

A GEOMETRIA DA ILUMINAÇÃO SOLAR E SUA INFLUÊNCIA NA OBSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS EM IMAGENS ORBITAIS

José Eduardo Rodrigues
Chan Chiang Liu

Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

A geologia da porção ocidental do Estado do Rio de Janeiro é fortemente marcada pela presença do lineamento de Alêm Paraíba, uma mega-feição estrutural de cisalhamento, que se estende por quase duas centenas de quilômetros na direção N50-60E. Partes do rio Paraíba do Sul e da topografia regional estão fortemente condicionadas a esta feição geológica. Diversas outras direções de lineamentos completam o quadro estrutural que se pode observar em produtos de Sensoriamento Remoto. É esperado que, de acordo com idéias amplamente aceitas pelos foto-intérpretes, as imagens LANDSAT com menores ângulos de elevação solar sejam as que mais clara e abundantemente mostram as estruturas associadas ao lineamento de Alêm Paraíba, em razão do realce da topografia pelo sombreamento. Considerando-se ainda o alto grau de condicionamento do relevo à estruturação regional, admite-se adicionalmente a possibilidade de que tal estruturação possa ser observada com suficiente clareza em quaisquer passagens do satélite LANDSAT. Na prática, entretanto, verifica-se que tal fato não corresponde rigorosamente à realidade. As imagens com os menores ângulos de elevação possíveis para a região considerada pertencem a datas em que o azimute da iluminação solar é aproximadamente paralelo à estruturação regional, mascarando-a. Ao contrário, as imagens do verão apresentam grandes ângulos de elevação solar mas seu azimute, quase perpendicular à estruturação, permite uma visão mais adequada da principal direção estrutural da área. Outro aspecto relevante a ser considerado é que também o comprimento médio dos lineamentos em uma direção determinada está claramente relacionado com a época do imageamento.

ABSTRACT

The geology of the westernmost part of Rio de Janeiro State (Brazil) is characterized by the conspicuous presence of the Alêm Paraíba lineament, a large shear zone extending more than 200 kilometers in N50-60E direction. Parts of Paraíba do Sul river and of the regional topography are strongly conditioned to this geologic feature. Several other lineament directions complete the structural framework that can be seen on Remote Sensing products. According to well-accepted theories of photointerpretation, LANDSAT images with low sun elevation angles must show more clearly and abundantly those lineaments, because the shadow enhancement of the relief is greatest. Moreover, considering the high grade of relief conditioning by the Alêm Paraíba lineament, it is expected that this structure could be clearly observed on LANDSAT images of all seasons. In practice, however, these hypothesis are not confirmed. The images with low sun elevation angles belong to the epoch (winter) in which the solar azimuths are nearly parallel to the regional structure, difficulting its identification. Contrariwise, the summer images have high sun elevation angles but their solar azimuths, oblique to the regional structuration, allow an adequate identification of the main structural trend. Other relevant aspect to be considered is that the mean length of the lineaments in a given direction is clearly related to the epoch of the imagery.

1. INTRODUÇÃO

A imensa maioria (se não a totalidade) dos usuários de produtos de Sensoriamento Remoto, com finalidades geológicas, reconhece a importância da análise multitemporal no estudo dos atributos espectrais das imagens LANDSAT. Variações tonais associadas a mudanças sazonais da cena, tais como as modificações no comportamento da cobertura vegetal ou no teor de umidade do solo, podem auxiliar decisivamente na identificação das unidades litológicas presentes na área considerada e este é um fato fartamente aceito

e documentado.

Por outro lado, quando analisa os atributos espaciais (morfológicos) da cena, é muito frequente ou mesmo usual que o investigador se utilize de apenas uma imagem, sem levar em consideração a variação sazonal que as mudanças na geometria da iluminação podem imprimir na cena.

O objetivo deste trabalho é, portanto, mostrar a importância da sazonalidade da iluminação solar sobre a qualidade e a quantidade de informação sobre os aspectos morfológicos do terreno, que se pode extrair de uma imagem

LANDSAT, especialmente em relação às variações no azimute solar.

Existe uma idéia mais ou menos generalizada de que o ângulo de elevação é o mais importante parâmetro da iluminação solar quanto ao maior ou menor realçamento das feições do relevo. De acordo com este conceito, os menores ângulos de elevação solar revertem em maior realce do relevo e permitem a identificação mais fácil e mais abundante dos lineamentos estruturais presentes na área. Isto é realmente válido e como tal sua utilização é absolutamente recomendável. Entretanto, trata-se de uma meia-verdade, pois não se deve deixar de levar em consideração que o azimute pode ser tão ou mais importante que a elevação solar, conforme será mostrado neste trabalho.

2. A ÁREA E SUA ESTRUTURAÇÃO GEOLÓGICA

Para a realização deste estudo foi selecionada uma área no oeste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1) e esta escolha deveu-se a quatro fatores principais: 1) disponibilidade de boas imagens em épocas do ano bem distintas (Janeiro e Junho); 2) grande variabilidade no ângulo de elevação e razoável variabilidade no azimute solar entre as duas épocas consideradas; 3) conspícua estruturação geológica, segundo uma direção absolutamente preferencial; 4) existência de imagens com azimute paralelo e oblíquo à estruturação regional.

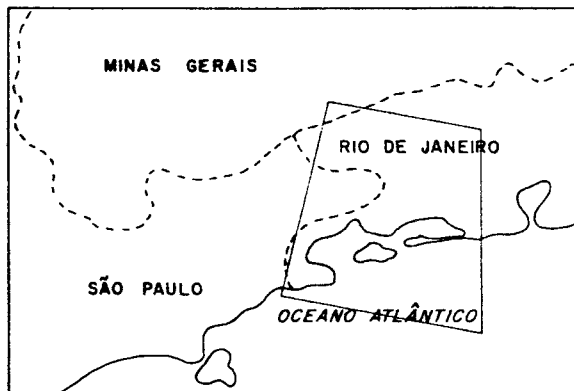


Fig. 1 - Localização da área, entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (sudeste do Brasil).

