

A IMPORTÂNCIA DAS ESTRUTURAS LINEARES E PLANARES  
NA INTERPRETAÇÃO RADARGEOLÓGICA

AUTOR: MÁRIO IVAN CARDOSO DE LIMA  
PROJETO RADAMBRASIL/DNPM.

RESUMO

São evidenciadas no presente trabalho as características radargráficas das estruturas lineares e planares, assim como a gama de informações que as mesmas podem fornecer na interpretação de estruturas dobradas, falhadas, tabulares, circulares, e interpretação litológica e discordâncias. Exemplificadas em uma dúzia de Estampas de Radar da Goodyear, com interpretação mostrada a parte.

É apresentado também uma análise da aparência e interpretabilidade das feições com relação aos seguintes fatores: tipo de antena, geometria de Radar, e parâmetros do sistema Radar e do terreno.

I - INTRODUÇÃO

Pelos parâmetros físicos inerentes ao Sistema Radar (SLAR), os produtos radargráficos deste sensor ativo, apresentam uma carência em tons de cinza, em vista de seu caráter monocromático, ocupando uma banda muito restrita no espectro eletromagnético (EMR). Fator fundamental na individualização de tonalidades e de substancial importância no que tange a interpretação litológica. Em contraposição, este sensor remoto pela sua geometria, realça as feições morfológicas do terreno, a qual aliada ao ensobreamento para o mesmo lado, determina uma homogeneização das estruturas geológicas, apesar dos diferentes ângulos de de pressão envolvidos, o que implica em comprimento de sombra diversos.

Portanto, procuramos ressaltar no presente trabalho a importância das "estruturas lineares e planares", na interpretação Radar geológica, por causa da clareza evidenciada nas imagens de radar de tais

estruturas, e a gama de informações que as mesmas podem fornecer na identificação de estruturas dobradas, falhadas, circulares, tabulares e interpretação litológica e discordâncias. Para tal apresentamos um conjunto de doze estampas de Radar da Goodyear (102) com a respectiva interpretação ao lado.

De uma maneira geral as publicações de autores nacionais sobre este tema são escassos. Dos quais citamos os trabalhos de Pedreira (4) e Lima (3).

## II - ESTRUTURAS PLANARES (Planos "S")

Estas estruturas são representadas pelo acamamento, foliação, xistosidade e clivagem. A primeira sendo uma estrutura, é de mais fácil identificação nas imagens de radar, enquanto as restantes, pela sua origem secundária, são de identificação mais restrita.

Os termos foliação, xistosidade e clivagem são aqui apli cadas no sentido de Hobbs, Means e Williams, (2), em que a clivagem é gerada por efeitos mecânicos, em zonas de intenso cisalhamento, podendo ser oblíqua a xistosidade ou então coincidir com a mesma, quando neste caso teremos uma foliação verdadeira. A identificação da foliação é fa cilitada quando a mesma é concordante com o acamamento.

As estruturas planares são identificadas nas imagens de radar, pelos seus caracteres essencialmente morfológicos, como seja a presença de uma escarpa e do lado oposto feições em forma de "V", cujo mergulho será indicado no sentido de sua abertura ( $\nabla$ ), à semelhança das fotografias aéreas.

As estruturas planares assomam amiúde em coberturas sedi mentares em especial naquelas expostas por dobramentos. Nas rochas me tamórficas, somente nas de baixo grau estas estruturas são perfeitemen te discerníveis, o mesmo não ocorrendo nas de grau médio a alto, em vis

ta da ambiguidade ocorrente, porquanto da presença de colúvios, no so  
pê das encostas, que imitam o "V" típico, havendo sempre a necessidade  
de controle de campo.

Em regiões onde existe uma dominância, ou pelo menos, a  
presença de "quartzitos" a interpretação pode ser mais segura, em vis  
ta do ressalto de suas cristas, como também pela facilidade que se po  
de seguir a grandes distâncias este tipo litológico.

Torna-se importante avaliar os produtos radargráficos,  
com o fito de separar as feições que correspondem a estruturas e aque  
las que são produtos exclusivos de erosão diferencial. Uma vez que, em  
zonas de intenso falhamento, o acamadamento e a foliação, são de manei  
ra geral mascarados pelo intenso cizalhamento, cujas estruturas se  
riam representativas de clivagem, que em casos especiais pode coinci  
dir com a foliação propriamente dita e o acamadamento.

