

A EXPERIÊNCIA DA CPRM NO CAMPO DE SENSORES REMOTOS

O.P.G. Braun, A.L. Bertoldo, S.O.C. Loguercio e R. Ramalho
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Departamento de Geologia - DEGEO
Av. Pasteur, 404 - Urca - 22292 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

RESUMO

Objetiva-se estabelecer um paralelo entre os sistemas de sensores remotos disponíveis no país, e aferir-se sua aplicação em estudos geológicos e geomorfológicos, baseando-se na maciça aquisição de informações de campo das mais variadas províncias fisiográficas brasileiras, coletadas desde 1970 pela CPRM. A aerofoto pancromática em preto e branco revela-se o sensor de uso mais abrangente e versátil, sendo até o momento insubstituível em levantamentos de recursos naturais. Os radargramas e imagens LANDSAT prestam-se essencialmente a levantamentos regionais, com vantagens para o LANDSAT por melhor discriminar os tipos litológicos, salvo em áreas tropicais permanentemente nubladas, onde o SLAR mostra-se mais eficaz. Embora tendo sido obtidas em áreas restritas, e talvez não ideais, as aerofotos coloridas e as em infravermelho falsa cor parecem não acrescentar definitivas vantagens aos elementos extraídos da combinação aerofoto convencional-radar-LANDSAT. As infravermelho preto e branco que vêm sendo tomadas na Amazônia, vêm mostrando resolução e nitidez bem inferior às pancromáticas. Os equipamentos auxiliares na interpretação-fotocompositor (*Additive color viewer*) e analisador de densidades e de realce de bordo (*datacolor system*) evidenciam que a interpretação automática não gera artifícios que permitam obter (ver) o que o sensor, dentro dos limites físicos do sistema e no momento da detecção, não registrou. A discussão centra-se na análise de exemplos ilustrativos.

ABSTRACT

To set a comparison among all types of remote sensing imagery available in Brazil and to diagnose about the its usage in geologic and geomorphologic studies is the aim of this article. A great amount of data collected by CPRM geologists (1970-1981) in the most diverse physiographic provinces of Brazil was used to support this comparison. The pancromatic black-and-white airphotos are undoubtedly the most embraceable and versatile remote sensing imagery available in Brazil. The SLAR and LANDSAT images (or photograms) are usefull only in regional surveying, but better is LANDSAT wich discriminate the changing in vegetation aspect (phytophysiognomy) that correspond to changing in litologic composition, except in permanent hazed tropical areas where the SLAR is most proficient. Though it was taked in restricted and perhaps not ideal area, color and IR false-color airphotos seems do not add any advantage for geologic interpretation on conventional airphotos/LANDSAT combination. The black-and-white IR airphotos wich are been obtained in Amazonic region, in despite of good penetration through haze cover, present lower resolution than the conventional airphotos. The use of auxiliary equipment as additive color viewer and density slicer (*datacolor system*) help the interpretation, enhancing some geomorphologic messages but cannot add any detail wich was not registered by the sensing device in the moment of detection. The multivariant geomorphological aspect along the same geological unit dissuade any attempt in the use of *automatic geological mapping*. The paper deal with some comparative examples of a few type of images.

INTRODUÇÃO

A fotointerpretação como atividade essencial dos mapeamentos geológicos no Brasil, já havia se firmado a partir das experiências pioneiras da PROSPEC (1953-1968), passando a se tornar rotineira em muitos trabalhos do DNPM, SUDENE, CNEN, Carta Geológica do Paraná, PETROBRÁS, etc., e em estudos isolados levados a efeito pelas universidades, sem contudo, atingir a difusão irrompida na década atual.

De modo similar, o sensoriamento remoto - avanço consequente da pesquisa que vinha sendo conduzida com fotografias convencionais - ganhou forte alento pelo desenvolvimento da indústria aeroespacial e bélica e cresceu não só nos países industrializados como também naqueles em desenvolvimento.

Dentro da atual concepção, o precursor do sensoriamento remoto no Brasil foi o Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, órgão do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, que começou a desenvolver e disseminar as utilizações de sensores no país.

No âmbito da CPRM, os sensores ganharam maior consistência quando do início do Projeto RADAM, em meados de 1971, e que acabou por motivar os dirigentes da empresa a constituir um grupo de técnicos para familiarizar-se com a nova técnica.

Baseando-se em estudos experimentais efetuados principalmente pela Universidade de Kansas, sob os auspícios da National Aeronautics Space Administration (NASA) e da cobertura total do Panamá em 1968, foi introduzido o imageamento por radar em nosso país com a criação do Projeto RADAM. Na Amazônia, onde as condições climáticas são adversas a aerolevantamentos convencionais e, portanto, carente de informações geológicas e bases cartográficas, viu-se o DNPM atraído pela perspectiva de mapear essa imensa porção do país, mercê da capacidade inerente às ondas eletromagnéticas do sistema radar que têm a propriedade de transpassar a cobertura de nuvens. Os resultados são do conhecimento geral. Hoje, a cobertura de radar é completa no país, em virtude da extensão do projeto (RADAMBRASIL) para o restante do país.

Embora a CPRM tenha cedido temporariamente técnicos do DEGEO para o Projeto RADAM no início de 1972, a idéia de criar um grupo especializado

dentro da empresa só se concretizou realmente a partir do final de 1972. Desse modo, enviou geólogos ao exterior que realizaram inicialmente curso de fotointerpretação e sensoriamento remoto na Zona do Canal do Panamá, patrocinado pelo Inter American Geodetic Survey (IAGS) e U.S. Geological Survey, sob os auspícios do Convênio MME/USAID. Ainda sob o mesmo patrocínio foram treinados sucessivamente 15 geólogos em cursos no EROS DATA CENTER (South Dakota), no USGS em Denver, Colorado, em Flagstaff, Arizona e no Centro Panamericano de Fotointerpretação, na Colômbia.

Constituiu-se consenso entre os técnicos do setor, o fato de que as técnicas mais sofisticadas de tratamento estatístico das imagens de sensores remotos aplicadas à pesquisa mineral - como método direto de pesquisa - encontra-se ainda em fase experimental. A maioria dos pesquisadores que procuram utilizar tecnologicamente esses métodos na rotina da pesquisa mineral são unânimes em reconhecer a limitação dos sensores, embora naturalmente admitam sua futura potencialidade e opinam que a aerofoto convencional é ainda um instrumento insubstituível em levantamentos geológicos.

Diante desta constatação - até hoje válida - procurou-se realizar experiências com os equipamentos adquiridos, familiarizando os participantes com os mesmos. Muitas das experiências foram efetuadas em cooperação com o USGS. Por outro lado, procurou-se difundir, mediante palestras, cursos, etc. a aplicação dos sensores e suas limitações.

No âmbito da CPRM, obteve-se mais sucesso com a incorporação de imagens de satélite e radar, além das fotos aéreas convencionais, é claro, como material comumente utilizado em fotointerpretação, particularmente nos projetos de geologia básica. Ultimamente, o quadro técnico envolvido na seleção de áreas vem utilizando com frequência estas imagens.

SENSOR REMOTO. CONCEITO BÁSICO

Sensor remoto é entendido como o método de investigação de propriedades de objetos, ou fenômenos, por instrumentos registradores que com aqueles não entram em íntimo contato, compreendendo tanto o equipamento como os produtos finais em fotogramas (imagens indiretas ou fotografias). O presente caso refere-se especificamente às investigações de propriedades eletromagnéticas no intervalo do espectro visível às on

das de radar. Ressalte-se que o fotograma ou a imagem obtida com sensor remoto, como o próprio sistema da visão, resulta do registro de gradientes da energia provinda da superfície em investigação, quer de fontes naturais, quer de fontes artificiais.

LIMITES DE UTILIZAÇÃO

Cada fotograma, imagem ou registro de sensor guarda consigo os limites físicos do sistema e do momento da detecção, que constituem seus limites de utilização, definidos principalmente pela resolução e a escala.

