

CARTA GEOLÓGICA AO MILIONÉSIMO DA FOLHA DE BELO HORIZONTE COM BASE NA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT

Gilberto Amaral*
Juercio T. de Mattos**
Raimundo Almeida Fº**
Roberto P. da Cunha**
Waldir R. Paradella**

RESUMO

De modo a testar a aplicabilidade de imagens multi-espectrais do satélite LANDSAT-1 ao mapeamento geológico de áreas complexas e ricas em informações geológicas, os autores selecionaram a folha de Belo Horizonte da Carta Internacional ao Milionésimo. A metodologia utilizada foi em tudo semelhante àquela de mapeamentos geológicos convencionais, tendo sido interpretados 12 quadros de imagens LANDSAT, executados 12.000 km de caminhamentos geológicos e analisadas mais de 300 referências bibliográficas.

Os resultados obtidos demonstraram claramente o enorme potencial das imagens LANDSAT para mapeamentos geológicos regionais. Como subproduto, o projeto permitiu atualizar a base cartográfica em escala 1:1.000.000.

Do ponto de vista geológico, os resultados obtidos permitiram uma reformulação de sub-divisões estratigráficas previamente propostas, o mesmo ocorrendo com esquemas anteriores de evolução geotectônica da região abrangida. Nesse sentido as áreas mais críticas foram a Serra do Espinhaço e suas relações com o Supergrupo Minas e Grupos Bambuí e Macaúbas, e a Faixa de Dobramentos Brasília. Foi possível, ainda, um maior detalhamento das unidades Mesozóicas e Cenozóicas.

Da maior importância, tanto geotectônica como metalogênica, foi a caracterização e delimitação detalhada do Arco da Canastra, associado a importantes falhamentos e intrusões alcalinas e ultrabásicas. Foi possível, ainda, a delimitação de áreas com predominância de calcários do Grupo Bambuí as quais, aliadas a feições estruturais controlam as principais mineralizações desta unidade.

ABSTRACT

In order to test the applicability of LANDSAT multispectral imagery for regional geological mapping of complex areas rich in geological information the Belo Horizonte quadrangle of the International Chart of the World on the Millionth Scale was selected. The methodology was similar to conventional geological mapping with interpretation of 12 LANDSAT frames, 12.000 km of geological tranverses and analyse of nearly 300 literature references.

The results obtained clearly demonstrate the enormous potentiality of LANDSAT imagery for such purposes. As a by-product of the project and updating of the 1:1.000.000 map was made.

From the geological point of view the results permitted a review of previous stratigraphical classifications and tectonic - structural analyses. The amount of information now available for the region imposes several questions to previous geotectonic evolution schemes. In that sense the critical regions were the Serra do Espinhaço and its relations with the Minas Supergroup and Macaúbas and Bambuí Groups, and the Brasília Folded Belt. It was also possible a better definition of Mesozoic and Cenozoic units.

From the point of view of mineral resources, the characterization and delineation of the Canastra Arch, associated to important faulting and alkalic-ultrabasic magmatism, and the delineation of limestone rich areas within the Bambuí Group, associated with Zn-Pb deposits, were the most important results of the project.

*Instituto de Geociências — Universidade de São Paulo e Pesquisador colaborador do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)

**Geólogos do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)
Caixa Postal, 515 — 12.200 — São José dos Campos — SP

I – INTRODUÇÃO

As Folhas Geológicas ao Milionésimo, atualmente em fase conclusiva, são os principais projetos de pesquisa em desenvolvimento pelo Grupo de Recursos Minerais do Instituto de Pesquisas Espaciais, objetivando estabelecer metodologias de utilização das imagens multiespectrais dos satélites LANDSAT. O objetivo principal desses projetos é testar a aplicabilidade daquelas imagens ao mapeamento geológico regional em escala ao milionésimo. Quando possível os resultados desses projetos são comparados em termos de custo-tempo-efetividade com resultados similares obtidos por meios convencionais ou pela utilização de outras técnicas de sensoriamento remoto. A importância desses estudos torna-se óbvia ao lembrarmos que o INPE é órgão subordinado à Secretaria de Planejamento da Presidência da República.

O presente trabalho descreve os principais resultados obtidos para a Folha de Belo Horizonte (SE-23) da Carta Internacional ao milionésimo. Essa folha foi selecionada de modo a se testar a aplicabilidade de imagens LANDSAT ao mapeamento geológico de áreas complexas e ricas em informações geológicas além de elevada potencialidade mineral. A Folha de Belo Horizonte é limitada pelos meridianos 42º e 48º W e pelos paralelos 16º e 20º S, abrangendo uma área com aproximadamente 300.000 km².

O objetivo principal foi o de se definir o grau de detalhamento possível na delimitação de unidades estratigráficas e delineação de feições estruturais, bem como suas relações com depósitos minerais conhecidos. Como objetivos secundários esperava-se um aumento na quantidade de informação geológica, sua integração e definição de pontos críticos e/ou áreas problema. Esperava-se, ainda, definir áreas ou situações favoráveis para a prospecção de diferentes tipos de depósitos minerais. O presente relato, apesar de sucinto, pretende demonstrar que aqueles objetivos foram atingidos, pelo menos a um nível compatível com a escala do mesmo.

II – MATERIAIS E MÉTODOS

Muito embora as imagens do satélite LANDSAT-1 tenham se constituído no principal material utilizado, foram também analisadas imagens de radar de visada lateral do Projeto Radam, fotografias do laboratório espacial SKYLAB e fotografias aéreas em branco e preto, coloridas normais e coloridas infravermelhas obtidas em diversas ocasiões. No referente às imagens LANDSAT foram interpretadas 12 cenas em cópias em papel em escalas 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000, dos canais 5 e 7. Para algumas cenas foi possível a utilização de composições coloridas e/ou fitas compatíveis com computador (CCT).

