

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

I.1 - APRESENTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado foi realizada com recursos financeiros do projeto de pesquisa “Evolução e Metalogênese do Arco Magmático da Faixa Araçuaí: Modelo de Orógeno Confinado” (CNPq, processo 470144/01-7, coordenador A. C. Pedrosa Soares), do *grant* associado à bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Pedrosa-Soares (CNPq, processo 301430/1984-5) e do projeto de bolsa PRODOC-CAPES de Cristiane Castañeda. Apoio para trabalho de campo e laboratorial se deve ao CPMTC-IGC-UFMG e o uso de microsonda eletrônica ao Laboratório de Microscopia e Microanálises do Consórcio Física-Geologia-Química/UFMG – CDTN/CNEM. O apoio financeiro para análises litoquímicas foi dado pela São Bento Mineração (Eldorado Gold Corporation). A bolsa de mestrado da autora foi concedida pelo CNPq.

A descoberta e estudos posteriores de remanescentes oceânicos neoproterozóicos do Orógeno Araçuaí foram publicados a partir do início da década de 1990 (Pedrosa-Soares *et al.*, 1990a,b, 1992, 1998, 2001, 2004; Uhlein, 1991; Carvalho *et al.*, 1992; Pedrosa-Soares, 1995, 1997; Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000; Aracema *et al.*, 2000; Suita *et al.*, 2004a,b; Queiroga *et al.*, 2005). Estes trabalhos evidenciam uma seqüência ofiolítica muito desmembrada, quase totalmente deformada e metamorfisada, fortemente alterada por hidrotermalismo e intemperismo químico.

A presente dissertação de mestrado apresenta estudos detalhados sobre as rochas metassedimentares sulfetadas que ocorrem na seção sedimentar (Formação Ribeirão da Folha) dos restos ofiolíticos entre as vilas de Ribeirão da Folha e Baixa Quente, Município de Minas Novas, nordeste de Minas Gerais. Formações ferríferas atribuídas às formações Ribeirão da Folha e Capelinha foram também abordadas.

I.2 - JUSTIFICATIVA

O Vale do Rio Setúbal está mapeado geologicamente em escala 1:100.000 (Folha Jenipapo do Projeto Espinhaço; Pedrosa-Soares, 1997) e os arredores de Ribeirão da Folha e Baixa Quente em escala 1:25.000 (Freitas-Silva & Pereira, 1987; Lagoeiro e Menegasse, 1987; Silva *et al.*, 1987; Brandani & Costa, 2004). Além disso, na área proposta para a dissertação existem estudos geoquímicos e isotópicos com ênfase na determinação do paleoambiente tectônico das rochas metabásicas e metaultrabásicas (Uhlein, 1991; Pedrosa-Soares *et al.*, 1992, 1998; Pedrosa-Soares, 1995; Aracema *et al.*, 2000). Entretanto, apesar da grande quantidade de rochas sulfetadas,

associadas principalmente a camadas metassedimentares, inexistem estudos específicos sobre elas. Formações ferríferas bandadas, associadas às rochas da Formação Ribeirão da Folha ou intercaladas nos quartzitos da Formação Capelinha, constituem outro importante alvo de pesquisa, especialmente quanto ao posicionamento estratigráfico, caracterização petroquímica e situação paleoambiental.

I.3 - OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é a caracterização detalhada de campo, petrográfica e geoquímica das rochas metassedimentares sulfetadas e ferríferas da área balizada pelas vilas de Ribeirão da Folha e Baixa Quente, bem como a caracterização minerográfica dos sulfetos presentes nestas rochas. Os dados obtidos visam o estabelecimento do(s) ambiente(s) de deposição destas rochas metassedimentares, bem como suas relações com possíveis processos vulcano-exalativos, e buscam trazer novos subsídios para a evolução geotectônica e metalogenética do Orógeno Araçuaí. Esta dissertação inclui a realização, sob a co-orientação da mestranda, do trabalho de graduação de Brandani & Costa (2004).

I.4- LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área em estudo situa-se entre as vilas de Ribeirão da Folha e Baixa Quente, no vale do Rio Setúbal, Município de Minas Novas, região nordeste de Minas Gerais.

