conhecido como Karhunen - Loève é feita de tal forma que a soma da variância dos canais transformados será a mesma dos canais originais, porém a maior parte da informação estará respectivamente concentrada nos primeiros componentes principais, enquanto que aos restantes caberá um mínimo de informação. Portanto a lª CP representará aproximadamente uma imagem de albedo, que mostrará uma relação sinal/ruído reforçada (DNI = DN2 = DN3), as outras CP representarão desvio do cinza e a última estará praticamente associada ao ruído contido na cena original (Gillespie - 1980). Como resultado podemos representar através de uma composição colorida dos três primeiros componente principais cerca de 95% da informação contida em quatro ou mais canais originais (vide fig. 10). Aplicações das técnicas de componentes principais para estudos ge<u>o</u> lógicos encontram-se nos trabalhos de Paradella (1983), Lees et al -(1985) e Meneses (1986).

										and the second sec	No. 10. The last of the second second			and the second sec
•								PC1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7
Table 3	Diablo R	ange fool	hills-De	cember 8	1982			-			icenvalue	ч		
Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7		524.70	78.90	35.62	11.41	5.00	1.79	0.76
14-			Means							Per	cent Varia	ince		
54.11	22.35	22.16	34.10	47.25	93.31	22.87		79.72	11.99	5.41	1.73	0.76	0.27	0.12
		Stand	ard Devia	tions						Cumulati	ve Percen	t Variance		
5.39	3.76	\$ 61	11.20	18 27	3.86	10 44		79.12	91.71	97.12	98.85	99 61	99 88	100 00
		Cou	elation M	atrix						1 6	igenvecto	rs		
1.000	0.922	0 929	0.365	0 617	0.135	0.749		0.1639	-0 1699	0.5457	0 2644	0.3088	-0.6855	-0.105
	1.000	0 914	0 505	0 708	0 168	0 797		0.1291	-0.0664	0 3390	0.1179	0 1448	0 2958	0 661
		1000	0 373	0 691	0113	0.833		0.1865	-0.2047	0.4999	0 0789	0.1022	0 6451	-0 490.
			1000	0634	0 757	0 451	1	0.3409	0.8864	0.2524	-00158	-0.1778	-00166	-0044
			1.000	1000	0.474	0.917		0 7875	-0.0970	-0 4405	-0 0842	0 4107	00165	-0015
				1.000	100	0 304		0 6634	0 0221	-0.2545	0.9360	-0 2071	0 0807	-0.029
	•					1.000		0.4252	-0.3592	0.1205	-0.1502	- 0.7937	-0.1384	0 627

Fig. 10 - Dados estatísticos para imagem TM, distrito de New Almaden, Agosto 12, 1983. Total de informação nos 3 primeiros CP = 2672,2 o que significa 96,3% da informação da cena. Fonte - Lees et al. (1985)

4.5. Transformação Canônica

A transformação por componentes principais está baseada na matriz de covariância da imagem total, o que não a torna explicitamente sensível a estrutura de classe dos dados. A razão dela funcionar bem como ferramenta de redução da dimensão dos dados é que a maioria das classes espectrais estão distribuídas ao longo da direção de máxima dispersão (Richards, 1986). A transformação canônica baseia-se no cálculo da matriz de covariância K somente para regiões na imagem representantesdas classes que se deseja separar. A transformação resultante terá os primeiros eixos principais orientados de tal forma que as classes de interesse sejam melhor discriminadas.



- Fig. 11 a) Duas classes hipotéticas ilustrando a falta de separabilidade nas bandas originais ou nos componentes principais.
 - b) Eixos ao longo dos quais as classes são melhor discriminadas.

Fonte - Richards, 1986.

A fig. 11 mostra que após a transformação os novos eixos devem es-

tar orientados de forma a produzir maior separação entre as médias das classes e ao mesmo tempo menor dispersão dos dados. Isto é caracterizado pelas medidas de \overline{V}_{A} desvio padrão entre classes, medida como se as classes fossem dados pontuais em sua posição média, e $\overline{V}_{W_1}, \overline{V}_{W_1}$ desvio padrão dentro das classes. Os novos eixos são definidos de tal forma que $\overline{V}_{A}^2/\overline{V}_{W}^2$, (onde \overline{V}_{W}^1 é a médiade $\overline{V}_{W_1}^2$ e $\overline{V}_{W_2}^2$) seja o maior possível.

Um exemplo de aplicação deste método encontra em Abrams et al, 1983.

4.6. Decorrelação de bandas

Em composições coloridas é sempre útil criar quadros com cores bem intensas para facilitar a interpretação da informação multiespectral. Canais altamente correlacionados produzirão composições com matizes pastéis ou acinzentadas (Rothery, 1987). Uma ampliação de contraste simples expande os valores de brilho para uma faixa dinâmica maior, mas faz pouco em relação ao conteúdo de cor da imagem (vide fig. 12). A transformação por componentes principais, como vista anteriormente, resulta em imagens bem coloridas, entretanto essas cores são dificilmente relacionadas às respostas <u>espectrais</u> em cada canal original, ' além disso<u>as cores de uma composição CP variam de acordo com a</u> cena e área de treinamento, dificilmente correlacionando-se às cores de imagens de outras áreas (Rothery op cit).