A metodologia utilizada consistiu nas seguintes fases:

- 1) Obtenção das imagens LANDSAT, SKYLAB, de radar e aerofotográficas;
- 2) Coleta e análise de informações geológicas disponíveis;
- 3) Fotointerpretação;
- 4) Confecção de mapa geológico preliminar;
- 5) Verificação de campo;
- 6) Integração dos resultados;
- 7) Análise e verificação;
- 8) Confecção do mapa geológico final;
- 10) Elaboração de texto explicativo.

A seqüência de fases pode sofrer realimentação, dependendo dos resultados obtidos na fase 7. Por exemplo, foram efetuadas três campanhas de verificação de campo a fim de dirimir dúvidas surgidas ou da análise de dados preexistentes ou da fotointerpretação.

Para a maior parte das atividades de fotointerpretação foi utilizada a metodologia tradicional consistindo na delineação do padrão de drenagem; das feições culturais; das feições morfológicas e/ou estruturais e das unidades com textura homogênea. A principal diferença reside no fato de não se trabalhar com apenas um tipo de imagem mas com pelo menos dois (canais 5 e 7) e, em alguns casos com até 16 imagens diferentes. Nas áreas onde o grau de detalhamento era importante foram usadas ampliações de até 1:250.000; em regiões críticas, como por exemplo Quadrilátero Ferrífero e Faixa Brasília, foram efetuadas interpretações automáticas utilizando-se as fitas compatíveis com computador e do equipamento "Image - 100" de análise multiespectral. Para o Quadrilátero Ferrífero, sul da Serra do Espinhaço e região de Vazante foram utilizadas fotografias aéreas coloridas normais e infravermelhas.

No referente a dados preexistentes foram analisados mais de 300 ítems, compreendendo publicações, relatórios, teses e mapas isolados. A verificação de campo foi desenvolvida em três etapas totalizando 12.000 km de caminhamentos e descrição de mais de 3.000 estações geológicas. Os dados recolhidos nessas campanhas estão descritos em relatórios parciais (AMARAL et al. 1975 a, 1975 b e 1976).

A notável qualidade geométrica e a precisão no posicionamento das imagens LANDSAT resultou, como subproduto, na atualização da base cartográfica da folha em questão, especialmente no que se refere ao traçado de estradas, cursos d'água e localização de cidades. Esta tarefa foi desenvolvida em colaboração com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

III – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O mapa em anexo, em versão simplificada, sumariza os resultados obtidos. À primeira vista pode-se notar o elevado grau de detalhamento tanto na delimitação de unidades lito-estratigráficas como na delimitação de feições estruturais. Deve-se enfatizar aqui, que o presente trabalho tem caráter preliminar e foi limitado por normas de publicação. A versão definitiva está em fase final de elaboração pelo INPE. A discussão que se segue levantará apenas os pontos principais do trabalho e os problemas identificados. Essa discussão seguirá a coluna estratigráfica do mapa.

III.1 – Pré-Cambriano Indiviso

Rochas predominantemente granito-gnáissicas que constituem o embasamento das unidades mais jovens ou que se constituem em variações laterais de fácies metamórfica das mesmas, não individualizáveis na presente escala de trabalho, foram reunidas sob a designação geral de Pré-Cambriano Indiviso. Para algumas regiões com grande variedade litológica e superposição de eventos tectônicos será utilizada a designação de complexo.

O Pré-Cambriano Indiviso propriamente dito está restrito à parte sul da folha, abrangendo as regiões de Pará de Minas, Belo Horizonte, Caeté, Itabira, Monlevade, Cel. Fabriciano, Caratinga, Guanhães e Peçanha. A litologia predominante é a de gnaisses com graduações para granitos anatóticos ou migmatitos, intensamente deformados. Em áreas restritas ocorrem pegmatitos, anfíbolitos, intrusivas básicas e ultrabásicas. O metamorfismo é geralmente elevado, atingindo a fácies granulito, particularmente no vale do rio Doce. A análise fotogeológica conjugada com dados petrográficos e análises geocronológicas disponíveis, além de observações de campo, indicam que essas áreas sofreram pelo menos duas fases de deformação e metamorfismo. A presença de lentes de quartzitos e itabiritos permite supor que em grande parte essas rochas tenham resultado do metaformismo das seqüências características do Quadrilátero Ferrífero (Supergrupos Rio das Velhas e Minas).

O complexo de Barroco constitui um extenso afloramento do embasamento do Grupo Espinhaço na porção mais setentrional da folha, entre as cidades de Francisco Sá e Grão Mogol. É formado preliminarmente por migmatitos geralmente exibindo textura cataclástica. Gnaisses, granitos, granodioritos e intrusivas básicas ocorrem subordinadamente. O contato deste complexo com as rochas do Grupo Espinhaço é brusco e em alguns locais associado a intenso fraturamento.

O complexo de Modestino Gonçalves ocorre nas imediações da cidade de mesmo nome, situada entre Diamantina e Araçuaí. Seus afloramentos são relativamente raros, predominando migmatitos e granitos. A noroeste passa a biotita-xistos incluídos no Grupo Macaúbas. A sul é limitado por quartzitos provavelmente do Grupo Espinhaço. As relações de contato entre estas unidades não são claras. Entretanto, as diferenças no grau metamórfico indicam que as rochas do complexo são mais antigas que as daqueles Grupos.