O principal acesso ao local, a partir de Belo Horizonte, é feito via Diamantina percorrendo-se aproximadamente 300 km ao longo das BR-040, BR-135 e BR-259. Após este município, o acesso se faz pela BR-367 até a cidade de Minas Novas. A partir daí, percorrem-se 60 km por estrada não pavimentada até o povoado de Baixa Quente (Fig.1). Outras alternativas são os trajetos:

- (i) Belo Horizonte-Diamantina-Capelinha-Ribeirão da Folha e,
- (ii) Belo Horizonte-Governador Valadares- Teófilo Otoni-Novo Cruzeiro-Ribeirão da Folha.

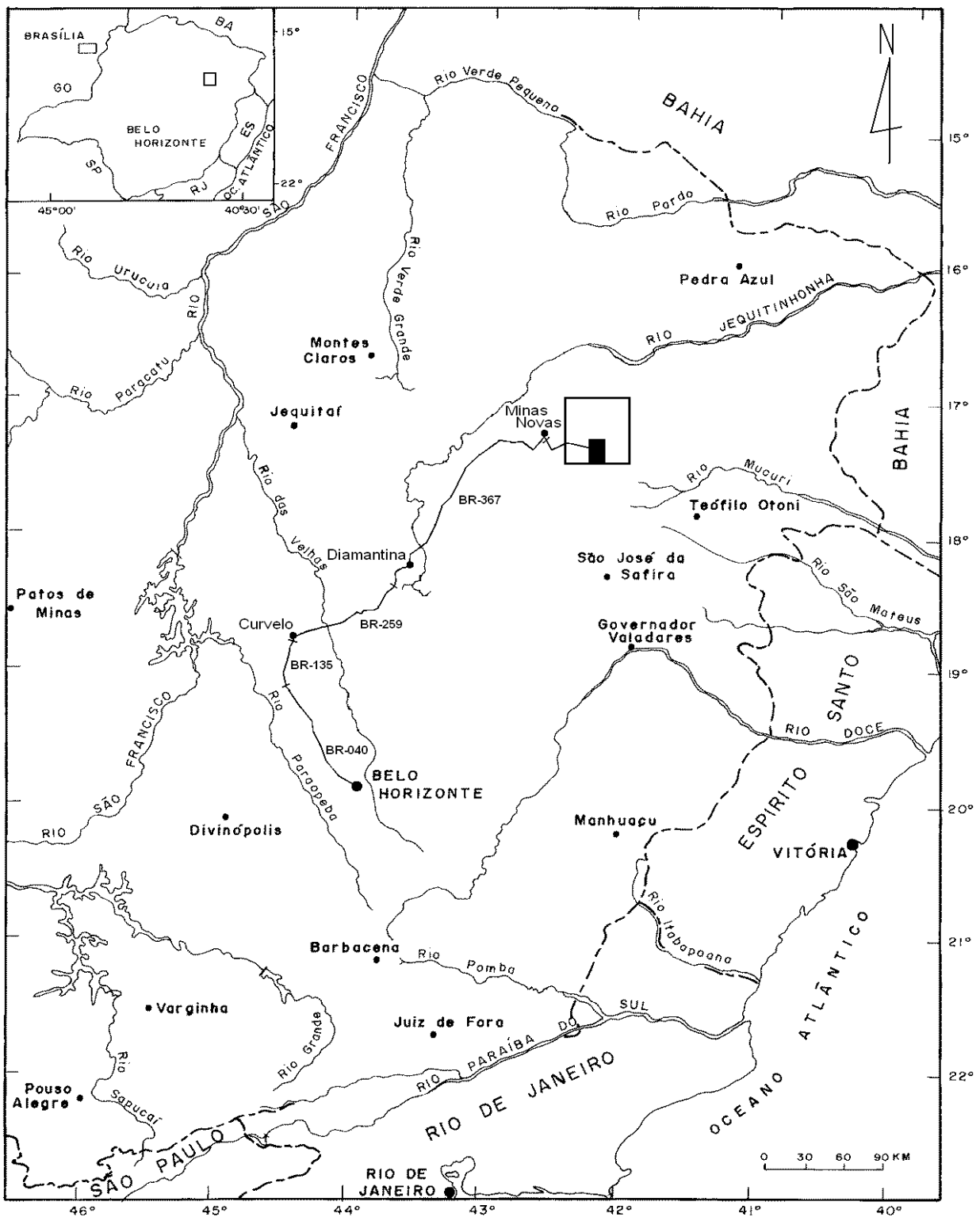


Fig.1- Mapa de localização e acesso à área estudada (retângulo preenchido), modificado de Pedrosa-Soares (1997).

I.5 - ETAPAS DE TRABALHO E METODOLOGIA

O roteiro metodológico utilizado nesta dissertação baseia-se na seguinte sistemática de trabalho:

- revisão bibliográfica sobre a geologia regional, depósitos minerais e contexto geotectônico do Orógeno Araçuaí;
- revisão bibliográfica sobre complexos ofiolíticos situados no Brasil e exterior, enfatizando o estudo da seqüência sedimentar dos mesmos;
- fotointerpretação sobre aerofotos, originalmente em escala 1:40.000 (vôo SA-558; Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A., 1977), ampliadas para 1:25.000 e localização, em mapa de mesma escala, dos afloramentos descritos por Freitas-Silva & Pereira (1987); Lagoeiro & Menegasse (1987); Silva *et al.* (1987) e Brandani & Costa (2004); com vistas à seleção de perfis de campo, e como apoio à elaboração do mapa geológico compilado (escala 1:100.000). A base cartográfica utilizada durante o desenvolvimento do trabalho foi a Folha Jenipapo (SE-23-X-D-III), impressa pelo IBGE em 1983. Imagens TM-LANDSAT 5, em escala 1:100.000 (banda 4, 1987 e 1988), auxiliaram a etapa de seleção dos perfis e compilação geológica;
