

ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS QUE AFETAM A INTERPRETAÇÃO  
DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS NO BRASIL

O.P.G. Braun

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM  
Departamento de Geologia - DEGEO  
Av. Pasteur, 404 - Urca - 22292 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

RESUMO

A fotointerpretação geológica de imagens de sensores remotos parte do princípio de que o relevo e a fitofisionomia são influenciados pela organização e composição do subsolo. Essa influência, entretanto, varia em função de fatores morfogênicos externos até o ponto de uma anulação completa. Essa variação que também ocorre localmente, em pequenos espaços, apresenta uma distribuição regional no Brasil. Com a finalidade de identificar e avaliar essa variação, foram realizados estudos analíticos regionais em imagens LANDSAT, com controle sobre aerofotos e sobre dados do terreno. Chegou-se assim a mapas dos principais compartimentos geomorfológicos regionais e das variações da resolução geológica da fisiografia, assim como a identificação de fatores geomorfológicos de caráter mais restrito, que agem como atenuadores da expressão fisiográfica das características do subsolo. Fatores regionais são constituídos mormente (1) pelos diferentes estágios de erosão a partir das antigas superfícies geomorfológicas; (2) pela maior abundância pluvial, (3) pela maior competência da drenagem e (4) pelas coberturas edáficas e da vegetação.

ABSTRACT

Geological Photointerpretation on remote sensing images starts from the idea that physiography (geomorfology and phytogeography) are influenced by the subsurface organization and composition. This influence, however, vary in function of external geomorphogenetic factors, still the point of his total annulment. This variation wich can occurs locally, in restricted areas, presents a regional distribution in Brazil. Aiming to identify and evaluate this variation, it has been carried out analytical studies in LANDSAT images, checked with field data and conventional black-and-white airphotos interpretation. Maps representing the main geomorphological provinces on the areas of diferent physiological resolution degree was obtained. A few rectricted factors wich attenuate the physiographic expression of subsurface features are also discussed. The current regional factors can be expressed by diferent erosion stages on the old geomorphologic surfaces, by the high amount of rain fall, by the increasing current stream competence and by the soil and vegetation covers.

1. INTRODUÇÃO

Conhecimento e experiência do intérprete mostram-se muito mais importantes do que a real diferença entre os vários sensores. Novatos nesse campo não chegarão às mesmas conclusões que aqueles com muitos anos de experiência, nem sua avaliação através de filmes para investigação específica levará necessariamente às mesmas conclusões que os mais experientes trabalhadores em um tipo de análise mais generalizada. Consequentemente, revendo a bibliografia,

não se terá certeza muitas vezes se os resultados descritos devem ser atribuídos ao material usado ou a competência individual. Um geólogo eficiente, com longa experiência e usando nada mais do que fotografias em preto e branco, de uma pobre terceira geração, produzirá um nível de informações que excederá, tanto em qualidade como em quantidade aquele produzido por um novato usando a melhor imagem colorida disponível. A fotografia apresenta na da mais do que um padrão de tons em

cinza ou em cor. A alteração desses padrões, com maior ou menor contraste, a mudança nos tons de cinza ou nas cores, etc. situam-se dentro dos limites do material usado (filme, filtros, etc.). A identificação de qual quer padrão específico, seu significado e a interpretação da relação que deve existir entre os elementos do padrão situam-se dentro dos limites da sensibilidade individual. Sem dúvida, as várias emulsões e combinações filtro/filme, particularmente em imagem coloridas de alta qualidade, podem ser de grande ajuda para o interprete. Porém, quanto maior, for seu conhecimento e experiência, maiores serão os benefícios obtidos. Na análise final a decisão estará mesmo com o geólogo.

J.N. RINKER  
EXPERIMENTS & EVALUATION OFFICE  
MISSISSIPPI TEST FACILITY  
Curso de Sensores Remotos do  
Programa EROS - NASA - U.S.A.

A fotointerpretação é hoje uma atividade rotineira fundamental em todos os trabalhos de mapeamento geológico, tendo uma participação definitiva na racionalização, na economia e nos resultados técnicos desses trabalhos. Por isso todo o geólogo que se dedica a mapeamento tem que ser basicamente um bom fotointerprete.

A capacidade de fotointerpretar, além do óbvio conhecimento das técnicas de obtenção das imagens, está intimamente subordinada ao conhecimento e à experiência de campo do geólogo, o que torna sem o mínimo sentido a já criticada figura do *fotointerprete de gabinete*. Ainda mais hoje, em que os aspectos geológicos mais gerais, que podem ser detectados facilmente nas imagens aéreas, já são conhecidos em todo o Brasil.

Entretanto, a complexidade das técnicas de sensoriamento remoto enseja hoje a formação de especialistas, que venham prestar uma assessoria de nível mais profundo aos geólogos de mapeamento. Essa assessoria pode ser requerida na parte puramente instrumental (fotogrametria, radargrametria, gamaespectrometria, etc.) ou no treinamento nas técnicas da fotointerpretação.

Embora uma parte possa ser quase completamente desvinculada da outra, não necessitando o especialista na primeira parte de ser experiente no tema em investigação, tem havido uma certa confusão em que o especialista instrumental é considerado como um es-

pecialista em fotointerpretação. Essa confusão, como causadora de alguns fracassos e decepções, tem mantido a fotointerpretação em constante polêmica e alimentado um certo desinteresse por parte de muitos geólogos e demais especialistas em ciências da Terra não habituados ao uso de imagens aéreas.

## 2. ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DA PAISAGEM

Qualquer observação geológica, quer no campo (nos afloramentos, no solo, na paisagem) quer nas imagens aéreas, é feita através da análise do relevo, que é a condicionante mais importante da imagem.

É principalmente através da diversidade macroscópica e microscópica do relevo que o fluxo luminoso que alcança a superfície dos objetos opacos sofre as variações que impressionarão nossa retina.

O próprio efeito cromático, resultante das características eletromagnéticas dos corpos, sofre realces ou até completa atenuação em consequência das variações do relevo.

O nosso cérebro sintetiza em imagens suráveis frações de segundo a informação captada pela retina e os registros da memória para classificar a imagem, numa espécie de raciocínio instantâneo.

A imagem é, assim, instintivamente definida sob as condicionantes indiretas do raciocínio e diretas da fonte radiante, do meio atravessado pelo fluxo e das características da superfície refletora. No caso da nossa visão, a fonte e o meio sofrem pequenas variações para as quais já nos aferimos instintivamente, porém, no caso das imagens de sensores remotos, as quais tornaram-se um instrumento quase rotineiro na Geologia, as fontes e o meio (lentes, filtros, filmes, etc.) podem variar extraordinariamente, o que dificultará o raciocínio intuitivo.

De qualquer forma, sempre poder-se-á tornar constantes o meio e a fonte emissora, concentrando-se todo o problema nas características da superfície, que no presente caso é a topográfica.