A designação complexo Borrachudo foi utilizada com caráter operacional para designar uma área anômala do ponto de vista foto-interpretativo e inclui parte do granito Borrachudo de DORR e BARBOSA (1963). Verificações de campo nessa área mostraram a presença de diversos tipos litológicos, tais como anfíbolitos e gnaisses. A sudeste esse complexo entra em contato com clorita-xistos do Grupo Nova Lima. No restante, ela grada para migmatitos e gnaisses do Pré-Cambriano Indiviso.

O complexo de Gouvêa é o melhor conhecido, tendo sido objeto de diversos trabalhos. PFLUG e CARVALHO (1964) descrevem-no detalhadamente. Predominam granitos porfiróides com enclaves de filitos, quartzitos e itabiritos. Metadiabásios ocorrem como corpos intrusivos. Os contatos com o Grupo Espinhaço, sobrejacente são tectônicos, exercidos principalmente por falhas de empurrão, com desenvolvimento de cianita — xistos nos planos de falha. O complexo de Gouvêa parece se constituir num bloco alongado limitado a leste e oeste por falhas de empurrão com direção N-S e mergulho de aproximadamente 45° E.

Para a individualização dos complexos e áreas de Pré-Cambriano Indiviso foi utilizada principalmente a imagem do canal 7 que fornece mais informação estrutural e morfológica. Diversas feições estruturais, especialmente a oeste de Belo Horizonte e ao norte de Coronel Fabriciano apresentam estreita relação com as anomalias magnéticas obtidas pelo Convênio Geofísico Brasil-Alemanha.

III.2 – Supergrupo Rio das Velhas

Sob esta designação foram reunidas as rochas que ocorrem a sudeste de Belo Horizonte, denominadas "Série" Rio das Velhas por DORR et al. (1957), e uma importante seqüência de rochas similares que ocorrem entre Belo Horizonte e Pará de Minas.

Esta unidade é constituída predominantemente por clorita-xistos, sericita-xistos, filitos e rochas metavulcânicas. Ocorrem subordinadamente grauvacas, rochas ferríferas, quartzitos e conglomerados. Ela apresenta um nítido caráter de "greenstone belt", característico do Pré-Cambriano Inferior (mais antigo que 2.700 milhões de anos), o que foi confirmado por datações geocronológicas tanto publicadas, como inéditas.

Estudos petrográficos apresentados por diversos autores indicam que esta unidade foi submetida a pelo menos dois eventos metamórficos. A estrutura é complexa e profundamente influenciada por esforços compressionais de leste e sudeste para oeste e noroeste.

A delimitação desta unidade foi feita com base nos canais 5, 6 e 7 das imagens LANDSAT. Os principais problemas encontrados referiram-se aos contatos com rochas do Pré-Cambriano Indiviso, havendo indicações de passagem gradual de uma unidade para outra. Diversas feições estruturais, especialmente dobramentos, foram facilmente identificadas mas não puderam ser representadas no mapa. De um modo geral as estruturas do Supergrupo Rio das Velhas coincidem com aquelas do Pré-Cambriano Indiviso, orientadas preferencialmente para NW.

III.3 – Supergrupo Minas

Foram incluídas nesta unidade as rochas da "Série" Minas como definidas por DORR et al. (1957) e rochas correlacionáveis aflorantes fora do Quadrilátero Ferrífero, particularmente na região de Guanhães. Devido a critérios de nomenclaturalito-estratigráficaos autores preferiram separar as rochas quartzíticas e filíticas da Serra do Espinhaço como um Grupo independente, tal como sugerido por MORAES REGO (1936).

Esta unidade é constituída predominantemente por filitos e quartzitos. Secundariamente ocorrem rochas ferríferas, dolomitos, calcários, conglomerados, grauvacas, xistos e metavulcânicas. O metamorfismo aumenta para leste e nordeste do Quadrilátero Ferrífero, podendo passar a gnaisses com enclaves de quartzitos e itabiritos, como na região de Monlevade e no vale do Suaçui. Nesta última região, a litologia predominante é de biotita e muscovita-xistos e gnaisses, ocasionalmente cortados por veios pegmatíticos. Existem fortes indicações para a passagem gradual do Supergrupo Minas para o Pré-Cambriano Indiviso na região do vale do rio Doce, onde são freqüentes remanescentes de rochas mais refratárias ao metamorfismo, tais como os quartzitos e itabiritos. Determinações geocronológicas inéditas indicam uma idade superior a 2.000 m. a. para as rochas desta unidade (CORDANI et al., 1976).

