

SISTEMÁTICA PARA A UTILIZAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM MAPEAMENTO GEOLÓGICO BÁSICO

Gilberto Amaral

Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo

ABSTRACT

Several research programs, developed during the last twelve years at the Brazilian Institute of Space Research (INPE) dealing with remote sensing applications to geological mapping, permitted the definition of a methodology based in principles of systems analysis. In that way, after the definition of the objectives of the program and the specification of the expected results, the next steps should be the construction of the work flow diagram, chronogram and resources allocation table. Time, money and personnel availability should be considered as limiting factors. Programs involving mapping at scales varying from 1:5 000 000 to 1:100 000 resulted in the development of a methodology with high efficiency/cost ratio. Such methodology involve the following steps:

1. Collection and analysis of available data;
2. Photointerpretation;
3. Construction of a preliminary geological map;
4. Field control (ground truth);
5. Analysis and evaluation;
6. Feedback;
7. Conclusion.

At first glance such sequence of steps seems somewhat obvious. However each phase has very detailed specifications in order to optimize its development.

1. INTRODUÇÃO

A década passada assistiu o rápido desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto. Como decorrência, regiões remotas e pouco conhecidas passaram a dispor de ferramentas auxiliares para a sua exploração, tais como imagens de satélite e de radar de visada lateral.

Desde o início da aplicação mais intensa dessas técnicas, notou-se uma diferença significativa entre os pontos de vista dos pesquisadores de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto que os primeiros se preocupavam com estudos de detalhe os segundos se ocupavam de estudos regionais. Enquanto os primeiros se ocupavam com os atributos espectrais dos materiais superficiais, os segundos se ocupavam dos atributos espaciais. Essa diferença entre os pontos de vista está seguramente ligada a diferenças nas necessidades, pois os geólogos de países em desenvolvimento estavam mais preocupados em conhecer melhor a geologia de seus territórios ao passo que os geólogos de nações mais desenvolvidas tinham maior interesse em descobrir novos depósitos minerais.

Os projetos Radambrasil, do Ministério de Minas e Energia, e Landsat, do Instituto de Pesquisas Espaciais, foram implantados com o objetivo básico de obter informações, a nível regional, sobre os nossos recursos naturais. Presentemente, o país encontra-se totalmente coberto por radar de visada lateral e por imagens dos quatro satélites da série LANDSAT. A quase totalidade do território dispõe de fotografias aéreas em diferentes escalas. Pequenas porções do território contam com dados mais sofisticados coletados pelos programas SKYLAB e Shuttle, além de recobrimentos por aeronaves da NASA e INPE.

O autor esteve envolvido desde princípios de 1971, junto ao INPE, com esses programas de sensoriamento remoto. Desde essa época sua opinião é a de que o sensoriamento remoto é uma excelente ferramenta para otimizar o trabalho do geólogo mas não substituí-lo. Todavia, durante muitos anos a comunidade geológica do nosso país olhou com desconfiança essa nova ferramenta, não se interessando muito em conhecê-la melhor. Quando, por algum motivo, eram obrigados a fazer uso de imagens de radar ou satélite, estas eram analisadas como se fossem fotografias aéreas e, conseqüentemente não faziam uso eficiente das mesmas. De modo a corrigir essas distorções o autor e os geólogos do INPE divulgaram sempre que possível os resultados dos seus programas de pesquisa com ênfase nos aspectos metodológicos. Como essa divulgação foi feita de modo um tanto esparsa, o autor julgou oportuno reunir as principais recomendações daqueles programas de modo a orientar futuros interesses em utilizar dados de sensoriamento remoto para mapeamento geológico.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

2.1. Aspectos básicos do Sensoriamento Remoto

Como, em muitos casos, geólogos têm usado dados de sensoriamento remoto como fotografias aéreas convencionais, sem preocupação com as características intrínsecas de cada sensor e de seus produtos, uma proposta metodológica deverá incluir uma sistemática visando minimizar aquelas distorções.