### III - ESTRUTURAS LINEARES

Estas estruturas correspondem aos "Lineamentos de Radar",  
feições exclusivas deste sensor, porquanto de sua visada lateral. Repre  
sentando, em verdade, a feições planares de mergulho vertical, dispon  
do-se em zonas de intenso cizalhamento, ou então próprio de rochas me  
tamórficas foliadas.

Em regiões de intenso capeamento de solos, pode-se tra  
çar estas estruturas por grandes distâncias, aliado ao padrão de drena  
gem. Constituindo deste modo um importante parâmetro na interpretação  
estrutural de uma região.

Vale ressaltar que pela própria geometria do sensor, em ã  
reas de dominância de rochas de metamorfismo médio e alto grau, estas  
estruturas podem se apresentar orientadas em qualquer direção, depen  
dendo do ângulo de visada do intérprete, necessitando inclusive de pa  
râmetros adicionais a fim de não provocar uma interpretação ambígua.

#### IV - ANÁLISE DA APARÊNCIA E INTERPRETABILIDADE DAS FEIÇÕES

Pelas suas características geométricas e físicas, o sensor Radar de Visada Lateral (SLAR), mostra uma série de parâmetros que maximizam ou minimizam a aparência e interpretabilidade das estruturas lineares e planares. Cujas principais são: tipo de antena, geometria de radar, e parâmetros do sistema de radar e do terreno.

##### IV.1 - TIPO DE ANTENA

Atualmente existem três tipos comerciais de antena de Radar: Motorola (94) da Grumman, Westinghouse (97) da Westinghouse e Goodyear (102) da Aeroservice. Abaixo apresentamos na Tabela I uma comparação entre alguns parâmetros destes três sistemas:

TABELA I

ANTENA	GOODYEAR	WESTINGHOUSE	MOTOROLA
FATORES			
Escala original	1:400.000	1:250.000	1:250.000
Comprimento de Onda	3,12 cm	0,86 cm	3 cm
Abertura	sintética focada	real	real
Resolução	16 m	10 m (near range) 22 m (far range)	baixa
Ampliação	1:250.000	1:100.000	1:100.000
Banda	X	Ka	X

Então pelo que se observa na Tabela I, a Goodyear apresenta a vantagem de mostrar uma resolução constante tanto no Canal Próximo quanto no Canal Remoto, enquanto a Westinghouse e Motorola apresentam um comprimento de onda menor, como também uma escala original maior, que implica em uma presença de superfícies mais rugosas como veremos a

diante, além da possibilidade de atingirmos escalas maiores sem grande perda de resolução, respectivamente. Como vemos torna-se difícil apresentar-mos qual o sistema de antena da radar é o melhor para identificação de feições lineares e planares, uma vez que cada sistema apresenta tanto limitações como vantagens. Contudo, podemos dizer que a Goodyear se presta melhor para levantamentos de grandes áreas, devido seu sofisticado sistema de aeronavegação (Plataforma Inercial) e sofrer menos influência de deslocamento de relevo, enquanto a Westinghouse e Morotola, são indicadas para pequenas áreas.

#### IV.2 - GEOMETRIA DO RADAR

Um dos fatores mais importantes em termos de obtenção de dados do terreno e que devem ser sempre analisados pelos intérpretes são os da Geometria de Radar: Sombra de Radar, Encurtamento de Radar, Inversão de Relevo, e Paralaxe e Estereoscopia de Radar.

##### IV.2.1 - SOMBRA DE RADAR ("Radar Shadows")

A sombra de radar só será produzida em uma feição do terreno se o ângulo de depressão for maior que o ângulo da pendente não voltada para o feixe de radar. Além do mais as feições perpendiculares a direção de varredura ou paralelas a linha de vôo, terão um maior ressaltado e como consequência maior sombra, o oposto ocorrendo quando as mesmas forem paralelas.

Portanto a disposição das estruturas lineares e planares com relação a direção de visada terão diferentes respostas nas imagens de radar, que poderão provocar uma interpretação errônea, em vista do ressaltado das estruturas em determinada direção, que não corresponde a direção real do terreno.