A forte estruturação da área é devida principalmente ao tectonismo que gerou o lineamento de Além Paraíba, uma mega-estrutura do cisalhamento com direção entre N50E e N60E que se estende por quase duas centenas de quilômetros. Este falhamento é uma das mais importantes feições estruturais do sudeste brasileiro e exerce um notável condicionamento tanto na geometria do relevo quanto em grande trecho do Rio Paraíba do Sul. O lineamento de Além Paraíba tem sido exhaustivamente estudado por autores como Almeida et alii (1975), Hasui et alii (1977), Campanha (1980, 1981), Brenner et alii (1980) e Liu (1984), que descrevem-no como uma larga faixa de rochas blastomiloníticas, milonito-gnaissicas, miloníticas e quartzíticas com evidências

de evolução polifásica que incluiu sucessivos estágios de deformação e recristalização.

Em sua zona central, o lineamento de Além Paraíba mostra um notável bandamento composicional que imprime às rochas um padrão estrutural muito homogêneo, com grande paralelismo entre as suas estruturas. Nesta zona central são observados inúmeros lineamentos morfológicos que podem se estender por alguns quilômetros. Nos blocos adjacentes a estruturação e o paralelismo entre as estruturas são progressivamente menores. Porém, de um modo geral, é possível afirmar que a foliação das rochas regionais acompanha a orientação das estruturas que formam o lineamento de Além Paraíba.

Hasui et alii (1977) levantaram a hipótese de que o lineamento de Além Paraíba seja uma continuidade dos falhamentos de Taxaquara e Cubatão, formando uma grande estrutura que seria o eixo principal do sistema de falhamentos que afeta o sudeste brasileiro. Entretanto, ainda não foram realizados estudos que comprovem esta teoria.

Medidas realizadas no campo por Liu e Rodrigues (1983) mostram que, na área considerada neste trabalho, observa-se uma efetiva concentração da foliação cataclástica em torno de N50E, com muitos valores situados em N55E. Quanto ao fraturamento, Liu e Rodrigues (1983) realizaram, nesses mesmos afloramentos, medições em 2190 juntas e notaram que são observadas no campo praticamente todas as direções de fraturamento, com concentrações um pouco mais acentuadas nas direções N40E, N20W, EW e entre N40W e N60W. Estes valores são parcialmente concordantes com os apresentados por autores como Liu et alii (1976), Penha et alii (1980), Brenner et alii (1980) e Sad et alii (1982a, b, c e d) entre outros que citaram a predominância de fraturamento nessas mesmas direções, com exceção da direção EW. Contudo, convém reforçar que pelos dados obtidos no campo esta predominância não se revela tão marcante que nas imagens não possa ser mascarada pela presença da foliação regional extremamente conspícua.

3. O REALCE DO RELEVO PELO SOMBREAMENTO

Sawatzky e Lee (1974) definiram o realce pelo sombreamento como o exagero das feições topográficas ou de agrupamentos dessas feições, devido à formação de sombras junto a elas. Isto significa que quanto maior a sombra formada por um elemento topográfico positivo mais fácil será sua detecção numa imagem ou numa foto aérea.

É bastante intuitiva e fácil de aceitar a idéia de que para uma determinada feição topográfica, quanto menor a elevação solar maior será o sombreamento e mais claramente ela será detectada na imagem. Este é um aspecto em que a iluminação pode interferir quantitativamente na extração de lineamentos a partir de imagens LANDSAT, pois mais lineamentos poderão ser mapeados em imagens obtidas com menor elevação solar.

Entretanto, há um outro aspecto a ser considerado que irá influenciar a qualidade da informação contida na imagem. Este aspecto, fre-

quentemente desprezado pelo usuário de Sensoriamento Remoto, é a geometria entre o azimute solar e a estruturação geológica do terreno, cuja importância na visualização do relevo será mostrada a seguir.

A Figura 2 dá um exemplo da influência do ângulo de elevação solar no realce das feições topográficas lineares. Para esse exemplo foi elaborado um modelo simplificado de relevo, no qual as feições topográficas estão representadas por uma dobradura em papel. A parte A da figura mostra o modelo sob uma iluminação artificial com elevação de cerca de 20° em relação à horizontal. O azimute é dado pela seta e é aproximadamente ortogonal à direção das cristas do modelo. Na parte B da figura o modelo foi fotografado com iluminação elevada de cerca de 50° e o azimute não foi modificado em relação ao anterior. É fácil perceber, pela comparação das duas cenas, que realmente o melhor realce da fisiografia do terreno é dado pelo menor ângulo de elevação da iluminação, mantendo-se constante o azimute. Entretanto, em ambos os casos a estruturação do modelo pode ser identificada.

Se, ao contrário, o azimute for modificado, o comportamento do alvo na imagem poderá ser consideravelmente alterado. Esta afirmativa está suficientemente bem ilustrada pela Figura 3. Na parte A desta figura o modelo em papel foi iluminado com baixa elevação (20°) e com azimute paralelo à direção das cristas e nela se percebe que a despeito da baixa elevação as feições lineares não estão suficientemente nítidas. Tal fato se deve ao paralelismo entre o azimute da iluminação e a estruturação do modelo, que reverte em pouco sombreamento ao longo das feições lineares. Na parte B da Figura 3 o modelo foi fotografado sob uma fonte de luz elevada (50°) e com azimute perpendicular ao eixo das dobraduras e, neste caso, o sombreamento é suficiente para realçar as feições, apesar do alto valor do ângulo de elevação da iluminação. Ratifica-se, assim, a idéia da importância do azimute da iluminação para a qualidade da informação contida em uma fotografia aérea ou uma imagem orbital, uma vez que as feições topográficas lineares presentes na cena poderão estar realçadas ou obscuras, dependendo da época do ano em que se efetuou o imageamento.

