

"AVALIAÇÃO DO MÉTODO DO CÁLCULO DO VOLUME DO ELIPSÓIDE PARA SELEÇÃO DE RAZÕES DE BANDAS EM FOTOGEOLOGIA"

Britaldo Silveira Soares Filho  
Departamento de Cartografia - UFMG  
Av. Antonio Carlos, 6627  
Belo Horizonte, CEP 31270, Brasil

RESUMO

Parâmetros estatísticos de razões de bandas do Sensor TM-Landsat-5 foram estimados segundo o Método de George e Dusseault (1986) e utilizados no cálculo do volume do elipsóide de informação (Método de Sheffield, 1985). Através deste processo selecionou-se um subconjunto de razões para ser implementado na etapa de processamento de imagens. Os parâmetros estatísticos estimados e os obtidos das razões implementadas foram comparados quanto a convergência dos seus valores de variâncias, covariâncias e determinantes. O resultado obtido foi uma aproximação entre esses valores e a equivalência dos três primeiros tripletos selecionados utilizando ambos os tipos de dados. Apesar disso o emprego desses métodos não foi eficaz na determinação de tripletos geologicamente mais informativos. Isto se explica devido à influência do ruído residual realçado no processo de razão de bandas e pela variação tonal, causada pela impressão topográfica remanescente, no valor da variância.

ABSTRACT

Statistical data of TM/Landsat ratios were estimated by method of George and Dusseault (1986) and used to calculate the information ellipsoid volumes of band-ratio triplets (method of Sheffield, 1985). As a result, a subset of ratios was selected. The estimated statistical data and the obtained after image processing were compared. They showed convergence and resulted in the selection of the same first three ranked ratio triplets. Nevertheless, these methods did not present optimum band-ratio combinations for photogeologic interpretation. This is considered to be due to the influence of noise and remanent illumination variation on the ratio variance magnitude.

1. INTRODUÇÃO

Uma restrição à aplicação do método "razão de bandas" é o elevado número de imagens e combinações possíveis de serem geradas. Para o Sensor TM, com exceção da banda termal, isso corresponde a 15 razões que podem ser combinadas em 455 tripletos. Dentro desse contexto, Meneses (1986) sugere que não se deve aplicar este método sem a orientação de dados espectroscópicos sobre o alvo a ser examinado. Na falta desses dados, pode-se recorrer à literatura corrente que traz uma série de razões específicas à discriminação de materiais geológicos e separação desses da cobertura vegetal. Podwysocki et al. (1984), por exemplo, citam as seguintes razões TM quanto as suas aplicações geológicas: TM5/7 para a determinação de minerais com bandas de absorção entre 2,1 a 2,5  $\mu\text{m}$ ; TM 3/1, 5/2 para a detecção de limonita e TM 3/4 para a separação da vegetação de materiais geológicos. Além dessa abordagem baseada em comportamento espectral de alvos, tem-

se notado na literatura a crescente utilização de métodos quantitativos de seleção de razões de bandas para aplicações geológicas, como no exemplo de Chavez et al. (1982). Desse modo, este trabalho analisa a eficácia desses métodos, enfocando a utilização dos métodos de George e Dusseault (1986) e Sheffield (1985) na seleção de razões de bandas para aplicação geológica.

A área teste estudada cobre principalmente a Serra do Espinhaço e localiza-se na região imediatamente a Sul da divisa dos Estados de Minas Gerais e Bahia (Figura 1).

2. DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Sheffield (1985) desenvolveu um método baseado no cálculo do volume do elipsóide formado pela distribuição da função de probabilidade tridimensional. Este volume é dado por  $4\pi abc/3$ ; onde a, b e c são os principais eixos do elipsóide. Por conseguinte este volume é também proporcional ao produto dos auto

valores, que por sua vez é igual ao determinante de uma matriz 3 por 3 obtida da matriz de variância-covariância original n por n. Como o método seleciona um elipsóide com volume máximo, dados fortemente correlacionados produzirão pelo menos um dos autovalores próximo a zero, resultando em um elipsóide correspondente de pequeno volume. (Figura 2).