##### IV.2.2 - ENCURTAMENTO DE RADAR ("Radar Foreshortening")

O período de tempo que uma pendente é iluminada determina o comprimento da pendente sobre a imagem de radar. Provocando um fe

nômeno denominado de encurtamento das pendentes, fato que não ocorre quando o ângulo de depressão for igual ao da pendente não voltada para o feixe de radar.

Este parâmetro não terá grandes influências nas estruturas lineares no entanto poderá encobrir uma série de feições planares no caso dos mesmos estarem voltados para o feixe de radar, tendo portanto um único retorno.

#### IV.2.3 - INVERSÃO DE RELEVO ("Radar Layover")

Constitue um caso extremo de deslocamento de relevo. Em geral ocorrente no Canal Próximo e é uma função direta da distância da aeronave para a feição imageada. Uma vez que o topo de uma feição mais próxima da aeronave do que a base, será registrada antes.

Este fenômeno impossibilita a identificação de estruturas lineares e planares.

#### IV.2.4 - PARALAXE E ESTEREOSCOPIA

De maneira distinta das fotografias aéreas, as imagens de radar provocam um deslocamento das feições positivas em direção a antena de radar o inverso ocorre com as negativas. Então a soma de deslocamento de relevo evidenciado nos canais próximos e remoto, constitui o paralaxe, e que é o fator determinante na obtenção da "Estereoscopia de Radar".

Estes parâmetros são de grande valia na interpretação de estruturas planares e lineares, eliminando os problemas causados por extensa sombra de radar, encurtamento de Radar e Inversão de Relevo.

#### IV.3 - PARÂMETROS DO SISTEMA RADAR

O comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização da onda incidente, são parâmetros inerentes do tipo de Antena utiliza

do, mostrando certa influência na aparência e interpretabilidade das estruturas lineares e planares.

#### IV.3.1 - COMPRIMENTO DE ONDA

A presença de uma textura lisa ou rugosa dependerá do comprimento de onda usado, que quanto menor apresentará mais detalhes de uma superfície. Isto significa dizer que determinados tratos do terreno que mostram uma textura lisa com determinado comprimento de onda, se mostrarão rugosas, com um comprimento de onda menor. Se considerarmos de determinado depósito sedimentar, este sô apresentará rugosidade nas imagens de Radar, se o tamanho dos blocos fôr maior que a metade do comprimento de onda utilizado.

Deste modo as feições lineares e planares terão mais minúcias se utilizarmos um comprimento de onda menor

#### IV.3.2 - POLARIZAÇÃO

A polarização da onda incidente, seja simples (HH e VV) ou cruzada (HV e VH), não terá influência determinante no ressalto das estruturas lineares e planares.

#### IV.3.3 - ÂNGULO DE INCIDÊNCIA

O ângulo de incidência influenciará sobre modo no retorno da onda incidente e como consequência na tonalidade das feições imageadas. Segundo a "Lei de Snell", quando o ângulo de incidência foi igual a  $0^{\circ}$  teremos um retorno total e quando for igual a  $90^{\circ}$  ocorre o caso de "grazing", quando não teremos o encurtamento das pendentes. Em termos de retorno do feixe de ondas, temos três tipos básicos, como seja: Reflexão Difusa e Especular e Refletor de Canto.

#### IV.4 - PARÂMETROS DO TERRENO

O retorno do feixe de radar depende de disposição geométrica das feições do terreno com relação a direção de varredura, em ter

mos de sua rugosidade como também do ângulo da pendente com relação ao ângulo da incidência. Estes fatores implicarão em um ressalto maior ou menor, cujas respostas nas imagens de radar serão representados pela escala do cinza. Como seja, aquelas estruturas que estiverem paralelas a linha de varredura, terão um ensombreamento e realce menor, no caso o posto teremos o inverso. As regiões com maior teor em umidade, provocaão um retorno maior, em vista da constante dielétrica da água ser elevada.

Portanto, se torna mister conhecer a direção principal das estruturas geológicas de uma área antes de se eleger a linha de vôo, a fim de se obter o máximo do que o sensor radar pode fornecer.