Em nosso clima tropical é muito raro encontrar-se grandes áreas de rochas desnudas e, mesmo nas paragens mais áridas, o solo e a vegetação são sempre presentes, por mais tênues ou esparsos que sejam. A íntima inter-relação rocha-solo-vegetação compõe as características da superfície, fazendo com que dificilmente possa se analisar exclusivamente o relevo como produto

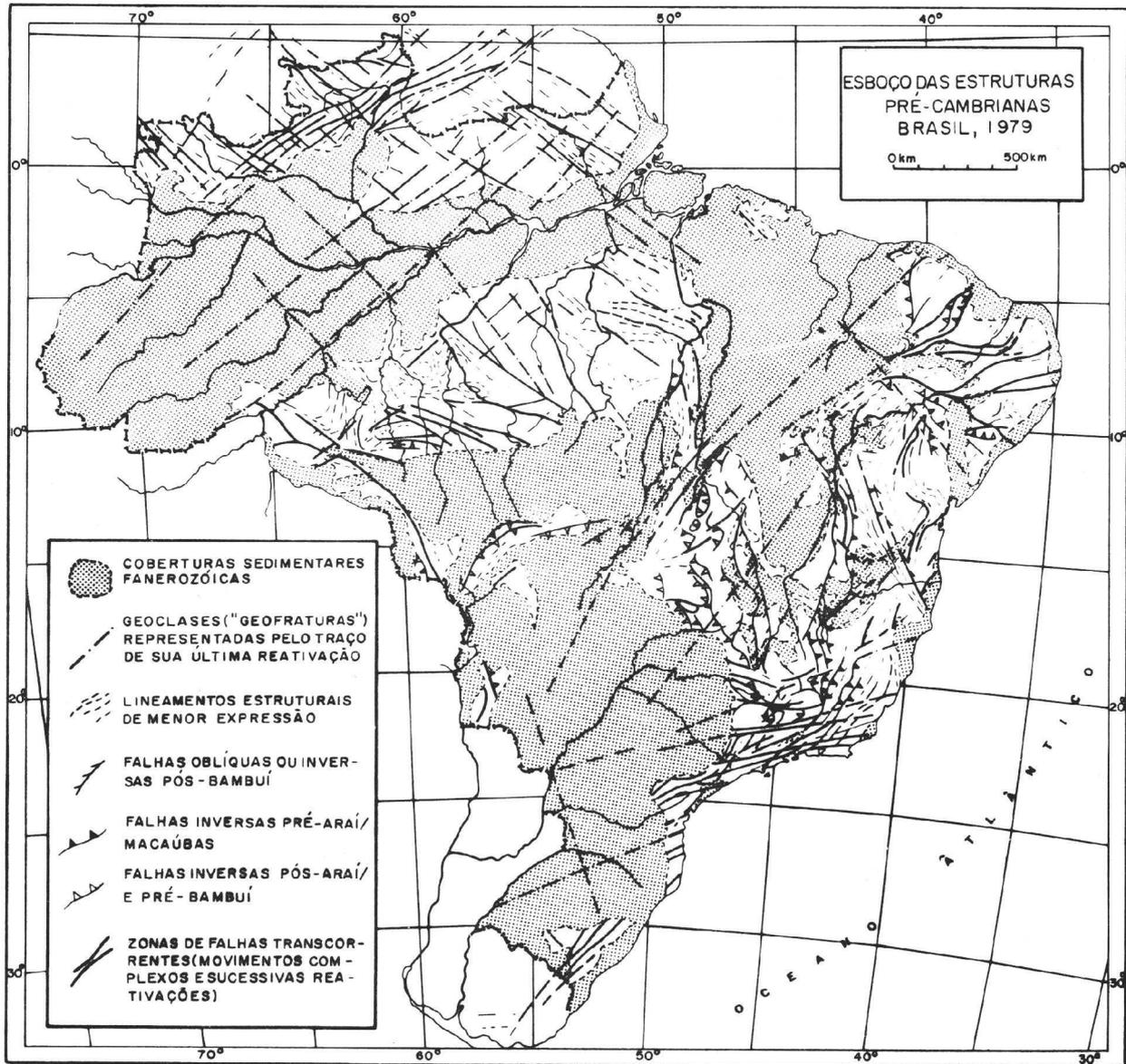


Fig. 1 - Esboço Estrutural do Brasil onde se pode observar o forte condicionamento das estruturas sobre a geomorfologia.

único do desgaste das rochas pelos agentes meteorológicos.

O termo geomorfologia torna-se abrangente se considerarmos, na fisionomia da superfície, também a forma da vegetação e na morfogênese, a sua ação dinâmica. Neste caso o termo perderia sua forma corrente e seria melhor utilizar-se fisiografia, como ultimamente se tem usado, para compreender o estudo descritivo da Geomorfologia, Fitogeografia e Pedologia.

Por força da sua profissão, os geólogos tratam a Fisiografia sempre a relacionando, diretamente à Geologia e, com isso, frequentemente vêm, como evidências litológicas ou estruturais, formas de relevo, solos ou as associações florísticas que têm outras origens. Por esse motivo é necessário conhecer-se bem as particularidades

do desenvolvimento da paisagem, que no Brasil apresenta facetas muito peculiares.

O modelamento do relevo é função de agentes endógenos e exógenos. Os primeiros, estatisticamente, estão representados pela estrutura e variação litológica e, dinamicamente, pelos movimentos tectônicos; agentes esses que são o principal objetivo da Geologia. Os exógenos são os agentes meteorológicos, subordinados às condições climáticas.

Simplisticamente, três principais zonas climáticas abrangem quase todo o território brasileiro, distribuindo-se em faixas de direção nordeste e condicionando notavelmente a Fisiografia: A zona costeira sudeste, ao longo da Serra do Mar, com elevada pluviosidade, condiciona a formação de solos profun-