A resolução da imagem ou do registro de qualquer sensor, ou seja, o limite das dimensões dos objetos que ele consegue discriminar é função de diversos fatores, entre os quais citam-se: (1) comprimento de onda; (2) grau de sensibilidade do detector; (3) intensidade de energia detectada; (4) organização e densidade dos pontos de detecção, receptores ou unidades sensoriais (bastonetes e cones da retina, granulação do filme, densidade dos dígitos e linhas, etc.); (5) organização e densidade dos pontos ou superfícies emissoras ou refletoras (difusoras). Fatores eventuais poderão alterar a resolução e a nitidez, tais como: reverberação, bruscas e elevadas variações de refletância, polarização e depolarização, transmitibilidade do meio, etc.

O limite de nitidez, isto é, o limite de coesão dos pontos ou linhas em que a vista humana não os consegue discriminar, vendo uma imagem contínua, associado à resolução, é a determinante do limite da escala. Tais limites são constantes para cada tipo de sensor no momento de detecção. Isto equivale a dizer que não existe artifício que permita obter (ver) o que o sensor não registrou.

Desta forma, o tratamento técnico proporcionado pelos equipamentos de análise de registros de sensores remotos objetivam o melhor aproveitamento dentro dos limites das especificações de cada registro. Sabendo-se que cada tipo de sensor procura investigar campos específicos de propriedades eletromagnéticas, produzindo fotografias também específicas.

OS SENSORES DISPONÍVEIS NO BRASIL

A Aerofoto Convencional

As aerofotos convencionais ou pancromáticas preto e branco são, de longa data, utilizadas nos mais diversos campos de atividade humana tais

como: geologia, geotécnica, pedologia, hidrologia, engenharia florestal, agricultura, urbanismo, geografia, cartografia, arqueologia, etc.

Constitui uma ferramenta insubstituível e versátil na pesquisa de recursos naturais. Alguns fatores fundamentais explicam a ímpar utilização das fotografias aéreas convencionais: a) são os sensores que apresentam a mais elevada resolução e a maior amplitude de registro de detalhes no terreno; b) as técnicas de interpretação já estão rotineira e definitivamente incorporadas às diversas atividades ligadas às ações humanas; c) possuem os mais baixos custos de processamento, comparando-se com os fotografias produzidos por outros sensores; d) uma área de extensão considerável é registrada em cada fotografia (na escala 1:60.000, cada foto cobre uma superfície de cerca de 190 km²); e) o inter-recobrimento longitudinal entre cada foto (cerca de 60%) permite visualizar-se tridimensionalmente a cena (superfície da terra e os objetos sobre ela); f) as aerofotos têm caráter permanente e representam um registro fiel da área observada, permitindo um acompanhamento histórico e comparativo de determinados fenômenos, especialmente os resultantes de ações antrópicas.

São usualmente obtidas em filmes pancromáticos preto e branco, com uso de filtro que barra as radiações mais curtas que o azul, mas deixa alcançar comprimentos de onda ligeiramente acima do vermelho.

A resolução absoluta das aerofotos é função da granulação da emulsão fotossensível do filme e da altitude em que foi tomada (escala). Em geral, as aerofotos em escala de 1:60.000 (nos filmes originais) discriminam objetos de até 3 metros de diâmetro, dependendo das demais condições de iluminação e refletância. Nas reproduções a partir de cópias em papel, a resolução cai sensivelmente.

Existem as mais variadas escalas (mais comuns: 1:108.000, 1:70.000, 1:60.000, 1:45.000, 1:25.000) de reconhecimento aéreo no Brasil, que cobrem mais do que 80% do território nacional, sendo que na escala 1:60.000 (FAB/USAF) tem-se 2/3 do país recoberto.

O Radar

Trata-se de um sensor ativo, isto é, possui fonte emissora e receptora da radiação eletromagnética.

As imagens originais de radar

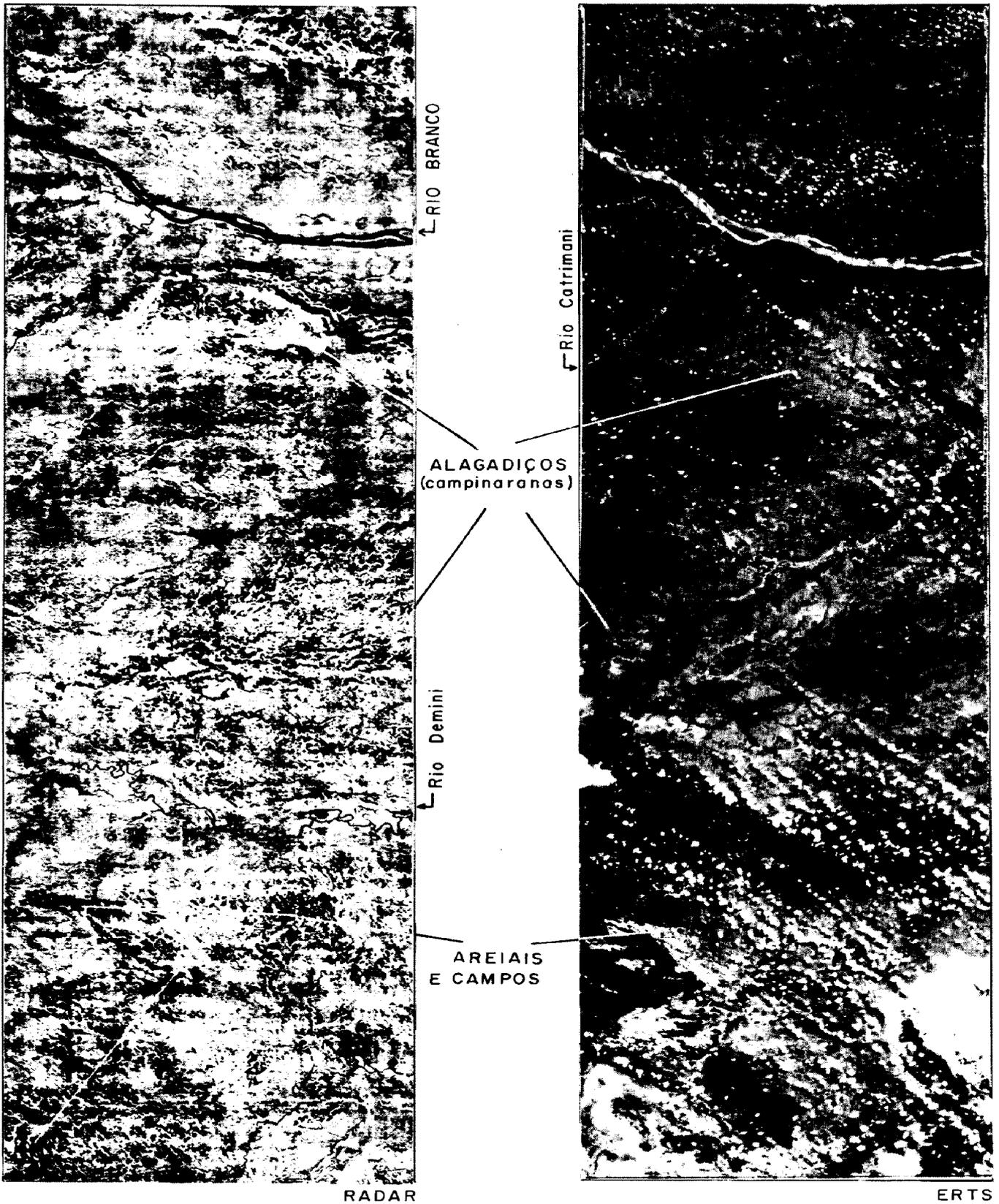
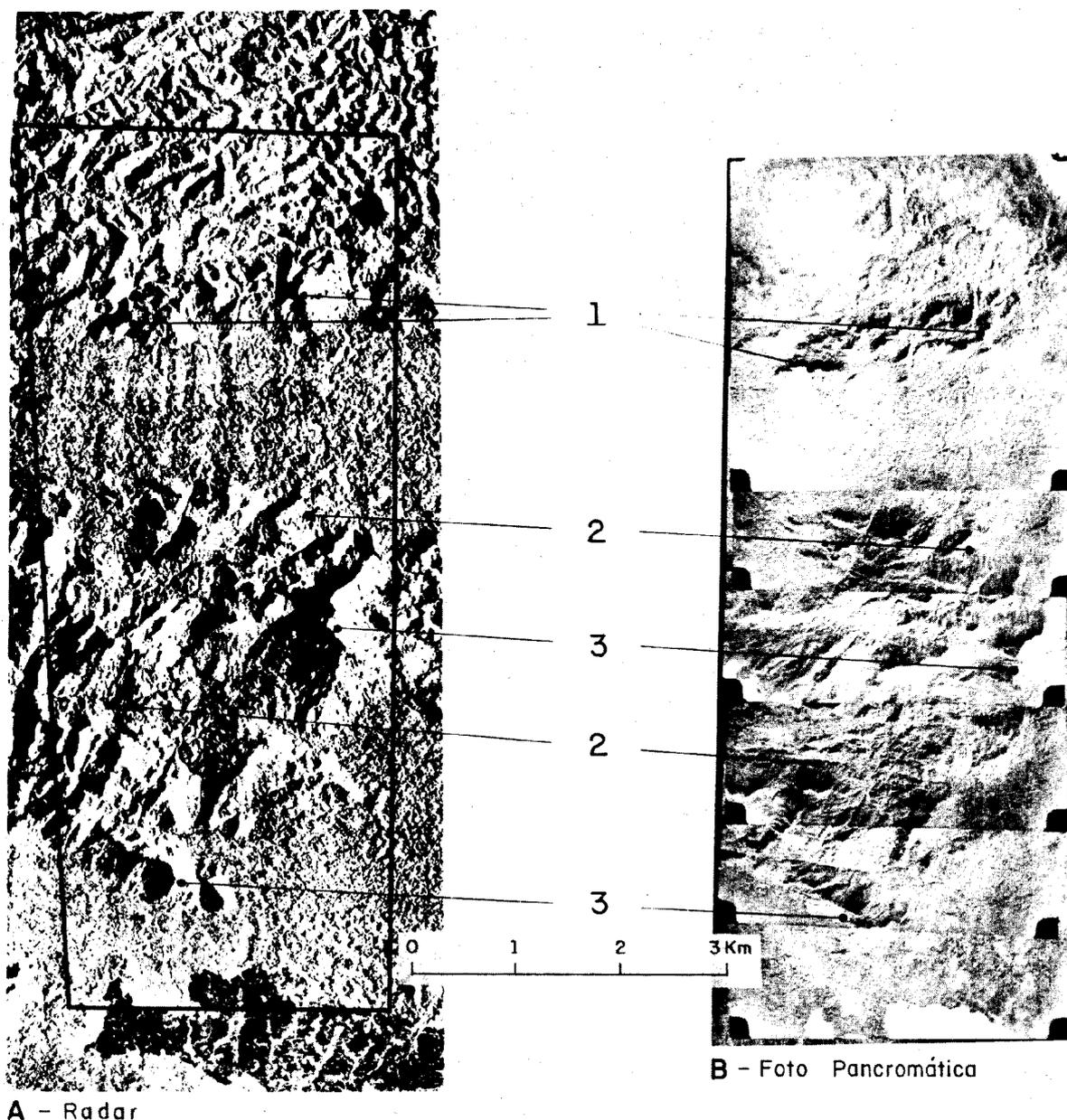