#### V - DADOS DE INTERPRETAÇÃO MOSTRADOS PELAS ESTRUTURAS LINEARES E PLANARES

As estruturas lineares fornecem subsídios importantes na interpretação Radargeológica, em especial nos seguintes casos:

- Permite estabelecer um paralelo entre associações de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Portanto, do caráter linear destes últimos.
- Determina a "trend" estrutural de uma região, em especial zonas de cisalhamento. A qual pode levar o intérprete a falsa interpretação de rochas metamórficas, como xistos e gnaisses, em vista do caráter "foliado" apresentado em rochas sedimentares e ígneas.
- Na determinação e caracterização de estruturas circulares, pelo efeito da intrusão provocado nas encaixantes.
- Na delimitação de corpos tabulares, sejam os mesmos de origem básica ou ácida. Nestes, a zona de silicificação é de sobremaneira importância da interpretação de falhas.
- No caráter Sinformal e Antiformal de Dobramentos.
- Na interpretação de discordâncias, seja pelo desaparecimento ou inflexão dos "Lineamentos de Radar" e de rejeitos de falhas.
- Importante na caracterização do "Estilo Tectônico", em especial em terrenos precambrianos, pela visão sinótica mostrada.



Da mesma maneira as estruturas Planares mostramos seguintes dados de interpretação fornecidos diretamente das imagens:

- Perfeita caracterização das estruturas dobradas, em vista da de limitação da "atitude" das mesmas, no que tange a caracterização de sinclinais e anticlinais, assimétricos ou não.
- Dado adicional na identificação de associações sedimentares, pela presença de acamamento, e nas estruturas circulares e discordâncias.
- Torna-se possível seguir a grandes distâncias uma mesma linha de estrutura planar, que por sua vez pode indicar uma diferença litológica, coincidente ou não com uma unidade litoestratigráfica.

## VI - CONCLUSÕES

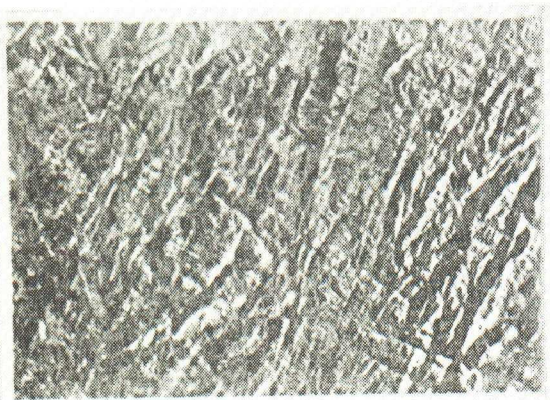
Pelo que foi dissertado anteriormente, as estruturas Lineares e Planares, apresentam uma pleiade de informações obtidas diretamente das imagens de Radar de Visada Lateral, na interpretação de estruturas dobradas, falhadas, circulares, tabulares, associações litológicas e discordância. Fundamentado no fato que não são dados interpretativos e sim informações mostradas pelo próprio Sensor.

Se considerarmos que as limitações mostradas pelas imagens de Radar quer seja na carência em tons de cinza, como também em relevos fortes provocado pela grande extensão das sombras, são compensadas pelo número de informações de ordem estrutural, já que são carentes em outros tipos de sensores. Procedendo desta maneira estaremos utilizando o máximo daquilo que o sensor pode nos fornecer, como também procurando integrá-los a outros, uma vez que no estágio atual de nossos conhecimentos, nenhum tipo de sensor remoto é completo.

## VII - BIBLIOGRAFIA

BROWDEN, LEONARD W. & PRUIT, EVEKYN L. ed - *Manual of remote sensing; interpretations*. Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry, 1975, V.2.

- HOBBS; BRUCE E.; MEANS, WINTHROP. D.; WILLIAMS, PAULO F. - *An outline of structural geology*. New York, J. Wiley & Sons, 1976. 571 p.
- LIMA, M.I.C. - Potencialidade das imagens de radar em mapeamentos geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30º, Recife, Nov. 1978. *Anais...* Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978. 517p. p. 164-178.
- PEDREIRA, A.J. - Determinação de estruturas em imagens de Radar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28º. Porto Alegre, out. 1974. *Anais...* Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, 296 p. p. 279-285.