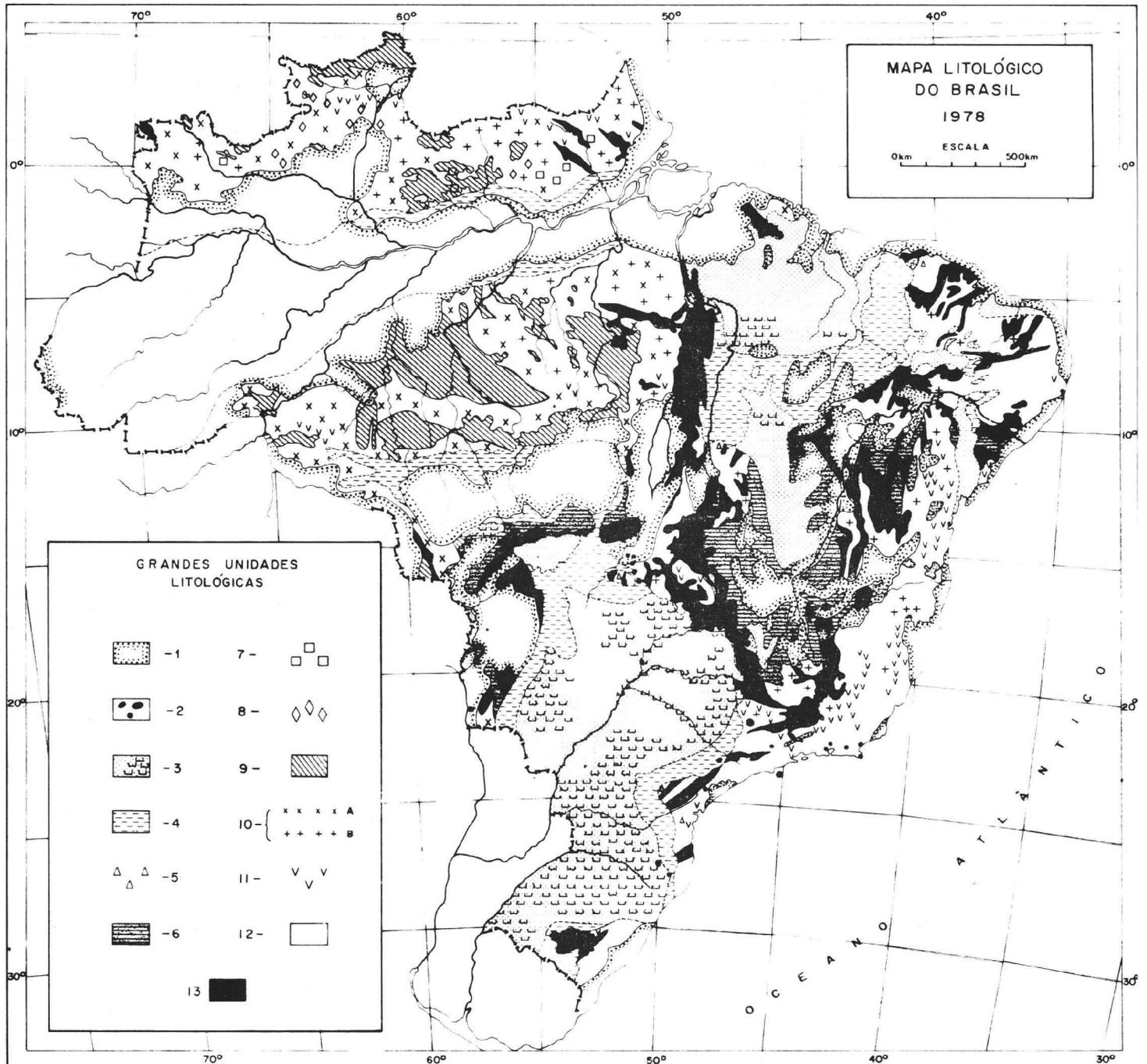


Fig. 2 - Esboço litológico do Brasil: 1 - rochas sedimentares horizontais cenozóicas; 2 - complexos vulcânicos alcalino-ultrabásicos mesozóicos; 3 - rochas sedimentares (pontos) e vulcânicas básicas (semiquadrados) horizontais mesozóicas; 4 - rochas sedimentares horizontais paleozóicas; 5 - rochas vulcânicas ácidas e intermediárias associadas a sedimentos confinados em *rifts*, proterozóico superior; 6 - rochas argilosas e calcárias, raramente areníticas horizontais e subhorizontais e pouco deformadas, proterozóico superior; 7 - complexos vulcânico-plutônicos, ultrabásicos a alcalinos, proterozóico médio a inferior; 8 - granitos antigos; 9 - rochas vulcânicas ácidas e intermediárias associadas a sedimentos arenosos, subhorizontais do proterozóico médio; 10 - rochas graníticas orientadas associadas a migmatitos e plutões graníticos, proterozóico inferior a criptozóico; 11 - associação de granulitos e charnokíticos, proterozóico inferior a criptozóico; 12 - rochas migmatíticas associadas a granitos e pequenos

remanescentes de outras rochas pré-cambrianas; 13 - xistos de diversas naturezas associados a quartzitos e raros calcários, todos muito deformados, proterozóico.

dos (horizontes B e C), topografia a cidentada e cobertura florestal latifoliada perenifólia densa; a zona central ou dos planaltos, com clima seco, com estações secas e chuvosas bem definidas (estação seca muito longa no nordeste, abreviando-se para o sul), condicionando solos pouco profundos, coberturas lateríticas e vegetação de savana ou arborea-arbustiva estacional (caducifólia); a zona amazônica, com alta pluviosidade que cresce em direção a noroeste, onde chega a um clima superúmido sem estação seca, condicionando solos mais profundos, coberturas aluvionares extensas e acentuada dissecação nas áreas montanhosas, vegetação latifoliada perenifólia com gradações para subcaducifólia e ocorrências de campos residuais ou por degenerescência da floresta nas áreas de menor pluviosidade.

Este quadro climático, que tem grande influência na distribuição da vegetação atual e na pedogênese recente, não parece ter tanta importância na constituição mais particular do relevo, que vem sendo moldado desde o Terciário, quando o clima deveria ter outras condicionantes.

Os primeiros geógrafos e naturalistas já haviam observado a notável profundidade da decomposição das rochas no Brasil, como também notaram que os limites das serras, assim apelidadas pelos primeiros exploradores, nada mais eram do que rebordos escarpados ou ravinados de planaltos e planícies, conhecidos como tabuleiros, chapadas e chapadões.

Estas feições, muito comuns na paisagem brasileira, e que testemunham os últimos estágios de aplanamento do continente, associadas àquela profundidade de decomposição, são os fatores fundamentais no modelamento do relevo do Brasil, assim como um tipo de desenvolvimento de perfil de solo - o latossólico - está também intimamente associado à origem desse modelamento.

A ruptura do Continente Gondwana durante o Cretáceo inferior deve ter causado drásticas mudanças do nível de base e direção do escoamento da drenagem brasileira, proporcionando a definição das condicionantes geomorfológicas até hoje atuantes.

O bordo atlântico passou a se erguer quase continuamente, com osci-

lações subordinadas aos alívios tectônicos, nas zonas de falha da plataforma oceânica. Esse soerguimento assimétrico criou uma tendência a manter uma inclinação geral para o ocidente e um arqueamento paralelo à costa leste, onde eventuais rupturas tectônicas formaram ligeiros degraus no sentido oceano. Essas rupturas aproveitaram mormente as antigas estruturas rúpteis das faixas pré-cambrianas, salientando-as na topografia geral. Assim formou-se a serra da Mantiqueira e a serra do Mar pelo desmembramento do bordo do planalto em duas zonas basculadas do litoral para o interior.

Essa situação obriga os cursos dos grandes rios a se desviarem da costa Atlântica, fazendo-os vagar em extensos zigue-zagues, com longos trechos paralelos à costa, ou mesmo, como ocorre nas regiões sul e sudeste, voltar para o interior, mesmo nascendo junto ao litoral.

Com um intervalo de estabilidade pouco mais longo no Neogeno, o cráton ou a plataforma brasileira (no conceito geotectônico) sofreu um acentuado aplanamento.

Da dissecação das planícies soerguidas desse período parecem derivar quase todos os traços da paisagem brasileira.

O efeito violento das enxurradas sazonais sobre as rochas profundamente decompostas é o principal agente aluidor. Embora seu efeito se faça sentir sobre áreas até mesmo florestadas, a erosão se processa como nas regiões de sérticas elevadas, isto é, por pedimentação e pediplanação. Os mais expressivos exemplos desse fenômeno, com imensos leques de dejectão, são encontrados nos arredores do monte Roraima e no sudoeste de Mato Grosso.