Fig. 1 - Médio Rio Branco; planície aluvial pleistoceno-holocênica. A imagem LANDSAT (NASA), canal 5, registra a reflexão das radiações 0.6 à 0.7 μ (alaranjado e vermelho); a vegetação na zona de absorção para fotosíntese, aparece escura. Na imagem de RADAR, a superfície líquida, os bancos de areia e as áreas planas limpas ou com vegetação rasteira aparecem negras devida à baixa difusão e alta reflexão (efeito especular). As áreas úmidas com vegetação hidrófila (campinarana e igapós) aparecem cinza na imagem ERTS e branco no RADAR devido ao efeito dielétrico (aspecto de negativo fotográfico).



A - Radar

B - Foto Pancromática

Fig. 2 - Alto rio Acari, a norte do Tepequém (Projeto Roraima - CPRM - DEGEO - O.P.G. Braun, 1973). Comparação entre as imagens de radar e as aerofotos pancromáticas preto e branco, mostrando as principais distorções na geometria do relevo. As superfícies estruturais (acamadamento dos derrames vulcânicos) mergulham para norte, sendo bem evidenciadas nas fotos pancromáticas. A imagem de radar salienta uma estruturação secundária de direção NE (fraturamento) e oblitera as principais superfícies devido ao imageamento (iluminação e detecção) ser feito de Leste para Oeste.

(Projeto RADAMBRASIL, sistema Goodyear) são produzidas na escala de 1:400.000, na qual apresentam a coerência ideal. Seu limite de resolução, em áreas planas e sob condições atmosféricas favoráveis, permite discriminar objetos com elevado gradiente de refletância, da ordem de até 80 metros, embora tecnicamente pela abertura de antena e pela equação de Rayleigh para difusão, fosse previsível uma maior discriminação.

Devido ao longo comprimento de onda de 3,12 cm, a geometria do terreno (relevo e rugosidade) torna-se o principal fator na difusão e consequente captação da energia do radar. A constante dielétrica do terreno constitui fator ancilar, mas pode ter influência local esporadicamente (renques de palmeiras, vegetação hidrófila, etc.). Como a fonte emissora é monocromática e polarizada, são perdidos alguns detalhes e algumas das propriedades super

ficiais. Por isso possuem as imagens de radar a simplicidade de um diagrama, de fácil leitura, mostrando as feições mais evidentes do relevo à semelhança de uma cópia de alto contraste de uma aerofoto tomada com baixo ângulo de iluminação. Em certas áreas apresentam-se como negativos, isto é, os detalhes que aparecem escuros nas aerofotos convencionais, nos radargramas mostram-se claros (florestas); enquanto os normalmente claros apresentam-se escuros (areais e descampados). A diferença do ângulo de visada (paralaxe) entre duas faixas contíguas, na estreita zona de superposição, produz um efeito estereoscópico, assimétrico e irregular, não trazendo vantagens à imagem plana. A vegetação só é denunciada nas áreas mais planas e pelas características da superfície das associações florísticas. Fig. 1 à 5.

Nossa experiência tem demonstrado que os radargramas servem como elemento auxiliar para delinear feições estruturais de caráter regional, quando bem expressas topograficamente, tendo baixa discriminação para distinção de litologia, salvo onde houver excepcional condicionamento geomorfológico. Têm boa aplicabilidade para interpretações sintéticas regionais, de pequena escala, e são únicas para áreas onde a contínua nebulosidade ainda não permitiu a obtenção de imagens LANDSAT ou de aerofotos.

As Imagens do Satélite LANDSAT

As imagens LANDSAT, obtidas em primeira geração na escala aproximada de 1:3.300.000 - e reproduzidas em 1:1.000.000 - possuem uma resolução um pouco aquém de 60 metros nas atuais condições de fotogramação do Instituto de Pesquisas Espaciais. As imagens são produzidas por correlação fotográfica, a partir de registros digitalizados em fitas magnéticas e obtidos por varredura fotoelétrica especular (scanners). O imageamento é contínuo e periódico sobre o mesmo sítio, permitindo a obtenção de imagens com registros sazonais e com pequena diferença de ângulo de inclinação solar, especialmente nas regiões afastadas do equador terrestre.

