

19a. SESSÃO (PLENÁRIA)  
PALESTRA DO DR. ÍCARO VITORELLO  
APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA E PESQUISA AMBIENTAL

Iniciarei esta apresentação dando uma pequena introdução sobre o que significa o sensoriamento remoto na área de geociências. O Sensoriamento Remoto refere-se às técnicas e métodos de obtenção de medidas no espectro eletromagnético, principalmente no visível, infravermelho e micro-ondas e, naturalmente, em interpretação dos fenômenos naturais, na área de geologia, e nos processos geológicos, observados à distância. Excluem-se, nesse caso, as técnicas aqui consagradas no âmbito da geofísica.

O termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que empregam a energia eletromagnética como meio de detetar e medir características dos alvos dependentes da interação entre radiação eletromagnética e o próprio alvo de interesse.

Em retrospectiva, os primórdios de sensoriamento remoto estão diretamente ligados ao desenvolvimento e uso de fotografias aéreas que, até hoje, são ferramentas indispensáveis à maioria das investigações geológicas de pesquisa mineral. Fotografias aéreas obtidas em várias escalas, em alta resolução espacial e a custos relativamente baixos permitem, através da escolha adequada de filmes e filtros, a obtenção de informações nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo.

Os princípios e as técnicas de análise e fotointerpretação têm sido explorados e razoavelmente divulgadas em textos e cursos básicos de geologia nas universidades do país. Em contraste, a história do sensoriamento remoto orbital é relativamente recente. A utilização desse sensoriamento remoto teve grande impulso com o advento do primeiro satélite e os satélites que advieram mais tarde. Iniciando-se em 1972, quando o custo da obtenção de dados de vastas áreas da superfície foi substancialmente reduzido pelo imageamento repetitivo dos satélites e, naturalmente, pelo levantamento com radar de abertura sintética de todo o território nacional.

O sistema LANDSAT, como é do conhecimento de todos, dispõe de dois sistemas sensores: um imageador multiespectral com quatro canais, dois no visível e dois no infravermelho próximo, e um sistema de câmara de TV denominado RBV ou Return Beam Vidicon.

Em 1973 foi instituído no INPE um programa voltado especificamente para recursos minerais e também energéticos. Esse programa tem tido como finalidade a utilização de

dados de sensoriamento remoto em levantamentos geológicos de caráter regional e, naturalmente, reconhecimento de bens minerais e energéticos. Além disso, o programa tem visado às atividades de disseminação dos conhecimentos tecnológicos e metodológicos às instituições de ensino e pesquisa e à comunidade geológica em geral, através da participação em simpósios como este, publicações diversas, trabalhos conjuntos com outras entidades e participação em atividades de formação de pessoal técnico, como curso de pós-graduação e aperfeiçoamento e treinamentos específicos a interessados.

Quanto ao aspecto de atividades de pesquisas voltadas à extração de dados geológicos, o programa do INPE preocupa-se, sobremaneira, com a análise adequada das bandas multiespectrais em várias aplicações. Os resultados mais significativos das pesquisas realizadas nos últimos anos têm sido na elaboração de mapas geológicos através da interpretação visual de imagens LANDSAT, radar e fotos aéreas, em várias escalas de trabalho e em várias regiões.

Como exemplos, podemos citar os estudos geológicos, na escala de 1:1000.000, das seguintes áreas: Folha Belo Horizonte, Folha Goiás, Folha Jaguaribe, Folha Rio São Francisco, região norte de Minas Gerais, região Centro-Sudeste da Bahia; na escala de 1:500.000 existem trabalhos na região Amazônia, região sul do estado do Espírito Santo, região de Cuiabá, centro-sul de Mato Grosso, norte de Rondônia, estado de Piauí e estado de São Paulo; na escala de 1:400.000 foi realizado mapeamento do estado do Rio de Janeiro, em escala 1:250.000 existem alguns trabalhos, tais como o perfil São Bento Sapucaí, Caraguatatuba, em São Paulo, e partes do estado do Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Além destes trabalhos de mapeamento, houve outras contribuições em várias áreas do conhecimento geológico, tais como indicações de possíveis áreas potencialmente favoráveis à prospecção de águas quentes em Caldas Novas, Goiás e levantamentos dos parâmetros condicionantes das mineralizações radiativas em Poços de Caldas; investigações hidrogeológicas em áreas cársticas na parte norte do estado de Minas Gerais; levantamento do grau de estruturação de anomalias geomorfológicas de drenagem na Bacia Sedimentar do Paraná, para a escolha das anomalias com maior probabilidade de associação com altos estruturais; mapeamento de áreas favoráveis a ocorrência de argilas; indicação de novas áreas de ocorrência de ilmenita primária no estado de Pernambuco, nas proximidades de Floresta; análise estrutural da

região da serra da Canastra e Represa de Furnas, Minas Gerais; estudo de feições lineares observadas em imagens e suas relações com feições estruturais observadas no campo, análise litológica estrutural do Quadrilátero Ferrífero; estudo da estrutura circular do Domo de Araguinha; estudo da distribuição espacial de lineamentos associados com o Arco de Ponta Grossa; estudos geológicos do Complexo Alcalino de Itatiaia e do Estado do Escudo do R.G. Sul; estudos no infravermelho termal em região dos depósitos de turfa no Vale do Paraíba; discriminações litológicas através de análises espectrais; caracterização de zonas de greisen em granitos da província estanífera de Goiás; e muitos outros exemplos.