Resulta dessa dinâmica uma série de pediplanos semidissecados, desagregados em chapadas e tabuleiros, ou fechados em depressões, por encostas e escarpas circundantes que deixam apenas estreitas aberturas à drenagem.

Essas chapadas, com sua superfície mal drenada, constituem grandes bacias de captação para água subterrânea. Quanto mais elevadas, melhores condições de circulação interna são criadas pelo escoamento no fundo das franjas de dissecação. Por outro lado, a vegetação das chapadas fornece, por um longo tempo, grande suprimento

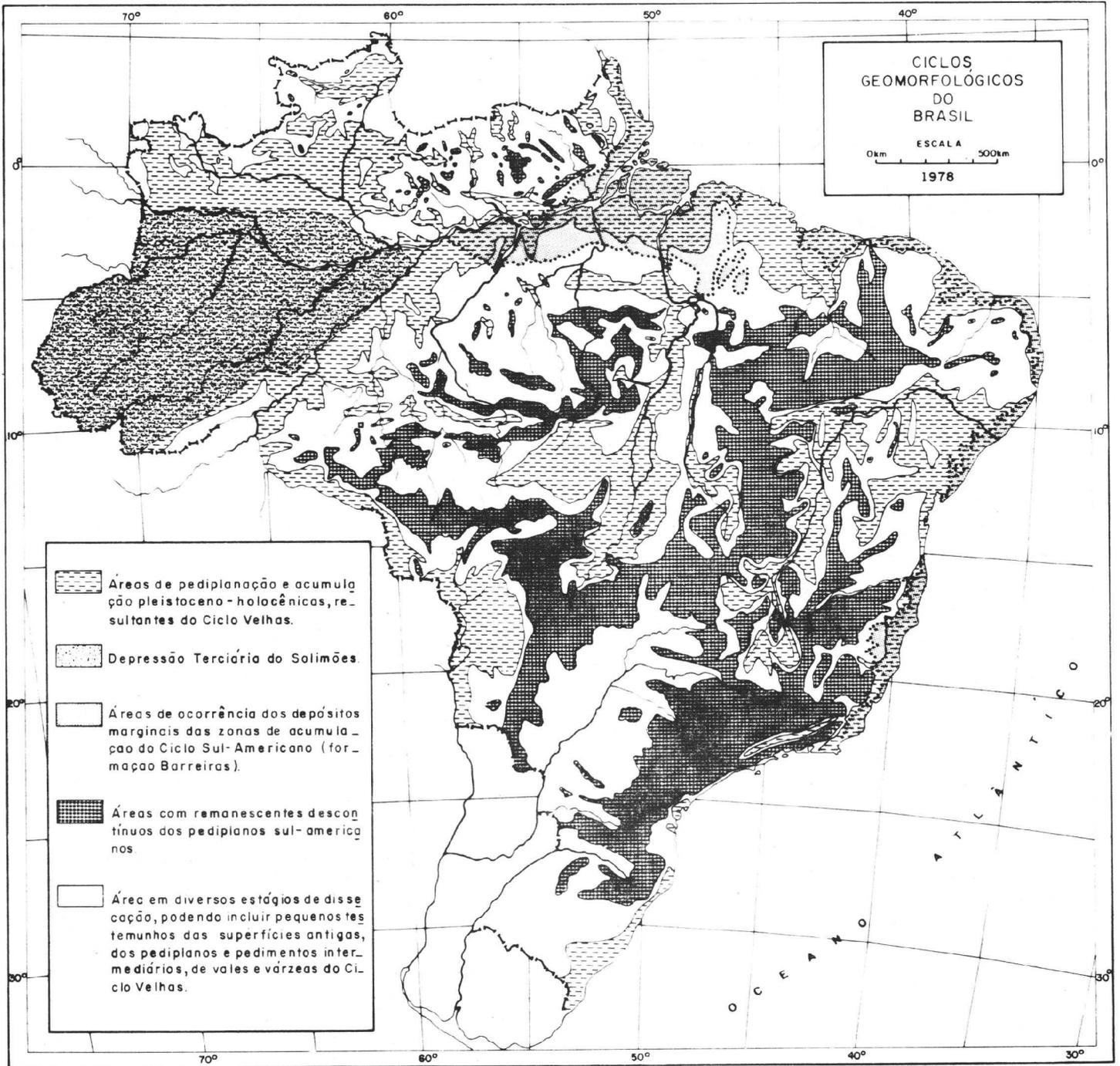


Fig. 3 - Principais evidências dos ciclos ou estágios geomorfológicos do Brasil.

de ácidos úmicos, gás carbônico e nitrogênio, que aumenta o poder de dissolução.

A alteração subsuperficial dá-se irregularmente, condicionada às zonas de maior profundidade e melhores condições químicas de dissolução; por outro lado, se algum fator, como delgada das capas areníticas, permitir boa distribuição horizontal das águas, forma-se uma zona de alteração (horizonte B-C dos perfis latossólicos) muito profunda, mais ou menos paralela à superfície das chapadas.

O entalhe da drenagem durante a

fase de dissecação condiciona-se a essas grandes diferenças de constituição do substrato que se impõem, muitas vezes, às próprias diferenças litológicas originais. Zonas brechadas, normalmente com baixa resistência mecânica, rochas calcíticas e diques de diabásio, com pouca resistência à dissolução, podem vir a formar cristas e serrotes residuais, por terem sido silicificados e ferrificados pelos fenômenos acima descritos. Fenômenos estes que, podem mudar radicalmente a constituição de algumas rochas.

As chapadas originadas dos anti



Fig. 4 - Zoneamento Fisiográfico, correspondente as principais variações climáticas e que determina o grau de eficácia da fotointerpretação geológica no Brasil.

gos pediplanos possuem ainda restos das coberturas detríticas aprisionadas em pequenas depressões, podendo ser vistas eventualmente em cortes de estradas, beira de escarpas ou barrancos de rios.

A espessa capa intemperizada (laterizada) produz um solo pobre, muito ácido e aluminoso, que se torna rapidamente como uma verdadeira capa sedimentar, dando a impressão de continuidade de dos isolados testemunhos detríticos. A concentração de óxido de ferro, sílica ou alumina em bandas horizontais aumenta essa impressão.

Esse fato tem levado os geólogos a identificarem essa morfologia como a de uma verdadeira capa sedimentar, batizando-a frequentemente com nomes estratigráficos ou confundindo-a com verdadeiras formações sedimentares, o que vem causando sérios problemas de mapeamento. Grandes extensões mapeadas, por exemplo, como formação Barreiras, nada mais são do que esse manto laterítico.

De uma forma geral, sobre as rochas pré-cambrianas, a topografia reflete muito bem as estruturas. Nos terrenos mais acidentados o entalhe segue preferencialmente as grandes desconti-

nuidades, como falhas e diáclases; e quanto nos terrenos colinosos e mais arrasados são salientados os elementos menores como a foliação, o bandamento ou a estratificação.