Fig. 12 - Diagramas mostrando o efeito de ampliação linear em dois canais A e B, a) fracamente correlacionada e b) altamente correlacionada. Os dados adquiridos não preenchem a faixa dinâmica total, o que se pode con seguir através de uma ampliação linear de contraste (movimento em direção aos eixos internos). Os dados da linha A = B aparecerão cinza em uma composição colorida. Para a fig. la, ampliação independente em A e B resultará numa imagem redeada com mais cores. Para fig. lb, ampliação para A' e B' deixa grande parte dos dados desocupada. A imagem realçada é predominantemente cinza. Ampliação mais extrema para A" e B" resulta em número maior de cores, mas grande parte da informação cromatica é perdida. Fonte - Gillespie, 1986.

O método de ampliação de contraste por decorrelação utiliza o espaço completo das cores, ele consiste na expansão do agrupamento de dados altamente correlacionados como na fig. 12b, ao longo dos seus eixos principais. Como visto anteriormente o eixo CP2 representa as cores médias da cena, um contraste seletivo ao longo de CP2 tenderá exagerar a cor na imagem. Após a transformação para os componentes principais faz uma ampliação de contraste independente em CP1 e CP2, visualmente escolhe-se expansões lineares que equalizem a variância (Gillespie op. cit.). Finalmente o último passo é inverter a transcomposições formação CP. Os dados são então novamente exibidos em R, G, B usuais. Como o processo é baseado na transformação por componentes principais ele pode ser extendido para qualquer número de canais.



Fig. 13 - Representação esquemática do processo de decorrelação.

- a) eixos dos componentes principais ortogonais;
- b) agrupamento dos dados após a transformação CP;
- c) ampliação de contraste aplicada em CP1 e CP2;

 d) dados ampliados retornados ao sistema original de coordenadas pela transformação inversa.
Fonte - Gillespie, 1986.

Como a transformação por decorrelação preserva a relação entre as cores da imagem original, enfatizando as diferenças sutis em detrimento a uma certa quantidade de variação de albedo. A cor realçada pode ser interpretada em termos das feições de absorção em cada banda (Rothery op cit.).

4.7. Realce por transformação IHS

A percepção visual é sensível aos componentes independentes da

composição das cores básicas R, G, B que são intensidade (I), matiz (H de "Hue") e saturação (S) (Haydn et al, 1982). Portanto torna-se interessante a decomposição das imagens nestes três componentes, para a realização de ajustes individuais que permitam o melhor realce de cores, facilitando assim o processo de fotointerpretação.

A cor resultante de uma composição aditiva pode ser apresentada por um vetor das cores primárias vermelho, verde e azul (RGB) em diagramas polares ou triangular. Alternativamente este vetor pode ser representado pelos parâmetros independentes.I, H e S. Haydn et al, 1982, desenvolveu um método gráfico de decomposição dos componentes IHS a partir de uma representação triangular RGB (vide fig. 14).

Na fig. 14 H é definido por partes, medindo-se na periferia do tr<u>i</u> ângulo no sentido anti-horário e que tem valores que variam de 0 a 3. A saturação S é definida com o 1 no vértice do triângulo e 0 no centro. As equações de 1 a 6 são definidas para o intervalo de $0 \le H \le 1$, podendo ser estendidas para 1 \le H \le 3.

1) I = R + G + B2) H = (G - B) / (I - 3B)3) S = (I - 3B) / I4) $R = (1/3)I \cdot (1 + 2S - 3SH)$ 5) $G = (1/3)I \cdot (1 - S + 3SH)$ 6) $B = (1/3)I \cdot (1 - S)$



Fig. 14 - Representação simplificada IHS. Fonte: Haydn et al 1982

Após a transformação IHS realiza-se ampliações lineares em cada um dos componentes individuais. Numa segunda etapa reverte-se a função IHS para uma transformação RGB, para se obter uma imagem na tela de TV. O resultado é uma imagem que mostra alvos com cores mais contrastadas (Dutra e Meneses, 1986), outra vantagem é que como os componentes IHS são percebidos pelo olho humano em ordem decrescente no que tange a resolução espectral e espacial, este método torna-se um meio efetivo de fusão de dados de diferentes fontes, aproveitando o máximo em resolução espacial (Haydn et al, op cit).