Uma fotografia aérea convencional é pobre em informação espectral. Entretanto, devido à estereoscopia normalmente presente, ela é rica em informação espacial. Devido a isso a forma dos objetos e suas relações espaciais podem ser bem observadas. Todavia, as fotografias aéreas são normalmente obtidas em escalas grandes o que dificulta a observação de feições regionais.

As imagens de radar são geralmente obtidas em escalas pequenas. No caso do sistema usado pelo Projeto Radambrasil as imagens possuem escala original 1:400 000, posteriormente ampliadas para a montagem de mosaicos 1:250 000. As imagens de radar não registram a reflectância, como no caso das fotografias aéreas e imagens LANDSAT, mas sim uma propriedade de complexa denominada coeficiente de espalhamento. Esta propriedade está relacionada às propriedades elétricas, rugosidade superficial (micro-relevo) e relações geométricas com a radiação incidente (macro-relevo). Por este motivo deve-se tomar muito cuidado ao se analisar essas imagens, pois os objetos poderão apresentar aspecto distinto daquele que estamos acostumados a ver. O sistema utilizado pelo Projeto Radambrasil operava em comprimento de onda de 3,2 cm e polarização horizontal tanto na emissão como na recepção. Nessas condições a penetração na cobertura vegetal é mínima, da ordem de uns poucos milímetros. Assim sendo, a radiação não interage intimamente com os materiais da superfície e as imagens representam basicamente a morfologia superficial. Como os ângulos de visada são baixos (15-45°), o relevo é realçado por sombreamento, o que torna as imagens de radar particularmente úteis para geomorfologia e geologia estrutural.

O sensor MSS (multispectral scanner) dos quatro satélites LAND-

SAT opera em quatro intervalos espectrais, dois na região do visível e dois no infra-vermelho. O fenômeno registrado é a reflectância com relação à radiação solar incidente na superfície, e portanto idêntico às fotografias aéreas e da nossa visão. Com relação a este último caso, as imagens no infra-vermelho são bastante distintas pois o olho humano não é sensível a essa porção do espectro. O fato de dispormos de quatro imagens possibilita a montagem de composições coloridas que ampliam a nossa capacidade de interpretação. O realce de feições morfológicas por sombreamento depende do ângulo de elevação solar o qual depende da latitude, época do ano e hora da passagem do satélite. Em nosso país esse ângulo varia entre 50° e 20°. O LANDSAT-3 era dotado de um sistema de televisão, o RBV (return beam vidicon), que opera em um único canal em toda a faixa do visível mas com resolução de 30m, enquanto que a do MSS é de 80m. O LANDSAT-4 foi equipado com um novo sensor, o mapeador temático (TM) com resolução de 30 m e operando em sete canais. Por motivos técnicos esse sistema não coletou imagens sobre o Brasil e o satélite está desativado no momento.

2.2. Elementos de Análise de Sistemas

Pode-se definir sistema como um conjunto de partes que se interagem de modo a atingir um determinado fim, de acordo com um plano ou princípio (INPE, 1972). Dentro dessa conceituação, o sistema de aplicação do sensoriamento remoto ao mapeamento geológico tem diversas partes que interagem com o objetivo de produzir um mapa geológico. Utilizando-se de técnicas elementares da engenharia de sistemas, o planejamento de um programa de mapeamento geológico deverá responder a quatro questões fundamentais: O que? Como? Quando? e Quanto? A resposta à primeira questão consiste na definição dos objetivos do projeto, seus requisitos e especificações. No caso presente, o objetivo é obter um mapa geológico da região X, cujos requisitos serão a escala, legenda, tipo de apresentação, densidade de informações, exatidão cartográfica, etc. As especificações referem-se a todo o sistema, incluindo pessoal, equipamento, etapas e sub-etapas, etc. A resposta à pergunta Como? é o objetivo do presente trabalho e será discutida mais adiante. Durante a formulação de uma solução para o problema (Como?) as necessidades em termos de tempo e dinheiro ficarão evidentes (Quando? e Quanto?). Caso elas ultrapassem limites pré-estabelecidos deveremos retornar à formulação da solução e, eventualmente, redefinir objetivos e requisitos.