Nas áreas mais secas a vegetação, subordinada fundamentalmente à abundância da umidade, estabelece-se primordialmente sobre os solos que têm mais água e, secundariamente, os que têm mais nutrientes, salientando enormemente as diferenças litológicas. Já nas áreas mais úmidas a vegetação original pouco varia.

A tectônica mesozóica, anterior à grande fase de aplanamento, reflete-se na topografia pela erosão diferencial entre as rochas separadas pelas grandes falhas ou pelas cristas na zona de silicificação das falhas e pelos vales nas zonas brechadas.

No leste do Brasil os remanescentes dos pediplanos parecem alinhar-se em níveis distintos, o que sugere a existência de períodos bem prolongados de aplanamento.

Esses dois níveis resultam dos processos erosivos, respectivamente, do ciclo Sul-Americano e do ciclo Velhas, de King. O ciclo atual, responsável pelas planícies costeiras, seria o Paraguaçu de King. (BRAUN, 1980) (figura 3).

Os principais movimentos tectônicos verticais aliados à separação dos continentes ocorreram durante o Cretáceo, anteriormente ao ciclo Sul-Americano, com a formação das fossas do Tacutu, Tucano, Recôncavo, Almada e Ilhéus e demais depressões falhadas.

Os rejeitos totais nos diversos degraus das principais falhas podem ultrapassar três mil metros. Esses falhamentos existem também nas áreas pré-cambrianas contíguas, colocando lado a lado rochas formadas em diferentes níveis crustais; entretanto, como faltam os sedimentos cretácicos para nível de referência, a semelhança natural entre as rochas metamórficas, principalmente gnáissicas e graníticas, dificilmente permite identificar as falhas e os respectivos rejeitos.

Os movimentos tectônicos mais ténues responsáveis por falhas de curto rejeito e pequenos vales encaixados na costa sudeste e na Mantiqueira e no bordo do planalto se deram no Cenozóico, principalmente no fim do Paleógeno.

A maior ou menor dissecação dos pediplanos antigos, além das varia

ções pluviométricas, é ainda controlada pela distribuição da drenagem.

O grande rio que corta a Bahia é o São Francisco. O seu curso quase retilíneo, desde o Triângulo Mineiro até o sertão de Remanso, é controlado, geograficamente, pela serra do Espinhaço e, estruturalmente, por algumas fraturas de direção nordeste.

A brusca curva para leste, que começa em Remanso, sugere um processo de captura não muito antigo, relacionado talvez a menor resistência das rochas

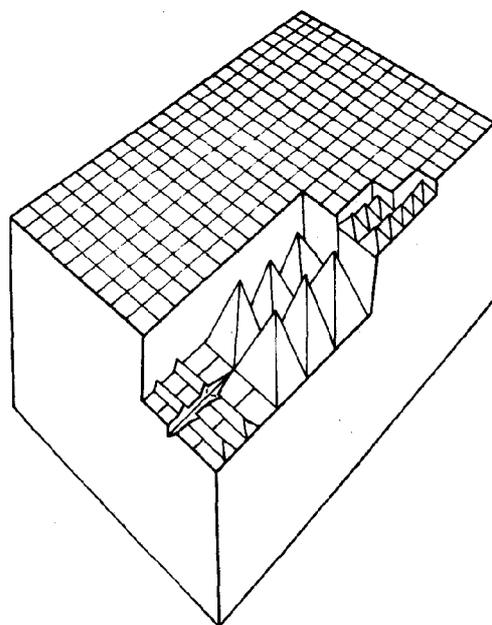


Fig. 5 - Representação esquemática do entalhe do relevo no bordo de uma superfície de erosão soerguida (planalto). Os retículos representam o sistema de fraturas. Compare com a figura 6.

sedimentares da depressão do Tucano-Jatobá e a atenuação das estruturas nordeste, da zona de falhamento Pernambuco-Ceará.

O trecho retilíneo que corre entre Sergipe e Alagoas segue a direção de máxima declividade no sentido do oceano, que é mais ou menos coincidente com um sistema de diáclase de direção noroeste.

Não há nenhum indício de que esse grande rio despejava suas águas no atual estuário, até, pelo menos, o início do Plioceno; entretanto, os depósitos cretácicos da formação Urucua parecem demonstrar a existência muito antiga de um vale em direção norte.

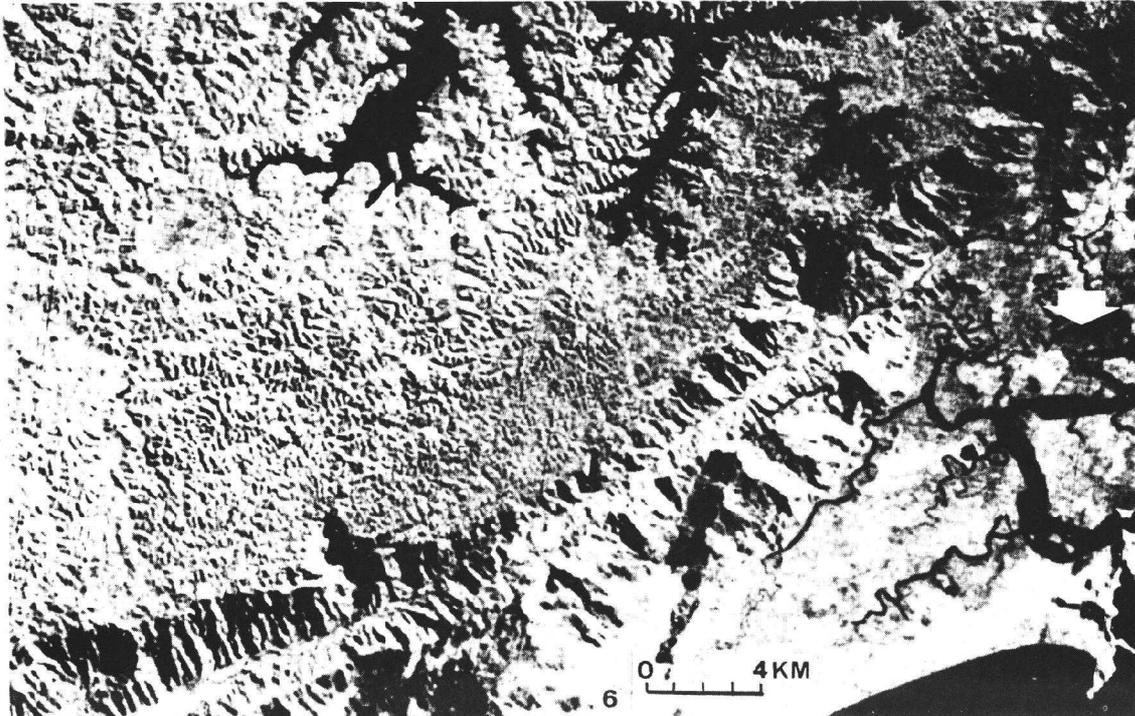


Fig. 6 - Imagem do satélite LANDSAT, Canal 7, ampliação obtida pelo INPE (CNPq). Norte no alto. Sul da cidade de São Paulo, Cubatão assinalada com a seta. Planalto remanescente da superfície de erosão Sul-Americana, sendo suavemente entalhado para norte pela drenagem do rio Tietê e a sudeste pela erosão remanescente da escarpa litorânea. A trama de pequenas colinas do planalto deixa transparecer as fraturas e os lineamentos estruturais da *falha de Cubatão*, enquanto as montanhas da franja de dissecação do planalto denunciam algumas das principais fraturas. No canto noroeste vê-se uma depressão circular, preenchida por sedimentos recentes, que sugere uma cicatriz de impacto (astroblema) ou a presença de uma intrusão vulcânica (compare com a figura 5).