Esta unidade foi facilmente mapeada nas imagens LANDSAT, especialmente no canal 7, onde os corpos quartzíticos e itabiríticos aparecem fortemente contrastados. Mais ainda, o relevo é mais acentuado o que auxilia em muito a delineação dos contatos. Os corpos de minério de ferro (ou melhor, da Formação Cauê do Grupo Itabira) puderam ser claramente individualizados por interpretação de fitas magnéticas no sistema I-100. A interpretação visual possibilitou a identificação das estruturas mais importantes que afetam essa unidade, além de algumas não mapeadas. A visão sinótica possibilitada pelas imagens LANDSAT permitiu verificar que o Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero constitui um grande anticlinório recumbente formado por esforços de leste para oeste. Essa feição é cortada por diversas falhas de empurrão paralelas ao plano axial e por falhas transcorrentes e de caráter desconhecido. Esse padrão estrutural extremamente complexo foi o responsável por situações estratigráficas anômalas ou incorretamente diagnosticadas existentes na literatura. É o caso, por exemplo, dos quartzitos das serras do Ouro Branco, Itacolomi, Caraça e Tamanduá, que até o presente não têm sua posição estratigráfica bem definida. Esta visão global da área permitiu observar claramente a ligação entre a serra do Espinhaço e Quadrilátero Ferrífero e o flagrante contraste estrutural entre essas duas áreas, a segunda muito mais intensamente deformada que a primeira. Observa-se a colocação de massas quartzíticas (serra do Tamanduá) entre "escamas" de falhas de empurrão formadas por rochas do Supergrupo Minas e do Pré-Cambriano Indiviso. É importante notar que o mapa de anomalias aeromagnéticas mostra claramente a ligação do Quadrilátero Ferrífero com a região de Guanhães, passando por Monlevade e Itabira e não para norte como tem sido sugerido pelos geólogos da Missão Alemã (sumarizados por PFLUG e RINGER, 1973). Estes fatos, aliados a estudos petrográfico-geoquímicos (HIRSON, 1967) e determinações geocronológicas inéditas para o Quadrilátero Ferrífero (CORDANI et al., 1976), complexo de Gouvêa (R. Machado, 1975) e Bahia (B. B. de Brito Neves, comunicação pessoal) indicam fortemente que as seqüências da Serra do Espinhaço são mais novas que o Supergrupo Minas, além de apresentarem significativas diferenças litológicas e estruturais.

III.4 – Grupo Espinhaço

Antes da década dos 60, os quartzitos, conglomerados e filitos que ocorrem na Serra do Espinhaço eram mapeados como “Série Itacolomi”, por sua similaridade com as rochas desta unidade no Quadrilátero Ferrífero. A partir de meados daquela década diversos geólogos, partindo de uma proposição de PFLUG (1968) essas rochas têm sido correlacionadas ao Supergrupo Minas, acima discutido. Os motivos expostos no ítem anterior foram suficientemente fortes para que os autores separassem ambas unidades no mapa ora discutido. Problemas semelhantes motivaram MORAES REGO (1936) a sugerir a separação entre as seqüências da Serra do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero.

O Grupo Espinhaço ocorre caracteristicamente na serra de mesmo nome e serras subordinadas, além de se constituir na porção central do anticlinório da serra do Cabral. Segundo HIRSON (1967) as rochas da extremidade da Serra do Espinhaço (serra do Cipó) são similares, litológica e petrograficamente, àquelas das serras do Tamanduá, Caraça, Ouro Branco e pico do Itacolomi, dentro do Quadrilátero Ferrífero.

A rocha predominante do Grupo Espinhaço é o quartzito, geralmente sericítico e/ou feldspático. Em diversos locais, como por exemplo na Serra do Cabral o metamorfismo é tão fraco que as rochas podem ser classificadas como arenitos. Mesmo quando metamorizadas essas rochas exibem abundantes estruturas sedimentares, tais como estratificação cruzada, marcas de ondas, acamamento gradacional, etc. Subordinadamente ocorrem filitos, conglomerados monomíticos e polimíticos, quartzitos hematíticos e intrusivas básicas. O padrão tectônico é de “escamas” formadas por diversas falhas de empurrão que aproveitaram principalmente os níveis de filitos para o deslocamento. As falhas de empurrão apresentam direção geral N-S e mergulho para E. O valor do ângulo de mergulho aumenta de leste para oeste, variando de 20° a 70°, aqui já com caráter de falhas inversas. A grande competência dessas rochas não facilitou o dobramento, que ocorre de forma mais localizada, especialmente no flanco E da serra do Espinhaço. A serra do Cabral pode ser classificada como um grande anticlinório, formado por grandes dobras abertas e pouco falhado. Na extremidade sul da serra do Espinhaço a linha de exposição das falhas de empurrão tende a curvar-se para leste, marcando claramente uma compressão de leste para oeste. O mapeamento da folha Brasília, em execução pelo Grupo de Recursos Minerais do INPE está demonstrando a correlação entre o Grupo Espinhaço e o Grupo Chapada Diamantina na Bahia. Datações geocronológicas recentes para esta unidade (B. B. de Brito Neves, comunicação pessoal) indicam que sua idade não ultrapassa 1.300 m. a. Isto, aliado às determinações recentes para o Supergrupo Minas, complexo de Gouvêa e Pré-Cambriano Indiviso, todos com idades superiores a 2.000 m. a. parecem circunscrever o problema e suportar um novo esquema estratigráfico para a região.

O padrão litológico e magmático do Grupo Espinhaço e seu correlato Grupo Chapada Diamantina, aliado a recentes interpretações de dados gravimétricos (N. Haraliy, comunicação pessoal) e determinações geocronológicas pelo método K-Ar (A. C. L. Isotta, inéditas) sugerem que essas seqüências tenham se depositado em bacias sedimentares intracratônicas típicas e remobilizadas durante o clímax do ciclo Brasileiro (900 – 500 m. a.).

A interpretação visual das imagens LANDSAT permitiu a individualização dos quartzitos, filitos e, em casos especiais, de conglomerados e intrusivas básicas, por seus contrastes tonais, densidade de drenagem e morfologia. No mapa em anexo, quando não especificado, a legenda refere-se aos quartzitos. Quando acompanhada dos índices fi ou cg, indica, respectivamente, áreas de filitos ou conglomerados.

III.5 – Grupo Macaúbas

Esta unidade corresponde aproximadamente à formação Macaúbas de MORAES (1930). É constituída predominantemente por rochas clásticas com aspecto brechoide, que podem ser classificadas como metadiamicticos. Ocorrem, ainda, quartzitos, filitos sericíticos, filitos grafitosos, conglomerados polimíticos e monomíticos, biotita-quartzitos e sillimanita e andaluzita-xistos. O grau metamórfico aumenta para leste, sendo que na região de Araçuaí ele começa a apresentar-se feldspatizado, devido à intrusão de granitos e corpos pegmatíticos. Na extremidade norte da serra do Espinhaço, na região do rio Peixe Bravo ocorrem rochas ferríferas que foram atribuídas a esta unidade.