Est. I

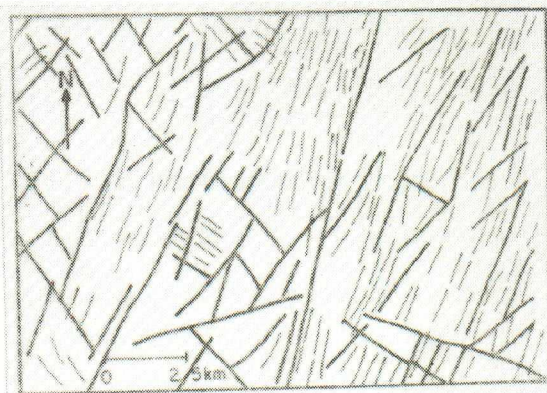
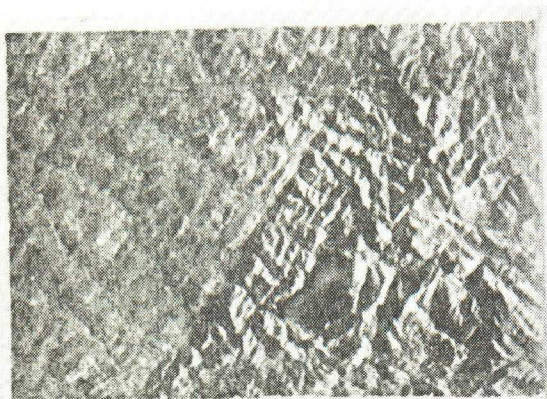


Fig. 1 - SB.24-X-D

Est.I/Fig.1 - Relação entre rochas maciças (quadrante NW e SW) e foliações. Foliação ( $\epsilon$ ), Fratura (—) e Lineamento (---).



Est. II

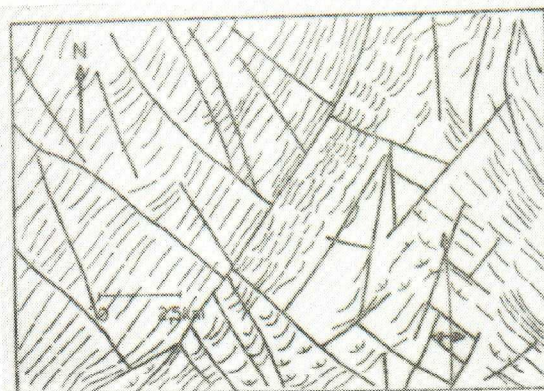
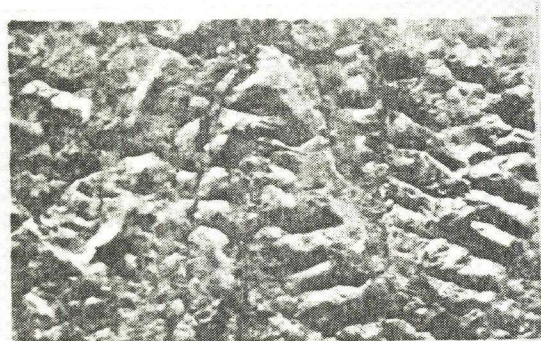


Fig. 2 - SD.22-X-D

Est.II/Fig.2 - Estruturas planares e lineares em zona de Falha e Estrutura Circular. Foliação ( $\epsilon$ ), Fratura (—), Lineamento (---), Anticlinal ( $\longleftrightarrow$ ).



Est. III

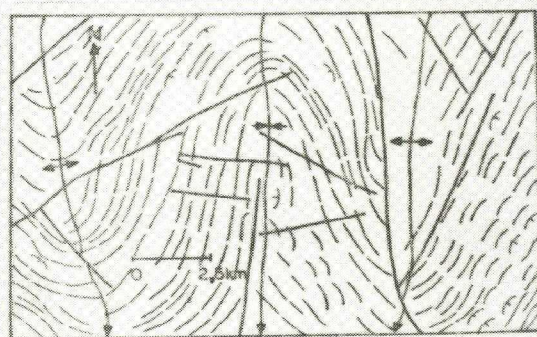


Fig. 3 - SD.24-V-D

Est.III/Fig.3 - Estruturas dobradas em rochas de alto grau de metamorfismo. Foliação ( $\epsilon$ ), Fratura (—), Lineamento (---), Síncinal ( $\longleftrightarrow$ ), Anticlinal ( $\longleftrightarrow$ ).