Lineamentos estruturais de grande extensão, traduzidos em alinhamentos de cristas, grandes serras, linha de costa e vales de alguns rios, são resultados de grandes descontinuidades mecânicas da crosta, formando zonas de constantes rupturas.

De uma forma geral, no Brasil, existem dois sistemas de geoclases quase ortogonais, com direções nordeste e noroeste. São sistemas muito antigos que sofreram reativações em quase todos os eventos tectônicos.

O Brasil pode ser dividido em duas províncias estruturais distintas: amazônica e atlântica. Na primeira aquele sistema de geoclases é o dominante, regendo quase todas as estruturas e principais feições geomorfológicas; enquanto na província atlântica há uma complicação pela imposição de outros sistemas que, em alguns casos, parecem ter surgido pela rotação ou entortamento do primeiro. Assim, distingue-se também nessa província

estrutural um sistema es-nordeste ( $\pm$  N75E) (*sistema Paraíba do Sul*), ou nor-noroeste ( $\pm$  N15W) e um sinuoso aproximadamente meridiano (*sistema Espanhço*).

### 3. UM ZONEAMENTO DE RESOLUÇÃO FISIOGRAFICA E ALGUNS PROBLEMAS DE FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

A imagem obtida por um sensor remoto (como o próprio sistema da visão) resulta do registro de gradientes de energia provinda de uma superfície em investigação. No caso dos sensores fotográficos e do radar a energia provinda de um *iluminador* qualquer, é refletida especular ou difusamente pela superfície.

Como dissemos anteriormente, são as irregularidades geométricas ou posicionais dessa superfície que constituem o principal fator da variação dos gradientes de energia refletida. Portanto, o que se analisa na imagem são essas irregularidades, ou seja a



Fig. 7 - Mosaico de imagens de Radar (SLAR) obtidas pelo Projeto RADAM (1972) - Norte no alto. Região das cabeceiras do rio Parima, mostrando diversos estágios da dissecação do planalto noroeste de Roraima. Duas superfícies elevadas são separadas por um degrau montanhoso NNE. Os dois níveis do planalto, o relevo montanhoso no norte e a planície no sul entalham indiferentemente os mesmos tipos de rochas (granitos e migmatitos com ocorrências locais de xistos e gnaisses). A variação do relevo resulta somente das variações dos estágios erosivos e da dinâmica da drenagem.

Fisiografia, e podem ser elas a expressão superficial de variações no substrato. Como essa Fisiografia traduz-se pelas variações do relevo e da vegetação, é preciso que se domine o conhecimento das relações entre esses elementos para saber que variações do

substrato representam.

Mais do que a composição, a organização estrutural, interna e externa, dos corpos de rocha é que maior influência causa no relevo e na vegetação, principalmente pelas conseqüentes vari