O Grupo Macaúbas ocorre ao longo do flanco oeste da serra do Espinhaço, e distribui-se extensamente na bacia dos rios Jequitinhonha e Araçuaí, na porção nordeste da folha. Recobre discordantemente as rochas do Grupo Espinhaço e Pré-Cambriano Indiferenciado, e é recoberto pelo Grupo Bambuí e por extensas coberturas Cenozóicas. Devido à sua menor competência com relação às rochas do Grupo Espinhaço, o Grupo Macaúbas apresenta-se intensamente dobrado e, aparentemente, pouco fraturado, quando analisado por foto-interpretção. Zonas de falha foram identificadas ao longo do rio Araçuaí e mais ao sul, parecendo convergir para a região de Diamantina. A importân-

cia desses falhamentos na evolução estrutural regional ainda não pode ser estabelecida corretamente. É importante notar que as extensas áreas de afloramento do Grupo Macaúbas somente ocorrem ao norte desses lineamentos, o mesmo acontecendo com as coberturas Cenozóicas. Deve-se mencionar, ainda, que feições similares foram observadas ao sul, acompanhando aproximadamente os rios Piracicaba e Doce, e que limitam as extensas áreas de sedimentação Cenozóica ao sul de Ipinga e Rio Doce. Aparentemente o bloco intermediário, que contém as regiões de Peçanha, Guanhões, Diamantina, etc., foi levantado com relação ao norte e ao sul daquelas zonas de falha. Apesar do seu caráter aparentemente moderno, esses lineamentos parecem estar associados a deslocamentos importantes, de caráter transcorrente na porção norte do Quadrilátero Ferrífero.

III.6 – Formação Jequitaiá

Esta unidade ocorre conspicuamente contornando o anticlinório da serra do Cabral e representa uma variação lateral de fácies tanto sedimentar quanto metamórfica do Grupo Macaúbas. O caráter glacial desta unidade foi recentemente estabelecido por ROCHA CAMPOS et al. (inédito), que identificaram dois níveis de tilitos, arenitos de lavagem glacial, ritmitos (varvitos?), associados a um pavimento estriado de nítida origem glacial. A direção do transporte parece ter sido predominantemente de SE para NW. Estratigraficamente, recobre os quartzitos do Grupo Espinhaço e é recoberta por ardósias e calcários do Grupo Bambuí. A grande diferença no ambiente de sedimentação do Grupo Bambuí e da Formação Jequitaiá permite supor a existência de um hiato na sedimentação entre as duas, não marcado por discordância clara.

As rochas da Formação Jequitaiá apresentam-se em posição sub-horizontal e são pouco fraturadas. Participam apenas dos suaves dobramentos da serra do Cabral. Nas imediações da cidade de Jequitaiá e em alguns pontos da serra do Cabral aparecem cortadas por intrusivas básicas.

III.7 – Grupo Araxá

Sob essa designação foram incluídas rochas metamórficas do fácies epidoto-anfibolito, que ocorrem na porção oeste da folha. As rochas predominantes são os mica-xistos (biotita e muscovita). Secundariamente ocorrem filitos, quartzitos, meta-arcósios, anfibolitos e lentes de mármore. A medida que se avança para oeste essas rochas passam a migmatitos e gnaisses e daí para granitos anatóticos. Os limites dessas passagens são difíceis de se estabelecer, motivo pelo qual foram reunidas sob uma mesma designação, de acordo com a proposição original de BARBOSA (1955).

O padrão estrutural e o grau metamórfico indicam uma nítida vergência para leste e nordeste. Zonas de cisalhamento marcadas pela ocorrência de clorita-quartzo-xisto, às vezes carbonático, apresentando dobramento de arraste parecem indicar falhas de empurrão. Estas rochas têm sido designadas por alguns autores como Formação Ibiá.

As determinações geocronológicas disponíveis para essa unidade, na região em foco, não ultrapassam a casa dos 900 m. a. e exibem um forte "imprint" de idades Brasileiras terminais (500 m. a.).

III.8 – Grupo Canastra

Os filitos associados a espessos pacotes quartzíticos que ocorrem na serra da Canastra, na porção sudoeste da folha, foram incluídos nesta unidade. Ela se prolonga para sul e sudeste, para a região abrangida pela represa de Furnas, onde apresenta maior desenvolvimento. Seu contato com o Grupo Araxá é exercido por uma falha possivelmente transcorrente que passa ao sul da cidade de Araxá. Seu contato com o Grupo Bambuí sobrejacente é claramente discordante, devido principalmente ao padrão estrutural de ambas.

As rochas do Grupo Canastra, na área da folha, dispõem-se num amplo sinclínório tendo em seu centro uma estrutura circular correspondente à intrusão alcalina de Tapira. Seqüências de litologia similar que se estendem para norte, em direção a Brasília, não puderam ser individualizadas dos Grupos Bambuí e Araxá parecendo se constituir numa faixa de transição no grau metamórfico de ambas. O pacote quartzítico que, nessas áreas, marcaria o limite com o Grupo Bambuí tem espessura não superior a 30 m, em contraste com os da serra da Canastra que exibem centenas ou mesmo milhares de metros. Nessas mesmas áreas, os filitos do Grupo Bambuí, abaixo dos quartzitos, são iguais aos filitos que estão acima, não existindo motivos para separá-los em duas unidades estratigráficas distintas. Da mesma maneira, áreas quartzíticas e filíticas incluídas no Grupo Araxá, têm sido incluídas no Grupo Canastra.