Como passo seguinte dessa apresentação, eu gostaria de discutir a utilização atual no Brasil dos vários tipos de produtos de sensoriamento remoto. Como não poderia ser diferente, as primeiras aplicações, como já foi dito, envolveram o uso de fotografias aéreas convencionais que se tornaram mais disponíveis a partir de 1964, através do reconhecimento de grande parte da área do território nacional pela USAF. Tais fotos, disponíveis em escala de 1:60.000, foram largamente usadas em programas de mapeamentos regionais e de pesquisa mineral. Nas décadas de 60 e 70 estas fotos encontraram ambiente favorável para a sua utilização devido à inexistência de outros tipos de produtos e à necessidade de cartografar geologicamente, e de modo rápido, grandes áreas de interesse em pesquisa mineral.

Muito embora o potencial de aplicação de sensoriamento remoto em geologia resida na possibilidade de diagnosticar diferentes materiais superficiais, em função da análise das respostas espectrais registradas, a grande limitação inerente à fotos aéreas, panorâmicas relativa a este tipo de abordagem, impõe que a sua utilização efetiva fosse voltada principalmente para análise dos aspectos texturais do relevo com a finalidade de cartografia geológica, na maioria das aplicações, por incluir as vantagens da estereoscopia. Com algumas exceções, poucas pesquisas foram desenvolvidas fora deste contexto, tendo em vista a utilização da análise espectral com filmes pancromáticos, combinados com diferentes filtros e integrados com estudos espectrais de alvos geológicos em campo e laboratório.

Esses produtos já se encontravam disponíveis no início da década de 70 para algumas regiões do país, como resultados de missões e programas de diversos órgãos, como a Missão 96 com o DNPM - Departamento de Produção Mineral e o INPE, e o projeto RADAM na Amazônia. Porém, desta forma, pela ausência de maiores conhecimentos sobre comportamento

espectral e sazonal dos alvos naturais, principalmente os de interesse geológico e de pesquisa mineral, a metodologia de análise de fotografias aéreas continua a ser dirigida aos estudos dos atributos espaciais da cena, incluindo aqui, a análise sobre padrões de relevo, aspectos de formas de drenagens, caracterização e individualização de unidades geológicas a partir de feições geomórficas, estudos de lineações etc. Alguns destes estudos significaram passos preciosos no avanço metodológico de fotointerpretação.

Com a disponibilidade de novos produtos, tais como dados de Radar, SKYLAB e LANDSAT, é natural que os esquemas anteriormente propostos para a interpretação de fotografias aéreas fossem intuitivamente aplicados nos trabalhos com esses materiais. No caso específico de dados multiespectrais, como os de LANDSAT e do SKYLAB, a não consideração da abordagem espectral na análise representa uma evidente sub-utilização do material. Além disso, quando possível, esta abordagem espectral deve ser acompanhada de uma análise temporal, isto é, com imagens de épocas distintas, visto que os alvos superficiais apresentam comportamento diferente em função de condições ambientais variadas.

Como ficou bem exemplificado na apresentação do trabalho do colega Raimundo Almeida Filho, sobre a importância das análises sazonais em estudos de corpos granitosem cassiterita.

No caso de dados multiespectrais do LANDSAT, de resolução espacial bastante inferior a fotos aéreas, com limitação de ampliações e sem os recursos de estereoscopia, a maior utilização continua dirigida a esquemas interpretativos regionais.

Como exemplo é aqui apresentado um mapa geológico obtido através da fotointerpretação, utilizando-se principalmente os canais 5 e 7. No campo, são realizados perfis geológicos que fornecem maiores informações que podem ser extrapoladas para uma área maior, com o auxílio das imagens. Este exemplo mostra que neste estágio de adaptação a esquemas interpretativas de fotos aéreas, os canais 6 e 7 com iluminação solar de baixo ângulo, tornaram-se as bandas mais usadas por fotointerpretes, na busca de informações de cunho estrutural diretamente refletidas por particularidades de relevo e da rede de drenagem. Isto se deve principalmente à alta reflectância da vegetação e diminuição do efeito de espalhamento atmosférico em áreas sombreadas pela topografia, nestas faixas do espectro, o que faz com que em regiões de densa cobertura vegetal, o contraste tonal fique, nestas faixas, mais condicionado a relações entre topografia e ângulo de iluminação solar, do que variações na

densidade de cobertura vegetal.

No caso de extração de redes de drenagens, em cursos caracterizados pela presença de matas, galerias e aluviões, os canais 4 e 5 tornaram-se mais apropriados, ao passo que em regiões uniformemente cobertas, a caracterização da drenagem passou a apoiar-se nas quebras de relevo quando então o uso dos canais 6 e 7 podem prevalecer.