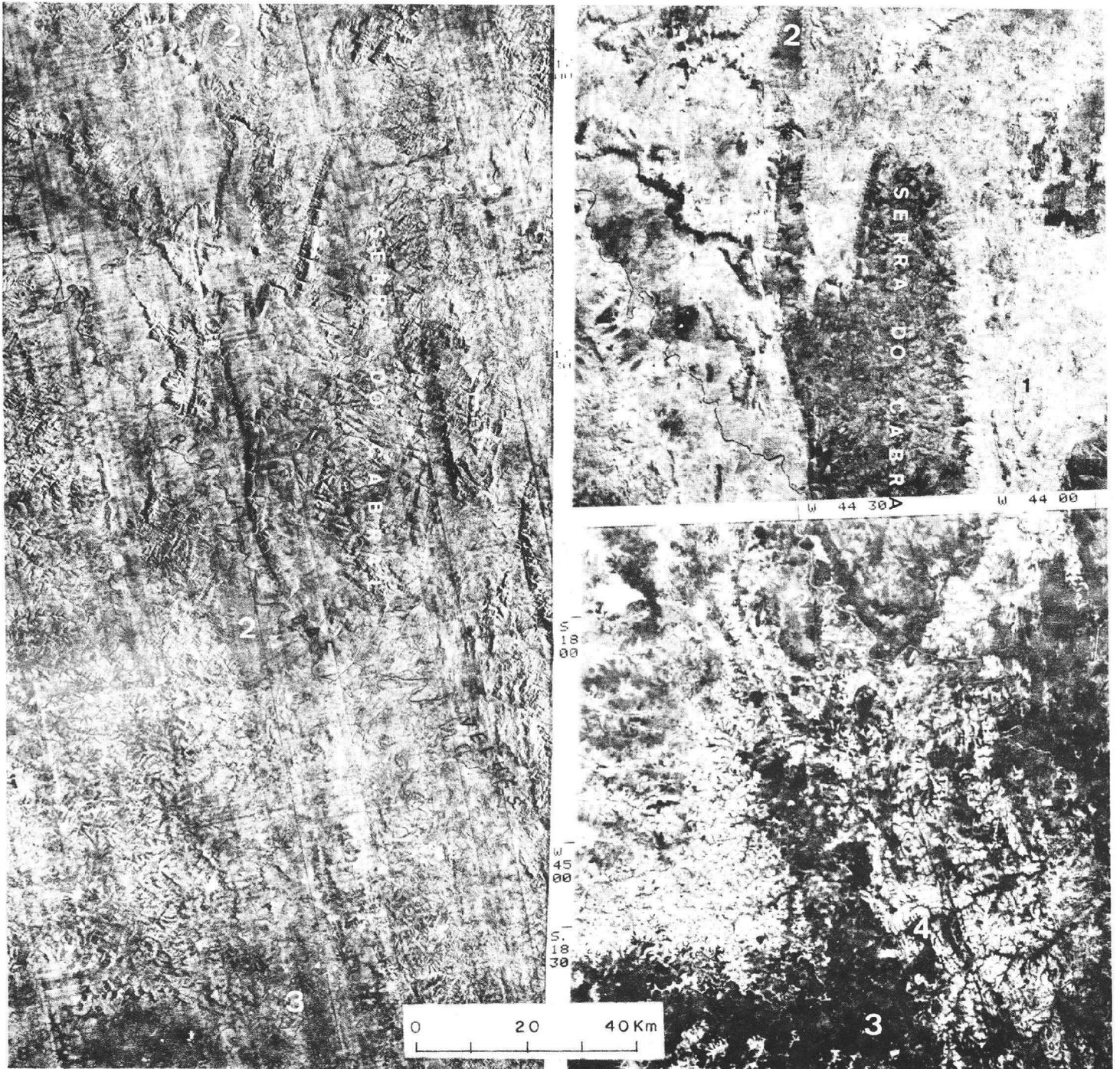


Fig. 8 - Fotograma de radar obtido pelo Projeto RADAM (a esquerda), imagem LANDSAT, canal 7, obtida pela NASA em 16/08/73 (canto superior direito) e imagem LANDSAT, canal 5, obtida pelo INPE (CNPq) em 26/06/77. Serra do Cabral, no Norte de Minas. O Radar não detectou a vegetação, mostrando com grande nitidez somente o relevo. O canal 7 detectou bem o relevo e as grandes variações na vegetação caracterizadas pelas mudanças no conteúdo da umidade das folhas (turgidez). A vegetação úmida reflete mais o infravermelho aparecendo clara, as superfícies sem vegetação também ficam claras e as com vegetação de cerrado (folhas com pouca umidade) ficam cinza-escuro. O canal 5, abrangendo a faixa do alaranjado ao vermelho na qual há maior absorção de luz para a fotossíntese, apresenta todas as variações da vegetação. Observe como a estrutura ovalada do braquianticlinal da serra do Cabral, bem visível nas imagens LANDSAT, não se evidencia na imagem de Radar, sendo impossível delinearla a partir apenas desta imagem. Assinalada

com 1 vê-se uma serra, entre a serra do Cabral e a serra Mineira cujo relevo (imagem de Radar) é o mesmo das duas serras constituídas de quartzitos; porém a vegetação evidenciada na imagem LANDSAT mostra claramente sua diferente composição (siltitos, delgadas camadas areníticas e calcários). Somente pelo relevo não seria possível essa distinção entre duas unidades geológicas de composição e história completamente diversa. Em 2 estão assinaladas áreas aplanadas sobre rochas quartzíticas (grupo Espinhaço) em contato com siltitos e calcários (grupo Bambuí). Na imagem de Radar não é possível a distinção das duas unidades, porém na imagem LANDSAT, a área mais escura delinea a ocorrência dos quartzitos. Em 3 observa-se que a notável variação da vegetação (imagem LANDSAT, canal 5) correspondentes às variações litológicas importantes (camadas de siltitos, margas e calcários) não é mostrada na imagem de Radar, onde apenas tênues e irregulares variações do relevo denunciam incompletamente a existência de possíveis variações de composição. Em 4 (imagem LANDSAT) vê-se como a vegetação baliza os lineamentos estruturais da zona de cisalhamento que deforma as camadas Bambuí e que não são perceptíveis, através o relevo mostrado na imagem de Radar.

ações de resistência a erosão e de capacidade de retenção da água. A variação na composição influencia diretamente a resistência à erosão e indiretamente (através do solo) às variações na vegetação; porém essas variações são subordinadas diretamente à carga pluviométrica. Quanto mais pluviosa for a região, maior deverá ser o contraste de composição para influenciar a Fisiografia. Calcárias, arenitos e rochas básicas, que normalmente são bem diferenciados fisiograficamente, podem não ser distinguíveis pela expressão superficial em regiões de abundantes chuvas.

Por isso é que essa expressão fisiográfica dos componentes do substrato varia diretamente com o zoneamento climático (figura 4).

Por outro lado, a própria situação topográfica, como o estágio de desenvolvimento do relevo em razão das características regionais das drenagens, tem uma influência secundária na expressão fisiográfica.

O entalhamento do relevo sofre distintas influências durante sua evolução. No caso da destruição dos planaltos, por exemplo, (figura 5 e aerofotos 6 e 7) no estágio inicial formam-se pequenas colinas (montes piramidais de menores bases) que sofrem influência das menores estruturas e salientam as variações composicionais das rochas; no estágio intermediário de mais profunda dissecação, forma-se uma topografia montanhosa com vales profundos (altas montanhas piramidais com bases maiores) que salienta apenas as grandes estruturas e quase não

reflete as variações composicionais; já no estágio de aplanamento as estruturas são salientadas por longos vales e cristas residuais, enquanto nos interflúvios aplanados as estruturas menores e as variações de composição refletem mais na vegetação (quando o clima não é muito pluvioso). Dessa forma, a topografia apresenta distintos padrões sobre as mesmas unidades geológicas, ou os mesmos padrões sobre distintas unidades (aerofoto da figura 8).

Essa particularidade que ocorre em todo o Brasil, principalmente na região Amazônica e na faixa costeira sudeste, é um sério obstáculo ao uso de fotografias sem estereoscopia e com baixa resolução topográfica e fitofisionômica (Radar e LANDSAT canal 7).

A vegetação também pode variar independentemente da constituição do substrato, como é o caso dos campos de São Marcos, no Território de Roraima, em que o limite campo-floresta ultrapassa todas as unidades litológicas e estruturais até as encostas mais elevadas do Monte Roraima. Naquela região as ocorrências mais elevadas de arenitos da formação Roraima, principalmente quando decompostos e silicificados, condicionam a ocorrência de vegetação rasteira e arbustiva; porém essa mesma vegetação aparece sobre o planalto ocidental do Território de Roraima em terrenos granítico-migmatíticos. A degradação da Floresta por derrubadas e queimadas ou pela ocorrência de períodos secos prolongados associados a ventos, pode ocorrer sobre solos pobres ou litossolos nos platôs lateríticos ou areníticos. O desaparecimento da ma