Encontram-se atualmente em operação os satélites LANDSAT 2 e 3, sendo que o 3 além de estar munido com o sistema MSS (Multispectral Scanner System) possui o RBV (Return Beam Vidicon) que obtém imageamento direto (televisão). As imagens são corrigidas geodesicamente para suas coordenadas centrais corrigindo-se também imperfeições geométricas, provocadas pe-

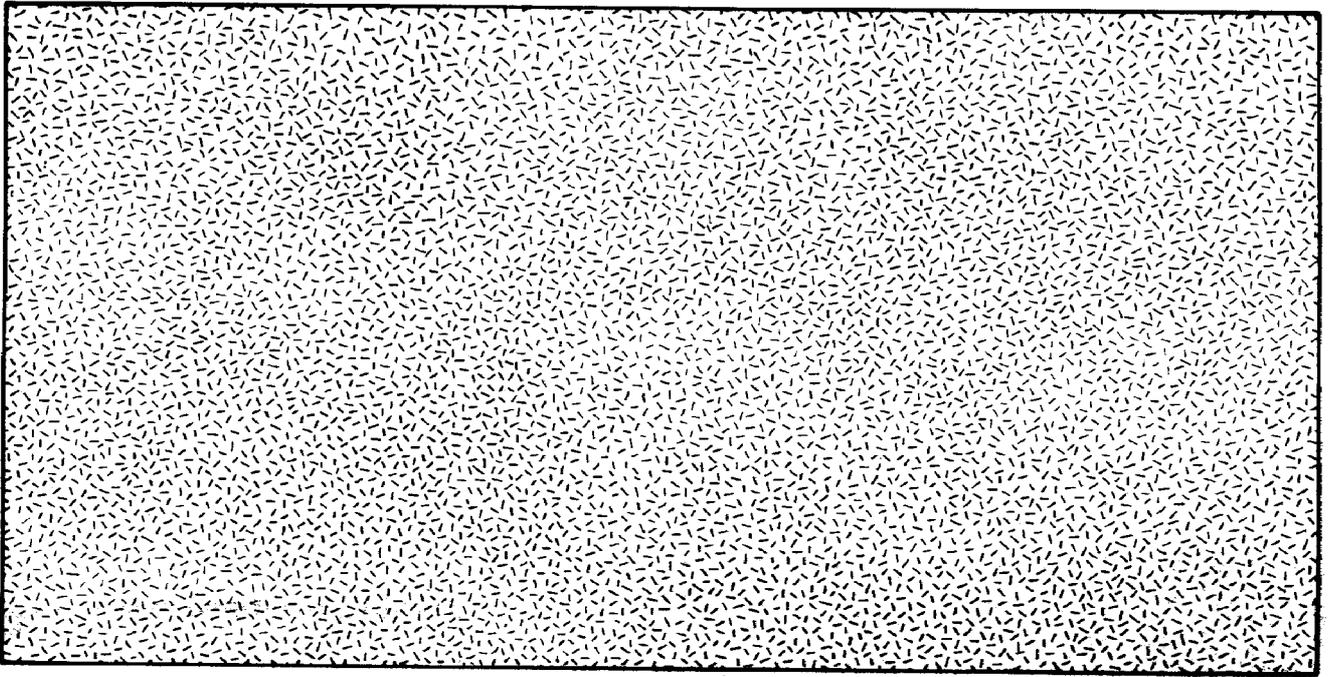
la instabilidade do satélite, e radiométricas. O sistema MSS produz imagens multiespectrais, na faixa de comprimento de onda 0,5 a 1,1 μ para a qual qualquer superfície torna-se difusora não se perdendo detalhes dentro dos limites de resolução. Além disso, são discriminados em quatro intervalos específicos de comprimento de onda (canais 4, 5, 6 e 7, sendo os dois primeiros em faixa visível e os dois últimos no limiar do visível até infravermelho próximo) o que lhes empresta uma larga amplitude de aplicações.

Estas imagens são também planares e, devido à pequena escala, fornecem uma visão integrada regional de grande homogeneidade e uma observação contínua de fenômenos dinâmicos da superfície terrestre. Ademais, permitem a discriminação de determinados aspectos fisiográficos pela investigação em faixas específicas do espectro. O imageamento periódico permite o acompanhamento de fenômenos cíclicos como hidrológicos, agrônômicos e ecológicos.

Aerofotos Coloridas IV Preto e Branco e Multiespectrais

A disponibilidade deste tipo de fotografias é muito restrita no Brasil. Há levantamentos de pequenas áreas em que se pode lançar mão desses produtos.

Aerofoto Colorida - baseando-se na capacidade do olho humano de melhor reter e discernir as tonalidades de cores do que as correspondentes variações dos filmes pancromáticos preto e branco, foi desenvolvido o processo de obtenção de aerofotos com filmes coloridos (com emulsões mais rápidas e mais precisa correção cromática das câmaras). São aplicáveis quando se quer maior discriminação de detalhes ou em amplitudes elevadas quando o contraste dos filmes preto e branco diminui em função da coluna de ar contendo bruma (seca ou úmida) e poeira em suspensão. Não se limitam à fidelidade da cor original do terreno, pois é possível ainda utilizar filmes para a produção de falsa cor, ressaltando aspectos pouco contrastantes nos filmes coloridos comuns (é o caso de utilização em agricultura para a pesquisa de pragas em citrus, por exemplo). Críticos assinalam que a agregação de cores e distinções tonais acrescentam inúmeros detalhes supérfluos, confundindo a interpretação pela correlação de dados insignificantes, ou mesmo não correlacionáveis, às mudanças de matizes. Entretanto isto só poderá causar problemas à fotointerpretação pouco experientes. Na área centro-norte de Goiás, foi fei-



Fixando-se o olhar durante alguns segundos sobre os padrões geométricos abaixo e, em seguida observando-se o retângulo acima, ver-se-á alinhamentos segundo estes padrões.

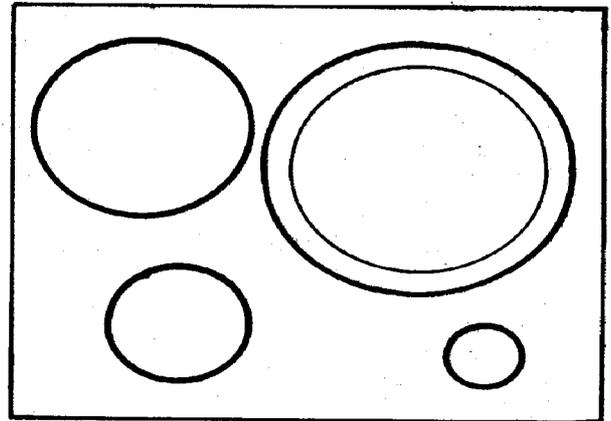
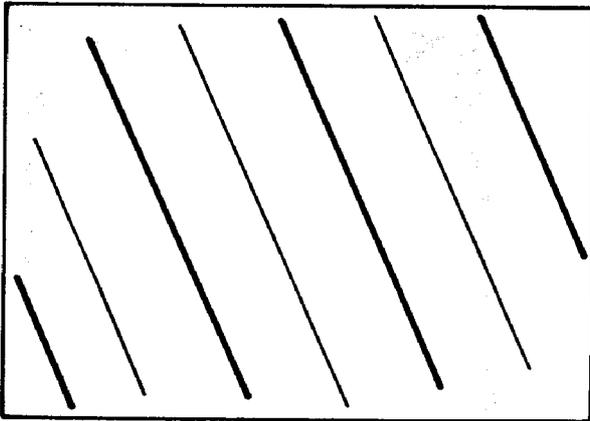


Fig. 3 - Defeitos e ilusões óticas na interpretação da geometria do relevo ou na organização dos detalhes fisiográficos. O primeiro é uma ilusão ótica por fixação mental de padrões preconcebidos da simetria básica (círculos e retas) e o segundo é, um defeito introduzido na imagem pelo excesso de retorno especular em imagens de

sensores com baixo poder de discriminação (alto contraste) e com baixo ângulo de iluminação. (Figs. 2 e 6)

ta cobertura de aerofotos coloridas que mostram grande resolução realçam do certos detalhes pouco perceptíveis nas aerofotos convencionais.

IV Preto e Branco e Colorido - os filmes infravermelho (IV em português e IR em inglês) registram a porção do espectro correspondente ao infravermelho próximo e, no caso de filmes coloridos, amplia a gama de tons e matizes. Possui boa penetração à neblina, tendo sido utilizado com sucesso na região amazônica. Devido à alta re-

Santa Catarina está coberta por aerofotos em infravermelho de boa qualidade. Da mesma forma, a área do distrito manguesífero de Urucum também acha-se coberta por este tipo de imagens.