2.3. Planejamento

Na formulação de uma solução para o problema (Como?) definimos, inicialmente, as etapas do trabalho a partir das quais é elaborado o diagrama de fluxo de trabalho (DFT). O DFT representa de forma gráfica a sequenciação ou simultaneidade de etapas e as eventuais realimentações do sistema. Em geral, as respostas às questões Quando? e Quanto? são elaboradas a partir do DFT. Para isso prepara-se, primeiramente, um quadro de alocação de recursos, tais como: horas de geólogo senior; horas de geólogo júnior; hora de estagiários; desenhista, datilógrafa, técnico de laboratório, pessoal de apoio, etc.; quilômetros rodados de veículo; despesas com viagens, alimentação e alojamento; aquisição de mapas, publicações, fotografias aéreas, etc.; aquisição de equipamentos; material de consumo; etc. Atribuindo-se as quantidades necessárias e respectivos preços chega-se ao custo total do projeto. A partir da análise do DFT é feita uma estimativa dos tempos necessários para o desenvolvimento de cada atividade e elaborase o cronograma base, que responde à questão Quando?

Obviamente, o planejamento acima é desenvolvido em termos ideais e, quase sempre, ele será irreal excedendo os tempos, custos e disponibilidade de pessoal. Em alguns casos apenas um ou dois desses

fatores limitantes são excedidos o que torna sua correção mais simples. Em casos mais extremos o projeto torna-se inviável ou os objetivos de verão ser redefinidos.

Num programa de mapeamento geológico o custo total está diretamente relacionado ao volume de informação necessário à elaboração do mapa final. A informação mais barata é aquela obtida na literatura pré-existente e a mais cara, aquela obtida no campo. A informação obtida através de análise de dados de sensoriamento remoto situa-se numa posição intermediária, dependendo do grau de sofisticação desejado (análise visual, automática, etc.). Levando-se em conta esses fatores chegou-se ao DFT mostrado na figura 1.

A fase de planejamento já foi discutida acima e estamos admitindo que o projeto está dentro das limitações sendo portanto considerado viável. Recomenda-se que a fase de planejamento seja uma prévia de todo o projeto simulando-se todos os fatores favoráveis ou adversos que possam ocorrer de modo a evitar surpresas desagradáveis. Um ponto importante nos programas que contaram com a participação do autor refere-se à integração dos elementos da equipe. Nesses programas a equipe participou de todas as atividades indistintamente. Na opinião do autor foi essa integração a principal responsável pela elevada eficiência daqueles programas. O autor teve oportunidade de conhecer projetos onde a equipe foi desmembrada em grupos, cada um desenvolvendo uma determinada atividade paralelamente. Por exemplo, um grupo coletava e analisava a literatura e fazia a integração de dados, outro grupo executava a foto interpretação e outro grupo desenvolvia os trabalhos de campo. Essa integração do conhecimento resultou, geralmente, numa baixa eficiência e alto custo dos projetos. Serão discutidos a seguir, os aspectos mais importantes das diversas etapas da solução proposta.

2.4. Coleta e Análise de Dados

A importância desta fase é indiscutível, é muito mais barato e lógico coletar o maior volume possível de informação numa biblioteca do que no campo. Os resultados da atividade profissional dos geólogos fica registrada de alguma maneira: publicações ostensivas, relatórios internos, contatos pessoais, etc. De um modo geral, a pesquisa bibliográfica deve ser iniciada pelos trabalhos mais recentes em cujas bibliografias serão localizados os trabalhos mais antigos, numa verdadeira reação em cadeia. Através desse procedimento, que pode ser combinado com a consulta às bibliografias e índices de geologia, é possível a identificação e seleção dos trabalhos existentes sobre a região de interesse. A consulta pessoal aos principais geólogos que nela trabalharam poderá cobrir possíveis lacunas e propiciar a obtenção de informações inéditas.