O centro da área escolhida para este trabalho localiza-se aproximadamente na latitude $22^\circ 30'$ e isto faz com que no horário de passagem dos satélites LANDSAT ocorra uma boa variação sazonal no ângulo de elevação solar e uma razoável variação azimutal. Infelizmente, não se dispõe de suficientes opções a respeito desses dois parâmetros da iluminação: a pequenos valores azimutais correspondem sempre baixos ângulos de elevação solar e a grandes azimutes correspondem altas elevações solares. Em outras palavras, os valores de elevação e azimute são diretamente proporcionais, o que impossibilita, por exemplo, a obtenção de imagens com baixas elevações solares e azimutes próximos à direção E-W, simultaneamente.

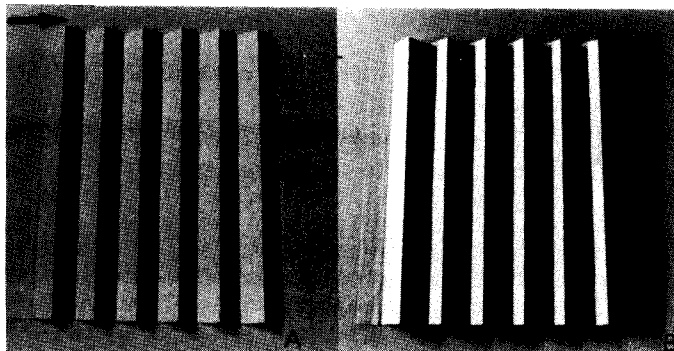


Fig. 2 - Modelo simplificado de relevo, iluminado com diferentes ângulos de elevação.

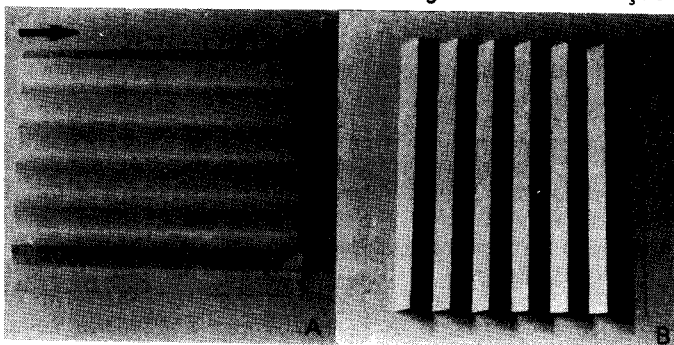


Fig. 3 - Modelo simplificado de relevo, iluminado com diferentes azimutes.

4. OS LINEAMENTOS FOTOGEOLÓGICOS

Neste trabalho, o termo lineamento será utilizado com a definição do trabalho de O'Leary et alii (1976) sobre o assunto. Assim o lineamento é considerado "uma feição linear topográfica ou tonal do terreno ou das imagens e mapas, que pode representar uma zona de fraqueza estrutural".

Quando se observa a imagem de 30.01.78 (azimute = 93° e elevação = 41°), mostrada na Figura 4A, percebe-se que, apesar do alto ângulo de elevação solar, o azimute oblíquo à direção da estruturação regional mais importante (N50 a 60E) faz com que seja facilitada a visão das feições topográficas lineares associadas ao lineamento de Além Paraíba.

Por outro lado, a imagem de 24.06.76 (azimute = 49° e elevação = 22°) apresentada na Figura 4B embora tenha uma menor elevação solar e por isto seja, teoricamente, a mais propícia à identificação das feições do relevo, não permite a visualização nítida da estruturação regional NE, devido ao paralelismo entre esta estruturação e o azimute solar com que a imagem foi obtida. Desta forma, o pesquisador menos avisado que se utilize apenas desta imagem pode não ter uma idéia exata da importância das estruturas com direção próxima a N50E no contexto geológico regional, como efetivamente ocorre.

Olhando as duas imagens simultaneamente (Figura 4) torna-se mais evidente a diferença entre elas. Examinando em detalhe partes dessa cena é possível perceber algumas diferenças