Imagens Termiais - detectam a radiação infravermelha termal, com comprimento de onda no intervalo de 8,0 a 14,0 μ . No Brasil as imagens termiais disponíveis referem-se à banda 8 do LANDSAT e as do satélite meteorológico SMS (publicadas diariamente no Jornal do Brasil). Adequam-se à obtenção de

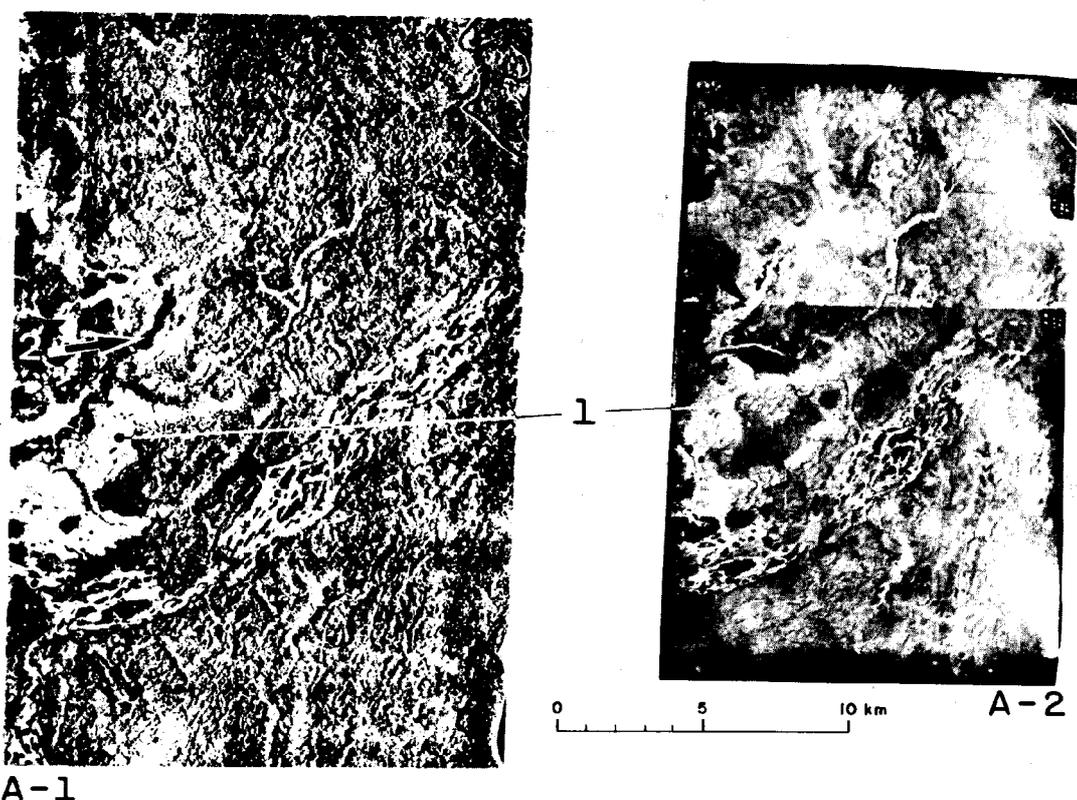


Fig. 4 Radargrama e aerofotos pancromáticas no médio Rio Branco, Território de Roraima (meandros abandonados). Observe como os alagadiços (cinza nas aerofotos) aparecem brancos no radar (1) devido ao efeito dielétrico; enquanto os areiais (branco nas aerofotos) aparecem em preto no radar devido ao efeito especular (2).

fletância do IV pelas folhas túrgidas da vegetação de solos mais úmidos, registra também bom contraste entre vegetação decíduofólia e perenifólia e aumenta o contraste entre regiões úmidas e secas. Como o IV tem baixa penetração na água, esta, quando em repouso, o reflete totalmente, tornando-se negra no fotograma, o que torna enfatizados padrões de drenagem, charcos, linhas de praia, etc. Em termos de fotointerpretação, as fotos IV suplementam informações obtidas nas aerofotos convencionais. Grande área de

dados em projetos de cunho específico, como por exemplo: incêndios em florestas (transpassam a espessa nuvem de fumaça e podem ser obtidas à noite), poluição de fábricas (resíduos aquecidos), atividades geotermiais superficiais, etc.

Fotos Multiespectrais - o processo de fotografiação multiespectral consiste em isolar a energia eletromagnética refletida de uma superfície em determinados comprimentos de onda, registrando cada faixa espectral específica

em um filme preto e branco ou colorido. Baseia-se na assertiva de que se pode selecionar objetos ou trechos da superfície terrestre, pelo seu maior índice próprio de refletância em específicos intervalos de comprimento de onda. Selecionando-se uma combinação de filtros-filmes adequados, obtém-se um máximo de contraste entre o alvo ou objeto investigado e o *background*. Através de técnicas fotográficas (incluindo filmes próprios) ou de equipamentos especiais, pode-se transformar fotos preto e branco assim tomadas em fotos coloridas. As imagens LANDSAT são multiespectrais. Exceto pequenas

da 4 (0,73 - 0,90 μ , infravermelho).

EQUIPAMENTO DE INTERPRETAÇÃO

Até poucos anos atrás, os instrumentos utilizados na interpretação resumiam-se aos estereoscópios de bolso e de espelho (ou os sofisticados restituidores planoaltimétricos para cartografia topográfica), até hoje utilizados com extrema eficácia pela visão estereoscópica que proporcionam.

Com o desenvolvimento de diferentes tipos de registradores, surgiram imagens ou fotografias com nível tecnológico mais apurado e começaram a ser