Este fato é bem ilustrado por esta imagem da Chapada de Mangabeira, onde é mostrada a riqueza de drenagem que podem ser extraída do canal 5.

No Brasil, onde ainda grande parte do território carece de mapeamentos básicos, os recursos multiespectrais e multitemporais de dados de satélites devem ser melhor explorados, principalmente levando-se em conta as características típicas de nosso clima. Assim sendo, estudos espectrais em zonas mineralizadas, associações vegetação-solo-rocha, alterações hidrotermais de rochas, anomalias geobotânicas e outras condições superficiais merecem atenção, no sentido de melhorar o entendimento das interações entre radiação eletromagnética e os alvos para que se possa desenvolver os sensores e os procedimentos metodológicos melhor aplicáveis às regiões de interesse.

Como exemplos dessas situações mostraremos uma composição colorida de uma passagem de satélite na época seca sobre a área do vale do Curaça, Bahia onde vários corpos litológicos são facilmente identificados. Em contrapartida, é mostrada a região da Serra de Carajás como exemplo típico de predominância de cobertura vegetal espessa que é responsável pela resposta homogênea em toda a cena, devida à alta reflectância das folhas, no canal 7 que corresponde ao infravermelho próximo.

Dentro da perspectiva de novos satélites e novos imageadores, a potencialidade de discriminação litológica, por exemplo, do mapeador temático do LANDSAT D terá duas bandas no infravermelho médio, onde ocorre a absorção produzida pelos minerais de argila, oriundos de alterações hidrotermais. Enquanto que no visível, no infravermelho próximo, a absorção predominante é produzida por minerais tendo como constituinte o ferro, no infravermelho médio prevalecem bandas de absorção causadas por processos eletrônicos, como de moléculas de água em rochas hidrotermicamente alteradas. Entretanto, o mapeador temático não tem resolução espectral suficiente para identificar minerais específicos, visto que esses minerais têm faixas de absorções bastante pequenas em comparação com a

largura das faixas.

Esperamos realizar estudos, dentro deste aspecto de reconhecimento litológico, para essas bandas do infravermelho.

Comparando os produtos do mapeador temático e do SPOT, o temático poderá fornecer melhores informações espectrais e os produtos do SPOT fornecerão melhor resolução espacial, capacidade de estereoscopia e passagens mais frequentes, em locais onde existia a necessidade de recobrimentos sucessivos.

Os produtos do mapeador temático mostram-se mais promissores do que os do SPOT a aplicações geológicas, devido às faixas espectrais escolhidas para o mapeador temático, isso na área de discriminação litológica. Espera-se que, com esses novos produtos, e maior sofisticação em tratamento de dados multiespectrais, por computadores, melhores auxílios poderão ser oferecidos à pesquisa de depósitos minerais do Brasil.

Gostaria, agora, de considerar o aspecto de tratamento dessas imagens, visto que cada cena do LANDSAT atual, de 185km por 185km, contém 7 milhões e meio de bits, correspondendo a mais de 50 milhões de bits de informação. Vamos aqui que toda a análise espectral deve obrigatoriamente contar com o uso do computador para tratar este volume de informações. Com os novos produtos, por exemplo, 11 canais do mapeador temático, com maior resolução espacial e conseqüentemente maior volume de bits de informação, o problema torna-se bastante crítico. Além disso, as imagens de satélite necessitam de vários melhoramentos e manipulações para melhor adequá-las às interpretações geológicas. Neste sentido iremos apresentar alguns produtos obtidos por manipulações por computadores, através dos quais o dado espectral é modificado e apresentado como uma nova imagem, tendo como objetivo o realçamento ou a classificação temática.

Devemos esclarecer que várias aplicações que tem sido realizadas, utilizaram processamentos de imagens na tentativa de retirar, empiricamente, informações geológicas.

Como exemplo de produtos obtidos através de tratamento de imagens será mostrado uma seqüência de ilustrações com os seguintes processamentos de uma área da região da Serra do Ramalho, Bahia:

- exemplo de realçamento por ampliação de contraste
- composição colorida de 3 canais contrastados, o que sintetiza a informação em uma só imagem.
- vários produtos de divisões de canais e uma composição colorida de três destes

produtos

- componentes principais e a correspondente composição colorida
- exemplo de classificação temática
- composição colorida dos canais 11,12,13, do SKYLAB, e que correspondem à faixa do infravermelho

Em resumo, foi mostrado que os dados multiespectrais do sistema LANDSAT têm sido muito úteis em estudos regionais, em ambientes geológicos diversos, além de servir como documento cartográfico para a integração de dados geológicos. Mostramos também as potencialidades e limitações de alguns produtos multiespectrais e técnicas de processamentos de imagens.

Atualmente a utilização de imagens multiespectrais na identificação direta de corpos litológicos e regolitos é limitada pelas características das bandas do sistema LANDSAT atual. Neste contexto as perspectivas de avanços futuros residem na aplicação de produtos de novos sensores que tenham maior resolução espacial, espectral e radiométrica, além de facilidade de estereoscopia e faixas espectrais no infravermelho e microondas.