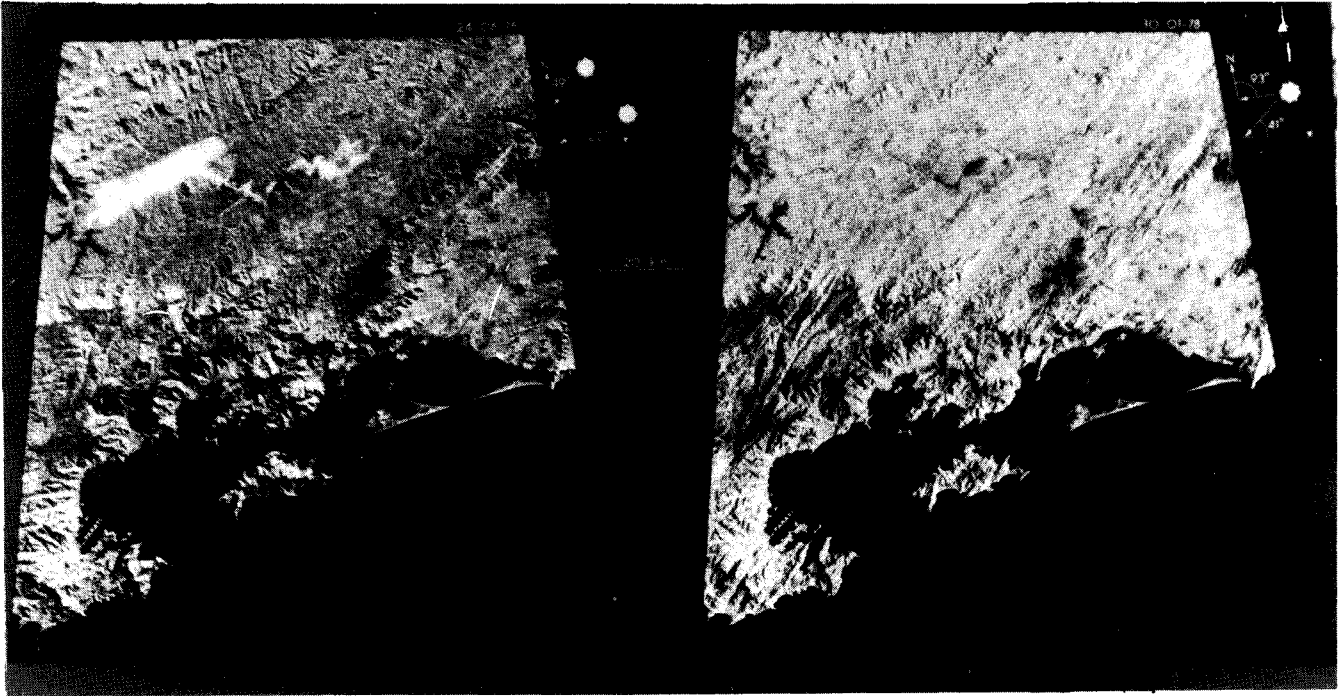


Fig. 4 - Visão conjunta das imagens MSS-LANDSAT de 24.06.76 (A) e 30.01.78 (B).

realmente notáveis entre as duas passagens. A Figura 5 mostra um pequeno setor dessas imagens, que contém em sua porção superior a escarpa da Serra da Bocaina, cuja direção é aproximadamente EW. Na imagem de 24.06.76 (à esquerda) é fácil detectar profundas fraturas com direção em torno de EW instaladas no topo da Serra da Bocaina. Na imagem de 30.01.78 o paralelismo entre o azimute solar e essas fraturas dificulta sua observação e praticamente impossibilita seu mapeamento. O mesmo pode ser dito em relação à borda setentrional da serra, cuja demarcação apenas pode ser feita a partir da imagem de junho. Ao contrário, as feições NE são muito conspícuas na imagem de janeiro e apenas algumas delas são mapeáveis na de junho.

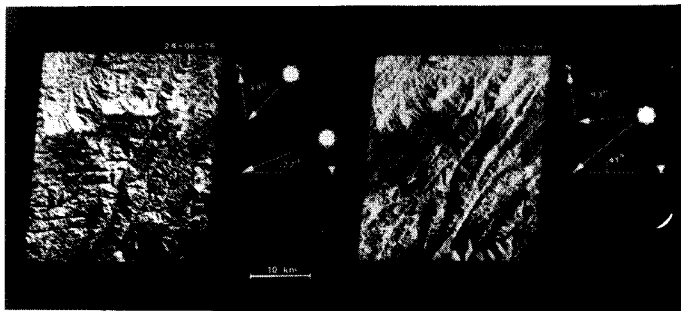


Fig. 5 - Detalhe das imagens da Figura 4, mostrando a região da Serra de Bocaina.

Outro bom exemplo é dado pela Figura 6 que mostra a parte mais meridional da cena estudada, próxima à cidade de Parati, no litoral do Estado do Rio de Janeiro. Aqui novamente se repete a situação apresentada no exemplo anterior: as fraturas EW são facilmente identificadas na imagem de junho (com azimute de 49°) mas desapare-

cem totalmente na imagem de janeiro em razão de seu paralelismo com o azimute solar (93°) nesta data. Com os lineamentos com direção em torno de N50E ocorre exatamente o oposto



Fig. 6 - Detalhe das imagens da Figura 4, mostrando a região de Parati, no litoral do Estado do Rio de Janeiro.

As Figuras 7 e 8 são os mapas dos lineamentos extraídos das imagens de junho e janeiro, respectivamente. Estes mapas mostram, mesmo sob uma observação apenas fugaz, que efetivamente a qualidade da informação contida em cada imagem é substancialmente distinta da outra. Porém, nessa forma de apresentação não é possível avaliar de modo palpável essas diferenças. Para estabelecer parâmetros que permitissem a comparação quantitativa, os lineamentos foram tabulados de acordo com sua quantidade, seu comprimento acumulado e seu comprimento médio (comprimento acumulado/quantidade) por intervalo de direção (intervalos de 10° centrados no valor apresentado na tabela). Os valores obtidos estão mostrados nas Tabelas 1 e 2 (junho e janeiro, respectivamente).