Normalmente, a análise dos trabalhos prévios é iniciada juntamente com sua obtenção. Quando se analisa um trabalho deve-se tentar isolar os dados que o autor coletou das interpretações resultantes. A descrição de um afloramento, uma análise petrográfica, etc. São exemplos de dados. Um modelo para a evolução tectônica de uma região é um exemplo de interpretação. Estas podem se modificar constantemente, em função de modismos, ao passo que aqueles são mais permanentes. Nesse aspecto, o autor observou que quanto mais antigo o trabalho mais rico em dados ele é, funcionando como uma verdadeira caderneta de campo tal a riqueza de informações que eles contém. Nesta etapa é imprescindível uma base cartográfica para a locação dos dados à medida que eles forem sendo coletados, utilizando-se cores e símbolos para a representação de litologias, estruturas, ocorrências minerais, etc. Cuidados especiais de verão ser tomados com relação àquelas áreas onde ocorrem muitas divergências entre os autores, pois elas deverão receber maior atenção na foto interpretação e verificação de campo.

Na prática, a análise dos dados prossegue ao longo de todo o programa, especialmente durante a fotointerpretação e elaboração do mapa e texto finais.

2.5. Fotointerpretação

Dentro do contexto deste trabalho, esta é a fase mais importante. Inicialmente, deverão ser feitas algumas considerações acerca do conteúdo em informação de uma imagem. Suponhamos uma fotografia aérea convencional com 23 cm de lado e resolução em torno de 40 pares de linhas/mm, o que resulta em 9200 linhas com 9200 colunas de elementos de resolução (pixels), ou seja, cerca de 84 milhões de pixels. O papel fotográfico comum não consegue reproduzir mais de 15 níveis de cinza. Para representar esses níveis de cinza utiliza-se a unidade básica de medida de informação que é o bit (binary digit), representado pelos algarismos de um sistema de numeração em base 2. Assim, para representar 15 unidades necessitamos quatro dígitos (bits), os quais somente podem assumir dois valores, 0 e 1. O dígito mais à direita corresponde a 2^0 , o seguinte a 2^1 , etc. Se todos os dígitos forem iguais a 1 eles corresponderão a potências de 2 naquela posição, caso contrário correspondem a zero. Os quinze níveis de cinza de uma fotografia aérea poderiam ser representados por quatro bits: 1111 ($2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ ou $8+4+2+1$). Na realidade com quatro bits poderão ser representados 16 níveis de cinza, variando entre 0000, 0001, 0010, 0011, ... e 1111. Deste modo, cada pixel contará com quatro bits de informação e a foto como um todo cerca de 340 milhões de bits. Em termos mais palpáveis, o que significa esse volume de informação? O autor tomou, ao acaso, um exemplar do Jornal da Tarde e contou o número de letras em diversas áreas com 100 cm². Como o alfabeto português possui 26 letras mas são usados 10 algarismos mais alguns símbolos especiais, para representá-los serão necessários 6 bits. Feita a contagem, chegou-se a um valor em torno dos 70 milhões de bits, isto é, uma fotografia aérea contém tanta informação quanto cinco exemplares do Jornal da Tarde.

O processo de fotointerpretação consiste basicamente em "ler" a informação contida numa imagem e traduzi-la para uma linguagem mais compreensível para o geólogo (mapa geológico ou fotogeológico). Para esse processo de leitura pode ser feita a seguinte analogia: os níveis de cinza que um elemento de resolução pode ter representam as letras do alfabeto; arranjos regulares de elementos tonais (texturas) correspondem às palavras e associações de texturas (estruturas) correspondem a frases que possuem alguma mensagem implícita. Vista sob este ângulo, a fotointerpretação nada mais é do que a tradução, para uma linguagem compreensível, de um código especial.