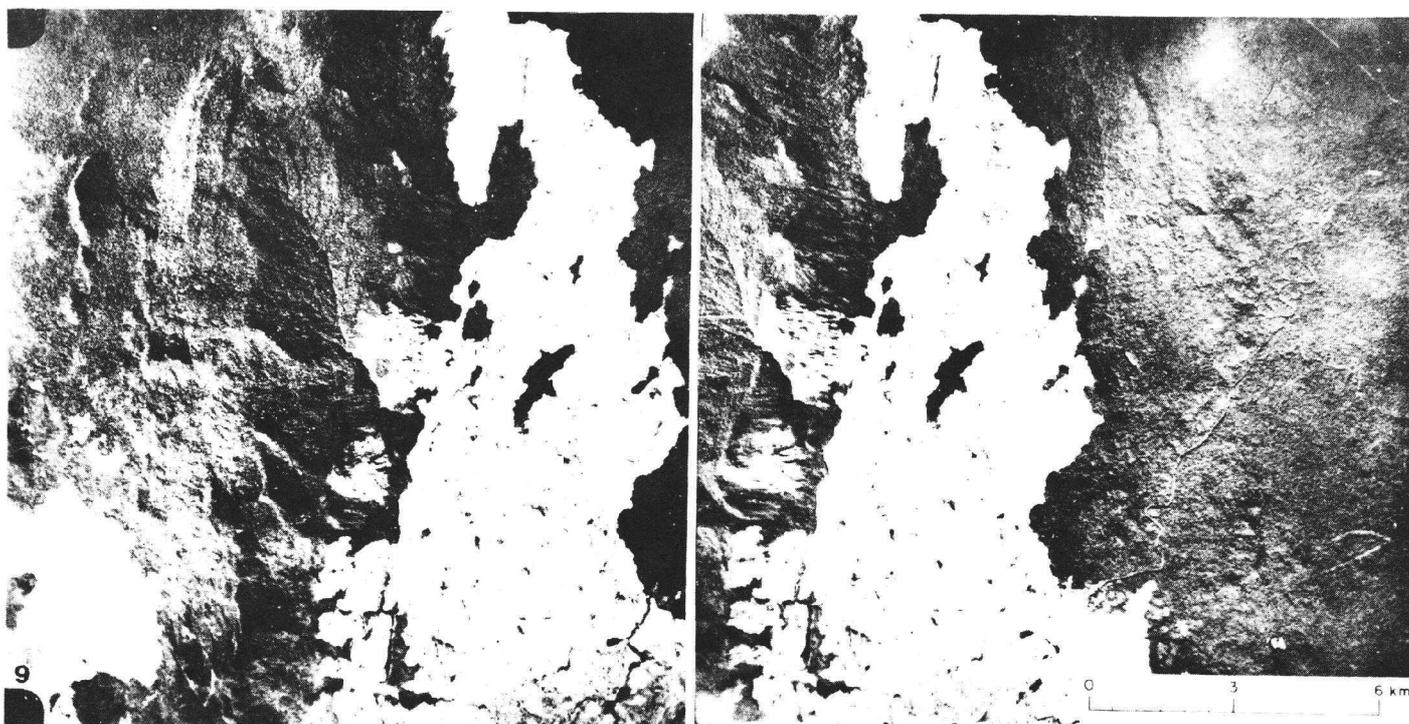


Fig. 9 - Par estereoscópico, com fotografias aéreas pancromáticas, obtidas pela PROSPEC para o DNPM, em 1972, no Território de Roraima. Rochas vulcânicas e granito-gnâissicas com campos (campos de São Marcos) e floresta. Observe que o limite campo/floresta transgride o relevo e as variações litológicas. As mesmas rochas estão cobertas indiferentemente pelos dois tipos de vegetação.

ta permite a remoção da tênue capa de solo, não permitindo a recuperação da mata. Esta parece ser a origem das clareiras da serra dos Carajás, cujo limite com a mata também transgride a área de ocorrência das formações ferríferas.

Dessa forma vê-se que a análise do fotointérprete deve ser fundamentada em um conhecimento seguro da relação entre as rochas e os correspondentes aspectos fisiográficos, pois estes são extremamente variáveis em cada área considerada.

A fotointerpretação deve ser feita lendo-se na imagem aérea a mensagem fisiográfica que é composta intimamente de variados aspectos do relevo e da vegetação. São estes aspectos que devem ser analisados e interpretados e não os aspectos secundários dos fotogramas traduzidos por tonalidade e textura.

Da mesma forma, análises de padrões de drenagem são ótimos exercícios para o aprendizado de fotointerpretação, porém não devem ser utilizados nos trabalhos sistemáticos independentemente das demais observações.

A visão sintética, com utilização de todos os elementos fisiográficos,

é muito mais eficiente devido a essa multivariância da expressão superficial das rochas. Como as unidades geológicas mudam de expressão superficial em pequenas distâncias, é óbvio que igualmente mudam suas características de refletor e conseqüentemente o nível de refletância detectado pelos sensores. Com isso, torna-se claro que pretender detectar padrões próprios a determinadas unidades geológicas para com eles aplicar métodos estatísticos de refletância torna-se impraticável ou pelo menos improfícuo; uma vez que se acaso, em alguma parte, esse padrão existir ele será prontamente identificável visualmente, dispensando-se qualquer método instrumental mais dispendioso.

É claro que quando se visa exatamente mapear as unidades geomorfológicas ou fitogeográficas, ocorre o inverso, pois elas têm sua expressão quase sempre constante. Por isso os métodos estatísticos da análise de imagens de sensores dão bons resultados nesse caso, ou quando as unidades geológicas confundem-se com unidades geomorfológicas, como é o caso das aluviões ou chapadas areníticas.

No atual nível de conhecimento geológico no Brasil, para qualquer mapeamento

mento geológico é imprescindível o uso de aerofotos com recobrimento estereoscópico, mesmo que a resolução fisiográfica for muito baixa.

O mapa da figura 3 (ciclos Geomorfológicos do Brasil) mostra nitidamente que as antigas superfícies de erosão possuíam direções de drenagem diferentes das atuais. As superfícies sul-americanas, por exemplo, inclinavam-se para noroeste, no sentido da depressão terciária do Solimões. Rios como o Uraricoera, Tacutu, Branco, Gi-paraná, Iriri, Xingu, Tapajós, etc. mostram bruscas inflexões nos seus cursos médios, denunciando capturas de uma drenagem que corria para oeste. Essa mudança brusca no sistema de drenagem, produziu uma variação profunda no relevo e nas unidades pedológicas e criou uma grande diversidade geomorfológica. Esta diversidade que é uma das principais causas da multi-variância dos aspectos fisiográficos sobre mesmas unidades geológicas, reduz a expressão superficial destas e, conseqüentemente, a significância dos pontos de verificações nos terrenos.

#### 4. CONCLUSÕES

As expressões fisiográficas de uma unidade geológica e a constância destas expressões, é fundamental em mapeamento, pois determina a significância de um ponto de verificação no terreno, isto é, até que limites poderá ser considerada a unidade representada pelo ponto verificado.

Como essas expressões diminuem na ordem das zonas assinaladas na figura 4, a significância dos pontos de verificação também diminui na mesma ordem, o que implica em se saber que a densidade de pontos de verificação terá que ser aumentada proporcionalmente para se poder mapear as unidades geológicas.

Demonstra isto que os mapeamentos na Amazônia e na região costeira sudeste (figura 4) necessitarão de uma densidade de trabalhos de campo muito maior do que no planalto Central e, portanto, serão muito mais dispendiosos. Da mesma maneira saber-se-á de antemão que unidades geológicas delineadas naquelas regiões com densidade baixa de pontos, terão também baixa confiabilidade. Por outro lado, o conhecimento de campo e da fisiografia deverá ser maior para o geólogo que trabalhar nas zonas 3, 4 e 5 (figura 4).

Saber-se-á também, que as imagens a serem obtidas deverão ser as melhores e mais nítidas possíveis, as

sim como aquelas que se mostrarem mais sensíveis as pequenas variações na vegetação e no relevo menor.

Antes de se partir para uma análise estatística, trabalhosa e onerosa, deve-se ter a certeza que ela irá acrescentar importantes informações à análise visual e que não levará o pesquisador a comprovar o óbvio ou o absurdo.

A análise exclusiva da drenagem só deverá ser tentada, quando se tiver certeza do controle estrutural desta e da ausência do mesmo controle na vegetação.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAUN, O.P.G. Contribuição a Geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*, 32(3): 3-39, 1980.
- BRAUN, O.P.G.; RAMALHO, R. Geomorfologia da Bahia. *Revista Brasileira de Geografia*, 42(4): 822-859, 1980.
- KING, L.C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2):147-265, 1956.
- RINKER, J.N. The Experience Factor. *A Training Program in Aircraft and Spacecraft Remote Sensing for Scientists and Resource Managers of the U.S. Department of Interior*, EROS DATA CENTER U.S.A. (brochura): 1-480, 1971.