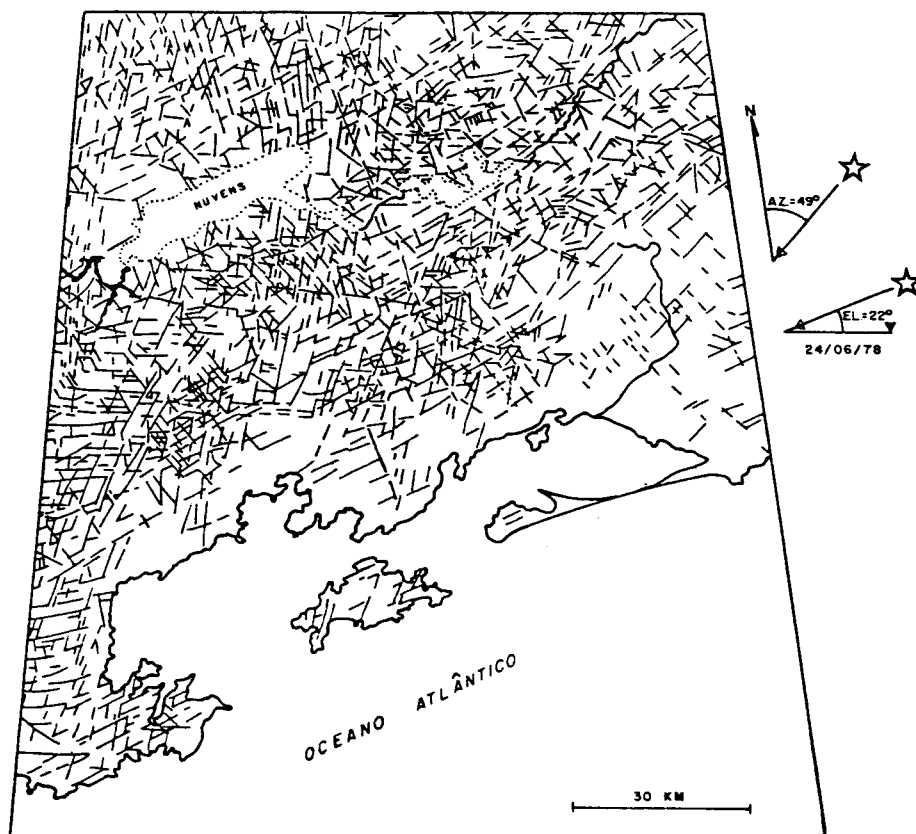


Fig. 7 - Mapa dos lineamentos extraídos da imagem MSS-LANDSAT de 24.06.76.

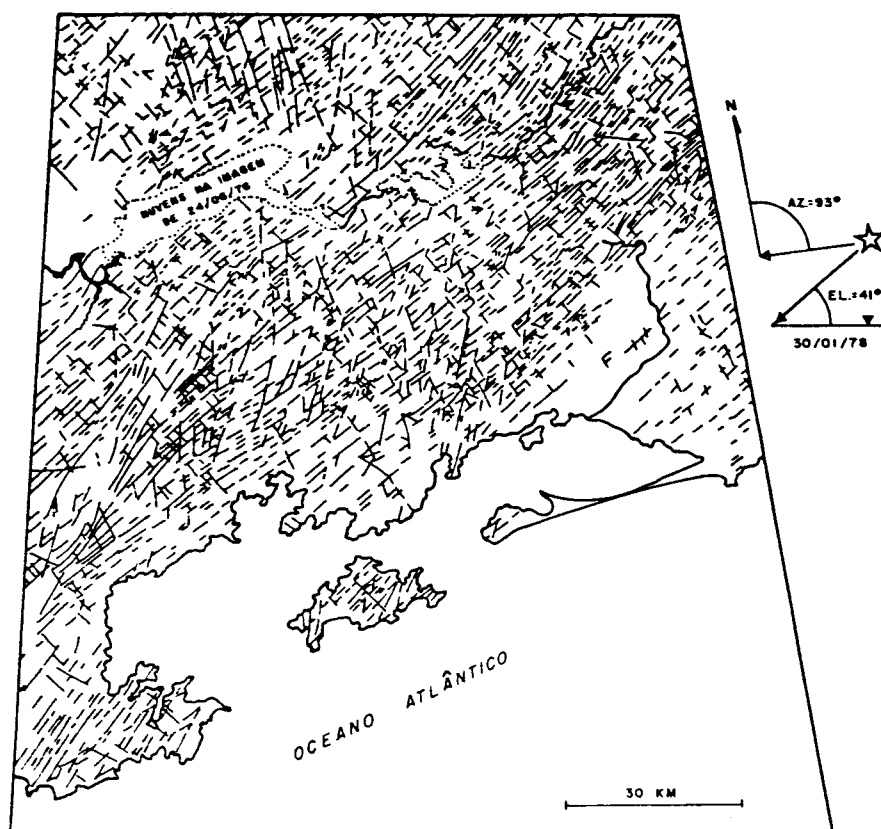


Fig. 8 - Mapa dos lineamentos extraídos da imagem MSS-LANDSAT de 30.01.78.

TABELA 1
DADOS QUANTITATIVOS DOS LINEAMENTOS DA FIGURA 7

DIREÇÃO	NÚMERO DE LINEAMENTOS	COMPRIMENTO ACUMULADO (KM)	% DO TOTAL	COMPRIMENTO MEDIO (KM)
EW	138	379,0	7,01	2,75
N80W	142	385,5	7,14	2,71
N70W	22	67,0	1,24	3,04
N60W	35	98,0	1,81	2,80
N50W	40	120,5	2,23	3,01
N40W	110	284,0	5,26	2,58
N30W	172	423,0	7,83	2,46
N20W	69	187,0	3,46	2,71
N10W	83	250,0	4,63	3,01
NS	52	155,0	2,87	2,98
N10E	85	207,0	3,83	2,43
N20E	254	636,5	11,78	2,50
N30E	150	438,0	8,11	2,92
N40E	42	178,0	3,29	4,24
N50E	52	190,0	3,52	3,65
N60E	117	332,0	6,15	2,83
N70E	260	846,5	15,67	3,25
N80E	79	225,5	4,17	2,85
TOTAL	1902	5402,5	100,00	2,84