Antes de passar à discussão dos métodos de interpretação, devem ser feitas algumas considerações relativas ao conteúdo em informação das imagens LANDSAT e de radar. Uma cena LANDSAT-MSS corresponde a uma área de 185 x 185 km, imageada em 2340 linhas com 3482 pixels por linha, ou seja, mais de 8 milhões de pixels. Entretanto, cada pixel é analisado em quatro intervalos espectrais resultando em quatro imagens distintas, com um total de mais de 32 milhões de pixels. No caso do MSS, os sensores conseguem discriminar 64 níveis de cinza, o que pode ser codificado por 6 bits, equivalendo a 195 milhões de bits no total. Os produtos fotográficos são mais pobres em informação, da ordem de 3600 bits por km². As imagens originais de radar possuem cerca de 10000 bits/km², não mero esse que diminui para os mosaicos fotográficos e, muito mais, para as cópias em "off set". Esse volume total de informação possível, raramente é atingido pois normalmente ocorre uma certa dose de redundância. Por exemplo, imagens LANDSAT infravermelhas de áreas oceânicas serão totalmente negras, possuindo um baixíssimo nível de informação, isto é, possuirão alta redundância. Em condições normais, as imagens do canal 5

do LANDSAT apresentarão menor redundância que as correspondentes ao canal 7. As imagens de radar são altamente redundantes pois apresentam um tom quase uniforme de cinza, exceto em áreas movimentadas topograficamente, onde surgirão tons brancos e negros. Deste modo, é possível de finir matematicamente qual imagem é melhor, bastando determinar a quantidade de informação real que ela contém. Entretanto, essa não é a tarefa simples pois ela requer equipamento especializado. Assim sendo, o autor pode apenas transmitir sua experiência pessoal. Para a região Amazônica, as imagens do canal 7 do MSS do LANDSAT demonstraram ser as melhores para mapeamento geológico, vindo em seguida as imagens de radar. Estas são insuperáveis em condições de elevada cobertura de nuvens. Para o centro e sul do país, a melhor imagem é o canal 5 do MSS, seguido do canal 7. As imagens de radar apresentam problemas em áreas muito planas ou muito montanhosas, que são características para essa parte do país. Para a região nordeste os melhores resultados foram obtidos com as imagens de radar, muito embora prejudicados pela topografia plana. As imagens LANDSAT são prejudicadas pelas nuvens tipo "cumulus" ("pipoca") que estão sempre presentes.

A leitura de um jornal, por exemplo, é feita de modo seletivo, desprezando-se os assuntos que não interessam ao leitor. Essa seletividade é característica da personalidade do leitor, manifestada pelos seus interesses, seu nível cultural, sua sensibilidade, etc. Na fotointerpretação o processo é similar, pois o geólogo está interessado em rochas e estruturas e tende a desprezar a cobertura vegetal, o padrão de ocupação humana, etc. Diversos autores, dentre os quais destacamos DeHAAS et al. (1967), discutem a fotointerpretação como uma forma de percepção visual, cuja eficiência é determinada por experiência e conhecimento. Estes fatores manifestam-se pela disponibilidade de um conjunto de expectativas que dirigem todo o processo. Nesse contexto, as expectativas acerca do ambiente visual são constantemente testadas durante o ato da percepção. Em outras palavras, o processo de fotointerpretação é sempre tendencioso pois o intérprete, no caso um geólogo, terá uma preferência natural pelas informações que vão ao encontro de suas expectativas. Essa tendenciosidade pode ser minimizada através de procedimentos iterativos, os quais poderão aumentar ou diminuir a probabilidade das expectativas e, conseqüentemente, levar à aceitação ou rejeição das iniciais. A habilidade em se atingir hipóteses com maior probabilidade está diretamente relacionada ao nível de educação e conhecimento do intérprete, o qual se manifesta através de sua capacidade em dedução lógica e raciocínio associativo.