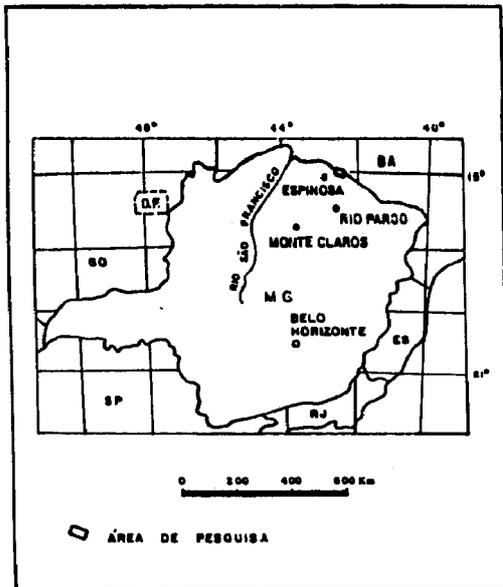


Fig.1 - Mapa de situação

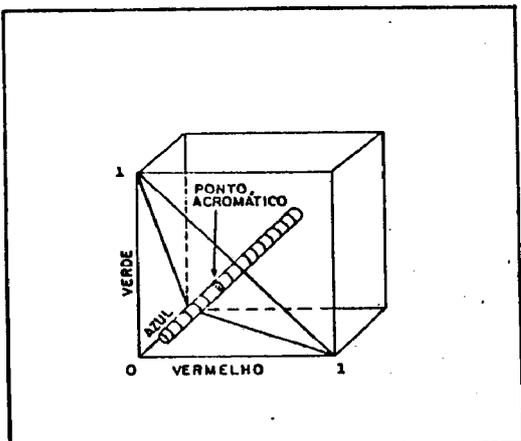


Fig.2 - Representação da distribuição de dados em três dimensões no cubo RGB, mostrando dados fortemente correlacionados.

Dentro ainda dessa abordagem George e Dusseault (1986) desenvolveram um método para estimar as variâncias e covariâncias de razões de bandas segundo a série de expansão de primeira ordem de Taylor. Com isto economiza-se tempo de processamento, selecionando-se pelo método de Sheffield (1985) o subconjunto de razões de bandas potencialmente mais informativo, sem precisar realizar de início as razões, pois os parâmetros são calculados a partir da média, variância e covariância das bandas originais (Equação abaixo).

$$\begin{aligned} \text{Cov}(x/y, z/w) &\approx \frac{1}{v \cdot \theta} \cdot \text{Cov}(x, z) - \\ &\frac{\phi}{v \cdot \theta^2} \cdot \text{Cov}(x, w) - \frac{u}{v^2 \cdot \theta} \cdot \text{Cov}(y, z) \\ &+ \frac{u \cdot \phi}{v^2 \cdot \theta^2} \cdot \text{Cov}(y, w) \end{aligned}$$

Onde: u, v,  $\phi$  e  $\theta$  são as médias populacionais para as bandas x, y, z e w respectivamente.

### 3. PROCEDIMENTOS E RESULTADOS

Foi utilizada uma imagem TM/Landsat-5 órbita-ponto 218/70 D+, obtida na data de 13 de setembro de 1985 - equivalente ao final da estação seca - e com elevação e azimute solares, respectivamente, de 50 e 65 graus.

A matriz de variância e covariância foi obtida para as bandas 1 a 5 e 7 (Tabela 1). A partir desses dados foi obtida uma matriz de variância-covariância 15 por 15 utilizando-se do método de George e Dusseault (1986) (Tabela 2). Esta serviu por sua vez para o cálculo de determinantes de tripletos de razões de bandas.