TABELA 2
DADOS QUANTITATIVOS DOS LINEAMENTOS DA FIGURA 8

DIREÇÃO	NÚMERO DE LINEAMENTOS	COMPRIMENTO ACUMULADO (KM)	% DO TOTAL	COMPRIMENTO MEDIO (KM)
EW	0	0	0	-
N80W	3	16,5	0,31	5,5
N70W	2	9,5	0,17	4,5
N60W	10	18,0	0,34	1,8
N50W	21	52,5	0,99	2,5
N40W	111	210,0	3,95	1,89
N30W	176	384,0	7,23	2,18
N20W	45	103,0	1,94	2,29
N10W	57	176,5	3,32	3,09
NS	22	75,0	1,41	3,41
N10E	55	113,5	2,14	2,06
N20E	81	195,5	3,68	2,41
N30E	103	231,0	4,35	2,24
N40E	67	200,0	3,77	2,98
N50E	529	1324,0	25,27	2,53
N60E	920	1940,5	36,55	2,11
N70E	107	241,0	4,54	2,25
N80E	1	1,5	0,04	1,5
TOTAL	2310	5309,5	100,00	2,30

A partir dos dados tabulados foram confeccionados diagramas com a porcentagem do comprimento acumulado para cada intervalo de direção e para cada uma das duas datas consideradas. A Figura 9 é relativa à imagem de 24.06.76 e nela são percebidos vários picos de concentração, nas direções EW/N80W, N30W, N20E e N70E, com valores percentuais de 7.1, 7.8, 11.8 e 15.7, respectivamente. Valores menores são observados pa-

ra as demais direções. Neste diagrama não é visível a direção aproximada do lineamento de Alêm Paraíba (N50 a 60E), para a qual são registrados valores relativamente baixos (3,5 a 6%).

A Figura 10 mostra o diagrama dos lineamentos extraídos da imagem de 30.01.76, no qual é bastante conspícua a concentração de altos valores em torno da direção correspondente à do lineamento de Alêm-Paraíba. Em virtude desta exa-

gerada concentração (61,8% do comprimento total dos lineamentos situam-se entre N50E e N60E), outras direções menos expressivas, mas que podem ser importantes no contexto geológico, tendem a desaparecer do diagrama. Por este motivo, sugere-se a representação logarítmica desses valores pois, conforme pode ser verificado na Figura 11, ela realça os picos menos expressivos (N30 a 40W, N10W e N30E) sem prejudicar a visualização da direção principal.

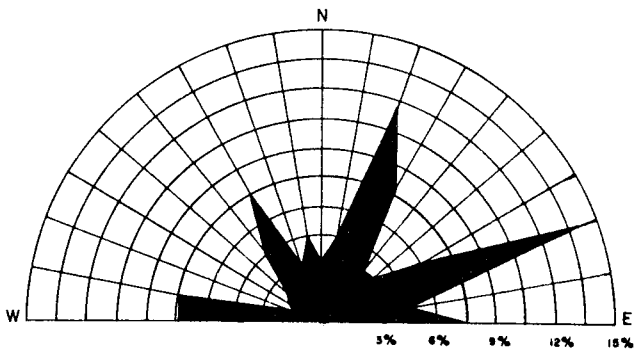


Fig. 9 - Diagrama da porcentagem do comprimento acumulado, por direção, dos lineamentos da imagem de 24.06.74.

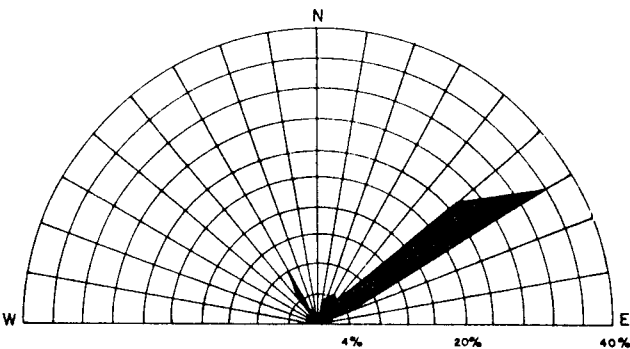


Fig. 10 - Diagrama da porcentagem do comprimento acumulado por direção dos lineamentos da imagem de 30.01.78.

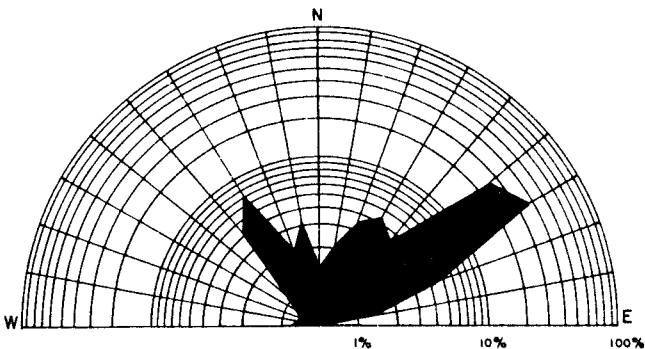


Fig. 11 - Diagrama logarítmico percentual do comprimento acumulado, por direção, dos lineamentos da imagem de 30.01.78.

Para uma melhor apreciação da influência que o azimute solar exerce sobre a identificação de lineamentos, os dados de comprimento acumulado por intervalo de direção foram lançados

nos gráficos da Figura 12. Nesses gráficos foram plotados também os azimutes solares em cada uma das imagens consideradas e é bastante fácil perceber a grande diminuição dos valores nas direções coincidentes ou muito próximas ao azimute, quando comparados com os valores da outra data. No caso das direções N50E a N60E (lineamento de Além Paraíba) na imagem de janeiro, com azimute de 93°, foram mapeados lineamentos num total de 1342 e 1940km, respectivamente. Na imagem de junho (azimute de 49°) esses valores ficaram reduzidos a 190 e 332km, ou seja, a menos de 20% dos valores de janeiro. Nas direções EW e N80W, próximas ao azimute solar de janeiro (93°), foram mapeados 0 (zero) e 16,5km de lineamentos na imagem de janeiro enquanto que na de junho esses valores sobem para 379 e 385,5km respectivamente.