Est. IV

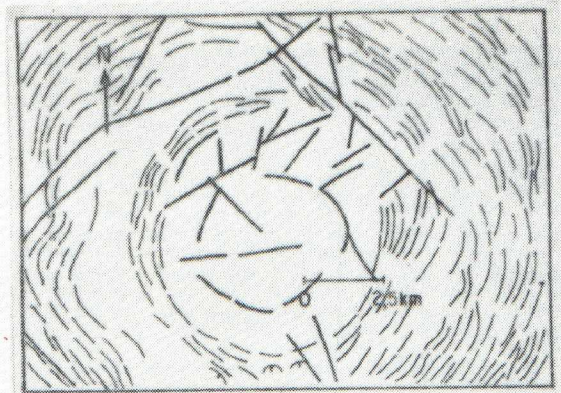
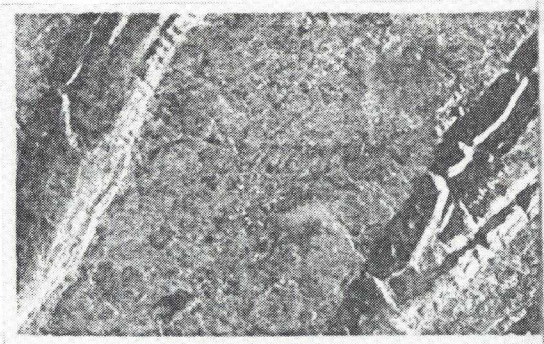


Fig. 4 - SB.24-V-C

Est.IV/Fig.4 - Estrutura Circular em rochas Sedimentares. Foliação (ε), Fratura (—), Lineamento (⇌).



Est. V

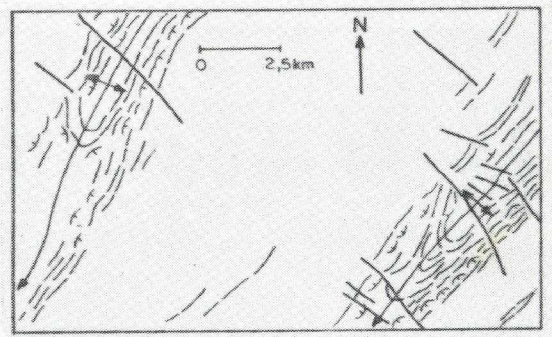
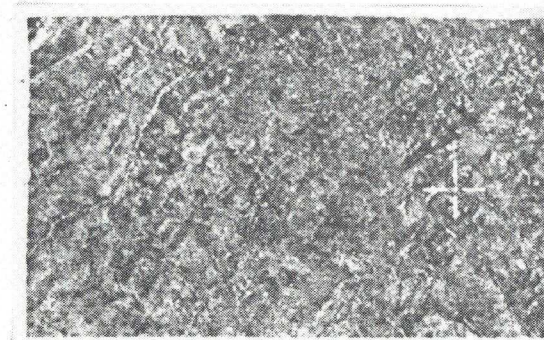


Fig. 5 -SD.21-Z-A

Est.V/Fig.5 - Estruturas dobradas em rochas Sedimentares. Acamamento (ε), Fratura (—), Lineamento (⇌), Anticlinal (↕)



Est. VI

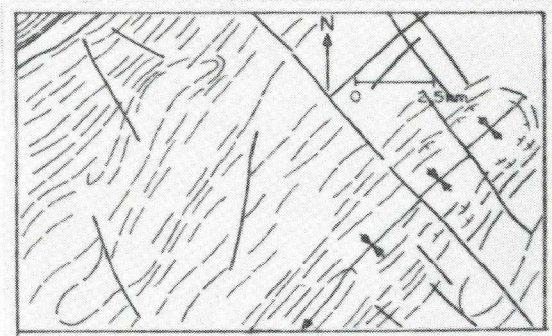


Fig. 6 - SD.21-Z-A

Est.VI/Fig.6 - Estruturas dobradas em rochas sedimentares, e metassedimentares com espesso capeamento de solos. Acamamento (ε), Fratura (—), Lineamento (⇌), Sinclinal (↖\*↗).