TABELA 1  
MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIANÇA

Tm1	Tm2	Tm3	Tm4	Tm5	Tm7
$\bar{x}$					
20,23	16,26	27,76	43,27	104,92	37,86
Variância-Covariância					
53,05	41,76	83,21	52,08	198,7	93,93
	37,99	73,88	50,38	173,5	81,39
		156,1	97,80	357,2	166,5
			116,5	253,8	105,2
				1035	456,0
					221,0
$\sigma^2 = 1619,8$					

Da análise dos resultados verifica-se que as maiores variâncias estimadas correspondem aos produtos 5/2, 5/1 e 5/3 e 4/2, enquanto as menores variâncias estimadas são representadas pelas razões 4/1, 2/1 e 7/5. Da Tabela 2 observa-se ainda, como efeito do processo de razão de bandas, a redução das correlações interbandas devido à supressão da variação da iluminação. Nesta tabela chama a atenção a variância da razão 7/5, a menor obtida. Este produto, de grande utilização geológica na identificação de áreas com alteração hidrotermal, mostra na prática uma qualidade visual degradada. Este efeito pode ser explicado pelo baixo valor de sua variância que implica na utilização de ganhos mais elevados, necessários à obtenção de um mínimo contraste visual. Em suma, a ausência de informação acarreta a ampliação do ruído presente na imagem.

A Figura 3 relaciona os maiores determinantes de tripletos de razões de bandas calculados a partir dos parâmetros estimados e dos obtidos das razões implementadas. Dela verifica-se que os primeiros classificados compenderam duas ou mais razões obtidas com a banda 5, o que implica que a frequência dessa banda nas razões aumenta sobremaneira o valor do determinante.

Com base nos resultados teóricos que apontaram as razões que compõem os primeiros tripletos classificados e em informação sobre o comportamento espectral de alvos geológicos (razões 5/2, 5/1 e 3/1 para a detecção de ion férrico/ferroso e 4/2 e 7/4 para informação geobotânica), foram selecionadas oito razões para implementação na etapa de processamento digital: 5/2, 5/3, 5/1, 5/4, 7/2, 7/4, 4/2 e 3/1.

Tratando-se de uma comparação numérica entre volumes de informação de imagens razões, é fundamental que se estabeleça um valor fixo de ganho nesta transformação digital ( $NCa/b = G \cdot NCa/NCb - \text{offset}$ ). A utilização de um ganho mais elevado resultará numa maior variância para a imagem razão. Nessa situação, uma maior variância nem sempre significará um maior conteúdo de informação, mas tão-somente uma maior dispersão do histograma de níveis de cinza. Como se deseja um maior ganho, define-se um valor fixo equivalente a  $G=42,6/D.P.$  onde  $42,6 = 128/3$  e  $D.P.$  max. é o maior desvio padrão estimado ( $D.P. \text{ max.} = 1,194$  da razão 5/2). Considerando uma distribuição normal, a razão 5/2, obtida com este ganho ( $G=35$ ) deverá ter 99,73% de seus resultados dentro da faixa dinâmica do equipamento ( $3D.P. \text{ max.} = 128 \Delta NC$ ). No cálculo do "offset" ou deslocamento, usam-se valores variáveis equivalentes a "offset" =  $127 - G \cdot (x_a/x_b)$ , onde  $x_a$  e  $x_b$  são as médias das bandas utilizadas. O resultado esperado é uma aproximação da média da razão ao NC 127, valor mediano do equipamento.

Os resultados estatísticos das razões implementadas, para efeito de comparação com os valores estimados pelo Método de George e Dusseault (1986), são apresentados na Tabela 3. Ambos os dados de variâncias mostram, com exceção da 7/4, concordâncias de 70% a 98%, percentagens mais elevadas para razões com maiores variâncias. A ordem de grandeza das variâncias, excluindo-se a 7/4, é a mesma entre os dois tipos de dados. Quanto aos volumes de elipsóides, observa-se que os determinantes de tripletos de razões implementadas apresentaram-se sistematicamente mais elevados dos que os calculados com os dados estimados (Figura 3). Contudo, houve uma

TABELA 2  
MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA  
ESTIMADA SEGUNDO O MÉTODO DE  
GEORGE E DUSSEAULT (1986)