A discussão do processo de percepção está fora do contexto deste trabalho. Entretanto, o conhecimento de sua essência auxiliará a compreensão da metodologia proposta. A visão é a principal fonte de informação do processo de percepção e é o único que nos interessa no momento. Qualquer estímulo visual é encaminhado a uma parte do cérebro que funciona como uma memória a curto prazo. A informação aí contida é comparada com os arquivos da memória permanente, e armazenada se houver interesse ou destruída em caso contrário. Nota-se que nessa etapa funcionam os "filtros" de seleção da informação, os quais estão condicionados pelas expectativas prévias. A informação armazenada tem dois caminhos a seguir: reconhecimento imediato com base em padrões já armazenados ou identificação através de processos dedutivos. Em qualquer dos casos, a resposta do intérprete será a marcação de algum símbolo no "overlay". No caso da fotointerpretação os estímulos podem ser repetidos quantas vezes se desejar (reforço), auxiliando os processos dedutivos. De qualquer modo, esses conceitos podem ser sumarizados na conclusão, um tanto óbvia, de que os melhores resultados serão obtidos pelo intérprete que:

- a. conhecer as peculiaridades da imagem que está analisando (sensoramento remoto);
- b. tiver maior experiência profissional na área (geologia);
- c. conhecer a região objeto do estudo.

Esse conhecimento estará armazenado na memória, disponível para as com parações, deduções, etc. Se parte desse conhecimento não estiver dispo nível os resultados estarão prejudicados. Este é o motivo da recomendação anterior para que, no caso de trabalho em equipe, todos os membros participem de todas as atividades, de modo a formar uma "memória cole tiva". No caso de trabalho individual, a sequência das etapas servirá como um processo de aprendizagem ou aquisição de conhecimentos.

De modo a propiciar u'a melhor utilização da informação dispo nível nas imagens e minimizar a tendenciosidade, diversas metodologias têm sido propostas, tais como:

- a. Uso de material de referência;
- b. Uso de chaves de interpretação;
- c. Método lógico;
- d. Partir do geral para o particular;
- e. Partir do conhecido para o desconhecido
- f. Metodica (um tópico por vez);
- g. Convergência de evidência, etc.

Todas as metodologias propostas têm as suas vantagens e limitações e sua aplicabilidade dependerá do problema abordado. Vários desses méto dos foram desenvolvidos durante a IIª Guerra Mundial de modo a facilit ar as atividades de reconhecimento aéreo. De um certo modo, o método lógico é o que mais se aproxima daquilo que foi discutido nos parágra fos anteriores, muito embora sua aplicação tenha resultado numa exces siva "automatização" dos procedimentos. Assim sendo, não optamos por ne nhum desses procedimentos em particular, mas usamos todos eles, depen dendo do problema em estudo. Por outro lado, essa atitude seria um tan to anárquica, no sentido de que não existiria nenhuma diretriz básica para o desenvolvimento da interpretação. Assim sendo, foi adotada uma sistemática de se elaborar diversos "overlays" onde diferentes tipos de informação são individualizados:

a. "overlay" geográfico, incluindo as feições culturais, os prin cipais rios e acidentes geográficos, as vias de transporte, etc. A este "overlay" é adicionada a toponímia, de modo a permitir seu uso como ba se planimétrica para as demais etapas do projeto;

b. "overlay" de drenagem detalhada, incluindo todos os canais i dentificáveis nas imagens. A análise dos padrões de drenagem é uma das ferramentas mais poderosas da fotogeologia, pois permite isolar fei ções litológicas e estruturais;

c. "overlay" geomorfológico, onde são marcadas as escarpas, cris tas, limites de planícies e planaltos, zonas de erosão e sedimentação, assimetrias e formas de vales, etc. A importância deste overlay também é muito grande, já que feições geológicas e formas topográficas são in timamente relacionadas;

d. "overlay" de lineamentos relacionados a feições estruturais (falhas, juntas, xistosidade, acamamento contatos, eixos de dobras, di ques, etc.);

e. "overlay" de zonas homólogas, ou zonas de textura homogê

nea. Quando se dispõe de diversos canais, deve-se produzir um "overlay" para cada canal. O mesmo pode ser recomendado para imagens obtidas por diferentes sensores, em diferentes épocas ou em diferentes altitudes.

A integração dos diversos "overlays" resultará num mapa fotogeológico onde as unidades litológicas estarão associadas a texturas, relevo e drenagem características e as estruturas interpretadas a partir dos lineamentos, anomalias de drenagem e assimetrias no relevo. Somente em casos muito espaciais as litologias poderão ser identificadas (calcários, por exemplo). Assim sendo, o mapa fotogeológico não é um mapa geológico verdadeiro, mas uma representação da possível distribuição de rochas e estruturas.