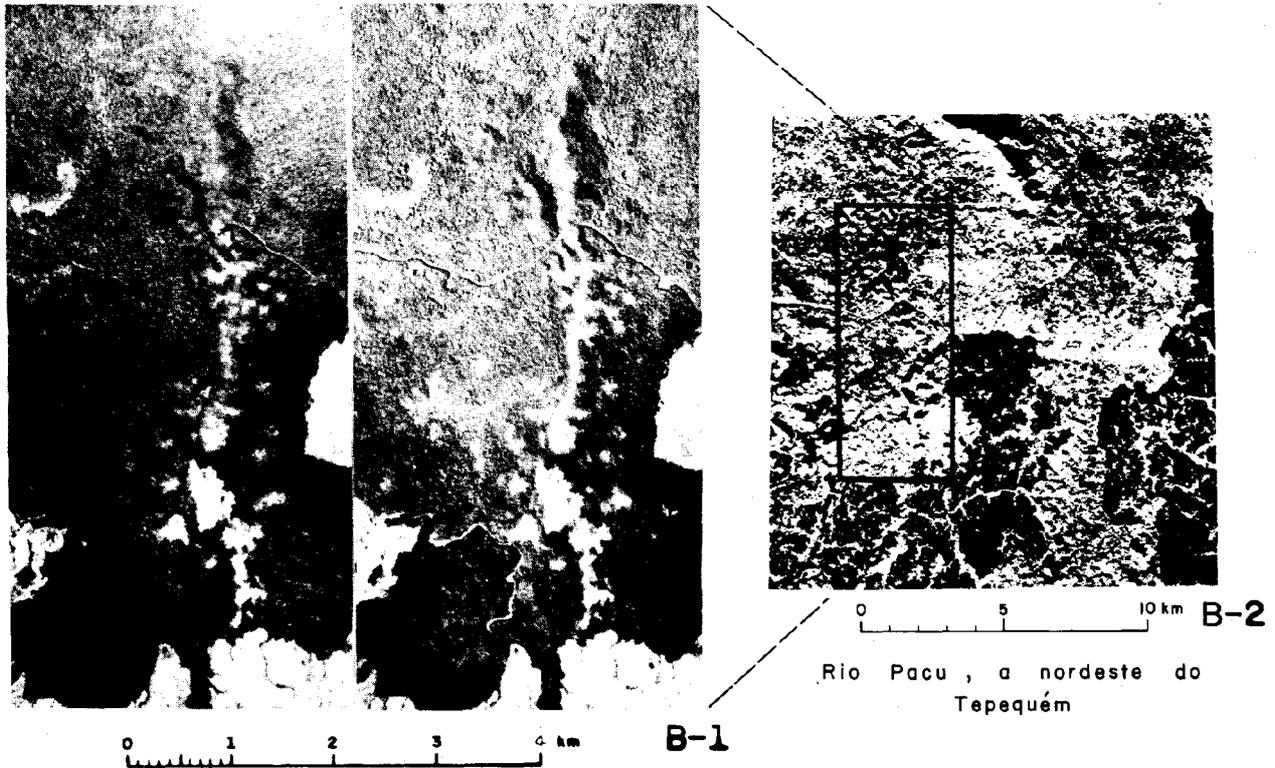


Fig. 5 - Par estereoscópico de aerofotos pancromáticas e radargramas (Território de Roraima). Pequena serra cujo alinhamento norte-sul é bem identificável nas aerofotos e onde podem ser analisadas todas as variações na vegetação. No radargrama quase não se percebe a estruturação tectônica norte-sul e não estão registradas as variações na vegetação e nem o descampado na serra; enquanto na área plana, podem ser observados os descampados que se mostram em preto (ausência de retorno das emissões à antena receptora por efeito especular). Nas aerofotos os descampados mostram-se claros devido a elevada refletância das areias e argilas do solo e devido a alta difusão pela rugosidade ser maior do que o comprimento de onda da luz.

áreas cobertas pelo Projeto RADAM, não existem em disponibilidade no país fotos multiespectrais, além das LANDSAT. As do Projeto RADAM foram obtidas por câmara 1²S (Mark 1), tendo: banda 1 (0,40 - 0,48 μ , azul); banda 2 (0,46 - 0,60 μ , verde); banda 3 (0,59 - 0,70 μ , vermelho); e ban

fabricados equipamentos para auxiliar o investigador.

A utilização desses equipamentos eletrônicos ou óticos na interpretação de imagens baseia-se, entre outros, nas técnicas de separação ou fatiamento de densidade do filme (*density*)

slicing) e na de provocar realce artificialmente.

A técnica de densidade - que é a mais utilizada - consiste na separação dos diversos níveis de densidade de tom, cinza (densidade de pontos negros) ou de cromas que correspondem a níveis de refletância na superfície investigada. Como para uma mesma fonte e um mesmo ângulo, a refletância será resultante das peculiaridades superficiais do refletor, o nível de tonalidade em uma mesma fotografia será o típico. Sendo aquelas características constantes, o bloqueio ou seleção dos demais níveis de tonalidade permitirá o isolamento de áreas com mesmo refletor.

Quando os aspectos fisiográficos revelam-se homogêneos, como em superfícies líquidas (exceto mar profundo), áreas alagadas, campinas, vegetação oligomórfica, culturas, áreas de v-stadas ou assoreadas, areais, cascalhais, etc. podem ser feitas discriminações válidas para cada imagem do sistema LANDSAT ou de outro sensor, desde que tenham expressão na escala.

Por outro lado, a técnica de realce consiste na superposição de duas imagens, iguais ou inversas (negativo ou positivo), com uma ligeira desconexão ou defasamento. Cria-se, assim, uma fina franja refrigente ou difusa que contorna todos os limites mais bruscos de tonalidade ou, mais particularmente, os contatos das áreas de diferentes texturas. Este fato e a coincidência de linhas ou pontos em ambas imagens provocam uma sensação de relevo realçando as feições lineares. Esta técnica é usada, às vezes associada à primeira para ressaltar os gradientes de tonalidades.

É reconhecida também a capacidade do olho humano de captar com maior sensibilidade as variações cromáticas do que as tonalidades de cinza (filmes branco e preto), usualmente comparáveis. Assim pode-se identificar, em dadas condições, um elenco maior de materiais superficiais, através das variações de matizes.

As técnicas sumariamente acima descritas podem ser obtidas em equipamentos disponíveis na CPRM - denominados fotocompositor (*additive color viewer*) e do sistema de separação de densidade (*density slicer*) e realce de bordo (*edge enhancer*).

Fotocompositor (*additive color viewer*)

Consiste de um sistema ótico com

posto por um conjunto de filtros nas cores fundamentais (vermelho, azul, verde e translúcido), capaz de interceptar um feixe luminoso natural, possibilitando a composição colorida de imagens ou fotos multiespectrais por adição de cores ao invés de subtração das tonalidades indesejadas da luz natural como logrado através de filmes especiais.

Conjugando-se as 4 imagens ou fotos, os filtros e a intensidade luminosa, obtêm-se combinações diversas da imagem final projetada em um visor, na escala aproximada de 1:1.000.000.

O princípio de adição de cores é simples e repousa em três variáveis que são: tonalidade da cor, brilho e saturação. Assim, o fotocompositor possui uma fonte de brilho interceptada por filtros no caminho ótico e uma fonte de saturação. A luz proveniente da fonte luminosa de brilho controla a iluminação, o filtro agrega a tonalidade e a outra fonte regula a quantidade de saturação. A manipulação dessas variáveis cromáticas produz a cor final na imagem composta que aparece na tela.

O equipamento possui as seguintes características:

- * fabricante Spectral Data Corporation;
- * série 70, modelo 71;
- * dimensões: comprimento 139,70 cm (55"); largura 78,74 cm (31"); altura 58,42 cm (23");
- * peso: 108,86 kg (240 libras);
- * conjunto de multilentes focáveis;
- * painel de comando para controle de intensidade de saturação foco e filtros;
- * 110 V, 50 ou 60 ciclos, unifásico;
- * resolução da tela do visor: 25 linhas por mm;
- * máxima corrente de operação: 25 ampêres;
- * sistema de ventilação automático.

Sistema Datacolor (*color density slicer e edge enhancer*)

O sistema basicamente consiste em um circuito fechado de televisão, mesa de luz, monitor de TV (iconoscópio), receptor de TV (cinescópio) preto e branco com realçador (*edge enhancer*), grade de pontos luminosos, perfil de densidade, analisador de cores, planímetro digital e receptor de TV colorida.

Os densitômetros são aparelhos

que conferem à escala cinza (densidade) dos filmes fotográficos contornos ou faixas coloridas através de um circuito fechado de televisão desde que acoplado a um monitor colorido.

Duas classes de imagens ou fotografias adequam-se mais à análise do densitômetro. Em primeiro lugar, estão as imagens termais na faixa espectral de 8,0 a 10,0 μ .

A temperatura relativa do alvo é sensoriada pelo detector do scanner sendo que a resposta do detector é registrada em filme mediante modulação de um raio luminoso que o impressiona. Assim, a densidade do filme pode ser correlacionado com a temperatura relativa. As variações da temperatura relativa podem ser devidas a diferenças de emissividade da superfície ou de sua temperatura absoluta. Como as diferenças de temperatura são registradas pelo sensor como diferenças de energia emitida (uma combinação de emissividade e temperatura absoluta), uma emissividade mais baixa dá a aparência de temperatura mais fria no alvo (terreno). Para muitas aplicações este fato não constitui problema por que a emissividade mantém-se relativamente constante. Por exemplo, a distribuição de poluição térmica e estudos de dispersão em centrais elétricas (hidro ou termoelétricas) concentram-se em um mesmo corpo líquido (rio ou lago de água doce ou salina) de modo que a emissividade é essencialmente constante. Analogamente, isto é válido para o estudo de temperaturas oceânicas ou de padrões de fluxo de correntes. De maneira que as variações de temperatura observadas podem ser correlacionadas com as temperaturas absolutas dos corpos.

Outro tipo de foto ou imagem utilizável no densitômetro refere-se àquelas tomadas na porção do espectro visível ou infravermelho próximo que exibam feições contrastantes (áreas claras e escuras). O densitômetro - através do fatiamento de densidade - evidencia estas feições através de cores altamente contrastantes. Sua melhor aplicação é para estudos de poluição, qualidade de fontes de abastecimento urbano, agricultura (crescimento e vigor das plantas), irrigação e estudos edafológicos.