- levantamento da litoestratigrafia da área compreendida pelas vilas de Ribeirão da Folha e Baixa Quente, baseado em perfis lito-estruturais detalhados ao longo das drenagens (área com maior quantidade de afloramentos) e em descrições macroscópicas dos principais litotipos;
- amostragem das principais rochas metassedimentares sulfetadas e ferríferas;
- descrição microscópica de dezessete seções polidas por luz refletida (quatorze de xistos pelíticos, metacherts e diopsiditos sulfetados e três de formações ferríferas);
- descrição microscópica de quinze lâminas delgadas por luz transmitida e compilação, após revisão, das análises petrográficas apresentadas por Freitas-Silva & Pereira (1987), Lagoeiro & Menegasse (1987), Silva *et al.* (1987), Pedrosa-Soares (1995, 1997) e Brandani & Costa (2004).
- realização de microanálises em sulfetos e inclusões, ilmenita e silicatos (granada, estauroлита, biotita, muscovita, plagioclásio e anfibólio), para determinação de composição química e cálculos geotermobarométricos;
- caracterização litoquímica de vinte e uma amostras de rochas sulfetadas e ferríferas (metacherts, quartzo-mica xisto, xisto peraluminoso, diopsidito e formações ferríferas), com base em análises de elementos maiores e traços (incluindo platinóides, ouro, prata e ETR);
- elaboração de um mapa de pontos em escala 1:50.000, detalhando os litotipos descritos e amostrados nesta dissertação (Anexo I) e compilação de um mapa geológico em escala 1:100.000 (Anexo II).