Est. VII

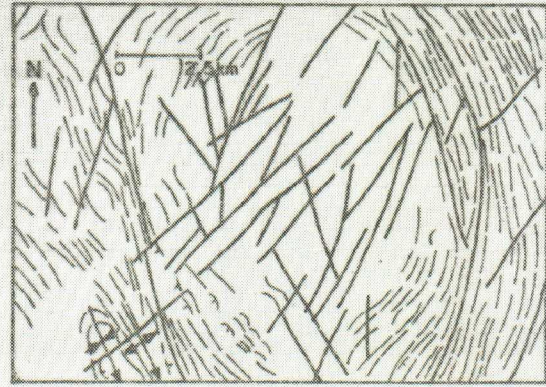
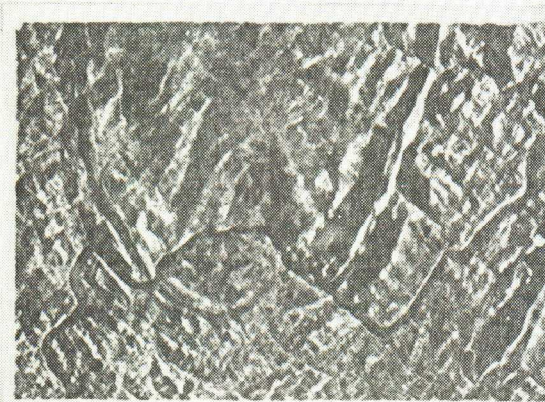


Fig. 7 - SD.22-X-D

Est.VII/Fig.7 - Intrusiva Ígnea ácida em metassedimentos dobrados. Foliação ( $\epsilon$ ), Fratura ( $\text{---}$ ), Lineamento ( $\text{---}\equiv\text{---}$ ), Anticlinal ( $\text{---}\updownarrow\text{---}$ ), Sinclinal ( $\text{---}\ast\text{---}$ ).



Est. VIII

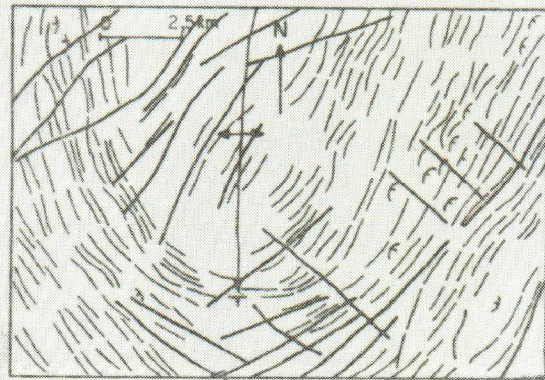
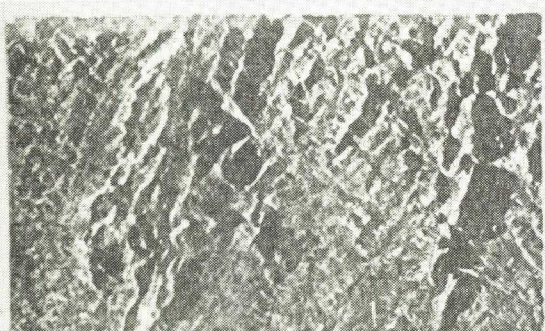


Fig. 8 - SD:22-X-D

Est.VIII/Fig.8 - Parte de uma estrutura dômica em metassedimentos. Foliação ( $\epsilon$ ), Fratura ( $\text{---}$ ), Lineamento ( $\text{---}\equiv\text{---}$ ), Anticlinal ( $\text{---}\updownarrow\text{---}$ )