O Sistema Datacolor (Spatial Data, mod. 703, conjugado com mod. 401) consiste de uma câmara de Televisão (Telemation, mod. TMC-2100); um monitor de TV colorida (Conrac, mod. KHA); planímetro digital (Hewlett-Packard, mod. 3431-A); monitor de real

ce (Ball Brothers, mod. TM 69-01 Rev. F); analisador de cores e mesa de luz da Spatial Data.

O sistema possui ainda um planímetro que permite o cálculo imediato, embora de caráter expedito, das áreas bloqueadas pelo *density slicer*.

Sendo a densidade do filme uma função logarítmica inversa da transmissão, a qualidade da revelação ou geração do filme influirá nos resultados obtidos. Aconselha-se a utilização de imagens, preferencialmente, de primeira geração. Por outro lado, a monocromia do radar impede a obtenção de resultados satisfatórios com as imagens geradas por este sistema.

Já o módulo do monitor de realce tem aplicações exclusivas em ressaltar feições lineares. Eletronicamente interposto à imagem gerada pela câmara de TV, produz um sombreado nos bordos realçando e exagerando os elementos retilíneos das fotos ou imagens. O sombreadamento pode ser com *textura* mais fina ou mais grosseira e a imagem resultante lembra um radargrama. Em tese, é um processo similar ao *Ronchi screen* só que eletrônico, isto é, um reticulado com grande número de pontos por área que ao coincidir com segmentos de reta da imagem resalta as feições lineares. Possui também acoplado um aparelho que registra, em perfil, a densidade relativa da cena (filme) observada, orientando a priori o investigador.

A EXPERIÊNCIA DA CPRM EM SENSOREAMENTO REMOTO

Desde sua criação, a CPRM tem acumulado um cabedal de informações geológicas em todo território nacional que pode ser resumido como segue:

- * cerca de 1.000 projetos de geologia e pesquisa Mineral;
- * 4.639.860 km² (incluindo áreas superpostas) de mapeamento geológico;
- * 311.127 afloramentos estudados;
- * 8.170.404 km² de fotointerpretação;
- * 11.699 ocorrências cadastradas;
- * 1.051.522 km² de reconhecimento radiogeológico;
- * 2.570.366 km² de levantamento aerogeofísico (magnetométrico, magneto-cintilométrico e cintilométrico);
- * 1.607.724 m de sondagem para carvão, urânio, água subterrânea e outras substâncias minerais;
- * 1.944.962 m de perfilagem;
- * 2.702.134 determinações geoquímicas

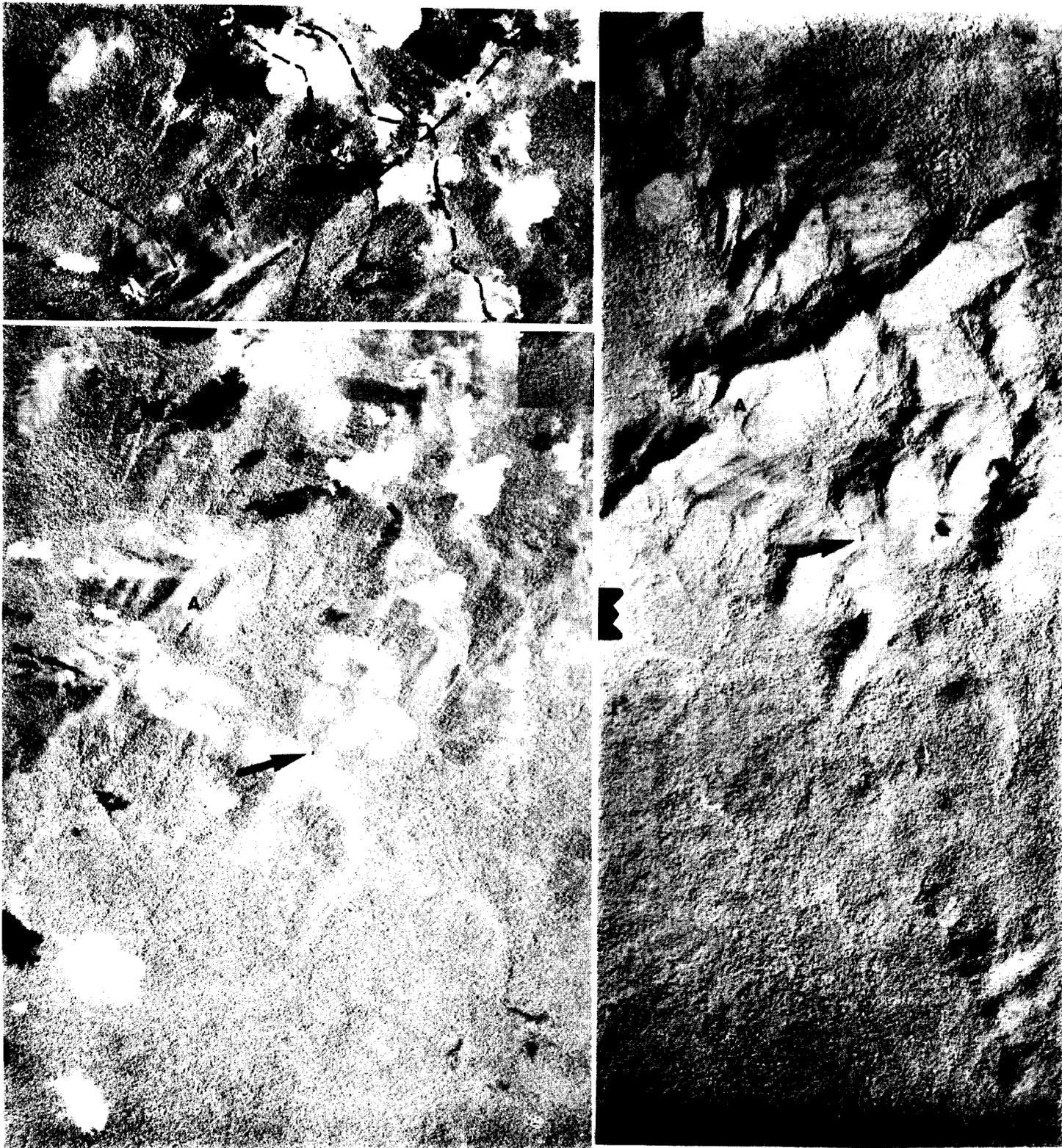


Fig. 6 - Proximidades da margem direita do baixo rio Branco no sul do Território de Roraima (aerofotos 1:70.000 CPRM/DNPM obtidas pela PROSPEC S.A.). A esquerda aerofoto pancromática preto e branco onde se pode observar as diferenças da vegetação que, na área montanhosa, denunciam uma variação em estratos, ou bandas (com direção NW), de composições litológicas ligeiramente diferentes, que também mostram correspondentes pequenas diferenças no entalhe do relevo nas encostas setentrionais. É bem perceptível o mergulho (inclinação) no sentido SW das superfícies interestratos e uma forte estrutura por fraturamento quase vertical, de direção NE, que corta os estratos. O par estereoscópico pertence

te uma melhor análise em terceira dimensão. A aerofoto da direita (leste), abrangendo a mesma área (observe o detalhe apontado com a seta), foi obtida com filme infravermelho preto e branco. O ângulo de iluminação é mais baixo do que da aerofoto pancromática e a cena situa-se no campo semi-oposto (simetricamente) do quadro de projeção da câmara (90° para NW), que introduz uma distorção paraláxica na geometria do relevo. Note como o aspecto da vegetação foi homogenizado devido a baixa sensibilidade do sensor na faixa do violeta-alaranjado (0,4 - 0,6 μ) em que há maior absorção pela clorofila. Como resultado deste fato e do ângulo mais baixo de iluminação, a estruturação em estratos não é percebida, salientando-se a estruturação por fraturamento (cataclase). A modificação no aspecto (fotográfico) da fisiografia é tal que torna-se difícil perceber que as duas imagens referem-se a mesma paisagem. Torna-se bem evidente que a interpretação feita somente com essas imagens infravermelhas introduzirá gravíssimos erros de mapeamento geológico, principalmente em trabalhos com baixa densidade de pontos de verificação no terreno. Isto porque se, por exemplo, os pontos localizarem-se na área assinalada com a letra A, irão constatar, apenas as estruturas de cisalhamento NE que ali apagam a estruturação em estratos.

micas;

* 117.933 determinações químicas.