	7/5	7/4	7/3	7/2	7/1	5/4	5/3	5/2	5/1	4/3	4/2	4/1	3/2	3/1	2/1
7/5	2,9	12,0	30,8	9,1	8,5	13,3	54,4	-27,7	-18,9	3,8	-26,1	-19,5	-31,9	-24,7	0,5
7/4		82,5	88,4	73,2	53,8	147,8	119,3	-11,8	-23,6	-45,8	-167,1	-140,1	-57,0	-49,5	-2,1
7/3			199,3	105,9	66,5	37,9	529,6	254,6	153,2	194,0	63,4	29,7	-171,8	-151,7	-7,9
7/2				222,1	140,3	141,6	710,7	452,3	257,5	202,0	31,0	-18,7	-201,3	-189,8	-16,4
7/1					165,3	91,5	506,9	235,5	334,9	150,2	-3,2	57,4	-166,6	-95,4	22,5
5/4						320,0	-34,8	153,7	61,5	-220,1	-287,8	-256,9	56,4	28,9	-9,6
5/3							897,7	622,7	392,6	449,2	287,5	-141,8	-161,1	-27,6	
5/2								1750,0	1051,9	312,1	552,9	298,1	12,8	-83,4	-54,9
5/1									1199,9	217,2	366,2	440,5	-3,0	91,3	54,9
4/3										303,4	370,2	283,7	-94,7	-85,0	-5,2
4/2											543,9	404,9	-56,6	-66,2	-12,1
4/1												408,3	-51,0	12,1	31,1
3/2													67,4	50,7	-2,0
3/1														82,7	24,5
2/1															15,3

valores multiplicados por 35<sup>2</sup>

**TABELA 3**  
**MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA**  
**DAS RAZÕES IMPLEMENTADAS**

RAZÃO	5D2	5D3	5D1	5D4	7D2	7D4	4D2	3D1
5D2	1524,7	782,7	819,7	222,9	384,6	53,92	344,2	-19,60
5D3	-	920,6	553,5	-26,85	131,3	-80,01	417,3	-64,16
5D1	-	-	118,2	95,42	208,9	21,65	251,8	54,97
5D4	-	-	-	413,1	157,2	195,4	-290,3	14,58
7D2	-	-	-	-	292,5	110,7	-29,25	7,83
7D4	-	-	-	-	-	293,8	-215,6	13,86
4D2	-	-	-	-	-	-	658,9	-34,51
3D1	-	-	-	-	-	-	-	56,25