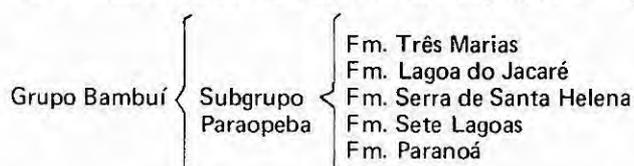
Os vários perfis que os autores executaram nessa faixa de contato parecem não deixar dúvidas quanto à passagem gradacional do Grupo Bambuí para o Grupo Araxá, através de uma faixa com predominância de filitos e alguns níveis quartzíticos e carbonáticos. Essas seqüências mais grosseiras

ras, provavelmente ocupando porções basais do Grupo Bambuí, constituem a Formação Paranoá desta unidade, cuja área tipo está situada na região de Brasília, no canto noroeste da folha.

III.9 – Grupo Bambuí

As seqüências predominantemente pelíticas, com intercalações de calcários, arenitos finos, quartzitos, arcósios e conglomerados, que ocorrem caracteristicamente na bacia do rio São Francisco, têm sido tradicionalmente denominadas sob o nome Bambuí, com hierarquias estratigráficas variáveis entre Série e Fácies. Só recentemente ficou estabelecida uma hierarquia correspondente a Grupo. Sua idade de mais confiança está situada no intervalo 800 a 600 milhões de anos, marcado por duas isócronas, a primeira inédita, para filitos da região de Vazante e a segunda publicada por AMARAL e KAWASHITA (1967), também autores daquela. As recentes correlações bio-estratigráficas com base em estromatólitos não têm valor global, devendo ser restritas a um âmbito regional, apoiadas em determinações geocronológicas.

Diversas subdivisões estratigráficas têm sido propostas para esta unidade, sendo as principais aquelas de COSTA e BRANCO (1961) para a região entre Sete Lagoas e Paracatu e a de BRAUN (1969) para a região da Faixa de dobramentos Brasília. Como o presente trabalho abrange ambas as regiões, os autores se preocuparam em tentar estabelecer um denominador comum, tomando como base o estabelecido no Código Internacional de Nomenclatura Estratigráfica. Assim, analisando-se a distribuição em área das diferentes unidades lito-estratigráficas que o compõem, à luz de sua situação estrutural-tectônica, os autores propõem a seguinte divisão para o Grupo Bambuí:



As Formações Paranoá e Três Marias têm distribuição espacial claramente estabelecida, a primeira constituindo a porção basal do Grupo na Faixa de dobramentos Brasília e a segunda capeando discordantemente o Subgrupo Paraopeba na porção central da área. As demais unidades, constituídas por intercalações de ardósias e calcários, são as mais características do Bambuí, ocorrendo desde Minas Gerais até Goiás e Bahia. Em diversas regiões o pacote não tem permitido subdivisão. Entretanto, na região entre Sete Lagoas, Três Marias e Corinto, as imagens LANDSAT permitem subdividir claramente o Subgrupo Paraopeba em três unidades com hierarquia de Formação. A mais basal, denominada Formação Sete Lagoas por COSTA e BRANCO (1961) é constituída por calcários de diversos tipos intercalados com ardósias. A seguir vem a Formação Serra de Santa Helena, redefinida a partir de nomenclatura original daqueles mesmos autores, é constituída quase que exclusivamente por ardósias, com finas intercalações calcárias. Finalmente, vem a Formação Lagoa do Jacaré, designação também aproveitada de COSTA e BRANCO (1961), constituída por calcários oolíticos e maciços, intercalados com siltitos e ardósias. Para leste e oeste, devido à maior deformação, o Subgrupo Paraopeba não permite a individualização de suas unidades constituintes levando-se em conta a escala do mapeamento. Entretanto as imagens LANDSAT permitem a distinção das áreas com predominância de calcário daquelas com predominância de ardósias, como representado no mapa em anexo.

As formações Três Marias e Paranoá são consideradas de acordo com a designação original, respectivamente, de COSTA e BRANCO (1961) e BRAUN (1969). Entretanto, com respeito à Formação Três Marias, COSTA e BRANCO (1961) consideraram-na capeada por uma outra unidade, por eles denominada Membro Serra da Saudade. Essa situação foi mantida por SCHÖLL (1972). Todavia, os trabalhos de campo efetuados demonstraram que o Membro Serra da Saudade não passa de uma modificação metassomática de ardósias do Subgrupo Paraopeba. Essa alteração está restrita à área de ocorrência atual ou pretérita de rochas vulcânicas correlacionáveis à Formação Uberaba. Soluções descendentes, provenientes da alteração dessas rochas, reagiram com as ardósias dando origem aos chamados "verdetes". Uma observação mais detalhada mostrou que esses verdetes gradam verticalmente para ardósias de coloração normal (roxas e vermelhas). Isso pode ser claramente observado ao sul de Patos de Minas, em especial no trecho inicial da ligação BR-262-Formiga, onde ocorrem arenitos da Formação Areado (mais a norte ainda capeados pelas vulcânicas) sobre os verdetes. À medida que se desce na topografia a coloração verde desaparece passando as ardósias à sua cor normal. Esse metassomatismo foi comprovado por determinações potássio-argônio inéditas, efetuadas pelo primeiro autor, onde três amostras distantes entre si de algumas dezenas de quilômetros forneceram idades em torno de 250 m. a. devido ao aumento posterior no teor de potássio dessas rochas, que pode chegar à casa dos 14%. É importante notar aqui que as ocorrências de fosfato da

região de Cedro do Abaeté e Quartel de São João estão nitidamente associadas ao mesmo processo, tendo o fosfato sido remobilizado das rochas vulcânicas e concentrado em níveis preferenciais do Grupo Bambuí ou em zonas de fratura.