Est. IX

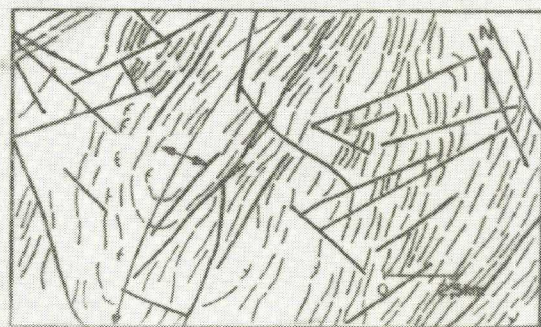
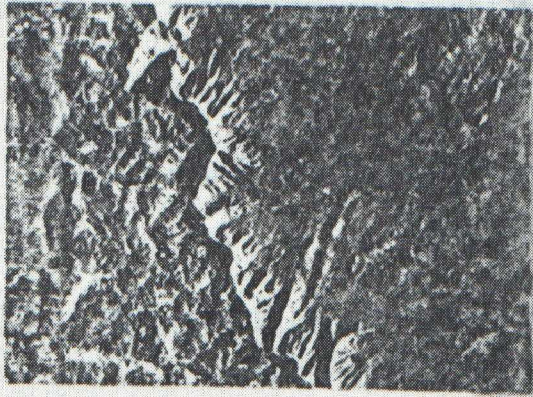


Fig. IX

Est.IX/Fig.9 - Estrutura Dobrada em Metassedimentos. Foliação ( $\epsilon$ ), Fratura ( $\text{---}$ ), Lineamento ( $\text{---}\equiv\text{---}$ ), Sinclinal ( $\text{---}\updownarrow\text{---}$ ),



Est. X

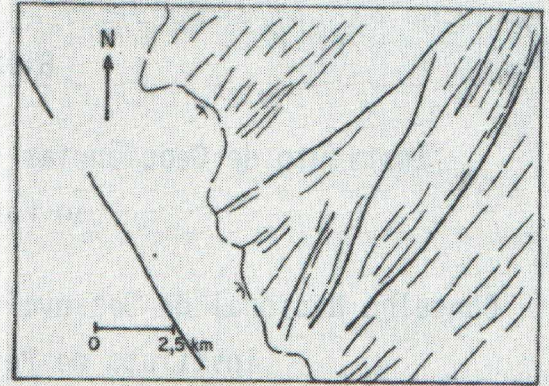
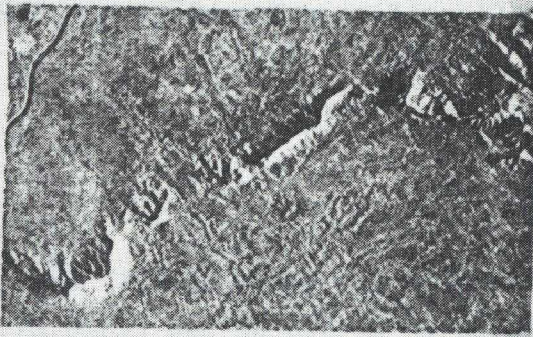


Fig. 10 - SA.24-Y-C

Est.X/Fig.10 - Discordância entre metassedimentos e sedimentos. Acamamento ( $\epsilon$ ), Fratura (—), Lineamento (---).



Est. XI

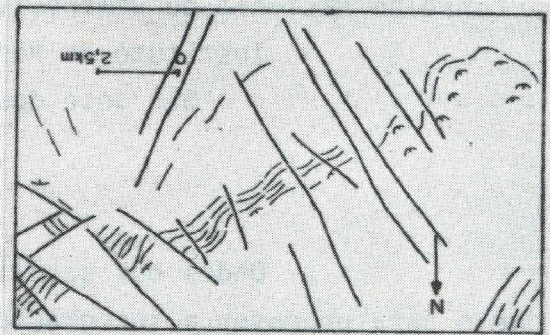


Fig. 11 - SB.22-Y-D

Est.XI/Fig.11 - Estruturas planares em metassedimentos. Acamamento ( $\epsilon$ ), Fratura (—), Lineamento (---).



Est. XII

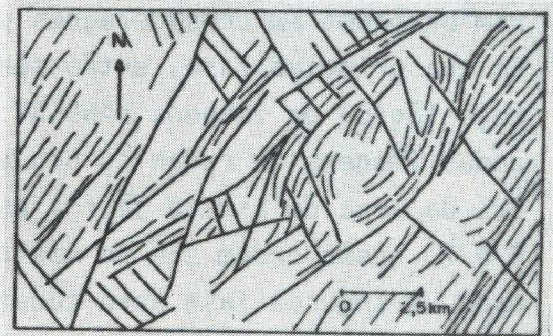


Fig. 12 - SB.24-V-D

Est.XII/Fig. 12 - Feições elípticas em rochas ígneas. Fratura (—), Lineamento (---).