As microanálises foram realizadas no Laboratório de Microscopia e Microanálises do Consórcio Física-Geologia-Química/UFMG – CDTN/CNEM, em aparelho de microsonda eletrônica da marca JEOL, modelo JXA-8900RL, utilizando 15 kV de voltagem de aceleração e 20 nA de corrente. Foram obtidas de três a dez análises pontuais em cada cristal utilizando rotinas específicas para cada mineral. As análises foram realizadas segundo a sequência descrita: (i) identificação dos elementos presentes em cada sulfeto e óxido de ferro e titânio (ilmenita) analisados, por meio do detector EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*); (ii) aquisição de imagens de elétrons secundários e retroespalhados, com resolução de alguns nanômetros, visando à observação de possíveis zonamentos químicos em sulfetos; (iii) obtenção de microanálises em silicatos, ilmenita e sulfetos e inclusões. Os resultados das análises em silicatos e ilmenita encontram-se no Anexo III. Os demais resultados estão dispostos no corpo do texto; (iv) realização de mapeamento químico de detalhe em sulfetos (pirita + esfalerita + pirrotita) e nas inclusões cromíferas e de pentlandita cobaltífera presentes em duas amostras de diopsidito sulfetado, com a finalidade de verificar o padrão da distribuição e substituição dos elementos químicos S, Fe, Co e Zn, para os sulfetos; Al_2O_3 , Cr_2O_3 , FeO, MgO e MnO para a inclusão cromífera e S, Fe, Co e Ni para a inclusão de pentlandita cobaltífera.

Para a granada foram analisados os elementos Si, Al, Fe, Mg, Mn e Ca. Os padrões utilizados foram almandina para Si, Al e Mg; olivina para Fe; espessartita para Mn e Ca. O programa de correção de dados empregado foi ZAF. As fórmulas estruturais foram calculadas com base na exigência de 12 cargas negativas da rede estrutural. O conteúdo de ferro obtido pela microsonda foi considerado como FeO.

Os elementos analisados para as micas (biotita + mica branca) foram Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Na, K, F e Cr. Os padrões utilizados foram biotita para Si; anortita para Al; rutilo para Ti; olivina para Fe e Mn; piroxênio para Mg; albita para Na; microclina para K; fluorita para F; Cr_2O_3 para Cr. O programa de correção de dados empregado foi ZAF. Todas as fórmulas estruturais foram calculadas com base em 24 oxigênios. Os teores de Cr apresentaram valores muito baixos, compreendidos entre 0 e 0,08% nos xistos e 0,02 e 0,07% nos metacherts, e não foram utilizados nos cálculos realizados. O conteúdo de ferro obtido pela microsonda foi considerado como FeO.

Para a estaurolita os elementos quantificados foram Si, Al, Ti, Fe, Mg, Ca e Zn. Os padrões utilizados foram albita para Si; cianita para Al; rutilo para Ti; olivina para Fe e Mg; anortita para Ca; óxido de zinco (ZnO) para Zn. O programa de correção de dados utilizado foi ZAF. As fórmulas estruturais foram calculadas com base na exigência de 48 cargas negativas da rede estrutural. O conteúdo total de ferro resultante das análises foi considerado como FeO.

Si, Al, Ti, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K e F foram os elementos caracterizados para os anfibólios. Os

padrões utilizados compreenderam albita para Si; anfibólio para Al; rutilo para Ti; olivina para Fe e Mn; ortopiroxênio para Mg; anortita para Ca; albita para Na; microclina para K; fluorita para F. O programa de correção de dados empregado foi *ZAF*. As fórmulas estruturais foram calculadas com base na exigência de 24 cargas negativas da rede estrutural. Todo o conteúdo de ferro obtido pela microsonda foi considerado como FeO.

Os elementos analisados para o plagioclásio foram Si, Al, Fe, Na, Ca e K. Foram utilizados os padrões albita para Si e Na; cianita para Al; olivina para Fe; anortita para Ca; microclina para K. O programa de correção de dados utilizado foi *ZAF*. Todas as fórmulas estruturais foram calculadas com base em 32 oxigênios. Considerou-se todo o conteúdo de ferro obtido como FeO.

Os principais minerais opacos caracterizados foram sulfetos e ilmenita, conforme descrito anteriormente. Os elementos analisados em todos os sulfetos foram S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn e As. Os padrões utilizados foram pirita e calcopirita para S; pirita e (Fe,Co)S para Fe; pentlandita para Co e Ni; covelita (CuS) para Cu; esfalerita para Zn; arsenopirita para As. Para a ilmenita foram analisados os elementos Ti, Fe, Cr, Al, Mg, Mn e Zn. Os padrões utilizados foram ilmenita para Ti, Fe e Mg; Cr₂O₃ para Cr; anortita para Al; olivina para Mn; ZnO para Zn. Os teores de Cr e Zn ficaram abaixo do limite de detecção da microsonda e não foram representados na tabela de resultados. O programa de correção de dados utilizados foi *ZAF*. As fórmulas estruturais foram calculadas com base na exigência de 6 cargas negativas da rede estrutural. O conteúdo de ferro obtido pela microsonda foi considerado como FeO.