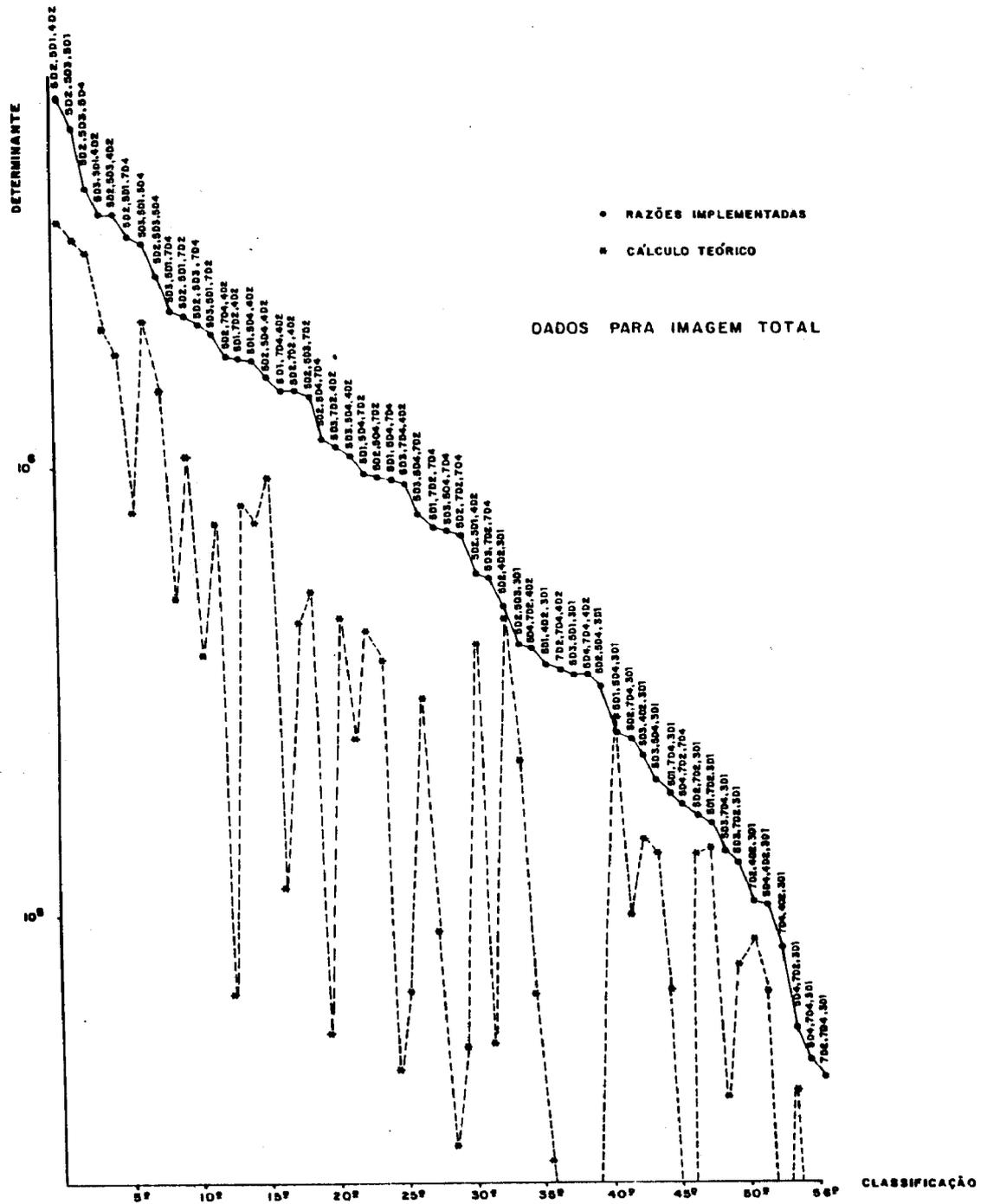


Fig. 3 - Determinantes de tripletos de razões de bandas.

relativa concordância entre esses valores, principalmente em relação à ordem dos três primeiros resultados (5/2, 5/1, 4/2; 5/2, 5/3, 5/1 e 5/2, 5/3, 5/4) e entre os conjuntos dos 12 primeiros classificados, excluindo-se os tripletos compostos pela razão 7/4.

#### 4. DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS

Para a comparação qualitativa dos resultados classificados pelo método do cálculo do volume do elipsóide foram definidos quatro critérios de avaliação visual (Tabela 4). O critério de eliminação de relevo refere-se à impressão do relevo remanescente na imagem razão. O ruído compreende tanto o ruído não-correlacionado, quanto a presença de faixas horizontais relacionadas à calibração dos detetores. O contraste des-

creve a variação tonal observada na imagem, e a correlação geológica refere-se ao potencial de discriminação de litologias da área de estudo. Pela Tabela 4, observa-se que as razões de bandas com maiores variâncias, embora apresentassem maior contraste tonal, foram inferiores, via de regra, no tocante à presença de relevo residual, ruído e correlação geológica.

TABELA 4  
COMPARAÇÃO VISUAL DE RAZÕES DE BANDAS

Razões de Bandas	5D2	5D1	5D3	5D4	7D4	7D2	4D2	3D1
Eliminação de Relevo	Parcial	Parcial	Parcial	Total	Total	Total	Total	Total
Ruídos e Faixas Horizontais	Forte	Médio	Médio	Baixo	Ausente	Baixo	Ausente	Baixo
Contraste	M.Forte	Forte	Forte	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo
Relação Geológica	-	+	+	+-	++	+	++	+

#### 5. CONCLUSÃO

As composições selecionadas pelo método do cálculo do volume do elipsóide não se mostraram de boa qualidade visual. Como os índices desse método são influenciados pela magnitude da variância, os primeiros tripletos classificados foram os compostos por razões com maiores variâncias. Porém nessa situação, esse parâmetro é enviesado pelo ruído realçado no processo e pela variação tonal, devido ao relevo residual, não sendo por isso, um claro indicativo de medida de informação. Além disto, a redundância de informação presente nos primeiros tripletos selecionados quantitativamente e a não-abrangência de uma gama de gradientes específicos à discriminação litológica prejudicam o potencial de utilização dessas composições.