A partir dos dados das Tabelas 1 e 2, apresentadas anteriormente, foram por último construídos os gráficos da Figura 13, nos quais estão plotados os comprimentos médios dos lineamentos por intervalo de direção e para cada uma das imagens utilizadas. Nesses gráficos está muito evidente o fato de que ocorre uma incontestável migração dos maiores valores na direção dos azimutes solares. Em outras palavras, nas direções próximas à do azimute solar o comprimento médio dos lineamentos tende a aumentar. Este fato é perfeitamente justificável se considerarmos que nessas condições de paralelismo ou subparalelismo com a iluminação os lineamentos menores e menos nítidos são mais facilmente mascarados e apenas os maiores e mais nítidos podem ser cartografados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados acima apresentados, não restam dúvidas quanto a alguns aspectos metodológicos relacionados com o mapeamento de lineamentos fotogeológicos a partir das imagens LANDSAT.

Em primeiro lugar, é possível que a elevação solar não seja sempre o parâmetro da iluminação solar que mais decisivamente altera o registro da cena nas imagens, ao contrário do que costumeiramente é considerado. Não se nega o fato de que os baixos ângulos de elevação solar podem favorecer a identificação de um número maior de lineamentos, especialmente em áreas com relevo pouco acidentado. Entretanto, esses baixos ângulos de elevação não conseguem evitar os efeitos de outra influência ocasionalmente mais poderosa: a do azimute solar.

O exemplo mostrado neste trabalho revelou que as relações geométricas entre o azimute da iluminação e a estruturação geológica do terreno são um parâmetro muito importante a se considerar, pois direções estruturais relevantes podem ser fortemente obscurecidas por uma iluminação inadequada ou ser realçadas por convenientes azimutes solares. Este maior ou menor realce não pode ser compensado pelas diferenças na elevação solar.

Da mesma forma, o comprimento médio dos lineamentos mapeados pode se alterar com as variações na geometria da iluminação, especialmente com as variações do azimute solar, e isto pode

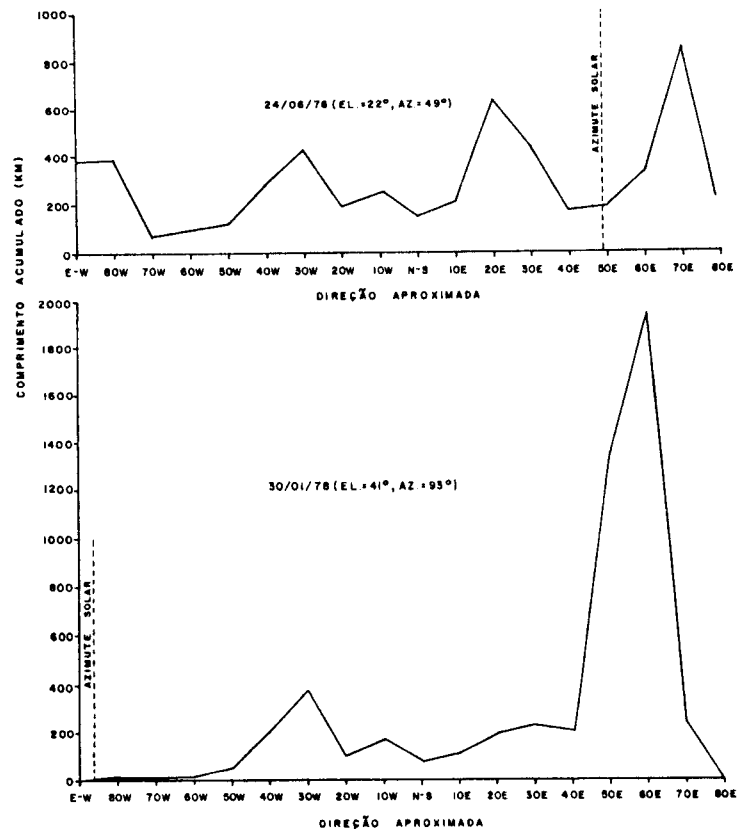


Fig. 12 - Gráficos do comprimento acumulado dos lineamentos, por intervalo de direção.