Todos os diagramas ternários utilizados para caracterizar os minerais analisados foram obtidos por meio do programa **Origin 6.1**.

Os cálculos geotermométricos foram realizados com base no par granada-biotita de acordo com parâmetros termodinâmicos de Thompson (1976), Ferry & Spear (1978), Hodges & Spear (1982), Perchuk & Lavrent'eva (1983), Dasgupta *et al.* (1991) e Bhattacharya *et al.* (1992). Os cálculos geotermobarométricos foram obtidos por meio do programa **Thermocalc V 3.1**, utilizando os resultados quantitativos das microanálises em silicatos (biotita, muscovita, granada, estauroilita e plagioclásio) das principais paragêneses dos xistos pelíticos.

As análises químicas de rocha total foram realizadas pelo Laboratório Lakefield-Geosol. Os métodos utilizados para as análises quantitativas foram: (i) Fluorescência de Raios-X, com fusão da amostra por tetraborato de lítio, para os elementos maiores (% peso). O parâmetro FeO foi analisado por titulometria; (ii) Fluorescência de Raios-X, utilizando o método de pó prensado, e Espectrometria de Plasma-ICP (multielementar), com digestão total da amostra, para os elementos traços (ppm) e prata (ppm); (iii) *Fire Assay* para os "platinóides" (ppm) e ouro (ppb) e, (iv) Espectrometria de Plasma-ICP para os elementos terras raras-ETR (ppm). A análise de enxofre foi

repetida pelo método LECO devido ao baixo limite de detecção da Fluorescência de Raios-X (50-5000 ppm). As principais rotinas de análises utilizadas pelo Laboratório Lakefield-Geosol encontram-se no Anexo IV.

Além dos resultados litoquímicos obtidos nesta dissertação, foram tratadas as análises químicas da seção sedimentar do ofiolito apresentadas por Pedrosa-Soares (1995). As análises litoquímicas de ortoanfibolitos e de rochas metaultramáficas, obtidas por Uhlein (1991), Pedrosa-Soares (1995) e Aracema (2000), foram utilizadas como parâmetro de comparação e correlação e encontram-se no Anexo V. Os diagramas de distribuição dos elementos maiores, traços e ETR foram obtidos pelo programa **Minpet 2.02** (*Mineralogical and Petrological Data Processing System*). Os dados de elementos terras raras foram normalizados em relação ao condrito (Evensen *et al.*, 1978) e ao NASC- *North American Shale Composite* (Haskin *et al.*, 1966). Os valores de normalização encontram-se no Anexo VI.

A edição do mapa de pontos (Anexo I) foi realizada no Laboratório de Geoprocessamento (Departamento de Cartografia/DECART-IGC), utilizando o *software* **Map Info 7.0**. O mapa geológico, em escala 1:100.000, foi obtido pela compilação dos dados de campo, perfis estruturais e descrições micro e macroscópicas, dos trabalhos de Freitas-Silva & Pereira (1987), Lagoeiro e Menegasse (1987), Silva *et al.* (1987), Pedrosa-Soares (1997) e Brandani & Costa (2004).

I.6- ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A síntese apresentada a seguir baseia-se nos trabalhos de Pedrosa-Soares (1995) e Pedrosa-Soares (1997) e em dados obtidos durante esta dissertação.