Do ponto de vista estrutural, o Grupo Bambuí apresenta-se em geral intensamente deformado. Para leste, junto à Serra do Espinhaço apresenta-se em dobras de grande amplitude e intensamente fraturado (melhor dizendo, clivado). Esta deformação foi devida ao empurrão de leste para oeste da Serra do Espinhaço por eventos associados ao ciclo Brasileiro. Para oeste, o Grupo apresenta-se com deformação e metamorfismo crescentes, além de exibir um claro aumento na espessura. O dobramento é a feição estrutural mais conspícua, passando de dobras abertas na região da barragem de Três Marias para dobras isoclinais na região de Paracatu-Cristalina. A Formação Três Marias não se enquadra nesse panorama, pois apresenta-se sempre em posição sub-horizontal e, em pelo menos três locais recobre discordantemente as rochas do Subgrupo Paraopeba.

III.10 – Formação Serra Geral

Após a deposição da Formação Três Marias do Grupo Bambuí, no final do Pré-Cambriano ou início do Paleozóico, a região abrangida pela folha de Belo Horizonte entrou num período de estabilidade geológica, não havendo indícios de sedimentação, magmatismo e tectonismo. Esta estabilidade foi rompida apenas no final do Jurássico e início do Cretáceo pelo extravasamento das lavas basálticas da Formação Serra Geral, ocorrentes no canto sudoeste da folha, transgressivas sobre rochas dos Grupos Canastra e Araxá.

III.11 – Formação Areado

Arenitos argilosos com estratificação cruzada que repousam sobre um conglomerado basal constituem a Formação Areado, que se assenta discordantemente sobre rochas do Grupo Bambuí. SCORZA e SANTOS (1955), com base em fósseis definiram uma idade Aptiana-Albiana (Cretáceo médio) para essa unidade.

III.12 – Formação Uberaba

Rochas vulcânicas de filiação ultrabásica-alcálica e suas derivadas piroclásticas e sedimentares que ocorrem no planalto da Mata da Corda e em manchas menores nas regiões de Patos de Minas, Coromandel e Uberaba, foram reunidas sob a designação Formação Uberaba. Na região de mesmo nome essas rochas assentam-se discordantemente sobre os basaltos da Formação Serra Geral e são capeadas pela porção superior da Formação Bauru. Nas demais áreas, recobre discordantemente rochas dos Grupos Bambuí, Araxá e Formação Areado. As rochas desta unidade estão intimamente ligadas ao magmatismo alcalino-ultrabásico que deu origem às intrusões de Araxá, Tapira, Serra Negra – Serra do Salitre e Catalão, além de diversos focos menores, inclusive corpos kimberlíticos. Estas rochas, de elevada importância econômica, estão claramente associadas ao Arco da Canastra, bem marcado pelo intenso falhamento de direção NW visível no canto SW da folha. Esses falhamentos são profundos, como indicado pelo mapa de anomalias magnéticas do convênio Brasil-Alemanha. Extensões para sul e oeste da folha de Belo Horizonte mostram que essas feições ocorrem desde as proximidades de Bambuí e atingem a região de Iporá, em Goiás.

III.13 – Formação Bauru

Sob esta designação são reunidos os arenitos argilosos e calcíferos, com intercalações conglomeráticas, argilosas e carbonáticas, que ocorrem sobre a Formação Uberaba no canto SW da folha. Nessa região ocorre apenas a porção superior da unidade, que apresenta seu maior desenvolvimento na porção paulista da Bacia do Paraná. Estudos recentes desenvolvidos no Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, permitiram subdividir essa unidade em três fácies das quais apenas a mais nova ocorre na região de Uberaba. Estudos em minerais pesados indicam claramente que a Formação Uberaba é sincrônica às porções média e basal da unidade. Sua idade, baseada em fósseis e intercalações vulcânicas é Cretácea Superior.

III.14 – Formação Urucuaia

Com a designação Formação Urucuaia foram considerados neste trabalho os arenitos com estratificação cruzada que repousam discordantemente sobre as Formações Areado e Três Marias e Subgrupo Paraopeba. Essas rochas formam extensos chapadões que se prolongam para norte, para fora da área mapeada.

III.15 – Coberturas sedimentares e lateríticas

A atuação de ciclos erosivos criou extensas áreas peneplanizadas, principalmente no Planalto Central. Ela deu origem a extensos Chapadões cobertos por depósitos areno-argilosos comumente laterizados. Localmente, as crostas lateríticas podem atingir mais de um metro de espessura e, devido à sua resistência sustentar a topografia. Estas coberturas ocorrem em toda a área mapeada mas são mais freqüentes na parte ocidental onde prejudicaram a interpretação das imagens LANDSAT, dificultando o delineamento de unidades e estruturas geológicas. Os focos alcalinos, acima mencionados, apresentam-se quase que totalmente cobertos por aqueles depósitos.

Na porção nordeste da folha, nos vales dos rios Jequitinhonha e Araçuaí, ocorrem extensos chapadões formados por areias argilosas e feldspáticas associadas a argilas variegadas, que têm sido correlacionados à Formação Barreiras do litoral do Espírito Santo.