Se dados pré-existentes são utilizados no processo de integração, as feições conhecidas poderão ser isoladas de modo a concentrar os esforços nas áreas desconhecidas. Se foi feita uma análise anterior de imagens de satélite e, no momento fotografias aéreas estão sendo interpretadas, estaremos partindo do geral para o particular. A separação de "overlays" acima sugerida é, de certo modo, uma análise metódica. Na integração dos "overlays" usaremos frequentemente a convergência de evidências para a tomada de decisões. Ao fazer uso das características espectrais de materiais naturais, conhecimento de situações geológicas e/ou do conhecimento prévio da geologia da área, estaremos utilizando o método lógico.

2.6. Mapa Geológico Preliminar

No momento que o mapa fotogeológico for combinado com os dados pré-existentes ter-se-á um mapa geológico, pois litologias serão identificadas, bem como suas relações espaciais (estratigrafia e estrutura).

O mapa preliminar deverá passar por uma análise crítica, de modo a serem identificadas as incoerências e discrepâncias, bem como aquelas áreas mais pobres em informação, para as quais as extrapolações serão mais arriscadas.

2.7. Verificação de Campo

Esta fase é, sem dúvida a mais importante, pois durante o seu desenvolvimento as hipóteses formuladas nas etapas anteriores são testadas e dados adicionais são coletados. O planejamento dos trabalhos de campo inicia-se já nas etapas anteriores quando áreas carentes de informação e situações problemáticas foram identificadas. Por outro lado, a base planimétrica elaborada na fase anterior servirá para otimizar os roteiros a serem percorridos. A densidade de estações de observação deverá ser compatível com a escala utilizada, e homogeneamente distribuída pela região. Cuidade especial deverá ser dada à documentação (cadernetas de anotações, fotos, mapas, amostras, etc.), evitando-se problemas decorrentes de má anotação, extravio, saída de algum membro da equipe, etc. A informação coletada no campo é a mais cara e, portanto, sua obtenção deverá ser otimizada ao máximo.

No decorrer do trabalho de campo os dados coletados deverão ser integrados ao mapa preliminar. Caso a equipe julgue necessário, o planejamento inicial poderá ser reformulado reduzindo o trabalho em algumas áreas e aumentando em outras. O mapa geológico que está tomando forma deverá sofrer uma análise crítica constante, de modo a se evitar surpresas de última hora.

2.8. Análise e Avaliação

Nesta etapa procura-se, basicamente, responder à seguinte questão: Os objetivos foram atingidos? Em caso positivo passa-se à etapa seguinte ou, em caso negativo, realimenta-se o sistema retornando-se a qualquer das etapas anteriores.

A possibilidade, muito grande por sinal, de ter que realimentar o sistema, é um dos pontos importantes da metodologia proposta. O planejamento, por mais limitado que tenha sido, deve ser feito com folga de tempo e dinheiro de modo a permitir, por exemplo, um retorno ao campo ou o detalhamento de algum aspecto por fotointerpretação. Nos programas desenvolvidos pelos geólogos do INPE foi prevista pelo menos uma volta ao campo, de modo a esclarecer possíveis dúvidas ou detalhar pontos de maior importância.

2.9. Conclusão

Nesta fase, a coleta de informação já deve estar completada restando, eventualmente, dados de análises laboratoriais. Como toda a informação em mãos a equipe completa o mapa e redige o respectivo texto explicativo.

3. CONCLUSÃO

O uso adequado da sistemática acima discutida pode resultar numa grande otimização, em termos de tempo e dinheiro, de programas de mapeamento geológico básico. Em alguns casos, que não serão discutidos por ética, estudos comparativos de custos demonstraram ser possível uma redução por um fator de 2 a 3 vezes, para resultados equiparáveis.

De modo a orientar possíveis interessados, o autor recomenda o trabalho de BARIOU e LECAMUS (1981) que consiste, basicamente, numa bibliografia comentada sobre os métodos e a problemática da fotointerpretação.