A área em estudo situa-se na sub-bacia hidrográfica do Médio Jequitinhonha. O Rio Setúbal, afluente da margem direita do Rio Araçuaí, é a principal drenagem da área. Outros cursos d'água de referência são o Ribeirão da Folha e os córregos Indaiá, do Ouro, Tribuna (popularmente conhecido como "Tibuna"), Boa Vista, Farinha Seca, Capão, Cantinho, Santo Antônio, Seco, Martins, Tambori e Catuá. O padrão da rede de drenagem está intimamente relacionado aos fatores litoestruturais. Grande parte dos maiores cursos d'água, a exemplo do Rio Setúbal, tende a seguir a direção NW a NNW, relacionada a um sistema de clivagem de fratura e a falhas, regionais. Os cursos d'água menores tendem a seguir a direção da xistosidade principal das unidades pré-cambrianas, que é predominantemente NE e, subordinadamente, NW. Na porção nordeste da área estudada, o padrão de drenagem muda completamente e passa a ser controlado pela intrusão granítica pós-cinemática à foliação regional. Os cursos d'água passam a configurar um padrão curvilíneo no contorno destes corpos graníticos. No interior dos mesmos, a drenagem tende a ser radial centrífuga.

Os principais compartimentos geomorfológicos da área em questão são as chapadas, o relevo dissecado (colinas) e os pontões graníticos. As chapadas ocorrem a leste e a sudoeste de Baixa Quente, apresentando altitude média de 1000 m. A dissecção fluvial desta feição geomorfológica resulta em vertentes ravinadas e colinas com vales encaixados. Em determinadas porções da área, as chapadas são sustentadas por rochas quartzíticas da Formação Capelinha (Fig.2), onde o entalhe erosivo gera cristas e picos, com vertentes abruptas e vales encaixados. O relevo dissecado de colinas é sustentado, preferencialmente, por xistos da Formação Ribeirão da Folha e possui cota média de 750 m (Fig.3). Os pontões graníticos ocorrem na porção nordeste da área, com altitude variando entre 1000 e 1200 m, destacando-se pela forma ovóide, também conhecida como "pão-de-açúcar".

Na região de Ribeirão da Folha- Baixa Quente, o clima apresenta influência do fator altimétrico. Nas áreas onde predominam cotas acima de 750 m, pode ser classificado como mesotérmico, com precipitação média anual maior que 1300 mm e temperatura média em torno de 22°C. Nas áreas com altitude superior a 1000 m, os verões são mais amenos e a temperatura média dos meses mais quentes é inferior a 22°C.

A vegetação relaciona-se intimamente com os fatores clima, litologia, morfologia e altitude. O cerrado predomina nas chapadas, principalmente onde o solo é profundo. É representado por estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo. A mata seca predomina no relevo dissecado (colinas), com cotas inferiores às das chapadas. O campo cerrado, caracterizado pela predominância do estrato herbáceo, ocorre nas colinas com solos pouco férteis. Pode ser encontrado também nas chapadas esculpidas em rochas quartzíticas, onde o solo é raso, arenoso a cascalhoso.

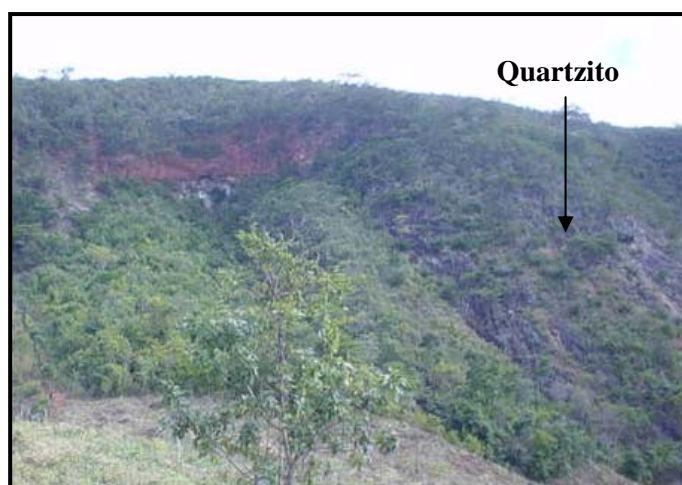


Fig. 2- Chapada sustentada por rochas quartzíticas da Formação Capelinha.



Fig. 3- Relevo dissecado (colinas) sustentado por rochas da Formação Ribeirão da Folha, com chapada ao fundo.