Meneses (1986) sugere que imagens com alto albedo, portanto muito claras, deve-se ampliar o componente S e para imagens com albedo baixo, pouco clara, aumenta-se o componente I, para realçar as cores básicas. Meneses (1986) obteve sucesso com o uso desta técnica para o realce de unidades litológicas da região da Serra do Ramalho (Bahia).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto nas sec ões anteriores, fica claro que deve-se selecionar da multiplicidade de técnicas de realce apresentada àquela (s) que mais satisfaça (m) às exigências de determinado tipo de estudo, e ordená-las em uma sequência lógica que reduza o tempo efetivo de processamento e por consequência o custo operacional para solução de um problema específico qualquer. Fica difícil no sensoriamento remoto generalizar um procedimento ótimo. Cada tipo de aplicação e diferentes regiões demandam uma abordagem sistemática particular. Ao usuário, cabe conhecer bem as formulações matemáticas de cada método de realce, como também os processos de interação da REM com o alvo analisado, ten do em mente que a medida que se aplica transformações digitais os dados originais tendem a se degradar, ocasionando uma relação diferente daquela obtida durante a aquisição pelo sistema sensor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M.J.; BROWN, L.; LEPLEY, L.; SADOWSKI, P. Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona. Economic Geology, 78 (4); 591-604, June-July 1893.
- ABRAMS, M.J.; BLUSSON, CARRENE, V.; NGUYEN, T. e RABU, Y. Image processing applications for geologic mapping. IBM J. Res. Develop 29 (2): 177-187, march 1985.
- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. Enhancement of digital images through band ratio techniques for geological applications. INPE - 2604 - PRE/250. 1982, 22p.
- ALMEIDA FILHO, R. Sensoriamento remoto orbital aplicado à prospecção mineral em corpos graníticos das províncias estaníferas de Goiás e de Rondônia: uma contribuição metodológica. Tese de doutoramento em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1983. 158 p.
- BIRNIE, R.W.; FRANCICA, I.R., Remote detection of geobotanical anomalies related to porphyry copper mineralization. Economic Geology, 76 (3): 637-647, 1981.
- COLLINS, W.; CHANG, S.H.; RAINES, G.; CANNEY, F.; ASHLEY, R. -Airbone biogeophysical mapping of hidden mineral deposits, Economic Geology, 78 (4): 737-749, 1983.
- DARCH, I. P.; BARBER, S. Multitemporal remote sensing of geobotanical anomaly. Economic Geology - 78 (4): 770-782, 1983.
- DUTRA, L.V.; MENESES, P.R. Aplicação da transformação IHS para realce de cores em imagens LANDSAT. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICA-NO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado, RS, ago, 1986. Anais, Gramado, RS, MCT(INPE/SELPER/SBC, 1986. v.l, p.675-681.
- GILLESPIE, A.R. Digital techniques of image enhancement. In: Siegal, B.S. e Gillespie, A.R. - Remote sensing in geology. New York, John Wiley, 1980. Chap. 6, p. 139-226.

- GILLESPIE, A.R.; KAHLE, A.B.; WALKER, R.E. Color enhancement of highly correlated images. I. decorrelation and HSI contrast stret ches. Remote Sensing of Environment 20 (3): 209-236, 1986.
- HAYDN, R.; DALKE, G.N.; HENKEL, J.; BARE, J.E. Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. First Thematic Conference. Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands. Proceedings, v. 1, Cairo, Egypt, 1982. p. 599-616.
- LABOVITZ, M.L.; MASUOKA, E.I.; BELL, R. SIEGRIST, A.W.; NELSON, R. F. - The application of remote sensing to geobotanical exploration for metal sulfides - results from the 1980 field season at Mineral, Virginia. Economic Geology. 78 (4): 750-760, 1983.
- LEES, R.D.; LETTIS, W.R.; BERNSTEIN, R. Evaluation of LANDSAT Thematic Mapper of geologic applications. Proceedings of IEEE, 73 (6): 1108-1117, 1985.
- MENESES, P.R. Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT-5 para a discriminação de rochas carbonática do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. Tese de doutoramento em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1986, 233p.
- PARADELLA, W.R. Discriminação de unidades litológicas no baixo vale do Rio Curaça (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-LANDSAT 3. Tese de doutoramento em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1983, 250 p.
- PODWYSOCKI, M.H.; SALISBURY, J.W.; BENDER, L.V.; JONES, O.D.; MIMMS D.L. - Analysis of LANDSAT-4 TM data for lithologic and image mapping purposes. In: LANDSAT-4 EARLY RESULTS SYMPOSIUM, Greenbedt, MD. Dec. 6, 1983. Proceedings, Washington, DC, NASA Goddard Space Flight Center, 1984, v. 2, p. 35-39. (NASA CP 2326).
- RAINES, G.L.; OFFIELD, T.N.; SANTOS, E.S. Remote sensing and subsurface definition of facies and structure related to uranium deposits, Powder River Basin, Wyoming. Economic Geology, <u>73</u> (8): 1706-1723, 1978.

- RICHARDS, J.A. Remote sensing digital image analysis, and introduction, Spring Verlag, New York, N.Y., 1986 - 281 p.
- ROTHERY, D.A. Decorrelation streeching as an aid to image interpretation. International Journal of Remote Sensing <u>8</u> (9): 1253-54, 1987.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. New York, N.Y., 1983, 249 p.
- VITORELLO, I.; ALMEIDA FILHO, R. Multiseasonal variables in digital image enhancements for geological applications - INPE -3100 - PRE/499, 1984. 12 p.