BIBLIOGRAFIA

- BARIOU, R. e LECAMUS, D. - 1981 - Télédétection: Méthodes et problématique de l'interprétation. Photo-interpretation n° 4, fasc. 6 e n° 5, fasc. 7.
- DeHAAS, W.G.L.; HEMPENIUS, S.A. e VINK, A.P.A. - 1967 - Logical thoughts on the psychology of photo-interpretation. Arch. Int. Photogramm. 16:143-146.
- INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) - 1972 - Engenharia de Sistemas: Planejamento e Controle de Projetos. Ed. Vozes, Petrópolis, 307 pp.

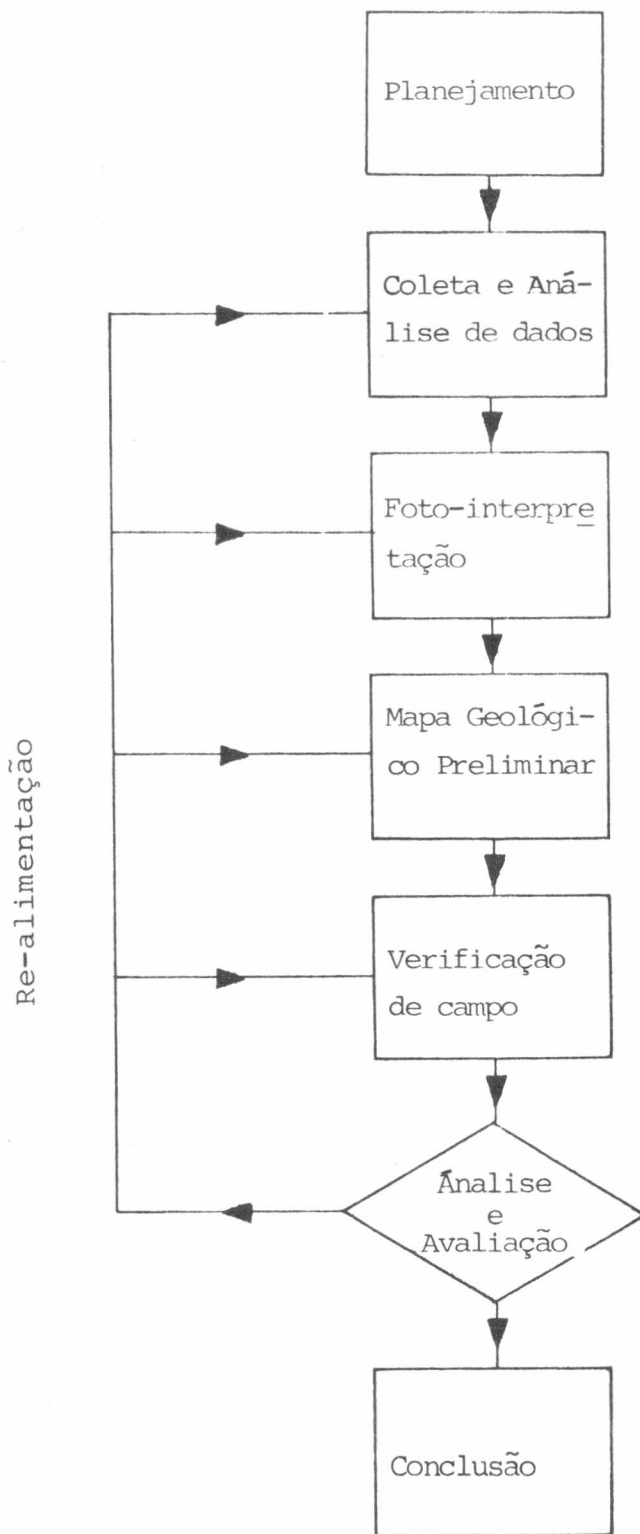


Figura 1 - Diagrama de fluxo de trabalho para mapeamento geológico baseado na utilização de dados de sensoriamento remoto.