Neste trabalho foram selecionados qualitativamente das 8 razões implementadas os seguintes produtos: 5/1 e 3/1 para a discriminação de materiais com bandas de absorção férrica/ferrosa, e 5/3 que mostrou gradientes espectrais

específicos à separação de quartzitos puros de quartzitos arcozianos; aliados às razões 4/2 e 7/4 que auxiliaram a demarcação de litologias em função das informações botânicas, respectivamente, densidade de cobertura vegetal e estresse hídrico (Figuras 4, 5 e 6). Portanto os melhores resultados foram conseguidos com as composições 5/1, 7/4, 4/2; 5/1, 7/4, 3/1, 5/3, 3/1, 7/4 e 5/1, 4/2, 3/1.

#### 6. AGRADECIMENTOS

O autor expressa os seus sinceros agradecimentos ao Dr. Raimundo Almeida Filho pela orientação, aos colegas da METAMIG, Lauri Bez, Alex Vinicius Bernardi, J. C. Christophe da Silva, e às instituições que apoiaram este trabalho: INPE, METAMIG, CNPQ e CAPES.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAVES JR, P. S.; GRAYDON, L. B.; SOWERS, L. B. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. Journal of Applied Photographic Engineering, 8 (1): 23-30, Feb. 1982.
- GEORGE, H. DUSSEAULT, M. B. Selection of optimum band-ratio triplets using statistical data of original single-band imagery. Canadian Journal of Remote Sensing, 12 (2): 114-123, Dec. 1986.
- MENESES, P. R. Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic - Mapper" do Landsat-5 para discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semi-detulhe. Tese de Doutorado em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1986, 233 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, Greenbelt, MD, Dec. 6, 1983 Proceedings. Washington, DC, NASA . GSFC, 1984, v. 2, P. 35-39. (NASA CP-2326).
- SHEFFIELD, C. Selecting band combinations from multispectral data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51 (6): 681-687, June 1985.
- SOARES FILHO, B. S. Contribuição metodológica à utilização de imagens TM/Landsat-5 no mapeamento geológico de regiões com significativa cobertura vegetal. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, no prelo.

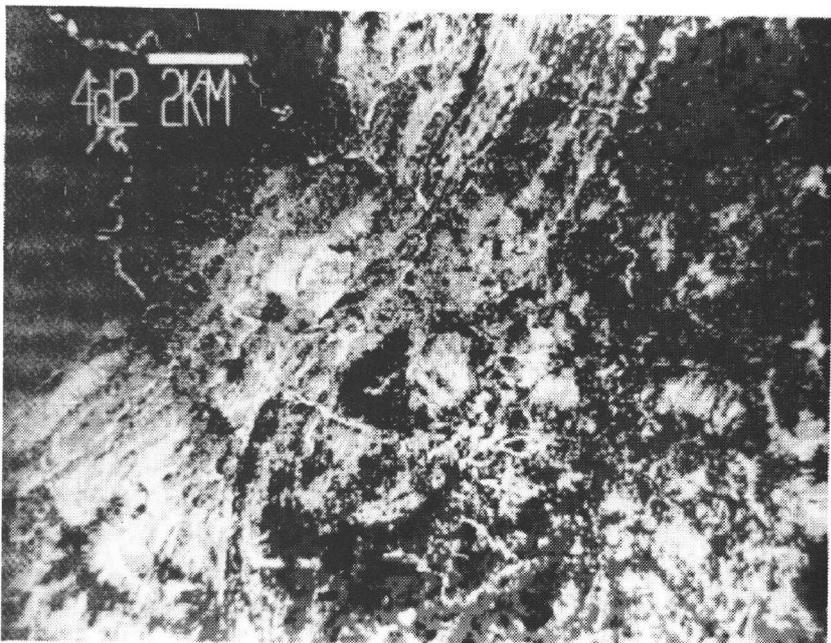


Fig. 4 - Razão 4/2  
Contatos litológicos  
definidos pela vegetação.

Fig. 5 - Razão 5/3  
Separação entre  
quartzitos puros (1) e  
quartzitos arcozianos (2).



Fig. 6 - Razão 3/1  
(f) - Latossolos associados a  
rochas básicas e ultrabásicas.