No campo de sensoriamento remoto, a CPRM vem desenvolvendo atividades nas mais diversas províncias geomorfológicas do país, especialmente empregando aerofotos convencionais, imagens de radar e de satélite. Pesquisas de refletância espectral, comparações experimentais da eficácia de novas técnicas continuam sendo realizadas, incluindo experiências com interpretação com o fotocompositor e o seletor de densidades.

CONCLUSÕES

Dos sensores em uso no Brasil, é a aerofotografia pancromática preto e branco o mais versátil, com o qual os usuários estão mais familiarizados e que permite todas as aplicações aerofotogramétricas. A única restrição é a exigência de céu límpido para sua obtenção, o que é dificilmente conseguido somente em algumas áreas do Brasil ($\pm 30\%$). Contudo, aos poucos elas estão sendo obtidas sobre quase a totalidade do País.

Sob o ponto de vista de maior resolução e maiores recursos de interpretação, a aerofoto colorida constitui o melhor sensor, porém o material e seu processamento são mais caros, como a técnica para a obtenção da correta cor natural é de difícil execução, exigindo melhores condições meteorológicas para sua obtenção.

Os demais sensores são todos específicos e de aplicação seletiva, devendo ser escolhidos quando houver

certeza que acrescentarão amplas vantagens às aerofotos pancromáticas nos trabalhos a pesquisar.

Para interpretações geológicas regionais em escalas menores do que 1:100.000 (1:250.000, 1:500.000, etc.), a associação das imagens LANDSAT com as aerofotos convencionais e demais sensores disponíveis é a melhor solução.

As técnicas de seleção e realce de níveis específicos de refletância nas imagens multiespectrais (até mesmo nas aerofotos pancromáticas) constituem um valioso recurso para identificação de *mensagens* (expressões) fisiográficas tênues que são escamoteadas pelos diversos detalhes das imagens originais.

As pesquisas que vêm sendo desenvolvidas no USGS e NASA, nos Estados Unidos e no INPE, no Brasil, com utilização de seus excelentes equipamentos, vêm demonstrando o quanto pode ser melhorada a análise das imagens LANDSAT, principalmente no campo dos levantamentos de recursos naturais superficiais, como na agricultura, nos recursos hídricos de superfície, etc. Entretanto, no que se refere à Geologia, é necessário que se tenha um adequado controle da expressão fisiográfica das discontinuidades do subsolo, para se ter certeza de que a mensagem que se está realçando tenha significado geológico e não tenha já sido detectada por outro sensor.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e análise instrumen-

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS COM FOTOINTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS

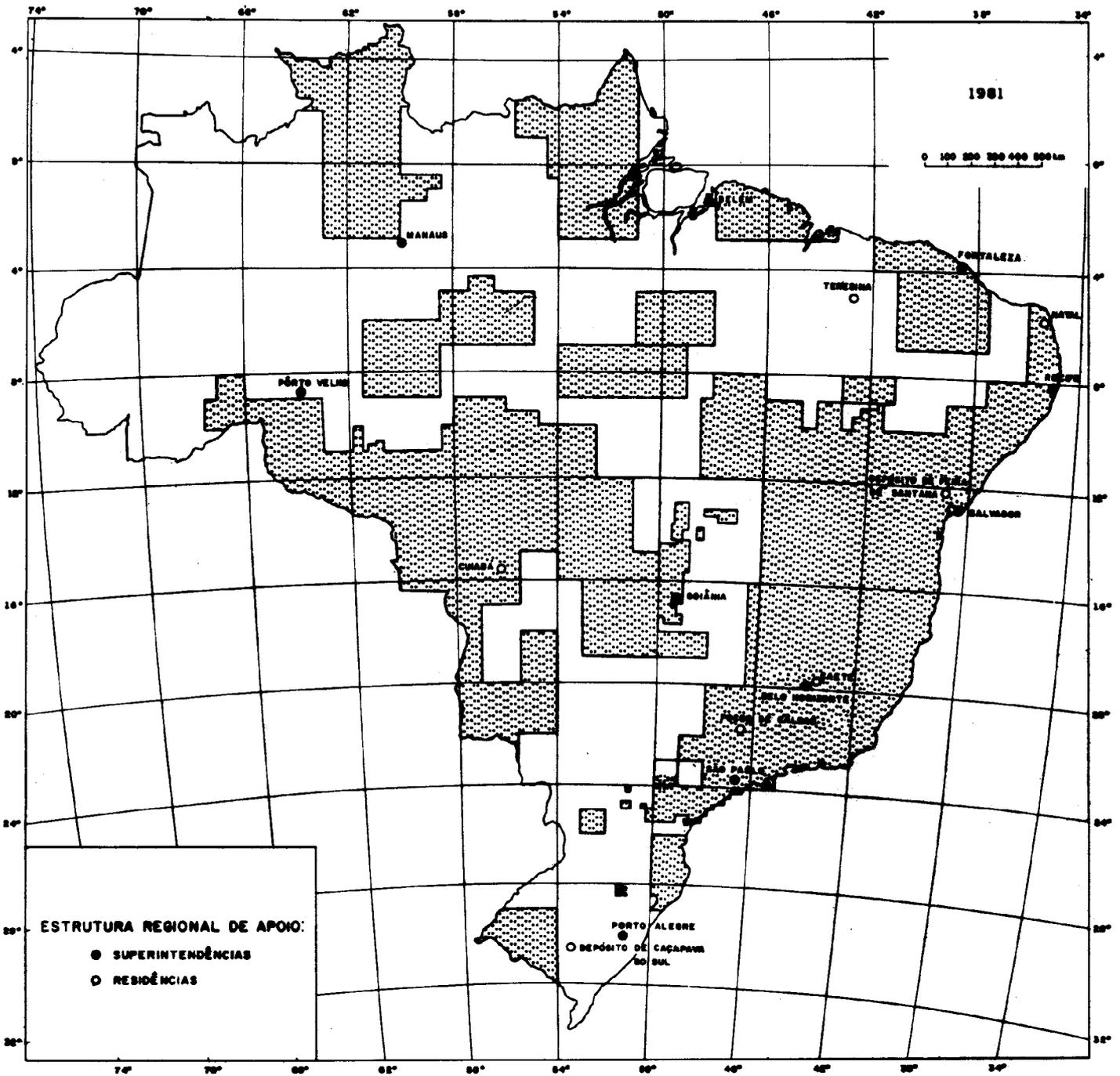


Fig. 7 - CPRM - Área coberta com levantamentos geológicos, executados de 1970 a 1981, com fotointerpretação geológica, utilizando-se de diversos tipos de imagens e em diversas escalas.

tal das imagens são dispendiosas e de verão ser evitadas quando a análise visual puder atender as expectativas. Por outro lado, a partir da identificação de mensagens fisiográficas que supostamente, denunciem situações geológicas de interesse econômico, pode-se dar início a um dispendiosíssimo programa de verificações no terreno, que poderá resultar em total insucesso, caso as mensagens não tenham o significado geológico esperado.

Principalmente agora, que na maior parte do Brasil o nível dos levantamentos começa a ultrapassar a fase de reconhecimento regional, é necessária a contribuição de experimentadas equipes de geólogos, com grande acervo de controle no terreno, pois os investimentos em levantamentos de semidetalle e detalhe são crescentemente dispendiosos e devem ser mais objetivos.

É nesse estágio que a CPRM pode apresentar valiosa contribuição a quem

necessita do conhecimento dos recursos minerais e da constituição do subsolo, com base no seu acervo tecnológico sumarizado linhas atrás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAUN, O.P.G.; RAMGRAB, G.E. Geologia da Área do Projeto Roraima. MME-DNPM/CPRM, relatório: 168pp., 1976.
- CPRM. Sensores Remotos. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - DEGEO/SERCO (avulso explicativo): 35, 1982.