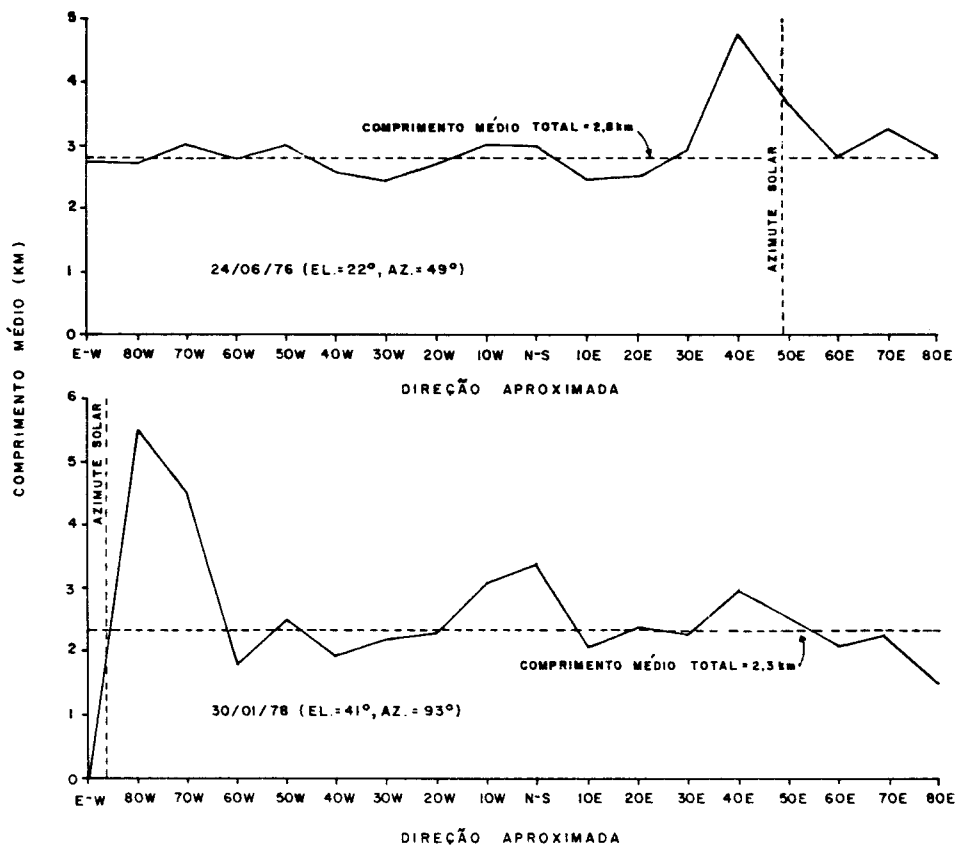


Fig. 13 - Gráficos do comprimento médio dos lineamentos, para cada intervalo de direção.

prejudicar as análises estruturais que sejam realizadas posteriormente.

Assim, nos trabalhos que exijam um apurado mapeamento dos lineamentos fotogeológicos, ratifica-se a necessidade de utilização da análise multitemporal, para minimizar eventuais distorções no produto final da fotointerpretação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. Lineamento de Além Paraíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47(3/4):575, 1975.
- BRENNER, T.L.; FERRARI, A.L.; PENHA, H.M. Lineamentos estruturais no norte do Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Balneário de Camboriú, 1980. *Anais*. Balneário de Camboriú, SBG, 1980, v.5, p. 2551-2564.
- CAMPANHA, G.A. da C. *O lineamento de Além Paraíba na área de Três Rios (RJ)*. Tese de Mestrado em Geologia, São Paulo, Instituto de Geociências, USP, 1980, 109 p.
- . *O lineamento de Além Paraíba na área de Três Rios (RJ)*. *Revista Brasileiro de Geociências*, 11(3):157-171, 1981.
- HASUI, Y.; OLIVEIRA, M.A.F. de Província Mantiqueira - Setor Central. In: ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y. *O Pré-cambriano no Brasil*, São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1984. p. 308-344.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A.; ALMEIDA, M.A.; MELO, M.S. de; PIRES NETO, A.G. As grandes falhas do leste paulista e sua importância. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1., São Paulo, *Atas*. São Paulo, SBG, 1977, p. 369-380.
- LIU, C.C. *Análise estrutural de lineamentos em imagens de Sensoriamento Remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro*. Tese de mestrado em Geologia, São Paulo, Instituto de Geociências, USP, 1984, 224 p.
- LIU, C.C.; MENESES, P.R.; MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; OLIVEIRA, A.D. de Geologia do Estado do Rio de Janeiro baseada em imagens do LANDSAT-1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. *Anais*. Ouro Preto, SBG, 1976. v.4, p. 13-326.
- LIU, C.C.; RODRIGUES, J.E. *Relatório de trabalho de coleta de dados geológicos e estruturais no Estado do Rio de Janeiro*. São José dos Campos, INPE, ago. de 1983. (Relatório INPE-2851-NTE/203).
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, D.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Bulletin of the Geological Society of America*, 87:1463-1469, 1976.
- PENHA, H.M.; FERRARI, A.L.; RIBEIRO, A.; AMADOR, E.S.; PENTAGNA, F.; JUNHO, M.C.B.; BRENNER, T.L. A Geologia da Folha Petrópolis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário de Camboriú, 1980. *Anais*. Balneário de Camboriú, SBG, 1980. v.5, p. 2965-2974.
- SABINS JR., F.F. *Remote Sensing, principles and interpretation*. San Francisco, CA, W.H. Freeman, 1978. 426 p.
- SAD, J.H.G.; BARBOSA, A.L.M.; ANDRADE, N.T. de *Folha Geológica Duas Barras (SF.23-2-B-II-2)*; sinopse geológica. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, 1982a.
- SAD, J.H.G.; BARBOSA, A.L.M.; HETTICH, M. *Folha geológica Nova Friburgo (SF.23-Z-B-II-4)*; sinopse geológica. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, DRM-RJ, 1982b.
- SAD, J.H.G.; BARBOSA, A.L.M.; PINTO, C.P. *Folha geológica Teresópolis (SF.23-Z-B-II-3)*; sinopse geológica. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, DRM-RJ, 1982c.
- SAD, J.H.G.; BARBOSA, A.L.M.; SERPE, J.C.; DUTRA, J.E. de B. *Folha geológica Anta (SF.23-Z-B-II-1)*; sinopse geológica. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, DRM-RJ, 1982d.
- SAWATZKY, D.L.; LEE, K. New use of shadow enhancement. In: SHAHROKRI, F. (ed.) *Remote Sensing of Earth Resources*, Tullahoma, TN; Space Institute of The Univ. of Tennessee, 1974. v. 5, p. 1-18.