III.16 – Depósitos Aluvionares

Os principais rios da região, em especial o Paracatu, São Francisco e das Velhas, exibem importantes planícies constituídas por depósitos aluvionares onde areias e cascalhos são os sedimentos mais freqüentes. O rio Doce, no canto sudeste da folha exhibe extensos depósitos aluvionares condicionados provavelmente por grandes lineamentos, como já foi discutido acima. Na área da reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce ocorrem lagoas residuais de uma extensa inundação de idade possivelmente bastante recente.

IV – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados do presente trabalho demonstram claramente que a utilização de imagens multiespectrais dos satélites LANDSAT, apoiada por análise de dados preexistentes e trabalhos de campo é uma efetiva ferramenta para o mapeamento geológico regional. A experiência adquirida indica que a metodologia utilizada pode ser aplicada para mapeamentos em escalas até 1:250.000 sem modificações significativas. Mapeamentos em escalas maiores somente são possíveis por utilização de técnicas mais sofisticadas tal como interpretação por computador de imagens digitalizadas.

Do ponto de vista geológico, diversos problemas foram levantados, em especial na região da Serra do Espinhaço e da Faixa de Dobramentos Brasília, que somente poderão ser solucionados por estudos de detalhe. Seria altamente desejável um estudo geocronológico mais acurado do Quadrilátero Ferrífero e das unidades datáveis do Grupo Espinhaço para se definir o sincronismo ou não dessas rochas. O mesmo pode ser dito para o conjunto Bambuí – Canastra – Araxá na região da Faixa de Dobramentos Brasília.

Com respeito às possibilidades de recursos minerais, foi possível a individualização dos corpos ricos em minerais de ferro na região do Quadrilátero Ferrífero e sua continuação para nordeste. Igualmente, puderam ser individualizadas as áreas com predominância de calcários do Grupo Bambuí, geralmente encaixantes de depósitos de metais não-ferrosos, além das estruturas que as afetam. Uma importante feição geotectônica, o Arco da Canastra pode ser melhor delimitada, permitindo um estudo mais acurado do condicionamento das intrusões alcalino-ultrabásicas e, eventualmente das intrusões kimberlíticas a elas associadas.

O Instituto de Pesquisas Espaciais, em particular o Grupo de Recursos Minerais, se colocam à disposição da comunidade geológica do País para qualquer tipo de orientação quanto à utilização de dados de sensoriamento remoto para a abordagem de problemas geológicos.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, G. e KAWASHITA, K. – 1967 – Determinação de idade do Grupo Bambuí pelo método Rb-Sr. *Anais XXI Congr. Bras. Geol.* : 214-217, Curitiba.
- AMARAL, G.; MATOS, J. T. de; ALMEIDA F^o, R.; CUNHA, R. P. e PARADELLA, W. R. – 1975 a – Relatório de trabalho de campo. Folha Belo Horizonte. Relatório INPE-722-RVi/002 : 176 pp.
- AMARAL, G.; MATOS, J. T. de; ALMEIDA F^o, R.; CUNHA, R. P. e PARADELLA, W. R. – 1975 b – Relatório de trabalhos de campo. Folha Belo Horizonte. Relatório INPE-738-RVi/004 : 50 pp.
- AMARAL, G.; MATOS, J. T. de; ALMEIDA F^o, R.; CUNHA, R. P. e PARADELLA, W. R. – 1976 – Relatório de trabalhos de campo. Folha Belo Horizonte. Relatório INPE-847-RVi/010 : 25 pp.
- BARBOSA, O. – 1955 – Guia para excursão do IX Congr. Bras. Geol. Soc. Bras. Geol. Noticiário (3) : 3-5.
- BRAUN, O. P. G. – 1968 – Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí. *Anais do XXII Congr. Bras. Geol.* 155-166.
- COSTA, M. T. e BRANCO, J. J. R. – 1961 – Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília, Introdução. *Publicação Inst. Pesq. Radioat. B. Horiz.* (15):9-68.
- DORR, J. V. N. II^o; GAIR, J. E.; POMERENE, J. B. and RYNEARSON, G. A. – 1957 – Revisão estratigráfica Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero. DNPm-DFPM. Avulso (81):31 pp.
- DORR, J. V. N. II^o and BARBOSA, A. L. M. – 1963 – Geology and ore deposits of the Itabira District Minas Gerais, Brazil. U. S. G. S. Prof. Paper (341 – C) : 110 pp.

- CORDANI, U. G.; MUELLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V. e ROESER, H. — 1976 — *Interpretação tectônica e petrográfica de dados geocronológicos do embasamento no bordo sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Sessão da Acad. Bras. Ciên. São Paulo — Outubro de 1976.*
- HIRSON, J. da R. — 1967 — *Contribuição para o estudo geológico do Grupo Tamanduá da Série Rio das Velhas. Junta de Investigação do Ultramar. Estudos, Ensaios e Documentos (122) : 123 pp.*
- MORAES REGO, L. F. de — 1936 — *O Valle do São Francisco. Rev. Museu Paulista 20 : 491-706.*
- PFLUG, R. — 1968 — *Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. DNPM — DGM — Not. Prelim. Est. (142) : 20 pp.*
- PFLUG, R. e RENGER, F. — 1973 — *Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Craton Sanfranciscano. Anais do XXVII Congr. Bras. Geol. 3 : 5-19, Aracaju.*
- SCHOLL, W. U. — 1972 — *Der Südwestliche Randbereich der Espinhaço-Zone, Minas Gerais, Brasilien. Geol. Rundsch. 61 (1) : 201-216.*
- SCORZA, E. P. e SANTOS, R. S. — 1955 — *Ocorrências de folhelhos fossilíferos no município de Presidente Olegário, Minas Gerais. DNPM — DGM — Bol. (155) : 27 pp.*